

# 盱眙火山岩丘陵区不同林地土壤抗蚀性评价

谈正鑫, 万福绪, 张波

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210000)

**摘要:**以盱眙火山岩丘陵区5种不同的人工林(杨树林、杨梅林、朴树林、墨西哥柏林、桃树林)为研究对象,通过对土壤水稳性团聚体特征、有机质含量等指标的测定与分析,研究了人工林对土壤可蚀性的影响。对林地土壤的抗蚀性指标进行主成分分析和相关性分析将10个抗蚀指标降到了4个: $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量、团聚体稳定性指数、有机质含量。并运用回归分析建立了不同林分下土壤抗蚀性综合评价模型 $Y=0.073X_4+1.066X_5+9.261X_9+0.554X_{10}-64.939$ 。结果表明杨树林地土壤的抗蚀性在5种林分中是最好的。

**关键词:**土壤抗蚀性;主成分分析;评价模型

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0007-05

## Evaluation of Soil Antierodibility of Different Forests in Volcanic Hilly Land of Xuyi County

TAN Zhengxin, WAN Fuxu, ZHANG Bo

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forest University, Nanjing 210000, China)

**Abstract:** The soil erodibility of five artificial forestlands in volcanic hilly land of Xuyi County, such as *Populus L.*, *Amygdalus persica L.*, *Myrica rubra (Lour) S. et Zucc.*, *Celtis sinensis Pers.*, *Cupressus lusitanica*, were investigated by measuring and analyzing the characters of soil water-stable aggregates and organic matter contents. Principal component analysis (PCA) and correlation analysis were used to examine the anti-erodibility of forest soils in 5 different types of forestlands. The result shows that 10 indexes can be reduced to the 4 ones, which are  $>0.25\text{ mm}$  and  $>0.5\text{ mm}$  water-stable aggregates, soil aggregate stability index, content of soil organic matter. Then we can build the comprehensive evaluation model of different forests, anti-erodibility, the comprehensive antierodibility( $Y=0.073X_4+1.066X_5+9.261X_9+0.557X_{10}-64.939$ ). It is suggested that the antierodibility of *Populus L.* forestland is the best.

**Keywords:** soil antierodibility; principal component analysis; evaluation model

土壤抗蚀性是评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一,土壤抗蚀性是指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力,其大小不仅与土壤内在的理化性质密切相关,受到受各种自然和人为活动的影响<sup>[1]</sup>。但是由于土壤抗蚀性并不是一个简单的物理或化学的定量可直接测定指标,而是一个综合性因子,关于土壤抗蚀性因的评价还未找到较普遍试用的指标。因此,只能在一定的控制条件下通过实际测定土壤流失量或测定土壤某些性质作为土壤抗蚀性指标,从而达到估价土壤可蚀性的目的<sup>[2-4]</sup>。目前国内主要从土壤抗蚀性机理,影响因素和指标体系等方面进行了研究,对土壤抗蚀性研究指标的选取上,大多学者以土壤的颗粒组

成、有机质含量、水稳性指数,以及表征土壤团聚体特征的分散系数、分散率、团聚状况、团聚度等指标为主,也有学者研究土壤抗蚀性能与土壤理化性质的关系,来综合分析土壤的抗蚀性能。但由于土壤抗蚀性受土壤类型、植被、气候、地形等多因子的影响较大,且时空变异性较大,至今仍未取得普遍适用的指标<sup>[4-5]</sup>。国内关于土壤抗蚀性的研究主要集中在黄土高原地区,许多研究认为土壤有机质含量、水稳性团聚体含量和黏粒含量是反映黄土高原土壤抗蚀性的最佳指标<sup>[6-7]</sup>。但是火山岩地区与其它地区相比有着土壤土层薄,土壤粘重,表层土疏松,容重小,保水持水能力差的特点,容易受到侵蚀<sup>[8]</sup>。目前对于苏南火

山岩丘陵山区不同植被类型下土壤抗蚀性的研究鲜见报道,能够反映火山岩地区土壤抗蚀性的最佳指标无从得知。本文对盱眙火山岩丘陵山区典型林地土壤抗蚀性进行了研究,以期选出合适当地土壤抗蚀性评价的指标体系,分析当地主要植被类型的土壤抗蚀性,为水土流失的防治提供科学依据和理论指导。

