喀斯特高原峡谷区不同植被类型的土壤抗蚀性

肖盛杨，舒英格，陈梦军
（贵州大学 农学院，贵州 贵阳 550025）

摘　要：[目的] 对喀斯特高原峡谷区不同植被类型土壤抗蚀性的变化特征进行分析，为该区水土保持和脆弱生态系统的恢复工作提供科学支撑。[方法] 以喀斯特高原峡谷区 5 种植被类型土壤为研究对象，选取常用的 11 个理化指标，运用主成分分析法进行最佳指标筛选及土壤抗蚀性评价。[结果] 与耕地相比，其他植被类型土壤抗蚀性均明显增强；土壤团聚状况和水稳性大团聚体含量显著增加（$p \leqslant 0.05$）；土壤黏粒含量有增加趋势，差异不显著（$p > 0.05$）；土壤分散率和团聚体破坏率显著减小（$p \leqslant 0.05$）。主成分分析结果表明，黏粒含量、结构性颗粒指数、分散率、团聚状况、水稳性大团聚体含量和团聚体破坏率是评价该研究区土壤抗蚀性的最佳指标；土壤抗蚀性强弱顺序为：林地＞林草间作地＞荒草地＞退耕还草地＞耕地。[结论] 楸树林自然恢复模式下土壤抗蚀性最优，建议该区域增加楸树林的面积，提高土壤抗蚀性，促进区域生态恢复和增强水土保持功能。

关键词：土壤抗蚀性；植被类型；喀斯特；高原峡谷区；主成分分析
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2019)04-0030-06　　**中图分类号**：S157

文献参数：肖盛杨，舒英格，陈梦军.喀斯特高原峡谷区不同植被类型的土壤抗蚀性[J].水土保持通报，2019,39(4):30-35. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20190703.001；Xiao Shengyang, Shu Yingge, Chen Mengjun. Soil anti-erodibility under different vegetation types in karst plateau gorge region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(4):30-35.

Soil Anti-erodibility Under Different Vegetation Types in Karst Plateau Gorge Region

Xiao Shengyang, Shu Yingge, Chen Mengjun
(*College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou* 550025, *China*)

Abstract: [Objective] The characteristics of soil anti-erodibility of different vegetation types were analyzed in order to provide scientific support for soil and water conservation and restoration of fragile ecosystem in the gorge of the karst plateau. [Methods] Field study was carried out in the karst plateau gorge region with five different vegetation types. Principal component analysis was used to identify the optimum indexes influencing soil anti-erodibility from 11 soil physical and chemical parameters and evaluate of the soil anti-erodibility. [Results] Compared with cultivated land, soil anti-erodibility of other vegetation types significantly enhanced, the content of water-stable macro-aggregate significantly decreased ($p \leqslant 0.05$), soil clay content marginally increased ($p > 0.05$), and percentage of soil dispersion and aggregate disruption significantly decreased ($p \leqslant 0.05$). Results of principal component analysis showed that the content of clay, structural particle index, dispersionrate, agglomeration condition, water-stable macro-aggregate content and agglomerate destruction rate were optimal indicators for evaluating soil anti-erodibility. Based on comprehensive soil anti-erodibility index, the anti-erodibility was strongest for forest land, intercrop between forest and grass, natural grassland, grassland returned form farmland and cultivated land followed inorder. [Conclusion] The soil anti-erodibility was best under the natural recovery of *Catalpa bungei* forest. Increasing the area of *Catalpa bungei* forest was suggested to improve soil corrosion resistance, promote regional ecological

收稿日期：2019-03-26　　**修回日期**：2019-05-15
资助项目：国家自然科学基金项目“喀斯特山区林草间作生态恢复过程中土壤质量演变规律及其评价：以贵州‘晴隆模式’为例”(31460133)
第一作者：肖盛杨(1995—)，男(苗族)，贵州省思南县人，硕士研究生，研究方向为农业资源与环境。E-mail:1269093654@qq.com。
通讯作者：舒英格(1973—)，男(汉族)，贵州省镇宁县人，博士研究生，副教授，硕士生导师，主要从事农业资源与环境、土地利用与规划研究。E-mail:maogen958@163.com。

restoration and enhance soil and water conservation.

