

任霞,严宁珍,程永毅,等.重庆溶洼一丘峰区土地利用类型对土壤抗蚀性的影响[J].中国岩溶,2020,39(6):829-835.  
DOI:10.11932/karst20200603

# 重庆溶洼一丘峰区土地利用类型对土壤抗蚀性的影响

任霞,严宁珍,程永毅,黄兴成

(西南大学资源环境学院,重庆400716)

**摘要:**以重庆鸡公山耕地、果园、撂荒地、灌草坡和林地5种土地利用类型为研究对象,通过野外采样调查与室内分析,采用主成分分析法对与土壤抗蚀性密切相关的11个常用指标进行筛选和综合评价,探讨不同土地利用类型下土壤抗蚀性能的变化状况和差异性。结果表明:研究区表征土壤抗蚀能力最优指标为: $>0.25$  mm团聚体破坏率、 $>0.25$  mm水稳性团聚体含量、团聚度、 $<0.01$  mm物理性黏粒含量、结构性颗粒指数和 $<0.001$  mm黏粒含量。依据提炼出的3个主成分,建立土壤抗蚀性综合评价模型,即 $Y(\text{综合指数})=0.712Y_1+0.157Y_2+0.131Y_3$ ,由此计算出土壤抗蚀性由强到弱为:林地 $>$ 灌草坡 $>$ 撂荒地 $>$ 果园 $>$ 耕地。建议区内适当退耕还林还草,减少人为扰动,以利于提高土壤的抗蚀性能和水土保持能力。

**关键词:**岩溶区;土地利用;土壤抗蚀性;主成分分析

中图分类号:S157.1 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)06-0829-07 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## 0 引言

土壤侵蚀是目前国内外普遍关注的重大环境问题。土壤侵蚀不仅造成侵蚀地区的土壤贫瘠,土地生产力下降,被侵蚀的泥沙还会造成下游河道、水库以及河口的淤积。中国朱显谟院士于1956年将土壤的抗侵蚀能力分为抗蚀性和抗冲性。土壤抗蚀性是评估土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一<sup>[1]</sup>,也是土壤侵蚀研究的重要内容之一。土壤侵蚀是自然和人为因素叠加的结果,人类活动是造成土壤侵蚀的主要原因<sup>[2]</sup>。近年来,土壤抗蚀性的研究工作多集中在黄土高原<sup>[3-4]</sup>,也取得了明显成效,而西南岩溶区环境特殊,生态脆弱,土层与基岩直接接触,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,土壤侵蚀严重<sup>[5]</sup>,加剧石漠化和土地

退化。受地质背景强烈制约和气候影响,西南岩溶区的土壤侵蚀主要是化学溶蚀、重力和流水侵蚀的综合侵蚀,表现为地面流失和地下漏失<sup>[6]</sup>。土地利用类型的变化能改变地表植被覆盖状况与植物类型,对土壤的管理措施也会发生改变。不同土地利用方式会导致土壤结构、孔隙状况及团聚体结构等土壤性质产生差异,因而其土壤抗蚀性也会不同<sup>[7]</sup>。前人从土壤的理化性质方面先后提出了很多评价土壤抗蚀性的指标,王佩将等<sup>[8]</sup>分析了黔中岩溶区土壤抗蚀性最佳指标为有机质等5个指标,并指出以灌草搭配的植被恢复模式比较适合岩溶区;肖盛杨等<sup>[9]</sup>研究了贵州岩溶高原峡谷区土壤的抗蚀性,筛选出6个最优指标,指出楸树林是最佳抗蚀性植被。而西南岩溶区的研究主要集中在滇黔桂等溶原一丘峰、高原区<sup>[10]</sup>,内容主要集中在不同治理措施和植被恢复过

资助项目:中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2009C065);重庆市科委项目(6759)

