

# 不同土壤抗蚀性指标对侵蚀泥沙影响的灰色关联度分析

汤崇军<sup>1</sup>, 郑海金<sup>1,2</sup>, 谢颂华<sup>1,3</sup>

(1. 江西省水土保持科学研究所, 南昌 330029;

2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 3. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045)

**摘要:**表征土壤抗蚀性的指标有土壤颗粒分散特性和土壤水稳性团聚体稳定特性方面的诸多指标。为研究不同土壤抗蚀性指标对侵蚀泥沙的影响程度,以江西水土保持生态科技园 15 个不同水土保持措施类型小区为研究对象,采用灰色关联度的方法,对土壤抗蚀性指标进行了对比分析。结果发现:选取的 10 个抗蚀性指标对土壤侵蚀模数影响最佳 3 指标分别为团聚度、受蚀性指数( $E_{va}$ )和侵蚀率,团聚度与土壤侵蚀量关联度最大,为 0.744;对土壤侵蚀模数影响最差 3 指标依次为湿筛水稳性团聚体平均重量直径( $E_{MWD}$ )、干筛团聚体平均重量直径差值(MWDC)和 $>0.5$  mm 水稳性团聚体重量百分数(WSA), $E_{MWD}$ 与土壤侵蚀量关联度最小,为 0.594。土壤颗粒分散特性比土壤水稳性团聚体稳定特性对土壤侵蚀量影响大,前者关联度平均为 0.705,后者关联度平均为 0.621。通过土壤抗蚀性指标与侵蚀泥沙不同关联度的比较和排序,可以为侵蚀影响程度排序等提供信息,对以后的相关研究工作具有促进作用和参考价值。

**关键词:**灰色关联; 土壤抗蚀性; 水土保持; 土壤侵蚀模数

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0001-06

## Effects of Different Anti-erodibility Parameters on Soil Erosion Based on Grey Correlation Degree Analysis

TANG Chong-jun<sup>1</sup>, ZHENG Hai-jin<sup>1,2</sup>, XIE Song-hua<sup>1,3</sup>

(1. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China;

2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

3. College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** There are many parameters which can reflect soil anti-erodibility, such as soil particle dispersivity and stability of soil water-stable aggregates. To analyze the effects of different anti-erodibility parameters on soil erosion modulus, grey correlation analysis was used to study the anti-erodibility of red soil in 15 slope runoff plots with typical soil and water conservation measurements in Jiangxi Eco-science Park of Soil and Water Conservation. The results indicated that in the 10 anti-erodibility parameters, the first 3 factors affecting soil erosion modulus was soil agglomeration, soil erodibility index, and soil erosion rate. Soil agglomeration had the greatest effect on soil erosion, with the equal weighted grey correlation value 0.744. The descending rank of the last 3 factors affecting sediment yield is WSA, MWDC, and  $E_{MWD}$ .  $E_{MWD}$  had the smallest effect on soil erosion with the equal weighted grey correlation value 0.594. The effects of soil particle dispersivity on sediment yield is better than that of stability of soil water-stable aggregates, their average grey correlation values were 0.705 and 0.621, respectively. This study is helpful to provide information for the order of different factors' effects on soil erosion modulus and for further study in the future.

**Key words:** grey correlation; soil anti-erodibility; soil and water conservation; soil erosion modulus

土壤抗蚀性是影响土壤侵蚀的重要因子,在侵蚀外力一定的情况下,可反映土壤潜在水土流失特征。土壤抗蚀性与土壤理化性质关系十分密切<sup>[1-2]</sup>,故表

征土壤抗蚀性的定性指标较多,可从土壤颗粒分散特性和土壤水稳性团聚体稳定特性方面选择诸多指标进行分析。国内外学者对土壤抗蚀性已进行了一些

收稿日期:2011-08-25

修回日期:2011-09-21

资助项目:水利公益性行业科研专项经费项目(200901049,200901047,201001055)

