

流域尺度不同水土保持措施减水效益分割

黄明斌, 郑世清, 李玉山

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在实测资料的基础, 借助流域网格划分的模型计算方法, 首次在流域尺度内将水土保持工程措施和生物农业措施在减少地表径流中的作用分割开来, 从而为定量评价黄土高原以林草植被建设为主的生态环境治理对黄河流域水资源的影响提供数据基础。计算结果显示, 在“六五”基础上王东沟小流域以梯田建设、土地平整、沟坡道路防蚀技术为主的水土保持工程措施平均减少地表径流 18.1%, 而在“七五”基础上以人工林草植被建设为主的生物措施和调整土地利用结构、扩大经济林果种植面积的农业措施共减少地表径流 10.9%。这一结论说明为最大限度地减少黄土高原生态环境建设对黄河水资源的影响, 其治理应以生态、农业措施为主。

关键词: 流域尺度; 水土保持措施; 减水效益; 分割

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)02-0004-04

中图分类号: S157.2

Separation of Water Reduction Benefits by Different Soil and Water Conservation Measures in Watershed Scale

HUANG Ming-bin, ZHENG Shi-qing, LI Yu-shan

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources
Yangling 712100, Shaanxi Province, PRC)

Abstract: Based on the measured data and the model of plotted watershed hydrology, the benefits of water reduction by different harnesses of soil and water conservation are firstly separated in watershed scale, which are the basis of evaluating the effect of rebuilding ecological environment of the loess plateau on the water resources of the Yellow river. The results indicate that the benefit of watershed water reduction by engineering harness of soil and water conservation was 18.1% on what had been achieved in the period of the sixth five-year plan, and that the benefit by ecological and agricultural harness of soil and water conservation was 10.9% on what had been achieved in the period of the seventh five-year plan. For reducing the effect of ecological and environmental construction in the loess plateau on water resources of the Yellow river, the ecological and agricultural harnesses should be main measurements.

Keywords: watershed scale; soil and water conservation; benefits of water reduction; separation

黄土高原位于黄河中游, 流经黄土高原的 9 大支流进入河口镇至花园口的中游河段, 积水面积 $3.62 \times 10^5 \text{ km}^2$, 总径流量 $1.87 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占黄河流域河川径流总量的 33%。建国以来, 以修建梯田坝地、造林种草、建谷坊等为主的水土保持工程、生物和农业治理长年不懈, 其目的均在于减流减沙, 改善区域生态环境。但是以流域为单元的水土保持综合治理, 改变了下垫面状况, 引起流域水循环的变化^[1-4]; 同时, 人工林草植被扩大和作物产量提高, 在减少地表径流的同时, 因蒸发蒸腾量的增加, 促进土层干燥, 从而阻断地下水补给, 减少总径流量^[1,4-7]。但是黄土高原综合治理的减流强度却是颇有争议的话题, 相关的研

究成果很多, 而结论差别较大^[1,3,8]。其主要原因有: (1) 计算方法不同。目前常用的方法主要有水文法、水保法、SCS 法和基于 GIS 的 Orlstom 模型法等。其中基于 GIS 的 Orlstom 模型法近几年发展较快, 已成为流域水文计算和评价水保、土地利用等人类活动对流域水循环影响的主要方法; (2) 考虑的影响因素不同, 部分研究者将水利工程(如水库等)对流域水循环, 特别是径流的影响, 也归于水保效益, 而另一部分研究者仅考虑了水土保持生态措施, 忽略了水土保持工程措施的作用; (3) 据水土保持措施的合格率、保存率、有效率、流域间分布的均匀性和选择流域的代表性等, 计算出不同尺度的流域减流程度不同。

收稿日期: 2000-08-22

资助项目: 国家“九五”科技攻关项目; 国家自然科学基金重大项目(49890330); 中国科学院“西部之光”项目

作者简介: 黄明斌(1968-), 男(汉族), 副研究员, 博士。研究方向为土壤水动力学流域水循环等。电话(029) 7019071, E-mail: hmbd@public.xa.sn.cn

