

河口镇到龙门区间水土保持措施减沙水代价分析

王飞^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 李锐^{1,2}, 焦菊英^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 水利水保措施的水沙效应评价方法是人们研究的热点之一。为了揭示水土保持和水利措施减少径流和泥沙综合特征的指标, 提出了能明确反映水利、水保措施减少单位泥沙量时减少的径流量的减沙水代价(RRS)概念。RRS 越大, 减少单位泥沙同时减少的径流量越多, 在措施减少相同径流量时, 减少的泥沙量越小。对河口镇到龙门区间 21 条主要支流 1970—1996 年不同水利、水保措施的 RRS 分析表明, 灌溉措施 RRS 远超出水保措施, 梯田、造林、种草等坡面措施的 RRS 较为接近, 坝地的 RRS 最小。随着流域输沙模数的增加, 梯田、造林和种草等措施的 RRS 与坝地 RRS 差异变小。年均降水量与坝地 RRS 为显著负相关, 而年均降水量与梯田、造林、种草的 RRS 显著正相关。

关键词: 减沙水代价(RRS); 水土保持; 径流; 泥沙; 黄河

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)06-0028-05

中图分类号: P333.4

Water Cost of Sediment Control of Soil and Water Conservation in Hekou and Longmen Section of Yellow River

WANG Fei^{1,2}, MU Xing-min^{1,2}, LI Rui^{1,2}, JIAO Ju-ying^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of

Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China; 2. Northwest

University of Agriculture and Forestry, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Water cost of sediment control (ratio of detained runoff and sediment, RRS) is an indicator derived from runoff and sediment detained by soil and water conservation practices or other water resource projects. RRS plays an important role in discovering the effect of soil conservation practices on water resources. A larger RRS shows that some practices or branches can reduce more runoff when the same weight of sediment is detained. The RRS in 21 of branches in Hekou and Longmen section of the Yellow River was analyzed based on dataset of sediment delivery modules, average annual precipitation, runoff and sediment detained by conservation practices and irrigation from 1970 to 1996. Results show that RRS of irrigation is far more than that of soil and water conservation practices. RRSs of terrace, forest and grass are similar but more than that of dam land. With the increase of sediment delivery modules, the difference between RRS of terrace, forest, grass and RRS of dam land decreases. The positive correlations between average annual precipitation and RRS of terrace, forest and grass practices are evident respectively, but the correlation between average annual precipitation and RRS of dam land is negative evidently.

Keywords: water cost of sediment control; soil and water conservation; runoff; sediment; the Yellow River

水土保持措施对径流和泥沙的影响评价始终是黄河流域水资源、河道演化和水旱灾害等研究的核心问题^[1-4]。尽管人们在这方面已做了大量工作, 提出了一些较为有效的方法^[5], 但目前该方面的研究基本上把径流、泥沙的减少量和减少幅度分开考虑^[3-4], 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^[6]。本文以河口镇到龙门区间(以下简称河龙区间) 21 条主要支流 1970—

1996 年水利、水保措施减少的径流和泥沙量为基础, 对其减沙水代价特征进行了分析。

1 研究方法 with 材料

1.1 资料来源

本文相关数据均源自冉大川等编著的《黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化》一书^[4]。该书是水利部第 2 期黄河水沙变化研究基金“河龙区

收稿日期: 2005-04-20

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目; 欧盟项目(SUSDEV-CHINA, ICA4-2001-10182); 中国科学院水利部水土保持研究所知识创新领域前沿科研专项

作者简介: 王飞(1971—), 男(汉族), 助理研究员, 博士, 主要研究方向为区域水土保持及其环境效应。电话(029) 87012482, E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn, scichina@163.com。

间水土保持措施减水减沙作用分析”项目的成果集成,数据翔实,计算分析系统,其研究结果可以作为本研究的基础。

分析数据涉及文献[4]的表1河龙区间21条支流基本情况中代表水文站的控制面积,表1河龙区间主要支流水保法年均减水效益计算成果(串联法)和表2河龙区间主要支流水保法年均减沙效益计算成果。基期输沙模数采用1970年以前数据;年均径流量和洪流量、年均泥沙量和洪沙量、年均降水量等实测资料 and 通过水保法计算的水利、水保措施减少的洪期径流量和泥沙量、年均径流量和泥沙量等计算成果均采用1970—1996年数据;支流特征见文献[4]。

