

DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2023.01.016.

梁潇瑜, 信忠保, 夏晓平. 植被类型对河岸带坡面流水动力特性的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(1): 113-119.

LIANG Xiaoyu, XIN Zhongbao, XIA Xiaoping. Influence of Vegetation Types on the Hydrodynamic Characteristics of Overland Flow on Slopes in Riparian Zone [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(1): 113-119.

植被类型对河岸带坡面流水动力特性的影响

梁潇瑜, 信忠保, 夏晓平

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:为了研究河岸带植被类型对坡面流水动力学特性的影响,通过野外简易径流小区放水冲刷试验,在3种流量(4, 6, 8 L/min)和6种不同坡面类型条件下对河岸带坡面流水动力学参数变化进行了分析。结果表明:(1)坡面植被的存在具有明显降低径流流速的作用,裸坡坡面平均流速(0.276 ± 0.065 m/s)显著高于其他植被类型($p < 0.05$),坡面平均径流流速随着来水流量的增加而增加;(2)雷诺数随着放水流量和放水时间的增加而增加,所有河岸带边坡流型都属于层流;弗劳德数随着放水时间先减小后趋于稳定,各坡面流均属于急流状态(弗劳德数大于1);(3)植被覆盖能够明显减小坡面径流雷诺数和弗劳德数,裸坡的雷诺数(128.53)和弗劳德数(4.0)显著高于其他坡面类型($p < 0.05$)。狗牙根坡面的Darcy-weisbach阻力系数(3.71)以及曼宁糙率系数(0.062)均最大,表现出对坡面流流速最好的阻滞效果。

关键词:河岸带;坡面流;放水冲刷试验;流速;水动力学参数

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2023)01-0113-07

Influence of Vegetation Types on the Hydrodynamic Characteristics of Overland Flow on Slopes in Riparian Zone

LIANG Xiaoyu, XIN Zhongbao, XIA Xiaoping

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

Abstract: In order to study the influence of riparian zone vegetation types on the hydrodynamic characteristics of the overland flow, through the field water discharge scour experiments simple runoff plot, the variations of hydrodynamic parameters of overland flow were analyzed at three flow rates (4, 6, 8 L/min) and 6 different slope types. The results show that: (1) the average flow velocity increases with runoff inflow rates and the presence of vegetation on the slope has the effect of reducing the flow velocity; the average flow velocity [(0.276 ± 0.065) m/s] of the bare slope is significantly higher than those on the slopes with other vegetation types ($p < 0.05$); (2) the Reynolds number increases with runoff inflow rates, and shows an overall increasing trend with the increase of the runoff inflow time, the overland flow patterns of all riparian zones belong to laminar flow; the Froude number decreases firstly and then stabilizes with the increase of runoff inflow time; except for *Cynodondactylon*, the average Froude number is greater than 1 in all types, indicating that the overland flow belongs to the rapid flow; (3) vegetation coverage can significantly reduce the slope runoff Reynolds number and Froude number, and the Reynolds number (128.53) and Froude number (4.0) of the bare slope were significantly higher than those of the other slope types ($p < 0.05$). The Darcy-weisbach resistance coefficient (3.71) and the Manning roughness coefficient (0.062) of the *Cynodondactylon* were the largest, showing the best hindrance to the overland flow on the slope.

Keywords: riparian zone; overland flow; scouring experiment; flow velocity; hydrodynamic characteristics

收稿日期:2021-11-04

修回日期:2021-11-22

资助项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2017ZY02);国家自然科学基金项目(42177319)。

第一作者:梁潇瑜(1996—),男,山西晋中人,在读硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail:liangxiaoyu855@126.com

通信作者:信忠保(1978—),男,山东临沂人,副教授,博士生导师,主要从事水土保持研究。E-mail:xinzhongbao@126.com

http://stbcj.paperonce.org

河岸带具有调节径流、净化环境、提供生物栖息地等功能,对于生态系统服务的维持起重要作用^[1-2]。近年来,受自然因素和人为频繁干扰的影响,河岸带的生态功能退化。植被覆盖可以提高土壤的抗侵蚀能力,并且在拦截径流和稳定岸坡方面具有非常重要的作用^[3-4]。一方面植被覆盖增加了水流阻力,可减少径流冲刷;另一方面植物根系固持土壤,增强了土壤抗蚀性,从而减少水土流失^[5-6]。坡面流是侵蚀的主要动力,研究河岸带坡面流水动力学特性有助于了解坡面侵蚀的机制。

