

# 砒砂岩区植物拦沙作用导致泥沙筛分效应研究

谢毅文<sup>1</sup>, 李怀恩<sup>2</sup>, 李越<sup>3</sup>, 张强<sup>4</sup>, 高卫平<sup>5</sup>, 陈焕节<sup>1</sup>

(1. 东莞理工学院 化学与环境工程学院, 广东 东莞 523808; 2. 西安理工大学

西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048; 3. 珠江水利委员会 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611; 4. 珠江水利委员会, 广东 广州 510611; 5. 珠江流域水资源保护局, 广东 广州 510611)

**摘 要:** 对黄河中上游砒砂岩区两个典型流域(东一支沟和对比沟)进行了实地调查, 并对其监测资料进行了对比分析。结果发现, 种植沙棘的东一支沟沟床表层泥沙颗粒级配累积曲线及整体粒径呈由上游至下游逐渐变细的分布特征, 而没有种植水土保持植物的对比沟则呈不规则分布; 同时发现, 东一支沟沟床表层土中粒径大于 1 mm 的粗沙含量比例平均仅为 2.0%, 而对比沟则达 9.93%。研究表明沙棘植被的拦沙固沙作用导致沟床产生了泥沙筛分效应。

**关键词:** 植物拦沙; 筛分效应; 泥沙级配

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0022-04

中图分类号: TV21, S157.1

## Sieving Effect of Plants on Sediment-fixation in Soft Rock Areas

XIE Yi-wen<sup>1</sup>, LI Huai-en<sup>2</sup>, LI Yue<sup>3</sup>, ZHANG Qiang<sup>4</sup>, GAO Wei-ping<sup>5</sup>, CHEN Huan-jie<sup>1</sup>

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Dongguan Univ. of Tech., Dongguan,

Guangdong 523808, China; 2. Key Lab. of Northwest Water Resources and Environment Ecology of

MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 3. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou, Guangdong 510611, China; 4. Pearl River Water Resource Committee, Guangzhou, Guangdong 510611, China; 5. Bureau of Pearl River Basin Water Resources Protection, Guangzhou, Guangdong 510611, China)

**Abstract:** Combined with field survey, comparative analysis was conducted on long-term monitoring data collected in the Dongyizhigou gully and the adjacent contrast gully, which is located in the soft rock area in the upper and middle Yellow River basin. A clear trend of sediment grain-size distribution that sediment grain-size cumulative curve and total grain diameter became finer from the upper to lower stream was found in the Dongyizhigou gully, where seabuckthorn vegetation was planted and almost covered the whole gully. In contrast, the sediment grain size distribution showed no regularity at all in the control gully where no vegetation was planted. Specifically, the content of sediment with diameter larger than 1 mm was 2.0% on the gully bed of the Dongyizhigou gully, whereas it was 9.93% on that of the control gully. The analysis results showed that sand-fixing capability of seabuckthorn vegetation imposed a sediment sieve effect on the sediment transportation in the gully bed.

**Keywords:** sediment-fixing by plant; sieve effect; sediment grain-size

砒砂岩地区位于黄河中上游的鄂尔多斯高原, 陕西省内蒙古自治区接壤处直接入黄河的一级支流和“十大孔兑”地区<sup>[1]</sup>。砒砂岩岩质松软而易于侵蚀, 千沟万壑, 地形地貌独特<sup>[2]</sup>。该地区的年侵蚀模数可达  $2.0 \times 10^4$  t/(km<sup>2</sup> · a), 是黄河流域基岩产沙集中来源区<sup>[3]</sup>。针对砒砂岩区水土流失的特点, 1992—1995 年黄河中上游管理局在内蒙古自治区鄂尔多斯市东

胜区选择西召沟小流域为试点基地并种植沙棘, 开展水土流失调查和沙棘防治水土流失的试验示范研究<sup>[4-5]</sup>。多年以来, 前人对沙棘拦沙机理<sup>[6-7]</sup>、作用机制<sup>[8-10]</sup>、生态修复<sup>[11-13]</sup> 方面做了大量研究, 但对种植沙棘产生拦沙作用可能导致一系列泥沙物理特征效应方面还缺乏深入研究。本研究通过在沙棘拦沙实验基地东一支沟流域及无种植水土保持植物的对比沟流

