

不同生物埂模式对川中丘陵区坡耕地土壤抗蚀性的影响

王培¹, 郭天雷², 高强², 刘成², 石劲松²

(1. 长江水资源保护科学研究所, 武汉 430051; 2. 长江水利委员会长江科学院, 武汉 430019)

摘要:以川中丘陵区坡耕地生物埂为研究对象,采用野外调查与室内分析相结合的方法对坡耕地生物埂 SS(桑树埂)、HJ(花椒埂)、ZH(紫花苜蓿埂)和 CK(杂草埂)模式下的土壤抗蚀特征及其影响因素进行了分析。结果表明:(1)生物埂措施能有效增加土壤含水率和土壤有机质含量,提高土壤孔隙度,改良土壤结构;(2)通过主成分分析得到不同生物埂模式下土壤抗蚀性综合指数大小依次为 HJ>SS>ZH>CK,因此抗蚀性大小依次为 HJ>SS>ZH>CK;(3)利用相关性分析,得到影响土壤抗蚀性与土壤含水率、有机质、容重、孔隙度及机械组成呈显著或极显著关系。研究结果可为紫色土坡耕地生物埂防控水土流失提供依据。

关键词:生物埂模式;抗蚀性;坡耕地;紫色土

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0007-05

Effect of Different Bio-Bank Models on Soil Anti-Erodibility of Sloping Farmland in Sichuan Hilly Basin

WANG Pei¹, GUO Tianlei², GAO Qiang², LIU Cheng², SHI Jinsong²

(1. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China; 2. Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430019, China)

Abstract: In order to probe into the soil anti-erodibility characteristics and influences of 4 bio-banks on sloping farmland in purple soil area, this paper presents a comprehensive analysis of soil anti-erodibility in the models of soil bunds with mulberry, Chinese prickly ash, alfalfa and natural grass on sloping farmland in purple soil area through both field survey and indoor analysis. The result shows that: (1) the bio-bank approach increases the moisture of soil and content of soil organic matter effectively, improves the soil structure; (2) through principal component analysis, the comprehensive index of soil anti-erodibility in 4 sloping farmland bio-bank models decreases in the order: HJ>SS>ZH>CK. And their anti-erodibility decreases in the order: HJ>SS>ZH>CK; (3) correlation analysis indicates that soil anti-erodibility has obvious correlations with soil moisture, organic matter, bulk density, porosity and mechanic composition. The results may provide basis for controlling soil and water loss in purple soil area.

Keywords: bio-bank model; anti-erodibility; sloping farmland; purple soil

土壤抗蚀性是指土壤对侵蚀营力分散和搬运作用的抵抗能力,也是评估土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一,其大小主要取决于土壤对水的亲和力以及土粒间的胶合力^[1],与土壤内在的理化性质密切相关。川中丘陵区土壤结构比较疏松,加上人为不合理的耕作活动,容易发生严重土壤侵蚀,导致土壤养分流失,导致土地生产力降低,流失的养分也会加剧该地区的面源污染,因此如何控制该区域的水土流失,提高土地生产力不仅对当地农业经济具有重要意义,而且对

该地区流域内的水生态安全具有重要指导作用。生物埂作为当地一种保护性耕作模式和典型的坡耕地水土保持措施,不仅可以有效保持水土、减少土壤侵蚀,还可以通过土壤—植被系统改善土壤理化性质^[2],维持土壤稳定性。目前关于生物埂对土壤的改良方面已有部分研究,例如,汪三树等^[3]研究了紫色丘陵区坡耕地生物埂的土壤结构稳定性,认为桑树地埂与花椒地埂能有效维持土壤稳定性。李建兴等^[4]研究了网格式生物埂对坡面土壤贮水及渗透性的影响,认

收稿日期:2016-12-23

修回日期:2017-02-06

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费“香溪河局部侵蚀基准面变化及其对流域侵蚀产沙影响研究”(CKSF2015012/TB);“保护性耕作措施对紫色土坡耕地水土流失的影响”(CKSF2017015/CQ)