## 1 研究区概况

研究区位于江苏省盱眙县月亮山,地处北亚热带与暖温带过渡区域,属季风性湿润气候。四季分明,季际、年际变异性突出,年平均日照总量 2 222.4 h,平均气 14.7℃,无霜期 215 d,年平均降水量 1 005.4

mm。温差 0.4℃,土壤由火山岩发育形成,以地带性土壤黄棕色壤面积最大,占 36.2%,其次是火山灰土和水稻土以及部分潮土和沙姜土。盱眙全县现有成片林 11 867 万 hm<sup>2</sup>,农田林网 2 169 万 hm<sup>2</sup>,“四旁”树木保存 1 058 万株,森林覆盖率 18.3%。活立木总蓄积量 90.3 万 m<sup>3</sup>,年生长量 16.85 万 m<sup>3</sup>。

该研究区主要树种为桃树(*Amygdalus persica* L.)、杨梅(*Myrica rubra* Lour. S. et Zucc)、枇杷(*Eriobotrya japonica* Thunb. L)、榉树(*Zelkova serrata* Thunb. Makinoz)、杨树(*Populus* L)、朴树(*Celtis sinensis* Pers)和墨西哥柏(*Cupressus lusitanica*)。样地基本状况见表 1。

表 1 试验地基本情况

林地	林龄/a	平均胸径/cm	平均树高/m	枯落物厚度/cm	草本覆盖度/%	坡向	坡度/(°)	土壤类型
杨树	7	13.10	9.40	3.30	75	西北	34	黄棕壤
杨梅	4	10.64	2.65	1.10	30	东南	18	黄棕壤
朴树	5	8.16	4.60	2.80	70	东北	23	黄棕壤
墨西哥柏	3	3.7	1.84	0.90	40	东北	25	黄棕壤
桃树	5	4.75	1.93	1.90	25	西北	22	黄棕壤

## 2 试验材料与方法

### 2.1 样品采集和分析

1) 样地的选择:本研究选择 5 种在盱眙县月亮山具有代表性的人工林类型,每个林地建立 3 个 20 m×20 m 样方进行常规调查。

2) 用 S 形采样法从样方中选取 3 个取样点,分别采取 0—20,20—40 cm 原状土(该地区土层较薄),每层取三个土样,样品带回室内,拣去石砾、植物根系和碎屑,风干。

3) 土壤机械组成采用 Microtrac S3500 激光粒度仪测定;土壤有机质采用重铬酸钾加热法<sup>[9]</sup>;采用干筛法和湿筛法测定>0.25 mm 水稳性团聚体含量和>0.5 mm 水稳性团聚体含量<sup>[10]</sup>;

4) 采用 SPSS 分析软件,使用主成分分析和聚类分析的方法对数据进行分析。

### 2.2 评价指标的选择

衡量的土壤抗蚀性的指标很多,挑选出 3 类与土壤抗蚀性密切相关的抗蚀性指标<sup>[11]</sup>,各项指标具体如下:

2.2.1 无机黏粒类指标,可以反映出土壤的结构状况,与土壤的渗透性和蓄水能力有很大联系<sup>[12]</sup>。

- 1) <0.05 mm 粉黏粒含量(%)(X<sub>1</sub>);
- 2) <0.01 mm 物理性黏粒含量(%)(X<sub>2</sub>);
- 3) <0.001 mm 胶粒含量(%)(X<sub>3</sub>);

2.2.2 水稳性团聚体类指标,能够体现出土壤的团

聚度和稳定性<sup>[13]</sup>。

4) >0.5 mm 水稳性团聚体(%)(X<sub>4</sub>)

5) >0.25 mm 水稳性团聚体(%)(X<sub>5</sub>)

6) 结构性颗粒指数(X<sub>6</sub>)结构性颗粒指数=黏粒含量(<0.001 mm)/细粉粒、中粉粒、粗粉粒含量之和(<0.001~0.05 mm)

7) 团聚体分散率(X<sub>7</sub>)团聚体分散率(%)≥0.25 mm 团粒含量(干筛—湿筛)/>0.25 mm 干筛团粒含量×100

8) 团聚体分形维数水稳性指数 D(X<sub>8</sub>)

$$D=3-\frac{\lg(W_i-W_0)}{\lg(d_i-d_{\max})}$$

式中:d<sub>max</sub>——最大粒径的平均直径,W(D<d<sub>i</sub>)是水稳性团聚体直径小于 d<sub>i</sub> 累积的重量;W<sub>0</sub>——全部各粒径水稳性团聚体的重量和,则 W(D>d<sub>max</sub>)=0<sup>[14-15]</sup>。