收稿日期: 2011-10-30

修回日期: 2012-01-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“植被过滤带对非点源污染物净化效果的试验研究与模拟”(50979090); 广东高校优秀青年创新人才培养项目(LYM10123); 东莞市科技计划项目(2012108102047)

作者简介: 谢毅文(1980—), 男(汉族), 广东省东莞市人, 博士, 讲师, 研究方向为水资源水环境保护。E-mail: 323100301@qq.com。

通信作者: 张强(1979—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 硕士, 工程师, 研究方向为水资源管理。E-mail: zhq0213@126.com。

域进行实地调研和长期观测,分析沙棘种植蚀沟出现的沟床泥沙筛分现象及其成因,研究沟蚀、植物拦沙固沙、泥沙淤积特征变化之间相互作用关系,以期为黄河中上游地区的水土保持治理工作提供科学依据。

### 1 研究区域概况与数据处理

研究区域位于砒砂岩地区西召沟内的东一支沟和邻近的对比沟。东一支沟位于北纬 39°37'09.22" 东经 110°08'58.23",流域面积为 0.23 km<sup>2</sup>,于 1995 年开始种植沙棘,而对比沟(位于北纬 39°36'56.84"

东经 110°08'22.99",流域面积 0.047 km<sup>2</sup>)没有栽种沙棘或其它植物。于 2005 年 5 月对东一支沟和对比沟进行了实地调研,在东一支沟和对比沟的上、中、下游沟段的沟床表层土分别进行多点泥沙采样,并采用孔径分别为 5,2,1,0.5,0.25,0.1 和 0.05 mm 的筛网进行颗粒级配实验分析,采用分段 3 次 Hermite 插值方法<sup>[15]</sup>对实验数据进行颗粒级配累积曲线拟合。通过对沟床高程进行精确测量并与 1995 年数据比较获取泥沙淤积厚度数据。泥沙颗粒级配实测数据详见表 1。

表 1 东一支沟与对比沟颗粒级配比较

| 粒径范围/mm      | <5    | <2    | <1    | <0.5   | <0.25  | <0.1   | <0.05  |
|--------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 粒径对数值/mm     | 0.699 | 0.301 | 0.000 | -0.301 | -0.602 | -1.000 | -1.301 |
| 东一支沟上游级配比例/% | 99.8  | 98.2  | 96.9  | 66.1   | 23.5   | 5.2    | 1.2    |
| 东一支沟中游级配比例/% | 99.8  | 99.3  | 98.6  | 84.1   | 56.8   | 18.7   | 4.8    |
| 东一支沟下游级配比例/% | 100.0 | 99.7  | 98.5  | 88.9   | 70.4   | 47.3   | 13.4   |
| 对比沟上游级配比例/%  | 99.6  | 91.6  | 83.6  | 64.4   | 49.4   | 21.0   | 4.5    |
| 对比沟中游级配比例/%  | 100.0 | 99.1  | 98.1  | 90.9   | 64.7   | 31.3   | 7.0    |
| 对比沟下游级配比例/%  | 100.0 | 94.7  | 88.5  | 65.9   | 42.4   | 17.9   | 4.8    |

### 2 泥沙级配特征分析

#### 2.1 级配曲线特征比较

根据实测级配资料分析得出(表 1),东一支沟上游的表层泥沙较粗,粒径小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙只占 23.5%和 1.2%;中游的粒径较上游细,小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙占 56.8%和 4.8%;下游的泥沙又较中游细,小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙占 70.4%和 13.4%。由此可见,东一支沟沟床表层泥沙颗粒级配粒径结构空间变化具有从上游较粗到下游渐细的分布规律。

对比沟上游表层的粒径小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙占 49.4%和 4.5%;中游小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙占 64.7%和 7%;下游小于 0.25 和 0.05 mm 的泥沙占 42.4%和 4.8%。可见,对比沟的颗粒级配上下游间空间变化复杂,上游和下游泥沙颗粒较粗,而中游较细(表 1)。

综合分析得出,种植沙棘的东一支沟的沟床泥沙颗粒级配累积曲线及整体粒径具有从上游往下游由粗变细的空间变化特征,而没有种植水保植物的对比沟则变化较为复杂(图 1—2)。