Keywords: soil anti-erodibility; vegetation types; karst; plateau gorge region; principal component analysis

喀斯特高原峡谷区环境较脆弱,由于人类不合理的土地利用,在雨水的冲刷作用下,易造成水土流失,土壤侵蚀加剧,土地生产力降低等,最终导致石漠化问题的加剧[1]。受地质背景的强烈制约,西南喀斯特地区土壤侵蚀主要是化学溶蚀、重力侵蚀和流水侵蚀的综合侵蚀(地面流失和地下漏失)机制[2]。土壤侵蚀加剧石漠化进程,而石漠化则是土壤侵蚀的结果,二者是同一生态退化过程的两个不同阶段[3]。土壤抗蚀性由我国朱显谟院士于 1956 年提出。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[4],是评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一。土壤抗蚀性不仅与土壤本身的内在因素有关,还受植被、地形和降雨等外部环境因素的影响[5]。关于喀斯特地区土壤抗蚀性的研究报道很多,但主要集中在喀斯特高原盆谷区[6]、喀斯特高原峰丛洼地区[7-8]、高原和中低山槽谷区[9-12]等,对喀斯特高原峡谷区土壤抗蚀性的研究较少。本研究以典型喀斯特高原峡谷区为研究对象,对不同植被类型下土壤抗蚀性的演变特征研究,进一步完善喀斯特地区土壤抗蚀性研究,对喀斯特高原峡谷区水土保持和脆弱生态系统的恢复具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于贵州省晴隆县西南部,是典型的石漠化治理示范区,地理坐标为 25°49′—25°51′N,105°11′—105°15′E,地形地貌为典型喀斯特高原峡谷区,地势起伏大,平均海拔 1 428 m,相对高差达 1 482 m。属于高原亚热带季风气候,年均日照数为 1 462 h,年均温约 14 ℃,总降雨量在 1 500～1 600 mm,无霜期约 320 d。岩性以石灰岩和白云岩为主,且地表层为第四系薄层沉积物。

1.2　样品采集及测定

研究区以喀斯特石漠化治理区“晴隆模式”为研究对象,根据喀斯特高原峡谷区生态系统的自然演替过程,并结合植被群落的外部特征和内部结构,选择林地(以楸树林为主的自然林地)、林草间作地(柏树与茅草间作)、荒草地、退耕还草地(退耕 5～10 a,主要种植皇竹草和薹草两种养殖草)和耕地(以玉米和烤烟轮作)5 种不同植被类型(表 1)。于 2017 年 1 月在研究区内选取不同植被类型下立地条件基本类似的典型样地 3～5 个,样地面积采用 10 m ×10 m,每个样方内采用“蛇形”取样法,用木制工具采集 0—10 cm 表层土壤(该石漠化地区土层较薄)2 kg 左右的原状土样,装入铝盒避免挤压,在采集和运输过程中尽量减少对土壤的扰动,以免破坏土壤团聚体结构,尽量保持土样的原状性。带回实验室后把土样分为两份,其中分取 1.5 kg 用于测定团聚体;另一部分用于土壤理化性质的测定。土壤机械组成按简易比重计法测定;团聚体组成按干—湿筛法测定;微团聚体—吸管法;有机质—重铬酸钾外加热法,具体操作方法参考文献[13],样品于 2017 年 6 月完成测定。

表 1　研究区样地基本情况

植被类型	平均海拔/m	植被覆盖/%	主要植被	有机质/(g·kg^{-1})
林地	1 515	60	优势种为楸树	82.64±12.59
林草间作地	1 500	50	长芒草和柏树间作	102.03±27.00
荒草地	1 539	35	薹草、白三叶、长芒草、车前草等	91.56±14.50
退耕还草地	1 464	30	白三叶、长芒草、黑麦草、皇竹草	56.27±12.95
耕地	1 502	0	烤烟和玉米轮作	56.06±18.13

注:各物种拉丁学名分别为楸树(*Catalpa bungei*),柏树(*Platycladus orientalis*),长芒草(*Stipa bungeane*),白三叶(*Trifolium repens*),黑麦草(*Lolium perenne*),皇竹草(*Pennisetum sinese*),薹草(*Carex parva*),车前草(*Plantago depressa*),烟草(*Nicotiana tabacum*),玉米(*Zea mays*)。

1.3　土壤抗蚀性指标的选取

土壤有机质为土壤团粒结构的形成提供胶结源,促进土壤团粒结构的形成,增强土壤的透水性、通气性,提高土壤抗蚀性等[14]。土壤颗粒是构成土壤结构体的主要成分,不仅影响土壤养分循环,还可以用来解释土壤抗侵蚀的程度[15]。土壤水稳性团聚体对土壤的通透性、保水性和抗蚀性有着重要的影响[16-17]。水稳性团聚体被水机械打击和消散后不易分散,具有较高的稳定性。因此,土壤水稳性团聚体的数量和稳定性是评价土壤抗蚀性的重要指标。土壤微团聚体在土壤质量评价、培肥和水土保持等方面具有重要的意义,常用来计算分散系数和团聚度等指标,并作为

