

南京老山国家森林公园 4 种林分类型土壤的抗侵蚀性能评价

徐 慧, 管 蓓

(南京市环境保护科学研究院, 江苏 南京 210013)

摘要: 2015 年, 以江苏省南京老山国家森林公园的杜仲 *Eucommia ulmoides* 林, 麻栎 *Quercus acutissima* 林, 毛竹 *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens' 林, 黑松 *Pinus thunbergii* 林 4 种林分类型为研究对象, 建立样方对其不同层次土壤进行测定。选取土壤容重、有机质含量、团聚体特征、抗剪切强度等 15 个指标来评估不同林分土壤的抗侵蚀性能。结果表明, 相比其他 3 种林型, 麻栎林在诸多指标上均表现最优; 基于主成分分析法对 15 个指标进行筛选, 其中有机质含量、内摩擦角、粉粒含量、砂粒含量可以作为评价研究区土壤抗侵蚀性能的最优指标; 基于最优指标和加权平均法对各林分土壤抗侵蚀性能进行综合评价, 结果表明麻栎林表层土壤的抗侵蚀性能最强, 其次为杜仲林, 再次为黑松林, 毛竹林最弱。

关键词: 南京; 老山; 林分类型; 土壤抗侵蚀性能; 主成分分析

中图分类号: S759.91; S714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2017) 03-0017-06

Evaluation on Soil Anti-erosion of Four Forest Types in Laoshan National Forest Park in Nanjing

XU Hui, GUAN Bei

(Nanjing Research Institute of Environmental Protection, Nanjing 210013, China)

Abstract: Sample plots were established in *Eucommia ulmoides*, *Quercus acutissima*, *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens' and *Pinus thunbergii* stands of Laoshan National Forest Park in Nanjing, Jiangsu province in 2015. Determinations were carried out on 15 soil indicators at different layers of the stands. Soil anti-erosion of different types of forest was evaluated by 15 measured indicators, such as bulk density, organic matter content, aggregate properties, etc. The results demonstrated that *Q. acutissima* forest had better performance than the other three forests. Principal component analysis on 15 indicators indicated that organic matter content, internal friction angle, fines content and sand content could be selected for evaluation indicators for soil anti-erosion. Comprehensive evaluation on soil anti-erosion of sampled stands by selected indicators and method of weighted mean resulted that the surface soil anti-erosion at *Q. acutissima* forest was the best, followed by *E. ulmoides*, *P. thunbergii* and *Ph. heterocycla* 'Pubescens'.

Key words: Nanjing; Laoshan; forest type; soil anti-erosion property; principal component analysis

水土流失是全世界面临的环境问题, 也是威胁中国生态环境现状的重大隐患之一^[1]。森林作为陆地最重要的生态系统, 其繁茂的林冠层、茂密的林下灌草层、丰富的枯枝落叶层以及肥厚的土壤层有机耦合, 在减轻削弱地表水力侵蚀过程中发挥着重要作用^[2]。因此客观评价土壤抗侵蚀性能是全面评估森林保持水土功能的重要环节之一^[3]。土壤抗侵蚀性能通常是指土体抵抗水体(如天然降水和地表径流)击溅、分散、悬浮和冲刷的综合能力, 其性能的高低除了与土壤理化性质等内在因素有关外, 还受植被类型等外部因素的影响^[4]。由于土壤抗侵蚀性能受诸多因素的影响, 且空间差异性较大, 因而探究不同区域不同土地利用方式下土壤的抗侵蚀性能

收稿日期: 2016-12-17; 修回日期: 2017-03-22

基金项目: 南京市重金属污染现状及防治对策研究(201104)

作者简介: 徐慧, 硕士, 工程师, 从事环境生态、气象生态研究; E-mail: xuhuisafe@sina.com。

已成为各地水土保持科研工作者的重点任务。

江苏省南京老山国家森林公园是南京城市森林网络的重要组成部分,是该市名副其实的“绿肺”和“景观阳台”,成为重要的绿色生态屏障^[5]。当前,森林公园所在南京浦口区已正式成立国家级江北新区,将评估老山地区的森林生态服务功能,作为新区生态环境规划及建设保护的重要依据。现有的研究多集中于南京老山国家森林公园的景观格局和植物资源^[5-7],而森林水土保持功能的相关研究还鲜有报道。因此,探讨了南京老山国家森林公园主要森林类型的土壤抗侵蚀性能,以期合理评估森林生态效益及林相改造提供一定的参考依据。

