

沙棘柔性坝对砒砂岩沟道泥沙粒径分布及有机质影响

王浩¹, 杨方社^{1,2}, 李怀恩², 刘兴誉¹, 马艺坤¹, 张鸿敏¹, 韩琛¹

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127;

2. 西安理工大学, 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 西安 710048)

摘要: 为了进一步研究沙棘“柔性坝”对砒砂岩沟道泥沙的影响, 基于内蒙古砒砂岩地区沙棘“柔性坝”野外试验, 根据单座沙棘“柔性坝”一次降雨淤积后的试验数据, 运用对比分析的方法, 研究了沙棘“柔性坝”对砒砂岩沟道泥沙粒径分布及有机质的影响及其拦沙效果。结果表明: 单座沙棘“柔性坝”能够提高砒砂岩沟道泥沙有机质含量, 具有淤粗排细的分选功能和良好的拦沙效果。泥沙有机质从沙棘“柔性坝”上游到下游逐渐增加, 沿泥沙剖面表现出先增后减的趋势; 泥沙粒径从沟道上游到下游先增大后减小, 沿一次降雨淤积的泥沙剖面也表现出先增后减的趋势; 暴雨后沙棘“柔性坝”单位面积淤积泥沙的平均厚度为 0.369 m, 与对比沟相比, 淤积的泥沙厚度明显较高。

关键词: 沙棘“柔性坝”; 砒砂岩区; 泥沙有机质; 泥沙粒径分布; 粗颗粒泥沙; 拦沙效果

中图分类号: S714.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)05-0158-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.025

Effects of Seabuckthorn Flexible Dam on Sediment Particle Size Distribution and Organic Matter in the Soft Sandstone Gully

WANG Hao¹, YANG Fangshe^{1,2}, LI Huaen², LIU Xingyu¹,

MA Yikun¹, ZHANG Hongmin¹, HAN Chen¹

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127; 2. State Key Laboratory

Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area of Northwestern China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract: In order to study the effects of the seabuckthorn flexible dam on sediment in the soft sandstone gully, field experiments were carried out in the soft rock region of Inner Mongolia, and based on the experimental data of single seabuckthorn flexible dam after a rainstorm, effects of seabuckthorn flexible dam on sediment particle size distribution and organic matter, and sediment retention effect of the dam were analyzed through employing the method of comparison. Results showed that single seabuckthorn flexible dam improved the organic matter content of gully sediment, and it had silt separation and fine sorting function and good sediment retention effect. The content of sediment organic matter increased from upstream to downstream of the seabuckthorn flexible dam, and the content of organic matter in middle sediment layer was higher than those in surface and bottom layer. The sediment particle size increased first and then decreased from upstream to downstream of the gully, and the same tendency appeared along the sediment profile of a rainfall deposit. After a rainstorm, the average thickness of silt deposited in unit area of seabuckthorn flexible dam was 0.369 m, and it was significantly higher than that of the control group.

Keywords: seabuckthorn flexible dam; soft sandstone region; sediment organic matter; sediment particle size distribution; coarse sediment; sediment retention effect

砒砂岩区集中分布在我国晋、陕、蒙交界地区, 是黄土高原最集中的碎屑基岩产沙区和黄河中游主要粗砂来源区, 被国内外专家称为“地球癌症”和“世界水土流失之最”。沙棘具有顽强的生命力, 在降水量

很少的干旱区也能正常生长, 对环境具有很强的适应性, 其根系十分发达, 以水平根为主, 繁殖速度快, 生物量大, 具有很强的分蘖萌生能力。因其顽强的生命力和发达的根系, 沙棘植物成为砒砂岩地区治理水土

收稿日期: 2016-04-02

资助项目: 国家自然科学基金项目(51279163); 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地项目(2016KFKT-4)(西安理工大学); 陕西省自然科学基金项目(2010JQ5003)

第一作者: 王浩(1992—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事水土保持、生态工程研究。E-mail: nwwwh2015@163.com

通信作者: 杨方社(1975—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事河流泥沙动力学、水土保持生态工程应用研究。E-mail: yangfangshe978@163.com

流失的“先锋树种”^[1-2]。种植沙棘对治理砒砂岩地区水土流失起到了非常重要的作用,李怀恩等^[3]和毕慈芬等^[4]又在此基础上进一步提出了在砒砂岩沟道内按一定种植参数来种植沙棘的设想,通过科学合理地布设沙棘“柔性坝”以达到更好的水土保持效果。沙棘“柔性坝”是指按照一定的种植参数,包括株距、行距、坝长、坝宽、种植密度等,在沟道内种植沙棘,以防止水土流失,改善区域生态环境。李怀恩等^[5-10]在毕慈芬建立的原试验基地继续开展沙棘“柔性坝”野外拦沙及数学模拟的原型试验,主要研究沙棘“柔性坝”的拦沙机理及生态水文效应。