国内外学者对于坡面流水力学特征做了大量研究^[7-10]。袁和第等^[11]通过人工模拟降雨得出长时间降雨与径流流速、水力学参数关系显著。曾荣昌等^[12]通过室内放水冲刷模拟试验发现坡度、冲刷流量、岩石与坡面夹角共同影响地表集中流的水力学特性。吉静怡等^[13]通过模拟降雨试验,研究生物结皮分布格局是影响水动力学特征的重要因素。薛梦华等^[14]通过室内放水冲刷试验,发现了不同草被格局影响坡面流的水力学特性。已有的研究主要是在室内水槽模拟或者野外人工植被覆盖条件下的试验,河岸带具有陡峭、坡短、易遭受侵蚀、干扰因素多的特点,对河岸带坡面侵蚀的研究非常必要。但是目前对于河岸带边坡自然植被类型下的水动力学特性了解知之甚少。

本研究通过野外设置简易径流小区放水试验,分析河岸带不同原生植被类型、不同流量下的坡面流水动力学参数,探讨河岸带边坡自然植被在上方来水情况下水动力学特征,为河岸带植被拦截径流泥沙提供理论基础,同时为河岸带植被生态修复提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验区位于北京市怀柔区西南部(东经 116°19′54.3″—116°34′3.5″,北纬 40°18′59.5″—40°26′51.6″)。研究区气候类型属于大陆性季风气候,气温差较大,年最高气温 38℃,最低气温 -18℃。怀九河是北京山区的典型河流,长达 37.4 km,海拔约 65~320 m。上游部分河岸多靠丘陵台地,下游部分以地势低的小洪积扇群组成。河岸坡面的土壤类型主要为砂壤土,平均土壤粒径组成主要为:黏粒(<0.002 mm)为 3.9%±0.67%,粉粒为(0.002~0.05 mm)55.55%±4.6%,砂粒为(0.05~2 mm)40.55%±5.26%,土壤容重为(1.22±0.03) g/cm³,平均土壤层厚度<20 cm^[15]。

1.2 试验布设

本试验于 2017 年 6 月在怀九河流域中游覆盖有不同植被类型且受人为干扰活动较小的河岸边坡上

进行,自然坡面坡度较为均匀,约为 30.7±0.67°。边坡坡长 4 m,宽 0.5 m,在边坡上设置简易径流小区进行野外边坡放水冲刷试验。本研究以不同坡面植被类型作为试验对象,裸地作对照,研究不同坡面类型下的坡面流水动力学参数的变化过程。分别选取裸地、荆条(*Vitexnegundo* var. *heterophylla*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、荆条+茵陈蒿(灌草)共 6 种简易径流小区,基本特征见表 1。

表 1 径流小区基本特征

下垫面 类型	坡度/ (°)	土壤粒径组成/%			植被 盖度/%	株高/ cm
		黏粒	粉粒	砂粒		
荆条(灌木)	31.1	3.59	51.94	44.47	48.70	85.2±11.2
胡枝子(灌木)	30.5	3.18	51.88	44.94	65.92	9.1±0.7
茵陈蒿(草本)	30.6	4.89	62.37	32.74	51.38	10.1±1.6
狗牙根(草本)	31.8	3.58	53.23	43.19	68.40	9.8±2.0
荆条+茵陈蒿(灌草)	29.9	4.57	60.37	35.06	37.57	43.47±3.8
裸地	30.3	3.60	53.52	42.88	0	0

放水试验装置由供水桶、稳压桶、溢流槽、集流槽组成,水流由供水桶提供并流经稳压桶稳定水压,保证在试验过程中出水口出水流量相同。简易径流小区两侧利用 PVC 挡板(1.5 m × 0.2 m)隔开,集流槽主要收集上方来水来沙。本试验采用定水头方法来控制放水流量,调整后的水流经过溢流槽使之平稳的流入径流小区,自简易径流小区上方每隔 1 m 设置一个断面,共坡上、坡中、坡下 3 个断面用以测量径流流速。

试验前对简易径流小区坡面均匀洒水至坡面土壤含水量饱和,避免前期坡面含水量的不同而导致试验结果误差。试验过程中,调整出水流量后进行放水试验,待流速均匀稳定后每隔 2 min 利用高锰酸钾染色剂滴定法测定坡上、坡中、坡下的径流流速,求其平均值。染色法测定的流速为表面流速,相对于平均流速偏大需乘以修正系数 0.75,作为水流断面平均流速^[16]。本试验放水流量考虑北京土石山区所能达到的最大峰值雨强为 120 mm/h,通过试验小区上所产生的单宽流量计算得到 3 种设计流量(4 L/min, 6 L/min 和 8 L/min)。每种流量条件下放水时间共计 31 min,在试验前 5 min 每隔 1 min 收集一次坡面径流泥沙混合样,5 min 后每隔 2 min 收集一次,共计 18 个径流泥沙样。