第一作者:王培(1963—),男,山东即墨人,高级工程师,主要从事环境影响评价及环境保护研究。E-mail:595544528@qq.com

通信作者:高强(1973—),男,湖北荆州人,教授级高工,主要从事水土保持研究。E-mail:925039491@qq.com

为生物埂能有效改善土壤结构,促进水分下渗,减少坡面径流对土壤的侵蚀。黄欢等^[5]通过研究生物埂对坡面养分分布特征的影响,认为生物埂有良好的保肥作用,极少坡面养分的流失。但主要是集中在生物埂模式对土壤的理化性质的改良方面,而关于生物埂模式下土壤抗蚀性的综合评估以及其影响因素较少。本文以川中丘陵区坡耕地几种典型生物埂模式为研究对象,深入分析不同生物埂模式下土壤抗蚀特征及其影响因素,以期选择合理的坡耕地生物埂配置模式,更好地保护川中丘陵区坡耕地水土资源、提高土地生产力以及保证流域水生态安全提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区设在四川遂宁船山区桂花镇南娅小流域内(东经 105°26′54″—105°26′0″,北纬 30°34′14″—30°33′11″),地貌形态以中浅丘为主,有少量低山。试验区属中亚热带湿润气候,多年平均日照时间为 1 333.4 h,多年平均无霜期 296 d,多年平均气温 17.4℃,≥10℃积温 5 627.1℃。域内多年平均降水量 933.3 mm,年内最大降水量 1 443.3 mm,最小降水量 736.7 mm,暴雨多集中在 5—10 月,降雨量达 804.5 mm,占年降雨量的 81%。区域内植被丰富,耕地类型以坡耕地为主,土壤类型以紫色土和水稻土为主。

1.2 研究材料

坡耕地生物埂以草本和木本两种类型进行布设,将桑树、花椒和紫花苜蓿分别等高布置在坡耕地台面外侧形成桑树埂(SS)、花椒埂(HJ)、紫花苜蓿埂(ZH),以杂草埂(狗尾草为主)为试验对照(CK)(注:2005 年之前 4 个地埂主要以自然生草为主,没有人为的干扰活动,4 个地埂自然生草的生长情况与土壤情况基本一致),生物埂面宽 0.4~0.6 m。于 2005 年种植木本地埂:单行桑树和花椒,株间距 0.5~0.8 m;草本地埂:条播紫花苜蓿,每年定期除杂草,桑树和花椒每年冬季进行修剪。至 2015 年,桑树和花椒株高 0.8~1.5 m,盖度分别为 66.3%和 74.5%,紫花苜蓿高 30~50 cm,覆盖度达 81.2%。坡耕地生物埂基本情况见表 1。

表 1 坡耕地生物埂基本情况

生物埂 类型	株间距/ m	埂坎 坡度/(°)	埂高/ m	坡长/ m	植被覆 盖度/%	种植 年限/a
SS	0.9	60.3	1.8	4.6	66.3	9
HJ	0.9	61.2	1.6	5.2	74.5	9
ZH	0.2~0.4	80.7	0.9	5.3	81.2	9
CK	—	77.5	1.3	5.6	60.5	9