但是人们研究的几乎都是多次降雨淤积后多座沙棘“柔性坝”对沟道泥沙的影响,有关一次降水淤积后单座沙棘“柔性坝”对砒砂岩沟道泥沙有机质和粒径分布的影响及其拦沙效果的研究尚未见报道,因此本次试验所采用的土样几乎都来自2016年7月下旬一次暴雨所淤积的泥沙。通过本次野外试验,为沙棘“柔性坝”在砒砂岩沟道的进一步推广提供了理论支持。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

研究区域位于鄂尔多斯市(原伊克昭盟)准格尔旗西部准格尔召境内的武家梁村。准格尔旗主要为裸露砒砂岩区,平均侵蚀模数为 2.0 万 $t/(km^2 \cdot a)$ 左右,以水蚀和风蚀为主,复合侵蚀严重^[1],降水量年际变化很大,年均降水量为 389 mm左右,降水主要集中在夏季,属于温带半干旱大陆性气候,其主要植被有沼泽草甸、沙生植被以及退化的草地等^[11-13]。由于严重的水土流失,使得该地区的可利用土地面积减少,土地生产力下降,环境承载力降低。

1.2 试验设计

在试验区的东沟和西沟各建有1座沙棘“柔性坝”,东沟沙棘“柔性坝”的上游和下游分别建有量水堰,西沟沙棘“柔性坝”中间建有量水堰,西沟量水堰两侧分别种植5排沙棘。2016年7月下旬的暴雨前,对东西沟沙棘生长状况和种植参数进行了实地调查,调查结果如表1所示。

表1 沙棘柔性坝种植参数及生长状况

指标	东沟	西沟
	梅花形交错布置	梅花形交错布置
坝长/m	18.5	27
坝宽/m	3.2	2.9
排列方式(a×b×P)	15×103×18	14×101×10
种植植物/棵	297	96
种植密度/(棵·m ⁻²)	5.02	1.23
平均株高/cm	25	19

注:a为平均株距(cm);b为平均行距(cm);P为排数。

1.3 试验研究方案

为了观测沙棘“柔性坝”对砒砂岩沟道泥沙有机质分布的影响,2016年8月初对暴雨后东沟沙棘“柔性坝”内的上中下游淤积的泥沙进行采样,采样点分别为C1,C2,C3,C4,C5,如图1所示,C1和C2代表上游,C3代表中游,C4和C5代表下游。分别在采样点的泥沙表层和距离表层10,20,30,40 cm的土层取样,共25个土样,然后在实验室对泥沙有机质进行测定。此外,还在没有布设沙棘“柔性坝”的对比沟道采样,设置对照试验。

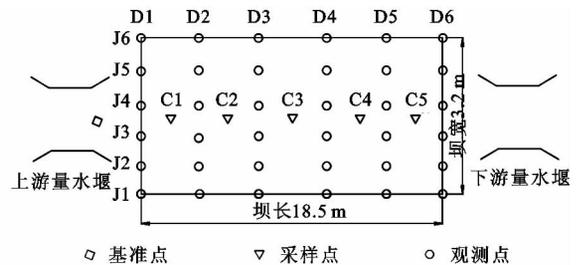


图1 沙棘柔性坝的采样点和观测点

为了研究沙棘“柔性坝”对砒砂岩沟道泥沙粒径分布的影响,分别在东沟和西沟沙棘“柔性坝”坝内的上中下游、上下游量水堰(西沟只有1个量水堰)、沙棘“柔性坝”上游沟道的上中下游取样,样本来自0—10 cm的表层泥沙,分析粗颗粒泥沙和细颗粒泥沙含量沿坝长的变化情况;分别在东沟和西沟沙棘“柔性坝”坝内的上中下游的泥沙表层和距离表层10,20,30,40 cm的土层取样,分析上中下游粗颗粒泥沙和细颗粒泥沙平均含量沿泥沙剖面的变化情况。

