

黄土区小流域植被/工程复合作用下的泥沙效应

刘卉芳,朱毕生,解 刚,王昭艳

(中国水利水电科学研究院,北京 100038)

摘要:研究植被/工程复合作用下的泥沙效应,为科学阐述黄土区不同水土保持措施耦合作用下的调水调沙效益提供参考依据。马家沟流域土地利用主要分为草地、林地、梯田、坡耕地、灌木林地、裸地、居民地和水域8类,流域布设各类淤地坝64座。基于SWAT模型,对比分析了多林流域和少林流域对流域泥沙的调节作用,分析了淤地坝淤积库容、单坝拦沙效益,研究了流域各项水土保持措施减沙效益。研究结果表明,森林植被除了缓洪增枯,同时可以减少流域侵蚀产沙,农果地与全林流域相比,输沙模数为后者的1.5倍;淤地坝坝控面积与坝高、库容与坝高均正相关,相关系数分别为 $R^2=0.8121, 0.8603$ 。黄土区流域植被/工程复合作用下水土保持效果显著,而在各项水土保持措施中,淤地坝减沙贡献率最大,达40%以上。

关键词:黄土区;植被/工程;泥沙效应

中图分类号:S157 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)05-0007-07

在黄土区开展植被/工程对泥沙过程的影响研究,既能丰富生态水文学的理论,还能为政府制定区域发展政策或区域水土保持规划提供科学依据。有学者认为,影响水沙的主要因素是造林和毁林、农业开发的增强、湿地的排水、道路建设以及城镇化等。国内诸多学者认同土壤侵蚀是降雨、下垫面(土地利用、地形、土壤)和人类活动相互作用的结果(余新晓等,2006;于国强等,2012;郑明国等,2007;张建军等,2005)。关于流域植被作用下的水沙效应研究较多(刘卉芳等,2016;张晓明,2007;尹婧,2008)。淤地坝作为水土保持中的一项重要工程,在黄土区被广泛应用。淤地坝通过对径流泥沙的拦截减缓了上游沟道的比降和径流的流速,减小了水流挟沙能力,同时通过拦截大量的径流削减洪峰,减弱对下游沟道的冲刷。国内一些学者对淤地坝的水文效应开展了研究。王国庆等(2002)认为蓄滞型水土保持沟道工程作用强的地区,水向土壤中的下渗能力要比非作用区高得多,更易于使地表径流向壤中流和地下径流转化;也有学者认为淤地坝坝系建设在某种程度上可以大大调节径流的时空分布,在提高降水利用率、改善流域生态环境方面发挥着

重要作用(张金慧等,2003)。

国内外针对植被、工程作用下的水沙效应已经开展了大量研究,但对于植被/工程复合作用下的泥沙效应还研究较少。本研究以黄土区典型小尺度马家沟流域为研究对象,基于SWAT模型等多种方法,研究植被/工程复合作用下的泥沙效应,定量评价林草植被、梯田和淤地坝工程对流域水沙减少的贡献率,为科学阐述黄土区不同水土保持措施耦合作用下的调水调沙效益提供参考依据。

1 研究区概况

马家沟流域位于延安市安塞县内,距安塞县城约1 km,是延河的一级支流,位于延河中下游,流域面积77.5 km²,属黄土丘陵沟壑区第二副区,水土流失十分严重。多年平均气温8.8℃,多年平均降水量为503.6 mm。该区土质疏松,地表植被和生态系统遭到严重破坏,加之黄土高原地区雨季集中于7、8、9月份、降水强度较大,属于典型的黄土丘陵沟壑区。土地利用结构相对比较简单,主要分为草地、林地、梯田、坡耕地、灌木林地、裸地、居民地和水域8类(表1)。