作者简介:汤崇军(1976—),男,江西崇义人,硕士,工程师,主要从事水土保持科研与管理。E-mail: tangchongjun@126.com

通信作者:郑海金(1978—),女,江西临川人,硕士,高级工程师,主要从事水土保持和环境修复研究。E-mail: haijinzheng@163.com

研究工作,发现采取水土流失治理措施后,土壤抗蚀性各项指标均能得到一定程度的提高,但不同治理措施对土壤抗蚀性产生的影响不同。蔡丽平等<sup>[3]</sup>采用团聚状况、团聚度、分散率、受蚀性指数、结构体破坏率、平均水稳性团粒重量直径等指标分析了南亚热带侵蚀赤红壤治理前后土壤抗蚀性的变化,结果表明:采取不同治理措施后,土壤抗蚀性各项指标均得到一定程度提高,不同治理模式的抗蚀性大小顺序为模式 I (南岭黄檀林) > 模式 II (蜜柚) > 模式 III (柑桔); 谢锦升等<sup>[4]</sup>以表层土壤水稳性团聚体含量和有机质等作为主要指标,分析了严重侵蚀红壤封禁管理后抗蚀性能等土壤性质的变化,发现与对照相比,治理后土壤的抗蚀性能有明显的改善;王云琦等<sup>[5]</sup>以分散率、分散系数、团聚状况、团聚度等抗蚀性指标,分析表明重庆缙云山 4 种典型林分林地土壤抗蚀性:灌木林(45.51) > 混交林(41.94) > 阔叶林(32.65) > 楠竹林(23.35);重庆缙云山土壤从表层到底层抗蚀性能呈下降趋势(49.32, 41.86, 32.03, 27.11)。沈林洪<sup>[6]</sup>、张保华<sup>[7]</sup>和查小春<sup>[8]</sup>等对土壤抗蚀性状也进行了研究。

总体上,已有研究主要集中于不同治理措施及其治理前后土壤抗蚀性能的动态变化,所选土壤抗蚀性指标也各有所异,而定量确定土壤抗蚀性影响土壤侵蚀的主、次要指标,以及它们相关程度的研究彰显不足。本文以赣北典型红壤坡地 15 种水土保持措施处理的标准径流小区为研究对象,选择灰色关联度方法,通过分

析土壤抗蚀性参数与土壤侵蚀之间的灰色关联关系,说明不同土壤抗蚀性指标对土壤侵蚀的影响程度,以期探索土壤抗蚀性影响土壤侵蚀的适宜定量方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验布设在江西省九江市德安县境内的江西水土保持生态科技园。该科技园地处鄱阳湖水系博阳河西岸,位于东经 115°42′38″—115°43′06″,北纬 29°16′37″—29°17′40″,属亚热带季风气候,多年平均降雨量 1 350.9 mm,多年平均气温 16.7℃,年日照时数 1 650~2 100 h,多年平均无霜期为 249 d;成土母质以第四纪红色黏土为主,具有典型代表意义;地貌为浅丘岗地,海拔 30~100 m,坡度 5°~25°;地带性植被为亚热带常绿阔叶林。试验小区设置在山坡的中下部,坡面土层厚度在 0.5~1.5 m,土壤 pH 值为 5.0,有机质含量为 15.5 g/kg,全氮含量为 0.8 g/kg,全磷含量为 0.7 g/kg,碳、氮质量之比为 7.5,各项速效养分低,具有酸、粘、板、瘦等不良特性。

### 1.2 试验设计

在土层厚度均匀、土壤理化特性较一致、坡度较均一的同一坡面上,经人工修整后,共布设 15 个标准径流小区,编号为 1—15,详见表 1。小区宽 5 m(与等高线平行),长 20 m(水平投影),其水平投影面积 100 m<sup>2</sup>,坡度均为 12°。