1.2 研究方法

减沙水代价(ratio of detained runoff and sediment, 简称为RRS),定义为水利、水保措施减少的径流量与减少的泥沙量之比,用下式计算:

$$RRS = R_d / S_d \quad (1)$$

式中: R_d, S_d ——分别为某种水利、水保措施减少的径流量(m^3)和泥沙量(t); RRS ——为减沙水代价(m^3/t)。表1为河龙区间21条支流减沙水代价计算结果。从定义可以看出,RRS越大,措施减少单位泥沙时减少径流量越大。

2 结果分析

2.1 各支流RRS基本特征

表1为河龙区间21条支流减沙水代价计算结果。表1显示,河龙区间支流基期的平均输沙模数很大,在湫水河、皇甫川、孤山川、佳芦河流域,平均输沙模数分别高达17190, 19518, 21631, 24496($t \cdot km^2/a$),侵蚀强度较小的仕望川、云岩河流域,平均输沙模数也大于1500($t \cdot km^2/a$)。河龙区间年均降水量在350~550mm之间,流域平均不足450mm。

表1 河龙区间21条支流水保、水利措施减沙水代价

m^3/t

支流名称	基期平均 输沙模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	年均 降水量/ mm	$S_c / (m^3 \cdot t^{-1})$		RRS / ($m^3 \cdot t^{-1}$)							
			实测 洪期	实测 年均	水土保持措施				灌溉			
					梯田	造林	种草	坝地	灌溉 洪期	灌溉 年均	多年 洪期	多年 平均
皇甫川	19518	372.2	2.29	2.96	2.33	2.40	2.38	2.16	22.76	92.27	2.70	3.38
孤山川	21631	395.8	2.53	3.76	2.40	2.44	2.42	2.41	150.00	567.80	2.68	3.61
窟野河	14876	366.2	2.84	6.04	2.73	2.80	2.79	2.84	41.50	167.66	3.31	5.56
秃尾河	9278	379.1	3.09	20.47	2.04	2.44	0.37	2.72	67.27	272.60	2.50	3.27
佳芦河	24496	374.9	1.94	5.54	1.54	1.34	1.19	1.68	129.60	500.57	1.79	2.50
无定河	7258	362.7	2.87	12.44	2.83	2.59	2.00	2.44	51.43	208.58	2.47	4.83
清涧河	14562	449.6	2.61	4.51	1.81	1.79	0.93	2.18	92.85	386.31	2.10	2.74
延河	11183	500.6	2.78	4.95	3.18	4.55	3.22	1.35	6.23	151.25	1.84	2.55
云岩河	2058	528.9	4.59	11.81	5.63	5.61	5.72	1.56	12.18	392.67	3.56	6.36
仕望川	1766	543.2	11.26	39.36	8.76	8.73	8.67	1.35	15.25	714.50	11.30	25.95
浑河	4112	374.0	8.34	14.62	6.02	6.20	5.85	2.00	30.79	123.16	2.46	5.34
偏关河	8731	407.3	1.86	2.87	1.89	2.02	2.08	1.71	5.91	23.61	2.08	2.65
县川河	7300	405.3	1.56	1.68	1.76	1.84	2.00	1.65	5.95	23.79	1.80	3.07
朱家川	10164	429.3	2.46	2.83	1.76	1.73	1.73	1.88	23.56	94.28	2.15	3.32
岚漪河	8823	504.1	4.96	8.67	4.30	4.74	4.25	1.56	18.23	73.00	4.52	6.36
蔚汾河	9689	471.2	3.91	6.26	3.76	3.81	3.85	1.60	17.50	70.00	2.66	3.40
湫水河	17190	493.9	2.74	4.51	2.75	2.75	2.96	2.29	12.83	51.34	2.60	3.28
三川河	9233	481.6	4.07	16.10	3.39	3.33	3.38	2.88	28.44	113.74	3.31	4.67
屈产河	13187	487.9	2.51	3.83	2.04	2.08	2.15	1.70	7.53	167.14	1.84	2.80
昕水河	7239	532.0	5.70	9.46	4.79	4.81	4.71	1.42	15.52	314.38	2.68	3.83
清水河	12638	498.1	3.07	6.23	2.69	2.72	3.50	1.23	12.64	235.00	1.22	2.30

