

退化喀斯特植被恢复过程中的土壤抗蚀性变化*

王佩将^{1,2} 戴全厚^{1†} 丁贵杰¹ 程富东¹

(1 贵州大学林学院, 贵阳 550025)

(2 吉林省水土保持科学研究院, 长春 130033)

摘要 运用时空互代法, 以喀斯特山区不同植被恢复阶段为研究对象, 坡耕地与人工林为对照, 通过室内分析, 采用主成分分析方法, 探讨了其土壤抗蚀性。结果表明: 土壤有机质、>0.25 mm 水稳性团聚体含量、<0.05 mm 粉黏粒含量、<0.001 mm 黏粒含量和结构性颗粒指数可以作为评价土壤抗蚀性的最佳指标。各样地土壤抗蚀性综合指数大小排序为灌草丛 > 乔灌过渡林 > 灌木林 > 乔木疏林 > 人工林 > 草坡 > 坡耕地。喀斯特山区, 坡耕地土壤抗蚀性能最差; 植被恢复过程中, 土壤的抗蚀性能先逐渐变好, 后逐渐变差, 转折点在灌草阶段。以灌草搭配的植被恢复模式可能比较适合喀斯特地区。

关键词 土壤抗蚀性; 植被恢复; 喀斯特**中图分类号** S157 **文献标识码** A

喀斯特地区环境脆弱, 土层与基岩直接接触使得土壤的附着力差, 在没有植被保护的情况下, 一旦有雨水冲刷, 就会产生水土流失, 使得基岩裸露, 土壤侵蚀加剧^[1]。退化喀斯特系统的植被恢复对重建生态环境系统和水土保持工作意义重大。植被对降雨的截留作用可以减少地表径流和土壤侵蚀, 而且, 植被可以通过与土壤的相互作用, 改善土壤结构, 增加有机质含量。Xu 等^[2]测定了西南干热河谷的不同物种下的土壤和侵蚀泥沙的颗粒分布, 得出植被可以大大减少水土流失的结论。所以, 研究植被恢复过程中的土壤抗蚀性变化过程能为该地区生态恢复提供理论依据。国外多从土壤可蚀性的角度来对土壤抗侵蚀能力进行研究。Middleton 于 1930 年提出土壤可蚀性指标概念, 然后提出了用分散率与侵蚀率评估土壤可蚀性。随后, 对土壤可蚀性指标的研究逐渐增多。我国朱显谟院士于 1956 年将土壤的抗侵蚀能力区分为抗蚀性和抗冲性。土壤抗蚀性是指土壤抵抗水(包括降水和径流)的分散和悬浮的能力, 其强弱主要取决于土粒间的胶结力及土粒和水的亲和力^[3-4]。土壤抗蚀性的强弱与土壤内在的物理和化学性质密切相关, 包

括土壤的颗粒组成、团聚体的稳定性、有机质、渗透率、紧实度、黏土矿物的性质及化学成分等^[5]。我国学者对黄土区的土壤抗蚀性研究较多, Li 等^[6]探讨了利用¹³⁷Cs 技术研究土壤可蚀性的时空变异。Yu 等^[7]用模拟降雨的方法研究得出稳定入渗率与土壤可蚀性因子 K 呈负相关。Zhu 等^[8]运用 EPIC 模型探讨了不同年限撂荒地的抗蚀性能, 并分析了土壤抗蚀性与土壤理化性质与微生物量之间的关系。朱冰冰等^[9-10]运用 EPIC 公式计算了黄土高原典型自然恢复区的土壤可蚀性 K 值, 并指出土壤有机质含量决定了土壤可蚀性的强弱。张振国等^[11]通过对不同植物群落土壤抗蚀性的主成分分析和聚类分析, 得出退耕还林可以提高土壤抗蚀性。戴全厚等^[12]研究了黄土丘陵区退耕地植被恢复过程中的土壤质量, 得出植被地上生物量和植被覆盖度与土壤抗蚀性关系密切。对其他地区的研究也有一些, 如: 郑子成等^[13]用主成分分析方法筛选了川西低山丘陵地区的土壤抗蚀性指标, 并构建了土壤抗蚀性评价模型。何腾兵等^[14]研究了喀斯特流域的土壤物理性质, 提出了土壤侵蚀系数的计算公式。胡宁等^[15]研究了岩溶石漠化山地三种退耕模

* 国家自然科学基金项目(41061029)、国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD53B002)、贵州省优秀青年科技人才培养计划项目(黔科合人字[2011]13号)共同资助

† 通讯作者, E-mail: qhdairiver@163.com

作者简介: 王佩将(1985—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: peipei164@163.com

收稿日期: 2013-08-28; 收到修改稿日期: 2013-12-25

式的土壤抗蚀性和分形维数特征,并用主成分分析得到评价土壤抗蚀性的最佳指标。付允等^[16]运用主成分分析法对岩溶区不同土地利用方式的土壤抗蚀性指标进行了研究,得出水稳性团聚体类指标是反映土壤抗蚀性的最佳指标。以上研究主要是对非喀斯特地区的退耕地植被恢复过程中的土壤抗蚀性与土壤性质的关系研究,对喀斯特地区的研究主要集中在不同治理措施和不同土地利用方式的土壤,对喀斯特地区植被恢复过程中的土壤抗蚀性演变研究较少,本文以大方县大湾小流域为研究区,运用空间序列代替时间序列的方法,选取了经常用于评价土壤抗蚀性的几个指标,探讨了喀斯特地区植被恢复过程中的土壤抗蚀性变化特征。研究植被演替过程中土壤结构及性质的演变,以期对喀斯特地区的植被恢复和生态重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省大方县桶井石漠化综合治理示范区,地理坐标为东经 105°37'12" ~ 105°44'51",北纬 27°07'31" ~ 27°02'34",海拔 1 304 ~ 1 697 m,属典型的低中山丘陵地貌,出露地层多为碳酸盐类石灰岩,其地带性土壤主要为石灰岩、砂页岩风化形成的黄壤,占土地面积的 98.6%。气候属中亚热带湿润季风气候,年均气温 12.8 °C,无霜期为 254 d,多年平均降雨量 1 118 mm,雨水多集中于 7—9 月,占全年降雨的 81.4%,研究区内原生植被由于乱砍乱伐等原因,遭受到较为严重的破坏,现均为次生林,乔木为棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、女

