

多花木蓝与狗牙根不同种植模式对 三峡黄棕壤抗蚀性影响

周明涛^{1,2}, 高家祯^{1,2}, 张守德², 秦健坤^{1,2}, 许文年^{1,2}

(1. 三峡大学 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学 土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002)

摘 要:通过静水崩解试验及对土壤各抗蚀性指标的探索研究,分析了三峡库区黄棕壤在多花木蓝和狗牙根不同种植模式下的抗蚀性。结果表明:(1)静水崩解过程中,土壤崩解速率表现为空白地>多花木蓝>狗牙根>混播;较空白地土壤,有根试样土壤其崩解速率有很大的减缓,其中混播效果最好,且根系各密度指标与抗蚀性增强值均表现为显著线性相关。(2)与空白地相比,不同种植模式下,土壤水稳性团聚体含量、平均重量直径、有机质含量、团聚状况、团聚度、土壤黏粒含量均有明显的提高,而结构破坏率、分散率则明显下降。(3)通过主成分分析表明:以>0.25 mm 湿筛团聚体含量、结构破坏率、团聚状况、分散率、有机质为指标能较好地衡量黄棕壤在植被恢复下土壤抗蚀性能。

关键词:黄棕壤;静水崩解;抗蚀性;主成分分析

中图分类号:S157 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2017)01-0007-05

Impact of Different Planting Patterns of *Magnolia multiflora* and *Cynodon dactylon* on the Antierodibility of Yellow Brown Earth in Three Gorges Area

ZHOU Mingtao^{1,2}, GAO Jiazhen^{1,2}, ZHANG Shoude², QIN Jiankun^{1,2}, XU Wennian^{1,2}

(1. *Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir*

Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China;

2. College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: In order to analyze the soil antierodibility characteristics of the yellow brown earth in the planting pattern of *Magnolia multiflora* plus *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. in Three Gorges Area, hydrostatic disintegration test has been conducted to investigate different soil antierodibility indexes. The results are as follows. First of all, in the process of hydrostatic disintegration, soil disintegration rate decreases in the order: bare land>*Magnolia multiflora*>*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers>mixture sowing. Compared with the bare land, the disintegration rate of the soil, which included roots, has greatly slowed down, while mixture sowing of that was the slowest. The density of the root system were significantly linearly correlated with the antierodibility enhancement. Secondly, compared with the control sample, soil water stable aggregate contents, mean weight diameters, organic matter contents, agglomeration status, reunion and soil clay contents were significantly improved under different planting modes. What's more, structural damage rate and dispersion ratio decreased significantly. Thirdly, principal component analysis showed that the indexes of wet sieve aggregate (>0.25 mm) content, structural damage rate, agglomeration status, dispersion rate and organic matter could better measure erodibility resistance of yellow brown earth under vegetation restoration.

Keywords: yellow brown earth; hydrostatic disintegration; antierodibility; principal component analysis

三峡库区地处亚热带,降雨充沛,90%以上的面积与基础设施建设的大力推进,形成了众多的裸地和松散堆积体,严重地破坏了植被根系与土体之间的正常

关系,导致土壤抗蚀性降低、水土大面积流失、地质灾害频发,给地区生态环境与安全带来极大隐患^[1-2]。植物是增强土壤抗蚀性最有效和最根本的措施,随着植被的生长与恢复,土壤的理化性质、土壤结构、有机质和养分也发生着相应的改变^[3]。国内关于植被恢复防止水土流失的研究多集中在黄土高原地区,如李勇等^[4]对黄土高原不同植物根系提高土壤抗蚀性的生物动力学性质进行了综合系统的研究,开辟了植物根系提高土壤结构稳定性及抗蚀性研究的新领域;而长江上游三峡库区等水土流失严重、生态环境脆弱地区的相关研究较少,由于地理环境的不同,有必要对三峡库区植物根系的固土机理与土壤抗蚀性做进一步研究。

