

黄土高原水土保持减沙效益的尺度效应初步分析

师长兴

(中国科学院 地理科学与自然资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 收集了黄土高原 64 个不同大小流域的水土保持措施减沙效益的资料和研究成果, 利用这些资料分析了随着流域尺度的变化黄土高原水土保持措施减沙效益的变化。统计分析结果显示, 水土保持措施减沙模数随流域面积没有明显的变化趋势, 单位治理面积减沙比与流域面积之间也不存在明显关系。

关键词: 水土保持; 产沙模数; 减沙; 尺度效应; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)03-0051-04

中图分类号: S157, P333.4

Study of Scale Dependence of Sediment Yield Reduction by Soil Conservation Practices

SHI Chang-xing

(Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes,

Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: For investigating the changes of sediment yield reduction by soil conservation with spatial scale, this study collected data of the areas implementing soil conservation measures and the amounts of sediment yield reduction associated with soil conservation measures for 64 catchments with different sizes in the middle Yellow River. The soil conservation measures in discussion include land terracing, tree and grass planting, land creating behind sediment-checking dams. Results show that the reduction of specific sediment yield due to implementation of soil conservation measures does not present a significant trend of increase or decrease with the increase of catchment size.

Keywords: soil conservation; specific sediment yield; sediment yield reduction; scale dependence; Loess Plateau

黄土高原水土流失严重, 托克托至三门峡间流域多年平均侵蚀模数约 $4800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 区间年产沙总量占黄河输向下游泥沙的约 91%^[1], 因此黄土高原水土保持在黄河治理中起着重要作用。自 20 世纪 50 年代以来, 黄土高原开展了大规模的水土保持工作。治理面积不断增加, 中间随着国家社会政治形势与经济政策的变化, 治理程度有所起伏。据统计至 1999 年黄土高原地区治理面积约为 $1.34 \times 10^5 \text{ km}^2$, 治理度达到 29.2%。水土保持工程已明显降低了黄土高原的土壤侵蚀强度。近十几年来不少学者对黄土高原水土保持的减沙量进行了估计, 结果显示, 20 世纪 70 年代河口镇至三门峡区间流域水利水保措施减沙 $2.66 \times 10^8 \sim 4.09 \times 10^8 \text{ t/a}$, 20 世纪 80 年代则为 $1.75 \times 10^8 \sim 6.02 \times 10^8 \text{ t/a}$ ^[2]。

过去在估计黄土高原地区水保措施减沙时, 主要用到了水文法和水保法(或成因法)2 种方法^[2-4]。其中成因法是考虑各项水利、水保减沙因素和其它人

为活动增沙作用对流域减沙和增沙量进行估计。这一方法在了解各项减沙措施和预测未来水沙变化趋势上比水文法有更多的优势。不过, 这一方法除其它的问题外, 需要确定各种措施的减沙指标。这些指标的确定是依据试验场和小流域的结果, 它们是否适用于大流域还没有充分证实。水保措施减沙是一个与土壤侵蚀密切相关的问题, 而一些研究认为流域侵蚀与输移随空间尺度而变化^[5-7]。因此, 有必要就黄土高原的水保措施减沙的尺度效应进行研究。

1 资料来源

收集了 46 条黄土高原典型小流域(见图 1)治理前后措施面积和治理减沙量的观测分析结果, 以及水保基金对皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、无定河、清涧河、延河、浑河、偏关河、朱家川、岚漪河、蔚汾河、湫水河、三川河、北洛河、汾河、泾河、渭河共 18 条黄河中游主要支流不同时期水保治理面积, 以及利用水文

法和水土保持法计算得到的 20 世纪 70 年代和 80 年代的减沙量^[4]。目前,对中游河口镇至龙门水土保持措施的减沙效果已经有不同作者提出了几个不同的研究结果,根据各成果所得到的总减沙量,我们选择了 2 个比较有代表性的研究成果,作为本研究的部分基本数据,包括黄河流域水土保持研究基金会(简称水保基金)以及水利部黄河水沙变化研究基金会(简称水沙基金 1 期)立项研究提出的成果^[3-4]。

