

北京市延庆县不同土地利用方式下的土壤可蚀性研究

杨帆, 张洪江, 程金花, 丛月, 秦越, 周柱栋, 张东旭, 刘宇

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 以北京市延庆县上辛庄小流域为研究区域, 选择区内农地、杏林、侧柏林、乔灌混交林这 4 种土地利用方式, 通过对土壤水稳性团聚体特征、有机质含量变化以及土壤可蚀性 K 值进行计算和分析, 研究了该区不同土地利用方式下的土壤可蚀性差异特征。结果表明, 不同地类土壤团聚体破坏率表现为: 农地 > 杏林 > 侧柏林 > 乔灌混交林, 林地土壤团聚体结构破坏率显著低于农地 ($p < 0.05$)。农地土壤有机质含量随土层深度的增加呈现一定的上升趋势, 林地的土壤有机质含量随土层深度的增加而减小。不同土地利用方式的土壤可蚀性 K 值存在差异, 表现为: 乔灌混交林 < 侧柏林 < 杏林 < 农地。表层 0—20 cm 土层土壤可蚀性 K 值小于 20—40 cm 土层, 表明其土壤抗侵蚀能力高于深层土壤, 反映出保护表层土壤的重要性。对土壤可蚀性影响因子的分析结果表明, 土壤黏粒含量、有机质含量和水稳性团聚体与土壤可蚀性 K 值的相关关系最为密切 ($p < 0.05$)。

关键词: 土壤可蚀性; K 值; 土地利用方式; 延庆县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0019-05

中图分类号: S157.1

Soil Erodibility of Different Land Use Types in Yanqing County of Beijing City

YANG Fan, ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua,

CONG Yue, QIN Yue, ZHOU Zhu-dong, ZHANG Dong-xu, LIU Yu

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: The soil erodibility characteristics of four land use types in Yanqing County of Beijing City, such as agricultural land, *Prunus armeniaca*, *Cupressaceae*, mixed forest of trees and shrubs, was studied by measuring and analyzing the characters of soil water-stable aggregates, organic matter content and the soil erodibility K value. The results showed that structural damage rate was followed in the order: agricultural land > *Prunus armeniaca* > *Cupressaceae* > mixed forest of trees and shrubs, and forestlands were significantly lower than agricultural land ($p < 0.05$). Soil organic matter content with the increase of soil depth has certain rising trend in the agricultural land, soil organic matter content with the increase of soil depth decreases in the forestlands. Different land use types have the K value differences, which was followed in the order: mixed forest of trees and shrubs < *Cupressaceae* < *Prunus armeniaca* < agricultural land. The K value of surface soil (0—20 cm) was less than that of 20—40 cm deep soil, indicating that the soil resistance to erosion capacity was above the deep soil and it is important to protect the surface soil. The soil erodibility K value was closed related to the factors: such as soil clay content, organic matter content and soil water-stable aggregate closely ($p < 0.05$).

Keywords: soil erodibility; K value; land use types; Yanqing County of Beijing City

土壤侵蚀是全球性生态环境问题之一, 是导致土地资源退化乃至彻底破坏的主要原因^[1]。在影响土壤侵蚀的众多因子中, 土壤自身的抗侵蚀能力是重要因子之一, 国际上通常用土壤可蚀性 K 值来衡量。

土壤可蚀性 K 值表征土壤被侵蚀的难易程度, 反映了土壤对侵蚀外营力剥离和搬运的敏感性, 成为大多数侵蚀预报模型和环境效应评价模型的重要土壤参数, 在土壤侵蚀研究中占有重要地位^[2]。土壤可蚀性

收稿日期: 2012-12-05

修回日期: 2013-04-09

资助项目: 中央高校基本科研专项“水力侵蚀类型区水土流失规律及其防控措施”(TD2011-2); 国家自然科学基金项目(41271300; 30900866)

作者简介: 杨帆(1988—), 男(汉族), 甘肃省陇西县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: paper_yangfan@163.com。

通信作者: 张洪江(1955—), 男(汉族), 河北省易县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。E-mail: zhanghj@bjfu.edu.cn。