为了量化分析一次降雨淤积后单座沙棘“柔性坝”在砒砂岩沟道内的拦沙能力,如图1所示,以东沟上游量水堰底部为基准点,沿沙棘“柔性坝”上游到下游将植物坝等分成6个断面,分别为D1、D2、D3、D4、D5、D6,沿坝宽方向至西向东分别在6个断面内等间距取6个点,分别是J1、J2、J3、J4、J5、J6,这样就在坝内架构起36个观测点。通过观测暴雨前后各观测点相对于基准点的相对高程,从而测算出一次暴雨淤积后单座沙棘“柔性坝”内淤积的泥沙量。此外,还在距离上游量水堰左和下游量水堰右各20 m处以及没有布设沙棘“柔性坝”的对比沟道内沿坝宽方向各取3个点,设置对照试验。

1.4 试验数据的测定

于2016年8月中旬对所采土样进行试验分析。使用重铬酸钾容量法中的稀释热法测量沟道泥沙中有机质的含量,稀释热法是利用浓硫酸和重铬酸钾迅速混合时所产生的热来氧化有机质,剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁来滴定,从所消耗的重铬酸钾量,计算有机碳的含量^[14]。所采土样经过烘干后使用筛分法进行级配试验,筛子的直径分别为1,0.5,0.25,0.1,0.05 mm。

为了测量沙棘“柔性坝”坝床的相对高程,将东沟上游量水堰基准点的相对高程设为 0 m,利用水平管的连通器原理分别测出暴雨前和暴雨后 36 个观测点相对基准点的高程,这样就能生成淤积前和淤积后的三维曲面图,两个曲面所围成的体积即为泥沙淤积的体积,将泥沙淤积体积除以沙棘“柔性坝”的面积,就可以计算出一次降雨淤积后单座沙棘“柔性坝”的平均淤积厚度。

2 结果与分析

2.1 沙棘“柔性坝”对沟道泥沙有机质的影响

布设沙棘“柔性坝”的东沟与没有种植沙棘的沟道的泥沙有机质含量如表 2 所示,据此绘制出图 2 所示的不同土层条件下泥沙有机质含量的沿程变化图。上游 1,上游 2,中游,下游 1,下游 2 分别对应采样点的 C1~C5。

砭砂岩区沙棘“柔性坝”淤积泥沙的有机质含量极低,均小于土壤有机质含量的低等水平(6~10 g/

kg),各土层各断面土壤有机质含量的变异系数相近,都为中等变异程度($10\% < CV < 100\%$)^[15]。沿坝长方向,沙棘“柔性坝”内的上游淤积泥沙有机质含量最低,平均含量为 2.48 g/kg,其次是中游,含量为 3.39 g/kg,下游有机质含量最高,平均含量为 3.76 g/kg。由表 2 和图 2 可知,沟道泥沙有机质含量从沙棘“柔性坝”上游到下游表现出沿程增加的趋势,而且在上游增加的幅度要大于下游,中游与上游相比增加 37%,下游与中游相比增加 11%。对比沟道泥沙有机质含量从上游到下游变化不明显,与种植沙棘的东沟泥沙有机质沿坝长的分布明显不同,且种植沙棘的沟道泥沙有机质含量明显高于对比沟道,有机质含量的平均值约是对比沟的 1.7 倍,平均高出对比沟 70%左右。沙棘的存在能够影响砭砂岩沟道泥沙有机质沿坝长方向的分布格局,提高泥沙有机质含量,随着坝长的增加有机质也在不断积累,有机质含量与坝长具有明显的正相关关系,相关系数为 0.96。

表 2 泥沙有机质含量

土层	上游 1/ (g·kg ⁻¹)	上游 2/ (g·kg ⁻¹)	中游/ (g·kg ⁻¹)	下游 1/ (g·kg ⁻¹)	下游 2/ (g·kg ⁻¹)	各土层平均值/ (g·kg ⁻¹)	各土层 变异系数/%
泥沙表层	2.89	2.07	1.24	2.89	2.48	2.31	29.88
距离表层 10 cm	2.07	2.48	4.13	4.55	4.55	3.55	33.50
距离表层 20 cm	3.31	2.89	3.31	4.13	4.96	3.72	22.22
距离表层 30 cm	2.48	3.31	4.55	3.72	2.89	3.39	23.46
距离表层 40 cm	1.24	2.07	3.72	3.31	4.13	2.89	41.65
各断面平均值	2.40	2.56	3.39	3.72	3.80	3.17	20.64
各断面变异系数/%	33.16	21.03	37.8	17.57	28.14	8.41	
对比沟平均值	2.07	1.24	1.93	1.89	2.20	1.87	19.90