第一作者简介:任霞(1997-),女,硕士研究生,土壤学专业。E-mail:Xren2723@163.com。

通信作者:严宁珍(1971-),女,副教授。E-mail:yaningzhen@163.com。

收稿日期:2019-12-20

程中土壤的抗蚀性分析,对川东溶洼—丘峰岩溶区的土壤抗蚀性研究较少。重庆岩溶是由溶洼和丘峰组成狭窄的平行岭谷地貌<sup>[11]</sup>,碳酸岩出露在背斜核部,形成特有的“一山三岭两槽”或“一山两岭一槽”,其岩溶山地大多处于潜在和轻度石漠化<sup>[12]</sup>。近些年国家对生态环境效应愈加重视,20世纪末北碚区已开始进行大面积的退耕还林还草,在此大背景下以重庆鸡公山5种不同土地利用类型为研究对象,探讨不同土地利用类型下土壤的抗蚀性和退耕措施下土壤性质的变化特征,以期为重岩溶区的土壤侵蚀防治、合理调整和利用土地、生态重建等提供科学依据。

## 1 研究区概况

鸡公山位于重庆市北碚区(图1),海拔在500~877 m,气候湿润,云雾多,日照少,年均气温为18.3℃,年均降雨量为1200 mm左右,属亚热带季风湿润气候;受华蓥山帚状褶皱控制,背斜呈NNE-SSW向展布,属于川东溶洼—丘峰组成的“一山三岭两槽”式的平行岭谷地貌;碳酸盐岩层主要为三叠纪的嘉陵江组(T<sub>j</sub>)、飞仙关组(T<sub>f</sub>)和二叠纪的茅口组(P<sub>2m</sub>),出露面积达49.5 km<sup>2</sup>,分布在观音峡背斜的翼部与核部,经后期风化形成岩溶洼地,洼地内发育有溶沟、丘峰、溶斗等。

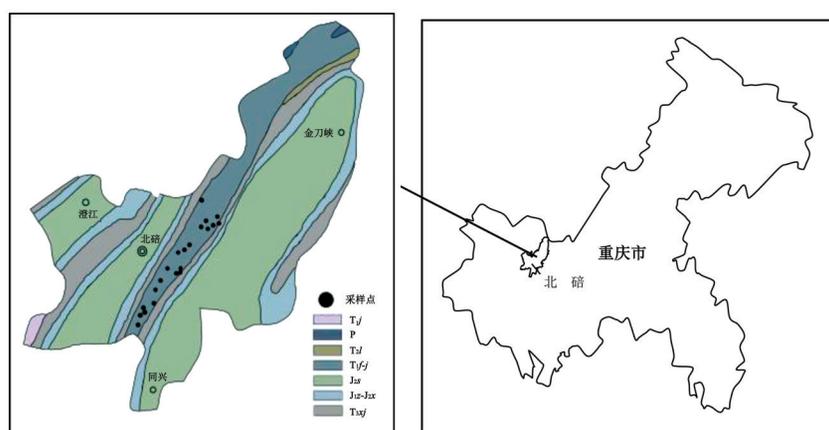


图1 研究区及样点位置示意图

Fig.1 Location of the study area and distribution of soil sampling sites

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集、指标测定及数据处理

为避免作物生长期施肥的影响,样品于秋季作物收割后采集,选取耕地、果园、撂荒地、灌草坡和林地5种土地利用类型(表1)。选择生境相似的3个样点,由于土壤抗蚀能力主要决定于表层土壤性质<sup>[13]</sup>,每个样点采集0~20 cm深的原状土,用环刀测

定土壤容重。取得的3个样品充分混合作为该层的供试样品,分成两份带回西南大学土壤分析实验室分析,一份用于测定土壤团聚体,另一份风干磨细后过0.25 mm筛,分别测定土壤有机质含量、微团聚体含量及机械组成。采用《土壤农化分析与环境监测》中的常规方法<sup>[14]</sup>,测定土壤有机质含量用重铬酸钾容量法(外热法),机械组成和微团聚体用吸管法,大团聚体用筛分法。