的研究始于 20 世纪 30 年代,此后一直是国内外学者关注的重要领域。初期 Middleton^[3]和 Olson^[4]等对土壤可蚀性做了大量基础研究。随着 20 世纪 70 年代通用土壤流失方程 (USLE, universal soil loss equation) 的应用,众多土壤可蚀性经验公式引入到土壤可蚀性的研究中。我国的可蚀性研究早于 20 世纪 50 年代,初期多采用抗蚀性、抗冲性等研究方法,其中以朱显谟^[5]和蒋定生^[6]等人研究为基础,后期引入国外比较成熟的土壤可蚀性经验公式计算和分析土壤可蚀性 K 值,对我国不同地区的土壤可蚀性 K 值进行了大量研究。目前,我国学者在西北黄土高原地区、南方红壤区、西南紫色土区和东北黑土区都开展了多项土壤可蚀性研究^[7],而针对北方土石山区土壤可蚀性方面的研究相对较少。华北土石山区是我国水土流失的一个重要类型区,因区内土层薄、水土流失危害大而受到长期关注,加上下游地区经济发达,城市密集,有我国 3 大核心经济区之一的京津冀经济区和华北粮仓黄淮海平原,对该区土壤侵蚀的关注,对于提高下游地区的生态安全,缓解区域水资源短缺,减轻流域洪涝灾害都具有极其重要的意义^[8]。鉴次,本研究选择华北土石山区有较好典型性的北京延庆上辛庄流域为研究地点,应用土壤可蚀性经验公式,对不同土地利用方式下的土壤可蚀性变化进行深入研究,探讨土壤可蚀性的差异性变化,以期为该区域土壤侵蚀预报以及水土保持规划等提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于北京市延庆县大榆树镇上辛庄村水土保持示范园区。地理坐标为东经 $116^{\circ}3'11''$ — $116^{\circ}4'19''$,北纬 $40^{\circ}26'19''$ — $40^{\circ}27'26''$,平均海拔 700 m,南北长约 1.72 km、东西宽约 1.56 km,面积为

158.54 hm^2 , (中心区面积 88.4 hm^2)。该区地处北温带,属大陆性季风气候,流域年日照时数 2 826 h,年平均气温 8.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年最大积温 3 600 $^{\circ}\text{C}$,最小 2 000 $^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量 474.5 mm,降水主要集中在夏秋季节,占全年降水量的 60% 左右,无霜期 150~160 d。研究区主要土壤类型为黄土母质的普通褐土,是北京地区主要的土壤类型之一。主要乔木种类有刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、小叶杨 (*Populus simonii*)、辽东栎 (*Quercus wutaishanica*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 等,另外还有榆属 (*Ulmus* spp.)、槲属 (*Tilia* spp.) 等,以及杏 (*Armeniaca vulgaris*)、核桃 (*Juglans regia*)、梨属 (*Pyrus* spp.) 等许多于鲜果经济林。

2 研究方法

2.1 样品采集与处理

以研究区内农地、侧柏林、杏林和乔灌混交林 4 种不同土地利用方式下土壤为研究对象,于 2012 年 7 月建立 20 m \times 20 m 的标准地进行样地调查,样地基本情况详见表 1。为了尽可能消除地形、季节和人类活动等对土壤特性的影响,所选取的样地确保是在相似的立地条件下,其中农地主要耕种玉米 (*Zea mays* L.),较少施肥,开垦年限约为 100 a (实地调查)。在每个样地按“品”字形选取采集点挖掘 3 个土壤剖面,按照 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm 机械分层取原状土,充分混合均匀后用四分法取出适量备用。采集的土样剔除可见的动、植物残体和石块,风干后带回实验室储存,用于分析测量土壤理化性质及其它土壤可蚀性指标。数据为 3 次重复的平均值。

表 1 样地基本情况

土地利用方式	海拔/m	坡位	坡向	起源	年限/a	主要植被类型
农地	566	中下坡	NE	人工	100	玉米
侧柏林地	559	中下坡	NE3°	人工	10	侧柏
杏林地	577	下坡	NE1°	人工	10	杏
乔灌混交林地	611	中下坡	NE1°	人工	10	刺槐、酸枣、荆条