2 研究方法 with 数据处理

2.1 淤地坝调查和泥沙量计算

利用GPS对马家沟流域分水岭线和坝控坝地与周围坡脚交汇线进行定位绘制,同时根据收集到的典型淤地坝的资料,在1:10 000地形图上,沿着

收稿日期:2016-11-24

基金项目:水利部公益性行业科研专项“水土保持生态效应监测与评价技术研究”(201501045);国家重点研发计划“沟道工程对流域水沙变化影响及其贡献率”(2016YFC0402404)。

作者简介:刘卉芳,1977年生,博士,主要从事水土保持与生态修复工程研究。E-mail:lh623@sohu.com

分水岭汇出每座坝的控制范围,根据绘制的土地利用状况面积图,量出每座坝控制面积内各种土地利用类型的面积。据调查,马家沟流域布设各类淤地

坝 64 座,其中 11 座骨干坝、33 座中型坝和 20 座小型坝。

表 1 2017 年马家沟流域土地利用类型及比例

Tab.1 Land use in Majiagou watershed (2017)

类型	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田	水域
面积/hm ²	63.24	1702.83	4346.66	60.22	20.88	256.75	897.93	25.93
比例/%	0.86	23.09	58.94	0.82	0.28	3.48	12.18	0.35

许多学者研究探讨了水土保持各项措施减水减沙效益计算方法,对淤地坝的拦沙量与减蚀量计算方法也进行了深入全面的研究。本文淤地坝拦泥量计算采用冉大川(2006)提出的淤地坝拦泥量计算公式:

$$W_{sg}=fM_s(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)$$
 (1)

式中: W_{sg} 表示已淤成坝地的拦泥量(万 t); f 表示坝地的累积面积(hm²); M_s 表示拦泥定额,即单位面积坝地的拦泥量(万 t/hm²); α_1 表示人工填筑及坝地两岸坍塌所形成的坝地面积占坝地总面积的比例系数,马家沟流域取 0.2; α_2 表示推移质在坝地拦泥量中所占的比例系数,马家沟流域取 0.15。

2.2 子流域与河网划分

以 1:10 000 比例尺的地形图为数据源,对研究流域进行数字化制图,建立等高线的矢量图。通过空间分析模块(Spatial Analyst)建立了马家沟流域数字高程模型。DEM 是零阶单纯的单项数字地貌模型,在 DEM 的基础上可派生其他地貌特性,如对马家沟流域的河网和子流域进行了提取和划分等。马家沟流域 39 个子流域与河网划分见图 1。

2.3 SWAT 模型参数的率定、校准

对马家沟流域各类坝系实际拦沙量进行调查计算,计算结果与初期拦沙量的差值得到相应子流域的年实际产沙量,通过模型模拟得到子流域的泥沙模拟值,并对模拟值进行验证,从而校准模型参数。实际产沙量采用的是 2005-2006 年各类型淤地坝的实际拦泥库容量(采用实测数据),各淤地坝产沙量模拟值采用的是 SWAT 模型中 watershed 界面下所划分的 39 个子流域的模拟年产沙量。选用 2005 年各类型淤地坝的实际拦沙库容资料对模型进行校准,并采用模型校准过程中所得到的参数应用 2006 年的淤地坝的实际拦沙库容量资料进行验证。模型校准参数值见表 2。

表 2 模型校准参数值

Tab.2 Model calibration parameters

参 数	变化范围	泥沙模拟 最终值
土壤蒸发补偿系数 ESCO	0~1	0.4
河道有效传导率 CH_K ₂	0~150	0.67
植被最大储水量 CANMX/Mm	0~100	10
植物覆盖度因子 USLE_C	0.001~0.5	0.02
泥沙输移线形系数 SPCON	0~1	0.52
泥沙输移指数系数 SPEXP	1~1.5	1.15