9) 团聚体稳定性指数 ASI(X<sub>9</sub>)采用转移矩阵法计算<sup>[16]</sup>。

2.2.3 有机质类指标,有机质可以提高土粒之间的黏结力,与土壤的团聚状况有密切关系。

10) 有机质(g/kg)(X<sub>10</sub>)

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤抗蚀性主成分分析

用于衡量土壤抗蚀性的指标体系尽管比较全面,但是由于研究的区域以及其它各种条件的差异,对抗蚀性指标的选用也多种多样,且一些指标之间信息重叠,相互之间有一定的关联性。因此,根据各指标测

定值对各样地土壤抗蚀性指标进行主成分分析,以优化表征该区土壤抗蚀性的指标<sup>[17-18]</sup>。

本文选取<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 胶粒含量( $X_3$ );>0.5 mm 水稳性大团聚体含量( $X_4$ );>0.25 mm 水稳性团聚体含量( $X_5$ );结构性颗粒指数( $X_6$ );团聚体分散率( $X_7$ );水稳性团聚体分形维数( $X_8$ );团聚体稳定指数( $X_9$ );有机质含量( $X_{10}$ )10 个有关土壤抗蚀性的指标(表 2)对盱眙火山岩丘陵山区五种典型林分林地土壤的抗蚀性进行主成分分析。

表 2 不同林地土壤抗蚀性指标

林地类型	土层/cm	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
杨树	0—20	56.2	32.2	13.94	22.01	78.76	0.33	11.076	2.496	3.52	28.751
	20—40	50.15	27.67	13.71	18.87	71.88	0.376	14.652	2.576	3.78	11.056
杨梅	0—20	52.61	27.93	12.78	4.35	40.69	0.321	49.131	2.73	2.24	16.317
	20—40	51.49	23.34	13.04	7.02	35.83	0.339	57.146	2.764	2.33	7.913
朴树	0—20	58.41	37.83	12.4	19.46	66.37	0.27	21.493	2.574	3.55	24.141
	20—40	60.47	35.49	12.78	7.74	53.65	0.268	31.673	2.687	2.94	11.351
墨西哥柏	0—20	53.63	29.2	14.62	14.3	52.44	0.375	35.72	2.688	2.91	14.365
	20—40	52.12	30.49	13.86	6.11	41.3	0.362	45.985	2.735	2.3	9.822
桃树	0—20	60.48	33.53	9.92	6.44	57.32	0.196	33.287	2.637	2.48	18.379
	20—40	59.12	28.83	10.36	7.89	49.4	0.212	31.14	2.698	2.45	8.041

表 3 不同林地土壤抗蚀性总方差分析结果

成份	初始特征值		
	合计	方差/%	累积/%
1	5.502	55.019	55.019
2	3.114	31.143	86.161
3	0.677	6.770	92.931
4	0.451	4.509	97.440
5	0.112	1.119	98.558
6	0.100	1.002	99.560
7	0.030	0.303	99.863
8	0.011	0.107	99.970
9	0.003	0.030	100.000
10	0.000	0.000	100.000

从表 3 可以看出贡献率为 55.019%第一个主成分中,>0.5 mm 水稳性团聚体,>0.25 mm 水稳性团聚体,水稳性团聚分形维数这 3 个指标因子负荷较大,故可称为水稳性团粒类因子;在贡献率为 31.143%第二主成分中,<0.001 mm 胶粒含量、结构性颗粒指数这 2 个指标因子负荷较大,故可称为无机黏粒类因子。

3.2 抗蚀效应分析

根据主成分分析结果,从表 4 中未旋转的分系数矩阵,可以得到第一、二主成分的函数表达式为:  

$$Y_1 = 0.286X_1 + 0.605X_2 + 0.140X_3 + 0.900X_4 + 0.978X_5 - 0.032X_6 - 0.948X_7 - 0.978X_8 + 0.909X_9 + 0.766X_{10};$$