对所收集到的资料需要进行分析处理。其一是计算水土保持治理度。黄土高原水土保持措施主要包括梯田(及条田)、坝地、造林、种草 4 项,这 4 项措施面积除以流域的面积就是通常所说的治理度。水库和灌溉在减少入黄泥沙中也起着重要作用,但它们造成

的减沙属于水利措施减沙,而不属于水保减沙。其次是估算中游主要支流的水保措施减沙量。前人利用水保法估算出的黄河中游主要支流的治理措施减沙中,虽然给出了各项水保与水利措施的减沙量,但是如前所述,这一方法没有考虑尺度效应,因此不宜在此使用。相对而言,尽管水文法计算结果还存在着不少问题,但它保留了减沙的尺度效应。水文法不足之处是计算的减沙量没有区分水利与水土保持措施减沙量。不过,我们可以利用水保法中给出的水利措施减沙量,从水文法得到的减沙量分离出水保措施的减沙量,因为水库、灌区减沙量主要依据了实测资料,人为增沙量也是由实际调查得到的^[3]。对于典型小流域,我们可以直接找到对应治理度的减沙量。

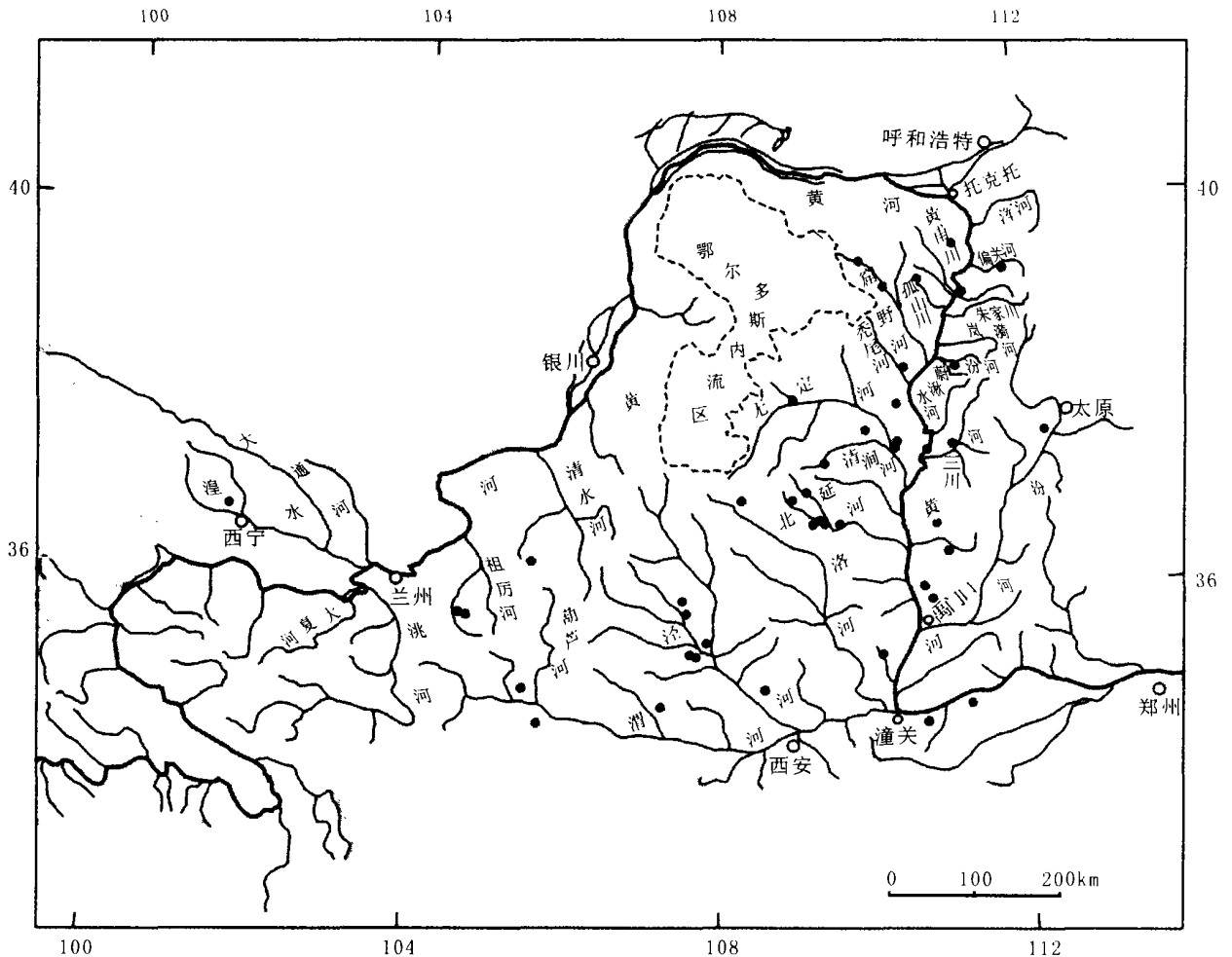


图 1 黄土高原主要支流及典型小流域分布图