2.2 测定方法

采用环刀法测量土壤容重,总孔隙度;采用比重计法测定土壤机械组成;采用人工干筛法测定风干土的团聚体含量,并用湿筛法测定土壤中粒径 > 0.25 mm 水稳性团聚体的含量;采用重铬酸钾容量—外加加热法测定有机质含量。

2.3 数据处理

采用 Williams^[9] 等人在 1990 年提出的 EPIC 模型计算土壤可蚀性 K 值,此公式参数易于测量,在国内土壤可蚀性研究中应用广泛。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.025 S_{AN} (1 - S_{IL}/100)]\} \cdot [S_{IL}/(C_{LA} + S_{IL})] 0.3 \cdot \{1.0 - [0.25c/(c$$

$$+ \exp(3.72 - 2.95c)] \cdot \{1.0 - 0.7SN_1 / [SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9SN_1)]\}$$

式中: K ——土壤可蚀性; S_{AN} ——砂粒含量(%); S_{IL} ——粉砂含量(%); C_{LA} ——黏粒含量(%); c ——有机碳含量(%); $SN_1 = 1 - S_{AN}/100$ 。式中各参数均采用实测方法确定, K 转换为国际制时乘以 0.1317。

团聚体破坏率(%) = 大于 0.25 mm 团聚体分析值(干筛—湿筛)/大于 0.25 mm 团聚体干筛分析值 $\times 100\%$

结构性指数 = 黏粒含量(<0.002 mm)/粉粒含量

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式土壤理化性质差异

3.1.1 水稳性团聚体特征 土壤理化性质是影响土壤可蚀性 K 值的原因,不同的土地利用方式会导致土壤理化性质向不同方向发展,因此对土壤理化性质分析是评价 K 值的前提和基础^[10-11]。土壤团聚体作为土壤的重要组成部分,土壤团聚体的水稳性与土壤可蚀性密切相关,是评价土壤可蚀性的重要指标^[12]。对不同土地利用方式 0—20 cm 和 20—40 cm

土层的水稳性团聚体进行分析(表 2)。

在所研究土层范围内, >0.25 mm 的水稳性团聚体总量均表现出乔灌混交林最高,侧柏林和杏林次之,农地最低($p < 0.05$)。4 种不同土地利用方式中,各粒级团聚体组成比例平均值以 0.5~1 mm 粒级团聚体所占比例最高,变化范围为 5.88%~15.82%,显著大于其它粒级团聚体比例($p < 0.05$)。由表 2 还可以看出,不同土地利用方式下的水稳性团聚体各粒级组成比例表现出不同的变化规律。其中 5~10 mm 粒级团聚体比例,在表层 0—20 cm 和下层 20—40 cm 土壤中均呈现出农地和侧柏林的该粒级团聚体比例显著低于杏林和乔灌混交林的团聚体比例($p < 0.05$);表层 0—20 cm 和下层 20—40 cm 土壤中,乔灌混交林在 2~5 mm 粒级团聚体比例中最大,农地最小,侧柏林和杏林差异不大($p < 0.05$);对于 1~2 mm 粒级,农地在该粒级的团聚体比例中显著小于其它样地($p < 0.05$);0.25~0.5 mm 粒级中,乔灌混交林在该粒级所占比例最大,农地、杏林和侧柏林在该粒级的比例差异较小($p < 0.05$)。在研究土层范围内,乔灌混交林所占 2~5 mm, 1~2 mm, 0.25~0.5 mm 粒级团聚体比例均高于其它 3 种土地利用方式($p < 0.05$)。