注: S_c 为实测径流量与泥沙量之比,包括洪期和实测年均两类;灌溉洪期和年均RRS为洪期和年时段的灌溉措施减少的径流量与泥沙量之比;多年洪期和多年平均RRS根据洪期和年时段的径流和泥沙变化总量(包括:各项水保措施、灌溉和水库减少的径流和泥沙量,工业生活用水和人为增洪对径流的影响量,河道冲淤与人为增沙对泥沙的影响量)计算的结果。本文各项含义与本表相同。

结合河龙区间21条支流水保、水利措施减沙水代价统计特征表(表2),分析发现,各措施RRS值从大到小依次为:灌溉年均、灌溉洪期、多年年均、造林、

梯田、种草、多年洪期、坝地。坝地的RRS平均值最小,为1.934 m^3/t ,而灌溉措施RRS平均值很大,灌溉洪期和年均分别高达36.570 m^3/t 和255.888 m^3/t

t, 梯田、造林、种草的 RRS 平均值较为接近, 均在 $3.2 \text{ m}^3/\text{t}$ 左右, 也就是说, 灌溉措施减少泥沙时减少径流的代价很大, 约是坝地的 18~120 多倍, 是梯田、造林、种草的 11~80 倍。支流间各类措施 RRS 的最大值和最小值差异较大, 灌溉洪期、灌溉年均和种草的 RRS 分别高出 24, 29 和 22 倍多; 多年洪期和多年年均的 RRS 分别相差 8 和 10 倍, 流域间差异居中; 梯田和造林的 RRS 差异为 5 倍左右, 坝地 RRS 流域间差异较小, 只有不足 1.5 倍。

2.2 输沙模数与 RRS 关系

不同侵蚀强度流域的水保、水利措施减沙水代价特征见表 3。分析表明, 河龙区间 21 条支流侵蚀特征与 S_c 和 RRS 之间存在关联, 在同一侵蚀类型流域内, 梯田、造林和种草等坡面措施的 RRS 较为接近, 且均大于坝地; 随着流域基期平均输沙模数的增加, 梯田、造林和种草等措施的 RRS 有明显减小趋势, 而坝地的 RRS 有增加趋势, 梯田、造林和种草等措施的 RRS 与坝地 RRS 差异逐步减小。

表 2 河龙区间 21 条支流水保、水利措施减沙水代价统计特征

措施类型	梯田	造林	种草	坝地	灌溉洪期	灌溉年均	多年洪期	多年年均
平均/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	3.257	3.368	3.149	1.934	36.570	225.888	2.932	4.846
标准误差	0.391	0.399	0.418	0.111	8.905	41.567	0.447	1.090
中值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	2.729	2.718	2.785	1.708	18.227	167.143	2.496	3.381
标准偏差	1.791	1.828	1.914	0.507	40.808	190.482	2.051	4.994
样本方差	3.209	3.342	3.663	0.257	1665.282	36283	4.205	24.937
峰值	3.336	2.353	2.235	-0.834	2.738	0.812	15.279	18.064
偏斜度	1.756	1.509	1.271	0.558	1.859	1.197	3.698	4.133
最小值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	1.538	1.337	0.368	1.234	5.911	23.607	1.215	2.300
最大值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	8.756	8.727	8.667	2.883	150.000	714.500	11.297	25.952
置信度(95.0%)	0.815	0.832	0.871	0.231	18.576	86.706	0.933	2.273

表 3 不同侵蚀强度流域的减沙水代价特征

侵蚀强度	轻度	中度	强度	极强度 1	极强度 2	剧烈
支流条数/条	2	1	3	5	6	4
基期平均输沙模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	1 912	4 112	7 266	9 251	12 768	20 709
实测洪期 S_{c1}	7.92	8.34	3.40	3.58	2.71	2.38
实测平均 S_{c1}	25.59	14.62	7.86	10.87	4.73	4.19
梯田 RRS a	7.20	6.02	3.13	3.08	2.37	2.26
造林 RRS b	7.17	6.20	3.08	3.27	2.61	2.23
种草 RRS c	7.19	5.85	2.90	2.78	2.39	2.24
$d = (a + b + c) / 3$	7.19	6.02	3.04	3.04	2.46	2.24
坝地 RRS e	1.45	2.00	1.84	2.09	1.87	2.13
$d - e$	5.73	4.02	1.20	0.95	0.59	0.11
灌溉洪期 RRS	13.71	30.79	24.30	27.47	30.72	78.80
灌溉平均 RRS	553.58	123.16	182.25	110.59	200.27	303.00
多年洪期 RRS	7.34	2.46	2.34	3.01	2.08	2.04
多年平均 RRS	16.15	5.34	3.91	4.07	3.21	3.19