1.3 研究方法

1.3.1 样品采集与分析 按照土壤农化分析方法于 2015 年 6 月 15 日采集土样,在长势基本一致的生物埂投影中心(灌层投影带上)采用多点采样法在每个采样点用 100 cm³ 环刀采取 0—20 cm 土层土壤样品(该区域土层厚度在 30 cm 左右),并在相应位置采集土壤散样 1~2 kg 带回实验室进行理化性质分析,所有理化分析重复 3 次。土壤容重采用环刀法;土壤含水率采用烘干法;机械组成、微团聚体采用吸管法;土壤团聚体组成采用干筛与湿筛法;土壤有机质采用重铬酸钾氧化法;水稳定性指数测定:选取粒径 7~10 mm 土壤颗粒 50 粒,均匀放置在孔径 5 mm 土壤筛中,然后静置于水中,每隔 1 min 记录崩解土粒数,连续记录 30 min。抗蚀性指数测定:首先将在生物埂 0—20 cm 土层采集的 3 个重复的土壤混合样风干,然后用 5 mm 和 7 mm 两个筛子进行干筛筛分;再将干筛后留在 5 mm 筛上的 5—7 mm 的土壤颗粒随机数出 75 粒,每次 25 粒,分 3 次放入水盆中的 2 mm 土壤筛上进行试验,水盆中的水面高度要刚好浸没土粒,水温在 20℃左右,以土粒开始完全散开为准,每隔 1 min 记录土粒崩塌的个数,连续记录 10 min;根据文献所用方法计算水稳性指数、抗蚀性指数、团聚度、平均重量直径、几何平均直径、分散系数和团聚体破坏率^[6-9]。

团聚度=[(>0.05 mm 微团聚体含量)—(>0.05 mm 机械组成含量)]/(>0.05 mm 微团聚体含量)

团聚体破坏率=[(>0.25 mm 干筛含量)—(>0.25 mm 湿筛含量)]/(>0.25 mm 干筛含量)

分散系数=微团聚体(<0.001 mm)含量/机械组成(<0.001 mm)含量

平均重量直径= $\sum_{i=1}^n w_i x_i$

式中: w_i 为第 i 级团聚体质量百分比(%); x_i 为相邻两级团聚体的平均粒径。

几何平均直径= $\exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$

式中: w_i 为土壤不同粒级团聚体的重量(g); x_i 为相邻两级团聚体的平均粒径。

水稳性指数= $\frac{\sum (p_i k_i + p_j)}{A}$

式中: p_i 为第 i 分钟分散土粒数, $i=1,2,3,\dots,10$; k_i 为第 i 分钟校正数; p_j 为 10 min 内没有分散的土粒数; A 为试验土粒总数。

抗蚀性指数=(总土粒数—崩塌土粒数)/总土粒数

1.3.2 数据分析 试验数据采用 SPSS 17.0 和 Excel

2003 软件进行统计分析。方差分析采用 SPSS 中的单因素 ANOVA 模块,相关性分析采用 Pearson 分析方法,显著性检验采用 T 检验。

2 结果与分析

2.1 生物埂土壤基本理化性质特征

生物埂措施作为该地区坡耕地常见水土保持农业措施,能有效防止土壤侵蚀^[10],改善坡耕地土壤水分状况^[11],改良土壤结构,提高土壤抗蚀能力^[3,12]。由表 2 可知,与 CK 相比,SS 和 HJ 土壤含水量提高了 10.26%和 35.76%,呈极显著增加($p<0.01$);ZH 土壤含水量提高了 7.39%,呈显著增加($p<0.05$)。4 种生物埂土壤容重大小依次为 $ZH>CK>SS>$

HJ,孔隙度规律与之相反,说明木本埂比草本埂(ZH)更能有效改善土壤的孔隙状况。4 种生物埂的砂粒(1~0.05 mm)含量与粉粒(0.05~0.001 mm)含量较高,分别为 41.96%~53.01%和 37.39%~47.19%;黏粒(<0.001 mm)含量较低,为 8.00%~12.54%,这说明该地区生物埂土壤质地类型属于粉壤土,与耕地台面的沙壤土相比,粉壤土可更好地维持土壤结构稳定性。生物埂土壤黏粒含量较低,说明坡耕地生物埂土壤矿质胶体含量较少,减少了土壤团粒间的粘聚力。土壤有机质含量大小依次为 $HJ(4.74\text{ g/kg})>SS(4.65\text{ g/kg})>ZH(4.08\text{ g/kg})>CK(3.19\text{ g/kg})$,说明生物埂有效提高了土壤有机质含量,改善了土壤结构。