沿泥沙剖面方向,由表 2 可知,沙棘“柔性坝”内距离表层 20 cm 处的土层泥沙有机质含量最高,平均含量为 3.72 g/kg,其次是距离表层 10 cm 和 30 cm 处的土层,平均含量分别为 3.55 g/kg 和 3.39 g/kg,泥沙表层和距离表层 40 cm 的土层泥沙有机质含量最低,分别为 2.31 g/kg 和 2.89 g/kg。沙棘“柔性坝”中间土层泥沙有机质含量高,表层和底层泥沙有机质含量低,沿泥沙剖面泥沙有机质含量呈现先增加后减少的趋势。通过野外观察发现,暴雨过后沙棘的枝干几乎全被淤积在泥沙中,距离泥沙表面 20 cm 处是沙棘生长较为旺盛的部位,新陈代谢较快,产生大量的有机质,沙棘“柔性坝”所形成的复合地表枯枝落叶层的腐殖质、沙棘植物的死亡代谢和分泌物都是沟道泥沙有机质的重要来源^[16]。此外由于沙棘“柔性坝”的拦沙作用,砭砂岩基岩上产生一定厚度的淤积泥沙,经颗粒级配分析,泥沙粒径大于 250 μm 的粗粒沙占泥沙总质量的百分比普遍高于 50%,与基岩相比渗透系数较大,因此有机质以淋溶形态向下运动

的过程中在基岩上方的泥沙中形成了一滞水层,上层土壤的淋溶态有机质在此层不断积累。

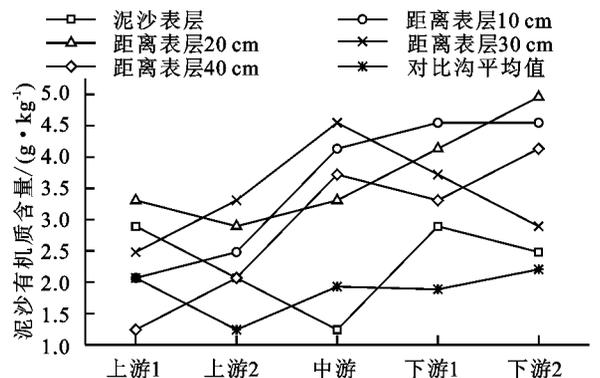


图 2 不同土层条件下泥沙有机质含量沿程变化

综上所述,沙棘“柔性坝”沟道泥沙有机质含量从上游到下游表现出沿程增加的趋势,且上游增加的幅度大于下游,对比沟道的泥沙有机质含量明显小于布设沙棘“柔性坝”的沟道,坝内中间土层的泥沙有机质含量高于表层和底层。沙棘“柔性坝”能够改善泥沙质量,提高泥沙有机质含量,改变了沟道泥沙有机质

沿泥沙剖面和坝长方向的分布格局。沙棘“柔性坝”能够提高砒砂岩沟道泥沙有机质的含量,有利于地表植物群落的恢复与生长,沙棘也会越来越旺盛,反过来,沙棘的苗壮成长会进一步提高沟道泥沙有机质的含量,从而形成一个良性循环。沙棘植物的存在有利于砒砂岩沟道次生植物群落的生长与恢复,对于砒砂岩地区生态环境的恢复与重建具有重要意义。

2.2 沙棘“柔性坝”对沟道泥沙粒径分布的影响

泥沙粒径分布 (particle size distribution, PSD) 是指泥沙固相中不同粗细级别的沙粒所占的比例,作为重要的泥沙物理属性,对研究泥沙的侵蚀、搬运、堆积规律以及河床的演变具有重要的意义^[17-19]。从每个样本泥沙粒径分布情况来看,粒径大于 0.25 mm 的泥沙质量占泥沙总质量的百分比普遍高于 50%,本文在泥沙粒级划分中,将粒径大于 0.25 mm 的泥沙视为粗颗粒泥沙,将粒径小于 0.1 mm 的泥沙视为细颗粒泥沙。粗颗粒泥沙所占百分比越高,细颗粒泥沙所占百分比越低,则说明淤积泥沙的粒径越大;粗颗粒泥沙所占百分比越低,细颗粒泥沙所占百分比越高,则说明淤积泥沙的粒径越小。