表 2 不同土地利用方式土壤水稳性团聚体与结构破坏率

土层深度/cm	土地利用方式	各粒级水稳性团聚体比例/%					>0.25 mm/%	团聚体破坏率/%
		>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm		
0—20	农地	0.27c	1.52ab	3.94c	8.97b	5.56b	20.26c	40.60a
	侧柏林地	0.77c	2.92ab	8.52b	11.43a	6.86 ab	30.50b	20.78b
	杏林地	2.01b	3.72b	5.49c	9.84b	5.39b	26.45b	26.94b
	乔灌混交林地	8.28a	5.34a	10.80a	15.82a	8.12a	48.35a	13.66c
20—40	农地	1.61c	2.84b	2.95c	5.88c	4.15b	18.43c	46.82a
	侧柏林地	1.04c	3.47ab	11.72a	12.49a	3.91b	28.93b	24.03b
	杏林地	3.57b	3.93ab	5.13b	7.99b	5.10b	26.96b	27.47b
	乔灌混交林地	10.54a	9.20a	9.84a	12.63a	9.28a	51.49a	15.59c

注:表中字母不同表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

另外,由土壤团聚体的结构破坏率可以看出农地的团聚体破坏率最大,分别为 40.60%和 46.82%,乔灌混交林最小,分别为 13.66%和 15.59%,林地土壤团聚体结构破坏率则显著低于农地($p < 0.05$)。农地的抗侵蚀能力和养分保存能力显著降低,而且杏林的团聚体破坏率也大于其它两种林份,可见人为干扰活动在一定程度上增加了团聚体破坏率,导致土壤侵蚀更易于发生。

3.1.2 有机质垂直分布特征 有机质是水稳性团粒的主要胶结剂,能够促进土壤中团粒结构的形成,增加土壤的疏松性、通气性和透水性,对于降低土壤的可蚀性具有重要作用,在众多的研究中土壤有机质含

量已经作为表征土壤可蚀性的关键因子之一^[13]。

由图 1 可以看出,对于不同的土地利用方式,土壤有机质含量在垂直分布上表现不一致。农地土壤有机质含量随土层深度的增加有一定上升趋势,这主要是由于农地经过长期耕作,人为的扰动土壤土层致使土壤的淋溶作用加强,致使土壤上层有机碳发生下移^[14]。而侧柏林、杏林、乔灌混交林的土壤有机质含量在垂直分布上随土层深度的增加总体减小。4 种不同土地利用方式均表现出 0—10 cm 土壤有机质含量显著高于其它土层中的有机质含量($p < 0.05$)。由于林地具有良好的植被覆盖以及枯枝落叶层的分解作用,土壤表层 0—20 cm 的林地土壤有机质含量均高

于农地 ($p < 0.05$)。林地方面,乔灌混交林和侧柏林的土壤有机质含量显著高于杏林 ($p < 0.05$),由于杏林在生长过程中,多次受到人为活动的干扰,减少了地被植物,破坏了土壤结构,加速了有机质的分解。可见,良好的植被群落对于增加土壤有机质含量有着重要的意义。

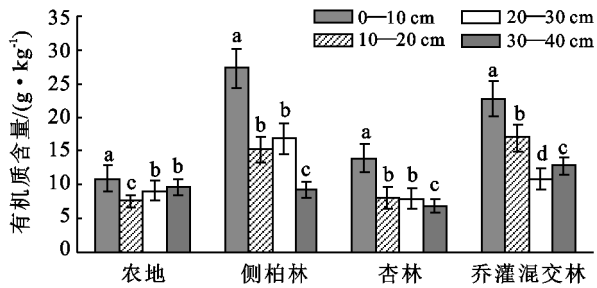


图 1 不同样地土壤有机质含量

3.2 不同土地利用方式的土壤可蚀性

采用 EPIC 经验公式,对不同土地利用方式下 0—20 cm 和 20—40 cm 土层深度的土壤可蚀性 K 值进行比较,结果详见表 3。由表 3 可以看出,在 0—20 cm 表层土壤中农地土壤可蚀性 K 值最大,为 0.042 2,

乔灌混交林最小,为 0.040 8,土壤可蚀性 K 值从高到低依次为:农地 > 杏林地 > 侧柏林地 > 乔灌混交林地。在 20—40 cm 土层,农地 K 值依然最大, K 值从高到低依次为:农地 > 杏林地 > 侧柏林地 > 乔灌混交林地。由于林地具有良好的群落组成和土壤理化性质,加之根系的作用,乔灌混交林、杏林、侧柏林的土壤可蚀性 K 值均小于农地,3 者的土壤抗侵蚀能力较强。总体来说,乔灌混交林的土壤结构最合理,土壤可蚀性 K 值最小。