表1 北碚鸡公山样地基本情况

Table 1 Basic features of the samples plots

土地利用类型	母质类型	平均海拔/m	地貌	平均坡度/°	岩石裸露率/%	土壤类型	土层平均厚度/cm	植被
耕地	T <sub>j</sub> 、P <sub>2m</sub> 残冲积	660	槽谷平地	0	0	黄色石灰土	67	玉米—红苕等
果园	T <sub>j</sub> 残坡积	660	背斜山麓	8	5	黄色石灰土	>100	柑橘、枇杷等
撂荒地	T <sub>f</sub> 、P <sub>2m</sub> 残积	700	背斜山顶	17	20	棕色石灰土	36	野菊花、白茅等
灌草坡	T <sub>j</sub> 、T <sub>f</sub> 残坡积	713	背斜中丘	15	15	棕色石灰土	52	酸枣、野胡椒、杂草
林地	T <sub>f</sub> 残坡积	718	背斜中丘	10	5	棕色石灰土	>100	马尾松、油桐

数据分析处理采用 EXCEL2013 和 SPSS18.0 软件。图、表中的值均是 3 次重复实验的平均值。

## 2.2 抗侵蚀性指标选取

由于土壤抗蚀性并不是一个物理或化学的定量可测定指标,而是一个综合性因子。此次结合前人成果选取研究土壤抗蚀性常用的 11 个指标<sup>[8-9,15]</sup>,分别是:(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;(5)团聚度( $X_5$ )=[微团聚体(>0.05 mm)分析值-机械组成(>0.05 mm)分析值]/微团聚体(>0.05 mm)分析值;(6)分散率( $X_6$ )=微团聚体(<0.05 mm)分析值/机械组成(<0.05 mm)分析值;(7)>0.25 mm 水稳性团聚体含量( $X_7$ ),%;(8)湿筛团聚体平均重量直径(MWD<sub>湿</sub>)( $X_8$ ),mm,计算采用希勒尔 D.<sup>[16]</sup>推导的公式: $MWD_{湿} = \sum X_i W_i (i = 0, 1, 2, \dots, n)$ ,式中  $X_i$  为湿筛每一级别团聚体的平均直径(mm), $W_i$  为湿筛每一级别团聚体的重量百分数;(9)>0.25 mm 团聚体破坏率( $X_9$ )=(干筛>0.25 mm-湿筛>0.25 mm)/(干筛>0.25 mm),%;(10)有机质含量( $X_{10}$ ), $g \cdot kg^{-1}$ ;(11)土壤容重( $X_{11}$ ), $g \cdot cm^{-3}$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 抗蚀性指标筛选

影响土壤抗蚀性的因素很多,不同研究区指标的选取有一定差异。选取的 11 个指标间可能有信息重叠或交叉,因此采用主成分分析法提取较少指标代替原有指标,并尽可能保留原有指标的信息量,以最佳指标对土壤的抗蚀性进行评价。由表 2 可知,前 3 个主成分累计方差达贡献率为 87.397%,损失 12.603%,且特征根都大于 1,满足主成分分析的要求,这说明提取的 3 个主成分基本能反映土壤抗蚀能力的强弱。表 2 中旋转前第一主成分中方差贡献率为 59.273%, $X_9$ 、 $X_7$ 、 $X_5$ 、 $X_2$  因子载荷较高,第二主成分中方差贡献率为 17.591%, $X_3$ 、 $X_4$  因子载荷较高,第三主成分中方差贡献率为 10.533%, $X_{11}$  载荷最高;旋转后第一、二、三主成分中方差贡献率分别为 38.760%、29.697%、19.941%,因子载荷较高的为  $X_5$ 、 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_9$ 、 $X_7$ 、 $X_4$ 、 $X_3$ 。因此, $X_9$ 、 $X_7$ 、 $X_5$ 、 $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_3$  是评价重庆溶洼—丘峰区土壤抗蚀性最优综合指标,即>0.25 mm 团聚体破坏率越小,>0.25 mm 水稳性团聚体含量、团聚度、<0.01 mm 物理性黏粒含量、结构性颗粒指数和<0.001 mm 黏粒含量越高,土壤的抗侵蚀能力越强。