另外, 迄今为此, 所有研究者仅分析了水土保持综合措施的减流作用, 未能区分水土保持工程措施和生态农业措施的水文效应, 这就给我们正确预测和评价大、中尺度、乃至整个黄土高原以人工林草植被建设为主的生态环境治理对黄河水资源的潜在影响带来了一定的困难。为此, 本文选择黄土高原沟壑区治理程度高、生态经济效益进入良性循环的王东沟小流域为典型, 以实测资料为基础, 结合模型的分析方法, 定量分割水土保持工程措施和生物农业措施在减少地表径流中的作用, 以期为指导黄土高原的生态环境建设和预测黄河流域水资源演变提供数据基础。

1 流域自然概况和水保措施实施情况

1.1 小流域自然概况

王东沟小流域位于陕西长武县西 12 km 的陕甘交界处, 是黑河的一条支流。流域面积 6.3 km², 沟道长 4.97 km, 沟壑密度为 2.78 条/km², 主沟道平均比降 5.47%, 其中上游 14.7%, 中游 2.8%, 下游 2%, 高程差 280 m。该区年平均气温 9.1℃, 平均日照时数 2226.5 h, 年平均降雨量 584.1 mm, 其中 5—10 月降雨量占全年的 78%, 是产流的主要时期。“七五”前, 流域土壤侵蚀模数 1860 t/(km²·a), 后经水土保持综合治理, “七五”, “八五”, “九五”侵蚀模数逐步降低, 分别为 1050, 467.5 和 516 t/(km²·a)。

1.2 小流域水土保持措施实施情况

王东沟小流域从 1972 年开始在长武县统一部署下开展水土保持综合治理, 主要措施是塬面填胡同、修道路、平整土地、缓坡修梯田、28°以下的梁坡或塬坡修窄塄、方田林网化、沟谷种树造林, 水土流失得到明显控制。“七五”期间, 中国科学院水利部水土保持研究所在此建立流域综合治理试验示范区, 在原有基础上完善水土保持规划, 并在流域出口建立把口测站, 监测泥沙径流量。后续水土保持工程措施主要是完善塬边、塬畔水平梯田和地边埂、建立村庄道路防护体系、沟坡道路防蚀工程, 水土保持生物、农业措施是完善塬边和坡地防护林网、造林种草、调整种植结构、营造经济林和提高作物产量等, 治理结果是农、林、牧用地比例由 1985 年的 55:42:3 调整为 1990 年的 45:49:6, 粮食总产量较“六五”增长 51.6%, 土壤侵蚀模数降到 1050 t/(km²·a)。“八五”和“九五”期间水土保持工程措施基本结束, 流域综合治理以生物和农业措施为主, 全流域植被覆盖度进一步扩大, 经济林果的种植得到空前发展。截止 1999 年底, 农、林、牧用地比例调整为 35:59:6, 其中塬坡、梁坡、沟坡乔灌、草地盖度都在 70% 以上。

2 研究方法

为了定量区分水土保持工程措施和生物、农业措施的减流效益, 本研究主要采用流域网格分割法, 利用土地信息系统资料, 根据土地类型、植被、坡度、种植方式、土壤类型等众多指标, 将 6.3 km² 的流域分割为 706 个面积不等小方格, 视每一方格为一子单元; 其次利用我们长期监测的径流小区降雨产流资料(表 1), 建立包括植被盖度、坡度、坡长、降雨量和土地利用方式在内的子单元降雨产流模型; 然后, 用上述模型和 706 个子单元的信息资料计算自然降雨条件下汛期 5—10 月逐次降雨产流量; 最后利用把口站实测流域总径流量, 考虑流域沟道汇流的影响, 建立沟道汇流修正系数, 从而可计算逐次降雨流域的总出境径流量。