土壤抗蚀性评价依据之一[18]。本文借鉴国内其他地区的研究和结合前人研究土壤抗蚀性常用的指标[19-20],共选取了 11 个指标,采用主成分分析法进行最佳评价指标的筛选。11 个指标分别为:<0.05 mm 粉黏粒含量%(X_1);<0.01 mm 物理性黏粒含量%(X_2);<0.001 mm 黏粒含量%(X_3);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%;团聚状况(X_5)=>0.05 mm 微团聚体分析值->0.05 mm 机械组成分析值;团聚度(X_6)=团聚状况/>0.05 mm 微团聚体分析值;分散率(X_7)=<0.05 mm 微团聚体分析值/<0.05 mm 机械组成分析值;>0.25 mm 水稳性团聚体含量,即水稳性大团聚体含量(X_8);>0.5 mm 水稳性团聚体含量(X_9);>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);有机质含量(X_{11}),单位为 g/kg。

1.4 数据分析

采用 Office 2016 进行数据处理,利用 SPSS 21 软件进行主成分分析,采用单因素方差分析(ANOVA)对不同植被类型土壤性质进行比较,当方差分析结果显示出显著差异时,进行最小差异检验。

2 结果与分析

2.1 土壤抗蚀性综合评价指标的筛选

由于各指标间信息可能重叠和相互关联,所以采用主成分分析法,提取较少能够评价土壤抗蚀性的指标,以较少的公因子代替原有指标,并尽可能保留原有指标的信息量,以最佳评价指标对土壤抗蚀能力进行综合评价。主成分分析结果表明(表 2),研究区土壤抗蚀性前 3 个主成分(PC_1,PC_2,PC_3)的累积方差贡献率达 89.30%以上,且特征根均大于 1,符合主成分分析要求,表明前 3 个主成分基本能反映研究区土壤的抗蚀指标的大部分信息。从表 2 中公共因子和原始变量的相关系数可以看出,旋转前的各因子的意义不是很明显。为了使因子载荷矩阵中系数更加显著,利用方差最大旋转法对各因子载荷进行旋转后,使因子和原始变量间的关系进行重新分配,更加容易进行解释。第一、第二、第三主成分的方差贡献率分别为 34.02%,30.24%和 25.05%,基本上解释了 11 个指标的绝大部信息,因此选取前 3 个主成分作为评价不同植被类型土壤抗蚀性主成分分析的依据,其中在第一主成分中<0.001 mm 黏粒含量(X_3)、结构性颗粒指数(X_4)的因子载荷较高,可达到 0.89 以上;第二主成分中,水稳性大团聚体含量(X_8)、>0.5 mm 水稳性团聚体含量(X_9)、团聚体破坏率(X_{10})载荷量较高,第三主成分中团聚状况(X_5)、分散率(X_7)载荷量较高;因此,根据对研究区土壤进行主成分分析所得的因子载荷矩阵综合分析,载荷量较高的指标有黏粒含量、结构性颗粒指数、分散率、团聚状况、水稳性大团聚体含量和团聚体破坏率,因此,这 6 个指标评价该地区土壤抗蚀性的最优选择指标,为今后土壤喀斯特地区土壤的抗蚀性评价工作提供参考。

表 2 土壤旋转前后的因子载荷阵及贡献率

项目	主成分因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	特征根	方差贡献率/%	累计贡献率/%
旋转前	PC_1	0.75	0.81	0.65	0.41	0.80	0.93	-0.68	0.69	0.74	-0.69	0.22	5.34	48.50	48.50
	PC_2	0.51	0.32	0.74	0.80	-0.06	0.10	0.28	-0.54	-0.53	0.54	-0.76	3.08	27.97	76.47
	PC_3	0.09	0.19	0.11	0.09	-0.58	-0.23	0.65	0.44	0.33	-0.43	-0.24	1.41	12.83	89.30
旋转后	PC_1	0.85	0.76	0.98	0.89	0.29	0.56	-0.03	0.06	0.07	-0.06	-0.53	3.74	34.02	34.02
	PC_2	0.20	0.40	0.02	-0.17	0.18	0.36	-0.19	0.97	0.93	-0.96	0.43	3.33	30.24	64.25
	PC_3	0.26	0.25	0.13	0.00	0.93	0.70	-0.96	0.15	0.27	-0.17	0.47	2.76	25.05	89.30