从表 2 可以看出前两个主成分  $Y_1, Y_2$  的累计贡献率已经达到百分之 86.161%,信息量只损失 13.839%,且前 2 个主成分的特征值均大于 1,符合主成分分析对信息损失量的要求,故抗蚀性指标由原来的 10 维降到了 2 维,选用前 2 个主成分来衡量土壤抗蚀性,这样在损失很少信息量的前提下把多个指标转化成了两个综合指标。为了便于因子的意义的解释和因子命名,使用最大方差法对矩阵进行旋转,使各系数向 0 和 1 两级分化,未旋转和旋转后的主成分矩阵见表 3。

$$Y_2 = -0.909X_1 - 0.549X_2 + 0.894X_3 + 0.357X_4 + 0.034X_5 + 0.983X_6 + 0.035X_7 - 0.012X_8 + 0.278X_9 - 0.114X_{10}。$$

表 4 不同林地抗蚀性分析成分矩阵

指标	成分矩阵		旋转成分矩阵	
	1	2	1	2
<0.05 mm 粉黏粒含量	0.286	-0.909	0.196	-0.933
<0.01 mm 物理性黏粒含量	0.605	-0.549	0.549	-0.605
<0.001 mm 胶粒含量	0.140	0.894	0.227	0.876
>0.5 mm 水稳性团聚体	0.900	0.357	0.930	0.268
>0.25 mm 水稳性团聚体	0.978	0.034	0.977	-0.062
结构性颗粒指数	-0.032	0.983	0.064	0.982
团聚体分散率	-0.948	0.035	-0.940	0.127
水稳性团聚分形维数	-0.978	-0.012	-0.974	0.083
团聚体稳定指数	0.909	0.278	0.932	0.188
有机质	0.766	-0.114	0.751	-0.188

由表 3 可知,第一、二主成分贡献率分别为 55.019%和 31.143%,根据主成分提供信息量所占权重可以得到土壤综合抗蚀指数  $Y = 0.639Y_1 + 0.361Y_2$ ( $Y_1$  为水稳性团粒因子, $Y_2$  为无机黏粒类因子),通过计算可以得出各林地下土壤的综合抗蚀指

数,见表 5,综合土壤抗蚀平均综合指数从小到大依次为杨树林>朴树林>桃树林>墨西哥柏林>杨梅林,阔叶落叶林下土壤综合抗蚀指数普遍比常绿林的大,综合表 1 可以发现阔叶林下>0.5 mm 水稳性团聚体和>0.25 mm 水稳性团聚体的含量都比较大,可以在很大程度上提高土壤的抗蚀性,并且落叶林下枯落物丰富,一方面可以缓冲雨水动能,避免雨水溅击而导致土壤结构破坏,分解后的有机质也可以有效的改良土壤的团聚状况,提到土壤团聚体的稳定性。两种经济作物林下的土壤抗蚀性都比较低,这可能是由于经济林下人为扰动较大,导致土壤结构受到人为的破坏,土壤团聚体稳定性下降,抗蚀性降低。

3.3 土壤抗蚀性指标相关关系

通过对 10 个土壤抗蚀指标之间的相关分析以及与土壤抗蚀综合指数之间的相关性分析(表 6)可以发现:团聚体类指标和有机质含量均与土壤抗蚀性综合指数显著相关或极显著相关;其中>0.5 mm 水稳性团聚体含量,>0.25 mm 水稳性团聚体含量,团聚体稳定性指数呈正相关(相关系数分别为 0.924,0.986,0.930),说明>0.5 mm 水稳性团聚体,>0.25 mm 水

稳性团聚体含量越高,团聚体稳定性越强,土壤抗蚀性能越好。团聚体分散率和水稳性团聚体分形维数与土壤抗蚀性综合指数呈负相关(-0.946,-0.980),说明团聚体分散率和分形维数越低,土壤的团聚状况越好,团聚体越稳定,抗蚀性越强。有机质含量与土壤抗蚀性综合指数呈正相关(0.736),土壤的有机质含量越高,越有利于土壤团聚体的形成,这是由于它们有助于提高土粒之间的黏结力,改善土壤团粒结构,改良土壤理化性质,从而间从间接地影响着土壤的抗蚀性。