#### 2.2 泥沙粒径比较

由图 3—5 可见,对比沟上游和下游的泥沙级配中粗沙含量、比例明显较东一支沟大,而中游对比沟与东一支沟的泥沙级配曲线相近;东一支沟泥沙级配

中粒径大于 1 mm 的粗沙含量比例最高值为 3.1%,平均值为 2.0%,而对比沟泥沙级配中粒径大于 1 mm 的粗沙含量比例最高值为 26.4%,平均值为 9.9%,显示对比沟颗粒级配总体上较东一支沟明显偏粗。

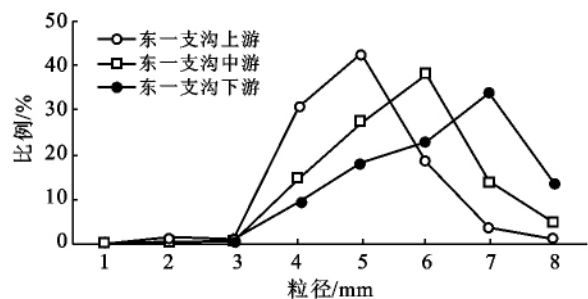


图 1 东一支沟泥沙粒径分布

注:1—8 分别代表的粒径(D)范围为: D>5 mm, 2<D<5 mm, 1<D<2 mm, 0.5<D<1 mm, 0.25<D<0.5 mm, 0.1<D<0.25 mm, D<0.05 mm。下同。

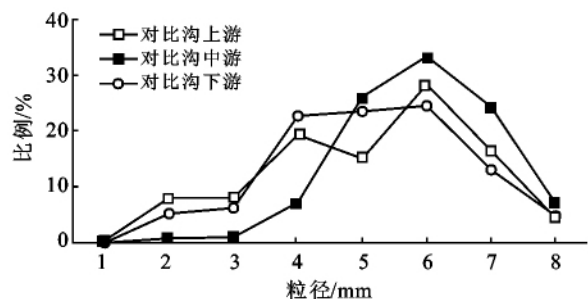


图 2 对比沟泥沙粒径分布

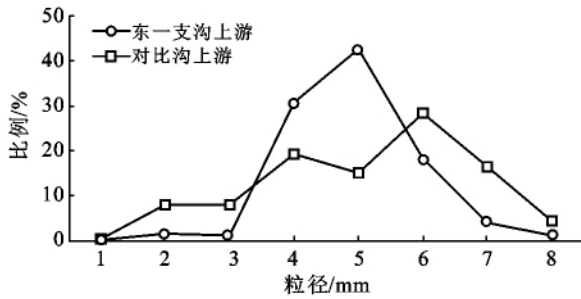


图3 东一支沟与对比沟上游泥沙粒径分布对比

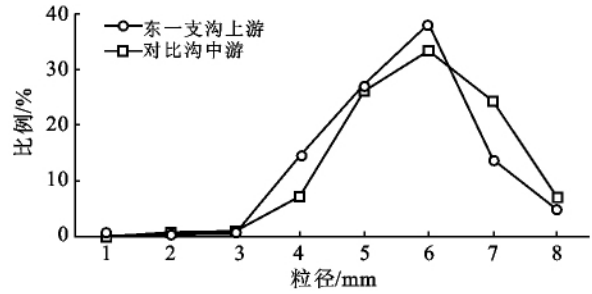


图4 东一支沟与对比沟中游泥沙粒径分布对比

### 3 筛分效应成因分析

#### 3.1 级配曲线分析

3.1.1 东一支沟级配曲线分析 通过在东一支沟进行全流域的详细地形测量和 1995—2005 年长期侵蚀监测得出侵蚀产沙及地形数据(表 2)。由表 2 可知,东一支沟 0.234 9 km<sup>2</sup> 的流域面积上蚀沟总长度为 3 706.88 m,多年平均产沙量为 1 401.68 m<sup>3</sup>,沟道侵蚀模数为 9 249 t/km<sup>2</sup>。其中上游沟蚀产沙量占总产沙量的 60.2%,中游和下游只占 20.3%和 19.5%。沟蚀产沙量分布与蚀沟切割密度从下游往上游递增的分布规律相一致。