1.3 水力参数计算

由于坡面流极薄,实测的水流深数值与实际情况相比误差较大,所以假定坡面薄层水流均匀分布的前提下,径流深(h)计算公式如下:

$$h = \frac{Q}{BVt}$$

式中: Q 为径流量(m^3); t 为取样时间(s); V 为断面平均流速(m/s); B 为有效过流宽度(m), 本研究取坡宽 0.5 m 。

文中涉及的雷诺数(Re)、弗劳德数(Fr)、Darcy-weisbach 阻力系数(f)、曼宁糙率系数的计算公式为:

$$Re = \frac{Vh}{\nu}$$

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.337t + 0.000221t^2}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

$$f = \frac{8ghJ}{v^2}$$

$$n = \frac{h^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}}{v}$$

式中: ν 为水运动黏性系数(m^2/s); t 为水温($^{\circ}\text{C}$); g 为重力加速度, 取值为 9.8 m/s^2 ; J 为水力坡度, $J = \sin\theta$, θ 为简易径流小区坡度。

1.4 统计分析

使用 SPSS 23.0 和 Origin 2021 软件进行数据统计和作图。采用 SPSS 23.0 软件的单因素方差分析(ANOVA)。在 0.05 水平上确定显著差异, 最小显著性差异法(LSD)检验进行多重比较以区分其平均值。

表 2 不同坡面类型径流流速特征

坡面类型/流量	4 L/min	6 L/min	8 L/min	平均值
茵陈蒿	0.152±0.011Cb	0.175±0.011Bb	0.199±0.004Ab	0.175±0.021b
狗牙根	0.061±0.004Be	0.085±0.004Ae	0.087±0.004Ae	0.078±0.012d
灌草	0.143±0.010Bb	0.156±0.010Ac	0.163±0.014Ad	0.154±0.014c
荆条	0.108±0.010Cd	0.147±0.023Bcd	0.192±0.020Ab	0.149±0.039c
胡枝子	0.121±0.011Cc	0.141±0.005Bd	0.181±0.007Ac	0.148±0.026c
裸坡	0.198±0.024Ca	0.287±0.026Ba	0.344±0.022Aa	0.276±0.065a

注: 所有数值计算是平均值±标准差, 小写字母表示同一流量不同坡面类型存在显著性差异, 大写字母表示同一坡面类型不同流量存在显著性差异($p < 0.05$)。

由于裸地坡面土壤松散, 径流流速始终高于其他植被类型坡面径流流速, 并且随着时间的增加有增加趋势(图 1)。随着冲刷时间的增加, 加剧了裸坡土壤侵蚀, 由面蚀向细沟侵蚀转变, 在沟内形成股流, 导致径流流速随时间出现增加的趋势。灌草、荆条坡面径流流速随时间也有增加趋势, 试验期间平均径流流速分别增加了 30.4% 和 39.8%(图 1)。狗牙根的径流流速始终低于其他坡面类型, 且随时间变化范围最小(0.075~0.081 m/s), 径流流速十分稳定。这是由于草本植物土壤表层高密度根系分布的影响, 增加的地表糙率分散了坡面径流, 抑制了侵蚀的发展, 细沟并不能完全发育。对于薄层水流, 草本植物能很好的起到阻流作

2 结果与分析

2.1 坡面流流速特征

不同坡面类型的平均径流流速有显著差异, 裸坡坡面的平均流速[(0.276±0.065) m/s]显著高于其他植被类型, 狗牙根坡面的平均流速[(0.078±0.012) m/s]显著低于其他坡面类型($p < 0.05$)。植被覆盖有明显的阻流作用, 增加水流的能量损失, 导致径流流速减小。无论是否有植被覆盖, 所有坡面类型的平均径流流速均随着来水流量的增加显著增加(表 2) ($p < 0.05$)。当放水流量为 4 L/min 时, 狗牙根坡面平均径流流速[(0.061±0.004) m/s]最小, 且显著低于其他植被类型, 约为裸坡平均径流流速[(0.198±0.024) m/s]的 0.308 倍。各植被类型坡面平均径流流速均显著低于裸坡平均径流流速($p < 0.05$)。当放水流量为 8 L/min 时, 荆条坡面的平均径流流速增速最大, 达到 76.92%, 荆条的阻流速率大大降低。而灌草坡面的平均径流流速增速最缓, 仅为 13.58%, 灌草坡面表现出相对较小的变化。对于狗牙根来说, 当来水流量从 4 L/min 增加到 6 L/min 时, 平均径流流速增加了 39.3%, 而当来水流量从 6 L/min 增加到 8 L/min 时, 平均径流流速增加仅为 0.32%, 表明狗牙根起到了很好的减流效益。

用, 径流流速变化的幅度相对较小。茵陈蒿(0.168~0.180 m/s)也发现了相对稳定的径流流速。

2.2 坡面流流型流态

水流流型流态是表征坡面薄层水流水力学特性的重要参数。坡面径流的水力学参数随上方来水流量和坡面类型表现出一定的规律性。根据明渠均匀流的基本理论, 计算雷诺数(Re)来判别水流流型, 当 $500 \leq Re \leq 5\ 000$ 时, 坡面流属于过渡流; $Re < 500$ 则属于层流; $Re > 5\ 000$ 时属于紊流。