注:X_1—X_{11}评价指标的具体含义详见正文 1.3。

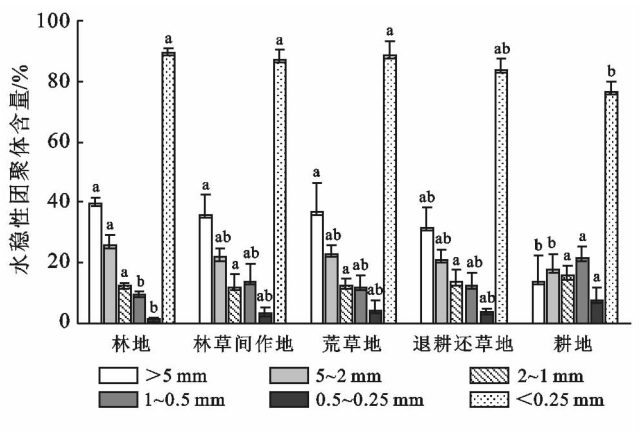
2.2 不同植被类型抗蚀性评价指标的变化特征

根据主成分分析法筛选出黏粒含量、结构性颗粒指数、分散率、团聚状况、水稳性大团聚体含量和团聚体破坏率 6 个指标对不同植被类型土壤抗蚀性进行评价,分析不同植被类型下各指标的变化特征。

2.2.1 *土壤黏粒含量变化* 土壤黏粒含量愈多,土壤的吸收和持水能力好,因此,可以用作评价土壤抗蚀性指标之一。由表 3 分析可知,土壤黏粒含量大小顺序为:林地>退耕还草地=林草间作地>荒草地>耕地。退耕还草地的含量与林草间作地相近,且高于荒草地,可能是由于退耕还草地受人为影响破坏土壤结构,导致黏粒含量增加,而退耕还草后可以防止水土流失。

2.2.2 *土壤水稳性团聚体含量及破坏率* 土壤水稳性团聚体是由有机质胶结而成一种土壤有机—无机物质的复合体,可以改善土壤结构,具有较高的稳定性,对土壤的抗蚀性有很重要的作用。由图 1 可知,研究区除耕地外,其他植被类型下水稳性团聚体含量

组成均以>5 mm,5～2 mm 两个粒级为主,尤其是>5 mm 粒级的水稳性团聚体,平均含量可达 30%以上,耕地显著低于其他植被类型($p\leqslant0.05$);而耕地主要以 1～0.5 mm 粒级为主。说明耕作严重破坏大团聚体的形成,增大该区域水土流失的发生机率。不同植被类型下均表现为 0.5～0.25 mm 粒径的含量都显著低于其他粒径的含量。耕地表现为随着粒级减小,水稳性团聚体含量呈先增加后减小的趋势;其他 4 种植被类型表现为随着粒级减小,水稳性团聚体含量逐渐降低的趋势。5 种植被类型下相同粒级团聚体含量间存在一定差异,2～1 mm 的粒级团聚体间差异不显著;>5 mm,5～2 mm 和水稳性大团聚体含量,林地显著大于耕地;1～0.5 mm 和 0.5～0.25 mm 粒径的水稳性团聚体,耕地显著大于林地。>0.25 mm 水稳定团聚体含量是土壤中最好的结构体,其含量高低可以反映土壤结构稳定性与土壤质量[21]。不同植被类型下,水稳性大团聚体含量大小顺序表现为:林地(89.65%)>荒草地(88.56%)>林草间作地(86.92%)>退耕还草地(83.77%)>耕地(76.67%)。相对于耕地,林地水稳性大团聚体含量增加 16.93%,说明研究区不同植被类型对水稳性团聚体的影响较大。



注:不同小写字母表示处理间在 $p<0.05$ 水平上差异显著。

图 1　不同植被类型土壤水稳性团聚体各粒级含量的变化

由表 3 可知,土壤团聚体破坏率分析表明,耕地土壤团聚体破坏率最大,破坏率达 20.89%,显著大于其他植被类型,是林地土壤的 2.35 倍,一方面说明耕地土壤水稳性团聚体的破坏严重,导致抗侵蚀性和保肥保水性能显著降低,发生土壤侵蚀的几率较大;另一方面说明林地土壤抗崩解能力较强,土壤颗粒水稳性较好,土壤抗蚀性能好。