由图 3 可知,从沟道上游到沙棘“柔性坝”下游,东西两沟粗颗粒泥沙百分比含量变化大致相同,总体表现出先增大后减小的趋势,沟道中游粗颗粒泥沙含量最低,东西两沟分别为 63.74% 和 58.42%,沙棘“柔性坝”坝内的上游含量最高,分别为 82.90% 和 80.48%,东西沟粗颗粒泥沙百分比含量的变异程度很小,变异系数分别为 9.23% 和 10.19%。由图 4 可知,东西沟细颗粒泥沙百分比含量变化也大体相同,且变化趋势与粗颗粒泥沙含量的趋势相反,总体表现出先减小后增大的趋势,西沟细颗粒泥沙百分比含量的变异程度大于东沟,东西沟变异系数分别为 22.38% 和 46.31%。由于受沙棘的阻滞作用,沙棘“柔性坝”上游断面以上沟道水位雍高,水流速度减小,上游推移质泥沙的运动速度减小,粗颗粒泥沙在沟道下游开始大量沉积,而细颗粒泥沙则继续向下游移动。粗颗粒泥沙在输沙过程中,经过沙棘植物的层层拦截,到沙棘“柔性坝”下游时,东沟粗颗粒泥沙百分比含量已从沙棘“柔性坝”上游的 82.90% 减小到 68.00%,减小约 22%,西沟从上游的 80.48% 减小到 75.71%,减小约 6%,坝内粗颗粒泥沙含量明显高于上游沟道中粗颗粒泥沙含量,东西沟坝内粗粒沙平均百分比含量分别高出上游沟道 6% 和 11%。从上游量水堰到沙棘“柔性坝”中游,东沟细颗粒泥沙百分比含量从 5.83% 增加到 13.17%,西沟则从 4.44% 增加到 9.90%。由此可以看出,单座沙棘“柔性坝”对砒砂岩地区沟道泥沙具有良好的淤粗排细、

天然分选功能,能将大量粗颗粒泥沙拦截在植物坝内。砒砂岩区是黄河中游主要粗砂来源区,因此在砒砂岩区沟道布设沙棘“柔性坝”对黄河流域粗颗粒泥沙的治理具有重要意义。

尽管东西沟泥沙粒径分布情况总体相似,但也有些不同之处。由于西沟量水堰的上游种植了 5 排沙棘,因此其沟道对粗颗粒泥沙的拦截能力向沟道上游迁移,导致西沟下游淤积的粗颗粒泥沙要大于东沟,西沟下游淤积的细颗粒泥沙含量则小于东沟,这也说明沙棘具有拦粗排细的功能。东沟粗颗粒泥沙百分比含量在坝下游之后开始增大,这是因为东沟下游建有量水堰,量水堰的存在有利于粗颗粒泥沙的淤积,据此可以推测,在沟道布设沙棘“柔性坝”时可以与淤地坝、刚性谷坊等工程措施配套使用,从而将粗颗粒泥沙更有效地拦截在沙棘“柔性坝”内。

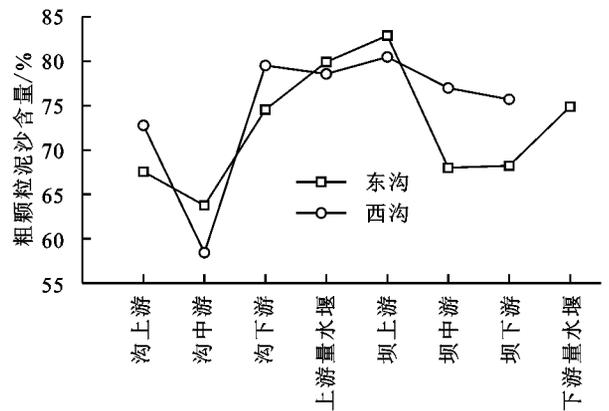


图3 粗颗粒泥沙含量沿程变化

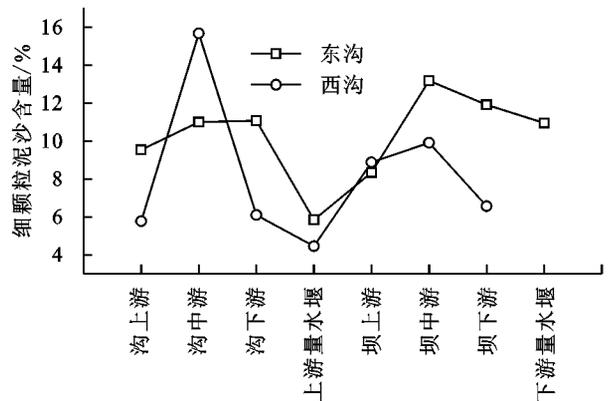


图4 细颗粒泥沙含量沿程变化

由图 5 可知,东沟粗颗粒泥沙含量先增加后减少,西沟先增加后减少然后再增加,东西沟粗颗粒泥沙百分比含量的变异系数很小,分别为 7.33% 和 7.94,都为弱变异程度 ($CV < 10\%$)^[15]。由图 6 可知,细颗粒泥沙含量与粗颗粒泥沙含量变化趋势相反,东沟细颗粒泥沙含量先减少后增加,西沟先减少后增加然后再减少,东沟细颗粒泥沙百分比含量的变异程度大于西沟,东西沟变异系数分别为 49.80% 和 29.33%。通过现场实地观测,7 月下旬暴雨后东沟沙棘“柔性坝”内淤积的泥沙厚度约