2.4 减沙量及减沙贡献率

为了进一步分析淤地坝的作用,以马家沟流域为例来分析各项水土保持措施的拦沙贡献率。采用 2 种方法来计算各大措施的拦沙量。方法一:采用 SWAT 模拟,假定了 5 种情景来分析各项水土保持措施在水土保持拦沙中的贡献率;5 种措施分别为土地利用全部为荒地(无措施),土地利用全部为林地,土地利用全部为草地,土地利用全部为梯田,坡面为荒草地、沟道修建淤地坝;土地利用全部为荒地(无措施)的产沙量与其他各措施的产沙量差作为减沙量,各措施减沙量与总减沙量的比值为减沙贡献率。方法二:采吴发启等(2004)、冉大川等(2006)、刘成等(2008)等在延安、安塞实验资料得出的经验回归方程,各措施减沙量与总减沙量的比值为减沙贡献率。本文的减沙量为 2 种方法计算结

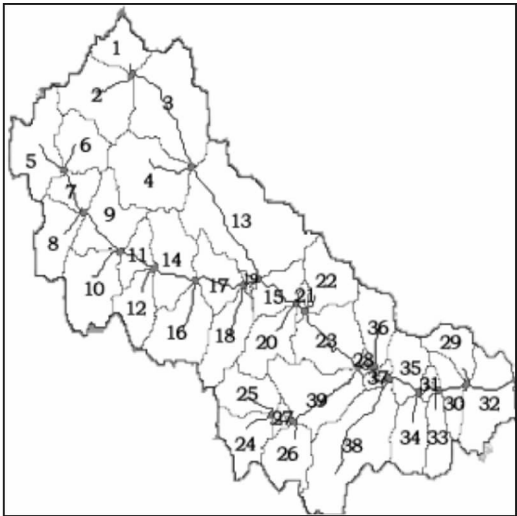


图 1 39 个子流域与河网划分

Fig.1 The river network and 39 subsheds of Majiagou watershed

果的平均值。

2.5 对比流域划分及土地利用情况

2.5.1 对比流域划分 为了分析植被变化对流域减沙效应,利用地形地貌特征条件相似的流域进行

泥沙对比分析,可基本剔除地形地貌对流域泥沙的影响,从而可以讨论分析不同土地利用及森林分布特征和林分类型对流域泥沙的影响。马家沟流域中相似流域地形地貌因子见表 3。

表 3 马家沟流域相似子流域地形地貌因子

Tab.3 Subsheds with similar terrain and landform factors in the Majiagou watershed

子流域 编号	子流域面积/ km ²	子流域面积 比例/%	主河道坡降/ ‰	子流域平均 高程/m	子流域平均 宽度/m	主河道长度/ km	形状 系数	子流域 相似性
12	1.37	1.77	0.147	1252.18	761	1.80	0.31	相似
18	1.92	2.48	0.169	1256.85	920	2.10	0.30	
27	0.33	0.43	0.084	1117.24	971	0.34	0.28	相似
31	0.31	0.40	0.082	1141.12	1033	0.30	0.26	

12 号、18 号子流域从流域面积、主河道坡降、流域平均宽度、主河道长度、形状系数几个指标上来看两个流域形状相近,因此,在研究中把这 2 个子流域作为对比流域进行分析。同理,把 27 号子流域和 31 号子流域作为对比流域。

2.5.2 马家沟对比子流域土地利用情况 对比子流域土地利用情况见表 4。12 号子流域的土地利用格局基本以林地和坡耕地为主,各类森林植被覆被率达 80.1%。18 号子流域的土地利用格局基本为荒草地和坡耕地,各类森林植被覆被率达 12.4%。27 号子流域是以农果地和草地为主的复合配置流域,各类森林植被覆被率仅为 8.1%。31 号子流域为封山育林形成的全林流域,已封育成林的天然次生林占 94.4%,人工林为 5.6%。

表 4 对比子流域土地利用情况

Tab.4 Land use in the paired subsheds
(12 and 18; 27 and 31)