整体来看, 河岸带边坡对径流的黏滞作用较为明显, 雷诺数变化范围为 11.21~172.96, 水流流态始终为层流(表 3)。相同流量的情况下, 雷诺数越大, 坡

面流的紊动性也越强。裸坡的雷诺数(128.53)显著高于其他坡面类型,狗牙根坡面的雷诺数(47.70)显著低于其他坡面类型(表 3)($p < 0.05$)。随着上方来

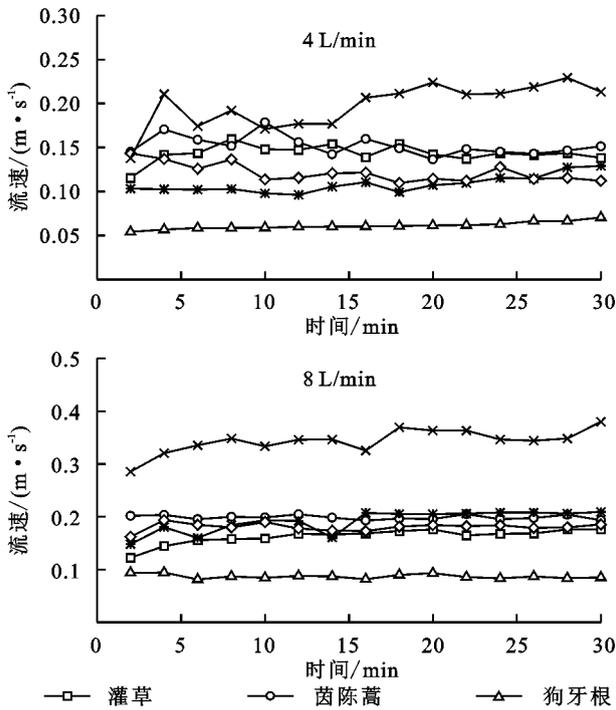


图 1 径流流速平均变化规律

表 3 不同坡面类型水力学参数

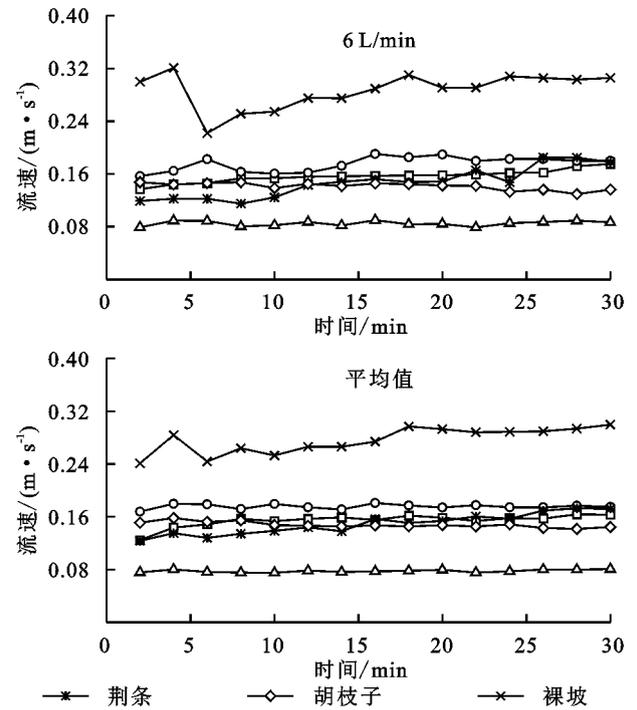
坡面类型	雷诺数	弗劳德数	阻力系数	曼宁糙率
茵陈蒿	111.57ab	2.23b	0.85c	0.031c
狗牙根	47.70d	1.12d	3.71a	0.062a
荆条	92.69bc	1.95c	1.16b	0.035b
胡枝子	90.48c	2.00c	1.17b	0.035b
荆条+茵陈蒿	79.86c	2.24b	0.89bc	0.030c
裸坡	128.53a	4.00a	0.28d	0.016d

注:小写字母表示不同坡面类型的水力学参数存在差异($p < 0.05$)。

各坡地类型在不同来水流量条件下雷诺数随时间的变化过程见图 2。不同坡地类型条件在前 10 min 快速增长,然后趋于稳定。在坡面流开始的时候,坡面较为平整,雷诺数随之增加。随着坡面流开始产沙,坡面受到的阻力变大,裸坡的雷诺数也趋于稳定。而对于不同植被类型坡面,水流穿过植被迎水面时,由于植被特性和根系分布不同,阻隔形成不同高度壅浪和尾涡,坡面流逐渐稳定。当流量为 4 L/min 时,狗牙根的雷诺数整体上呈稳定状态,说明低流量条件下,狗牙根起到了很好的阻流作用。

通过计算弗劳德数(Fr)来判别水流流型流态。一般明渠水流有 3 种流态,即缓流、临界流和急流。当 $Fr < 1$,水流为缓流;如果 $Fr > 1$,水流为急流, $Fr = 1$ 时为临界流。根据径流流型的判断标准,各坡面类型的弗劳德数均大于 1,表现为急流状态。各坡地类型在不