1 研究区概况

南京老山国家森林公园于 1991 年在南京市浦口区老山林场基础上建立,横贯浦口区境内,素有“江北明珠”之美誉。该森林公园东起浦口高新区,南临长江,北枕滁河,西达安徽和县,总面积 80 km²。上世纪七十年代至今,老山林场营造了大面积的针叶林和落叶阔叶林,森林覆盖率达 80%,林区内近 80% 的森林植被起源于人工林,少数为天然次生林^[5]。林区以黄棕壤为主要土壤类型,气候温和,属亚热带季风气候,年平均气温 15.3℃,无霜期 228 d,年降水量 1 000 mm 左右。

2 材料与方法

2.1 样地的选择

杜仲 *Eucommia ulmoides* 林,麻栎 *Quercus acutissima* 林,毛竹 *Phyllostachys heterocycla* ‘*Pubescens*’林,黑松 *Pinus thunbergii* 林是老山地区最典型的 4 种人工林,其种植面积分别占林区面积的 5%,33%,3%,22%。鉴于此,本研究以各林型中长势优良的林分为研究对象,分别建立 1 个 20 m×20 m 的样方进行常规调查,各样方基本情况见表 1。

表 1 4 种林分概况
Table 1 Information of sampled forest stand

林分类型	杜仲林	麻栎林	毛竹林	黑松林
林龄/a	15	40	15	30
郁闭度	0.78	0.82	0.86	0.56
平均树高/m	7.60	15.20	8.80	10.40
平均胸径/cm	5.50	24.30	7.50	18.90
平均冠幅/m ²	2.40	4.70	2.60	4.60
坡度/(°)	21.00	18.00	19.00	21.00
坡向	NW	NE	NE	NW
海拔/m	180.00	267.00	165.00	212.00

2.2 土壤样品采集及测试

本研究于 2015 年 5 月在各林分的样方中以“品”字型挖掘 3 个土壤剖面,在每个剖面采集 0~10 cm, >10~20 cm, >20~30 cm, >30~40 cm 的原状土样。依据土壤理化分析国家标准中的环刀法、比重计法、重铬酸钾氧化法、湿筛法等规范分别测定容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、黏粒含量、粉粒含量、砂粒含量、有机质含量、团聚度、分散率、>0.25 mm 水稳性团聚体含量、>0.5 mm 水稳性团聚体含量;采用静水崩解法测定土壤水稳性指数、采用原装土槽(30 cm×10 cm×10 cm)冲刷法测定土壤冲刷指数,设计冲刷坡度为 20°,冲刷流量为 3.5L/min,以 1,2,4,8,10 min 为时间点收集冲刷水样并烘干称重;采用《土木试验方法标准》(GB/T50123-1999)测定含水率为 25%土样的土壤粘聚力、内摩擦角。

2.3 数据处理

采用 SPSS19.0 中主成分分析模块、相关分析模块对相关数据进行处理分析;采用多指标加权平均法评估各林分土壤的综合抗侵蚀性能,具体见公式(1):

$$FZ = \sum W_i \times F(X_i)$$

(1)

式中, FZ 为土壤抗侵蚀性能综合指数; W_i 为各土壤因子的权重, 反映各评价指标的重要性; $F(X_i)$ 为各土壤因子的隶属度值, 反映各评价指标的优劣, 具体见公式 (2) 和 (3):

$$F(X_i) = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

(2)

$$F(X_i) = \frac{X_{i\max} - X_{ij}}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

(3)

式中, X_{ij} 为第 i 项因子的样品实测值; $X_{i\max}$ 为第 i 项因子实测值中的最大值; $X_{i\min}$ 为第 i 项因子实测值中的最小值^[8]。公式 (2) 用于正效应指标的评分, 公式 (3) 用于负效应指标的评价。