子流域编号	土地利用	森林覆被率/%
12	林地和坡耕地	80.1
18	荒草地和坡耕地	12.4
27	农果地和草地	8.1
31	全林流域	100.0

3 结果与分析

3.1 流域泥沙对植被响应

选择 4 个对比子流域(12 号、18 号、27 号、31 号)为研究对象,分析森林的拦沙效应。子流域输沙模数见表 5。子流域的输沙模数,降雨总量 330.9 mm 时 18 号是 12 号的 1.57 倍、27 号是 31 号的 1.55 倍,降雨总量 515.2 mm 时 18 号是 12 号的 1.52 倍、27 号是 31 号的 1.45 倍。18 号子流域产沙模数最大,这主要是由于 18 号子流域内森林覆被率仅为 12.4%,遇雨后极易形成洪水,从而导致严重的水土流失;而 31 号子流域由于森林植被茂密为

全林流域,人为破坏少,故森林减沙作用显著,流域侵蚀模数也较小。

表 5 对比子流域输沙模数

Tab.5 Sediment transport modulus in each
of the paired subsheds

子流域	土地 利用	流域森林 覆被率/%	降雨总量/ mm	输沙模数/ 万 t·km ⁻²
12	林地和坡耕地	80.1	330.9	0.87
18	荒草地和坡耕地	12.4		1.37
27	农果地和草地	8.2		1.41
31	全林流域	100.0		0.91
12	林地和坡耕地	80.1	515.2	0.92
18	荒草地和坡耕地	12.4		1.40
27	农果地和草地	8.2		1.38
31	全林流域	100.0		0.95

3.2 淤地坝减沙效应

3.2.1 淤地坝淤积库容分析 对马家沟流域 64 座淤地坝进行现场调查,测量计算了 64 座淤地坝的坝控面积和平均库容(表 6)。马家沟流域已建的 64 座淤地坝坝高主要集中在 10~20 m,占总淤地坝的 58%,单坝的平均坝控面积 0.5~0.9 km²,平均库容 4.7 万~14.6 万 m³。

表 6 马家沟流域淤地坝坝控面积与库容

Tab.6 Land area served and capacity of silt dams
in the Majiagou watershed

坝高/ m	数量/ 座	平均坝控 面积/km ²	平均库容/ 万 m ³
≤5	4	0.2	0.7
5~10	14	0.4	1.9
10~15	17	0.5	4.7
15~20	20	0.9	14.6
20~25	2	3.2	28.65
25~30	4	4.6	82.8
≥30	3	5.5	159.57

马家沟流域坝控面积、库容与坝高关系见图 2、图 3。通常,库容与坝高的关系为单调递增的关系,本研究拟合得到了二次函数的关系。当坝高较低时,由于沟道纵坡大,沟道侵蚀严重,因此坝地淤积