表 1 试验处理与设计

小区名称/ 编号		措施处理	小区名称/ 编号		措施处理
植 物 措 施 组	1	百喜草全园覆盖,植被覆盖度 100%;植被结构为果树—牧草	耕 作 措 施 组	8	横坡间作;常年有柑橘,间种黄豆和萝卜,种植 6 横条;植被覆盖度 60%,植被结构为果树—作物
	2	百喜草带状覆盖,带宽 1.0 m,带状间隔 1.10 m,植被覆盖度 70%;植被结构为果树—牧草		9	纵坡间作;常年有柑橘,间种黄豆和萝卜,种植 3 竖条;植被覆盖度 60%,植被结构为果树—作物
	3	百喜草带状覆盖+间作,带宽 1.0 m,带状间隔 1.10 m,同时间种黄豆和萝卜,植被覆盖度 70%~85%;植被结构为果树—牧草—作物		10	果园清耕,常年有柑橘,及时清除地面杂草;植被覆盖度 20%,植被结构为果树
	5	阔叶雀草全园覆盖,植被覆盖度 100%;植被结构为果树—牧草	工 程 措 施 组	11	前埂后沟+梯壁植草水平梯田;埂坎高 0.3 m,顶宽 0.3 m,排水沟位于梯面内侧,深 0.3 m,宽 0.2 m;梯壁植百喜草,梯面种柑橘+百喜草,植被覆盖度 100%
	6	狗牙根全园覆盖(原用于带状覆盖),植被覆盖度 100%,植被结构为果树—牧草		12	梯壁植草水平梯田,无前埂后沟,梯壁植百喜草,梯面种柑橘+百喜草,植被覆盖度 100%
	7	狗牙根全园覆盖,植被覆盖度 100%,植被结构为果树—牧草		13	普通水平梯田,无前埂后沟,梯壁不植草,梯面种柑橘清耕,植被覆盖度 20%
	CK	4	裸露对照,地表常年裸露,及时清除坡面杂草	14	梯壁植草内斜式梯田,梯面内斜,斜率 5°,梯壁植百喜草,梯面种柑橘+百喜草,植被覆盖度 100%
			15	梯壁植草外斜式梯田,梯面外斜,斜率 5°,梯壁植百喜草,梯面种柑橘+百喜草,植被覆盖度 100%	

15个标准径流小区分为4个试验组,即:植物措施组6个(编号为1—3,5—7),裸露对照组1个(编号为4),耕作措施组3个(编号为8—10)及工程措施组5个(编号为11—15)。除对照小区外,每个小区于2000年春栽植二年生柑橘12株,由上至下种植6行,行距3.0 m,每行2株,株距2.5 m。套种黄豆和萝卜的小区,在每年4月中旬至8月中旬种植黄豆,种植密度为24万株/hm<sup>2</sup>;8月中旬至次年3月中旬种植萝卜,种植密度为8000株/hm<sup>2</sup>;设置梯田的小区,每小区均设3个台面,每个台面的投影面积为6 m×5 m,梯壁高1.45 m,坡比1:0.27。试验处理与设计详见表1。

土壤侵蚀观测时间为2001-01—2009-12,对次降雨下各小区的侵蚀泥沙量进行统计。土壤取样时间为2006年3月17日和2010年9月7日,各小区按S型取5个点,每个点取表层(0—20 cm)土壤300 g,采用四分法取混合样,用保鲜袋装样,供分析测试用。

### 1.3 测定内容与方法

(1)侵蚀泥沙量。侵蚀泥沙量采用烘干法测定含沙水样计算。

(2)土壤理化性质。土壤微团聚体和机械组成采用吸管法测定,土壤水稳性团粒结构用机械筛分法测定,土壤大团聚体采用机械筛分法测定,其中:非水稳性团聚体组成用干筛法,水稳性团聚体组成用湿筛法;土壤水分物理性质用环刀法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾法测定<sup>[9]</sup>。

