

中国北方地区水土保持措施减沙水代价分析

莫莉¹, 王勇², 王飞^{1,3}, 穆兴民^{1,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 水利部 黄河水利委员会
中游水文水资源局, 山西 晋中 030600; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 水土保持措施是减少河流泥沙的主要措施。水土保持措施在减少土壤侵蚀的同时也会减少地表径流和地表水资源量。根据目前我国北方地区水土保持对径流量和泥沙量的研究结果, 比较分析了在坡面和沟道上梯田、造林、种草和坝地等水土保持措施减沙水代价, 并对不同流域尺度水土保持综合措施减沙水代价进行了综合分析。研究表明, 同一区域不同水土保持各单项措施减沙水代价不同; 同一措施和综合措施减沙水代价存在明显的区域分异, 通过选择减沙水代价较小的水土保持措施的类型和区域配置, 可以在减少相同泥沙量的同时, 相对增加河流水资源量。

关键词: 土壤侵蚀; 水土保持; 径流; 泥沙; 减水减沙效益; 减沙水代价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0090-05

中图分类号: P333.5

Analysis of the Runoff Cost for Sediment Control by Soil and Water Conservation Measures in North China

MO Li¹, WANG Yong², WANG Fei^{1,3}, MU Xing-min^{1,3}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Bureau of Hydrology and Water Resources of the Middle Yellow River, YRCC, Jinzhong, Shanxi 030600, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil conservation can greatly influence runoff by reducing sediment into river. Runoff cost for sediment control, shown as RRS (ratio of runoff retained to sediment retained) of different soil and water conservation measures is an important integrated indicator to evaluate the impact on runoff and sediment synchronously. Based on the reported research results on the effects of soil and water conservation on runoff and sediment in North China, runoff cost for sediment control with different measures and integrated measures at different basin scales is analyzed. The regional differences of runoff cost for sediment control by integrated and individual measures are distinct. If soil and water conservation measures with a smaller RRS are adopted, more runoff can be saved in reducing the same amount of sediment and water resource conditions can be improved in the arid and semi-arid areas.

Keywords: soil erosion; soil and water conservation; runoff; sediment; benefit of runoff and sediment reduction; runoff cost for sediment control

水资源短缺是全球关注的热点问题, 中国是世界上淡水资源严重短缺的国家之一, 以北方地区水资源短缺最为严重, 在黄河流域, 即使正常来水年份缺水仍很严重, 水资源供需矛盾依然尖锐^[1]。黄土高原水土流失导致黄河水沙失调, 制约河川地表水资源开发利用。如果从洪水、干旱和污染这 3 个水资源面临的问题分析, 水土保持可以被认为是解决水资源问题的根本措施^[2-4]。20 世纪 70 年代到 90 年代, 黄河的持

续断流引起人们对区域水土保持蓄水与黄河水资源关系的关注^[5]。

根据径流小区及小流域研究成果, 李玉山先生认为, 在黄土高原地区实施水土保持治理后, 产流量减少 50% 左右。按照黄土高原来水量占全河 43% 的比例看, 水土保持减流量对黄河水资源量的影响是不可忽视的^[6]。景可先生认为, 到 2050 年黄土高原各项水土保持治理措施每年减少入黄泥沙 $7.0 \times 10^8 \sim$

收稿日期: 2007-06-26

修回日期: 2007-09-12

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划(2005XB01); 欧盟项目(DESIRES, 037046)

作者简介: 莫莉(1984—), 女(壮族), 广西省东兰县人, 硕士研究生。研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: jas_moli@sina.com.

通讯作者: 王飞(1971—), 男(汉族), 陕西省户县人, 副研究员, 博士。研究方向为水土保持环境效应评价, 土地荒漠化防治。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.

8.0×10^8 t 的同时,每年也减少入黄径流量 6.0×10^9 m^3 以上,对地表水资源量产生巨大影响^[7]。曹文洪认为,水土保持措施的减水作用不容忽视,黄土高原地区应提倡节水型水土保持^[8]。而穆兴民等^[3-5]研究认为,水土保持减水量占黄河天然径流量的比例甚小,不会直接起到减缓断流的作用,并且水土保持措施拦截泥沙,减少下游输沙用水,相对增加了黄河流域的可利用水量。上述观点都承认水土保持可减少流域径流量,但减少的程度如何以及是否对黄河下游断流有影响则是争论的焦点。