水流量的增加,所有坡面类型的雷诺数是显著增加的($p < 0.05$)(表 4),说明来水流量的大小相对于植被类型对坡面流的影响更大。



同来水流量条件下弗劳德数随时间的变化过程见图 3。除裸坡外,不同植被类型的弗劳德数随时间变化相对稳定。植被覆盖增加了坡面流阻力,流速的减小造成了弗劳德数减小。裸坡的弗劳德数(4.0)显著高于其他植被类型($p < 0.05$),侵蚀最严重。在坡面流产生初期,裸坡的弗劳德数减小幅度比较明显,随后才趋于稳定。这是由于裸坡的初始流速非常大,坡面的产沙过程逐渐延缓了流速,逐渐趋于稳定。狗牙根的弗劳德数(1.12)显著低于其他坡地类型($p < 0.05$)。除了裸坡和狗牙根外,各坡面类型的弗劳德数对于不同来水流量差异性不显著。

2.3 阻力特征

Darcy-weisbach 阻力系数和曼宁糙率来表示水流流动过程中受到的阻力大小。Darcy-weisbach 阻力系数越大,水流克服阻力消耗越多,水流用于泥沙输移的能量越少。植被坡面相对于裸坡坡面来说,植被根系增加了表面的粗糙度,并且固结表层土壤,明显的对坡面流形成阻力。裸坡的 Darcy-weisbach 阻力系数(0.28)显著低于其他植被类型 Darcy-weisbach 阻力系数(表 4)($p < 0.05$)。

对于不同的植被类型的坡面,水流经过的绕流阻力有所差异。其中狗牙根抑制流速的效果最好,平均阻力系数达到 3.71,为裸地阻力系数(0.28)的 13.25 倍。对于薄层水流,植被阻力和颗粒阻力共同影响水

流流动。裸坡的阻力系数随雷诺数的增加而减小,这是由于没有植被覆盖,此时的水流阻力以颗粒阻力为主。而狗牙根和灌草条件下 Darcy-weisbach 阻力系数随着雷诺数的增加而增加,说明低草本植被对于阻流作用始终具有很好的效果。随着流量的增加,灌木类(荆条和胡枝子)的 Darcy-weisbach 阻力系数呈先增大后减小的趋势。在上方流量较小的情况下,灌木类植被有一定的阻流作用。但随着流量的增加,坡面

流漫过灌木低密度的根系层,导致水流和植被相对接触面积减小,植被阻水面积相对较小,植被的阻流效果降低,水流阻力开始向颗粒阻力转变。不同坡面类型曼宁糙率系数整体上与 Darcy-weisbach 阻力系数变化趋势相同。裸坡坡面平均曼宁糙率系数(0.016)最小,且显著低于其他坡面类型($p < 0.05$),狗牙根坡面曼宁糙率系数(0.062)最大,且显著高于其他坡面类型($p < 0.05$)。