本文从土壤颗粒分散特性和土壤水稳性团聚体稳定特性两个方面,选择团聚状况、团聚度、分散率、 $E_{va}$ (受蚀性指数)、侵蚀率等土壤颗粒分散特性指标,以及SPBR(结构体破坏率)、WSA(>0.5 mm水稳性团聚体数量)、 $E_{MWD}$ (湿筛水稳性团聚体平均重量直径)、MWDC(干筛团聚体平均重量直径差值)、有机质等土壤水稳性团聚体稳定特性指标进行分析。各个抗蚀性指标计算公式如下<sup>[3-7,10-12]</sup>:

团聚状况= $>0.05$  mm(微团聚体—机械组成);

团聚度= $\frac{\text{团聚状况}}{>0.05 \text{ mm 微团聚体}} \times 100\%$ ;

分散率= $\frac{<0.05 \text{ mm 微团聚体}}{<0.05 \text{ mm 机械组成}} \times 100\%$ ;

$E_{va}$ (受蚀性指数)= $\frac{\text{分散率}}{\text{持水当量} \times \text{WSA}}$ ;

侵蚀率= $\frac{\text{分散率}}{\text{胶体含量} \times \text{持水当量}}$

结构体破坏率(%)=

$\frac{>0.25 \text{ mm 团聚体(干筛—湿筛)}}{>0.25 \text{ mm 团聚体(干筛)}} \times 100\%$ ;

$>0.5$  mm水稳体团聚数量=

$\frac{>0.5 \text{ mm 团聚体(湿筛)}}{\text{总团聚体(湿筛)}} \times 100\%$ ;

$E_{MWD} = \sum_{i=1}^N X_i \frac{W_i}{W_T}$ ;  $MWDC = S_{MWD} - E_{MWD}$ 。

式中: $X_i$ ——第*i*级的平均直径(mm); $W_i$ ——第*i*级的土壤重量(mg); $W_T$ ——供试土壤的总重量(mg); $E_{MWD}$ , $S_{MWD}$ ——湿筛、干筛水稳性团聚体平均重量直径(mm)。

### 1.4 灰色关联系数和关联度的计算方法

设 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 为*N*个因素,反映各因素变化特性的数据列分别为 $\{X_1(k)\}, \{X_2(k)\}, \dots, \{X_N(k)\}$ ,  $k=1, 2, \dots, m$ 。因子 $X_j$ 对 $X_i$ 的关联系数计算式为<sup>[13]</sup>:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\min \min \Delta_{ij}(k) + \rho \max \max \Delta_{ij}(k)}{\Delta_{ij}(k) + \rho \max \max \Delta_{ij}(k)} \quad (1)$$

式中: $\xi_{ij}(k)$ ——关联系数; $\Delta_{ij}(k)$ ——比较数列与参考数列各对应点的绝对差值; $\rho \in (0, +\infty)$ ——分辨系数, $\rho$ 越小,分辨率越大,一般取 $\rho = 0.5$ <sup>[14]</sup>。在本文中, $N=1, 2, 3, \dots, 10$ ,  $k=1, 2, 3, \dots, 15$ 。

灰关联度 $\lambda_{ij}$ 平权法求得,计算式为<sup>[13]</sup>:

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \xi_{ij}(k) \quad (2)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 参数的选择与组成

选择的土壤侵蚀模数为各小区2001—2009年土壤侵蚀模数的多年平均值,土壤稳定特性和土壤颗粒分散特性指标为2006年和2010年分析测试结果计算的平均值。

把对土壤侵蚀模数相关性比较大的土壤抗蚀性因子都罗列于表2,依次是SPBR、WSA、 $E_{MWD}$ 、MWDC、有机质、团聚状况、团聚度、分散率、 $E_{va}$ 和侵蚀率,分别设置为 $X_1, X_2, \dots, X_{10}$ 。对照参数为土壤侵蚀模数,设置为 $X_0$ 。

### 2.2 数据生成处理

未经过处理的评价指标值是无法直接进行计算的,因为各指标的量纲、数量级和数量变化幅度不一致。因此,要先对参评指标进行量化处理,用标准化方法来解决参数间不可比的难题。量化处理的方法多种多样,主要有直接引用法、极差标准化法、标准差标准化法和专家级分标准化方法等。本文采用极差标准化方法对原始数据进行量化,得到标准化数据(表3)。