表 5 不同林地综合抗蚀指数

林地类型	土层/cm	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	综合抗蚀指数 Y
杨树	0—20	146.56	-48.25	76.23
	20—40	115.72	-39.03	59.85
杨梅	0—20	42.67	-48.52	9.75
	20—40	23.27	-42.43	-0.45
朴树	0—20	122.51	-55.08	58.4
	20—40	78.63	-57.92	29.34
墨西哥柏	0—20	76.30	-44.50	32.69
	20—40	44.47	-46.98	11.45
桃树	0—20	82.96	-60.90	31.03
	20—40	67.38	-55.02	23.19

表 6 土壤抗蚀性指标及其与土壤抗蚀性综合指数之间的相关系数

项目	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	Y
X <sub>1</sub>	1										
X <sub>2</sub>	0.735**	1									
X <sub>3</sub>	-0.673*	-0.211	1								
X <sub>4</sub>	-0.061	0.297	0.413	1							
X <sub>5</sub>	0.227	0.492	0.110	0.880**	1						
X <sub>6</sub>	-0.879**	-0.463	0.0941**	0.299	-0.016	1					
X <sub>7</sub>	-0.295	-0.516	-0.045	-0.836**	-0.974**	0.086	1				
X <sub>8</sub>	-0.225	-0.500	-0.087	-0.876**	-0.985**	0.036	0.937**	1			
X <sub>9</sub>	0.014	0.399	0.347	0.936**	0.906**	0.227	-0.884**	-0.865**	1		
X <sub>10</sub>	0.299	0.576	0.077	0.624	0.683*	-0.098	-0.573	-0.778**	0.513	1	
Y	0.165	0.512	0.228	0.924**	0.986**	0.084	-0.946**	-0.980**	0.930**	0.736*1	

注: \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

根据上述分析,这 6 个指标都能在一定程度上反映土壤的综合抗蚀性,但是团聚体稳定性指数、团聚体分散率、水稳性团聚体分形维数这 3 项指标反映的都是团聚体的稳定性,为了避免重复,综合前人的研究结果,只选取团聚体稳定性指数这一项。因此可以以>0.5 mm 水稳性团聚体含量,>0.25 mm 水稳性团聚体含量、团聚体稳定性指数、有机质含量作为评价该地区抗蚀性综合指数的最佳指标。

3.4 抗蚀模型的建立

为了更好地反映各指标与土壤抗蚀性之间的关系,以上述的 4 个反映土壤抗蚀性的最佳评价指标 X<sub>4</sub>(>0.5 mm 水稳性团聚体含量)、X<sub>5</sub>(>0.25 mm 水稳性团聚体含量)、X<sub>9</sub>(团聚体稳定性指数)、X<sub>10</sub>

(有机质含量)为自变量,以土壤的抗蚀性综合指数 Y 为因变量进行回归分析,可得出该火山岩丘陵山区土壤抗蚀性综合评价方程:

Y=0.073X<sub>4</sub>+1.066X<sub>5</sub>+9.261X<sub>9</sub>+0.557X<sub>10</sub>-64.939

因子决定系数 R<sup>2</sup>=0.998,方程拟合较好,由此可以看出,这 4 项指标可以较好地反映盱眙县火山岩丘陵山区典型林地土壤的抗蚀性。

4 结论与讨论

1) 通过对 10 种土壤抗蚀指标进行主成分分析发现,第一、二主成分能够反映特征值的大部分信息,第一主成分为水稳性团粒类因子,>0.5 mm 水稳性团聚体含量,>0.25 mm 水稳性团聚体含量,水稳性团聚分

纤维数负荷较大。第二主成分为无机黏粒类因子,  $<0.001\text{ mm}$  胶粒含量、结构性颗粒指数负荷较大。

2) 根据两个主成分的所占权重, 可以推导出抗蚀综合指标模型  $Y=0.639Y_1+0.361Y_2$ 。综合土壤抗蚀指数从小到大依次为杨树林>朴树林>桃树林>墨西哥柏林>杨梅林。杨树林下土壤抗蚀性最强, 这是由于杨树林下枯落物丰富, 土壤有机质含量高, 促进团聚体的形成, 并且人为干扰较少, 较好地保存了土壤结构。

