

紫色丘陵区坡耕地生物埂土壤抗冲性研究

郭宏忠^{1,3}, 汪三树^{2,3}, 于亚莉², 蒋光毅¹, 史东梅³

(1. 重庆市水土保持生态环境监测总站, 重庆 400015; 2. 重庆市水利电力建筑勘测设计研究院, 重庆 400020; 3. 西南大学 资源环境学院 水土保持生态环境研究所, 重庆 400715)

摘 要:本文以紫色丘陵区坡耕地 4 种典型生物埂为研究对象,采用原状土冲刷水槽法系统分析各种生物埂的土壤抗冲性。结果表明:(1) 各种生物埂径流含沙量随着冲刷时间的继续出现“先急剧减小后平稳减小直至稳定”的变化趋势。在冲刷 0~3 min,各生物埂土壤的径流含沙量均较大,随后径流含沙量平稳变化并趋于稳定。(2) 生物埂抗冲刷过程可划分为快速冲刷阶段(0~3 min)、慢速冲刷阶段(3~20 min)和平稳冲刷阶段(20~28 min)3 个阶段。生物埂土壤抗冲性随着冲刷时间的增长而不断增强,两者之间可用幂函数表示,其 R^2 值在 0.848 7~0.989 9。(3) 各种生物埂土壤抗冲性随着坡度的增大而降低,两者关系达到极显著水平($R^2=0.790\ 7, N=12, p<0.001$),可用幂函数表示。研究结果可为紫色丘陵区坡耕地生物埂措施合理布置及其稳定性评价提供科学依据。

关键词:生物埂; 土壤抗冲性; 坡耕地; 坡度; 紫色丘陵区

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0206-04

Study on the Soil Anti-scourability of Bio-embankment on Slope Farmland in the Purple Hilly Area

GUO Hongzhong^{1,3}, WANG Sanshu^{2,3}, YU Yali², JIANG Guangyi¹, SHI Dongmei³

(1. Chongqing Ecoenvironment Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Chongqing 400015, China; 2. Chongqing Surveying and Design Institute of Water Resources, Electric Power and Architecture, Chongqing 400020, China; 3. College of Resources and Environment, Institute of Soil and Water Conservation and Ecoenvironment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Taking 4 types of bio-embankment on slope farmland in Purple Hilly area as the research sites, we thoroughly studied the soil anti-scourability of bio-embankments with the method of undisturbed-soil trough scouring. The results showed that: (1) the runoff sediment concentrations for all bio-embankments presented the trend in which they first decreased rapidly and then decreased stably until stable state. The runoff sediment concentrations for bio-embankments were greater in 0~3 min of scouring time, and then varied smoothly and stabilized; (2) soil scouring process for bio-embankments could be divided into rapid erosion (0~3 min), slow erosion (3~20 min) and steady erosion (20~28 min). The soil anti-scourability of bio-embankments enhanced with the increase of scouring time and followed the power function of scouring time, their determination coefficients(R^2) varied from 0.848 7 to 0.989 9; (3) the soil anti-scourability of bio-embankments reduced with the increase of the slope gradients, meanwhile, there was a mighty prominent positive correlation ($R^2=0.687\ 7, N=21, p<0.001$) between them and could be described by a power equation. The research results could provide scientific basis for arrangement of the bio-embankment measures and the stability evaluation of bio-embankments on slope farmland in the Purple Hilly area.

Keywords: bio-embankment; soil anti-scourability; slope farmland; slope; Purple Hilly area

收稿日期:2014-06-10

修回日期:2014-09-29

资助项目:重庆市水利局科技项目“紫色丘陵区面源污染防治措施效应评价(2013)”；重庆市水利局科技项目“重庆市坡耕地水土保持型生物埂—经果林技术应用及示范”

第一作者:郭宏忠(1979—),男,山西省乡宁县人,硕士,高级工程师,从事水土保持生态环境监测、规划与管理工作。E-mail:guohongzhong@126.com

通信作者:史东梅(1970—),女,甘肃灵台人,博士,教授,博士生导师,主要从事水土生态工程、土壤侵蚀与流域治理、生产建设项目土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:shidm_1970@126.com

