

# 无定河粗泥沙产沙量的变化及其原因

许炯心

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

**摘要** 为了解决黄河治理中迫切需要解决的粗泥沙来源和数量问题,依据大量实测资料,运用统计方法对无定河粗泥沙产沙量进行研究。结果表明:无定河流域  $d > 0.05 \text{ mm}$  粗泥沙产沙量呈现出减少趋势,这种减少与年降水量、年沙尘暴频率的减少和水土保持面积的增大有一定的因果关系;估算出最大 30 d 降雨量和年沙尘暴频率的变化对  $d > 0.05 \text{ mm}$  粗泥沙产沙量变化的贡献率分别为 66.5% 和 33.5%,即沙尘暴特征的变化对粗泥沙产沙量变化的贡献率相当于暴雨特征的变化贡献率的 1/2。建立了粗泥沙年产沙量与最大 30 d 降雨量、年沙尘暴频率和水土保持措施面积之间的回归方程,表明粗泥沙年产沙量随最大 30 d 降雨量、年沙尘暴频率的减小而减小,随水土保持面积的增大而减小。因此,20 世纪 50 年代以来暴雨的减弱、沙尘暴的减弱和水土保持措施面积的增大是无定河流域粗泥沙产沙量减少的原因。

**关键词** 侵蚀与产沙;黄河粗泥沙来源;风水两相侵蚀;水土保持;无定河

## Temporal variation of the coarse sediment yield in the Wudinghe River Basin and the cause of formation

Xu Jiongxin

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, 100101, Beijing, China)

**Abstract** Based on the data of suspended sediment yield, suspended sediment grain size, precipitation, sand-dust storms and areas of soil and water conservation measures, a study has been made on the relatively coarse ( $> 0.05 \text{ mm}$ ) sediment yield ( $Q_{s, > 0.05}$ ) in the Wudinghe River. The  $Q_{s, > 0.05}$  shows a decreasing trend, which can be related with the decrease in annual precipitation ( $P_m$ ) and number of sand-dust storm days ( $D_{ss}$ ) and the increased area of soil and water conservation measures ( $A_{tgc}$ ). To assess the influence of precipitation and sand-dust storm on  $Q_{s, > 0.05}$ , a number of two-variable regression equations has been established, which  $Q_{s, > 0.05}$  relates to  $D_{ss}$  and one of the four rainfall indices: annual precipitation ( $P_m$ ), high-flow season (June – September) ( $P_{6-9}$ ), annually 1 day maximum ( $P_1$ ) and maximum 30 day ( $P_{30}$ ) precipitations. It has been found that the multiple correlation coefficient of the equation involved  $Q_{s, > 0.05}$  and  $D_{ss}$  and  $P_{30}$  is the largest, and the contribution of  $D_{ss}$  and  $P_{30}$  to  $\ln Q_{s, > 0.05}$  was estimated as 66.5% and 33.5%. A multiple regression equation between  $\ln Q_{s, > 0.05}$  and three influencing variables ( $D_{ss}$ ,  $P_{30}$  and  $A_{tgc}$ ) has been established, which indicates that the  $> 0.05 \text{ mm}$  sediment yield increased with  $D_{ss}$  and  $P_{30}$ , but decreased with  $A_{tgc}$ . Thus, the decrease in precipitation and sand-dust storms and the increase in the area of soil and water conservation measures are the cause for the decreasing trend in the relatively coarse sediment yield.

**Key words** Erosion and sediment yield; coarse sediment source of Yellow River; erosion by coupled wind-

收稿日期: 2007-06-18 修回日期: 2007-10-11

项目名称: 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程自然科学基金延伸支持领域前沿项目“黄河中游风水两相侵蚀产沙过程研究”(CXIOG-A04-08);国家自然科学基金“不同尺度流水地貌系统中的泥沙存贮与沉积汇研究”(40671019)

作者简介: 许炯心(1948—),男,研究员,博士生导师。主要研究方向:河流地貌学。E-mail: xujx@igsnrr.ac.cn

water processes; soil and water conservation; Wudinghe River

黄河下游泥沙的淤积,不仅取决于来自中游泥沙的数量,而且取决于泥沙的粒度组成。黄河下游强烈淤积的泥沙主要是  $d > 0.05 \text{ mm}$  粒径的粗泥沙<sup>[1-2]</sup>。黄河流域粗泥沙产沙量及其治理的研究,历来受到重视,已查明黄河中游多沙粗沙区的分布范围<sup>[1,3]</sup>和粗泥沙的来源<sup>[1,3-5]</sup>,发现了黄河中游支流悬移质粒度与含沙量、流量间的复杂关系<sup>[6-7]</sup>,同时,还研究了风水两相作用对侵蚀产沙的影响<sup>[8-9]</sup>、水土保持对侵蚀产沙的影响<sup>[10-12]</sup>。