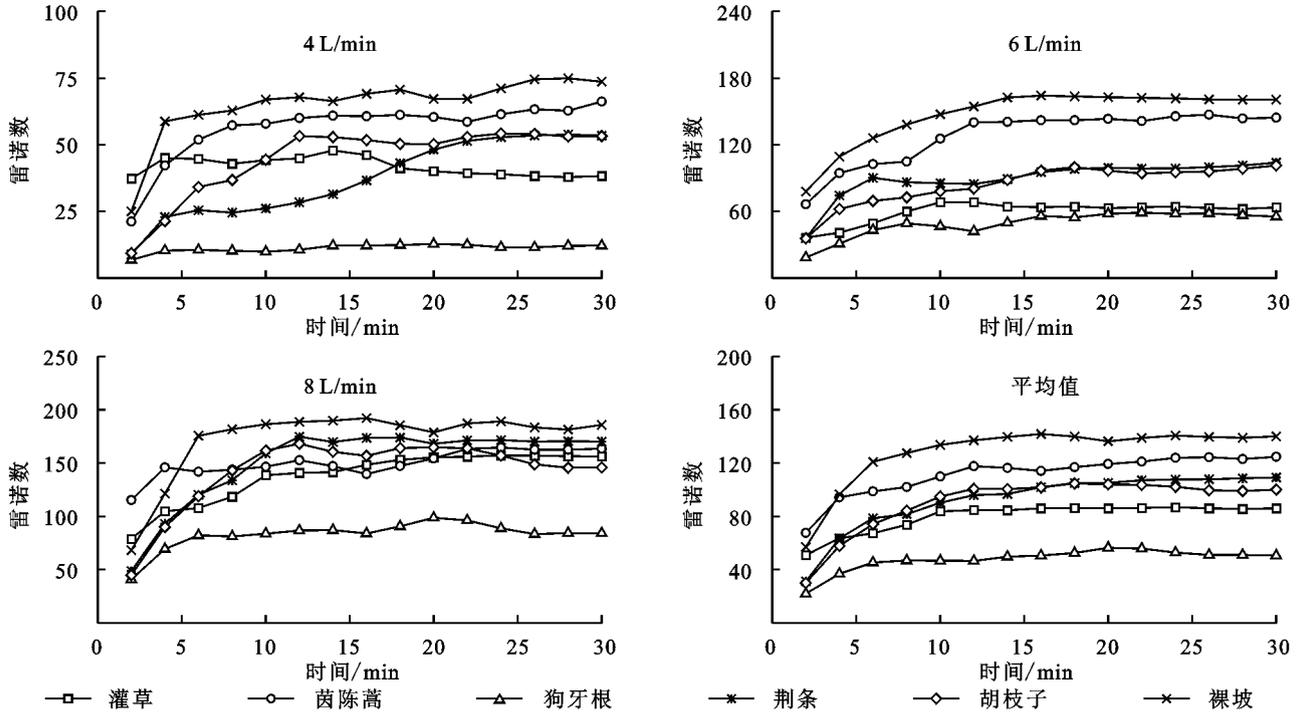


图 2 不同植被类型径流雷诺数变化过程

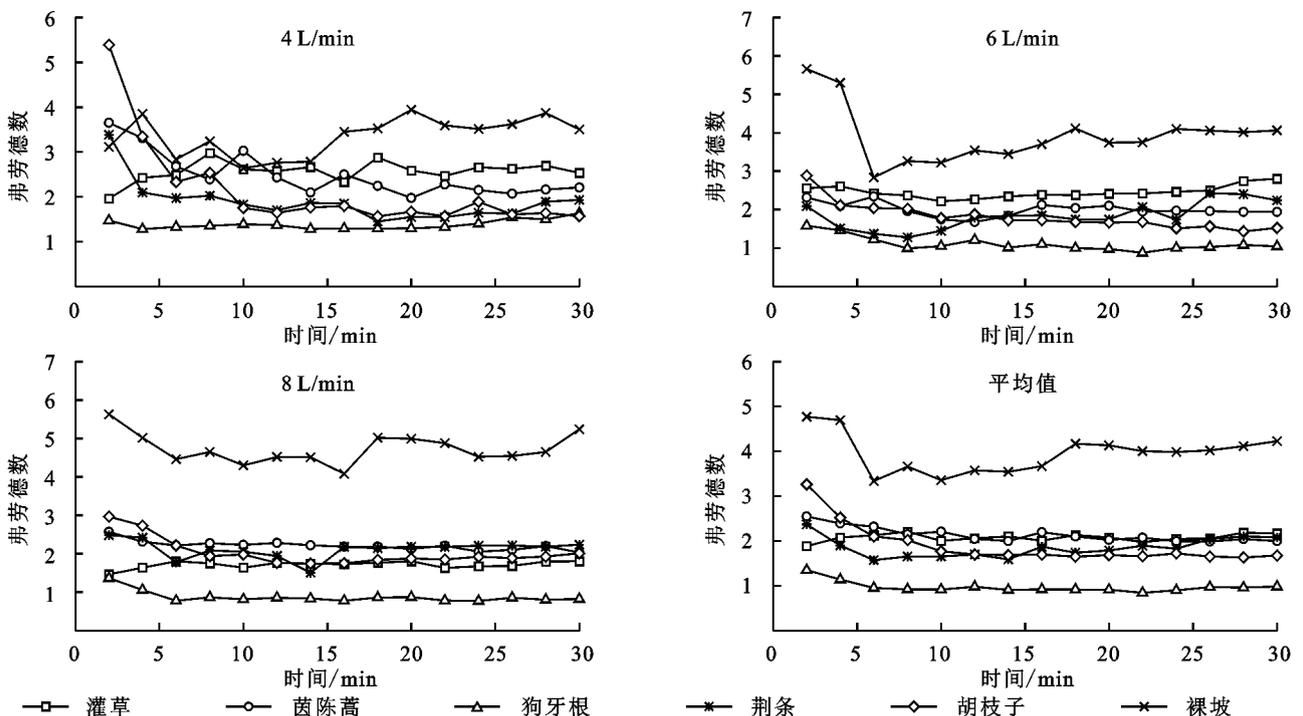


图 3 不同坡面类型下弗劳德数变化过程

表4 各植被类型不同流量下坡面水动力学参数

坡面类型	流量/ (L·min ⁻¹)	雷诺数	弗劳德数	阻力系数	曼宁糙率
茵陈蒿	4	56.40c	2.48a	0.71b	0.026c
	6	128.30b	2.00b	1.02a	0.035a
	8	150.01a	2.21b	0.82b	0.031b
狗牙根	4	11.21c	1.38a	2.13c	0.040c
	6	49.12b	1.11b	3.48b	0.061b
	8	82.77a	0.87c	5.54a	0.084a
荆条	4	37.40c	1.89ab	1.24a	0.033a
	6	89.47b	1.84b	1.32a	0.038a
	8	151.21a	2.12a	0.93b	0.033a
胡枝子	4	44.81c	2.14a	1.18a	0.033a
	6	84.39b	1.81a	1.32a	0.038a
	8	142.25a	2.02a	1.04ac	0.035a
荆条+茵陈蒿	4	41.81c	2.56a	0.63b	0.023c
	6	59.77b	2.46a	0.67b	0.025b
	8	138.00a	1.71b	1.38a	0.041a
裸坡	4	65.16c	3.35c	0.38a	0.018a
	6	147.48b	3.92b	0.28b	0.017a
	8	172.96a	4.74a	0.18c	0.014b

注:小写字母表示同种坡地类型不同流量间存在显著差异($p < 0.05$)。

3 讨论

本研究表明,坡面类型,来水流量,来水时间对坡面流速、水力学参数有显著影响。本研究表明,薄层水流平均径流流速随来水流量的增大而增大,与张宽地等^[17]和赵海滨等^[18]得到的试验结果相同。由于植被覆盖和根系的阻滞作用,降低了坡面流流速^[19]。水流流经植被会产生绕流阻力,造成水流的能量损失,从而减少水流能量向动能的转化^[20-21]。对不同坡面类型下的径流流速进行多元回归分析,得出流速、冲刷时间、来水流量的定量表达式(表5)。在本研究中,时间变量(T)的幂指数小于流量(Q)的幂指数,说明流量对径流流速的影响更大。

表5 坡面流流速定量表达式

坡面	表达式	R^2
灌草	$V=0.092 T^{0.073} Q^{0.189}$	0.72
茵陈蒿	$V=0.087 T^{0.007} Q^{0.387}$	0.81
狗牙根	$V=0.032 T^{0.008} Q^{0.485}$	0.76