2.2.3　*以微团聚体含量为基础的土壤抗蚀性指标*　土壤微团聚体是由胶体凝聚土壤原生颗粒组成的,对土壤培肥和水土保持等方面具有重要的意义,常用来计算分散系数和团聚度等指标,并作为土壤抗蚀性评价依据之一。①土壤结构性颗粒指数。土壤结构性颗粒指数反映土壤形成微团聚体的能力和稳定性,值越大,说明土壤结构性越好,土壤抗蚀性强[22]。由表 3 分析可知,不同植被类型土壤结构性颗粒指数(X_4)的大小为林地最大,退耕还草地最小,说明林地的土壤抗蚀性最强。②团聚状况。团聚状况表示土壤颗粒的团聚程度,其值的大小与土壤抗蚀性强弱密切相关,值越大土壤抗蚀性越强。由表 3 可知,5 种植被类型中土壤团聚状况(X_5)为林地(52.17%)、林草间作地(53.07%)、荒草地(56.50%)和退耕还草地(50.63%)显著高于耕地(37.48%),这与>0.25 mm 水稳性团聚体最低和团聚体破坏率最大一致,说明耕地受人为翻耕后,结构性较差,团聚能力显著降低,土壤抗性较弱。③分散率。分散率是以微团聚体分析中<0.05 mm 粒级的含量与机械组成分析中 0.05 mm 粒级含量的比值表示,分散率越高,土壤的分散性越强,土壤抗蚀性越弱[23]。表 3 显示,土壤分散率(X_7)的大小排序为:耕地(53.84%)>退耕还草地(40.72%)>林地(39.03%)>林草间作地(37.23%)>荒草地(29.18%),耕地显著高于其它植被类型,说明耕地土壤抗蚀性能最差,受人为干扰影响较大,是水土流失治理的重点。

表 3　不同植被类型的土壤抗蚀性指标含量变化

植被类型	抗蚀性指标					
	X_3	X_4	X_5	X_7	X_8	X_{10}
林地	33.42±2.50^{a}	0.64±0.09^{a}	52.17±17.92^{a}	39.03±21.67^{ab}	89.65±1.19^{a}	8.89±1.68^{b}
林草间作地	29.32±0.36^{a}	0.61±0.03^{a}	53.07±11.67^{a}	37.23±12.02^{b}	86.92±3.51^{a}	9.34±1.46^{b}
荒草地	29.71±7.25^{a}	0.59±0.12^{a}	56.50±8.90^{a}	29.18±8.92^{b}	88.56±4.56^{a}	9.15±4.75^{b}
退耕还草地	31.52±2.86^{a}	0.53±0.04^{a}	50.63±11.31^{a}	40.72±12.11^{ab}	83.77±5.39^{a}	11.52±5.19^{ab}
耕地	28.91±2.57^{a}	0.59±0.04^{a}	37.48±11.75^{b}	53.84±15.20^{a}	76.67±6.27^{b}	20.89±6.17^{a}

注:数据为平均值±标准差;不同小写字母表示不同植被类型间土壤抗蚀性指标间存在显著差异($p\leqslant0.05$)。

2.3　不同植被类型土壤抗蚀性的综合评价

对筛选的 6 个最佳指标进行主成分分析,结果显示,3 个公因子的方差累积率分别为 44.96%,32.15%,18.62%;特征值分别为 2.69,1.93,1.12。不同样地

综合主成分分值公式为：

$$PC=0.469PC_1+0.336PC_2+0.194PC_3。$$

计算方法为：

$$PC=[\lambda_1/(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)]PC_1+[\lambda_2/(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)]PC_2+[\lambda_3/(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)]PC_3$$

式中：λ_1，λ_2，λ_3——每个主成分对应的特征值。然后用主成分线性函数计算不同植被类型样地的主成分值(通过对初始因子载荷矩阵除以开方后相应的特征根得到 3 个主成分的变量系数)。主成分线性函数表达式为：

$$PC_1=0.182X_3+0.074X_4+0.522X_5-0.500X_7+0.488X_8-0.447X_{10}$$

$$PC_2=0.653X_3+0.678X_4+0.107X_5+0.035X_7-0.198X_8+0.247X_{10}$$

$$PC_3=0.191X_3+0.177X_4-0.449X_5-0.519X_7+0.450X_8-0.507X_{10}$$

在土壤抗蚀性的综合评价中，综合指数越高，土壤抗蚀性越强，综合指数值是通过评价指标标准化后与主成分分值的乘积相加计算的结果，正负值只表示相对大小，不表示实际意义，综合值正和负只表示高于和低于平均水平，表示相对大小[11]。由表 4 可知，第 1 主成分各类型排名与综合主成分排名一致，第 2 主成分和第 3 主成分稍有不同，通过 3 个主成分的综合评价得到各植被类型下土壤抗蚀性顺序为：林地＞林草间作地＞荒草地＞退耕还草地＞耕地。说明不同植被类型对土壤抗蚀性的影响较大，楸树林自然恢复模式是增强喀斯特高原峡谷区土壤抗蚀性的一种有效方式。

