

南京紫金山灵谷寺不同林地土壤抗蚀性研究

姜爱国, 万福绪, 胡 菲

(南京林业大学 林学院, 南京 210000)

摘 要:为研究南京紫金山灵谷寺不同林分林下土壤的抗蚀性,对该区域内的 4 种植被(麻栎、枫香、白栎、桂花)林下土壤抗蚀性特征及其影响因素进行了研究。结果表明:不同林分土壤抗蚀性能存在明显差异,土壤抗蚀指数表现为桂花>枫香>麻栎>白栎。土层土壤抗蚀指数随深度增加而减小,有一定的规律性。发现本地区土壤抗蚀指数随浸水时间而减小,呈二次多项式函数关系,其通式为 $S=at^2+bt+c$ 。土壤中(>0.25 mm)水稳性团聚体与土壤抗蚀指数在 0.01 水平上呈极显著正相关。对 16 个指标的主成分分析结果表明,总孔隙度、水稳性指数、团聚度、(>0.25 mm)水稳性团聚体含量、有机质、全氮对土壤抗蚀性影响较强。计算各林地土壤的抗蚀性综合指数,得出各林地土壤抗蚀性由强到弱依次为:桂花(0.24),枫香(0.08),麻栎(-0.13),白栎(-0.18)。

关键词:植被; 土壤抗蚀性; 土壤团聚体; 主成分分析

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0012-05

Study on Soil Anti-Erodibility in Different Forests in Spirit Valley of Mount Zijin in Nanjin

JIANG Aiguo, WAN Fuxu, HU Fei

(College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210000, China)

Abstract: To study the soil anti-erodibility in spirit valley of Nanjing under different vegetation types, research the soil anti-erodibility and its impact factors under four vegetation types, such as *Quercus acutissima* Carr., *Liquidambar formosana* Hance, *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour., *Quercus fabri* Hance in this area were examined. The results showed that there were significant differences in soil erodibility in different stands, the soil erodibility indexes decreased in the order: *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour. $>$ *Liquidambar formosana* Hance $>$ *Quercus acutissima* Carr. $>$ *Quercus fabri* Hance. The soil anti erodibility index decreased with increase of depth, and has certain regularity. It was found that soil erodibility index decreased with immersion time, showing two polynomial function relationship, the general formula is expressed as $S=at^2+bt+c$. >0.25 mm water stable aggregates in soil and soil anti erodibility index showed the significant positive correlation at the level of 0.01. The principal component analysis of the 16 indexes showed that total porosity, >0.25 mm water stability index, aggregation degree, water stable aggregate content, organic matter and total nitrogen had strong effects on soil erodibility. The comprehensive index of soil erosion resistance was calculated, and the soil anti-erodibility of each forest land decreased in the order: *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.(0.24) $>$ *Liquidambar formosana* Hance(0.08) $>$ *Quercus acutissima* Carr. (-0.13) $>$ *Quercus fabri* Hance(-0.18).

Keywords: vegetation; soil anti-erosion ability; soil aggregate; principal component analysis

土壤侵蚀不仅降低了土壤肥力,造成土壤质量退化,而且对生态环境有着极大的破坏作用,严重影响当地经济文化的可持续发展^[1]。土壤抗蚀性是指

土壤抵抗水的分散和悬浮的能力,是与土壤理化性质密切相关的评价土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一^[2]。研究土壤的抗蚀性对防治土壤侵蚀有着十分

关键的作用,几十年来国内外研究者一直关注着土壤抗蚀性研究的进展^[3-6]。虽然对土壤抗蚀性的评价指标还没有形成统一的共识,各指标的权重也没有相同的标准,但结论仍然大体一致^[7-9]。各研究选取的指标总体上是相同的,包括土壤的基本理化性质、团聚体的特征和土壤根系指标等^[10-13]。不同的是各位研究者对土壤抗蚀性研究采取的分析方法有所不同。比如:范川使用主成分分析法对柏木低效林改造不同模式的土壤抗蚀能力进行分析^[14];赵锦梅运用灰色关联度对东祁连山不同高寒灌丛草地土壤的抗蚀能力进行研究^[15];张超对影响黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤抗蚀性的各种因素进行相关性分析^[16]。但都成功的用自己的研究方法揭示了土壤抗蚀性的变化特点。