表 2 研究区抗蚀性指标旋转前后的因子载荷阵

Table 2 Nonrotated and rotated component matrix of selected-common closely antierodibility indexes in study area

	旋转前			旋转后		
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
$X_1$	0.764	0.003	0.434	0.841	0.161	0.197
$X_2$	0.822	0.195	0.386	0.825	0.148	0.402
$X_3$	0.748	0.648	-0.070	0.397	0.222	0.882
$X_4$	0.551	0.754	-0.221	0.139	0.162	0.935
$X_5$	0.888	-0.090	0.351	0.882	0.332	0.179
$X_6$	-0.697	0.150	-0.217	-0.661	-0.334	-0.082
$X_7$	0.892	-0.261	-0.184	0.533	0.770	0.146
$X_8$	0.759	-0.428	-0.115	0.509	0.714	-0.071
$X_9$	-0.911	0.196	0.212	-0.518	-0.773	-0.217
$X_{10}$	0.693	-0.195	-0.265	0.327	0.678	0.147
$X_{11}$	-0.471	0.013	0.659	0.128	-0.736	-0.313
特征根	6.3	1.385	1.159	3.714	3.047	2.084
方差贡献率/%	59.273	17.591	10.533	38.760	29.697	19.941
累计贡献率/%	59.273	76.864	87.397	38.760	68.456	87.397

### 3.2 抗蚀性指标特征分析

#### 3.2.1 土壤颗粒组成特征

土壤颗粒是土壤结构的重要组成部分,不仅影响土壤的物理、化学和生物学过程,还影响土壤性质和抗蚀性能<sup>[17]</sup>。土壤中的砂粒(>0.05 mm)含量愈高,越利于水分和养分下渗;黏粒(<0.001 mm)含量愈高,土壤的持水和保水能力越强。

研究区土壤机械组成分析结果(表3)表明,土壤颗粒主要集中在<0.05 mm的范围内,属于黏质至壤质土壤;砂粒(>0.05 mm)含量由高到低是耕地>灌草

坡>撂荒地>果园>林地,且差异显著,最易侵蚀的是0.05~0.25 mm的颗粒,由23.42%减少到9.03%,降幅达61.44%,与林昌虎<sup>[18]</sup>对砂页岩土壤粒级侵蚀的研究结果相符,即土壤最易受侵蚀的粒级是0.25~1.00 mm,其次是0.05~0.25 mm。<0.001 mm黏粒和<0.01 mm物理性黏粒含量都是灌草坡和林地较高,耕地最低,二者具有显著的差异。由图2可知,>0.05 mm、<0.01 mm和<0.001 mm颗粒含量在不同土地利用类型下的变化趋势,耕地、果园转化为灌草坡、林地后土壤表层砂粒含量减少,黏粒含量增加,结构性颗粒指数增大,土壤的抗侵蚀能力增强。

表3 不同土地利用类型下的土壤颗粒组成特征(1987年中国粒级制)

Table 3 Particle size composition under different land use types

土地利用类型	不同粒级含量/%					结构性颗粒指数
	0.01~0.05 mm	0.001~0.01 mm	<0.001 mm	<0.01 mm	>0.05 mm	
耕地	17.39bc	32.49a	26.7b	59.19c	23.42a	0.55b
果园	22.82a	36.32a	28.66ab	64.98abc	12.21bc	0.5b
撂荒地	19.83ab	34.52a	29.26ab	63.78bc	16.39b	0.57b
灌草坡	13.65c	31.65a	37.46a	69.11ab	17.24b	0.83ab
林地	19.99ab	34.73a	36.24a	70.98a	9.03c	0.67a