3) 通过对10个土壤抗蚀指标之间的相关分析以及与土壤抗蚀综合指数之间的相关性分析, 得到  $>0.5\text{ mm}$  水稳性团聚体含量、 $>0.25\text{ mm}$  水稳性团聚体含量、团聚体稳定性指数、有机质含量与土壤抗蚀性综合指数呈显著相关或极显著相关, 可以作为评价该地区抗蚀性综合指数的最佳指标。以这4个指标建立抗蚀模型  $Y=0.073X_4+1.066X_5+9.261X_9+0.557X_{10}-64.939$ , 可为构建盱眙火山岩丘陵区土壤抗蚀性评价指标体系提供依据。树木的根系、地表的枯落物都会增加土壤的有机质含量, 由于自然、人为等多方面因素的作用, 火山岩丘陵区较大范围的土壤侵蚀已成为生态环境退化的显著标志, 并成为当地经济发展和社会进步的主要限制因子之一。人工林对于土壤抗蚀性具有非常重要的作用, 地表既有林冠层的避护, 也有地表枯落物层的覆盖, 同时枯落物的分解还会给原有土壤源源不断地输入大量有机胶结物质, 进而缓解林地土壤抗蚀性降低, 而且也有研究表明, 植物根系能将附近较小的团聚体粘聚形成较大的团聚体, 且根系还能促进微生物活性, 使有机质在微生物作用下分解, 产生有机酸, 防止团聚体消散, 从而增加团聚体的稳定性<sup>[19]</sup>, 提高土壤抗蚀能力。杨树林厚实的林冠、丰富的枯落物和强大的根系组织, 使得杨树在改良土壤, 提高土壤抗蚀性的能力优于其他人工林, 与其他人工林相比有更为重要的水土保持意义。所以, 对该地区现有杨树林地进行科学的管理, 结合经济作物林加强对杨树林的营造可进一步发挥其保持水土的效应, 提高该地区土壤的抗蚀性。

但是本研究主要从土壤物理性质指标评价土壤的抗蚀性, 结果还不足以完整地解释土壤在降雨及径流冲刷下土壤的崩解及抗蚀机制。虽然确定了影响该地区土壤抗蚀性的主要因子, 以及各因子对土壤抗蚀性的影响, 但是未能考虑土壤化学性质指标。马海龙<sup>[20]</sup>等人的研究表明土壤中的全氮、速效磷、速效钾等化学性质与土壤微团聚体含量、容重有密切关系, 也在一定程度上影响土壤的抗蚀性。今后在进行土

壤抗蚀性评价时, 可结合当地的实际情况引入土壤化学性质指标, 做出更全面的评价。

#### 参考文献:

- [1] 喻武, 杜珊, 万丹, 等. 色季拉山川滇高山栎林下土壤抗蚀性分析[J]. 林业科技开发, 2013, 27(4): 37-41.
- [2] 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[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 1-5.
- [3] 张东旭, 程金花, 张友焱, 等. 山西省土石山区典型防护林土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 24-27.
- [4] 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[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1862-1867.
- [5] 石薇, 龚伟, 胡庭兴, 等. 天然林及坡耕地转变为巨桉林后土壤抗蚀性变[J]. 四川林业科技, 2011, 32(3): 10-14.
- [6] 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[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(1): 7-13.
- [7] 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[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 199-205.
- [8] 王佳跃. 盱眙火山岩山地土壤理化性质分析及土壤质量评价[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [9] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京: 农业出版社, 1988.
- [10] 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.
- [11] 石薇, 龚伟, 胡庭兴, 等. 天然林及坡耕地转变为巨桉林后土壤抗蚀性变化[J]. 四川林业科技, 2011, 32(3): 18-22.
- [12] 高维森, 王佑民. 黄土丘陵区柠条林地土壤抗蚀性规律研究[J]. 西北林学院学报, 1991, 6(3): 70-78.
- [13] 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.
- [14] Katz A J, Thompson A H. Fractal Sandstone Pores: implications for conductivity and pore formation [J]. Physical Review Letters, 1985, 54(12): 1325-1328.
- [15] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [16] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体的稳定性[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 91-95.
- [17] 胡建忠, 张伟华, 李文忠, 等. 北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 854-863.
- [18] 史晓梅, 史东梅, 文卓立, 等. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 63-66.
- [19] 熊燕梅, 夏汉平, 李志安. 植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 895-904.
- [20] 马海龙, 金晓琴, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区不同农田类型土壤抗蚀性分异研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 5-8.