荆条	$V=0.023 T^{0.136} Q^{0.837}$	0.92
胡枝子	$V=0.055 T^{-0.023} Q^{0.59}$	0.87
裸坡	$V=0.058 T^{0.068} Q^{0.777}$	0.90

注: V 为坡面平均流速(m/s); T 为冲刷时间(min); Q 为流量(L/min)。

坡面流水力学特性研究是研究坡面侵蚀的重要

内容。雷诺数是坡面流惯性力与黏性力的比值,雷诺数越大表明惯性力更大。在本研究中,雷诺数随着径流流量的增大而增大,来水流量的增大导致对颗粒的扰动能力变大,相应增加了土壤侵蚀能力。这与吕威等^[22]的研究结果一致。弗劳德数是动能和势能的对比关系,弗劳德数越大表明坡面径流的剪切力越大。本研究中,各覆盖植被的坡面的弗劳德数显著低于裸坡的弗劳德数($p < 0.05$),植被的阻流作用相对减小了坡面径流的剪切力,降低了径流挟沙能力。各坡地类型的弗劳德数随来水流量的增加变化不明显,杨坪坪等^[21]发现坡度是影响弗劳德数的主导因素,而研究区各坡地类型的坡度十分接近($30.7^\circ \pm 0.67^\circ$),植被类型对弗劳德数的影响比来水流量更大。

在本研究中,裸坡的 Darcy-weisbach 阻力系数和曼宁糙率均显著低于其他坡面类型($p < 0.05$),各植被类型增加了地表糙率,从而起到了减流减沙的效果。不同植被坡面类型的水流阻力与来水流量并不是简单的线性关系,而更多的与植被性状有关^[23]。植被类型对径流的阻力主要是植被与水流接触的面积。狗牙根是一种草本植物,浅根系对于薄层流的抑制效果明显,并且植被盖度达到了 68.40%(径流小区中最大的植被盖度),具有最大的坡面阻力。夏晓平等^[24]已发现狗牙根在拦截径流泥沙的效益方面具有明显优势,阻流效果明显。低草本植物根系主要分布于表土层,根系作用对表土的固持力能够有效抑制土壤侵蚀,此外,植被覆盖增加的地表粗糙度降低了径流流速,从而减缓了径流的冲刷^[25-26]。对于河岸坡面流来说,狗牙草比灌木类具有更好的减流减沙效益,在今后的河岸带植被措施中,低草本高密度根系植物可能有更好的阻流拦沙效果。

4 结论

本文采用野外简易径流小区放水冲刷的试验方法,研究河岸边坡不同植被类型在不同放水流量条件下坡面径流的水动力学特性,结果表明:坡面平均径流流速随着流量和时间的增加而增加。不同坡面下的雷诺数变化范围为 11.21~172.96,流态始终属于层流($Re < 500$)。弗劳德数随着放水时间的增加呈先减小后趋于稳定,各坡面径流流态均表现为急流($Fr > 1$)。植被坡面的 Darcy-weisbach 阻力系数(0.63~5.54)均高于裸地阻力系数(0.18~0.38),植被对坡面径流流速具有抑制作用,其中狗牙根在减缓径流流速方面效果最显著。河岸边坡进行植被恢