对于同一种土地利用方式,0—20 cm 的土壤可蚀性 K 值均小于 20—40 cm 的土壤可蚀性 K 值。随着土层深度的增加,由于土壤的理化性质发生不同程度的变化,土壤的抗侵蚀能力降低,从一定程度上说明了表层土壤的重要性,一旦表层土壤受到侵蚀破坏,较深层的土壤也会更容易被侵蚀,这也与其它相关土壤抗蚀性研究相符。

通过对不同土地利用方式下土壤可蚀性的分析,发现土地利用方式能够改变土壤的潜在可蚀性。以往研究表明^[15-16],土壤可蚀性的强弱本质上取决于土壤结构的稳定性,不同的土地利用方式植被和耕作模式的不同,导致了土壤理化性质和结构稳定性的变化,进而使土壤的可蚀性存在差异。

表 3 不同土地利用方式下不同土层的土壤可蚀性 K 值差异

土层深度/cm	土地利用方式	砂砾/%	粉粒/%	黏粒/%	SN ₁	K 值
0—20	农地	29.10b	66.98a	3.91b	0.71	0.042 2
	侧柏林地	26.31c	65.51b	8.09a	0.74	0.041 8
	杏林地	24.11c	65.98b	9.81a	0.76	0.042 0
	乔灌混交林地	33.73a	63.26c	3.01b	0.66	0.040 8
20—40	农地	23.63c	71.36a	5.02a	0.76	0.043 8
	侧柏林地	29.32b	66.90b	3.74c	0.71	0.042 2
	杏林地	28.09b	67.84b	4.18b	0.72	0.042 5
	乔灌混交林地	31.48a	64.35c	4.17b	0.69	0.041 2

注: K 值均为国际制单位。砂粒粒径为 0.1~2 mm,粉砂粒粒径为 0.1~0.002 mm,黏粒粒径为 <0.002 mm。

3.3 土壤可蚀性影响因子分析

土壤可蚀性作为土壤对外营力侵蚀作用敏感程度的体现,它受到土壤结构、胶结物质状况的影响而发生相应的变化。为了能直观表现土壤可蚀性相关因子对土壤可蚀性的影响,结合前人的研究成

果^[17-18],综合选取了容重、总孔隙度、黏粒 (<0.001 mm)含量、团聚体含量、>0.25 mm 水稳性团聚体含量、土壤有机质含量、pH 值、土壤结构性指数共 8 个因子与土壤可蚀性 K 值做 Pearson 相关性分析,结果详见表 4。

表 4 土壤可蚀性与相关因子的 Pearson 相关关系

项目	容重	总孔隙度	黏粒	团聚体	水稳性团聚体	有机质	pH 值	结构性指数
Pearson 相关性	-0.128	0.310	-0.713**	-0.436	-0.581**	-0.673**	-0.051	-0.428
显著性(双侧)	0.343	0.361	0.004	0.166	0.009	0.006	0.923	0.189

注:样本数为 48。* * 表示相关性达显著水平 ($p < 0.05$)。

表4表明,土壤可蚀性与土壤黏粒含量、水稳性团聚体含量、有机质含量呈显著负相关关系,有机质是土壤结构体形成和稳定的重要胶结物质,具有较高有机质含量的土壤,胶体之间结合力较强,增加土壤有机质或团聚体或黏粒含量,能够改善土壤团聚结构降低土壤的可蚀性,增强土壤抗侵蚀性能。土壤可蚀性还与团聚体含量、结构性指数呈一定的负相关性,二者的变化会改变土壤水稳性团聚体含量和土壤机械组成,水稳性团聚体含量高,土壤可蚀性 K 值较小,土壤抗侵蚀性能强。对于土壤容重和 pH 值,它们对土壤可蚀性的影响较低,不会对土壤侵蚀能力产生直接影响;土壤总孔隙度与土壤可蚀性呈一定正相关关系,这可能与所取土样的地域性有关。土壤可蚀性与不同因子间的关系反映出影响土壤可蚀性的因子间是具有相互关联的,可以看出,对于土壤可蚀性的研究是一个复杂的和系统化的过程。