注:LSD法检验,表中不同小写字母均表示植被类型间差异达显著水平,下同。

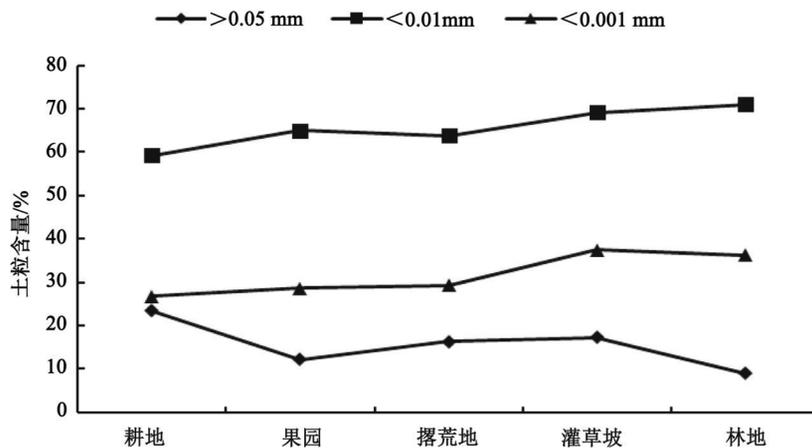


图2 不同土地利用类型下土粒含量变化

Fig.2 Variation of soil particle content under different land use types

#### 3.2.2 土壤团聚体特征

水稳性团聚体对土壤的通气、透水、蓄水和养分的保存等都具有良好作用,其数量和分布状况反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀的能力<sup>[19]</sup>,是评价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,被径流带走的泥沙少<sup>[20]</sup>。由图3可知,水稳

性团聚体主要以1~3 mm和0.25~1.00 mm为主,占55%以上。土样浸水后,>5 mm团聚体含量明显减少,其中耕地降幅最大为89.02%,灌草坡最小为50.45%。>0.25 mm水稳性团聚体含量由高到低依次为:灌草坡>林地>撂荒地>果园>耕地。灌草坡和林地中大粒级团聚体(>0.25 mm)分别占85.85%和82.68%,而耕地只占58.57%,明显低于灌草坡,说明区内灌草坡和林地土壤的团聚性能较好,抗侵蚀能

力较强,耕地土壤最差,其团聚体的结构破坏率也说明了这一点。可见,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。Puget 等<sup>[21]</sup>研究发现大团聚体比小团聚体的碳、氮、有机质含量高,含小粒径团聚体较多的土壤结构较差,抗侵蚀的能力也较弱。

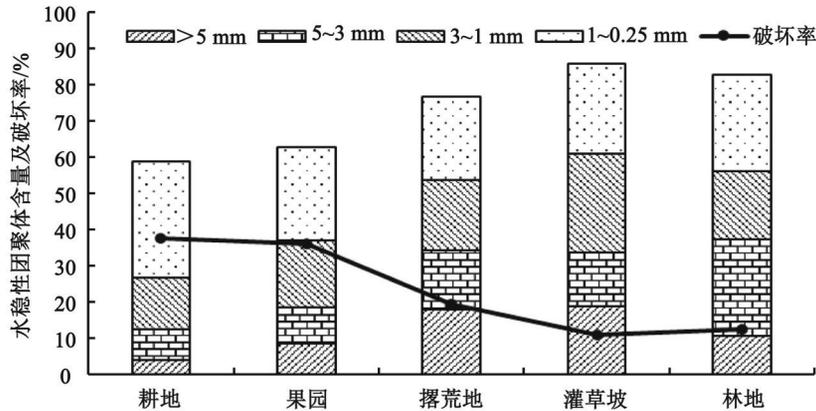


图3 不同土地利用类型水稳性团聚体变化特征

Fig.3 Variation characteristics of water-stable aggregates in different land use types

### 3.2.3 抗蚀性其他指标特征

MWD<sub>湿</sub>是反映土壤团聚体大小分布状况的综合指标,MWD<sub>湿</sub>值越大,表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强,土壤抵抗雨滴、径流分散的能力越强<sup>[22]</sup>。MWD<sub>湿</sub>大小变化与>0.25 mm水稳性团聚体含量变化顺序相同,均为灌草坡>林地>撂荒地>果园>耕地,且耕地、果园与草坡、撂荒地和林地具有显著性差异。>0.25 mm水稳性团聚体含量是土壤中最好的结构体,其含量的高低可反映土壤结构的稳定性,含量越高土壤的抗侵蚀能力越强,是衡量土壤抗侵蚀能力的指标之一<sup>[8-10]</sup>。