在人工构建的植被中,合适的植物物种不仅要适应当地的生态环境,还应提升土壤的抗蚀性,其中草本植物根系发达、根茎众多、生长迅速,能起到很好的水土保持效果,灌木类植物则可以显著降低由降雨引起的土壤侵蚀,主要包括降雨截流、蒸腾作用和根系土层固结作用等,而草灌组合措施下生物群落结构更加丰富,植被恢复速度最快^[5]。多花木蓝和狗牙根是三峡库区常见的两种植物,其中多花木蓝为多年生落叶豆科灌木,具有抗旱、耐寒、耐瘠薄、根系发达的特点,能有效截留降水、固持土壤,是一种优良的水土保持及绿化护坡植物;狗牙根为多年生禾科类草本植物,其根系发达、耐瘠薄、管理粗放,是极好的水土保持物种^[6]。目前关于狗牙根与多花木蓝的研究主要集中在生物特性方面的研究,但其作为水保植物的特性研究尚少,因此本文选择三峡库区常见的草本植物狗牙根与灌木多花木蓝为研究对象,分别以单播及混播处理的方式进行种植,通过测定与分析不同种植模式下三峡地区黄棕壤的抗蚀性,以探求适宜的种植模式,为三峡库区边坡植被的选择与构建、防止水土流失提供重要的指导意义。

1 研究概况与方法

1.1 试验概况

2013年9月,在三峡大学校区内设计坡度一致的四组试验地:狗牙根植被(CP)、多花木蓝植被(IC)、狗牙根+多花木蓝混合植被(HB)和空白地(CK),单组试验地划分为5块种植单元,共计20块。单块种植单元长×宽为1.0 m×1.0 m,表面覆盖三峡黄棕壤30 cm,所覆土壤粒径≤15 mm,干容重1.20 g/cm³,与三峡库区黄棕壤自然状态相近。狗牙根采用播种的方式培育,CP试验地播种密度为3 g/m²,HB试验地播种密度为1.5 g/m²。多花木蓝采用移

栽的方式种植,IC和HB试验地内每块种植单元均匀布设8株,移植之初各多花木蓝规格大致相同。狗牙根播种与多花木蓝移植完毕,对试验地进行浇水、施肥、除杂草、防治病虫害等养护工作。一年后,经检测CP试验地内植被覆盖率达95%;IC试验地内多花木蓝无死苗现象,植株长势较好,平均株高70 cm;HB试验地植被覆盖率达99%,多花木蓝无死苗现象,植株长势良好,平均株高1.1 m。由于一直在除杂草,CK空白地几乎无任何植物生长。

1.2 试验方法

1.2.1 试样采集 2014年9月,将CP、IC和HB试验组地面以上的植物茎叶剪除,采用根钻在每块试验地内随机钻取3块试样用于静水崩解试验;将崩解后试样里面植物根系清洗出来用根系扫描仪分析根系密度;同时在每块试验地随机采集2块大小约为10 cm×10 cm×20 cm大小的原状土,用塑料盒带回试验室,清理土体表面杂质及根系后放置风干,用于测量水稳性团聚体类、微团聚体类、有机胶体类3类指标,每项指标重复测量3次,结果取其平均值。

1.2.2 静水崩解试验测定 将取好的试样置于透水石上浸泡24 h左右,使试样达到饱和,确保试样在静水崩解试验时其初始含水率相同。采用改进的静水崩解法^[7]对试样进行测试,缓慢将试样放入静水中,当试样全部进入水面时计时开始,试验时间30 min,若试样在30 min内完全崩解,则以具体的崩解时间作为试验崩解时间,计算崩解掉的含饱和水的土重,崩解速率用单位时间崩解掉的含饱和水的土重来衡量,用V(g/min)表示,每种试样重复3次采用平均值衡量。

1.2.3 土壤抗蚀指标的选取及测定 对已有研究成果进行分析及结合黄棕壤的结构特点,本文选取水稳性团聚体类、微团聚体类、有机胶体类、根系密度类这4类指标中11个重要指标进行土壤抗蚀性特征研究。部分抗蚀指标计算公式如下所示:

$$(1) \text{团聚状况} = \left(\frac{>0.05 \text{ mm 微团聚体分析值} - >0.05 \text{ mm 机械组成分析值}}{>0.05 \text{ mm 机械组成分析值}} \right) \times 100\%$$

$$(2) \text{团聚度} = \frac{\text{团聚状况}}{>0.05 \text{ mm 微团聚体分析值}} \times 100\%$$

$$(3) \text{分散率} = \frac{<0.05 \text{ mm 微团聚体分析值}}{<0.05 \text{ mm 机械组成分析值}} \times 100\%$$

$$(4) \text{平均重量直径: MWD} = \sum_{i=1}^n \overline{x_i} w_i$$

式中: $\overline{x_i}$ 为土壤各粒径的平均直径(mm); w_i 为土壤各粒径的质量百分比(%)

$$(5) \text{结构破坏率} = \frac{>0.25 \text{ mm 团聚体含量(干筛-湿筛)}}{>0.25 \text{ mm 干筛团聚体含量}} \times 100\%$$