4 结论

(1) 在所研究土层范围内, >0.25 mm的水稳性团聚体总量均表现出乔灌混交林最高,侧柏林和杏林次之,农地最低($p<0.05$)。各粒级团聚体组成比例平均值以 $0.5\sim 1$ mm粒级团聚体所占比例最高,显著大于其它粒级团聚体比例($p<0.05$)。不同土地利用方式的土壤团聚体破坏率从大到小顺序为:农地 $>$ 杏林 $>$ 侧柏林 $>$ 乔灌混交林,林地土壤团聚体结构破坏率则显著低于农地($p<0.05$)。对于土壤有机质垂直分布,农地土壤有机质含量随土层深度的增加有一定上升趋势,而侧柏林、杏林、乔灌混交林的土壤有机质含量在垂直分布上随土层深度的增加总体减小。

(2) 林地的土壤可蚀性 K 值比农地小,土壤抗侵蚀能力强,其中,乔灌混交林的土壤可蚀性 K 值最低,表明人为活动会对土壤的可蚀性造成直接影响,加强管理和减少人为活动可以减轻土壤侵蚀。对于同一种土地利用方式, $0\sim 20$ cm土层的土壤可蚀性 K 值均小于 $20\sim 40$ cm土层的土壤可蚀性 K 值,土壤抗蚀能力减弱,说明保护表层土壤的重要性。

(3) 土壤中黏粒含量、有机质含量以及水稳性团聚体与土壤可蚀性 K 值相关最为密切。土壤可蚀性的强弱本质上取决于土壤团聚体与土壤有机质含量,通过良好植被群落以提高土壤有机质含量,促进土壤团聚体的形成,增强土壤团聚度,是降低土壤可蚀性,增强土壤抗侵蚀性能的重要途径。

[参 考 文 献]

- [1] 刘宝元,张科利,焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J]. 自然资源学报,1999,14(4):345-350.
- [2] 吕喜玺,沈荣明. 土壤可蚀性因子 K 值的初步研究[J]. 水土保持学报,1992,6(1):65-72.
- [3] Olson W. Soil erodibility evaluation for soils on the runoff and erosion stations[J]. Soil Science, Society of American Proceedings, 1963,27(5):590-592.
- [4] Middleton H E. Properties of Soils Which Influence Soil Erosion[M]. New York: General Book, 2012.
- [5] 朱显谟. 泾河流域土壤侵蚀现象及其演变[J]. 土壤学报,1951,2(4):209-222.
- [6] 蒋定生. 黄土抗蚀性的研究[J]. 土壤通报,1978(4):20-23.
- [7] 郑粉莉,王占礼,杨勤科. 我国水蚀预报模型研究的现状、挑战与任务[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):7-14.
- [8] 毕小刚. 北京山区坡面土壤流失方程研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [9] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rain fall erosion loss: A guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook No. 537, Washington DC: USDA, 1978.
- [10] Wischmeier W H, Mannering J V. Relation of soil properties to its erodibility[J]. Soil Society of American Proceeding, 1969,33(1):131-137.
- [11] 张科利,蔡永明,刘宝元,等. 土壤可蚀性动态变化规律研究[J]. 地理学报,2001,56(6):673-681.
- [12] 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.
- [13] 田积莹,黄义瑞. 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.
- [14] 史长婷,王恩姮,陈祥伟. 典型黑土区水土保持林对土壤可蚀性的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(3):25-29.
- [15] 海春兴,赵焯,陈志凡. 河北省坝上不同土地利用方式土壤可蚀性研究:以河北省丰宁县大滩乡三道河为例[J]. 中国生态农业学报,2005,13(1):146-147.
- [16] 何永彬,卢培泽,朱彤. 横断山—云南高原干热河谷形成原因研究[J]. 资源科学,2000,22(5):69-72.
- [17] 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.
- [18] 朱冰冰,李占斌,李鹏,等. 土地退化/恢复中土壤可蚀性动态变化[J]. 农业工程学报,2009,25(2):56-61.