贞(*Ligustrum angusum*)、白栎(*Quercus fabri*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、响叶杨(*Populus adenopoda*)等,灌木多铁仔(*Myrsine africana*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、马桑(*Coriaria nepalensis*)、金丝桃(*Hypericum monogynum*)、异叶鼠李(*Rhamnus heterophylla*)、异叶花椒(*Zanthoxylum ovalifolium*)等,草本多白茅(*Imperata cylindrica* (L.) Beauv)、金茅(*Eulalia quadrinervis*)、千里光(*Senecio asperfolius*)等。

1.2 样品采集及测定

生态学研究一般需要较长的时间,对其进行研究常需要几代人的相继努力。时空互代法这种方法虽然无法保证不同时空的气候等外界环境的恒定,但是可以取得较长时间尺度的研究结果,所以常被用来分析生态恢复过程中植被以及土壤性质的变化特征^[17]。根据西南喀斯特退化生态系统恢复过程中植被有草地、灌草地、灌丛和乔木林自然演替过程的研究结果^[18],并结合植被群落的外部特征和内部结构,于 2010 年 4 月在大方县大湾村境内采用“时空替代法”选取立地条件基本相似的当地典型植被不同恢复阶段样地:草坡(MT)、灌草(FM)、灌木(FX)、乔灌过渡林(AF)、乔木疏林(AR),并选取 15 a 生柳杉人工林地(AC)和坡耕地(SC)为对照(表 1)。样地面积均为 20 m × 20 m,每个样地采用多点采样。由于土壤抗蚀能力主要决定于表层土壤性质^[19],所以各样地用铝饭盒采集 0 ~ 20 cm 表层原状土样,并用土钻随机采取表层土壤。土壤机械组成按简易卡庆斯基制采用乙种比重计法测定;团聚体组成按干-湿筛法测定;微团聚体一吸管法;有机质一重铬酸钾外加热法,具体操作方法参考文献[20]。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic features of the samples plots

类型 Type	海拔 Altitude(m)	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect	坡度 Slope gradient (°)	植被盖度 Vegetation coverage (%)	主要植物 Dominant plant
MT	1 510	上部	东向	20	20	金茅、白茅、打破碗碗花等
FM	1 509	上部	东向	20	40	异叶鼠李、铁仔等
FX	1 482	坡顶	全向	0	30	金丝桃、铁仔、云贵鹅耳枥、异叶花椒等
AF	1 510	坡顶	全向	0	80	麻栎、栓皮栎、马桑、响叶杨等
AR	1 453	上部	北向	28	60	化香、麻栎、棕榈、女贞、白栎等
AC	1 504	中部	南向	20	30	柳杉、响叶杨等
SC	1 500	中部	南向	5	—	烤烟

注:MT 表示草坡;FM 表示灌草;FX 表示灌木;AF 表示乔灌过渡阶段;AR 表示乔木;AC 表示柳杉人工林;SC 表示坡耕地 Notes:MT stands for meadow thicket; FM stands for mixture of frutex and meadow thicket; FX stands for frutex; AF stands for mixture of arbor and frutex; AR stands for arbor; AC stands for artificial woods of Chinese Cryptomeria; SC stands for slope farmland

1.3 土壤抗蚀性指标的选取

由于对喀斯特地区土壤侵蚀研究较晚,用于评价土壤抗蚀性能的抗蚀性指标也主要是借鉴国内其他地区的研究。本文结合前人研究土壤抗蚀性常用的指标^[21-23],共选取了 11 个指标,分别是:A 无机黏粒类,(1) < 0.05 mm 粉黏粒含量% (X_1); (2) < 0.01 mm 物理性黏粒含量% (X_2); (3) < 0.001 mm 黏粒含量% (X_3); (4) 结构性颗粒指数 (X_4) = 黏粒 (< 0.001 mm) 含量% / 粉粒 (0.001 ~ 0.05 mm) 含量%; B 微团聚体类, (5) 团聚状况 (X_5) = 微团聚体 (> 0.05 mm) 分析值 - 机械组成 (> 0.05 mm) 分析值; (6) 团聚度 (X_6) = 团聚状况 / 微团聚体 (> 0.05 mm) 分析值; (7) 分散率 (X_7) = 微团聚体 (< 0.05 mm) 分析值 / 机械组成 (< 0.05 mm) 分析值; C 水稳性团粒类, (8) > 0.25 mm 水稳性团聚体含量 (X_8); (9) > 0.5 mm 水稳性团聚体含量 (X_9); (10) > 0.25 mm 团聚体破坏率% (X_{10}) = (干筛 > 0.25 mm - 湿筛 > 0.25 mm) / (干筛 > 0.25 mm); D 有机胶体类, (11) 有机质含量 (X_{11}), 单位为 $g\ kg^{-1}$ 。

2 结 果

土壤抗蚀性大小与土壤侵蚀密切相关。影响

土壤抗蚀性的因素很多,一般从土壤颗粒组成、团聚体稳定性、有机质及化学成分等来进行研究。

2.1 土壤颗粒组成

土壤颗粒是构成土壤结构体的主要成分,不仅可以与孔隙度、紧实度、含水量等影响土壤中养分、水循环和气体流动,还可以用来解释土壤受侵蚀的程度^[24]。一般而言,土壤中的砂粒含量越多,越利于水分下渗;黏粒 (< 0.001 mm) 含量越低,土壤的通气性和透水性也就越差,含量高则易形成板结。土壤颗粒分析结果表明(表 2),灌草地黏粒含量最高,人工林黏粒含量最低;各样地 < 0.01 mm 物理性黏粒含量由高到低依次为:灌草 > 乔灌过渡 > 灌木林 > 人工林 > 草坡 > 坡耕地 > 乔木疏林; > 0.05 mm 砂粒含量由高到低是乔木疏林 > 乔灌过渡 > 坡耕地 > 灌木林 > 草坡 > 灌草 > 人工林。总而言之,坡耕地退耕后,一定时期内土壤表层黏粒继续流失,到灌草地时黏粒表现为增加,灌草地以后土壤黏粒达到稳定状态。坡耕地黏粒含量和砂粒含量均较高,这可能与耕作活动不但可以导致较高的黏粒含量,又可以引起表层土壤黏粒的流失有关;而灌木林与乔木林等砂粒含量较高可能与人为破坏有关。