极差标准化方法量化公式分为两种情况:①对于数值越大越好的指标,如WSA、 $E_{MWD}$ 、有机质、团聚状况和团聚度等,数值= $(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;

②对于数值越小越好的指标,如结构破坏率、MWDC、分散率、 $E_{va}$ 、侵蚀率、土壤侵蚀模数等。数值

$= (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。式中: $X_i$ ——实测值;  
 $X_{\max}$ ——实测最大值; $X_{\min}$ ——实测最小值。

表 2 土壤抗蚀性指标与侵蚀模数

小区 编号	土壤水稳性团聚体稳定特性				土壤颗粒分散特性					土壤侵	
	SPBR/ %	WSA/ %	$E_{MWD}$ / mm	MWDC/ mm	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	团聚状 况/%	团聚度/ %	分散 率/%	$E_{va}$ / %	侵蚀 率/%	蚀模数/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )
4	56.64	30.34	0.57	6.83	10.37	4.84	34.27	93.84	13.05	15.35	5832
1	26.89	63.61	2.03	5.68	16.94	11.30	57.15	87.47	4.86	11.45	9
2	32.40	56.66	1.66	5.83	17.22	11.78	56.21	86.83	5.96	11.50	6
3	35.81	52.85	1.48	6.49	16.78	9.89	53.38	89.05	6.72	13.26	24
5	31.42	58.49	1.71	5.82	18.83	8.24	55.94	91.17	5.57	11.31	20
6	40.42	47.16	1.08	6.84	16.08	7.15	44.82	92.14	6.76	12.81	9
7	32.36	55.85	1.54	6.31	19.05	8.55	55.74	92.36	5.70	11.55	16
8	46.65	42.63	1.21	6.29	16.14	5.13	40.00	96.03	8.36	12.06	782
9	47.45	40.15	1.12	6.41	15.91	6.83	50.99	91.97	8.60	13.26	1407
10	47.09	41.44	1.03	6.05	13.13	11.85	55.81	86.90	8.67	13.90	2426
11	40.45	48.47	1.18	6.78	11.79	11.44	58.91	87.57	6.85	10.31	9
12	45.47	42.93	1.10	6.59	11.74	10.47	57.32	88.53	8.22	10.82	17
13	51.11	35.31	0.90	6.21	11.46	10.09	50.19	88.73	10.76	11.24	614
14	42.58	42.67	1.01	5.90	12.91	10.49	52.95	88.24	8.71	11.05	16
15	42.36	47.35	1.17	6.76	14.76	9.55	47.88	89.26	7.69	11.78	41

表 3 标准化后的各个参数

小区 编号	土壤水稳性团聚体稳定特性				土壤颗粒分散特性					土壤侵	
	SPBR	WSA	$E_{MWD}$	MWDC	有机质	团聚状况	团聚度	分散率	$E_{va}$	侵蚀率	蚀模数
4	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.238	0.000	0.000	0.000
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.757	0.922	0.929	0.931	1.000	0.773	0.999
2	0.815	0.791	0.743	0.871	0.789	0.990	0.891	1.000	0.866	0.764	1.000
3	0.700	0.677	0.620	0.298	0.738	0.720	0.776	0.759	0.773	0.415	0.997
5	0.848	0.846	0.777	0.880	0.974	0.484	0.880	0.528	0.914	0.801	0.997
6	0.545	0.505	0.349	0.000	0.657	0.329	0.428	0.423	0.768	0.504	0.999
7	0.816	0.767	0.661	0.460	1.000	0.529	0.872	0.399	0.897	0.753	0.998
8	0.336	0.369	0.435	0.478	0.664	0.041	0.233	0.000	0.573	0.653	0.867
9	0.309	0.295	0.373	0.370	0.638	0.284	0.679	0.441	0.544	0.414	0.760
10	0.321	0.334	0.315	0.680	0.318	1.000	0.874	0.993	0.535	0.287	0.585
11	0.544	0.545	0.418	0.048	0.164	0.942	1.000	0.920	0.757	1.000	0.999
12	0.375	0.378	0.360	0.215	0.158	0.803	0.936	0.816	0.590	0.898	0.998
13	0.186	0.149	0.226	0.542	0.126	0.749	0.646	0.793	0.279	0.816	0.896
14	0.473	0.371	0.301	0.815	0.293	0.806	0.758	0.847	0.530	0.853	0.998
15	0.480	0.511	0.408	0.066	0.505	0.671	0.553	0.736	0.655	0.708	0.994