为研究南京紫金山灵谷寺不同林分林下土壤的抗蚀性,以该区域内几种主要林地的土壤为研究对象,基于试验数据,分析其抗蚀特性以及影响因素,希望能为该区水土保持、合理种植提供科学依据和理论指导。

表 1 试验地基本情况

林地	坡度/(°)	坡向	海拔/m	胸径/cm	冠幅/m	土壤类型	密度/(株·hm ⁻²)	盖度/%
麻栎	13	NE	70	28.5	6.0	黄棕壤	410	90
枫香	11	NW	80	14.3	5.4	黄棕壤	434	90
白栎	12	NW	52	20.6	5.7	黄棕壤	404	90
桂花	11	NW	62	9.7	4.3	黄棕壤	621	80

2 研究内容与方法

2.1 样地选择

本研究选择麻栎林、枫香林、白栎林、桂花林 4 种典型林型,分别建立 3 个 20 m×20 m 的样方进行常规调查,记录其海拔、坡度、坡向、胸径等常规指标,见表 1。

2.2 土壤基本理化性质的测定

2016 年 4—5 月,在各样方中随机取 3 个点挖土壤剖面,以 20 cm 为厚度挖三层。将采集的土样带回实验室分析,使用环刀法测定土粒密度和土壤孔隙状况;用浸提法测定土壤有效磷;土壤有机质含量采用烧失量法测定;土壤全氮采用硒粉—硫酸铜—硫酸钾消煮—蒸馏法测定;土壤速效钾采用 1 mol/L 乙酸铵浸提—火焰光度法测定^[17];采用 pH 值计测定土壤 pH 值;采用 MicrotracS350 激光粒径分析仪测定土壤机械组成。土壤各理化性质见表 2。

2.3 土壤抗蚀指数测定

从各土层风干土样中选取直径 5~7 mm 土粒 50 颗,使用静水崩解法测定其抗蚀指数,抗蚀指数=(总土粒数-崩塌土粒数)/总土粒数×100%;水稳性

1 研究区概况

灵谷寺位于紫金山南麓(32°01'57"—32°06'15"N, 118°48'00"—118°53'04"E)。紫金山最高海拔 448.9 m,相对高差 420 m,属亚热带季风气候,寒暑变化明显,四季分明,年降水量 1 000~1 050 mm,干燥度为 0.97,年均温 15.4℃,最高温 39.7℃,最低温为-13.1℃。土壤类型以山地黄棕壤和黄褐土为主。地势大体上由北向南、自东向西呈缓慢下降。目前,灵谷寺主要森林植被位于南京中山陵园管理局所辖的灵谷公园景区范围内,面积达 130 hm²。试验地林分以麻栎(*Quercus acutissima* Carr.)、枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、白栎(*Quercus fabri* Hance)、桂花(*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.)为主。林下植被包括枸骨(*Ilex cornuta* Lindl. et Paxt.)、三角枫(*Acer maximowiczii* Pax)、女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)、野蔷薇(*Rosa multiflora* Thunb.)等,试验地基本情况见表 1。

指数 $K=(\sum P_i \times K_i + P_j)/A$ 。式中: i 为 1,2,3,...,10; P_i 为第 i 分钟分散的土粒数; K_i 为第 i 分钟的校正系数; P_j 为 10 min 内没有分散的土粒数; A 为试验的总土粒数。

2.4 土壤团聚体等指标测定

采用干、湿筛法测定土壤团聚体含量^[18];采用吸管法测定土壤微团聚体特征。并计算分散率、团聚度,分散率= <0.05 mm 微团聚体分析值/ <0.05 mm 机械组成分析值,其中团聚度= $(>0.05$ mm 微团聚体分析值- >0.05 mm 机械组成分析值)/ >0.05 mm 微团聚体分析值。

2.5 数据处理

采用 SPSS 22.0 对数据进行处理分析;使用主成分分析法分析不同样地土壤。

3 结果分与析

3.1 不同林分土壤抗蚀性变化特征

采用静水崩解法测定和计算的抗蚀指数是反映土体抗水蚀的重要指标^[19]。对研究区的四种林下土壤进行分层测验,0—20 cm 的土层,土壤抗蚀指数大小依次为桂花>白栎>枫香>麻栎;20—40 cm 的土