40 cm,而西沟由于种植的沙棘较少(东沟 297 棵,西沟 96 棵),长势也较差(西沟沙棘平均高度只有东沟沙棘的 76%),西沟沙棘“柔性坝”拦截泥沙的能力较弱,一次降雨淤积的泥沙厚度只有东沟的 1/2。这说明无论是东沟还是西沟,一次降雨淤积的粗颗粒泥沙含量沿泥沙剖面的变化趋势都是先增加后减少,细颗粒泥沙含量沿泥沙剖面的变化趋势都是先减少后增加。这是因为在一次暴雨中,降水强度先增加后减少,而水动力条件较强时,沟道径流剥蚀和搬运能力强,更多的粗颗粒泥沙可被携带至采样点,沉积物粒径较粗,水动力条件较弱时,沉积物粒径较细。而西沟距离表层 20 cm 以下的土层是之前降雨所淤积的泥沙,因此淤积泥沙的粒径又开始增加,如果分析更深层的泥沙粒径,按照一次淤积泥沙粒径先增后减的规律,多次降雨淤积的泥沙粒径沿泥沙剖面应该呈锯齿状变化,这种变化规律也说明淤积泥沙粒径的增大对流域内大暴雨有一定的指示作用。但淤积泥沙的粒径不仅与降水量有关,还与暴雨初始强度、连日暴雨等特征有关,所以淤积泥沙粒径的峰值不一定对应降雨量的峰值^[20]。

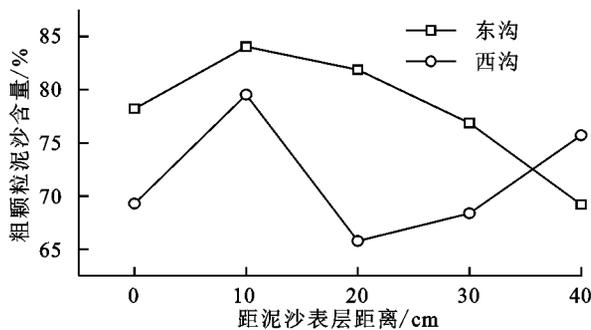


图 5 粗颗粒泥沙含量沿泥沙剖面变化

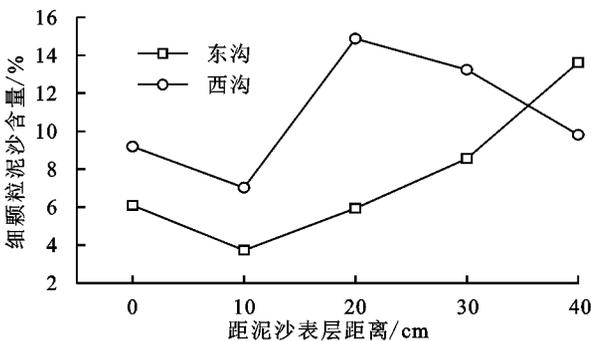


图 6 细颗粒泥沙含量沿泥沙剖面变化

2.3 沙棘“柔性坝”在砒砂岩沟道内的拦沙效果

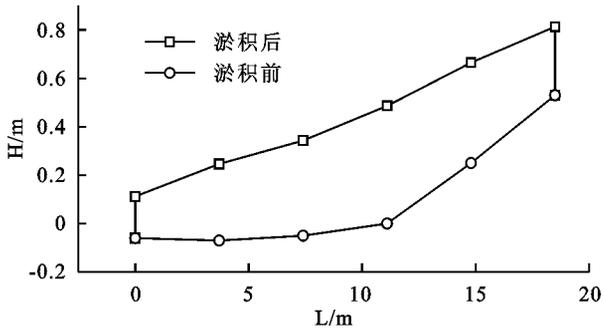
2016 年 7 月 24 日,鄂尔多斯市发生了一场暴雨,从内蒙古气象局官方网站获悉,鄂尔多斯市温家塔降水观测站在 7 月 24 日 7:00—7 月 25 日 7:00 的降水量为 91.7 mm。暴雨虽然缓解了当地旱情,但由于降水强度大,再加上当地又是典型的裸露砒砂岩区,导致大面积水土流失。暴雨过后沙棘“柔性坝”坝内淤积了大量泥沙,沙棘的主干几乎都被淤积在泥沙中,为了量化分析一次降雨淤积后单座沙棘“柔性坝”的拦沙能力,分别在暴雨前后的 7 月上下旬对东沟 36 个观测点的相对高程进行测量。