位于黄河中游多沙粗沙区的陕北诸支流(如窟野河、无定河、孤山川等)位于风力-水力交互作用占优势的风沙—黄土转换带,是进入黄河最重要的粗泥沙来源区。其中,无定河流域面积只占三门峡以上黄河流域面积的 4.13%,年径流量仅占 3.46%,但年产沙量却占到 19.34%, $d > 0.05 \text{ mm}$  粗泥沙的数量占到 25%。无定河粗泥沙产沙量的变化及其原因研究不仅对于阐明黄河中游粗泥沙的产沙机制有重要意义,而且也粗泥沙来源区的侵蚀治理有重要意义。降雨的变化和水土保持措施的实施对无定河流域侵蚀产沙影响已有较多研究<sup>[10-11]</sup>,但风力作用的变化对粗泥沙产沙量变化的影响尚未见报道。笔者着眼于风力作用、水力作用和人类活动的影响,研究无定河粗泥沙产沙量的变化及其原因。

## 1 研究区概况

无定河是黄河中游的重要支流(图 1<sup>[13]</sup>),流域面积 3 万 261  $\text{km}^2$ ,流域出口控制站为白家川水文站,控制流域面积 2 万 9 662  $\text{km}^2$ 。流域位于毛乌素沙漠南缘及黄土高原北部地区。年降水量 409.1 mm,由北向南增加,北部 370 mm,南部增为 410 mm,属于暖温带半干旱气候。风沙区位于西北部,占全流域总面积的 54.3%<sup>[14]</sup>,侵蚀模数较低,东南部为黄土丘陵沟壑区,土壤侵蚀剧烈,面蚀、沟蚀和重力侵蚀均十分发育<sup>[14]</sup>。无定河流域的风水两相侵蚀产沙作用对于流域的产沙过程特别是粗泥沙的产沙过程起着十分重要的作用。

从 20 世纪 60 年代开始,国家在无定河流域中开展了水土流失治理工作,治理规模逐步扩大。截至 1996 年,全流域累计修建梯田 9.66 万  $\text{hm}^2$ ,造林 48.5 万  $\text{hm}^2$ ,种草 18.84 万  $\text{hm}^2$ ,淤成坝地 2.25 万  $\text{hm}^2$ 。修建淤地坝 1 万 1 710 座,累计可淤积库容 21.80 亿  $\text{m}^3$ ,建成 100 万  $\text{m}^3$  以上库容的水库 74 座,

总库容 14.90 亿  $\text{m}^3$ 。累计治理面积 8 364  $\text{km}^2$ ,占全流域水土流失面积的 36.4%<sup>[14]</sup>。

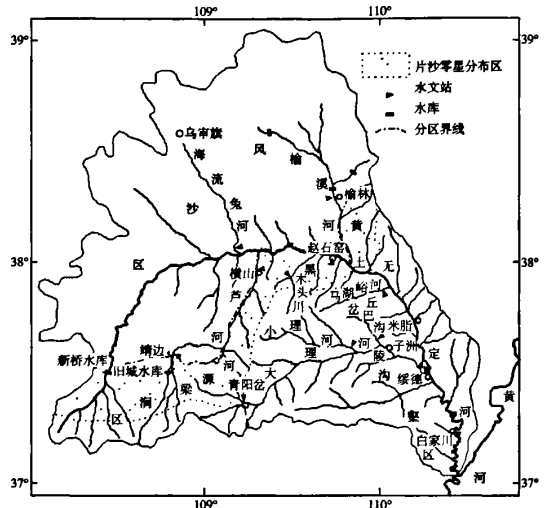


图 1 无定河流域示意图

Fig.1 Sketch map of the Wudinghe River Basin

## 2 资料来源与研究方法

主要利用出口控制站白家川水文站的资料,研究全流域产沙模数的变化及其与影响因素的关系。为了对粗泥沙侵蚀产沙的变化进行研究,以粒径  $d > 0.05 \text{ mm}$  粗泥沙的产沙模数为指标。研究中所涉及到的水文、泥沙和降水资料的年份为 1956—1993 年。依据全流域 90 多个雨量站的资料,求出了全流域面积平均的降雨量特征值,包括汛期(6—9 月)降雨量  $P_{6-9}(\text{mm})$ 、最大 1 d 降雨量  $P_1(\text{mm})$ 、最大 30 d 累计降雨量  $P_{30}(\text{mm})$  作为指标来表达降水对侵蚀产沙的影响。以沙尘暴频率(即每年出现沙尘暴天气的时间, d/a)来表示风力作用的强度及其后果,资料来自流域内的各县气象站。

无定河流域的水土保持措施分为梯田、造林、种草和修筑淤地坝等多种。研究涉及到 1956—1996 年间历年的全流域梯田、造林、种草和淤地坝淤成的坝地面积来自文献<sup>[14]</sup>。

依据上述资料,运用统计分析和时间序列分析方法,通过粗泥沙产沙模数和各个影响因子变化趋势的同步性和相异性的分析,估算各个因子对粗泥沙年产沙量的影响,从而对粗泥沙的治理提出建议。