表 4 不同植被类型的土壤抗蚀性综合指数

植被类型	主成分			综合值
	PC_1	PC_2	PC_3	PC
林地	2.16	1.05	−0.50	1.27
林草间作地	1.28	−0.63	0.30	0.45
荒草地	0.97	−0.28	−0.16	0.33
退耕还草地	0.68	−0.23	0.42	0.32
耕地	−2.24	0.40	−0.70	−1.06

3 讨论与结论

喀斯特高原峡谷区生态环境较脆弱，植被较少，土层薄，加上人类不合理的土地利用，水土流失强度大，土壤抗蚀性亦不同于常态地貌，因此，水土保持和生态恢复工作对该地区的发展起关键性的作用。喀斯特地区土壤的抗蚀性颇有研究，但土壤抗蚀性评价的指标没有统一化。前人对喀斯特地区土壤抗蚀性的研究结果中，有机质、黏粒含量、结构性颗粒指数、水稳性大团聚体含量和水稳性团聚体破坏率是表征土壤抗蚀性的最佳指标，但本文得出有机质不是表征土壤抗蚀性的主要指标。Mallick 等[24]通过对沙特阿拉伯地区的研究表明土壤有机质含量与土壤可蚀性间不存在相关性，不能作为表征土壤抗蚀性的主要参数。本文研究结果与之类似。本研究结果表明，不同植被类型下土壤有机质含量的变化表现为：林草间作地＞荒草地＞林地＞退耕还草地＞耕地，与土壤抗蚀性综合指数的大小不一致。可能的原因是林草间作地和荒草地虽然地表枯枝落叶丰富，生物归还量大，加上牲畜粪便在一定程度上也补充了有机质，使得有机质处于较高的水平，表层土壤内根系和根系分泌物较多，增强土壤的团聚能力[25-26]，但林草间作地和荒草地是近几年才有不同程度的恢复，原先人为严重破坏了植被和土壤性状，而一些土壤性状的变化滞后于植被的生长，其退化后需较长的时间恢复[27]。该结果同时也解释了林草间作和荒草地土壤黏粒含量、结构性指数、水稳性大团聚体含量均低于林地，团聚体破坏率高于林地的原因。本文得出团聚状况和分散率也可以用来表征土壤抗蚀性，这与罗兰花等[28]的研究结论相符，说明本研究得出的土壤抗蚀性最佳指标有一定合理性。

本研究得出不同植被类型下土壤抗蚀性的强弱表现为：林地＞林草间作地＞荒草地＞退耕还草地＞耕地。与王佩将等[11]和李阳芳等[29]分别得出灌草丛和荒草地土壤抗蚀性最强的结果不一致。研究区为典型喀斯特高原峡谷区，主要以裸露型喀斯特为主，不合理的人类活动造成石漠化加剧，岩石大面积裸露。有林地主要以楸树为优势种的自然恢复林地，林下土壤由于受人为扰动较小，林下还生长其它杂木和草本植物，结构较为复杂，植被覆盖率较高(表 1)。林地的自然恢复能够改善土壤理化性质和提高植被根系密度，在很大程度上控制土壤可蚀性的变化[30]；同时还可以防止土壤水分蒸发，降低降雨对土壤结构体的消散和机械打击，并有效控制径流对土壤的侵蚀[31]。有研究[32]表明，相对于香椿林和滇柏林，楸树林能较好的改善土壤理化性质，进一步说明楸树林能增强土壤抗蚀性；但对喀斯特高原峡谷区土壤抗蚀性的影响机理还待进一步研究。

本研究区仅从有机胶体类、无机黏粒类和团聚体稳定性等土壤理化性质指标进行土壤评价还存在许多不足，土壤侵蚀量是评价土壤侵蚀的重要指标[33]。在喀斯特地区常采用退耕还林还草等方式增强土壤

抗蚀性,而生物结皮能促进土壤发育,改善土壤理化属性,防治土壤侵蚀。该方法在黄土高原干旱和半干旱地区已经取得成效[34]。在喀斯特地区,大量具有耐旱、吸水性强、喜钙等特征的石生藓类与地衣和藻类等构成大面积的生物结皮层[35]。因此,生物结皮增强喀斯特高原峡谷区土壤的抗蚀性可以作为下一步研究的方向。