表 1 径流场基本情况

类型	场号	坡度/(°)	坡长/m	观测年份
农田	N ₁	5.0	20.8	1988—1999
	N ₂	10.0	20.3	1988—1999
	N ₃	3.0	20.0	1995—1999
	N ₄	0.0	20.0	1995—1999
	N ₅	0.5	50.0	1995—1999
	N ₆	24.0	18.0	1988—1995
荒坡 草地	C ₁	30.0	23.0	1988—1999
	C ₂	31.0	23.3	1988—1999
	C ₃	24.9	12.9	1988—1995
	C ₄	28.1	17.6	1988—1995
	C ₅	54.4	8.6	1988—1995
林地	L ₁	47.9	21.3	1988—1999
	L ₂	31.0	23.3	1988—1999
	L ₃	34.2	11.0	1988—1995
	L ₄	33.0	24.3	1988—1999
	L ₅	27.8	58.0	1988—1995
人工 草地	M ₁	8.0	37.3	1988—1995
	M ₂	20.0	21.3	1988—1995
	M ₃	28.2	24.6	1988—1995
	M ₄	10.3	13.6	1988—1995
庭院	T ₁	1.2	453	1988—1995
	T ₂	0.4	312	1988—1995
	T ₃	0.1	804	1988—1995
庭院	D ₁	2.0	100	1988—1995
	D ₂	0.3	424	1988—1995
	D ₃	0.5	285	1988—1995
	D ₄	0.25	245	1988—1995
	D ₅	0.5	256	1988—1995

根据王东沟小流域水土保持实施的特点, 流域下垫面的处理分 3 种情况代入模型进行降雨—产流计

算。(1) 计算的是 14 a(1986—1999)流域下垫面保持“六五”末的特征;(2)“七五”期间流域下垫面以实际情况为准,“八五”、“九五”期间下垫面保持“七五”末的状态;(3)计算的 14 a 流域下垫面以实际情况来定。这样在自然的降雨条件下,由于下垫面的变化,可计算出 3 组降雨产流资料,分析这 3 组资料,我们就可区分出王东沟小流域水土保持工程措施和生物农业措施的减流效益。

3 结果与分析

3.1 子单元降雨产流关系及影响因素

王东沟小流域土地利用类型主要有农田、人工林地、人工草地、自然草地、经济林地、村庄和道路,土地利用形式不同降雨径流关系就不一样,在同一土地利

用条件下,降雨产流关系又受雨强、雨量、坡度、植被类型和盖度、坡长、土壤前期含水量等因素的影响,目前虽然用于定量模拟产流与诸要素关系的物理概念模型很多,但这些物理概念模型用于流域尺度长序列的降雨产流分析都有一定的难度。黄土区降雨产流以超渗产流为主,土壤前期含水量的影响有限,雨强的时间变化大,难于定量描述。因此,将过程简化,建立降雨产流的关系模型是很有必要。为此,我们在径流小区实测降雨产流资料的基础上,建立了考虑雨量、土地利用类型、植被盖度、坡度、坡长或面积诸要素在内的坡面降雨产流经验模型(表 2),水土保持措施对坡面径流的影响在于改变下垫面状况,如坡度、植被盖度等因素。由表 2 的降雨产流经验模型可知,坡长或面积、植被盖度对坡面径流的影响是负作用。

表 2 子单元降雨产流关系模型

土地利用类型	拟合方程	样本数	相关系数	置信水平
人工林	$R_s = 0.5376 I^{1.2465} L^{-1.9996} e^{0.04094a-1.0811\kappa}$	20	0.7812	1.57×10^{-5}
人工草地	$R_s = 5.074 I^{1.4904} L^{-2.1566} e^{0.0494a-1.0533\kappa}$	19	0.9058	2.34×10^{-4}
自然草地	$R_s = I^{0.8675} L^{-2.1566} e^{0.0792a-1.025\kappa}$	110	0.6070	1.69×10^{-20}
农田	$R_s = 0.4234 I^{0.2471} L^{-0.3177} e^{0.2751a-1.024\kappa}$	46	0.5067	1.37×10^{-6}
道路	$R_s = I^{1.2063} A^{-0.3843} e^{0.1189a}$	35	0.7114	1.68×10^{-8}
村庄庭院	$R_s = 0.405 I^{1.756} A^{-0.4857}$	58	0.7515	2.36×10^{-17}