土壤抗冲性是由朱显谟院士在 20 世纪 50 年代提出的,被定义为土壤抵抗水的分散和悬浮的能力^[1],它与土粒间和为结构间胶结力和土壤结构体间抵抗离散的能力关系密切,实际上反映了土壤抵抗径流水力破坏作用和搬运的能力^[2]。国外对土壤抗侵蚀能力的研究主要集中在抗溅蚀和抗冲刷能力两个方面。国内对抗冲性的研究多集中在黄土丘陵区^[3-4]和紫色丘陵区^[5]等。蒋定生^[3]对黄土区不同利用类型土壤的抗冲性进行了研究,对流量和坡度两个因子进行了系统分析。周正朝等^[6]研究了黄土高原地区不同植被演替阶段的土壤抗冲性。陈晏等^[5]对紫色丘陵区不同土地利用类型的土壤抗冲性进行了研究,分析了根系对土壤抗冲性的增强效应。生物埂作为坡耕地一种复合农林业措施,不仅能增加土坎资源利用率,提高经济效益^[7-8],同时还可以有效防治坡耕地水土流失^[9],改善梯地土壤,提高土壤抗侵蚀性^[10-12],减少坡耕地埂坎崩塌、垮塌的发生。目前,已有学者研究了生物埂土壤抗蚀抗冲性^[13],生物埂的根系及固土特征^[14],而从土壤抗冲性角度分析生物埂固土效应的研究则相对较少。因此,本文以紫色丘陵区坡耕地生物埂为研究对象,分析不同生物埂的土壤抗冲性和坡度对土壤抗冲性的影响,研究不同生物埂模式的固土效应,研究结果可为紫色丘陵区坡耕地生物埂建设模式和稳定性评价提供科学依据。

表 1 紫色丘陵区坡耕地生物埂布设基本情况

护埂植物	株间距/m	植被覆盖率/%	埂坎坡度/(°)	埂坎高/m	坡长/m	种植年限/a
桑树	0.8	68.8	62.4°	1.8	4.8	9
花椒	0.8	74.3	64.3°	1.6	5.1	9
紫花苜蓿	0.2~0.4	78.8	78.5°	0.8	5.4	9
自然生草	—	50.0	75.1°	1.2	5.4	—

1.3 试验方法

土壤抗冲性采用改进的原状土冲刷水槽法,水槽长 1.80 m,宽 0.11 m,取样器尺寸 10 cm×20 cm×10 cm。

生物埂植株间沿坡面方向垂直打入抗冲环刀,待土面与环刀面齐平后轻轻挖出,每个生物埂采集 6 个抗冲样品,原状土采回后,在水中浸泡 12 h 左右后进行冲刷试验。根据坡耕地生物埂田面特征,选择 5°,8°,15°三个坡度进行冲刷试验。通过恒压水箱调整供水流量,设计水平 2 L/min,在水流稳定后,将土壤样品装入土样室,使土样表面和槽面齐平,然后放水冲刷并采集径流泥沙过程样,在冲刷开始后前 4 min 内,每 1 min 量取一次冲刷水流量,以后每 3 min 量取一次,用水桶收集试验产生的全部水流,静止沉降后烘干并称重。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究于 2012 年 10 月在重庆市西南大学紫色丘陵区坡耕地水土流失监测基地进行,该监测基地是 2005 年开始的。地处于北碚向斜的中部,土壤主要以中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥页岩母质上发育的中性紫色土为主;位于东经 106°26′,北纬 30°26′,海拔高 230 m,年平均气温为 18.3℃,年降雨量 1 105.4 mm,以 5—9 月的降雨量最大,占全年雨量的 70%。

1.2 试验设计

该基地坡耕地生物埂以木本和草本两种不同类型植物布设,台地内按照常规农业配置耕种。生物埂以土质梯地的地埂为基础,在土坎及地埂上布设对应的生物埂模式。本文选择木本生物埂(桑树和花椒)和草本生物埂(紫花苜蓿)为研究对象,以自然生草埂作为对照,生物埂宽 0.3~0.5 m。2005 年,在各地块埂坎处分别种植桑树、花椒、紫花苜蓿,其中桑树和花椒埂种植单行,株间距 0.5~0.8 m,土坎上呈“品”字形排列,紫花苜蓿条播草籽,各生物埂植株下不种其它植物,且每年对生物埂定期除杂草,桑树和花椒埂在每年冬季修剪。至 2014 年,桑树和花椒植株高 0.5~1 m、覆盖度达到 65%以上,紫花苜蓿高 35~50 cm,覆盖度达 78.8%,各生物埂基本情况见表 1。