土壤有机质是水稳性团聚体的主要胶结剂,能够促进土壤中团聚体结构的形成,增加土壤的疏松性、通气性和透水性,对于提高土壤的抗蚀能力具有重要作用<sup>[1]</sup>。研究区内林地有机质含量最高,耕地最低,比林地降低了46.57%,这是由于林地地表植物丰富多样,林下枯落物多,腐殖质层较厚,碳积蓄丰富,而耕地在秋季作物收获后取样,人工施肥对土壤有机质影响很小,导致有机质含量较小。但本研究有机质含量不作为土壤抗蚀性的最佳指标,Mallick等<sup>[23]</sup>研究表明,土壤的有机质与土壤抗蚀性没有相关性。

土壤容重是表征土壤紧实度的指标。土壤容重越小,表明土壤越疏松,孔隙愈多,孔隙性及结构性越好,越有利于降水入渗,减缓径流冲刷,抗蚀能力越强。由表4可知,林地容重最小,果园最大,灌草坡

与撂荒地相当;受人为干扰较小的林地、灌草坡和撂荒地受人为干扰较大的耕地和果园的容重差异显著。这是由于干扰小的土地利用方式人为的踩踏很少,且有大量的落叶增加了土壤的通气透水性。

表4 不同土地利用类型下其他指标特性

Table 4 Other indexes characteristics under different land use types

类型	>0.25 mm 水稳性团聚体/%	MWD <sub>湿</sub> /mm	有机质/g·kg <sup>-1</sup>	容重/g·cm <sup>-3</sup>
耕地	58.57c	1.05b	27.98c	1.20a
果园	62.61c	1.38b	32.81bc	1.23a
撂荒地	76.69b	2.08a	38.96b	1.17ab
灌草坡	85.85a	2.17a	42.02b	1.18ab
林地	82.69ab	2.13a	52.37a	1.10b

### 3.3 抗蚀性指标综合评价

运用主成分分析对选取的11个指标(表5)进行综合评价(表6)。计算出各主成分的表达式分别为:

$$Y_1 = 0.304ZX_1 + 0.327ZX_2 + 0.298ZX_3 + 0.220ZX_4 + 0.354ZX_5 - 0.278ZX_6 + 0.355ZX_7 + 0.302ZX_8 - 0.363ZX_9 + 0.276ZX_{10} - 0.188ZX_{11};$$

$$Y_2 = 0.003ZX_1 + 0.166ZX_2 + 0.551ZX_3 + 0.641ZX_4 - 0.076ZX_5 + 0.127ZX_6 - 0.222ZX_7 - 0.364ZX_8 + 0.167ZX_9 - 0.166ZX_{10} + 0.011ZX_{11};$$

$$Y_3 = 0.403ZX_1 + 0.359ZX_2 - 0.065ZX_3 - 0.205ZX_4 + 0.326ZX_5 - 0.202ZX_6 - 0.171ZX_7 - 0.107ZX_8 + 0.197ZX_9 - 0.246ZX_{10} + 0.612ZX_{11}。$$

表5 不同土地利用类型11个指标特性  
Table 5 11 indexes characteristics under different land use types

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
耕地	76.58	59.19	26.7	0.55	48.84	69.42	58.57	1.05	37.56	27.98	1.20
果园	87.79	64.98	28.66	0.50	66.66	72.02	62.61	1.38	36.00	32.81	1.23
撂荒地	83.61	63.78	29.26	0.57	70.24	53.69	76.69	2.08	19.34	38.96	1.17
灌草坡	82.76	69.11	37.46	0.83	71.73	46.04	85.85	2.17	10.91	42.02	1.18
林地	90.97	70.98	36.24	0.67	85.10	56.92	82.69	2.13	12.33	52.37	1.10