3 结果与分析

3.1 土壤理化性质比较

从土壤理化性质以及土壤抵御水体剥离能力等方面构建多指标体系进行相关测试分析是目前评估土壤抗侵蚀性能的主要手段。本研究 15 个土壤指标的测定值见图 1。

土壤容重是土壤紧实度的反应指标, 土壤容重越小, 土壤越疏松, 土壤入渗速率和蓄水量越大。从图 1 中可看出, 以 0~10 cm 表层 X1 来看, 麻栎林 (1.12 g·cm⁻³) < 杜仲林 (1.21 g·cm⁻³) < 黑松林 (1.37 g·cm⁻³) < 毛竹林 (1.45 g·cm⁻³)。土壤有机质能够促进土壤中团粒结构的形成, 增加土壤疏松性、通气性和透水性, 对改善土壤结构和提高土壤抗蚀性具有重要作用, 已成为国内外常用土壤抗侵蚀性能评价指标之一^[9]。以 0~10 cm 土壤 X7 来看, 黑松林 (27.77 g·kg⁻¹) < 毛竹林 (28.03 g·kg⁻¹) < 杜仲林 (30.94 g·kg⁻¹) < 麻栎林 (35.62 g·kg⁻¹)。土壤水稳性团聚体是由有机质胶结而成的良好团粒结构, 在浸水条件下不易解体并有较高的稳定性, 因此土壤水稳性团聚体特征也是描述土壤抗侵蚀性能的重要指标。以 X9, X10, X11 的结果来看, 表层土壤以麻栎林最优, 其次为毛竹林, 再次为杜仲林, 黑松林最差。X12 是通过测定土粒在静水中发生分散、破碎、塌落等过程来衡量土壤抗水蚀性能的指标^[10-11]。就表层土壤而言, 黑松林 (57.11%) < 毛竹林 (62.76%) < 杜仲林 (79.15%) < 麻栎林 (87.30%)。土壤抗剪强度最能体现水土流失过程中土壤抵抗径流冲刷剪切能力的力学指标^[12]。从 X14 和 X15 来看, 表层土壤以麻栎林最优, 其次为黑松林, 再次为杜仲林, 毛竹林最差。

3.2 土壤指标主成分分析

由图 1 的分析可知, 单一指标的比较可以在一定程度上反映不同林分土壤抗侵蚀性能的相对差异。总体而言, 麻栎林在多项指标上表现优越, 其他 3 种林分的表现则各有优劣、较难区分。此外, 15 个指标构建的评价体系难免繁冗复杂, 部分指标间的内涵信息可能存在着线性重叠与关联, 不利于在典型区域推广使用。因此, 为了使用较少的指标对土壤抗侵蚀性能精确评估, 对各林分土壤不同层次所测定的 15 项指标实测值进行主成分分析 (表 2)。

由表 2 可知, 第一主成分的方差贡献率最大 (40.11%), 加上第二和第三主成分的, 其累积贡献率超过 85%, 且这 3 个主成分的特征值均大于 1, 达到了主成分分析的要求。依据表 3 中不同指标在各主成分上载荷值, 第一主成分主要综合了 X3, X7, X13, X14 和 X15 的变异信息。其中, X3, X7, X14 和 X15 对第一主成分有正向效应, 其值越大, 第一主成分值越大, 则抗侵蚀性能越强。第二主成分中 X1 和 X5 的载荷较大, 且荷载系数

表 2 土壤抗蚀性能指标的总方差分析结果

Table 2 ANOVA on the indicators for soil anti-erosion

主成份	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
F1	9.07	40.11	40.11
F2	2.43	25.23	65.34
F3	1.58	21.87	87.21