注: 侵蚀强度按照输沙模数确定, 轻度、中度、强度、极强度 1、极强度 2 和剧烈侵蚀对应的基期输沙模数分别为 1 000~2 500, 2 500~5 000, 5 000~8 000, 8 000~10 000, 10 000~15 000 和大于 15 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

在轻度侵蚀〔输沙模数低于 $2 500 (\text{t} \cdot \text{km}^2) / \text{a}$ 〕的云岩河、仕望川流域, 梯田、造林和种草的平均 RRS 高达 $7.19 \text{ m}^3/\text{t}$, 而坝地的平均 RRS 为 $1.45 \text{ m}^3/\text{t}$, 梯田、造林和种草等措施 RRS 高出坝地达 $5.73 \text{ m}^3/\text{t}$; 在强度侵蚀〔输沙模数为 $5 000 \sim 8 000 (\text{t} \cdot \text{km}^2) / \text{a}$ 〕的

昕水河、无定河、县川河流域, 梯田、造林和种草的平均 RRS 减小到 $3.04 \text{ m}^3/\text{t}$, 而坝地的平均 RRS 增加到 $1.84 \text{ m}^3/\text{t}$, 梯田、造林和种草等措施 RRS 仅比坝地高出 $1.20 \text{ m}^3/\text{t}$; 在侵蚀极剧烈〔输沙模数大于 $15 000 (\text{t} \cdot \text{km}^2) / \text{a}$ 〕的湫水河、皇甫川、孤山川、佳芦河

流域, 梯田、造林和种草的平均 RRS 减小到 $2.24 \text{ m}^3/\text{t}$, 而坝地的平均 RRS 增加到 $2.13 \text{ m}^3/\text{t}$, 梯田、造林和种草等措施 RRS 仅比坝地高出 $0.11 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

在实测洪期和实测年均 S_c 变化趋势与梯田、造林和种草等措施一致, 而灌溉洪期的 RRS 变化趋势与坝地一致。

2.3 降水量与 RRS 关系

不同降水量下各流域部分水利、水保措施减沙水代价见表 4。表 4 表明, 不同降水量流域内, 各措施 RRS 表现较为复杂。在降水量为 $500\sim 550 \text{ mm}$ 的流域, 梯田、造林和种草的 RRS 均较高, 平均约为 $5.44 \text{ m}^3/\text{t}$, 在降水量为 $400\sim 450 \text{ mm}$ 的流域, 梯田、造林和种草的 RRS 均较低, 平均约为 $1.78 \text{ m}^3/\text{t}$, 降水量为 $350\sim 400 \text{ mm}$ 和 $450\sim 500 \text{ mm}$ 的流域, 梯田、造林和种草的 RRS 居中, 但后者较高一些, 平均分别约为 3.01 和 $2.72 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

表 4 不同降水量流域的减流减沙比特征 m^3/t

降水量段/mm	350~ 400	400~ 450	450~ 500	500~ 550
支流数量/条	7	4	5	5
年均降水量/mm	375.00	422.90	486.50	521.80
实测洪期 S_{c1}	3.42	2.12	3.26	5.86
实测平均 S_{c1}	9.41	2.97	7.39	14.85
梯田 RRS (a)	2.84	1.81	2.92	5.33
造林 RRS (b)	2.89	1.85	2.94	5.69
种草 RRS (c)	2.43	1.69	3.17	5.31
$d = (a + b + c)/3$	2.72	1.78	3.01	5.44
坝地 RRS (e)	2.32	1.85	1.94	1.45
$d - e$	0.40	- 0.08	1.07	4.00
灌溉洪期 RRS	70.48	32.07	15.79	13.48
灌溉平均 RRS	276.09	132.00	127.44	329.16
多年洪期 RRS	2.56	2.03	2.33	4.78
多年平均 RRS	4.07	2.94	3.29	9.01