黄土高原土壤侵蚀以水蚀为主,水土保持措施通过控制地表径流而抑制土壤侵蚀,但不同措施减少泥沙和径流的机理不同,如何度量不同水土保持对径流和泥沙的同步影响程度尚无统一方法。长期以来,在水保措施对径流和泥沙的影响研究方面,一般只分别考虑对径流量和泥沙量的减少量和减少幅度,难以直观说明减少单位泥沙时减少径流量的大小和不同措施之间的差异。但大量研究表明,水土保持措施在减少河流泥沙的同时,也会减少坡面和河道径流量并影响径流过程,且由于不同措施减少泥沙和径流的机理不同,减少单位泥沙时减少的径流量会有不同。

为此,研究者提出水保、水利措施减沙水代价概念^[9],用于研究不同措施对径流和泥沙同步影响的差异性。本文应用减沙水代价概念,分析了中国北方地区部分流域水土保持单项和综合措施的减沙水代价特征和区域分异规律,并期望对科学认识不同措施对径流和泥沙的影响程度、综合评价水土保持环境效应和通过水土保持调控流域水沙等研究和实践提供参考。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

本研究的数据系根据国内研究刊物上公开发表的水土保持措施对河流水沙影响的研究结果整理而成;在整理减水量和减沙量数值的基础上,计算不同流域各单项措施和不同尺度水土保持综合措施减沙水代价。本研究分析的水土保持单项措施包括梯田、造林、种草和坝地等4项;综合措施包括其中的几种单项措施。

1.2 分析方法

水保措施减沙水代价,是指某项水保措施在减少单位坡面或河道泥沙时减少的径流量。评价指标是减流减沙比(S_R , ratio of runoff detained and sediment detained),定义为水保措施减少的径流量与减少的泥沙量之比,即:

$$S_R = R_d / S_d$$

式中: R_d ——某种水保措施减少的径流量(m^3);
 S_d ——某种水保措施减少的泥沙量(t); S_R ——减流减沙比(m^3/t)。

由减流减沙比的定义可以看出,减流减沙比越大,说明措施减少单位泥沙时减少的径流量越大,减沙水代价越大。

2 结果与分析

2.1 水土保持单项措施的减沙水代价分析

各单项措施多年平均减流减沙比见表1。表1表明,不同措施在同一流域内的减沙水代价不同,同一措施在不同流域其减沙水代价也存在差异^[10-20]。

表1 水土保持单项措施多年平均减沙水代价

m^3/t

流域名称	区间	时间	梯田	造林	种草	坝地
黄河流域皇甫川流域	沙圪堵控制区	1970—1997	4.65	3.65	3.37	1.62
	贺长皇控制区	1970—1997	5.18	4.05	3.91	1.81
黄河流域渭河流域 ^[9]	南河川站以上	1970—1996	3.36	4.40	4.75	0.89
	南河川至咸阳区间	1970—1996	15.60	34.28	20.00	1.03
	咸阳至华县区间	1970—1996	24.80	87.36	92.00	1.00
黄河流域泾河流域		1970—1996	1.04	1.04	1.01	2.53
黄河流域北洛河流域	刘家河以上	1970—1996	1.65	1.10	1.54	2.79
	刘家河至状头区间	1970—1996	1.49	2.04	1.54	2.96
黄河流域吕二沟流域		1954—1989	5.45	6.45	7.64	—
松辽流域乌力吉沐沦河流域		1990—1997	1.73	1.71	1.24	—
松辽流域牡丹江流域		—	58.35	244.32	40.36	—
松辽流域郝家流域		1986—1990	34.83	36.85	6.27	—
松辽流域柳河流域		1993	17.98	17.44	36.71	—

不同地区梯田、造林和种草等坡面措施减流减沙比的大小不同;黄河流域表现为,皇甫川流域和乌力吉沐沦河流域,梯田>造林>种草;渭河流域南河川站以上、咸阳至华县区间和吕二沟小流域 S_R , 种草>造林>梯田;渭河流域南河川至咸阳区间和北洛河流域刘家河至状头区间 S_R , 造林>种草>梯田;泾河流域梯田和造林的 S_R 略大于种草;北洛河流域刘家河以上梯田 S_R >种草>造林;松辽流域表现为,牡丹江流域和郝家流域 S_R , 造林>梯田>种草;柳河流域 S_R 种草>梯田>造林。

梯田、造林和种草的减流减沙比(S_R),从小到大大基本表现为泾河流域,北洛河流域刘家河以上,北洛河流域刘家河至状头区间,乌力吉沐沦河流域,渭河流域南河川站以上,皇甫川流域,吕二沟小流域,渭河流域南河川至咸阳区间,柳河流域,郝家流域,渭河流域咸阳至华县区间和牡丹江流域。各项措施差异很大,梯田的 S_R 最大值和最小值分别为 $58.35 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $1.04 \text{ m}^3/\text{t}$;造林分别为 $244.32 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $1.10 \text{ m}^3/\text{t}$;种草分别为 $92 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $1.01 \text{ m}^3/\text{t}$;梯田、造林和种草平均 S_R 的差异,分别为 56 倍,222 倍,91 倍。这与各