注: F1, F2, F3 分别表示第一、第二、第三主成分; 下同。

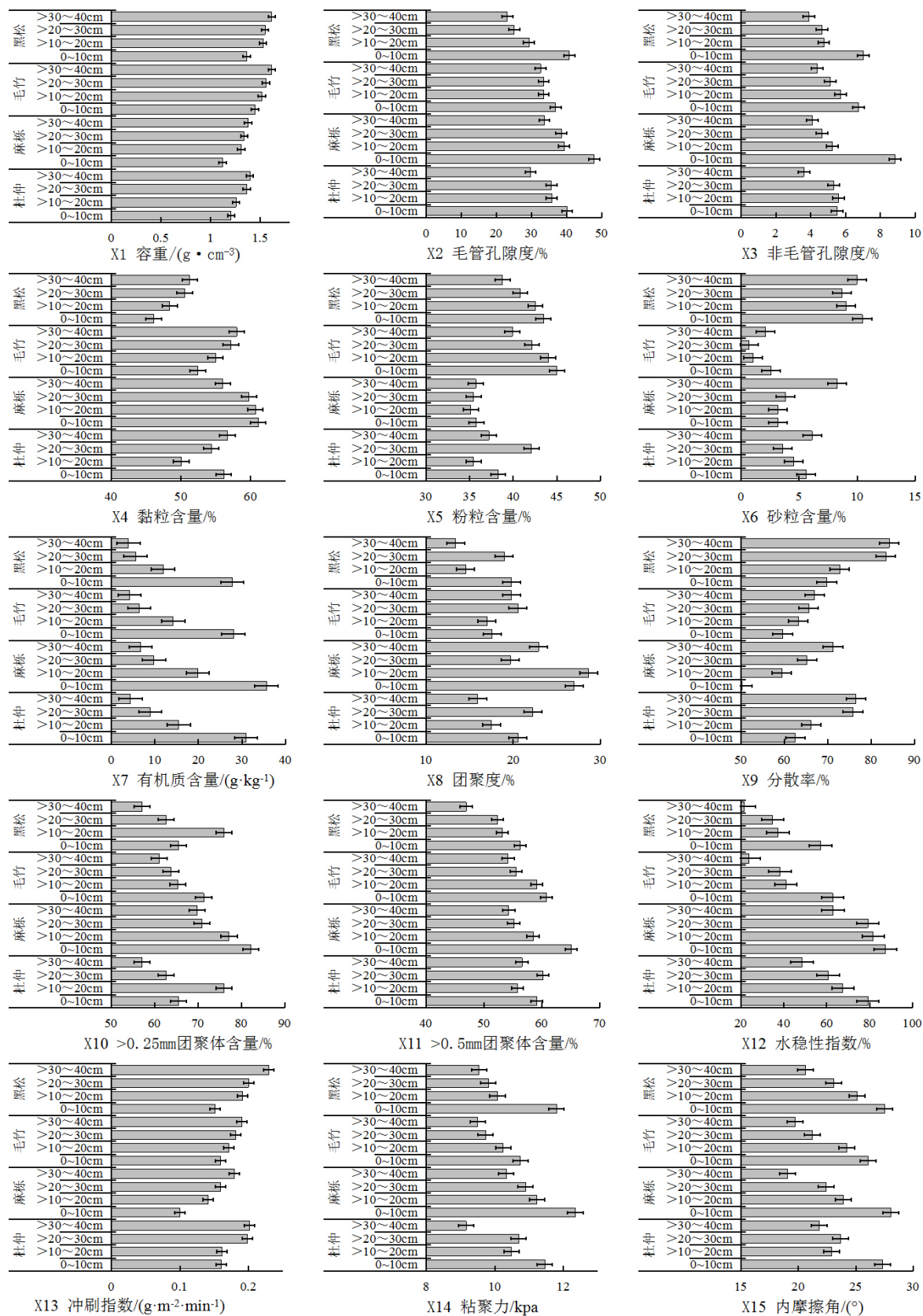


图1 4种林分不同层次土壤抗侵蚀性能实测值

Figure 1 Determination of indicators for soil anti-erosion of different layers in sampled stands

为负，说明其值越大，土壤抗侵蚀性能就越弱。第三主成分中 X6 的贡献较大，且为负向关系，对土壤抗侵蚀性能有着负效应。根据对主成分的贡献率大小（以载荷系数的绝对值超过 0.9 为阈值），可以确定表征研究区域土壤抗侵蚀性能的最优指标分别为 X7，X15，X5 和 X6。其中 X7 和 X15 为正效应指标，X5 和 X6 为负效应指标。

表 3 土壤抗侵蚀性指标主成分分析的因子载荷矩阵
Table 3 Component matrix of principal component analysis for the indices of soil anti-erosion

抗侵蚀性能指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
F1	-0.55	0.70	0.90	-0.24	0.30	0.00	0.92	0.24
F2	-0.76	0.49	0.08	0.49	-0.92	0.08	0.24	0.62
F3	-0.12	0.45	0.27	0.76	-0.01	-0.96	0.14	0.49
抗侵蚀性能指标	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	
F1	-0.57	0.51	0.65	0.51	-0.71	0.83	0.95	
F2	-0.31	0.52	0.20	0.69	-0.49	0.48	0.03	
F3	-0.70	0.32	0.62	0.26	-0.43	0.11	-0.02	

注：数字用阴影标注表示载荷的绝对值超过了 0.9。

3.3 土壤抗侵蚀性能评价

在筛选出研究区土壤抗侵蚀性能优化指标的基础上，采用计算简单快捷的加权平均法对不同林分不同层次土壤的抗侵蚀性能进行综合评价。各指标的权重由相关系数法^[13]确定，具体见表 4。结合各林分 X7，X15，X5 和 X6 的实测值，依托加权平均法对不同层次土壤的抗侵蚀性能进行综合评价，结果见表 5。

表 4 各评价指标间的相关系数及权重系数
Table 4 Correlation and weight coefficient of indicators

	X7	X15	X5	X6	相关系数均值 R'	权重系数
X7	1.000				0.345	0.38
X15	0.894**	1.000			0.388	0.43
X5	0.035	0.255	1.000		0.110	0.12
X6	-0.105	0.016	-0.040	1	0.054	0.06