表 2 不同生物埂的土壤基本理化性质

生物埂	含水率/ %	有机质含量/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	孔隙度/ %	机械组成/%		
					砂粒	粉粒	黏粒
SS	9.99±0.25b	4.65±0.04a	1.38±0.04b	50.12±2.35a	44.82±3.21ab	47.19±2.11a	8.00±0.25b
HJ	12.30±0.16a	4.74±0.12a	1.22±0.02b	53.67±4.25a	53.01±3.52a	37.39±1.54b	9.60±1.01b
ZH	9.73±0.24b	4.08±0.21ab	1.48±0.06b	46.81±1.32a	47.01±2.68a	41.59±1.56b	11.40±1.25a
CK	9.06±0.02b	3.19±0.05b	1.79±0.11a	38.25±2.15	41.96±4.21b	45.50±2.34a	12.54±1.41a

同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下同。

2.2 生物埂土壤抗蚀性特征分析

土壤抗蚀性是评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数之一,也是土壤侵蚀研究内容之一。土壤水稳性指数是表征土粒随时间变化的破碎特性,是衡量土壤抗蚀性的重要指标之一。由表 3 可知,不同生物埂土壤水稳性指数大小依次为 $HJ(0.50)>SS(0.74)>ZH(0.44)>CK(0.37)$,HJ 与其他 3 种生物埂差异显著,分别是 SS,ZH 和 CK 的 1.48,1.70,2.03 倍,且木本埂大于草本埂;抗蚀性指数反映了土壤抵抗径流破坏的能力,抗蚀性指数大小依次为 $SS>HJ>ZH>CK$,本本埂与草本埂之间差异显著;团聚度反

映了土壤颗粒的团聚状况,团聚度越大,土壤结构越好。不同生物埂土壤团聚度大小依次为 $HJ(0.72)>SS(0.61)>ZH(0.44)>CK(0.41)$,HJ 与 SS 之间差异不显著,ZH 与 CK 之间差异也不显著,而木本埂与草本埂之间差异显著,4 种生物埂土壤的团聚体大小与团聚度大小规律相反,说明 HJ 的团聚状况最好,且木本埂的团聚状况比草本埂的更好;分散系数表征土壤抵抗径流的分散能力,系数越小,对径流分散的抵抗能力越强,不同生物埂分散系数大小依次为 $CK>ZH>SS>HJ$,本本埂与草本埂之间差异显著。

表 3 坡耕地生物埂土壤抗蚀性分析

生物埂	水稳性指数	抗蚀性指数	团聚度	几何平均直径	平均重量直径	团聚体破坏率	分散系数
SS	0.50±0.04b	0.81±0.02a	0.61±0.05a	1.20±0.12a	1.40±0.17a	0.30±0.01b	0.54±0.03b
HJ	0.74±0.03a	0.76±0.01a	0.72±0.08a	1.31±0.14a	1.65±0.21a	0.18±0.01b	0.43±0.01b
ZH	0.44±0.02b	0.64±0.01b	0.44±0.01b	1.00±0.08a	0.80±0.08b	0.46±0.02a	0.66±0.02a
CK	0.37±0.02b	0.61±0.02b	0.41±0.01b	0.63±0.09b	0.50±0.04b	0.50±0.02a	0.69±0.03a

土壤抗蚀性受到土壤有机碳含量、耕作方式、土壤质量和施肥方式等的影响,团聚体平均重量直径和几何平均直径是反映土壤抗蚀性的重要指标^[13]。从表 3 可知,4 种生物埂模式下土壤的几何平均直径大小依次为 $HJ(1.20)>SS(1.31)>ZH(1.00)>CK(0.63)$,相比 CK,其他 3 种生物埂的几何平均直径呈显著性增加($p<0.05$);4 种生物埂模式下的土壤平均重量直径大小与几何平均直径一致,与草本埂相比,木本埂的平均重量直径呈显著性增加($p<$