2.3 关联系数与关联度的计算

选择土壤侵蚀模数为参考数列,其余的各项为比较数列,求得各比较数列与参考数列各对应点的绝对值,则得出表 4,其中两级最小差为 0.000,最大差为 0.999。

根据灰色关联系数的计算公式(1),可以求得各参数对应点与土壤侵蚀模数间的灰色关联系数(表 5),用关联度计算公式(2),可求得其关联度(表 6)。

灰色关联度越大,说明比较数列与参数数列的发

展趋势越接近,或者说比较参数对参考数列的影响就越大<sup>[15]</sup>。从上面结果中的灰色关联度看出,所选择的参数对土壤侵蚀量的影响均较大,最大为 0.744,最小为 0.594。

土壤颗粒是构成土壤结构的主要组分,其分散特性是土壤对水的分散与悬浮程度,是反映土壤抗蚀能力大小的指标之一<sup>[16]</sup>。土壤水稳性团聚体的大小、数量和稳定性决定着土壤孔隙的大小和结构的稳定性,影响土壤的通透性和抗蚀性,是表征土壤抗蚀

性的重要指标<sup>[17]</sup>。就土壤水稳性团聚体稳定性参数和土壤颗粒分散特性参数而言,前者与土壤侵蚀量关联度平均为 0.621,后者与土壤侵蚀量关联度平均为 0.705,说明土壤颗粒分散特性对土壤侵蚀量影响大。

表 4 对比参数与泥沙参数的绝对值(Δ)

小区 编号	土壤水稳性团聚体稳定特性					土壤颗粒分散特性				
	SPBR	WSA	$E_{MWD}$	MWDC	有机质	团聚状况	团聚度	分散率	$E_{va}$	侵蚀率
4	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.238	0.000	0.000
1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.242	0.078	0.071	0.068	0.001	0.226
2	0.185	0.209	0.257	0.129	0.211	0.010	0.109	0.000	0.134	0.236
3	0.297	0.320	0.377	0.699	0.259	0.277	0.221	0.238	0.224	0.582
5	0.150	0.151	0.220	0.118	0.023	0.513	0.118	0.469	0.084	0.197
6	0.454	0.494	0.650	0.999	0.342	0.671	0.571	0.576	0.232	0.495
7	0.182	0.231	0.337	0.538	0.002	0.469	0.127	0.599	0.101	0.245
8	0.531	0.497	0.432	0.388	0.202	0.826	0.634	0.867	0.294	0.214
9	0.451	0.465	0.386	0.390	0.121	0.476	0.081	0.318	0.216	0.345
10	0.264	0.251	0.270	0.095	0.266	0.415	0.289	0.408	0.050	0.297
11	0.455	0.455	0.582	0.952	0.835	0.058	0.001	0.080	0.243	0.001
12	0.623	0.620	0.638	0.783	0.840	0.195	0.062	0.182	0.408	0.100
13	0.710	0.746	0.670	0.354	0.770	0.147	0.250	0.102	0.617	0.080
14	0.526	0.628	0.697	0.183	0.705	0.192	0.240	0.151	0.468	0.145
15	0.514	0.483	0.586	0.928	0.488	0.323	0.441	0.258	0.339	0.286

表 5 土壤抗蚀性因子与土壤侵蚀模数的关联系数(ξ)