注：**表明显著性水平（ $P<0.01$ ）。

表 5 各林分土壤抗侵蚀综合评价结果
Table 5 Comprehensive evaluation of soil anti-erosion of sampled stands

林分类型	土壤层次/cm	F (X7)	F (X15)	F (X5)	F (X6)	FZ
杜仲	0 ~ 10	0.852	0.919	0.684	0.495	0.831
	> 10 ~ 20	0.364	0.425	0.969	0.606	0.474
	> 20 ~ 30	0.158	0.511	0.297	0.705	0.358
	> 30 ~ 40	0.015	0.306	0.791	0.443	0.259
麻栎	0 ~ 10	1.000	1.000	0.937	0.746	0.967
	> 10 ~ 20	0.503	0.538	1.000	0.745	0.587
	> 20 ~ 30	0.185	0.373	0.971	0.680	0.388
	> 30 ~ 40	0.088	0.000	0.942	0.222	0.160
毛竹	0 ~ 10	0.760	0.775	0.000	0.807	0.670
	> 10 ~ 20	0.324	0.572	0.100	0.963	0.439
	> 20 ~ 30	0.079	0.240	0.291	1.000	0.228
	> 30 ~ 40	0.009	0.073	0.518	0.854	0.148
黑松	0 ~ 10	0.752	0.936	0.157	0.000	0.707
	> 10 ~ 20	0.251	0.670	0.250	0.142	0.422
	> 20 ~ 30	0.051	0.447	0.428	0.179	0.274
	> 30 ~ 40	0.000	0.171	0.633	0.047	0.153

从表 5 可知，各林分土壤抗侵蚀性能的综合评分值均呈现出明显的层次梯度，均随着土壤深度的增加，呈减小的趋势。以各林分表层 FZ 看，麻栎林（0.967）最强，其次为杜仲林（0.831），再次为黑松林（0.707），毛竹林最弱（0.670）。麻栎林作为高大型落叶阔叶林，其地表枯落物层更厚，枯落物的分解转化更为活跃，对土壤的改良优化效应更为明显，进而使得其表层土壤的抗侵蚀性能优于其他几种森林类型。因此，在老山林区

加强对麻栎林的抚育更新有利于提高该区域森林的水土保持效益及生态服务功能。

4 结论

(1) 本研究选取土壤容重、有机质含量、团聚体特征、抗剪切强度等共计 15 个指标来测定分析南京老山森林公园杜仲林、麻栎林、毛竹林、黑松林的土壤的抗侵蚀性能。从单一指标来看, 麻栎林土壤抗侵蚀性能优于其他 3 种林型。

(2) 以主成分分析法为依托, 对原有土壤抗侵蚀性能评价指标体系进行降维精简, 其中土壤有机质含量、土壤内摩擦角、土壤粉粒含量、土壤砂粒含量对指标总体信息贡献较大, 可以作为该地区土壤抗侵蚀性能评价的最优指标。

(3) 基于四个最优指标, 以多指标加权平均法为评价载体, 对研究区四种主要森林类型的土壤抗侵蚀性能进行综合评价, 结果表明麻栎林最强, 其次为杜仲林, 再次为黑松林, 而毛竹林最弱。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 于法展, 张忠启, 陈龙乾, 等. 江西庐山自然保护区主要森林植被水土保持功能评价[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(04), 578-584.
- [3] 黄进, 张晓勉, 张金池. 开化生态公益林主要森林类型水土保持功能综合评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 87-91.
- [4] 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.
- [5] 王森, 徐晨, 康宏兴, 等. 城市郊野森林公园林相改造初探—以南京老山森林公园为例[J]. 林业科技开发, 2015, 29(2), 147-151.
- [6] 黄致远, 程翔, 杨开红, 等. 南京老山森林公园植被资源的利用与保护[J]. 植物资源与环境, 1993, (02): 21-24
- [7] 凌云, 张光富, 龚滨. 南京老山国家森林公园植物区系及其与邻近地区的关系[J]. 安徽农业科学, 2010, (36): 20938-20942.
- [8] 范少辉, 赵建诚, 苏文会, 等. 不同密度毛竹林土壤质量综合评价[J]. 林业科学, 2015, 51(10): 1-9.
- [9] 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.
- [10] 郭明明, 王文龙, 史倩华, 等. 黄土高原沟壑区退耕地土壤抗冲性及其与影响因素的关系[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 129-136.
- [11] 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.
- [12] 张晓勉, 张金池, 王云南, 等. 钱塘江源头主要植被类型土壤抗剪强度研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 79-84.
- [13] 杨劲松, 姚荣江. 苏北海涂围垦区土壤质量综合评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 410-415.