表 2 恢复过程中的土壤颗粒组成

Table 2 Particle size composition of the soil in the process of vegetation restoration

类型 Type	土壤不同粒径土壤颗粒含量				Contents of different fractions of particle size in the soil (%)	
	< 0.001 mm	0.005 ~ 0.001 mm	0.01 ~ 0.005 mm	0.05 ~ 0.01 mm	< 0.01 mm	> 0.05 mm
MT	17.91 ± 4.90	18.73 ± 5.78	18.15 ± 2.13	27.22 ± 4.31	54.78 ± 2.21	18.00 ± 2.54
FM	25.74 ± 11.70	24.20 ± 2.83	13.13 ± 2.69	21.20 ± 4.27	63.07 ± 7.14	15.73 ± 8.96
FX	19.65 ± 0.55	22.43 ± 2.18	15.26 ± 1.79	23.03 ± 2.35	57.35 ± 6.77	19.62 ± 2.70
AF	19.58 ± 0.00	21.90 ± 2.76	16.21 ± 2.75	18.30 ± 0.00	57.69 ± 2.27	24.01 ± 0.00
AR	19.59 ± 0.00	19.36 ± 2.10	13.92 ± 1.03	17.86 ± 3.69	52.87 ± 9.58	29.27 ± 0.00
AC	15.73 ± 2.54	21.54 ± 2.99	18.67 ± 2.53	30.80 ± 1.12	55.94 ± 2.38	13.26 ± 2.56
SC	20.15 ± 1.06	21.38 ± 1.12	12.22 ± 1.82	22.41 ± 1.83	53.76 ± 2.39	23.83 ± 2.42

2.2 土壤团聚体

土壤团聚体的数量和稳定性是衡量土壤质量和土壤抗蚀性的重要指标,团聚体在浸水状况下的结构性能和分散强度是鉴定土壤抗蚀性的重要指标。水稳性团聚体愈多,土壤的抗蚀性越强,即使在地表形成径流时,团聚体结构也不分散,被径流带走的泥沙就少^[25]。由所有类型地的干筛结果(表 3)可知,团

聚体结构组成均以 > 5 mm, 5 ~ 2 mm 和 2 ~ 1 mm 三个粒级为主,尤其是 > 5 mm 团聚体,平均含量可达 30% 以上,其中人工林和坡耕地较少,分别为 22.77% 和 25.91%; 表层土干筛结果 > 0.25 mm 团聚体含量由高到低依次为乔灌过渡林 > 乔木疏林 > 坡耕地 > 灌木林 > 灌草 > 草坡 > 人工林; > 5 mm 团聚体含量由高到低依次为乔灌过渡林 > 乔木疏林 > 灌木林 >

灌草 > 草坡 > 坡耕地 > 人工林, 人工林 > 0.25 mm 和 > 5 mm 团聚体含量均为最少。经过湿筛后, 1 ~ 0.5 mm 和 0.5 ~ 0.25 mm 的团聚体含量增加, > 5 mm, 5 ~ 2 mm 和 2 ~ 1 mm 三个粒级的团聚体含量减少; 乔灌过渡林的 > 0.25 mm 团聚体含量比其他

类型的均要高, > 0.25 mm 水稳性团聚体含量由高到低依次为: 乔灌过渡林 > 乔木疏林 > 灌木林 > 灌草 > 草坡 > 人工林 > 坡耕地。可见, 坡耕地退耕后, 随着植被的不断恢复, 土壤中的水稳性团聚体会不断增加, 土壤的抗蚀性会不断增强。

表 3 植被恢复过程中的土壤团聚体组成

Table 3 Composition of soil aggregates in the process of vegetation restoration

类型 Type	方法 Method	不同粒径土壤团聚体组成 Particle size of soil aggregates (%)					
		> 5 mm	5 ~ 2 mm	2 ~ 1 mm	1 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 0.25 mm	> 0.25 mm
MT	干筛 Dry-sieve	31.09 ± 9.35	16.90 ± 2.27	16.30 ± 2.50	17.51 ± 4.62	8.64 ± 2.12	90.43 ± 2.14
	湿筛 Wet-sieve	21.63 ± 9.04	12.37 ± 4.99	7.60 ± 1.06	20.56 ± 3.27	10.88 ± 4.52	72.95 ± 6.65
FM	干筛 Dry-sieve	39.68 ± 10.35	19.96 ± 2.53	15.08 ± 3.76	11.89 ± 4.75	5.95 ± 2.00	92.56 ± 1.70
	湿筛 Wet-sieve	32.96 ± 17.24	20.38 ± 10.62	6.54 ± 1.65	15.01 ± 5.12	6.61 ± 2.79	81.50 ± 20.38
FX	干筛 Dry-sieve	52.76 ± 7.87	16.60 ± 2.08	11.01 ± 1.95	8.70 ± 1.85	4.61 ± 1.15	93.68 ± 1.36
	湿筛 Wet-sieve	45.96 ± 19.72	18.41 ± 3.51	3.86 ± 0.94	11.29 ± 3.61	5.05 ± 2.85	84.57 ± 13.28
AF	干筛 Dry-sieve	65.15 ± 8.12	14.53 ± 3.03	8.43 ± 2.09	5.82 ± 1.47	2.81 ± 0.95	96.73 ± 1.29
	湿筛 Wet-sieve	60.61 ± 11.31	16.36 ± 2.36	4.70 ± 1.97	6.96 ± 2.19	3.07 ± 1.48	91.70 ± 7.61
AR	干筛 Dry-sieve	60.23 ± 6.81	16.58 ± 3.04	9.36 ± 1.79	6.29 ± 0.97	3.32 ± 0.46	95.77 ± 0.75
	湿筛 Wet-sieve	54.51 ± 5.75	19.63 ± 3.92	4.17 ± 0.89	8.51 ± 1.20	3.72 ± 1.27	90.70 ± 3.88
AC	干筛 Dry-sieve	22.77 ± 5.46	18.28 ± 0.93	19.19 ± 1.70	19.96 ± 2.11	9.67 ± 1.45	89.87 ± 2.70
	湿筛 Wet-sieve	11.40 ± 3.55	11.12 ± 3.29	7.83 ± 3.23	26.17 ± 2.61	12.77 ± 4.77	69.29 ± 4.19
SC	干筛 Dry-sieve	25.91 ± 7.27	22.13 ± 1.32	22.20 ± 2.72	22.20 ± 3.45	6.47 ± 1.26	94.06 ± 0.79
	湿筛 Wet-sieve	6.75 ± 6.41	8.35 ± 4.40	4.51 ± 1.53	21.50 ± 5.87	13.92 ± 3.93	55.03 ± 13.15