根据表 3 绘制出沙棘“柔性坝”淤积前后各断面相对高程的沿程剖面图,由图 7 可知,淤积前的坝床与暴雨淤积后的坝床相比比较较大,起伏较为剧烈,淤积前后的变异系数分别为 242.65% 和 59.26%,淤积前的剧烈变化与种植沙棘和建造量水堰时的人为因素有关。正是因为沙棘“柔性坝”具有良好的拦沙淤积效果,随着坝内泥沙淤积厚度的加大,相当于抬升沟道基面,从而降低了沟道纵比降,所以淤积后坝床较为平缓。图 7 中下面的曲线为淤积前各断面相对高程的沿程变化曲线,上面的曲线为淤积后各断面相对高度的沿程变化曲线,而上下之间的差就是泥沙淤积的厚度。用两条曲线所围图形面积乘以坝宽,就可以粗略计算出坝内所淤积泥沙的体积。经计算,2016 年 7 月下旬这场暴雨在沙棘“柔性坝”内所淤积的泥沙体积约为 21.868 m³。东沟沙棘“柔性坝”的坝长为 18.5 m,平均宽度为 3.2 m,其面积为 59.2 m²,则在这场暴雨后沙棘“柔性坝”单位面积的泥沙淤积厚度为 0.369 m,而在距离上游量水堰左 20 m 米处淤积泥沙的平均厚度为 0.123 m,在距离下游量水堰右 20 m 处淤积泥沙的厚度为 0.157 m,而没有种植沙棘植物的对比沟道淤积泥沙的平均厚度只有 0.965 m。综上所述,与距离上游量水堰左和下游量水堰右各 20 m 以及没有种植沙棘的对比沟道相比,种植沙棘“柔性坝”的沟道内淤积的泥沙厚度明显较高,这说明单座沙棘“柔性坝”在砒砂岩沟道中的拦沙效果十分显著。

表 3 淤积前后泥沙的相对高程

单位:cm

断面	淤积前相对高程	淤积前平均值	淤积后相对高程	淤积后平均值
D1	-6.9, -5.6, -7.1, -3.8, -8.5, -4.1	-6.0	10, 12.2, 9.8, 14, 8, 13, 11.2	11.2
D2	-8.1, -9, -9.2, -9, -6.2, -0.5	-7.0	22.5, 22.5, 22.5, 22.4, 25.3, 32.5	24.6
D3	-4.3, -5.5, -8, -6.8, -5.6, 0.2	-5.0	34, 33.8, 31, 32.5, 34.5, 40	34.3
D4	2.4, 0.2, -4.3, -4.5, -2.8, 2	0.0	50, 48, 44.5, 44.5, 46.5, 58	48.6
D5	25.5, 23.6, 22.4, 24.3, 26, 28.2	25.0	67, 64.5, 64, 65, 67, 71.3	66.5
D6	55, 52, 48.9, 51, 54, 57.1	53.0	83.5, 80, 77, 79, 82, 86	81.3



注:L为沿坝长方向的长度(m);H为观测点的相对高程(m)。

图7 淤积前后泥沙相对高程的沿程剖面图

3 结论

(1)沙棘“柔性坝”的上游淤积的泥沙有机质含量最低,下游含量最高,沙棘“柔性坝”沟道泥沙有机质含量从上游到下游表现出沿程增加的趋势;距离表层20 cm 土层的泥沙有机质含量最高,表层和距离表层40 cm 土层的泥沙有机质含量最低,沙棘“柔性坝”中间土层泥沙有机质含量高于表层和底层;对比沟道的泥沙有机质含量从上游到下游变化不大,与种植沙棘的沟道泥沙有机质沿坝长的分布明显不同,种植沙棘的沟道泥沙有机质含量明显高于对比沟道,有机质含量约是对比沟的1.7倍。沙棘“柔性坝”能够影响砒砂岩沟道泥沙有机质的分布格局,提高泥沙有机质的含量,对改善泥沙质量、修复生态环境具有重要意义。

(2)从沟道上游到沙棘“柔性坝”下游,东西两沟泥沙粒径分布大致相同,粗颗粒泥沙百分比含量总体表现出先增加后减少的趋势,细颗粒泥沙百分比含量总体表现出先减少后增加的趋势。沙棘“柔性坝”能将大量粗颗粒泥沙淤积在植物坝内,尤其是植物坝的上游,对沟道泥沙具有良好的拦粗排细的天然分选功能;在沟道布设沙棘“柔性坝”时与淤地坝、刚性谷坊等工程措施配套使用会取得更好的水土保持效果;一次降雨淤积的泥沙粒径沿泥沙剖面的变化趋势是先增后减,多次降雨淤积的泥沙粒径沿泥沙剖面的变化趋势呈锯齿状变化,这种变化规律也说明沙棘“柔性坝”内淤积泥沙粒径的增大对砒砂岩区大暴雨有一定的指示作用。