0.05),说明生物埂措施能有效提高土壤抗蚀性,且木本埂的效果更好。

2.3 生物埂土壤抗蚀性评价

土壤抗蚀性的影响因素多而复杂,不同研究区域所选用的指标有一定的差异^[7]。单一指标只能反映土壤对侵蚀能力的相对敏感程度,而且具有一定的偶然性,无法准确分析土壤的抗蚀性。为了综合各个指标的评价结果,并考虑各个指标之间的关联性,对 8 个指标进行主成分分析。从中提取到 2 个公因子,其

特征值均大于 1, 累计方差贡献率达 96.705%(旋转后), 能较全面地概括土壤抗蚀性。旋转后因子载荷矩阵见表 4, 可知主成分 1 主要包括了水稳性指数、抗蚀性指数、团聚度、几何平均直径、平均重量直径、团聚体破坏率 3 个指标的信息。主成分 2 则主要包括了几何平均直径、平均重量直径、团聚体破坏率 3 个指标的信息。

表 4 土壤抗蚀性指标旋转因子载荷矩阵

主成分	抗蚀性指标							
	水稳性指数	抗蚀性指数	团聚度	几何平均直径	平均重量直径	团聚体破坏率	分散系数	有机质
1	0.919	0.904	0.871	0.014	0.241	-0.366	-0.905	0.853
2	0.352	0.236	0.482	0.828	0.848	-0.892	-0.421	0.493

以各主成分对应的方差贡献率为权重, 计算土壤抗蚀性的综合主成分指数, 然后计算出综合值, 最后进行排名, 结果见表 5, 通过两个主成分的综合评价得到不同生物埂模式下土壤抗蚀性强弱顺序为 HJ>SS>ZH>CK。

表 5 生物埂土壤抗蚀性主成分分析综合指数

生物埂	主成分 1	主成分 2	综合得分
SS	-0.317	1.428	-0.064
HJ	1.484	-0.209	1.239
ZH	-0.495	-0.313	-0.469
CK	-0.672	-0.905	-0.705

2.4 生物埂土壤抗蚀性影响因素

土壤理化性质与土壤抗蚀性密切相关, 本研究对土壤基本理化性质与土壤抗蚀性指标进行相关性分析(表 6)。由表 6 可知, 土壤含水率与水稳性指数、抗蚀性指数和团聚度呈极显著正相关, 与团聚体破坏率呈极显著负相关, 与几何平均直径、平均重量直径呈显著正相关, 与分散系数呈显著负相关; 有机质与几何平均直径和平均重量直径呈极显著正相关, 与分散系数呈极显著负相关, 与水稳性指数、抗蚀性指数和团聚度呈显著正相关, 与团聚体破坏率呈显著负相关, 有机质作为团粒胶结剂, 对团聚体结构的形成影

响很大, 所以有机质能有效影响土壤抗蚀性的大小。容重与水稳性指数、抗蚀性指数、团聚度和平均重量直径呈极显著负相关, 与团聚体破坏率呈极显著正相关, 与几何平均直径呈显著负相关, 而孔隙度与土壤抗蚀性指标的相关性刚好与容重相反, 因为一般来说, 容重越大, 土壤越紧实, 土壤的孔隙越少, 孔隙度也就越小。

对机械组成而言, 砂粒与水稳性指数呈极显著正相关, 与抗蚀性指数、团聚度、几何平均直径、平均重量直径和团聚体破坏率呈显著性相关。粉粒与水稳性指数、抗蚀性指数呈显著负相关, 与其他抗蚀性指标相关性不显著。黏粒与水稳性指数、抗蚀性指数相关性较低, 与团聚度、几何平均直径、平均重量直径、团聚体破坏率和分散系数相关性显著。从不同生物埂模式下土壤抗蚀指标与土壤基本理化性质的相关性分析来看, 研究区土壤颗粒对土壤抗蚀性能影响不同, 生物埂模式下砂粒、粉粒和黏粒含量与土壤抗蚀性指标呈显著或极显著相关。可见, 土壤机械组成与部分土壤抗蚀性指标的关系较为密切。因此, 在实践中可通过合理配置生物埂模式从而间接调控土壤机械组成, 改善土壤物理性质, 提高土壤抗蚀性。