2.3 微团聚体

土壤微团聚体组成是土壤结构性的一个重要方面, 它与土壤有机质含量和土壤质地有密切关系。由各样地的土壤微团聚体组成(表 4)可知, 各样地中 < 0.002 mm 和 > 0.25 mm 微团聚体含量很少, < 0.002 mm 的含量最低, 一般为 1.20% ~ 16.31%; 坡耕地 < 0.002 mm 微团聚体较其他类型

的均要高, 坡耕地 > 0.25 mm 微团聚体较其他类型地均要低; 各类型地土壤中以 1 ~ 0.02 mm 含量最高, 从高到低依次为: 乔木疏林, 灌木林, 灌草, 乔灌过渡, 草坡, 人工林, 坡耕地。可见, 土壤微团聚体的组成以粗大结构颗粒含量较高, 细小颗粒的含量较低, 说明土壤已经存在砂化的趋势。

表 4 植被恢复过程中的土壤微团聚体组成

Table 4 Composition of soil microaggregates in the process of vegetation restoration

类型 Type	土壤不同粒径微团聚体组成 Particle size composition of soil microaggregates (%)				
	< 0.05 mm	< 0.02 mm	< 0.002 mm	1 ~ 0.25 mm	1 ~ 0.02 mm
MT	30.46 ± 10.95	23.16 ± 9.28	4.87 ± 1.78	3.57 ± 0.47	76.84 ± 9.28
FM	17.25 ± 6.41	11.10 ± 3.11	2.02 ± 1.00	4.70 ± 2.24	88.90 ± 3.11
FX	16.16 ± 6.62	10.42 ± 4.57	1.20 ± 0.75	5.49 ± 1.05	89.58 ± 4.57
AF	22.99 ± 11.11	15.11 ± 8.63	2.79 ± 2.28	4.35 ± 1.15	84.89 ± 8.63
AR	13.16 ± 5.17	10.31 ± 3.66	3.60 ± 2.45	6.36 ± 1.81	89.69 ± 3.66
AC	31.42 ± 14.39	23.89 ± 12.67	4.41 ± 2.26	3.44 ± 1.34	76.11 ± 12.67
SC	54.79 ± 13.57	45.33 ± 13.88	16.31 ± 6.57	3.02 ± 1.25	54.67 ± 13.88

2.4 植被恢复过程中的土壤抗蚀性

土壤抗蚀性是指土壤抵抗降雨、径流对其分散和悬浮能力,在侵蚀外力一定的情况下,可反映土壤潜在水土流失特征,与土壤理化性质关系十分密切。衡量土壤抗蚀性的指标很多,不同研究区域所选用的指标也有一定的差异。本文选择国内研究中常用指标团聚度、分散率、 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、结构体破坏率等来对土壤抗蚀性进行评价。从研究区植被恢复过程中的土壤抗蚀性指标(表 5)可以看出,乔木疏林的有机质含量最高(达 104.4 g kg^{-1}),其次为灌木林、乔灌过渡林、灌草、草坡、人工林和坡耕地,可见随着植被的不断恢复,土壤有机质的含量会不断增加。团聚度越大,土壤抗

蚀性越强;分散率越大,土壤抗蚀性越弱^[26]。由对土壤团聚度和分散率的分析可知,灌草和人工林的团聚度较大,均达到 80%,坡耕地的团聚度最小为 43.77%,其他类型的土壤团聚度也均达到 60% 以上;人工林和草坡的土壤团聚体分散率较大,分别为 36.25% 和 37.17%,坡耕地的分散率最高为 71.31%,其他的介于 20.30%~37.17% 之间;坡耕地的团聚体结构体破坏率最大,乔灌过渡林的团聚体结构体破坏率最小; $>0.5\text{ mm}$ 和 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量坡耕地均为最少,其他介于 56.52%~88.63%。可见,坡耕地土壤抗蚀性能最差,是水土流失治理的重点;退耕还林后,随着植被的不断恢复,土壤中团聚体会不断增加。

表 5 植被恢复过程中的土壤抗蚀性指标

Table 5 Soil Anti-erodibility index in the process of vegetation restoration

类型 Type	抗蚀性指标 Index of anti-erodibility										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
MT	82.00	54.78	17.91	27.95	51.54	74.12	37.17	72.95	62.15	19.38	61.12
FM	84.27	63.07	25.74	43.98	67.02	80.99	20.30	81.50	74.90	12.67	75.31
FX	80.38	57.35	19.65	32.35	64.21	76.60	20.72	84.57	79.52	9.842	87.38
AF	75.99	57.69	19.58	34.72	52.99	68.82	27.32	91.70	88.63	2.254	84.63
AR	70.73	52.87	19.59	38.29	57.57	66.29	21.20	90.70	86.82	4.474	104.4
AC	86.74	55.94	15.73	22.15	55.32	80.94	36.25	69.29	56.52	22.92	57.69
SC	76.17	53.76	20.15	35.97	21.36	43.77	71.31	55.11	41.11	42.82	30.85