试验测定指标主要有冲刷水流量(L),含沙量(g/L),冲失干土重 WLDS(g);土壤抗冲能力用冲失 1 g 土所需时间,即抗冲指数^[6,11]来表示:

ANS=T/WLDS

式中:ANS——单位流量土壤抗冲指数(min/g);
T——冲刷历时(min);WLDS——冲失干土重(g)。

2 结果与分析

2.1 生物埂土壤冲刷过程分析

土壤抗冲性是指土壤抵抗坡面径流机械冲刷破坏作用和搬运的能力,与生物埂土粒间和微结构间胶结力关系密切,揭示了土壤结构体间抵抗离散的能力。不同类型生物埂土壤抗冲性随着冲刷时间变化特征见图 1。

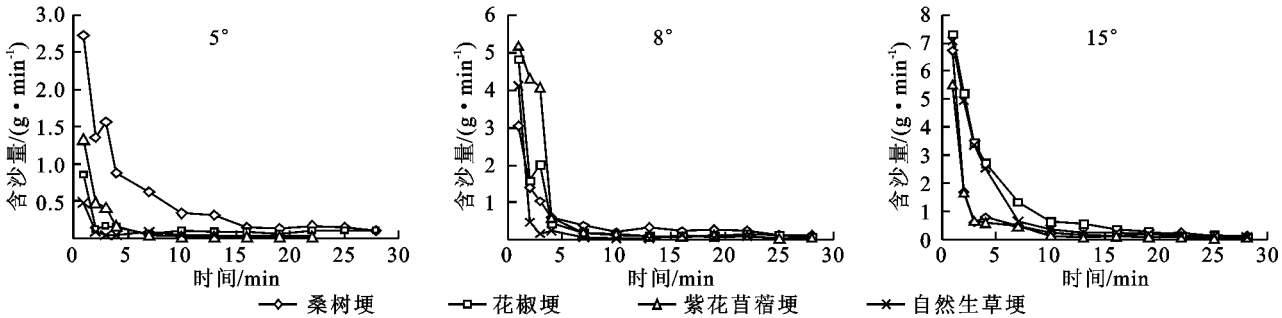


图 1 不同类型生物埂土壤抗冲性随时间变化特征

由图 1 可知,各种生物埂径流含沙量随着冲刷时间的继续呈现“先急剧减小后平稳减小直至稳定”的变化趋势。在冲刷前 3 min 内,各生物埂土壤的径流含沙量均较大,呈明显的递减趋势,桑埂农地含沙量最大可达到 7.67 g/L,直接递减到 0.33 g/L,这主要是由于抗冲环刀采样过程中,表层有大量松散土壤,在径流冲刷作用下极易被破坏,从而使前几分钟含沙量出现急剧降低的现象;在冲刷 10 min 后,各生物埂径流含沙量出现平稳变化,在 15~20 min 含沙量呈现先增大后平稳的趋势,这主要由于农业耕作活动后导致表层桑树根系减少,使土壤在浸泡一定时间后被分散。各种生物埂径流含沙量随坡度增加而增大,其中花椒埂径流含沙量随坡度的增加量最大,当坡度为 5°,8°和 15°时其含沙量分别为 0.17,0.82,1.85 g/L,而紫

花苜蓿埂最小,其分别为 0.25,0.75 和 0.85 g/L。

2.2 生物埂土壤抗冲性动态变化特征

根据各种生物埂土壤径流含沙量随时间的变化规律,可将生物埂抗冲刷过程分为三个阶段:(1)快速冲刷阶段(0~3 min),在该阶段各类生物埂土壤极易被冲刷搬运,形成较高的含沙量,但由于生物埂根系的固结作用,使其含沙量出现急速降低的过程;(2)慢速冲刷阶段(3~20 min),表层松散土壤被冲刷后,生物埂根系发挥了固结土壤的作用,使径流含沙量出现慢慢降低的过程;其中部分生物埂由于根系分布较少,含沙量会出现一定增加现象;(3)平稳冲刷阶段(20~28 min),大部分易崩解松散土壤全部被径流冲刷带走,含沙量极低,最低只有 0.01 g/L,出现平稳的趋势。