小区 编号	土壤水稳性团聚体稳定特性					土壤颗粒分散特性				
	SPBR	WSA	$E_{MWD}$	MWDC	有机质	团聚状况	团聚度	分散率	$E_{va}$	侵蚀率
4	1.000	1.000	1.000	0.991	1.000	1.000	1.000	0.677	1.000	1.000
1	0.999	0.999	0.999	0.999	0.673	0.865	0.876	0.880	0.999	0.688
2	0.730	0.705	0.660	0.795	0.703	0.980	0.820	1.000	0.789	0.679
3	0.627	0.609	0.570	0.417	0.659	0.643	0.693	0.678	0.690	0.462
5	0.769	0.768	0.694	0.809	0.955	0.493	0.809	0.516	0.857	0.717
6	0.524	0.503	0.435	0.333	0.594	0.427	0.467	0.464	0.683	0.502
7	0.733	0.683	0.597	0.482	0.997	0.516	0.798	0.455	0.832	0.671
8	0.485	0.501	0.536	0.563	0.712	0.377	0.441	0.366	0.630	0.700
9	0.526	0.518	0.564	0.562	0.805	0.512	0.861	0.611	0.698	0.591
10	0.654	0.666	0.649	0.840	0.652	0.546	0.633	0.550	0.909	0.627
11	0.523	0.524	0.462	0.344	0.374	0.896	0.999	0.862	0.673	0.999
12	0.445	0.446	0.439	0.389	0.373	0.719	0.889	0.733	0.550	0.833
13	0.413	0.401	0.427	0.585	0.394	0.773	0.667	0.830	0.448	0.862
14	0.487	0.443	0.417	0.732	0.415	0.722	0.675	0.768	0.516	0.775
15	0.493	0.509	0.460	0.350	0.506	0.607	0.531	0.659	0.596	0.636

表 6 利用关联度计算公式计算关联度(λ)

项目	土壤水稳性团聚体稳定特性					土壤颗粒分散特性				
	SPBR	WSA	$E_{MWD}$	MWDC	有机质	团聚状况	团聚度	分散率	$E_{va}$	侵蚀率
关联度	0.627	0.618	0.594	0.613	0.654	0.672	0.744	0.670	0.725	0.712
排序	7	8	10	9	6	4	1	5	2	3

土壤抗蚀性参数中与土壤侵蚀量关联度最大的是团聚度,为 0.744;其次为受蚀性指数( $E_{va}$ ),为 0.725;再次为侵蚀率,为 0.716。土壤团聚度为 >0.05 mm(微团聚体—机械组成)与 >0.05 mm 机械组成的比值,反映了土壤颗粒团聚体性能和分散性能。土壤团聚度越好,越不易分散侵蚀。以土壤分散

性和土壤水的输送特性作为受蚀性指数也常用来表征土壤抗蚀性<sup>[18]</sup>。胶体、持水当量与土壤吸水性能及透水性能有一定关系,与分散率结合表征的侵蚀率指标,可给予土壤抗蚀性以正确而全面的判断<sup>[11]</sup>。团聚度、 $E_{va}$ 、侵蚀率与土壤侵蚀量关联度较大,说明这三个指标对土壤侵蚀量影响较大。而土壤最佳抗

蚀性指标为团聚度,这与王云琦等<sup>[5]</sup>在重庆缙云山典型林分林地土壤抗蚀性分析结果一致。

土壤抗蚀性参数中与土壤侵蚀量关联度最小的是水稳性团聚体平均直径( $E_{MWD}$ ),为 0.594;其次为团聚体平均重量直径变化(MWDC),为 0.613;再次为 $>0.5$  mm 水稳性团聚体重量百分数(WSA),为 0.618。 $E_{MWD}$ 为每一粒级团聚体平均直径(mm)与其重量百分含量(%)乘积之和,是常用的土壤结构性评定指标之一,其值愈大表示结构性愈好<sup>[10]</sup>。MWDC 指干湿筛团聚体平均重量直径的差值,差值小的,结构稳定性较好<sup>[10]</sup>。WSA 为湿筛分析中 $>0.5$  mm 的团粒结构所占的百分比,一定程度上反映结构好坏,结构好的多些,但目前没有统一的标准含量<sup>[3]</sup>。相对于其他抗蚀性指标, $E_{MWD}$ ,MWDC 和 WSA 与土壤侵蚀量关联度较小,说明这三个指标对土壤侵蚀量影响相对较小。