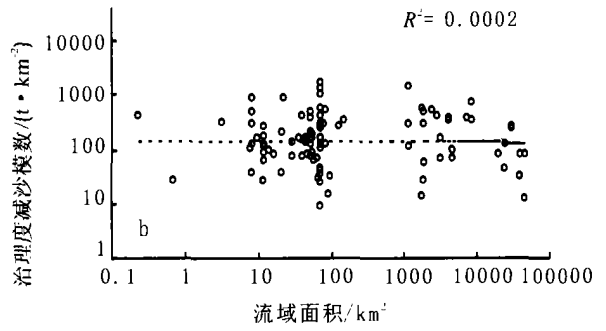
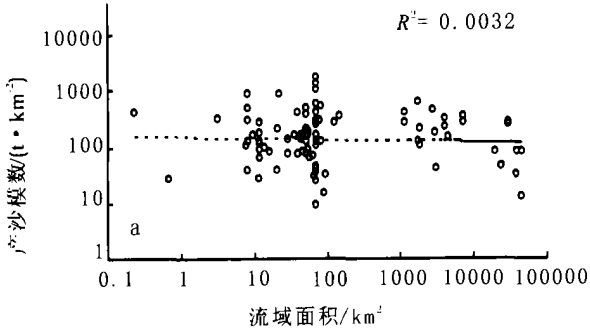
2 结果

为了对比不同面积流域内的水土保持措施减沙效益,用流域总的水保措施减沙量除以流域面积,得到减沙模数,然后用减沙模数除以流域新增治理度,得到

1% 治理度的减沙模数(单位减沙模数)。需说明的是从前人水文法估算的减沙量中计算得到的部分流域的水保措施减沙模数为负数,这显然不合理;同时,计算得到的一些流域的减沙比过大。因此删去了减沙比为负的数据点及同样数量的最大的减沙比数据点。

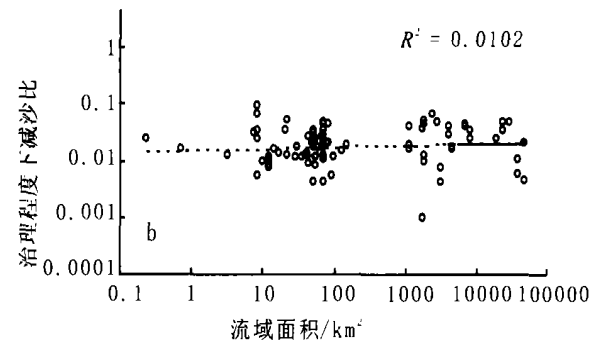
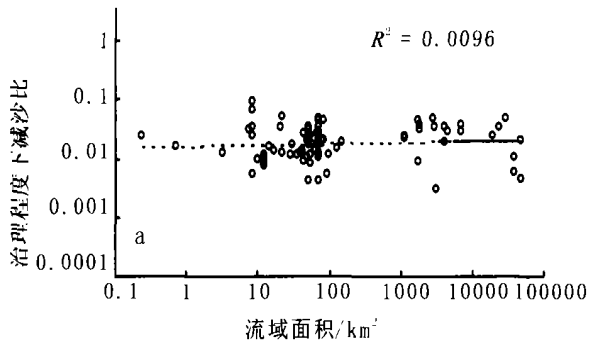
点绘流域水土保持措施单位减沙模数与流域面积的关系如图2。我们用指数方程建立了单位减沙模数与流域面积之间的回归关系。所得关系说明单位减沙模数随流域面积的增大而减小。不过,从方程的相关系数和图2中数据点分散情况来看,单位减沙模数与流域面积间几乎不存在关系。