表6 不同利用类型下土壤抗蚀性综合指数  
Table 6 Synthetic index of soil anti-erodibility under different land use types

类型	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y$	排序
耕地	-2.465	0.379	-0.268	-1.732	5
果园	-0.947	0.101	1.163	-0.506	4
撂荒地	0.924	-0.827	-0.054	0.522	3
灌草坡	2.610	0.365	-0.256	1.883	2
林地	3.197	-0.230	-0.186	2.217	1

由每个主成分对应的特征值占所提取的主成分总的特征值的比重作为权重,得到综合主成分模型: $Y=0.712Y_1+0.157Y_2+0.131Y_3$ ,据此计算不同土地利用类型综合主成分分值。在土壤抗蚀性的评价中,综合指数越高,土壤抗蚀性越强;综合指数为负表明土壤抗蚀性水平低于平均水平,是评价指标标准化的结果。通过综合主成分评价得到土壤抗蚀性顺序为:林地>灌草坡>撂荒地>果园>耕地,耕地土壤抗蚀性能最差,林地最好。分析认为人工干预力度越大的土地利用类型,土壤的抗蚀能力越弱;灌丛在坡面上有着“肥力岛屿”效应,在恢复土壤性质中有较好作用,同时也可降低土壤侵蚀,减少水土流失,改善土壤质量<sup>[24]</sup>;与耕地相比,退耕还林还草过程中土壤抗蚀性均有所增加,可见退耕还林还草可以增强土壤的抗蚀性。

## 4 结论

(1)重庆鸡公山的土壤属于黏质至壤质土壤,最易侵蚀的颗粒为0.05~0.25 mm;从耕地到灌草坡再到林地,土壤表层砂粒含量减少,黏粒含量增加,结构性颗粒指数增大。评价鸡公山溶洼—丘峰区土壤抗蚀能力的最优指标有6个,>0.25 mm团聚体破坏率越小,>0.25 mm水稳性团聚体含量、团聚度、<0.01 mm物理性黏粒含量、结构性颗粒指数和<0.001 mm黏粒含量越高,土壤的抗侵蚀能力越强;

(2)由选取的与土壤性质密切相关的11个指标,提炼出3个主成分,其累积方差贡献率达87.397%,可较全面地描述土壤的抗蚀性能;确定的土壤抗蚀性综合评价模型为: $Y=0.712Y_1+0.157Y_2+0.131Y_3$ ,得出不同土地利用类型下土壤抗蚀性的强弱顺序为:林地>灌草坡>撂荒地>果园>耕地;在溶洼—丘峰区,退耕还林还草有利于减少水土流失,增加土壤的抗侵蚀能力。

## 参考文献

- [1] 沈慧,姜凤岐,杜晓军,等.水土保持林土壤抗蚀性能评价研究[J].应用生态学报,2000,11(3):345-348.
- [2] 李阳兵,侯建筠,谢德体.中国西南岩溶生态研究进展[J].地理科学,2002,22(3):365-371.
- [3] 李程程,曾全超,贾培龙,等.黄土高原土壤团聚体稳定性及抗蚀能力经度变化特征[J].生态学报,2020,40(6):2039-2048.
- [4] 郭建英,李锦荣,刘铁军,等.退耕还林工程建设对吴起县土地利用/覆被变化及其土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2013,20(5):1-6.
- [5] 李阳兵,王世杰,谭秋,等.喀斯特石漠化的研究现状与存在的问题[J].地球与环境,2006,34(3):9-14.
- [6] 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.
- [7] 杨玉梅.不同土地利用方式下土壤抗蚀与抗冲性研究[D].成都:四川农业大学,2010:4.
- [8] 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.
- [9] 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):25-31.
- [10] 张华渝,王克勤,宋娅丽,等.滇中尖山河流域不同土地利用类型土壤抗蚀性[J].水土保持学报,2019,33(5):50-57.
- [11] 中国科学院地质研究所岩溶研究组著.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1979.
- [12] 李月臣,杨华.重庆市石漠化灾害特征及防治分区研究[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(2):134-137.
- [13] 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[J].水土保持学报,2002,16(1):112-115.
- [14] 杨剑虹,王成林,代亨林.土壤农化分析与环境监测[M].北