复有明显降低径流流速、减流拦沙的作用。研究结果为河岸边坡进行植被修复以及水土保持措施提供了基础理论和参考依据。

参考文献:

- [1] 夏继红,陈永明,王为木,等.河岸带潜流层动态过程与生态修复[J].水科学进展,2013,24(4):589-597.
- [2] 吴长松,赵清贺,刘璞,等.北江红壤河岸坡面侵蚀水动力特征[J].中国水土保持科学,2017,15(5):1-7.
- [3] Tang H W, Wang H, Liang D F, et al. Incipient motion of sediment in the presence of emergent rigid vegetation [J]. Journal of Hydro-Environment Research, 2013, 7 (3):202-208.
- [4] Pan C, Shangguan Z, Tei T. Influences of grass and moss on runoff and sediment yield on sloped loess surfaces under simulated rainfall [J]. Hydrological Processes, 2016, 20(18):3815-3824.
- [5] 肖培青,姚文艺,刘希胜,等.植被固土减蚀作用的力学效应[J].水土保持学报,2013,27(3):59-62.
- [6] Fattet M, Fu Y, Ghestem M, et al. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength[J]. Catena, 2011, 87(1):60-69.
- [7] Wang X, Yan X, Zhou S, et al. Longitudinal variations of hydraulic characteristics of overland flow with different roughness[J]. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 2014, 26(1):66-74.
- [8] Arjmand Sajjadi S, Mahmoodabadi M. Sediment concentration and hydraulic characteristics of rain-induced overland flows in arid land soils[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(3):710-721.
- [9] 叶继兵,夏继红,窦传彬,等.不同建设方式下河岸带坡面流流态判别及阻力特性[J].水土保持研究,2020, 27 (3):342-348.
- [10] 何贵平,谢艳,雷孝章.植被配置对坡面流阻力规律的影响分析[J].水电能源科学,2021,39(6):25-28,54.
- [11] 袁和第,信忠保,蒋秋玲,等.连续降雨作用下褐土坡面侵蚀及其水动力学特征[J].水土保持学报,2020,34 (4):14-20,30.
- [12] 曾荣昌,张玉启,何丙辉,等.喀斯特槽谷区岩石与坡面夹角对坡面集中流体力学特性的影响[J].土壤学报, 2021,58(5):1179-1189.
- [13] 吉静怡,赵允格,杨凯,等.生物结皮分布格局对坡面流水动力特征的影响[J].应用生态学报,2021,32(3): 1015-1022.
- [14] 薛梦华,马岚,刘京晶,等.不同草被格局下的坡面流体力学特性[J].水土保持学报,2021,35(3):23-29.
- [15] 夏晓平,信忠保,孔庆仙,等.北京怀九河河岸类型的植被与土壤理化性质差异[J].中国水土保持科学,2017, 15(4):117-124.
- [16] 张乐涛,高照良,田红卫.工程堆积体陡坡坡面土壤侵蚀水动力学过程[J].农业工程学报,2013,29(24):94-102.
- [17] 张宽地,王光谦,孙晓敏,等.模拟植被覆盖条件下坡面流水动力学特性[J].水科学进展,2014,25(6):825-834.
- [18] 赵海滨,张营营,姚文艺,等.黄土坡面径流水动力过程试验研究[J].水土保持学报,2013,27(5):28-31.
- [19] 张冠华,刘国彬,易亮.植被格局对坡面流阻力影响的试验研究[J].水土保持学报,2014,28(4):55-59,109.
- [20] 王志刚,杨海龙,刘慧博,等.河岸边坡草被减流减沙效应及其坡面流水动力学特征[J].水土保持学报,2016, 30(2):8-13.
- [21] 杨坪坪,张会兰,王云琦,等.植被覆盖度与空间格局对坡面流水动力学特性的影响[J].水土保持学报,2016, 30(2):26-33.
- [22] 吕威,武新英,李法虎.径流量和坡度对复合坡薄层径流水力学特性的影响[J].水土保持学报,2016,30(5): 11-17.
- [23] 孙佳美,余新晓,樊登星,等.模拟降雨下植被盖度对坡面流水动力学特性的影响[J].生态学报,2015,35(8): 2574-2580.
- [24] 夏晓平,信忠保,赵云杰,等.北京山区河岸植被的水土保持效益[J].水土保持学报,2018,32(5):71-77,83.
- [25] 刘慧博,高二鹏,王冰洁,等.不同植物边坡的糙率系数和水力学特征参数[J].水土保持通报,2015,35(4):64-68.
- [26] 杨帆,张宽地,杨婕,等.不同覆盖度下坡面流植被阻力特性研究[J].农业机械学报,2016,47(11):157-162.