在用水保法计算减沙时,要用到减沙指标(措施减沙量占治理前侵蚀模数的比例)。因此,又计算了单位减沙比,即单位减沙模数与治理前流域输沙模数之比,并点绘单位减沙比与流域面积关系(图3)。可见,与上述单位减沙模数和流域面积之间的关系相类似,单位减沙比与流域面积之间关系也不十分明显。



a. 河一龙区间支流水土保持措施减沙依据水保基金成果; b. 河一龙区间支流水土保持措施减沙依据水沙基金1期成果

图2 水土保持措施单位减沙模数与流域水土流失面积的关系



a. 河一龙区间支流水土保持措施减沙依据水保基金成果; b. 河一龙区间支流水土保持措施减沙依据水沙基金1期成果

图3 水土保持措施单位减沙比与流域水土流失面积的关系

为了进一步说明该地区单位减沙比与流域面积无相关性,我们又将大支流和典型小流域的单位减沙比分为2组,用方差分析法检验了2组的均值是否有显著差别^[8]。因为进行方差分析的前提条件是方差齐性,所以进行方差分析之前,先做了2组单位减沙比的方差齐性检验。检验结果显示,由水沙基金1期计算成果计算的大支流单位减沙比和由水保基金计算成果计算的大支流单位减沙比分别与典型小流域单位减沙比组成的2组样本都在水平0.1下可认为方差相等。进一步的方差分析结果揭示,由水保基金计算成果计算的大支流单位减沙比与典型小流域单位减沙比2组均值在水平0.1下无显著差异,大支流单位减沙比均值减去小流域单位减沙比均值的差值的95%置信区间为(-0.00264, 0.01416);而由水沙基金1期计算成果计算的大支流单位减沙比与典型小流域单位减沙比2组均值在水平0.01下无显著

差异,大支流单位减沙比均值减去小流域单位减沙比均值的差值的95%置信区间为(-0.00094, 0.015181)。所以,统计检验说明,大支流与小流域的单位减沙比均值相同的可能性较大。

3 讨论

水土保持减沙的空间尺度效应与流域产沙随空间尺度的变化有着密切的关系。世界上许多流域输沙模数之所以随流域面积而减小,一方面是因为随流域面积增大,流域地势减缓,侵蚀模数减小;另一方面是因为泥沙在输移过程中沿途发生落淤沉积^[9]。但是,流域侵蚀产沙本身除了受地势影响外,还受降雨量和强度、地表物质可蚀性、植被覆盖度等因素的影响^[10]。黄河中游流域降雨条件、地面组成物质和植被覆盖度存在一定的空间不均一性,而且黄土高原的泥沙输移比接近于1^[11-12]。所以黄河中游的输沙模