快,库容随坝高呈减小趋势;而当坝高增加到一定高度,沟道纵坡减小,沟道侵蚀逐渐减轻或趋于稳定,此时库容随坝高逐渐增加。

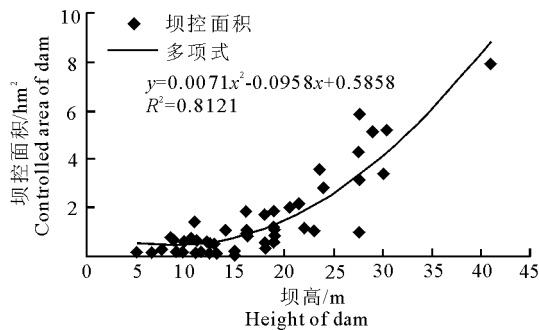


图2 坝控面积与坝高关系曲线

Fig.2 Relationship between land area served and height of silt dam

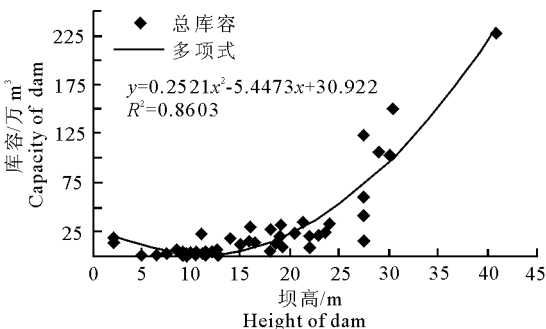


图3 总库容与坝高关系曲线

Fig.3 Relationship between sediment capacity and height of silt dam

3.2.2 单坝拦沙效益比较 淤地坝建成后,由于泥沙的淤积,原来侵蚀剧烈的沟道变成平整的坝地,减少了沟道侵蚀,但由于小流域不同部位的侵蚀程度不同,安排建坝顺序时及早控制土壤侵蚀剧烈的区域,有助于减少整个小流域的水土流失。选择马家沟流域18号、27号子流域对比研究,淤地坝均设计为淤积年限10年、坝高15 m的坝,模拟计算2个流域在布设淤地坝后淤积量与坝地面积随着时间的变化情况。模拟计算结果见图4、图5。

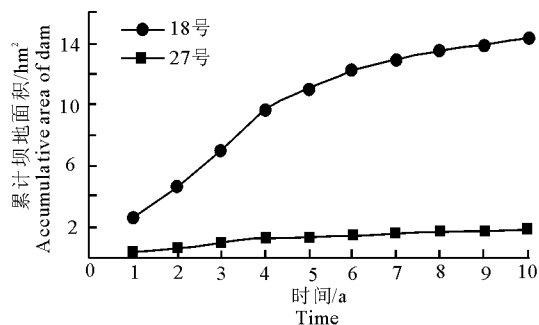


图4 坝地面积比较

Fig.4 Land area comparison of silt dams

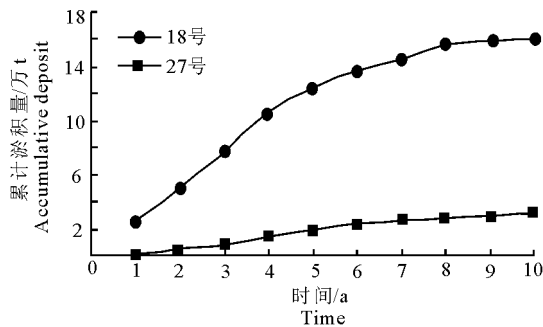


图5 淤积量比较

Fig. 5 Siltation volume comparison of silt dams

淤地坝的主要作用就是降低侵蚀基准面,淤地造田提高农业效益。经过一定淤积年限,淤地坝形成的坝地面积越大,则沟道的侵蚀就越小,农业效益就可能越高。在10年的淤积过程中,18号子流域的淤地面积均大于27号。淤积年限达到10年时,18号子流域淤地坝坝地面积达到了14.3 hm²,而27号子流域坝地面积仅为1.78 hm²,前者约为后者的8倍。因此,从淤地坝淤地造田的角度考虑,18号子流域较27号子流域更有建坝的必要。

在10年的淤积过程中,18号子流域的淤积量均大于27号子流域。淤积年限达到10年时,18号子流域坝地淤积量达到了16万t,而27号子流域为3.25万t,前者约为后者的5倍。因此,从淤地坝拦沙角度考虑,18号子流域较27号子流域更有建坝的必要。不论淤地面积还是淤积量,18号淤地坝都比27号大。18号坝可以更有效地拦截泥沙,较快形成坝地进行农业生产。

综上,18号子流域淤积量大于27号子流域,表明18号子流域较27号子流域侵蚀量大。因此,不论从农业生产角度还是水土保持角度,18号子流域较27号子流域更具有建坝的必要性。

3.2.3 淤地坝减沙贡献 马家沟流域淤地坝减沙贡献见表7、图6。

2001~2007年林地的减沙贡献率从1990~2000年的19.83%下降到18.27%,下降了7.9%;草地的减沙贡献率从1990~2000年的11.62%下降到2001~2007年的10.09%,下降了13.2%;梯田的减沙贡献率从1990~2000年的26.29%下降到2001~2007年的24.55%,下降了6.6%;淤地坝的减沙贡献率从1990~2000年的42.28%增加到2001~2007年的46.97%,增加了11.1%。林地、草地、梯田的减沙贡献率都在减少,而淤地坝的减沙贡献率却在增加,这与自2000年以来淤地坝的新建及改建有密切的关系。