表 2 生物埂土壤冲刷量与冲刷时间的回归方程

生物埂	坡度/(°)	回归方程	R 值	F 值	Sig.	生物埂	坡度/(°)	回归方程	R 值	F 值	Sig.
桑树埂	5	$y=3.3567x^{-1.0138}$	0.9566	220.397	0.000	桑树埂	8	$y=2.4415x^{-0.8477}$	0.9326	138.465	0.000
花椒埂	5	$y=0.3137x^{-0.4570}$	0.9875	11.367	0.007	花椒埂	8	$y=3.7622x^{-1.2451}$	0.8827	72.845	0.000
紫花苜蓿埂	5	$y=1.2648x^{-1.427}$	0.9468	155.671	0.000	紫花苜蓿埂	8	$y=7.8351x^{-1.5625}$	0.8871	91.426	0.000
自然生草埂	5	$y=0.2965x^{-1.872}$	0.9865	7.187	0.044	自然生草埂	8	$y=0.4635x^{-0.4286}$	0.9548	18.362	0.003
桑树埂	15	$y=3.7618x^{-1.1083}$	0.9356	94.001	0.000	紫花苜蓿埂	15	$y=4.3989x^{-1.4106}$	0.9400	200.717	0.000
花椒埂	15	$y=12.8x^{-1.3427}$	0.9543	200.167	0.000	自然生草埂	15	$y=11.303x^{-1.4097}$	0.9390	364.889	0.000

坡耕地生物埂土壤抗冲性随着冲刷时间的增长而不断增强,这种关系不受生物埂类型和坡耕地坡度的影响,可以看出各种生物埂类型在不同坡度的放水冲刷下,其变化趋势都是相似的。经过回归分析可知(表 2),4 种不同类型生物埂而言,土壤抗冲性与冲刷时间关系可以用幂函数得到很好的拟合,幂指数在-0.4286~-1.872 之间,不同生物埂的幂指数随坡度的变化程度不同,表明坡度对抗冲性具有一定的影响。3 种坡度下各种生物埂土壤抗冲性与冲刷时间的相关性均达到极显著相关,决定系数 R^2 值在 0.848 7~0.989 9, F 值均大于 7, $Sig.$ 小于 0.05。

2.3 生物埂土壤抗冲性与坡度的关系

土壤抗冲性指数(ANS)表示冲蚀 1 g 土所需要的时间,表现为抗冲指数越高,土壤的抗冲性能越强。由不同类型生物埂土壤抗冲性与坡度的关系(图 2)可知,各种生物埂土壤抗冲性随着坡度的增大而降低,各种

生物埂中,以桑树埂变化程度最小,自然生草埂最大,这是因为坡度越大,径流的冲刷动能越大,其破坏和搬运能力越强,容易形成大量的泥沙。当坡度较小时(5°),桑树埂和自然生草埂之间的土壤抗冲性指数分别为 2.45,6.59 min/g,两者相差 1.69 倍;随着坡度的不断增加,两者之间的土壤抗冲性指数逐渐减小;当坡度为 15°时,桑树埂和自然生草埂之间的土壤抗冲性指数分别为 1.14,0.52 min/g。

不考虑生物埂之间的差异,对所有生物埂进行回归分析可知,生物埂土壤抗冲性指数与坡度呈显著幂函数关系。由图可知土壤抗冲性与坡度回归方程达到了极显著水平($R^2=0.790\ 7$, $N=12$, $p<0.001$),关系式可用 $y=53.036x^{-1.5386}$ 表示,说明坡度与土壤抗冲性关系密切,随着坡度的增加土壤抗冲性会减少,刚开始减少速度较快,但当坡度增大到一定范围时,土壤抗冲性会出现一个平稳变化阶段,这主要受