项坡面措施对径流、泥沙影响的同步程度差异有关,并且,梯田的质量高低、造林的林分类型、郁闭度、林龄以及林地的覆盖度都影响着各项坡面措施的减水减沙效益^[21-24]。

坝地的减流减沙比 S_R 从小到大依次为:渭河流域、皇甫川流域、泾河流域、北洛河流域。与坡面措施相比,不同流域间坝地的 S_R 变幅较小,最大值和最小值分别为 $2.96 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $0.89 \text{ m}^3/\text{t}$,差异仅为 3 倍左右。

各项坡面措施与坝地的减流减沙比 S_R 的区域分异表现为:渭河流域和皇甫川流域约为坝地的 6 倍和 2 倍;而泾河流域、北洛河流域坝地的 S_R 约为各项坡面措施的 2 倍。这说明,在泾河和北洛河流域,各项坡面措施和坝地在减少相同泥沙量时,坝地对径流的影响较大;而在渭河流域和皇甫川流域坝地对径流的影响较小。

3.2 水土保持综合措施减沙水代价分析

3.2.1 小流域尺度水土保持综合措施减沙水代价分析 小流域水土保持综合措施多年平均减流减沙比见表 2^[16-17,19,25-31]。

表 2 小流域水土保持综合措施减沙水代价

流域 (或区域)	小流域名称	时段	治理度/ %	措施类型	减流减沙比/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)
黄河流域	陕西绥德韭园沟	1954—1988	56.30	梯、林、草、坝	1.15
	陕西离石王家沟	1954—1975	72.00	梯、林、草、坝	1.28
	陕西离石插财主沟	1956—1970	40.30	梯、林、草、坝	1.72
	陕西绥德桑坪则	1955—1960	30.00	梯、林、草、坝	0.83
	陕西榆林青草沟	1958	48.40	梯、林、草、坝	0.63
	陕西绥德王茂沟	1962—1963	25.40	梯、林、草、坝	0.65
	陕西绥德想她沟	1958—1961	38.40	梯、林、草、坝	1.00
	陕西绥德育林沟	1959—1988	82.60	梯、林、草、坝	1.20
	陕西绥德小石沟	1959—1988	82.60	梯、林、草、坝	1.40
	陕西绥德第三试验	1959—1988	82.60	梯、林、草、坝	1.20
	陕西米脂榆林沟	1956—1996	50.40	梯、林、草、坝	1.12
	甘肃吕二沟	1954—1989	62.30	梯、林、草	4.68
	山西岚县香沟	1998—2003	69.10	梯、林	4.92
内蒙古川掌沟	1997	80.84	梯、林、草、坝、 谷坊、塘坝	3.08	
海河流域	北京延庆汉家川	1992	92.20	林、草、水平沟、 水平条、坝、谷坊	105.57
松辽流域	辽宁陵园白玉川	1994	89.70	梯、林、草、 台田、水平槽	5.20
	黑龙江尚志立新	2004		梯、林、草、 谷坊、耕作措施	3.90
	黑龙江西双龙	2000	93.20	梯、林、草、 石谷坊、截留沟	18.00
	辽宁朝阳郝家	1991	79.80	梯、林、草、谷坊	39.29

该表直观表明,不同区域的小流域水土保持综合措施减沙水代价存在明显差异。位于海河流域的汉家川小流域水土保持综合措施减沙水代价 S_R 最大,达 $105.57 \text{ m}^3/\text{t}$,位于松辽流域的郝家小流域次之,为 $38.29 \text{ m}^3/\text{t}$,位于黄河流域的陕西省榆林市青草沟小流域 S_R 最小,仅 $0.63 \text{ m}^3/\text{t}$ 。这说明在减少等量泥沙的同时,陕西榆林青草沟小流域水土保持综合治理对径流的影响较小。这与流域的水土流失状况密切相关,与其它流域相比,黄河流域水土流失较为严重,来水量较小,而来沙量较大,因此措施减沙水代价相对较小。