表 6 生物埂土壤抗蚀性指标与土壤基本理化性质的相关性分析

抗蚀性指标	含水率/ %	有机质含量/ (g · kg ⁻¹)	容重/ (g · cm ⁻³)	孔隙度/%	机械组成/%		
					砂粒	粉粒	黏粒
水稳性指数	0.997**	0.785*	-0.995**	0.995**	0.935**	-0.752*	-0.550
抗蚀性指数	0.903**	0.845*	-0.942**	0.921**	0.875*	-0.841*	-0.475
团聚度	0.902**	0.873*	-0.957**	0.958**	0.773*	-0.469	-0.787*
几何平均直径	0.808*	0.995**	-0.888*	0.887*	0.793*	-0.463	-0.847*
平均重量直径	0.858*	0.947**	-0.935**	0.934**	0.759*	-0.419	-0.864*
团聚体破坏率	-0.915**	-0.878*	0.967**	-0.968**	-0.796*	0.499	0.776*
分散系数	-0.876*	-0.912**	0.876*	-0.820*	-0.658*	0.512	0.748*

注: “*”表示相关性达显著水平($p<0.05$), “**”表示相关性达极显著水平($p<0.01$)。

3 讨论

生物埂是一种典型的坡耕地水土保持措施, 具有降低坡面径流流速, 促进水分下渗, 减少养分流失, 提高土地生产力^[4]的作用。本研究得出, 与 CK 相比, HJ, SS 和 ZH 孔隙度增加了 40.3%, 18.0%, 9.3%,

这是因为生物埂具有更发达的根系结构, 特别是花椒埂和桑树埂, 粗壮根系的纵向、横向穿插使土壤更加疏松, 孔隙结构更丰富, 提高了土壤的孔隙度。另外相比 CK, HJ, SS 和 ZH 土壤含水率分别增加了 35.8%, 10.3%和 7.4%, 这是因为生物埂孔隙的增加对水分的滞留与涵养有促进作用, 而且生物埂措施

增加了地埂植被覆盖度,有效减少了水分的蒸发,使土壤水库充满程度高。相比CK,HJ,SS和ZH有机质含量分别增加了48.9%,45.8%和27.9%,这与汪三树等^[14]研究的结果一致,这可能是因为:(1)坡面在发生土壤侵蚀情况下,表层养分含量较高的土壤在径流的搬运作用下在生物埂位置沉积;(2)生物埂枯枝落叶、腐烂根系在土壤微生物作用下发生分解,增加有机质的来源。

土壤抗蚀性的大小主要受机械组成、团聚体、有机质含量等因素的影响^[15],本研究认为紫色丘陵区坡耕地生物埂模式下土壤抗蚀性与土壤含水率、有机质、容重、孔隙度及机械组成相关性显著或极显著。相关研究也证实了这一结论,王俭成等^[15]通过研究北川地区典型林分土壤抗蚀性特点认为林地地表覆盖着大量的枯枝落叶,增加了土壤有机质含量,改善了土壤的结构,增大了土壤孔隙度,提高了土壤的渗透性和持水能力,从而增强了土壤的抗蚀性,而且树冠以及地表的枯枝落叶对降雨有较好的消能作用,减小了降雨对地表的直接打击,也减弱了径流对地表的冲刷。何淑勤等^[16]研究了不同植被条件下土壤抗蚀性特征及其影响因素,认为有机质含量、土壤机械组成与抗蚀性指数、水稳性指数、分散系数、结构系数均显著相关。薛莲等^[1]认为土壤微团聚体组成、有机质和机械组成是影响土壤稳定性的重要因素。有机质是土壤团粒的主要胶结剂,与土壤颗粒结合形成大团聚体,土壤团粒的形成能有效保持土壤的结构稳定性^[19],能有效改善土壤的土壤孔隙结构,增加土壤的有效库容,这对抵御坡耕地季节性干旱以及保证坡耕地土地生产力稳定和提高有重要意义。由于土壤抗蚀性受到根系、土壤结构、人为干扰、生物含量等因素的影响,影响因素复杂,单从基本理化性质方面来分析其对土壤侵蚀响应特征具有一定的不足,今后应加强生物埂根—土复合体作用机制的研究,以期对紫色土坡耕地生物埂配置模式的选择提供理论依据。