为了解植被恢复过程中的土壤抗蚀性变化,本文选取的指标较多,各指标之间有一定的相关性,信息可能重叠。所以本文采用 SPSS 软件对土壤抗蚀性指标进行主成分分析,提取能够评价土壤抗蚀性的较少指标,并对植被恢复过程中土壤抗蚀能力进行综合评价,分析结果详见表 6。从表 6 可以看出,前 3 个主成分(Y_1, Y_2, Y_3)的累积方差贡献率达 98.09%,且特征根均大于 1,符合主成分分析要求,表明所提取的 3 个主成分基本能反映土壤的抗蚀能力强弱。其中,第一主成分的方差贡献率为 57.30%,在第一主成分中 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量(X_8)指标因子载荷最大,其次是 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量(X_9)和有机质(X_{11})、团聚状况(X_5);第二主成分的方差贡献率为 21.85%,第二主成分中 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量(X_1)负荷量较高,第三主成分的方差贡献率为 18.94%,其中 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量(X_3)和结构性颗粒指数(X_4)较高。利用 SPSS 中的方差最大旋转法对各因子载荷进行

旋转后,第一、第二、第三主成分的方差贡献率分别为 52.46%、23.82%、21.81%,其中在第一主成分中 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量(X_8)、 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量(X_9)和有机质(X_{11})的因子载荷较高,第二主成分中 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量(X_1)载荷量较高,第三主成分中 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量(X_3)和结构性颗粒指数(X_4)较高。所以,根据主成分分析所得的因子载荷矩阵可以提取出 5 个评价土壤抗蚀性的最佳指标,即 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量($>0.25\text{ mm}$ 和 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量合并)、有机质、 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量、 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量和结构性颗粒指数。由主成分分析结果,计算主成分系数,得到前 3 个主成分的线性函数表达式为: $Y = 0.584Y_1 + 0.223Y_2 + 0.193Y_3$ 。计算方法是: $Y = (\lambda_1/\lambda_{\text{总}})Y_1 + (\lambda_2/\lambda_{\text{总}})Y_2 + (\lambda_3/\lambda_{\text{总}})Y_3$;式中, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 为每个主成分对应的特征值, $\lambda_{\text{总}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3, Y_1, Y_2, Y_3$ 为主成分分值, Y 为综合主成分分值。然后用主成分线性函数计算不同样地的

主成分值(根据主成分分析获得的主成分矩阵(表6)中每列除以开方后相应的特征根便得到每个指标所对应的系数)。其线性函数表达式为:

$$Y_1 = -0.020X_1 + 0.202X_2 + 0.139X_3 + 0.136X_4 + 0.363X_5 + 0.276X_6 - 0.390X_7 + 0.377X_8 + 0.374X_9 - 0.381X_{10} + 0.366X_{11}$$

$$Y_2 = 0.617X_1 + 0.235X_2 - 0.188X_3 - 0.410X_4 + 0.241X_5 + 0.458X_6 - 0.097X_7 - 0.144X_8 - 0.174X_9 + 0.068X_{10} - 0.164X_{11}$$

$$Y_3 = 0.197X_1 + 0.515X_2 + 0.614X_3 + 0.473X_4 + 0.005X_5 - 0.022X_6 + 0.058X_7 - 0.135X_8 - 0.114X_9 + 0.160X_{10} - 0.186X_{11}$$

表 6 旋转前后的因子载荷阵

Table 6 None-rotated and Rotated Component Matrix

	未旋转 None-rotated			旋转后 Rotated		
	1	2	3	1	2	3
X_1	-0.050	0.957	0.284	-0.279	0.953	-0.119
X_2	0.506	0.365	0.744	0.176	0.695	0.654
X_3	0.350	-0.291	0.886	0.080	0.100	0.987
X_4	0.341	-0.636	0.683	0.187	-0.281	0.934
X_5	0.912	0.374	0.007	0.795	0.575	0.096
X_6	0.694	0.710	-0.031	0.555	0.815	-0.119
X_7	-0.979	-0.150	0.083	-0.920	-0.358	-0.118
X_8	0.946	-0.223	-0.195	0.980	-0.027	0.150
X_9	0.938	-0.270	-0.165	0.969	-0.062	0.192
X_{10}	-0.956	0.106	0.231	-0.984	-0.072	-0.076
X_{11}	0.918	-0.254	-0.269	0.983	-0.085	0.088
特征值 Eigenvalue	6.303	2.404	2.084	5.770	2.621	2.400
贡献率 Contribution rate (%)	57.30	21.85	18.94	52.46	23.82	21.81
累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	57.30	79.15	98.09	52.46	76.28	98.09

从第一主成分来看, >0.25 mm 和 >0.5 mm 水稳性团粒含量越高, 有机质越高, 团聚体破坏率和分散率越小, 主成分 Y_1 就越大, 土壤抗蚀性就越强; 从第二主成分来看, <0.05 mm 粉黏粒含量越高, 团聚度越大, 主成分 Y_2 越大, 土壤抗蚀性越强; 从第三主成分来看, <0.001 mm 黏粒和 <0.01 mm 物理性黏粒含量越高, 结构性颗粒指数越大, 主成分 Y_3 越大, 土壤抗蚀性越强。在土壤抗蚀性的评价中, 综合指数越高, 土壤抗蚀性越强; 但综合指数为负, 并不说明土壤抗蚀性是负的, 只表明土壤抗蚀性水平低于平均水平; 评价值为正, 则表明土壤抗蚀性高于平均水平, 正负不表示实际意义, 只表示相对大小, 是评价指标标准化的结果^[27]。由计算所得的主成分综合指数(表7)可知, 植被恢复过程中土壤抗蚀性综合指数大小为灌草丛 > 乔灌过渡林 > 灌木林 > 乔木疏林 > 人工林 > 草坡 > 坡耕地, 可见坡耕地的土壤抗蚀性能最差。与坡耕地相比, 植被恢复过程中土壤抗蚀性均有所增加, 但增加幅度不同,