层,土壤抗蚀指数大小依次为枫香>桂花>麻栎>白栎;40—60 cm 的土层,土壤抗蚀指数大小依次为枫香>桂花>麻栎>白栎,见表 3。从三层土壤的抗蚀指数对比可以看出枫香和桂花的抗蚀指数都排在一、二的位置,抗蚀指数较高。这是由于桂花林下土壤中的有机质含量较高,对土壤的改良较好,土壤孔隙度较大,土壤质地变好,抗蚀性得到提升。随着土层深

度的加深,各林分抗蚀指数均呈现下降的趋势。其原因是枯落物对土壤表层有保护和改良的效果,增加土壤有机质,全面改善土壤结构,使得表层土壤不易被侵蚀。深层土壤无法得到和表层土壤一样的改善效果,所以对比表层表现出土壤抗蚀性较低现象,深层土壤抗蚀性较低。因此,保护好表层土壤可以有效地减少土壤侵蚀。

表 2 研究区四种林分土壤基本理化性质

林分 类型	土层/ cm	容重/ (g·cm ⁻³)	砂砾 0.05~2 mm/%	粉粒 0.002~0.05 mm/%	黏粒<0.002 mm/%	毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH 值
麻栎	0—20	1.12	10.56	10.71	78.73	36.5	49.0	59.65	0.47	8.75	110.26	4.54
	20—40	1.37	14.35	11.19	74.46	36.2	43.8	54.22	0.27	3.98	81.36	4.76
	40—60	1.43	12.54	5.28	82.18	32.6	39.8	49.44	0.22	2.81	73.73	4.93
枫香	0—20	1.20	43.94	32.12	23.94	37.5	49.7	65.79	0.41	9.31	108.25	4.26
	20—40	1.26	46.34	37.26	16.4	36.7	46.1	51.54	0.22	2.65	70.45	4.52
	40—60	1.31	47.17	29.87	22.96	33.9	40.4	49.02	0.20	2.25	61.86	4.65
白栎	0—20	1.30	83.15	13.63	3.22	34.3	48.4	64.27	0.42	6.13	87.63	4.43
	20—40	1.33	82.36	14.32	3.22	29.6	42.7	47.92	0.25	2.29	70.14	4.64
	40—60	1.47	84.64	11.73	3.63	24.0	35.8	46.48	0.19	1.21	68.73	5.06
桂花	0—20	1.08	2.84	13.95	83.21	38.6	52.6	66.51	0.44	7.79	90.49	4.34
	20—40	1.16	6.56	12.75	80.69	38.1	48.9	50.59	0.27	2.37	69.27	4.47
	40—60	1.36	5.46	7.80	86.74	34.2	43.2	48.90	0.22	1.87	63.27	4.82

四种林下土壤的抗蚀指数随浸水时间的变化趋势见图 1,随着浸水时间的增加,各林分土壤的抗蚀指数均有着下降的趋势。说明随着降雨时间的延长,地表水也增加,土壤颗粒崩解量增多,堵塞了土壤孔隙,影响雨水下渗,形成地表径流,增加土壤水土流失。从图中还可以看出在前 6 分钟,四种林分土壤的抗蚀指数下降较多,十分明显,6 min 后则趋于平缓。随土层的加深,其抗蚀指数也下降,有一定的规律性。并且四种林分土壤的抗蚀指数折线分布较为明显,大体趋势为:最上层是桂花,第二是枫香,其次是麻栎,最后是白栎。所以,桂花林下土壤的抗蚀指数要高于其他树种。

利用统计软件 SPSS 22.0 对四种树种林下土壤抗蚀指数 S 随浸水时间 t 的动态变化过程进行拟合,发现二次函数的相关系数最高,因此采用二次多项式

$$S=at^2+bt+c$$

式中: a, b 为常数, $0 < t \leq 10$ 。其抗蚀指数与时间的决定系数 R^2 均大于 0.95,四个样地土壤抗蚀指数与浸水时间拟合方程见表 4。

3.2 不同林地土壤团聚体特征

土壤的物理性质与团聚体的含量及其直径大小有密切关系,团聚体影响到土壤的抗蚀能力。发现随着土层的加深,土壤中的水稳性团聚体含量下降,有一定的规律性,见表 5。以平均值进行对比,发现其 >0.25 mm 的水稳性团聚体的含量由大到小分别是:桂花(82.80%)、枫香(81.94%)、麻栎(77.94%)、白栎(76.82%); >0.5 mm 的水稳性团聚体含量由