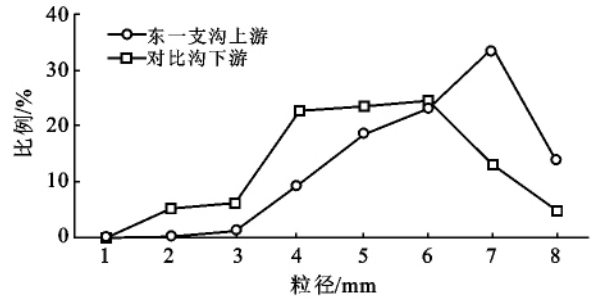


图5 东一支沟与对比沟下游泥沙粒径分布对比

根据长期沟床高程监测数据显示,东一支沟上游沟段 1996—2005 年间的泥沙淤积厚度为 418 mm,中游为 328 mm,下游为 557 mm,表明在沟床种植沙棘具有明显的拦沙固沙作用。

表 2 东一支沟侵蚀产沙及地形测量结果

| 项目                            | 上游        | 中游        | 下游       |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------|
| 流域控制面积/km <sup>2</sup>        | 0.114 1   | 0.050 2   | 0.070 6  |
| 侵蚀沟总长/m                       | 2 426.18  | 675.04    | 605.66   |
| 侵蚀沟切割密度/(m·km <sup>-2</sup> ) | 21 152.40 | 13 447.01 | 8 578.75 |
| 沟蚀产沙量/(t·km <sup>-2</sup> )   | 844.48    | 284.46    | 272.75   |
| 占总产沙量百分比/%                    | 60.2      | 20.3      | 19.5     |
| 沟道侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> )  | 11 472    | 8 783     | 5 988    |
| 平均沟床宽/m                       | 2.52      | 3.50      | 11.19    |
| 平均沟床比降                        | 0.055 8   | 0.037 8   | 0.021 7  |
| 平均淤积厚度/mm                     | 418       | 328       | 557      |

综合分析可以得出:(1)东一支沟上游由于沟床种植沙棘导致沟床糙率增大,径流流速下降,径流携带的较粗部分泥沙被沉积固定,相对于上游而言,剩较细部分泥沙随水流进入下游沟道。(2)由于上游产沙量占总产沙量大部分(东一支沟为 60.2%),所以流域大部分粗沙将在上游被淤积固定。(3)同时由于流域各处基岩性质一致,可以假设中游产生的含沙水流中泥沙的颗粒级配结构与上游一致,当上游含沙水流进入下游时与下游产生的含沙水流混合,使下游含沙水流中泥沙的平均粒径大幅降低;由于下游沟床宽度大于上游及沟床比降小于上游(表 2),加上沟床沙棘的种植,下游径流流速比上游进一步下降,使

下游含沙水流中较细部分泥沙发生沉积固定。由于东一支沟主沟有较详细的测量数据(表 2),此处分析以东一支沟主沟的上、中、下游较大的尺度进行阐述,其实所有种植水保植物的沟道包括支沟和毛沟的上下游都是具有相同的泥沙淤积和输移作用机制,整个流域沟道系统(毛沟—支沟—干沟)的泥沙淤积和输移变化过程是一致的。

分析可知,由于沟床沙棘植物的种植导致沟床糙率大幅增大,致使携沙水流的流速下降,粗沙沉积;对于任一沟段其大部分泥沙来源于上游区域,经过层层沙棘植被的拦截,泥沙粒径越大越早在上游淤积,粒径越小越能够冲过重重拦截到达下游;正是由于沙棘

植物的种植引起以上一系列的连锁反应,导致侵蚀沟在植物拦沙作用下发生泥沙筛分效应,表现为沟床表层泥沙的颗粒级配累积曲线及整体粒径从上游往下游有序递减的空间变化特征。

3.1.2 对比沟级配曲线分析 根据现场调查发现,对比沟沟床表层主要是基岩风化物(依据其外观和性质与下方基岩是否一致来判断)及含少量沉积泥沙和风沙沉积物,表层以下直接就是基岩。所以,对比沟的级配分析实验的泥沙样本主要来源于沟床基岩,基岩质地的空间不均匀性导致对比沟上下游间级配曲线变化较为复杂(图2)。