各项指标见表 1。

表 1 土壤抗蚀指标

抗蚀指标类型	抗蚀指标	测定方法
水稳性 团聚体类	>0.25 mm 湿筛团聚体含量(X_1)	干筛法、湿筛法 ^[8]
	土壤团聚体稳定性指数 ASI(X_2)	
	土壤湿筛平均重量直径 MWD(X_3)	
	结构破坏率(X_4)	
微团聚体类	团聚状况(X_5)	吸管法
	团聚度(X_6)	
	分散率(X_7)	
有机胶体类	有机质含量(X_8)	重铬酸钾氧化法
	根重密度(X_9)	
根系密度类	根长密度(X_{10})	根系扫描分析
	根表面积密度(X_{11})	

表 2 不同种植模式下土壤崩解试验基本参数

种植 模式	崩解 量/g	平均崩解速率/ ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)	根长密度/ ($\text{mm} \cdot \text{cm}^{-3}$)	根表面积密度/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$)	根重密度/ ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-3}$)	抗蚀性增 强值
CK	558.48±13.03a	18.616±0.43a	—	—	—	—
IC	101.96±3.19b	3.399±0.11b	1.689±0.13c	0.243±0.04c	1.858±0.24a	0.817±0.006a
CP	99.42±4.88b	3.314±0.16b	2.451±0.24a	0.542±0.06a	0.715±0.10c	0.822±0.008a
HB	97.90±5.17b	3.263±0.17b	1.987±0.19b	0.346±0.04b	1.054±0.14b	0.825±0.009a

注:数据为平均数±标准误($n=5$);同列小写字母表示不同种植模式下差异显著性($p<0.05$),下同。

土壤的抗蚀性是土壤抗侵蚀的一个重要方面,一般认为,植物根系对土壤抗侵蚀的贡献在于须根能直接有效地改变土壤理化性质,增强了土壤抗分散和悬浮的能力,从而提高土壤抗水蚀性能^[8]。为了解根系对土壤抗蚀性的影响,本文采用土壤抗蚀性增强值 C_e 来表示, C_e 值表示由于根系的存在而使土壤崩解速率减缓的系数,也就是根系对土壤抗蚀性的增强值,其值在 0~1 之间,越接近于 1,表明增强效应越显著^[7]。由表 2 可以看出,IC,CP 和 HB 试验地土壤抗蚀性增强值分别为 0.817,0.822,0.825。由此可见,三种种植模式对三峡库区黄棕壤的抗蚀均有较强的增强效能,在土壤抗蚀过程中能发挥较大的固土效应。采用 SPSS 软件分析不同种植模式下各根系密度与抗蚀性增强值间相关性发现:除多花木蓝抗蚀性增强值与根表面积密度呈显著线性相关($p<0.05$, $n=5$),其余均呈极显著线性相关($p<0.01$, $n=5$),表明土壤的抗蚀性增强值随根重密度、根长密度、根表面积密度增大而增大,均符合线性回归关系,其拟合方程见图 1 所示,除多花木蓝样地中根表面积密度与抗蚀性增强值的拟合相关系数 R^2 为 0.848 5 外,其他均大于 0.9。

2.2 土壤团粒水稳性

土壤团粒的水稳性是评价抗蚀性的重要指标之一,它决定了土壤抵抗雨滴直接冲击、径流分散及悬

2 结果与分析

2.1 静水崩解试验及其与根系密度变化

土壤崩解是指土壤在水中发生分散塌落或者强度减弱的现象,崩解强度反映土壤颗粒结构对水力浸润解体的性质或反映土壤结构体被雨水分散解体的难易程度,是评价土壤抗蚀性能的一项重要土壤物理指标^[9]。从表 2 可以看出,除 CK 试样在 30 min 内提前完全崩解外,其他试样 30 min 的崩解量分别为 IC 试样 101.96 g,CP 试样 99.42 g 和 HB 试样 97.90 g,空白地 CK 的崩解速率远大于其他三组有植物试验地土样的崩解速率,混合植被 HB 试验地土样的崩解速率最小,不同种植模式试验地土样的土壤崩解速率为 $CK>IC>CP>HB$ 。