随着降水量增加, 坝地的 RRS 呈减小趋势。在降水量大的流域, 梯田、造林和种草的 RRS 比坝地大一些, 但在降水量为 $400\sim 450 \text{ mm}$ 的流域, 坝地的 RRS 还略高一些。随着降水量增加, 灌溉洪期 RRS 呈迅速减小趋势。

实测洪期和实测年均 S_c 、灌溉年均、多年洪期和多年年均 RRS 变化趋势相同, 均为降水量为 $500\sim 550 \text{ mm}$ 的流域最大, $350\sim 400 \text{ mm}$ 的流域次之, 其次为 $450\sim 500 \text{ mm}$ 的流域, $400\sim 450 \text{ mm}$ 的流域最小。

2.4 洪期和年均 RRS

结合表 1—4, 分析认为, 对灌溉和多年平均水平来说, 洪期 RRS 均大于相应措施年均 RRS, 这种差异

幅度在灌溉方面表现更为明显。

灌溉年均 RRS 平均值约为灌溉洪期 RRS 平均值的 6 倍多, 随着降水量增加, 各类型流域洪期和年均 RRS 差距逐渐加大, 年均降水量为 $350\sim 400$, $400\sim 450$, $450\sim 500$, $500\sim 550 \text{ mm}$ 的流域, 灌溉年均 RRS 分别约为灌溉洪期的 3.9, 4.1, 8.1 和 24.4 倍; 在降水量较大的云岩河、昕水河和仕望川流域, 其倍数分别为 32, 20 和 46 倍强。多年年均 RRS 平均值约为多年洪期的 1.7 倍多, 与降水量关系不是很明显, 该值在浑河和昕水河流域较大, 分别为 2.17 和 2.30 倍。

2.5 不同措施减沙水代价及影响因素的相关性分析

RRS 受多种因素影响, 不同措施减沙水代价及其影响因素之间相关分析结果见表 5。表 5 表明, 输沙模数与年均降水量、实测洪期 S_c 、实测年均 S_c 和梯田、造林、种草的 RRS 呈显著负相关, 年均降水量越大, 输沙模数越小, 这与河龙区间从北向南输沙模数减小, 降水量增加实际一致; 输沙模数越大, 径流含沙量越大, 实测洪期和年均 S_c 越小, 各类措施减少相同泥沙量时对径流影响越小。

实测洪期和年均 S_c 与梯田、造林、种草、洪期和年均 RRS 均达到极显著正相关, 一定程度上说明了 S_c 和 RRS 具有很多共同点, 均反映单位泥沙对应的径流量; 多年洪期和多年年均 RRS 与梯田、造林、种草 RRS 相关性显著程度均达到 0.001 水平, 可以说坡面水土保持措施很大程度上反映了支流流域的水土保持特征。

降雨既是径流的来源, 也是坡面侵蚀产生的原动力之一, 降水量与水土保持措施的 RRS 均达到显著水平以上。坝地 RRS 只与年均降水量显著负相关, 这一定程度上说明了坝地减少径流和减少泥沙的特殊性, 降水量越大的地区, 减少单位泥沙坝地减少的径流量越少; 梯田、造林、种草 RRS 均与年均降水量呈显著正相关。

随着降雨量的增加, 梯田、造林、种草和坝地 RRS 均呈直线变化。降水和各水土保持措施的 RRS 线性拟合结果见图 1, 拟合的公式如下:

$$Y_f = 0.0158x - 3.6720 \quad (2)$$

$$Y_g = 0.0179x - 4.8164 \quad (3)$$

$$Y_t = 0.0148x - 3.3492 \quad (4)$$

$$Y_d = -0.0046x + 3.9983 \quad (5)$$

式中: Y_f , Y_g , Y_t , Y_d ——分别为梯田、造林、种草、坝地的减流减沙值 (m^3/t); x ——年均降水量 (mm)。

表 5 河龙区间 21 条支流水保、水利措施减沙水代价及影响因素相关分析

项目	输沙模数	年均降水量	实测洪期 S_C	实测年均 S_C	RRS									
					梯田	造林	种草	坝地	水保小计	灌溉洪沙	灌溉常沙	多年洪期		
年均降水量	-0.44*	1												
实测洪期 S_C	-0.54*+	0.41#	1											
实测年均 S_C	-0.52*+	0.27	0.83***	1										
梯田	-0.54*+	0.52*+	0.95***	0.77***	1									
造林	-0.52*+	0.54*+	0.93***	0.74***	0.98***	1								
种草	-0.50*	0.58**	0.89***	0.64**	0.97***	0.95***	1							
坝地	0.33	-0.57**	-0.25	0.01	-0.33	-0.36	-0.43#	1						
水保小计	-0.32	0.30	0.80***	0.82***	0.80***	0.78***	0.71***	0.04	1					
灌溉洪沙	0.53*+	-0.48*	-0.22	-0.07	-0.31	-0.35	-0.41#	0.40#	-0.12	1				
灌溉常沙	0.09	0.17	0.42#	0.53*+	0.40#	0.35	0.31	-0.11	0.40#	0.57**	1			
多年洪期	-0.32	0.39#	0.80***	0.83***	0.79***	0.76***	0.73***	-0.14	0.94***	-0.13	0.53*+	1		
多年年均	-0.37	0.36	0.82***	0.86***	0.81***	0.77***	0.75***	-0.20	0.90***	-0.15	0.56**	0.98***	1	

注: #, *, *+, **, *** 对应的显著性水平分别为 0.1, 0.05, 0.02, 0.01 和 0.001。

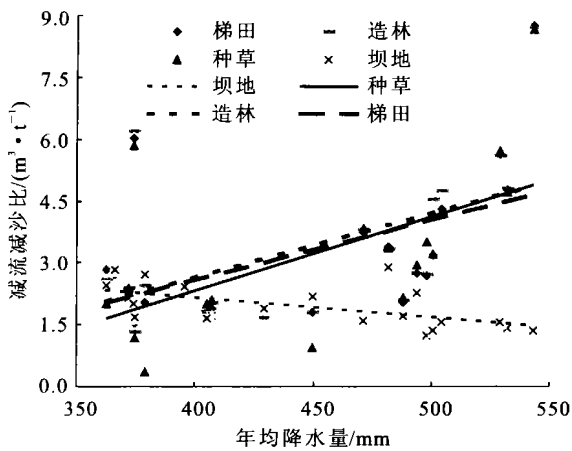


图 1 年均降水量与不同水保措施减沙水代价关系

3 结论

减沙水代价是根据水利、水保措施减少径流量和泥沙量产生的指标,可以揭示措施拦截单位沙量时减少的径流量。较传统分析方法,该指标能直观认识各类措施减少泥沙时对径流影响的差异,对这种差异的认识有助于在常规评价各类措施减少径流量和泥沙量的基础上,直观认识各类措施减少泥沙时对径流的影响,从而结合流域自然特征,研究通过各类措施有效配置,达到调节径流和泥沙的目的,更好地实现水资源、河道工程、生态用水等研究和应用目的。

线性相关分析显示,输沙模数与年均降水量、实测洪期 S_C 、实测年均 S_C 和梯田、造林、种草的 RRS 呈显著负相关,年均降水量越大,输沙模数越小,这与河口镇到龙门区间从北向南输沙模数减小,降水量增加实际一致;输沙模数越大,径流含沙量越大,实测洪期和年均 S_C 越小,各类措施减少相同泥沙量时对径流影响越小。

洪期和年均 RRS 与梯田、造林、种草 RRS 相关性显著程度均达到 0.001 水平,可以说明坡面水土保持措施很大程度上反映了支流流域的水土保持特征。

[参 考 文 献]

- [1] 姚文艺,赵业安,汤立群,等.黄河下游河道断流灾害初探[J].水科学进展,1999,10(2):160—164.
- [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] 王万中,焦菊英.黄土高原水土保持减沙效益预测[M].郑州:黄河水利出版社,2002.53—73.
- [4] 冉大川,柳林旺,赵力仪,等.黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M].郑州:黄河水利出版社,2000.125.
- [5] 穆兴民,李靖,徐学选.水土保持措施对河川径流影响的评价方法研究进展[A].见:郭生炼主编,中国水问题研究[C].武汉:湖北科学技术出版社,2003.90—97.
- [6] 王飞,李锐,穆兴民,等.渭河流域水保措施减沙水代价分异特征与水沙调节模拟[J].中国水土保持科学,2004,2(2):12—17.