### 3.2 泥沙粒径分析

由于沙棘植物具有保护东一支沟沟床基岩和拦截、固定粗沙的有效作用,使东一支沟的沟床基岩很大程度上免受水力侵蚀,最粗部分泥沙没有脱离表层基岩,即使脱离基岩也很快被有效拦截固定,所以东一支沟泥沙级配中粗沙含量比例很小(粒径大于1 mm的粗沙含量比例平均为2.0%,图1)。而对比沟由于没有沙棘植物的保护、拦沙固沙作用,沟床本身还发生水力侵蚀,其表层土的泥沙级配主要反映其基岩质地的级配属性,所以对比沟的泥沙级配中粗沙含量占相对比较大的比例(粒径大于1 mm的粗沙含量比例平均为9.9%,图2)。

## 4 结论

(1) 由于沙棘植被的种植引起沟床糙率增大、流速下降、粗沙易于在上游沉积、细沙易于通过植物拦截往下游输移等连锁反应,导致蚀沟在植物拦沙固沙作用下产生泥沙筛分效应,即沟床表层泥沙的颗粒级配曲线整体粒径结构从上游往下游有序递减的分布特征。

(2) 对比沟由于没有植被保护,且沟床本身已被侵蚀,导致沟床基岩裸露而泥沙淤积较少,故其沟床表层主要是基岩风化物,对比沟的泥沙级配曲线主要反映沟床基岩质地属性,基岩质地的空间不均匀性导致对比沟上下游间沟床表层泥沙级配曲线不规则变化。

(3) 沙棘植被保护东一支沟沟床基岩及拦沙固沙作用,使最粗部分泥沙没有脱离表层基岩或很快在上游被有效拦截固定,沟床表层土中粗沙含量小,粒径大于1 mm的粗沙含量比例平均仅为2.0%。而对比沟由于没有植被保护,沟床基岩被水流所侵蚀,其表层土的泥沙级配主要反映其基岩质地属性,粒径大

于1 mm的粗沙含量比例平均达9.93%,是东一支沟的5倍。

(4) 侵蚀沟中沙棘植被的拦沙固沙作用导致沟床泥沙筛分效应现象的发现及其成因分析,结合泥沙淤积厚度的长期监测结果,进一步验证种植沙棘等水土保持植物以拦沙固沙及防治侵蚀的有效性;另一方面也呈现出由于水土保持植物的种植和作用会引起侵蚀过程中的一系列连锁反应,沟床泥沙筛分效应只是其中一个方面,还有其他很多由其引起侵蚀特征效应还有待进一步研究。

### [参考文献]

- [1] 杨具瑞,方铎,毕慈芬,等. 沙棘在砒砂岩区小流域冻融风化侵蚀中的作用[J]. 水土保持学报,2002,16(4):41-44.
- [2] 石迎春,叶浩. 内蒙古南部砒砂岩侵蚀内因分析[J]. 地球学报,2004,25(6):659-664.
- [3] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区的风水两相侵蚀产沙过程[J]. 中国科学,2000,30(5):540-548.
- [4] 毕慈芬,王富贵. 砒砂岩地区沟道植物“柔性坝”拦沙试验[M]//面向二十一世纪的泥沙研究. 四川 成都:四川大学出版社,2000.
- [5] 毕慈芬,李贵芬. 砒砂岩地区沟道沙棘植物“柔性坝”原型拦沙研究[J]. 国际沙棘研究与开发,2003,1(1):6-12.
- [6] 程艳,李森. 河渠种树水流特性试验研究[J]. 新疆农业大学学报,2003,26(2):59-64.
- [7] 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.
- [8] 谢毅文. 黄河粗沙区沟道侵蚀与沙棘坝拦沙效应研究[M]. 陕西 西安:西安理工大学,2006.
- [9] 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.
- [10] 李怀恩,庞敏,谢毅文,等. 砒砂岩地区典型小流域支干沟道特征要素关系初步分析[J]. 西安理工大学学报,2010,26(1):77-80.
- [11] 李怀恩,同新奇. 沙棘“柔性坝”对土壤水分调控作用的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(11):69-73.
- [12] 杨方社,李怀恩. 小流域沙棘植物柔性坝系累积水保效应原型试验[J]. 泥沙研究,2006(4):1-6.
- [13] 杨方社,李怀恩. 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):1-6.
- [14] 王愿昌,吴永红. 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.
- [15] 谢毅文,陈晓宏,王兆礼,等. 土壤质地转换中优选插值方法研究[J]. 灌溉排水学报,2009,28(3):50-52.