4 结论

(1) 不同生物埂措施对土壤理化性质的改善效果明显,木本埂改良效果更好,能有效增加土壤含水率和土壤有机质,改善土壤孔隙结构。土壤含水率、有机质、孔隙度均表现为HJ>SS>ZH>CK。

(2) 主成分分析得到不同生物埂模式下土壤抗蚀性强弱顺序为HJ>SS>ZH>CK,因此,花椒埂和桑树埂可作为紫色丘陵区坡耕地水土流失有效防控措施。

(3) 利用相关性分析得到紫色丘陵区坡耕地生物埂模式下土壤抗蚀性与土壤含水率、有机质、容重、孔隙度和土壤机械组成相关性显著或极显著,因此,

在实践中可通过合理配置生物埂模式从而间接调控土壤机械组成,改善土壤物理性质,提高土壤抗蚀性。

参考文献:

- [1] 薛莲,刘国彬,张超,等. 黄土丘陵区人工灌木林土壤抗蚀性演变特征[J]. 中国农业科学,2010,43(15):3143-3150.
- [2] Lupwy N Z, Haque I. Leucaena hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands, deposition and nutrient release[J]. Biol. Fertil. Soils, 1999,28:182-195.
- [3] 汪三树,史东梅,蒋光毅,等. 紫色丘陵区坡耕地生物埂的土壤结构稳定性与抗蚀性分析[J]. 水土保持学报,2012,26(6):31-35.
- [4] 李建兴,何丙辉,姚云,等. 网格式生物埂对坡面土壤贮水及渗透性的影响[J]. 灌溉排水学报,2012,36(2):38-41.
- [5] 黄欢,何丙辉,李建兴,等. 网格式生物埂对坡面土壤养分分布特征的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(12):1491-1499.
- [6] 王忠林,李会科. 花椒地埂林土壤抗蚀性研究[J]. 西北林学院学报. 1998,13(2):30-33.
- [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):199-203.
- [8] 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.
- [9] 水利电力部农村水土保持司. 水土保持试验规范[S]. 北京:水利电力出版社,1988.
- [10] 蔡强国. 冀西北黄土庄陵区复合农林业与水土保持综合技术研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [11] 张宇清,朱清科,齐实. 梯田埂坎立地植物根系分布特征及其对土壤水分的影响[J]. 生态学报,2005,25(3):500-506.
- [12] Fristensky A J, Grismer M E. Evaluation of ultrasonic aggregate stability and rainfall erosion resistance of disturbed and amended soils in the Lake Tahoe Basin, USA[J]. Catena, 2009,79:93-102.
- [13] Su Y G, Wang F, Ghang G H. Soil properties and characteristics of soil aggregate in marginal farmlands of oasis in the middle of Hexi corridor region[J]. Agricultural Sciences in China, 2007,6(6):706-714.
- [14] 汪三树,刘德忠,史东梅,等. 紫色丘陵区坡耕地生物埂的蓄水保土效应[J]. 中国农业科学,2013,46(19):4091-4100.
- [15] 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,2013,27(1):71-75.
- [16] 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.
- [17] 蒲玉琳,谢德体,林超文,等. 植物篱—农作模式坡耕地土壤综合抗蚀性特征[J]. 农业工程学报,2013,29(18):125-134.