表 7 各大措施减沙量及贡献率

Tab.7 Sediment reduction and contribution of conservation measures

年度	各项指标	无措施 (荒地)	坡面各大措施			沟道
			林地	草地	梯田	坝地
1990 – 2000 年	方法一: SWAT 模拟产沙量/万 t	193.75	110.50	147.56	82.74	–
	SWAT 模型模拟 减沙量/万 t	–	83.25	46.19	111.01	170.64
	减沙量贡献率/%	–	20.25	11.24	27.00	41.51
	方法二: 减沙量/万 t	–	81.24	50.24	107.10	180.24
	经验回归方程 减沙量贡献率/%	–	19.40	12.00	25.57	43.04
平均	平均减沙量贡献率/%		19.83	11.62	26.29	42.28
2001 – 2007 年	方法一: SWAT 模拟产沙量/万 t	154.75	97.23	120.89	75.65	–
	SWAT 模型模拟 减沙量/万 t	–	57.52	33.86	79.10	148.65
	减沙量贡献率/%	–	18.02	10.61	24.79	46.58
	方法二: 减沙量/万 t	–	58.78	30.40	77.98	150.42
	经验回归方程 减沙量贡献率/%	–	18.51	9.57	24.55	47.36
平均	平均减沙量贡献率/%		18.27	10.09	24.67	46.97

注:方法一的坡面减沙量为荒地产生沙量与各大措施的产沙量之差,减沙量的贡献率为各措施减沙量占 4 项水土保持减沙量之和的百分比。

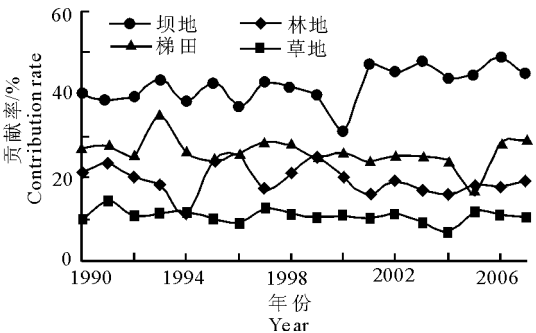


图 6 各年度四大措施减沙量贡献率

Fig.6 Annual contribution rate of the four major measures to reduce sediment

此外,从表 7 也可以看出,不论采用方法一还是方法二计算减沙量,1990 – 2007 年年均减沙量最大的是淤地坝,依次是梯田、林地和草地。造林种草等水保措施起到的减沙作用相对于淤地坝来说仍然较小。坝地的减沙量贡献率 1990 – 2000 年为 42.28%,2001 – 2007 年平均达到了 46.97%, 占有措施贡献率近一半。

从 1990 – 2007 年各项水土保持措施减沙量贡献率图看,马家沟流域坡面减沙量贡献率越大,淤地坝的减沙量贡献率就越小。即实施坡面措施后的减沙量越大,淤地坝减沙量就越小,显然,坡面治理程度越高,由坡面进入沟道的沙量也就越少,淤地坝的拦沙量也就相应减小,也越有利于延长淤地坝的使用寿命,淤地坝持续发挥减沙作用的时间也越长。

4 讨论

近年来,在“自然 – 人为”驱动因素耦合作用下,黄河流域水沙量发生剧烈变化,潼关站沙量由 1919 – 1959 年的年 16 亿 t 减少至 2010 年以来的年

1 亿 t 左右,减少约 94%。黄河水沙情势剧变,其主导因素、不同措施在流域水沙剧变中作用及贡献率等系列问题的科学阐述将直接影响黄河水沙调控体系布局等未来治黄方略的制定。