(3)鄂尔多斯市温家塔降水观测站观测的2016年7月24日暴雨的降水量为91.7 mm,暴雨后东沟沙棘“柔性坝”单位面积的泥沙淤积厚度为0.369 m,而在距离上游量水堰左20 m处淤积泥沙的平均厚度为0.123 m,在距离下游量水堰右20 m处淤积泥沙的平均厚度为0.157 m,没有种植沙棘植物的对比沟道淤积泥沙的平均厚度只有0.965 m。与对比沟相比,种植沙棘的沟道内淤积的泥沙厚度明显较高,这说明单座沙棘“柔性坝”在砒砂岩沟道中的拦沙效果十分显著。

参考文献:

- [1] 王愿昌,吴永红,寇权,等. 砒砂岩分布范围界定与类型区划分[J]. 中国水土保持科学,2007,5(1):14-18.
- [2] 靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子[J]. 生态学报,2011,31(7):1783-1793.
- [3] 李怀恩,张康,毕慈芬,等. 沙棘植物柔性坝坝体变形初步分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(3):144-148.
- [4] 毕慈芬,王富贵,赵光耀,等. 砒砂岩区沟道人工湿地生态系统的构建和建议[J]. 中国水土保持,2016(9):76-78.
- [5] 李怀恩,杨方社,张日俊,等. 沙棘柔性坝对水流影响的野外试验研究[J]. 水力发电学报,2009,28(1):124-129.
- [6] 王张斌,程文,李怀恩,等. 流体可视化技术在沙棘柔性坝流场测量中的应用研究[J]. 水力发电学报,2008,27(1):28-31.
- [7] 李怀恩,谢毅文,蔡明,等. 砒砂岩地区小流域毛沟侵蚀特性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):245-250.
- [8] 杨方社,李怀恩,杨联安,等. 沙棘植物“柔性坝”沟道土壤水分时空动态变化研究[J]. 水土保持学报,2007,21(1):107-110.
- [9] Yang F S, Cao M M, Li H E, et al. Simulation of sediment retention effects of the single seabuckthorn flexible dam in the Pisha Sandstone area [J]. Ecological Engineering,2013,52(3):228-237.
- [10] 杨方社,李怀恩,杨联安,等. 沙棘植物柔性坝沟道土壤水分空间变异研究[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):104-110.
- [11] 余海龙. 内蒙古准格尔旗雨水利用的环境效应分析[J]. 人民黄河,2004,26(5):28-29,32.
- [12] 李晶,蒙古军,毛熙彦. 基于最小累积阻力模型的农牧交错带土地利用生态安全格局构建:以鄂尔多斯市准格尔旗为例[J]. 北京大学学报(自然科学版),2013,49(4):707-715.
- [13] 田海静,曹春香,戴晟懋,等. 准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J]. 地球信息科学学报,2014,16(1):126-133.
- [14] 季天委. 重铬酸钾容量法中不同加热方式测定土壤有机质的比较研究[J]. 浙江农业学报,2005,17(5):311-313.
- [15] 秦静,孔祥斌,姜广辉,等. 北京典型边缘区25年来土壤有机质的时空变异特征[J]. 农业工程学报,2008,24(3):124-129.
- [16] 杨方社,李怀恩,杨寅群,等. 沙棘植物对砒砂岩沟道土壤改良效应的研究[J]. 水土保持通报,2010,30(1):49-52.
- [17] 阳辉,师长兴,姚海芳. 风水两相侵蚀条件下流域泥沙粒径分布分形维数特征:以黄河上游内蒙古段西柳沟为例[J]. 水土保持通报,2016,(4):84-89.
- [18] 张怡,丁迎盈,王大安,等. 坡度对侵蚀产沙及其粒径分布的影响[J]. 水土保持学报,2015,(6):25-29.
- [19] 张翔,李鹏,张洋,等. 东柳沟沉积泥沙粒径空间分布与特征[J]. 水土保持学报,2015,(1):75-79,148.
- [20] 张玮,杨明义,张凤宝,等. 黄丘区小流域坝地沉积泥沙粒径剖面分布特征[J]. 水土保持研究,2015,22(2):17-21.