最大幅度可达 195.3% (灌草), 最小的也有 32.24% (草坡), 可见退耕还林还草可以增加土壤的抗蚀性, 但并不是随着植被的正向演替, 土壤抗蚀性能越来越好, 由退耕地撂荒后到灌草的阶段, 土壤抗蚀性增强较快; 从灌草到乔木疏林阶段, 土壤抗蚀性反而降低(相对于灌草), 可能与当地对乔灌林的破坏有关。

表 7 植被恢复过程中的土壤抗蚀性综合指数

Table 7 Comprehensive index of anti-erodibility of the sampling plots at different vegetation restoration stages

样地 Sampling plots	Y_1	Y_2	Y_3	Y
MT	-0.888	0.925	-0.698	-0.447
FM	0.340	0.357	1.820	0.629
FX	0.322	0.025	0.006	0.195
AF	0.458	0.054	-0.410	0.200
AR	0.435	0.119	-1.267	0.036
AC	-0.324	-0.200	0.070	-0.221
SC	-1.004	-0.254	-0.117	-0.660

3 讨论

土壤抗蚀性是评价土壤抵抗侵蚀的重要参数之一,对于抗蚀性指标的研究较多,由于研究区域和研究条件的差异,而且影响抗蚀性的因素的复杂性,不同学者提出的指标也不同。即使在同一区域,由于成土母质发育状况、土地开发利用及人为扰动程度不同,土壤抗蚀性能也不同。章明奎和韩常灿^[28]对浙江省丘陵土壤抗蚀性研究发现,由石灰岩、玄武岩母质发育的土壤,水稳性团聚体含量较高,抗蚀性较好;由花岗斑岩、红砂岩和紫砂岩发育的土壤水稳性团聚体含量较低,抗蚀性较差;凝灰岩、变质岩和花岗岩发育的土壤,当有机质较高时,其抗蚀性较高;当有机质下降时,其抗蚀性也明显下降。陈维新和张玉龙^[29]对辽宁省坡耕地土壤的抗蚀性研究发现,土壤抗蚀性主要决定于土壤质地,发育在不同母质上的土壤质地不同,土壤黏粒越多,物理性砂粒越少,土壤抗蚀性能越高,而土壤有机质和土壤抗蚀性的相关关系不显著;杨玉盛等^[30]提出紫色土不同植物类型的土壤抗蚀性指标是渗透特性(初渗值和稳渗值)和非毛管孔隙度;史晓梅等^[31]研究得出紫色土丘陵区不同土地利用类型的土壤抗蚀性指标是 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量和结构体破坏率。丛日亮等^[32]研究得出苏南丘陵区主要林分类型土壤抗蚀性最佳评价指标是毛管孔隙度和总孔隙度。本研究结果表明, $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体和有机质、 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量、 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量和结构性颗粒指数为表征退化喀斯特植被恢复过程中土壤抗蚀性的最佳指标。在之前对喀斯特地区土壤抗蚀性的研究中,表征土壤抗蚀性的较好指标较多的结论是有机质和 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团粒含量,本文的研究结果也证明了这一点。但本文得出 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量、 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量和结构性颗粒指数也可以用来表征土壤抗蚀性,这也与一些研究结论^[33-34]相符。土壤中直径 $<0.001\text{ mm}$ 的颗粒属于土壤胶体,土壤胶体具有巨大的表面能带负电,能与阳离子产生凝聚,从而提高土壤抗蚀性。土壤胶体与有机质关系紧密,是组成微团聚体的主要成分。何腾兵^[35]认为 $<0.05\text{ mm}$ 可以在一定程度上反映土壤的可蚀性强弱。所以,本研究中得出的最佳指标有一定的合理性。本研究得出植被恢复过程中土壤抗蚀性的大小为灌草丛 $>$ 乔灌

过渡林 $>$ 灌木林 $>$ 乔木疏林 $>$ 人工林 $>$ 草坡 $>$ 坡耕地;文卓立和于清^[36]研究重庆缙云山次生演替植物群落土壤抗蚀性发现,先锋群落的土壤抗蚀性最好,顶级群落和过渡类型后期植物群落次之,先锋森林的土壤抗蚀性最差。陈佳等^[37]研究桂西北不同土地利用类型土壤抗蚀性,得出原生林 $>$ 次生林 $>$ 撂荒地 $>$ 坡耕地 $>$ 人工林。可见,本研究的结果基本与文卓立的结论较为一致,但与其他结论也不相逆,坡耕地和人工林的土壤抗蚀性较差。人工林对土壤的质量改善不是很明显,可能是人工林改善土壤质量状况需要较长的时间的演替,简单的退耕还林很难使土壤质量得到恢复^[38]。可见,在喀斯特山区坡耕地退耕,对改善生态环境和减少水土流失有重要意义。

4 结论

通过对贵州毕节大方大湾小流域植被恢复过程中土壤抗蚀性的研究,其结果表明,植被被破坏后,土壤有砂化趋势,退耕还林还草可以提高土壤水稳性团聚体含量和有机质含量,增强土壤抗蚀性能,但退耕还林对土壤的改善可能需要较长的时间;研究区坡耕地土壤抗蚀性能最差,灌草丛土壤抗蚀性能最好,土壤抗蚀性能并不随着植被的正向演替越来越好,这可能与当地对乔灌林的破坏有关; $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、有机质含量、 $<0.05\text{ mm}$ 粉黏粒含量、 $<0.001\text{ mm}$ 黏粒含量和结构性颗粒指数是评价该地区土壤抗蚀性的最佳5指标;喀斯特地区植被恢复过程中土壤抗蚀性能的演变规律仍需深入研究。

参考文献

- [1] 王春晓,谢世友,王灿. 重庆南川岩溶山区土壤抗蚀性变化及预测模型研究. 农业现代化研究, 2009, 30(6): 756—760. Wang C X, Xie S Y, Wang C. Research on changes of soil anti-erodibility and prediction model in Karst mountain areas in Chongqing Nanchuan (In Chinese). Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(6): 756—760
- [2] Xu X L, Ma K M, Fu B J, et al. Soil and water erosion under different plant species in a semiarid river valley, SW China: The effects of plant morphology. Ecological Research, 2009, 24: 37—46
- [3] 郭培才,张振中,杨开宝. 黄土区土壤抗蚀性预报及评价方法研究. 水土保持学报, 1992, 6(3): 48—51. Guo P C, Zhang Z Z, Yang K B. A study on soil anti-erodibility prediction and evaluation method in Loess region (In Chinese). Journal of Soil and