- 京:中国大地出版社,2008.
- [15] 白秀梅,韩有志,郭汉清.关帝山不同植被恢复类型土壤抗蚀性研究[J].水土保持学报,2014,28(2):79-84.
- [16] 希勒尔 D.土壤物理学概论[M].尉庆丰,荆家海,王益权,等,译.西安:陕西人民教育出版社,1988.
- [17] 赵辉,陈国玉,解明曙,等.湖南武水流域不同土地利用类型土壤结构分形特征研究[J].土壤通报,2009,40(5):993-997.
- [18] 林昌虎.砂页岩山地土壤粒级侵蚀规律的研究[J].水土保持学报,1993,7(1):1-10.
- [19] 袁俊吉,蒋先军,胡宇,等.不同植被覆盖对养分在土壤水稳性团聚体中分布特征的影响[J].水土保持学报,2009,23(6):112-122.
- [20] 张果.我国可持续发展与水土流失治理[J].四川师范大学学报(自然科学版),1997,20(4):140-144.
- [21] PUGET P, ANGERS D A, CHENU C. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 31(1):55-63.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等.坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J].生态学报,2003,23(3):414-419.

## Effects of different land use types on soil anti-erodibility in Chongqing karst depression and karst-hill peak areas

REN Xia, YAN Ningzhen, CHENG Yongyi, HUANG Xingcheng

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract** The karst area in southwest China is the largest one, which is mainly located in Yunnan Province, Guizhou Province and Sichuan Province. Beibei district of Chongqing belongs to subtropical monsoon humid climate, and is controlled by the brush fold of Huayin mountain. Its geological structure is the parallel ridge valley landform of "one hill three ridge two valley", which is composed of karst depression-hills in eastern Sichuan. The carbonate rocks are mainly Triassic Jialingjiang formation ( $T_j$ ), Feixianguan formation ( $T_f$ ) and the Permian Maokou formation ( $P_2m$ ). The developed soil is yellow and brown calcareous soil. Under the influence of geology and climate, the soil is seriously eroded by chemical dissolution, gravitational and fluvial erosion. In order to explore the changes and differences of soil anti-erodibility under different land use types, and provide scientific basis for soil erosion control and ecological reconstruction in karst area of Chongqing. The topsoils of 5 land use types, including cultivated land, abandoned land, shrub-grass slope land, forest land and orchard, were selected in depression-hill peak area of Jigong karst mountain in Chongqing. Through the combination of field survey and lab analysis, 11 common closely indexes related soil anti-erodibility were screened and comprehensive evaluated using the principal component analysis method. The results show that: the soil in the study area belongs to clayey to loamy soil, and the most easily eroded particles ranged from 0.05 to 0.25 mm. The optimal indexes on behalf of soil anti-erodibility are >0.25 mm aggregate destruction rate, >0.25 mm water stable aggregate content, degree of aggregation, <0.01 mm physical clay content, structural particle index and <0.001 mm clay content. That is, the lower the aggregate destruction rate >0.25 mm, the higher the content of water stable aggregates content of >0.25 mm, the degree of aggregation, the physical clay content <0.01 mm, the structural particle index and the clay content of <0.001 mm, the stronger the anti-erodibility of karst soil. According to the synthetic index analysis, 3 principal components are extracted and the comprehensive evaluation model of soil anti-erodibility was established. The order of evaluation of soil anti-erodibility was, forest land > shrub-grass slope land > abandoned land > orchard > cultivated land. It is suggested that appropriate returning cultivated land to forest or grassland in the karst area will help to reduce water and soil loss, and reasonably human activities can improve soil anti-erodibility and capacity of water and soil conservation.

**Key words** karst area, land use types, soil anti-erodibility, principal component analysis

(编辑 黄晨晖)