### 3 结论

(1)赣北红壤坡地典型水土保持措施处理小区的土壤最佳抗蚀性指标为团聚度,最佳 3 指标为团聚度、受蚀性指数(Eva)和侵蚀率;土壤最差抗蚀性指标为水稳性团聚体平均直径( $E_{MWD}$ ),最差 3 指标为水稳性团聚体平均直径( $E_{MWD}$ )、团聚体平均重量直径变化(MWDC)和 $>0.25$  mm 水稳性团聚体重量百分数(WSA)。

(2)赣北红壤坡地典型水土保持措施处理小区土壤颗粒分散特性对土壤侵蚀量影响较大,平均关联度为 0.705,而土壤稳定性参数对土壤侵蚀量影响相对较小,平均关联度为 0.621。

(3)本文尝试了用灰色关联度表示土壤抗蚀性参数对侵蚀泥沙的影响,关联度越大,表示抗蚀性参数对侵蚀泥沙的影响越大;另外,通过对不同关联度进行比较和排序,可以为侵蚀影响程度排序等提供信息,对以后的相关研究工作具有促进作用和参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 康玲玲,王云璋,刘雪,等.水土保持措施对土壤化学特性的影响[J].水土保持通报,2003,23(1):46-48.
- [2] 蔡志发,黄炎和,李发林,等.侵蚀坡地果园土壤—植被组分中 N、P、K 质量分数及其分布[J].福建农业大学学报,2000,29(4):494-497.
- [3] 蔡丽平,陈光水,谢锦升,等.亚热带侵蚀红壤治理前后土壤抗蚀性的变化[J].水土保持学报,2001,15(6):129-131,139.
- [4] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,等.严重侵蚀红壤封禁管理后土壤性质的变化[J].福建林学院学报,2002,22(3):236-23.
- [5] 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[J].长江流域资源与环境,2005,14(6):775-780.
- [6] 沈林洪,黄炎和,谢晋生,等.闽南不同土壤侵蚀强度的土壤性状特征[J].福建农业学报,2002,17(2):95-97.
- [7] 张保华,徐佩,廖朝林,等.川中丘陵区人工林土壤结构性及对土壤侵蚀的影响[J].水土保持通报,2005,25(2):25-28.
- [8] 查小春,唐克丽.黄土丘陵林地土壤侵蚀与土壤性质变化[J].地理学报,2003,58(3):464-469.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [10] 中国农业百科全书编辑委员会.中国农业百科全书:土壤卷[M].北京:农业出版社,1986.
- [11] 田积莹,黄义端.子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗蚀性能指标的初步研究[J].土壤学报,1964,12(3):286-296.
- [12] 邱仁辉,杨玉胜.不同栽植代数杉木林土壤结构特性研究[J].北京林业大学学报,1998,20(4):6-11.
- [13] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1992.
- [14] 高智慧,陈顺伟,蒋妙定,等.亚热带岩质海岸不同类型植被的水土保持效益[J].浙江林学院学报,1999,16(4):380-386.
- [15] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [16] 李香云,王玉杰.不同植被类型对地表径流影响的灰色关联度分析[J].水土保持通报,2007,27(2):83-86.
- [17] 杨玉盛.杉木林可持续经营研究[M].北京:中国林业出版社,1998.
- [18] 杨玉盛,何宗明,林光耀,等.不同生物治理措施对赤红壤抗蚀性影响的研究[J].土壤学报,1999,36(4):528-535.