- Water Conservation, 1992, 6(3): 48—51
- [4] 安和平. 北盘江中游地区土壤抗蚀性及预测模型研究. 水土保持学报, 2000, 14(4): 38—42. An H P. Study on soil anti-erodibility and predicting model in the middle reaches of north Panjiang River (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4): 38—42
- [5] 方学敏, 万兆惠, 徐永年. 土壤抗蚀性研究现状综述. 泥沙研究, 1997(2): 87—91. Fang X M, Wan Z H, Xu Y N. Summarization on the current study of soil anti-erodibility (In Chinese). Journal of Sediment Research, 1997(2): 87—91
- [6] Li Y, Frielinghaus M, Brok H R. Determining the variability of soil erodibility for erosion prediction. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 1999, 13(3): 129—136
- [7] Yu D S, Shi X Z, Weindorf D C. Relationships between permeability and erodibility of cultivated Acrisols and Cambisols in subtropical China. Pedosphere, 2006, 16(3): 304—311
- [8] Zhu B B, Li Z B, Li P, et al. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: A case study in the Loess Plateau, China. Ecological Research, 2009, 25(3): 531—541
- [9] 朱冰冰, 李占斌, 李鹏, 等. 土地退化/恢复中土壤可蚀性动态变化. 农业工程学报, 2009, 25(2): 56—61. Zhu B B, Li Z B, Li P, et al. Dynamic change of soil erodibility during process of land degradation and restoration (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 56—61
- [10] 朱冰冰, 李占斌, 李鹏, 等. 黄丘区植被恢复过程中土壤团粒分形特征及抗蚀性演变. 西安理工大学学报, 2009, 25(4): 377—402. Zhu B B, Li Z B, Li P, et al. Research on the fractal features of soil aggregate and dynamic changes in anti-erodibility during the process of vegetation recovery on the Loess hilly areas (In Chinese). Journal of Xi'an University of Technology, 2009, 25(4): 377—402
- [11] 张振国, 范变娥, 白文娟, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落土壤抗蚀性研究. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 7—13. Zhang Z G, Fan B E, Bai W J, et al. Soil anti-erodibility of plant communities on the removal lands in hilly-gully region of the Loess Plateau (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2007, 5(1): 7—13
- [12] 戴全厚, 薛蕙, 刘国彬, 等. 侵蚀环境撂荒地植被恢复与土壤质量的协同效应. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1390—1399. Dai Q H, Xue S, Liu G B, et al. The synergistic effect between vegetation recovery and soil quality on abandoned arable land in eroded hilly Loess Plateau (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(5): 1390—1399
- [13] 郑子成, 杨玉梅, 李廷轩. 不同退耕模式下土壤抗蚀性差异及其评价模型. 农业工程学报, 2011, 27(10): 199—205. Zheng Z C, Yang Y M, Li T X. Difference and evaluation model of soil anti-erodibility with different de-farming patterns (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 199—205
- [14] 何腾兵, 刘丛强, 王中良, 等. 贵州乌江流域喀斯特生态系统土壤物理性质研究. 水土保持学报, 2006, 20(5): 43—47. He T B, Liu C Q, Wang Z L, et al. Study on soil physical properties of Karst ecosystems in Guizhou Wujiang River basin (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(5): 43—47
- [15] 胡宁, 傅瓦利, 马志敏, 等. 岩溶石漠化山地不同退耕模式土壤抗蚀性及其结构体分形关系研究. 中国岩溶, 2008, 27(2): 115—121. Hu N, Fu W L, Ma Z M, et al. Study on erosion resistance of soil and fractal features of soil aggregates under different patterns of farmland set-aside in Karst rock desertification area (In Chinese). Carsologica Sinica, 2008, 27(2): 115—121
- [16] 付允, 贾亚男, 蓝家程. 岩溶区不同土地利用方式土壤抗蚀性分析. 水土保持研究, 2011, 18(5): 5—9. Fu Y, Jia Y N, Lan J C. Analysis of soil anti-erodibility of slope farmland in Karst mountain area based on tillage erosion (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(5): 5—9
- [17] 薛蕙, 刘国彬, 张超, 等. 黄土丘陵区人工灌木林土壤抗蚀性演变特征. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3143—3150. Xue S, Liu G B, Zhang C, et al. Change of soil anti-erodibility of artificial shrubs in Loess hilly area (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3143—3150
- [18] 杨瑞, 喻理飞. 黔中退化喀斯特森林恢复过程中早期群落结构分析. 贵州科学, 2004, 22(3): 44—47, 64. Yang R, Yu L F. A study on structure of primary stages community in restoration process of degraded Karst forest in central Guizhou (In Chinese). Guizhou Science, 2004, 22(3): 44—47, 64
- [19] 姜培坤, 俞益武, 徐秋芳. 商品林地土壤物理性质演变与抗蚀性能的评价. 水土保持学报, 2002, 16(1): 112—115. Jiang P K, Yu Y W, Xu Q F. Assessment on evolving law of soil physical properties and erosion resistance of land with different commercial forest (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 112—115
- [20] 劳家桎. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988. Lao J C. The handbook of agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1988
- [21] 胡建忠, 范小玲, 王愿昌, 等. 黄土高原沙棘人工林地土壤抗蚀性指标探讨. 水土保持通报, 1998, 18(2): 25—30. Hu J Z, Fan X L, Wang Y C, et al. Soil anti-erodibility indexes of *Hippophae rhamnoides* forest in Loess Plateau (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 1998, 18(2): 25—30
- [22] 王云琦, 王玉杰, 朱金兆. 重庆缙云山典型林分林地土壤抗蚀性分析. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 775—780. Wang Y Q, Wang Y J, Zhu J Z. Anti-erodibility analysis in forest soil of typical forests in Jinyun mountain in Chongqing City (In Chinese). Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6): 775—780
- [23] 张金池, 陈三雄, 刘道平, 等. 浙江安吉主要植被类型土壤抗蚀性指标筛选及评价模型构建. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 1—5. Zhang J C, Chen S X, Liu D P, et al. Soil anti-erodibility indexes and evaluation model of the main forest types in Anji County (In Chinese). Subtropical Soil and Water Conservation, 2006, 18(2): 1—5
- [24] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地土壤物理性质的时空分异及成因. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2249—2256. Liu S J, Zhang W, Wang K L, et al. Spatiotemporal heterogeneity and its formation causes of soil physical properties in Karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China