注: I ——降雨量(mm); L ——坡长(m); α ——坡度($^\circ$); κ ——植被盖度。

3.2 沟道汇流削减系数及其在不同治理期间的表现

流域各网格内的降雨产流量并不能全部汇集成为出境径流量,一部分产流量在沟道汇流过程中入渗转化为土壤含水量,另一部分径流量用于填注或者汇集到滞池等低洼部分,也不能构成出境径流量。各网格单元的总产流量汇集到把口站构成出境径流量的比例不仅取决于流域地形条件,也受降雨量、水土保持治理程度和方式的影响。

为了定量确定不同治理期沟道汇流对总径流量的削减作用,计算削减系数,我们把各治理期有实测资料的多次降雨出境径流量与模型计算结果进行了比较,确定出沟道汇流削减系数,结果如图 1 和表 3 所示。

由图可见,单场降雨沟道汇流削减系数随流域治理程度的提高而增大。“六五”期间,沟道汇流削减系数为 0.8061,“七五”期间降到 0.7689,“八五”期间进一步降到 0.7081。“九五”期间由于缺少把口站实测径流资料,在模型计算中其沟道汇流削减系数只能用“八五”的削减系数。

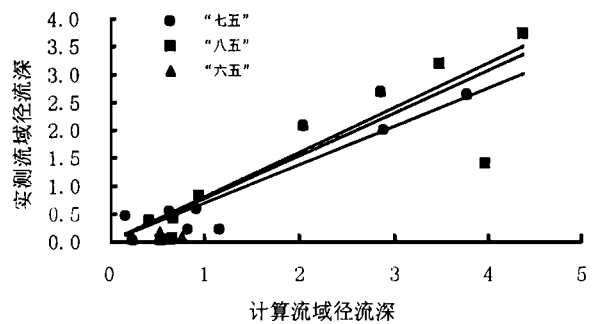


图 1 沟道汇流削减系数在不同治理期的表现

表 3 不同治理期沟道汇流削减系数

治理期	模型计算径流 与实测值比较	沟道汇流 削减系数	样本数	R^2
“六五”	$Y = 0.8061x$	0.8061	10	0.9004
“七五”	$Y = 0.7689x$	0.7689	15	0.8702
“八五”	$Y = 0.6912x$	0.6912	14	0.7928

3.3 不同水保措施的减流效益

水土保持治理措施一般分为以梯坝地建设为主

的工程措施、人工林草植被建设为主的生物措施和调整种植结构、改变土地利用方式、提高作物产量为主的农业措施。对流域尺度而言,工程措施的减流效果无疑是最明显、最直接的,但要改善区域生态环境、发展区域经济,生物和农业措施又是必不可少,因此一个流域的综合治理步骤往往是先期以工程措施为主,然后重点转向生物和农业措施,流域的减水减沙效益是这些措施共同作用的结果。但是要想定量评价黄土高原生态环境建设对黄河水资源可能产生的潜在影响,了解水土保持生物、农业措施的效益是必要的。我们根据王东沟小流域各历史时期水土保持实施的阶段性特点,分别以“七五”初和“七五”末的流域下垫