大到小依次为:桂花(77.88%)、枫香(76.35%)、白栎(68.63%)、麻栎(63.75%)。

表 3 不同林分土壤各层次抗蚀指数比较

林地 类型	土层 深度/cm	土壤抗蚀指数表述值/%			样本 系数
		平均值	标准差	变差系数	
麻栎	0—20	78.1	9.3	11.9	30
	20—40	51.1	12.9	25.3	30
	40—60	39.0	14.0	36.0	30
枫香	0—20	79.1	9.5	12.1	30
	20—40	63.9	11.7	18.2	30
	40—60	44.9	12.1	27.0	30
白栎	0—20	85.3	5.9	6.9	30
	20—40	48.3	10.0	20.8	30
	40—60	27.8	11.5	41.5	30
桂花	0—20	88.8	5.4	6.0	30
	20—40	59.9	10.4	17.4	30
	40—60	44.1	13.2	29.9	30

这主要是因为林地土壤的有机质较高,而有机质对土壤团聚体的形成有着促进作用,所以桂花林下土壤团聚体含量较高。分散率由大到小依次为:白栎(37.61%)、枫香(29.60%)、麻栎(29.51%)、桂花(28.29%);团聚度由大到小分别为:桂花(62.84%)、枫香(61.73%)、麻栎(53.66%)、白栎(51.99%)。因为桂花林下土壤的土壤胶结性较好,使得其团聚度较高、分散率低。综合分析几种林分的水稳性团聚体,发现桂花林下土壤 >0.25 mm 和 >0.5 mm 的团聚体含量高于其他林分,并且其团聚度最高,分散率最少。使用 SPSS 22.0

对土壤水稳性指数与土壤团聚体特征进行 Pearson 相关分析,发现四种林分土壤中土壤水稳性指数与 $>0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量在 0.01 水平上呈极显著正相关,与 $>0.5\text{ mm}$ 的水稳性团聚体在 0.05 水平上呈显著相关,与其他性质特征也有一定的相关性,但相关性较低。说明随着土壤水稳性团聚体含量的增加,土壤的结构会更好,会更加稳定。

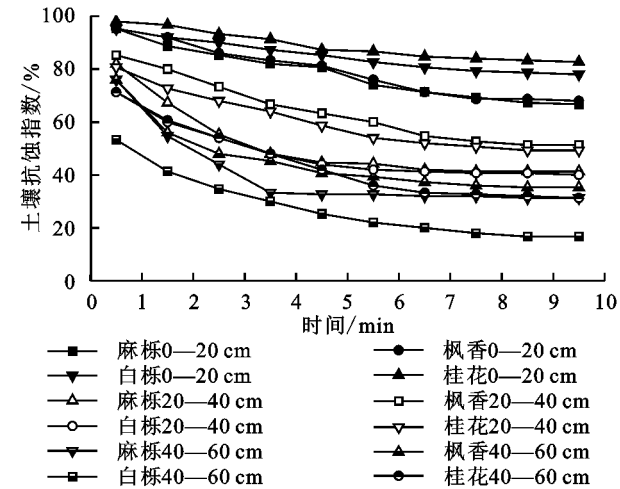


图 1 四种林分各层土壤抗蚀指数随时间的变化

3.3 不同林地土壤抗蚀性能主要成分分析

为了更加深入地地了解不同林地的土壤综合抗蚀能力,对 X_1 (土壤容重)、 X_2 (总孔隙度)、 X_3 (毛管孔隙度)、 X_4 (砂砾含量)、 X_5 (粉粒含量)、 X_6 (黏粒含量)、 X_7 (水稳性指数)、 X_8 (团聚度)、 X_9 (分散率)、 X_{10} ($>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量)、 X_{11} ($>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量)、 X_{12} (有机质)、 X_{13} (全氮)、 X_{14} (有效磷)、 X_{15} (速效钾)、 X_{16} (pH 值)共 16 个指标进行主成分分析。从表 6 可以看出前三个主成分特征值均大于 1,累计贡献率达 90.605%(分别为 64.658%,15.415%,10.532%),信息损失量较小,包含了大部分的数据,满足主成分分析对损失量的要求,所以可以选取前三个主要成分来进行抗蚀综合性分析,从而确定最佳抗蚀指标。