表2同时表明,黄河流域各小流域水土保持综合

措施 S_R 变幅不大,在 $0.63\sim 4.92 \text{ m}^3/\text{t}$ 之间,东北地区各小流域水土保持综合措施 S_R 变幅相对较大,在 $3.90\sim 39.29 \text{ m}^3/\text{t}$ 之间。这与各地区的气候条件、地形地貌、治理度以及各项措施的蓄水拦沙机理等密切相关。在治理度相同的情况下,相同的综合措施对径流、泥沙同步影响仍可能具有差异。如绥德育林沟和小石沟治理度相同,采取的水土保持措施相同,但水土保持综合措施的减沙水代价存在差异,这可能与措施配置比与各项措施的质量有关^[24]。

3.2.2 大流域尺度水土保持综合措施的减沙水代价分析 大流域水土保持综合措施多年平均减流减沙比见表3^[15,18,32-34]。

表3 大流域水土保持综合措施减流减沙比简表

流域名称	区间	时段	水保措施	减流减沙比/ ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)
	皇甫川 ^[30]	1980—1997	梯、林、草、坝	2.34
黄河流域	泾河流域	马莲河系川庆阳以上流域	梯、林、草、坝	1.42
		张家山站以上	梯、林、草、坝	3.56
		环江流域	梯、林、草、坝	1.30
		北洛河流域	刘家河以上	梯、林、草、坝
		状头以上	梯、林、草、坝	1.97
	渭河流域	散渡河	梯、林、草、坝	1.89
		葫芦河	梯、林、草、坝	5.11
		藉河	梯、林、草、坝	15.27
		牛头河	梯、林、草、坝	45.37
		灞河	梯、林、草、坝	105.95
	河龙区间	清涧河	梯、林、草、坝	2.15
		三川河	梯、林、草、坝、滩地	1.91
	浑河		梯、林、草、坝	6.87
佳芦河		梯、林、草、坝	4.28	
海河流域	滦河流域	1978—2000	梯、林、草、水平阶、水平沟、谷坊	15.84
松花江流域	牡丹江流域	—	梯、林、草、截流沟、塘坝、谷坊	53.19

表3表明,大流域尺度水土保持综合措施减沙水代价同样存在明显的区域分异特征,其分异特征表现为:渭河流域支流灞河水土保持综合措施减沙水代价最大,为 $105.95 \text{ m}^3/\text{t}$,其次是牡丹江流域和渭河流域支流牛头河,分别为 $53.19 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $45.37 \text{ m}^3/\text{t}$ 。黄河流域除了灞河和牛头河以外,其它各大流域水土保持综合措施减沙水代价均较小,且变幅不大,在 $1.30\sim 15.27 \text{ m}^3/\text{t}$ 之间;位于海河流域的滦河流域为 $15.84 \text{ m}^3/\text{t}$;位于松花江流域的牡丹江流域为 $53.19 \text{ m}^3/\text{t}$ 。这也说明在多沙河流水土保持措施减沙水代价较小,而在河道泥沙相对较小的流域措施减沙水代价相对较大。

表3还表明,即使是同一流域,其上、中、下游的水保措施减沙水代价差异也较大。如在渭河流域,散渡河水土保持措施减沙水代价为 $1.89 \text{ m}^3/\text{t}$,而灞河的 S_R 达 $105.95 \text{ m}^3/\text{t}$,这与渭河流域水沙异源的产水产沙格局密切相关。

灞河位于清水来源区,水土流失轻微,产水量大而产沙量小,因此措施在减少泥沙时的水代价要大一些;而散渡河位于黄土丘陵沟壑区,水土流失严重,产沙量大而产水量小,措施的减沙水代价相对较小。这也说明了侵蚀特征的区域分异特征,一定程度上可以反映水土保持措施减沙水代价的区域分异特征。

3 结果与讨论

水土保持对径流量和泥沙量均会产生影响。不同区域水土保持措施减沙水代价不同,同一区域不同类型水土保持措施的减沙水代价也存在差异。减沙水代价概念可以有效衡量不同措施减少等量泥沙时对径流影响的程度。通过分析比较我国部分大小流域水土保持措施的减沙水代价,得出以下结论。

(1) 各项水土保持措施存在明显的区域分异特征,因此通过不同区域和不同类型水保措施的配置,可以对径流量和泥沙量进行调节,当选择减沙水代价小的水土保持措施类型和区域配置时,可以在减少等量泥沙时,相对增加径流量,从而达到减沙增流的调控目的。

(2) 水土保持综合措施减沙水代价的差异与各流域的气候条件、流域特征、不同年代水土流失治理进度和治理面积、各项水土保持措施的数量、质量及配置等密切相关。因此在实施水土流失治理时,要因地制宜、合理地配置各项坡面措施和坝地,同时保证各项措施的质量,从而有效地治理水土流失。

[参 考 文 献]