数虽然变化范围较大,但输沙模数并不随流域面积变化呈现明显的增大或减小(如图 4)。

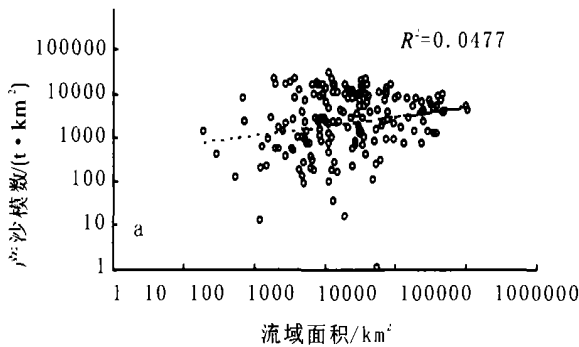


图 4 黄土高原流域输沙模数与流域面积关系图

既然黄土高原的侵蚀产沙模数尺度效应不明显,那么,水土保持措施的减沙模数也不应随空间尺度变化而发生显著的变化。另外,从流域空间结构来说,小流域是大流域的组成部分,如果小流域在大流域中分布均匀,其平均特征应能代表大流域的坡面和支沟(小流域主沟)的整体产沙特征,所以小流域不能反映的是发生在较大流域中主沟和干流内的泥沙侵蚀沉积结果。这些主沟和干流组成的线单元比以小流域组成的面单元的侵蚀产沙对流域总产沙量的贡献应该要小得多。那么,主沟和干流河道内泥沙冲淤在水土保持措施实施后的变化对水土保持措施的减沙模数的影响也应该比较小。再者,水土保持措施既减沙也减水,水土保持措施实施前后主沟和干流河道内的泥沙侵蚀和沉积可能变化不大。因此,黄土高原上从不足 1 km^2 的小流域到约 $50\,000 \text{ km}^2$ 的大流域,水土保持减沙模数空间尺度效应不明显。

水土保持措施减沙比消除了不同区域产沙模数不同的影响,突出了主沟和干流河道内泥沙冲淤这一过程可能造成水保措施减沙随流域尺度变化的作用。而出于同样的原因,水土保持措施减沙比与减沙模数一样也没有表现出明显的空间效应。由此我们可以认为,由大量小流域样本得到的无偏平均减沙比估计值应能大致代表黄河中游的平均减沙比。

水保措施分为梯田、坝地、造林、种草等多种措施,它们的拦沙作用是不同的,而且随降雨特性和措施质量而变化^[4, 13]。因此同一水保面积下出现不同的水保减沙比是非常自然的现象,这应该是图 2 和图 3 中措施减沙比表现出较大变幅的主要原因。但是,目前在估算黄河主要支流的减沙效益中还不可能掌握详细的水保措施质量及其单项措施减沙量的资料,所以本研究只能采用治理程度,即水保面积占流域水土流失总面积的比例作为衡量流域水保措施水平。

获取不同地区更详细而准确的水保措施类型和质量及其单项措施减沙量的资料,将有助于我们更准确地掌握水土保持措施减沙空间尺度效应,提高对水土保持措施减沙量估算中空间尺度转换的精度。

4 结 论

实测数据的统计结果揭示出黄河中游水保措施减沙模数以及减沙比与流域尺度不存在明显的关系。黄河中游的平均减沙比与大量小流域得到的水保措施平均减沙比无明显差别。中游水土保持措施减沙所表现出的较弱的空间尺度效应与中游侵蚀产沙模数空间尺度效应不明显以及由水保措施所引起的干流和支沟中泥沙冲淤变化相对较小有关。

[参 考 文 献]

- [1] 陈永宗,景可,蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 194.
- [2] 孟庆枚. 黄土高原水土保持[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. 535.
- [3] 徐建华,牛玉国. 水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000. 296.
- [4] 于一鸣. 黄河中游多沙粗沙区水土保持减水减沙效益及水沙变化趋势研究[A]. 见: 黄河水利委员会水土保持局编. 黄河流域水土保持研究[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997. 136—197.
- [5] Owens P, Slaymaker O. Late Holocene sediment yields in small alpine and subalpine drainage basins [C]. British Columbia, IASH Publications, 1992, 209: 147—154.
- [6] 徐恒力,陈植华. 土壤侵蚀的 ETA 层次结构与空间尺度效应[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1995, 20(4): 459—464.
- [7] 王飞,李锐,杨勤科. 土壤侵蚀研究的尺度转换[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 9—12.
- [8] 浙江大学数学系高等数学教研组编. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979. 352.
- [9] Chorley R J, Schumm S A, Sugden D E. Geomorphology [M]. London: Methuen, 1984. 605.
- [10] Knighton D. Fluvial Forms and Processes: New Perspective. London: Arnold, 1998. 383.
- [11] 龚时钰,熊贵枢. 黄河泥沙的来源和输移[A]. 见: 中国水利学会, 河流泥沙国际学术讨论会论文集[C]. 北京: 光华出版社, 1980. 43—50.
- [12] 景可. 黄土高原泥沙输移比的研究[A]. 见: 陈永宗主编, 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集[C]. 北京: 气象出版社, 1989. 14—26.
- [13] 熊运阜,王宏兴. 梯田,林地,草地减水减沙效益指标初探[J]. 中国水土保持, 1996(8): 10—14.