表 4 不同林分土壤抗蚀指数与浸水时间拟合方程

林分	关系式	R^2
麻栎	$y=0.0066x^2-0.1099x+0.9203$	0.983
枫香	$y=0.0044x^2-0.0848x+0.9219$	0.993
白栎	$y=0.0043x^2-0.0772x+0.7939$	0.994
桂花	$y=0.0039x^2-0.0746x+0.9039$	0.997

表 5 研究区不同林分土壤团聚体特征

林地类型	土层深度/cm	团聚度/%	分散率/%	水稳性团聚体/%		土壤水稳性指数
				$>0.5\text{ mm}$	$>0.25\text{ mm}$	
麻栎	0—20	57.75	28.47	81.13	84.44	0.80
	20—40	53.48	29.04	57.90	79.04	0.53
	40—60	49.76	31.02	52.23	70.34	0.43
枫香	0—20	63.76	27.59	76.40	85.87	0.81
	20—40	62.53	28.67	77.47	84.87	0.66
	40—60	58.91	32.54	75.17	75.09	0.48
白栎	0—20	67.25	23.81	82.54	88.23	0.86
	20—40	49.51	32.24	70.24	78.75	0.51
	40—60	39.21	56.78	53.12	63.49	0.32
桂花	0—20	70.54	21.24	83.68	89.83	0.90
	20—40	60.23	30.75	79.59	84.02	0.62
	40—60	57.74	32.89	70.37	74.54	0.48

从表 6 中可以看出,第一主成分的贡献率为 64.658%,说明它对土壤的抗蚀能力有很大的影响,其中 X_2 (总孔隙度)、 X_7 (水稳性指数)、 X_8 (团聚度)、 X_{11} ($>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体)、 X_{12} (有机质)、 X_{13} (全氮)等贡献率最大。说明土壤总孔隙度越大,有机质含量越高,全氮含量越高,团聚度越高, $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量越高, Y_1 的值就越大,土壤抗蚀能力就越强。第二主成分的贡献率为 15.415%,说明它对土壤的抗蚀性有一定影响,其中 X_4 (砂粒含量)与 X_5 (粉粒含量)贡献率最大,说明砂粒与粉粒含量指标也会影响到土壤的抗蚀性,砂粒与粉粒含量越

高,则土壤的抗蚀性越强。第三主成分的贡献率只有 10.532%,其中 X_{14} (有效磷)与 X_{15} (速效钾)会在一定程度上提升土壤的抗蚀能力。

根据主成分权重得出抗蚀性综合评价指数: $Y=0.714Y_1+0.17Y_2+0.116Y_3$ 。经过计算得到麻栎林、枫香林、桂花林和白栎林的综合评价值,见表 7。从表中可以看出,随着土层的加深,四种林分的土壤抗蚀能力也有下降的趋势,这表明表层土壤的抗蚀能力要强于深层土壤。麻栎、枫香、白栎、桂花的综合抗蚀指数平均值分别为 $-0.13,0.08,-0.18,0.24$,则四种林分的抗蚀能力大小为桂花 $>$ 枫香 $>$ 麻栎 $>$ 白栎。

表 6 土壤抗蚀性主成分分析

参数	主成分		
	Y_1	Y_2	Y_3
X_1	-0.894	0.084	0.110
X_2	0.973	-0.069	-0.050
X_3	0.840	-0.334	-0.347
X_4	-0.337	0.896	0.156
X_5	0.256	0.627	-0.497
X_6	0.227	-0.970	0.002
X_7	0.972	0.139	0.111
X_8	0.895	0.032	-0.327
X_9	-0.827	0.181	0.241
X_{10}	0.830	0.222	-0.301
X_{11}	0.950	0.111	-0.163
X_{12}	0.883	0.129	0.349
X_{13}	0.869	0.040	0.476
X_{14}	0.847	0.059	0.476
X_{15}	0.726	0.057	0.615
X_{16}	-0.928	-0.259	0.179
特征值	10.345	2.466	1.685
贡献率	64.658	15.415	10.532
累计贡献率	64.658	80.074	90.605
权重	0.714	0.170	0.116