近 30 年,在国家退耕还林政策影响下,黄土区下垫面发生较大变化,森林覆盖率较 20 世纪 70 年代增加近 20%,水土保持林的大规模建设势必会对流域产沙造成重要影响,不容忽视。研究表明马家沟流域少林流域输沙模数是多林流域输沙模数的 1.5 倍,其原因主要为:随着林草覆盖率的增加,流域地表粗糙度增加,林地地表枯落物等在增加汇流时间、延长汇流路径,进而增加泥沙沉积时间、拦截地表泥沙等方面起到了积极作用,这与相关研究结果(刘成等,2008;高成德等,2000;廖建华等,2008;傅伯杰等,2002)一致。淤地坝作为黄土高原沟道侵蚀治理的有效措施,在黄土区流域沟道水土流失治理中发挥了巨大作用。研究表明,淤地坝的减沙量贡献率占比在十几年内年达到了近 50%,是各项水土保持措施中对减少泥沙贡献率最高的,这与相关学者研究结果(冉大川等,2004;王随继,2004)一致,魏霞等(2001)研究发现黄河中游河龙区间淤地坝的减沙贡献率 1990 年代达到了 47.6%,与本研究得出淤地坝减沙贡献率 46.97% 尤为接近。冉大川(2006))研究表明,淤地坝减沙贡献率 1990 年代有所下降,但还远远高于修梯田、造林、种草等其他水保措施的贡献率,与本研究结果一致。淤地坝减沙贡献率较其他几种水保措施高的原因:沟道是流域产沙的主要单元,沟道产沙量占流域产沙量的 70% 左右,布设在坡面的梯田和林草措施只能减少坡面的泥沙量,而无法对沟道减沙做出贡献。

本研究为深入探讨流域水沙变化驱动因素及其贡献率提供了先行试验,研究提出的沟坡兼治是黄土高原流域水土流失治理应继续坚持的基本原则,林草措施对流域减水减沙的影响是有限度的,淤地坝等沟壑工程在流域不同水土保持措施中减水减沙效益最大等结论与现行相关研究结果基本一致。但在研究沟道措施减沙效益过程中,由于表征淤地坝减蚀拦泥等动态过程的指标参数难于分离和数字表达,基于物理过程模型的多坝流域侵蚀产沙过程一直没有得到科学模拟和预测,因此,淤地坝的减蚀效应尤其多坝级联的减蚀效应一直难于量化论证。鉴于本研究没有探讨多坝级联下的水沙效应在模型中表达,流域淤地坝系拦沙建设的实际效应是未来需重点关注的问题,也是流域不同水土保持措施水沙影响效应贡献率定量确定的难点问题。

参考文献

- 傅伯杰,邱扬,王军,等,2002. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 57(6):717-722.
- 高成德,余新晓,2000. 水源涵养林研究综述[J]. 北京林业大学学报, 22(5):78-82.
- 廖建华,许炯心,杨永红,2008. 黄土高原区高含沙水流发生频率空间分异及其影响因素[J]. 水科学进展, 19(2):160-170.
- 刘卉芳,曹文洪,孙中峰,2016. 黄土区水土保持的水沙效应[M]. 北京:科学出版社:208-243.
- 刘成,王兆印,隋觉义,2008. 黄河干流沿程水沙变化及其影响因素分析[J]. 水利水电科技进展, 28(3):1-7.
- 冉大川,刘斌,王宏,2006. 黄河中游典型支流水土保持措施减洪减沙作用研究[M]. 郑州:黄河水利出版社:35-60.