面条件为基础,分 3 种情况在自然降雨条件下计算了流域出境径流量的演变过程,比较水土保持工程和生物、林草措施的减流作用,结果如图 2 和表 4 所示。

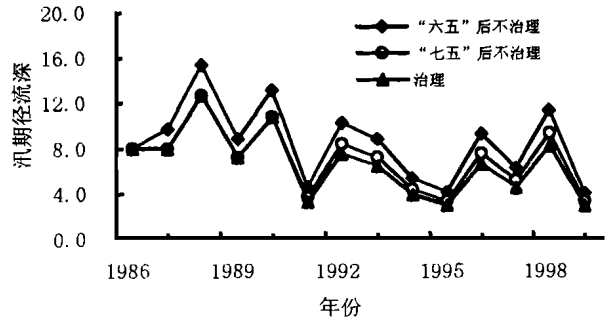


图 2 水土保持措施减流效益

表 4 王东沟流域出境径流深和水土保持工程和生物、农业措施的减流效益

年代	径流深/mm			工程措施 减流率/%	各阶段 工程措施 平均值/%	生物农业措 施减流率/%	各阶段生物 农业措施 平均值/%
	“六五”后 停止治理	“七五”后 停止治理	自然治 理过程				
1986	8.04	8.04	8.04				
1987	9.72	7.97	7.97	18.1			
1988	15.42	12.72	12.72	17.5	17.9		
1989	8.83	7.25	7.25	17.9			
1990	13.14	10.78	10.78	18.0			
1991	4.58	3.74	3.36	18.4		10.1	
1992	10.29	8.46	7.60	17.8		10.1	
1993	8.86	7.23	6.50	18.4	18.4	10.1	10.3
1994	5.42	4.42	3.97	18.5		10.1	
1995	4.19	3.40	3.02	18.9		11.1	
1996	9.28	7.57	6.69	18.5		11.6	
1997	6.34	5.22	4.60	17.7		11.8	
1998	11.38	9.25	8.25	17.9	17.9	11.8	11.6
1999	4.09	3.37	2.99	17.6		11.4	
平均					18.1		10.9

由表和图可见,在自然降雨条件下,考虑流域下垫面处于以下 3 种情况:

- (1) 假设“六五”后流域停止治理;
- (2) 假设“七五”后流域停止治理;

(3) 流域自然治理过程计算出来的流域地表径流量有明显差别,其中第 1 种情况流域年径流量最大,自然治理过程流域年出境径流量最小。

也就是说,3 个 5 a 计划内水土保持综合治理减少流域地表径流,并且水土保持工程措施的减流作用最大,在“六五”的基础上,“七五”、“八五”、“九五”减流效率分别达到 17.9%、18.4%和 17.9%,13 a 平均减流 18.1%;“八五”和“九五”以生物和农业措施为主水土保持综合治理在“七五”的基础上减流分别达 10.3%和 11.6%,9 a 平均为 10.9%。

4 讨论

王东沟小流域是黄土高原沟壑区治理程度高、生态经济进入良性循环的典型示范区。在实测资料的基础上,借助流域网格划分的模型计算方法,首次在流域尺度内将水土保持工程措施和生物农业措施在减少地表径流中的作用分割开来,从而为定量评价黄土高原以林草植被建设为主的生态环境治理对黄河流域水资源的影响提供数据基础。计算结果显示,在“六五”基础上王东沟小流域以梯田建设、土地平整、沟坡道路防蚀技术为主的水土保持工程措施平均减少地表径流 18.1%,而以人工林草植被建设为主的生物措施和调整土地利用结构、扩大经济林果种植面积的农业措施共减少地表径流 10.9%。

(下转第 27 页)

不易控制,桉树林被说成是“远看青山在,近看水土流”的一种群落。然而,在笔者的实验地,直干桉植物群落内,存在着较高的草本生物量和较多的植物品种,这和上述观点有一定的差异。云南松群落、桉—黑混交林群落土壤侵蚀量较小,其原因恰恰与上述因素相反。

4.2 人工林群落与土壤抗蚀性间的关系

人工林群落由于能增加有机质的积累,能提高土壤黏结性能;植物根系的物理作用能促进土壤微团粒的黏结,有利于形成良好的土壤结构,提高土壤孔隙率和持水量,增强土壤水力侵蚀条件下的抗分散能力和透水性能,提高土壤抗蚀性。在人工林群落中,以直干桉—黑荆混交林和云南松植物群落对土壤抗蚀性的改善作用最明显。从本研究看,通过土壤 Si/V、有机质含量、水稳性团粒百分比高低 3 个指标可以很好地反映不同土壤抗蚀性。由于土壤有机质含量和水稳性团粒与不同人工林群落有关, Si/V 主要与土壤母质有关,抗蚀性因子可以分解成母质因子、植被因子,通过植被生物量、枯落物量和分解速率等因素和土壤类型似应可以将不同时空的土壤可蚀性量化,建立可蚀性分区系统^[8]。