表 7 林地各土层土壤抗蚀综合指数

土层/cm	麻栎	枫香	白栎	桂花
0—20	0.76	0.97	0.85	1.06
20—40	-0.32	-0.07	-0.30	0.07
40—60	-0.84	-0.67	-1.10	-0.40
平均值	-0.13	0.08	-0.18	0.24

4 结论

(1) 试验区内四种林分平均土壤抗蚀指数由大到小依次为:桂花(64.3%)、枫香(62.6%)、麻栎(56.0%)、白栎(53.8%)。各林分土壤的抗蚀指数在垂直层面上的变化呈较明显的规律性,随着土层深度的增加,抗蚀指数呈减小的趋势。对林地土壤的抗蚀指数 S 随浸水时间 t 变化的过程进行拟合,发现二次函数曲线的拟合度最高,因而本研究区内土壤的抗蚀指数与浸水时间呈二次多项式函数关系,其通式为 $S = at^2 + bt + c$ 。说明随着降雨时间的延长,地表水也随着增加,土壤颗粒崩解量增多,堵塞了土壤孔隙,影响雨水下渗,形成地表径流,增加了土壤水土流失。

(2) 发现土壤中 >0.25 mm 的水稳性团聚体与土壤水稳性指数在 0.01 水平上呈极显著正相关,与 >0.5 mm 的水稳性团聚体在 0.05 水平上呈显著相关。团聚体含量越多则土壤的结构性越好,土壤更加稳定。几种林下土壤中,桂花的 >0.25 mm 和 >0.5 mm 的水稳性团聚体含量明显高于其他树种,说明桂花林下土壤结构比其他树种更好。

(3) 对土壤基本理化性质、土壤团聚体特征共 16 个指标进行主成分分析发现总孔隙度、水稳性指数、团

聚度、 >0.25 mm 水稳性团聚体含量、有机质、全氮对土壤抗蚀能力影响较强。通过计算各林地土壤的抗蚀性综合指数,得出了各林地土壤抗蚀性由强到弱依次为:桂花(0.24),枫香(0.08),麻栎(-0.13),白栎(-0.18)。

参考文献:

- [1] 涂淑萍,周桂香,胡冬男,等. 赣县稀土采矿区巨桉林地土壤抗蚀性评价[J]. 林业科学研究,2013,26(6):752-758.
- [2] 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.
- [3] Reichert J M, Norton L D. Aggregate stability and rainimpacted sheet erosion of air-dried and rewetted clayey surface soils under intense rain[J]. Soil Sci., 1994,158(3):159-169.
- [4] Cairns M A, Brown S, Helmer E H, et al. Root biomass allocation in the world's upland forests[J]. Oecologia, 1997,111:1-11.
- [5] 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.
- [6] 严方晨,焦菊英,曹斌挺,等. 黄土丘陵沟壑区撂荒地不同演替阶段植物群落的土壤抗蚀性:以坊塌流域为例[J]. 应用生态学报,2016,27(1):64-72.
- [7] 余晓章,魏鹏,范川,等. 两种巨桉人工林地土壤抗蚀性的比较研究[J]. 水土保持通报,2015,35(2):58-63.
- [8] 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.
- [9] 周玮,查同刚,孙怀宁,等. 北京八达岭地区典型林分林地土壤抗蚀性分析[J]. 中国水土保持科学,2016,14(4):84-93.
- [10] 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):24-31.
- [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):10-14.
- [12] 汤崇军,郑海金,谢颂华. 不同土壤抗蚀性指标对侵蚀泥沙影响的灰色关联度分析[J]. 水土保持研究,2012,19(12):1-6.
- [13] 成艳红,黄欠如,钟义军. 种植苕麻对南方坡耕地土壤抗蚀性的影响[J]. 水土保持通报,2014,35(5):1-5.
- [14] 范川,周义贵,李贤伟,等. 柏木低效林改造不同模式土壤抗蚀性对比[J]. 林业科学,2014,50(6):107-114.
- [15] 赵锦梅,马瑞,马维伟,等. 东祁连山不同高寒灌丛草地土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报,2016,30(5):119-123.
- [16] 张超,刘国彬,薛莲,等. 黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤抗蚀性演变特征[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):1-7.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:106-287.
- [18] 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.
- [19] 王俭成,杨建英,史常青,等. 北川地区典型林分土壤抗蚀性分析[J]. 水土保持学报,2013,21(1):71-75.