综上所述,林草间作模式能够有效的提高土壤抗蚀性,但楸树自然恢复林的抗蚀性更优,建议该研究区在石漠化治理过程中,以增加楸树林的面积,提高土壤抗蚀性,促进生态恢复和增强水土保持功能。本研究仅对喀斯特高原峡谷区不同植被类型土壤抗蚀性的一般规律作了初步研究,缺少与土壤侵蚀量相结合做相关研究,结果没能够解释土壤抗蚀性的机制过程,今后还需深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 张信宝,王世杰,曹建华,等. 西南喀斯特山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题[J]. 中国岩溶,2010,29(3):274-279.

[2] 陈洪松,冯腾,李成志,等. 西南喀斯特地区土壤侵蚀特征研究现状与展望[J]. 水土保持学报,2018,32(1):10-16.

[3] 王向栋,戴全厚,李翠莲,等. 草海上游石漠化过程中土壤抗蚀性变化[J]. 水土保持研究,2017,24(3):13-18.

[4] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.

[5] Cotler H, Ortega-Larrocea M P. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico[J]. Catena, 2006,65(2):107-117.

[6] 谢颖颖,邵争,兰小机,等. 喀斯特山区土地利用变化与土壤侵蚀耦合关系研究:以毕节试验区为例[J]. 水土保持研究,2017,24(6):1-5.

[7] 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[J]. 中国生态农业学报,2012,20(1):105-110.

[8] 李会,周运超,刘娟,等. 喀斯特土壤抗蚀性对不同土地利用方式的响应[J]. 中国水土保持科学,2015,13(5):16-23.

[9] 贺祥,熊康宁,陈洪云. 喀斯特石漠化地区不同治理措施下的土壤抗蚀性研究:以贵州毕节石桥小流域为例[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(4):133-139.

[10] 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[J]. 水土保持研究,2011,18(5):5-9.

[11] 王佩将,戴全厚,丁贵杰,等. 退化喀斯特植被恢复过程中的土壤抗蚀性变化[J]. 土壤学报,2014,51(4):806-815.

[12] 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[J]. 农业现代化研究,2009,30(6):756-760.

[13] 劳家柽. 土壤农化分析手册[M]. 北京:农业出版社,1988.

[14] 张芸,李惠通,魏志超,等. 不同发育阶段杉木人工林土壤有机质特征及团聚体水稳性[J]. 生态学杂志,2016,35(8):2029-2037.

[15] 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[J]. 应用生态学报,2010,21(9):2249-2256.

[16] 吴尧,姚健,吴永波,等. 岷江上游典型植被下土壤分形特征及对水分入渗的影响[J]. 水土保持通报,2012,32(2):12-16.

[17] 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[J]. 水土保持学报,2005,19(6):35-39.

[18] 张治伟,朱章雄,文志林. 岩溶山地土壤微团聚体组成及其与土壤性质的关系[J]. 水土保持学报,2014,28(1):123-128.

[19] 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[J]. 农业工程学报,2009,25(2):56-61.

[20] 唐夫凯. 岩溶峡谷区不同土地利用方式土壤抗蚀性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2016.

[21] 蒲玉琳,林超文,谢德体,等. 植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和水稳性特征[J]. 应用生态学报,2013,24(1):122-128.

[22] 贾红杰. 重庆市中梁山岩溶区耕作侵蚀研究[D]. 重庆:西南大学,2008.

[23] 何淑勤,宫渊波,郑子成,等. 不同植被类型条件下土壤抗蚀性变化特征及其影响因素[J]. 水土保持学报,2013,27(5):17-22.

[24] Mallick J, Alwadi H, Rahman A, et al. Spatial variability of soil erodibility and its correlation with soil properties in semi-arid mountainous watershed, Saudi Arabia[J]. Geocarto International, 2015,31(6):661-681.

[25] 程谅,占海歌,郭忠录. 3 种草本植物根系对土壤抗蚀特性的响应[J]. 草业科学,2019,36(2):284-294.

[26] Wang Zhenhong, Fang Hong, Chen Mouhui. Effects of root exudates of woody species on the soil anti-erodibility in the rhizosphere in a karst region, China[J]. PeerJ, 2017,5:1-19

[27] 韦红波,李锐,杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报,2002,26(4):489-496.

[28] 罗兰花,王翠红,谢红霞,等. 大围山花岗岩风化物发育土壤抗蚀性垂直分异[J]. 水土保持研究,2018,25(1):62-65,71.