- (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2249—2256
- [25] 张果. 我国可持续发展与水土流失治理. 四川师范大学学报: 自然科学版, 1997, 20(4): 140—144. Zhang G. Sustainable development and control soil erosion in China (In Chinese). Journal of Sichuan Normal University: Natural Science Edition, 1997, 20(4): 140—144
- [26] 沈慧, 姜凤岐, 杜晓军, 等. 水土保持林土壤抗蚀性能评价研究. 应用生态学报, 2000, 11(3): 345—348. Shen H, Jiang F Q, Du X J, et al. Evaluation on soil anti erodibility of soil and water conservation forest (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 345—348
- [27] 韩鲁艳, 贾燕锋, 王宁, 等. 黄土丘陵沟壑区植物恢复过程中的土壤抗蚀与细沟侵蚀演变. 土壤, 2009, 41(3): 483—489. Han L Y, Jia Y F, Wang N, et al. Soil anti-erodibility and soil erosion evolution of during process of vegetation recovering in Loess hilly-gully region (In Chinese). Soils, 2009, 41(3): 483—489
- [28] 章明奎, 韩常灿. 浙江省丘陵土壤的抗蚀性. 浙江农业学报, 2000, 12(1): 25—30. Zhang M K, Han C C. On antierodibility of hilly soils in Zhejiang Province (In Chinese). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2000, 12(1): 25—30
- [29] 陈维新, 张玉龙. 辽宁省坡耕地土壤抗蚀性的研究. 土壤通报, 1989(5): 196—199. Chen W X, Zhang Y L. Study on anti-erodibility of sloping land in Liaoning Province (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1989(5): 196—199
- [30] 杨玉盛, 何宗明, 李振向, 等. 不同植物类型下紫色土抗蚀性研究. 福建水土保持, 1992(3): 34—70. Yang Y S, He Z M, Li Z X, et al. Studies on anti-erodibility of purple soil under different vegetations (In Chinese). Fujian Soil and Water Conservation, 1992(3): 34—40
- [31] 史晓梅, 史东梅, 文卓立. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究. 水土保持学报, 2007, 21(4): 63—66. Shi X M, Shi D M, Wen Z L. Study on soil anti-erodibility of different land utilization types in purple soil hilly region (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 63—66
- [32] 丛日亮, 黄进, 张金池, 等. 苏南丘陵区主要林分类型土壤抗蚀性分析. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1862—1867. Cong R L, Huang J, Zhang J C, et al. Analysis of soil anti-erodibility of main forest types in the south hilly region of Jiangsu Province (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(8): 1862—1867
- [33] 王佑民, 郭培才, 高维森. 黄土高原土壤抗蚀性研究. 水土保持学报, 1994, 8(4): 11—16. Wang Y M, Guo P C, Gao W S, A Study on soil anti-erodibility in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 8(4): 11—16
- [34] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 35—39. Shi D M, Lü G, Jiang G Y, et al. Study on anti-erodibility and change of soil physical property in *Pinus massoniana* woodland (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 35—39
- [35] 何腾兵. 贵州山区土壤物理性质对土壤侵蚀影响的研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 85—95. He T B. Study on effect of soil physical properties on soil erosion in Guizhou mountainous region (In Chinese). Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1995, 1(1): 85—95
- [36] 文卓立, 于清. 缙云山次生演替植物群落土壤抗蚀性研究. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13786—13789. Wen Z L, Yu Q. Study on soil anti-erodibility of plant community of secondary succession in Jinyunshan mountain (In Chinese). Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(25): 13786—13789
- [37] 陈佳, 陈洪松, 冯腾, 等. 桂西北喀斯特地区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 105—110. Chen J, Chen H S, Feng T, et al. Anti-soil erodibility of different land use types in Northwest Guangxi Karst regions (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(1): 105—110
- [38] 李阳兵, 高明, 魏朝富, 等. 土地利用对岩溶山地质量性状的影响. 山地学报, 2003, 21(1): 41—49. Li Y B, Gao M, Wei C F, et al. Effects of land use on soil quality in Karst hilly area (In Chinese). Journal of Mountain Research, 2003, 21(1): 41—49

VARIATION OF SOIL ANTI-ERODIBILITY DURING RESTORATION OF DEGRADED KARST VEGETATION

Wang Peijiang^{1,2} Dai Quanhou^{1†} Ding Guijie¹ Cheng Fudong¹

(1 College of Forest, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

(2 Soil and Water Conservation Research Institute of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract Karst areas at different vegetation restoration stages were studied with slope farmland and artificial forest as control using the approach of substituting the temporal serial with spatial serial. And further through lab analysis using the principle component analysis method, variation of soil anti-erodibility was explored. Results show that the contents of soil organic matter, <0.001 mm clay, >0.25 mm water-stable aggregates and <0.05 mm silty clay and the structural particle index were optimal indicators for evaluating soil anti-erodibility. In terms of comprehensive anti-erodibility index,

the lands at different vegetation restoration stages mixture of frutex and meadow thicket > mixture of arbor and frutex > frutex > arbor > artificial Chinese Cryptomeria stand > meadow thicket > slope farmland. Slope farmland was the lowest in soil anti-erodibility in the karst region. During the process of vegetation restoration, soil anti-erodibility improved and then deteriorated with the stage of mixture of frutex and meadow thicket as turning point, suggesting that, the model of mixture of frutex and meadow thicket is appropriate to vegetation restoration in karst regions.

Key words Soil anti-erodibility; Vegetation restoration; Karst

(责任编辑:汪枳生)