浮能力^[10]。由表 3 可见,空白地 CK 的 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量仅为 21.56%,>0.5 mm 的水稳性团聚体含量仅为 17.37%,土壤结构破坏率到达 68.17%,平均重量直径 MWD 仅为 0.61;采用植被种植处理后,IC,CP,HB 试验地 >0.25 mm、>0.5 mm 的水稳性团聚体含量分别为空白地 CK 的 1.87 倍、1.94 倍、2.22 倍和 1.77 倍、1.87 倍、2.07 倍,结构破坏率相对于空白地 CK 分别下降了 16.08%,16.71%,25.33%,有机质含量较空白地 CK 分别增加了 13.57%,8.27%,7.96%,水稳性指数较空白地 CK 分别提高了 35.77%,33.33%,37.40%,平均重量直径较空白地 CK 则分别提高了 42.62%,62.30%,67.21%。情况表明,相对三种有植被的试验地,空白地 CK 的土壤团粒结构性较差。

2.3 土壤分散性变化

土壤颗粒是构成土壤的基本单元,也是土壤结构的主要组分,通过抵抗水分散的微团聚体与机械组成对比,常作为土壤抗蚀能力大小的又一项重要指标^[11]。试验地三峡黄棕壤的分散特性见表 4。

从表 4 可知,空白地 CK 土样中黏粒含量为 13.39%,而含植物试验地 IC,CP,HB 土样中黏粒含量则有明显的增加,分别提高了 6.87%,12.17%,20.39%;相对空白地 CK 土样而言,试验地 IC,CP,HB 土样的团聚状况分别提高 78%,90%,100%,团聚度分别增加 1.03 倍、1.20 倍、

1.26倍,分散率分别降低 4.20%,4.77%,5.46%。可见,植被使三峡库区黄棕壤的土壤抗分散能力得到了

改善和加强,土壤颗粒间团聚程度提高,土壤结构性更好,从而抗蚀性得到增强。

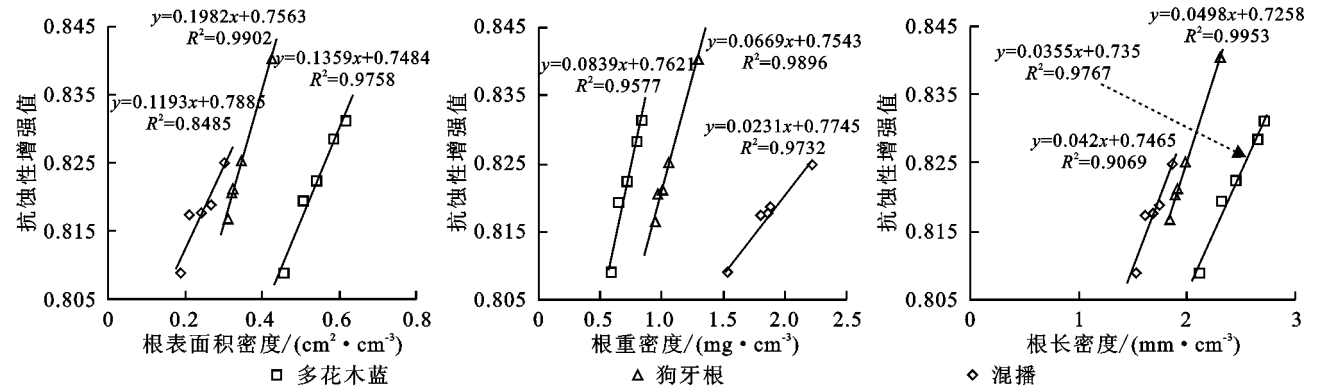


图 1 根表面积密度、根重密度、根长密度与抗蚀性增强值关系

表 3 不同植被类型水稳性团聚体变化

植被类型	水稳性团聚体/%		水稳性指数 ASI	结构破坏率/%	平均重量直径 MWD/mm	有机质/(g·kg ⁻¹)
	>0.25 mm	>0.5 mm				
CK	21.56±1.03c	17.37±0.88c	1.23±0.01b	68.17±0.66a	0.61±0.01c	9.8±0.32b
IC	40.52±0.98b	30.69±2.23b	1.67±0.03a	57.21±0.97b	0.87±0.04b	11.13±0.59a
CP	41.84±2.29b	32.47±1.15b	1.64±0.03a	56.78±2.48b	0.99±0.08a	10.61±0.38a
HB	47.91±0.76a	35.88±1.46a	1.69±0.05a	50.9±0.83c	1.02±0.05a	10.58±0.51a