[29] 李阳芳,宋维峰,和弦,等. 元阳梯田区不同土地利用类型表层土壤抗蚀性研究[J]. 生态科学,2014,33(5):926-930.

(下转第 81 页)

[参 考 文 献]

[1] 宋小帅,康峰峰,韩海荣,等.太岳山不同郁闭度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持通报,2014,34(3):102-108.

[2] 余新晓.水文与水资源学[M].北京:中国林业出版社,1999.

[3] 叶晶,吴家森,张金池,等.不同经营年限山核桃林地枯落物和土壤的水文效应[J].水土保持通报,2014,34(3):87-91.

[4] 贾剑波,刘文娜,余新晓,等.半城子流域 3 种林地枯落物的持水能力[J].中国水土保持科学,2015,13(6):26-32.

[5] 姜海燕,赵雨森,陈祥伟,等.大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J].水土保持学报,2007,21(3):149-153,187.

[6] 宣立辉,康凡,谷建才,等.冀北地区典型林分枯落物层与土壤层的水文效应[J].水土保持研究,2018,25(4):86-91.

[7] 余新晓.贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J].北京林业大学学报,2002,24(3):45-49.

[8] 王会京,王红霞,谢宇光.太行山不同林型枯落物持水性及生态水文效应研究[J].水土保持研究,2016,23(6):135-139,144.

[9] 田野宏,满秀玲,李奕,等.大兴安岭北部天然次生林枯落物及土壤水文功能研究[J].水土保持学报,2013,27(6),113-139,144.

[10] 李学斌,吴秀玲,陈林,等.荒漠草原 4 种主要植物群落枯落物层水土保持功能[J].水土保持学报,2012,26(4):189-193.

[11] 刘中奇,朱清科,邝高明,等.半干旱黄土丘陵沟壑区封禁流域植被枯落物分布规律研究[J].草业科学,2010,27(4):20-24.

[12] Zhou Decheng, Zhao Shuqing, Zhu Chao. The grain for green project induced land cover change in the Loess Plateau: A case study with Ansai County, Shaanxi Province, China[J]. Ecological Indicators, 2012, 23(4):88-94.

[13] Chen Yiping, Wang Kaibo, Shan Linyi. Balancing green and grain trade[J]. Nature Geoscience, 2015, 10(8): 739-741.

[14] Sharpley A N, Williams J R. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator(2): User Manual[M]. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture 4.4, 1990.

[15] 刘宇,张洪江,张友焱,等.晋西黄土丘陵区不同人工林枯落物持水特性研究[J].水土保持通报,2013,33(6):69-74.

[16] 王忠禹,刘国彬,王兵,等.黄土丘陵区典型植物枯落物凋落动态及其持水性特征[J].生态学报,2019,39(7):1-9.

[17] 杨荣,杨宏伟,刘丽英,等.不同林分山杏灌木林枯落物持水性能研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2017,45(2):104-110,118.

[18] 王卫军,赵婵璞,张绍轩,等.不同经营措施对油松林枯落物持水性能的影响研究[J].水土保持通报,2013,33(6):103-106.

[19] 徐学华,崔立志,王锡武,等.不同经营措施对冀北山地华北落叶松林枯落物持水性能的影响[J].水土保持研究,2010,17(3):157-161.

[20] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.

[21] 石媛,鲁绍伟,陈波,等.河北雾灵山不同密度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2014,28(3):92-97.

(上接第 35 页)

[30] Wang Hao, Zhang Guanghui, Li Ningning, et al. Soil erodibility influenced by natural restoration time of abandoned farmland on the Loess Plateau of China[J]. Geoderma, 2018,325(9):18-27.

[31] 沈艳,马红彬,谢应忠,等.宁夏典型草原土壤理化性状对不同管理方式的响应[J].水土保持学报,2012,26(5):84-89.

[32] 刘映良.喀斯特典型山地退化生态系统植被恢复研究[D].江苏 南京:南京林业大学,2005.

[33] 刘警鉴,卢远,刘斌涛,等.广西壮族自治区土地利用与土壤侵蚀的关系[J].水土保持通报,2018,38(1):41-46,2.

[34] Gao Liqian, Bowker M A, Xu Mingxiang, et al. Biological soil crusts decrease erodibility by modifying inherent soil properties on the Loess Plateau, China[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2017,105(2):49-58.

[35] 谢斐,杨再超,林长松,等.藓类生物结皮的生态适应及在石漠化修复中的作用研究[J].六盘水师范学院学报,2014,26(1):40-43.