- [1] 陈希媛,刁立芳. 黄河水资源现状及保护对策研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2006, 25(5): 386—389.
- [2] 穆兴民,李锐. 论水土保持在解决中国水问题中的战略地位[J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 1—5.
- [3] 穆兴民,王飞,李锐. 水土保持是解决黄河水问题的根本[N]. 中国水利报(现代水利评论版), 2005115.
- [4] 穆兴民,张行勇. 水土保持是解决黄河流域水问题的基础工程[J]. 科学新闻, 2006(2).
- [5] 穆兴民,徐学选,陈霁巍. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2001.
- [6] 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.
- [7] 景可,申元村. 黄土高原水土保持对未来自来地表水资源影响研究[J]. 中国水土保持, 2002(1): 12—15.
- [8] 曹文洪. 黄土高原地区提倡节水型水土保持[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 41—44.
- [9] 王飞. 人类活动对区域水土流失影响的定量评价[D]. 博士论文. 杨凌:西北农林科技大学, 2004.
- [10] 王正文,韩学士,赵昕,等. 皇甫川流域水沙变化原因分析[J]. 中国水土保持, 2000(5): 21—22.
- [11] 马勇,秦百顺,王宏,等. 渭河水沙变化及其影响因素分析[J]. 中国水土保持, 2002, (8): 18—21.
- [12] 冉大川,赵力仪,王宏,等. 黄河中游地区梯田减洪减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2005, 27(1): 51—53.
- [13] 冉大川,王宏,刘斌,等. 黄河中游地区林草措施减洪减沙作用分析[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 142—143.
- [14] 冉大川,罗全华,刘斌,等. 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, 2004, 5(5): 7—13.
- [15] 刘斌,冉大川,罗全华,等. 北洛河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 12—14.
- [16] 高小平,康学林. 坡面措施对小流域治理的减水减沙效益分析[J]. 中国水土保持, 1995(6): 13—15, 32.
- [17] 牛新年. 准格尔旗川掌沟流域综合治理效益调查[J]. 水土保持研究, 1999(6): 101—103.
- [18] 陈英智,李立新,王占臣,等. 牡丹江流域中下游水土保持生态建设工程及效益分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 53—55.
- [19] 王文生,李红月. 郝家流域水土保持治理措施效益分析[J]. 中国水土保持, 1998(9): 37—39.
- [20] 张永勤,孟凡林. 阜新市柳河上游重点治理区水土保持效益分析[J]. 中国水土保持, 1993(5): 14—17.
- [21] 焦菊英,王万忠. 人工草地在黄土高原水土保持中的减水减沙效益与有效盖度[J]. 草地学报, 2001, 9(3): 176—184.
- [22] 焦菊英,王万忠. 黄土高原水平梯田质量对其减水减沙效益的影响[J]. 国土开发与整治, 1999, 9(4): 52—56.
- [23] 焦菊英,王万忠,李靖,等. 黄土丘陵沟壑区水土保持人工林减蚀效应研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 87—94.
- [24] 王光谦,张长春,刘家宏,等. 黄河流域多沙粗沙区植被覆盖变化与减水减沙效益分析[J]. 泥沙研究, 2006, 4(2): 10—16.
- [25] 郝建忠. 黄丘一区水土保持单项措施及综合治理减水减沙效益研究[J]. 中国水土保持, 1993(3): 26—31.
- [26] 马生祥,陈增莲. 榆林河流域水土保持综合治理效益分析与评价[J]. 山西水土保持科技, 1998(2): 33—34.
- [27] 杨滇平,王军,张根锁. 香沟流域综合治理的水土保持效益分析[J]. 山西水土保持科技, 2006(1): 13—15.
- [28] 马志尊. 汉家川小流域水土保持综合治理模式与成效[J]. 海河水利, 2004, (4): 31—32.
- [29] 于亚芹,刘海潮. 白玉川流域水土保持综合治理效果显著[J]. 东北水利水电, 1995, (7): 42—43, 47.
- [30] 白晓娟,王伟东. 立新小流域水土保持生态建设与成效[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(1): 21—22.
- [31] 崔玉贤. 西双龙小流域综合治理及效益[J]. 黑龙江水利科技, 2000(2): 123—124.
- [32] 朱岐武,樊万辉,茹玉英,等. 皇甫川流域水土保持措施减水减沙分析[J]. 人民黄河, 2003, 25(9): 26—27.
- [33] 冉大川. 泾河流域水沙特性及减水减沙效益分析[J]. 水土保持通报, 1992, 12(5): 20—28.
- [34] 冉大川,寇权,吴永宏. 环江流域 90 年代水沙变化研究及治理方略探讨[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 6—11.

(部分参考文献略)