表 4 不同种植模式下三峡黄壤的分散性

植被类型		不同粒径土壤颗粒分布			团聚 状况	团聚 度	分散 率
		砂粒	粉粒	黏粒			
CK	微团聚体	40.68	45.93	13.39	3.69	9.75	94.06
	机械组成	37.85	48.22	13.93			
IC	微团聚体	39.87	45.82	14.31	6.60	19.84	90.11
	机械组成	33.27	48.39	18.34			
CP	微团聚体	39.78	45.2	15.02	7.02	21.43	89.57
	机械组成	32.76	45.87	21.37			
HB	微团聚体	40.85	43.03	16.12	7.37	22.01	88.92
	机械组成	33.48	48.13	18.39			

2.4 影响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,但却繁杂,应用起来不便,而且有些指标间信息重叠,相互间具有一定的关联性^[9],为了进一步揭示各抗蚀指标对三峡库区黄棕壤土壤抗蚀性的贡献,采用 SPSS 软件对上述 11 个指标进行主成分 PCA 分析,结果见表 5。从 PCA 分析表 5 可见,所选取的 11 个指标根据主成分个数提取原则可提取为三个主成分,其中主成分 Y₁ 贡献率为 40.587%,主成分 Y₂ 贡献

率为 33.822%,主成分 Y₃ 贡献率为 14.607%,三者累计贡献率达 89.016%,信息损失量仅为 10.984%,满足主成分分析对信息损失量的要求。

由表 5 主成分中各项指标因子负荷量可知:对主成分 Y₁ 贡献最大的是>0.25 mm 湿筛团聚体含量(X₁),其次为结构破坏率(X₄);对主成分 Y₂ 贡献最大的是团聚状况(X₅),其次为分散率(X₇);对主成分 Y₃ 贡献最大的是有机质含量(X₈)。同时可知 X₁, X₄ 属于水稳性团聚体类因子, X₅, X₇ 为微团聚体类因子, X₈ 则属于有机胶体类因子。由于主成分 Y₁ 的贡献率最大,达 40.587%,说明以水稳性团聚体为基础的指标能较好地衡量黄棕壤的抗蚀性,即水稳性团聚体含量越高,团聚体水稳性指数 ASI 越大,平均重量直径越大,结构破坏率越小,土壤的抗蚀性能则越强;主成分 Y₂ 的贡献率为 33.822%,说明以微团聚体类因子为基础的指标在一定程度上表现为团聚状况越好,团聚度越高,分散率越低,黄棕壤的抗蚀性越好;主成分 Y₃ 的贡献率最小为 14.607%,说明以有机质含量来表示黄棕壤抗蚀性能具有一定的局限性。

表 5 抗蚀性指标 PCA 分析

主成分	各项指标因子负荷量											特征根	累计贡献率
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁		
Y ₁	0.953	0.390	0.576	-0.938	0.139	0.482	-0.143	-0.073	-0.584	0.865	0.909	4.465	40.587
Y ₂	0.17	-0.613	0.493	0.109	0.958	0.753	-0.958	-0.298	-0.544	0.409	0.368	3.720	74.409
Y ₃	-0.251	-0.557	-0.286	0.293	-0.170	-0.140	0.169	0.831	0.541	0.066	0.001	1.607	89.016

3 讨论

表征土壤抗蚀性基本上可归纳为两类,一是直接

采用土壤某些物理化学性质,如水稳性团聚体含量、颗粒粒径大小及组成情况、有机质含量等;二是指土体在外力作用下的变化和反应,如静水崩解,抗剪切

等,第一类属于土体固有特性,第二类受控于第一类^[12]。通过对各种试样进行静水崩解试验发现,有根试样之所以较素土的其崩解速率较小,主要是因为植物根系在土体形成纵横交错的根网,将土壤颗粒包裹起来,形成加筋土,增强了土体抗蚀性能,同时随着植被恢复后根系的穿插、挤压、固结作用以及土壤微生物、动物等作用使得水稳性团聚体含量提高、结构破坏率下降、水稳性指数提高,从而土壤抗蚀性增强。