4.3 人工林群落对土壤的改良作用

由于人工林群落对土壤侵蚀的控制,减少了相应营养元素的损失率,有利于培肥地力。人工林地生物量的增加,有利于枯落物积累并归还土壤,有利于增加土壤有机质,改善土壤营养状况和土壤物理性质。但土壤中有些营养元素含量与无林地土壤相比,由于植物的吸收,含量可能会下降。

(上接第 7 页)

90 年代,黄河流域的断流现象引起了国人的高度重视,虽然断流的主要成因是由于降雨偏少和黄河水的高开发利用率,但黄河水资源总量的 33% 来源于黄土高原的总径流,黄土高原综合治理的减流作用必然减少对黄河水资源的供给,促进断流的形成^[1,2]。黄土高原的水土保持综合治理以工程措施和生物、农业措施为主,工程措施对流域下垫面的影响大,减流程度高,而生物、农业措施的生态、经济效益明显,且减流作用相对较弱,这一结论说明为减少黄土高原生态环境建设对黄河水资源的潜在影响,其治理应以生态、农业措施为主。

[参 考 文 献]

[1] 李玉山. 黄土高原治理开发与黄河断流的关系[J]. 水土保持通报, 1997, 17(6): 41—45.

[参 考 文 献]

- [1] Morgan R P C. Soil Erosion and Conservation[M]. Group. U. K, 1996. 25—98.
- [2] Hudson N W. Soil Conservation[M]. Second Edition, Cornell University Press, 1981.
- [3] Richard Lee. Forest Hydrology[M]. Columbia University Press. 1981. 58—60.
- [4] 张万儒. 森林土壤学实验[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981. 1—59.
- [5] 南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 95—156.
- [6] 余清珠. 半干旱黄土丘陵沟壑区人工混交林土壤抗蚀性研究初报[J]. 水土保持通报, 1990, 10(5): 5—10.
- [7] Saeed M. Asif, salir A W. Antimicrobial studies of the constituents of Pakistani Eucalyptus oils. Journal of Faculty of Pharmacy of GaZi[J], 1995, 12(2): 129—140.
- [8] Ewers Bren T, Dan Binkly. Influence of adjacent stand spatial pattern of carbon and nitrogen in Eucalyptus and Albizzia plantations. Canadian Journal of Forestry Research [J]. 1996, 26(8): 1501—1503.
- [9] 李昆, 等. 元谋干热河谷人工林地的水分输入与土壤水分研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(6): 651—657.
- [10] 杨曾奖, 等. 桉树与固氮树种混交对地力及生物量的影响[J]. 广东林业科技, 1985(2): 10—16.
- [11] 王震洪. 桉树作为云南省水土保持林主要树种的思考[J]. 中国水土保持, 1992(1): 31—34.
- [12] 黄卓烈. 桉树体内的生根抑制物质研究综述. 林业科学研究[J], 1994, 17(3): 319—324.
- [13] 王震洪, 等. 我国桉树发展中的生态问题探讨[J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 64—68.
- [14] 国家自然科学基金委员会. 林学[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 12—26.

- [2] 康绍忠, 宋孝玉, 李永杰. 关于黄土高原生态农业建设与黄河断流若干重大基础理论问题研究的建议[J], 人民黄河, 1999, 21(3): 17—19.
- [3] 陈齐巍, 穆新民. 黄河断流的根源与对策[J], 自然资源学报, 2000, 15(1): 31—35.
- [4] 思明. 黄河断流昭示我们更加重视流域生态平衡问题[M], 黄河断流与流域可持续发展, 北京: 中国科学出版社, 1997, 180—188.
- [5] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J], 自然资源学报, 1999, 14(3): 226—231.
- [6] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区小流域水分环境演变研究[J], 应用生态学报, 1999, 10(4): 411—414.
- [7] 黄明斌, 邵明安, 李玉山. 一个改进的随机动力学水平衡模型与应用研究 II: 应用分析[J], 水利学报, 2000, 5.
- [8] 汤立群, 陈国祥. 水土保持减水减沙效益计算方法研究[J], 河海大学学报, 1999, 1: 9—13.