到生物埂根系影响,当坡度增大到一定范围时,生物埂土壤表层松散土壤全部被冲刷,下层土壤在植被根系的固结作用下难以被冲刷搬运。

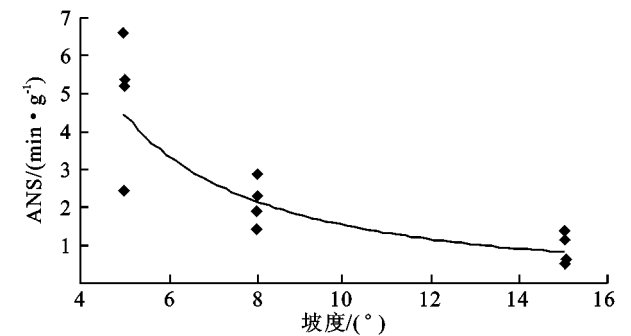


图 2 不同类型生物埂土壤抗冲性与坡度的关系

3 结论

(1) 各种生物埂径流含沙量随着冲刷时间的继续呈现“先急剧减小后平稳减小直至稳定”的变化趋势。在冲刷前 3 min 内,桑树埂径流含沙量由 7.677 g/L 降低到 0.33 g/L;3~10 min 内径流含沙量逐渐减小,10 min 后趋于稳定。

(2) 生物埂抗冲刷过程根据其径流含沙量随时间的变化规律可划分为快速冲刷阶段(0~3 min)、慢速冲刷阶段(3~20 min)和平稳冲刷阶段(20~28 min)。土壤抗冲性与冲刷时间关系可以用幂函数得到很好的拟合,3 种坡度下相关性均达到极显著相关, R^2 值均在 0.85 以上。

(3) 各种生物埂土壤抗冲性随着坡度的增大而降低,其中以桑树埂变化程度最小,自然生草埂最大。土壤抗冲性与坡度回归方程达到了极显著水平($p<0.001$),关系式可用幂函数表示,决定系数 R^2 达到 0.790 7。

参考文献:

[1] 朱显谟. 甘肃中部土壤侵蚀调查报告[J]. 土壤专报, 1958,32:53-109.

[2] 朱显谟. 黄土高原植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报,1960,8(2):121-134.

[3] 蒋定生. 黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力的研究[J]. 土壤通报,1979,4(2):20-23.

[4] 刘国彬. 黄土高原土壤抗冲性研究及有关问题[J]. 水土保持研究,1997,4(5):91-101.

[5] 陈晏,史东梅,文卓立,等. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗冲性特征研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):24-27.

[6] 周正朝,上官周平. 子午岭次生林植被演替过程的土壤抗冲性[J]. 生态学报,2006,26(10):3270-3275.

[7] 周兴魁,蔡强国. 黄土丘陵区的地埂植物篱—紫穗槐[J]. 山西水土保持科技,1997(2):32-34.

[8] Oyedele D J, Awotoye O O, Popoola S E. Soil physical and chemical properties under continuous maize cultivation as influenced by hedgerow trees species on an alfisol in South Western Nigeria[J]. African Journal of Agricultural Research, 2009,4(8):736-739.

[9] 蔡强国. 冀西北黄土丘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.

[10] 王喜龙,蔡强国,王忠科,等. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田埂植物篱的固埂作用与效益分析[J]. 自然资源学报,2000,15(1):74-79.

[11] 王喜龙,王忠科. 不同生物埂生态效益的模糊对比分析与评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(3):27-32.

[12] Everson C S, Everson T M, Van Niekerk W. Soil water competition in a temperate hedgerow agroforestry system in South Africa [J]. Agroforestry Systems, 2009,75(3):211-221.

[13] 王忠林,李会科. 渭北旱塬花椒地埂土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究,2000,7(1):33-37.

[14] 朱钟麟,卿明福,刘定辉,等. 蓑草根系特征及蓑草经济植物埂的水土保持功能[J]. 土壤学报,2006,43(1):164-167.

(上接第 205 页)

[21] 韩平,王纪华,潘立刚,等. 北京郊区田块尺度土壤质量评价[J]. 农业工程学报,2009,25(2):228-234.

[22] 李晓倩,刘学录. 土地评价指标权重赋值方法的比较分析[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(5):129-133.

[23] 戴昶,姚新春,周生路,等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. 农业工程学报,2013,29(8):

249-257.

[24] 张松林,张昆. 空间自相关局部指标 Moran 指数和 G 系数研究[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(3):31-34.

[25] Luo H, Yang Y. Spatial pattern of hotel distribution in China[J]. Tourism and Hospitality Research, 2013, 13(1):3-15.