有根试样之间崩解速率存在差异,可能在于混播能促进两种植物地上和地下生物量的增加,加强了植物根系对土壤的缠绕与固结,提高了有机质含量,从而比单一植被的土壤崩解速率小。

土壤抗蚀性作为评价土壤抵抗侵蚀的重要参数,由于研究区域和研究条件的差异以及影响抗蚀性因素的复杂性,即使在同一区域所得抗蚀指标也有一定的差异。陈维新等^[13]对辽宁省坡耕地的抗蚀性研究发现,土壤质地主要决定土壤抗蚀性,即土壤黏粒越多,物理性砂粒越少其抗蚀性越高;史晓梅等^[14]对紫色土丘陵区不同土地植物类型下土壤抗蚀性研究发现 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体、 $>0.5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量以及结构破坏率是决定抗蚀性的重要指标。本文通过对所选取的11个指标进行测量,并进行主成分分析,发现表征土壤抗蚀性较好的指标为 $>0.25\text{ mm}$ 的湿筛团聚体含量、结构破坏率,同时得出了团聚状况、分散率、有机质也可以表征黄棕壤土壤抗蚀性,这与国内许多研究的结论相符^[3,15]。以上表明随着植被的生长与恢复,有根试样较无根试样其土壤结构性、团聚状况均有所提高,主要是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^[16];且植物根系能将板结的土块分散并通过根系分泌物及根系自身的腐化而形成腐殖质,使土壤拥有良好的团聚结构及孔隙分布,并提高了土壤有机质含量,而土壤的有机质含量越高,越有利于土壤团聚体的形成,进一步提高土粒之间的黏结力,改善土壤团粒结构与理化性质,从而间接地影响着土壤的抗蚀性^[15]。

4 结论

(1) 不同种植模式下,土壤崩解速率表现为空白地 $>$ 多花木蓝 $>$ 狗牙根 $>$ 混播;较对照样地土壤,三种植植模式下土壤抗蚀性均增强较明显,有很好的水土保持效果,其中混播效果最佳。

(2) 与空白地相比,不同种植模式下,土壤抗分散能力得到一定程度的改善,团聚度明显提高,土壤结构性更好,其中土壤水稳性团聚体含量、平均重量直径、有机质含量、团聚状况、团聚度、土壤黏粒含量均有明显的提高,而结构破坏率、分散率则明显下降。

(3) 通过主成分分析,植被恢复后的黄棕壤以水稳性团聚体类指标能较好地衡量其抗蚀性,其次为微团聚类指标、有机质,而根系密度类指标评价效果较差。

参考文献:

- [1] 杜佐华,严国安. 三峡库区水土保持与生态环境改善[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(2):209-303.
- [2] 熊平生,谢世友,莫心祥. 长江三峡库区水土流失及其生态治理措施[J]. 水土保持研究,2006,13(2):272-273.
- [3] 韩鲁艳,贾燕锋,王宁,等. 黄土丘陵沟壑区植被恢复过程中的土壤抗蚀与细沟侵蚀演变[J]. 土壤,2009,41(3):483-489.
- [4] 李勇,吴钦孝,朱显谟,等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J]. 水土保持学报,1990,4(1):1-6.
- [5] 刘窑军,王天巍,李朝霞,等. 不同植被防护措施对三峡库区土质道路边坡侵蚀的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(4):896-902.
- [6] 谭淑端,朱明勇,党海山,等. 三峡库区狗牙根对深淹胁迫的生理响应[J]. 生态学报,2009,29(7):3685-3691.
- [7] 徐少君,曾波. 三峡库区5种耐水淹植物根系增强土壤抗侵蚀效能研究[J]. 水土保持学报,2008,22(6):13-18.
- [8] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):93-96.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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):806-813.
- [12] 卢喜平,史东梅,蒋光毅,等. 两种果草模式根系提高土壤抗蚀性的研究[J]. 水土保持学报,2004,18(6):64-67,124.
- [13] 陈维新,张玉龙. 辽宁省坡耕地土壤抗蚀性的研究[J]. 土壤通报,1989,20(5):45-48.
- [14] 史晓梅,史东梅,文卓立. 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.
- [15] 谈正鑫,万福绪,张波. 盱眙火山岩丘陵区不同林地土壤抗蚀性评价[J]. 水土保持研究,2015,22(2):7-11.
- [16] 熊燕梅,夏汉平,李志安,等. 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.