- 冉大川,罗全华,刘斌,等,2004. 黄河中游地区淤地坝减洪减沙及减蚀作用研究[J]. 水利学报, 35(5):7-13.
- 王国庆,王云璋,2002. 黄河上中游径流对气候变化的敏感性分析[J]. 应用气象学, 13(1):117-121.
- 王随继,2004. 黄河中游多沙粗沙区侵蚀产沙与植被相互作用的临界现象[J]. 水土保持学报, 18(4):20-23, 28.
- 魏霞,李占斌,李勋贵,等,2007. 大理河流域水土保持减沙趋势分析及其成因[J]. 水土保持学报, 21(4):67-71.
- 吴发启,张玉斌,王健,2004. 黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J]. 中国水土保持科学, 2(1):34-37.
- 尹婧,2008. 气候变化和土地利用/覆被变化对泾河流域水文过程的影响研究[D]. 北京:北京师范大学:40-120.
- 余新晓,张学霞,李建牢,等,2006. 黄土地区小流域植被覆盖和降水对侵蚀产沙过程的影响[J]. 生态学报, 26(1):1-8.
- 于国强,李占斌,裴亮,等,2012. 不同植被类型下坡面径流侵蚀产沙差异性[J]. 水土保持学报, 26(1):1-5.
- 张建军,清水晃,壁谷直记,等,2005. 日本山地森林小流域悬移质泥沙研究[J]. 北京林业大学学报. 27(6):14-19.
- 张晓明,2007. 黄土高原典型流域土地利用/森林植被演变的水文生态响应与尺度转换研究[D]. 北京:北京林业大学:54-55.
- 张金慧,徐立青,2003. 从韭园沟看淤地坝工程的蓄洪拦泥作用[C]//全国水土流失与江河泥沙灾害及其防治对策学术研讨会会议文摘.
- 郑明国,蔡强国,陈浩,2007. 黄土丘陵沟壑区植被对不同空间尺度水沙关系的影响[J]. 生态学报, 27(9):3572-3581.

(责任编辑 张俊友)

Vegetation Combined with Engineering Controls for Sediment
Reduction on the Loess Plateau

LIU Hui-fang, ZHU Bi-sheng, JIE Gang, WANG Zhao-yan

(Department of Sedimentation, China Institute of Water Resource and
Hydropower Research, Beijing 100048, P. R. China)

Abstract: Adequate vegetation and engineering measures are important for soil and water conservation in loess areas. We investigated the sediment reduction achieved when various degrees of vegetative cover were combined with a silt dam in the Majiagou watershed, a typical watershed on the loess plateau. The effectiveness of various soil and water conservation measures were evaluated by comparing paired subsheds with different degrees of forest cover. Sediment yields, sediment reduction by a single dam, and storage capacity of silt dams were compared based on results from the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. The study provides a reference on the effectiveness of different soil and water conservation measures on the loess plateau. Eight landuse types were identified in Majiagou watershed: grassland, forest, terraced cropland, sloping cropland, shrub land, unvegetated, residential and water. A total of 64 silt dams are distributed in the watershed. To analyze the soil protection provided by different types of vegetation, two pairs of subsheds were selected with similar terrain and landform factors (No. 12 and No. 18, No. 27 and No. 31) and sediment transport from the paired subsheds was compared. Land use in subshed No. 12 is dominated by woodland and sloping cropland, with vegetation coverage of 80.1%, while land use in subshed No. 18 is dominated by degraded grassland and sloping cropland, with vegetation coverage of 12.4%. Land use in subshed No. 27 is dominated by farmland, fruit orchards and grassland, with vegetation coverage of 8.1%, while subshed No. 31 is a forested watershed, with natural secondary forest cover of 94.4% and artificial forest cover of 5.6%. The sediment transport modulus of subshed No. 18 was 1.57 times higher than that of No. 12, with rainfall of 330.9 mm, and 1.52 times higher with rainfall of 515.2 mm. The sediment transport modulus of subshed No. 27 was 1.55 times higher than that of No. 3, with rainfall of 330.9 mm, and 1.45 times higher with rainfall of 515.2 mm. Results indicate that forest vegetation significantly reduces flooding, soil erosion and sediment yield in the watershed. Both the land area served and the storage capacity of silt dams increased exponentially with dam height ($R^2=0.8121$ and 0.8603 , respectively). Effective soil and water conservation is achieved on the loess plateau when adequate vegetation is combined with engineering controls. Among the various conservation measures employed in the Majiagou watershed, silt dams most effectively reduce sedimentation, contributing >40%.

Key words: loess area; vegetation/engineering measures; sedimentation