### 3 结果与分析

#### 3.1 粗泥沙产沙量及影响因素的时间变化

3.1.1 粗泥沙产沙量的变化 图2中点绘了白家川站年产沙量、 $d > 0.05$  mm粗泥沙产沙量和  $d > 0.05$  mm粗泥沙占悬沙的质量百分比随时间的变化,可以看到,产沙量、 $d > 0.05$  mm粗泥沙产沙量均呈现明显的减小趋势。从1965年以后,  $d > 0.05$  mm粗泥沙占悬沙的质量百分比有减小的趋势。

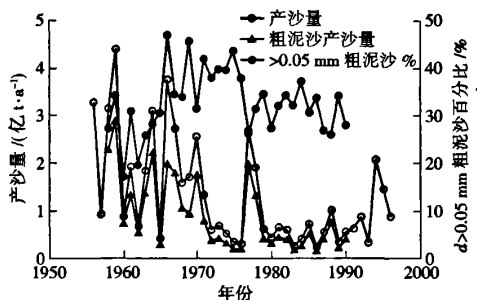


图2 白家川站年产沙量、 $d > 0.05$  mm粗泥沙产沙量和  $d > 0.05$  mm粗泥沙占悬沙的质量百分比随时间的变化

Fig.2 Temporal variations in sediment yield,  $d > 0.05$  mm coarse sediment yield, and the percentage of  $d > 0.05$  mm sediment of the total suspended sediment in the Baijiachuan Station

3.1.2 粗泥沙产沙量影响因素的变化 影响粗泥沙产沙量变化的因素,可以分为自然因素与人为因素2大类,前者包括降水特征,后者包括水土保持措施的实施和水利工程的修建。

图3点绘了无定河流域面平均年降水量( $P_m$ )、面平均汛期降雨量( $P_{6-9}$ )、面平均最大30 d降雨量

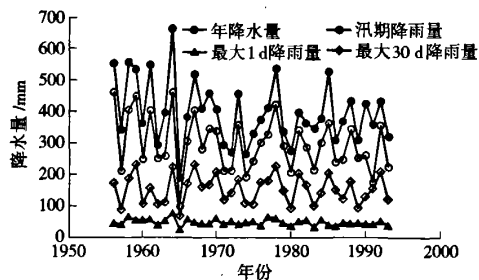


图3 无定河流域面平均年降水量、汛期降雨量、最大30 d降雨量和最大1 d降雨量随时间的变化

Fig.3 Temporal variations in 4 rainfall indices in the Wudinghe River Basin, including annual, high-flow season (June - September), annually 1 day maximum, and maximum 30-day precipitations

( $P_{30}$ )和面平均最大1 d降雨量( $P_1$ )随时间的变化,可以看出,上述4个降水特征值均略有减小的趋势。相关系数的计算表明,  $P_m$ 、 $P_{6-9}$ 、 $P_{30}$ 和  $P_1$  与时间的相关系数分别为  $-0.276$ 、 $-0.283$ 、 $-0.048$ 和  $-0.288$ 。在样本数为  $N = 38$  时,在0.10水平上显著的相关系数临界值为0.274,可见4项降雨指标均呈现减小趋势。

许炯心<sup>[9]</sup>发现,在包括无定河流域在内的黄河中游多沙粗沙区的若干支流中,造成风力侵蚀和水力侵蚀的外营力在季节分配上是相异的,因而形成了风水两相侵蚀产沙作用。在冬季和春季,风力将风沙区的风成沙或一部分基岩风化物搬运到坡面、沟道和河流的滩地上,其中一部分可以直接进入河道中。夏季的暴雨径流使黄土区受到侵蚀,形成了含有大量细泥沙的浑水并汇入沟道和河道,进而使前期存贮在那里的粗颗粒泥沙悬浮而被搬运,形成输送能力极强的高含沙洪水,使粗泥沙的产沙模数达到很高的量级<sup>[10]</sup>。中国科学院沙漠研究所曾对无定河风成沙的入河量进行推算,结果表明,无定河风沙入河量每年为2 457万t,相当于这条河流年平均悬移质输沙量的11%<sup>[8]</sup>。按1956—1990年平均,白家川站  $d > 0.05$  mm粗泥沙的年输沙量为4 169万t,而黄土高原北部风沙区地表物质采样粒度分析,在风成沙中,  $d > 0.05$  mm的百分比极高,平均为99.2%,几乎为100%<sup>[8]</sup>;故可以计算出,无定河风沙入河量可以占到白家川站  $d > 0.05$  mm粗泥沙的年输沙量的61.1%。因此,如果风力侵蚀作用发生变化,无定河粗泥沙的产沙量也会发生变化。图4点绘了无定河流域平均沙尘暴频率( $D_m$ )、 $d > 0.05$  mm粗泥沙百分比和产沙量随时间的变化。计算出

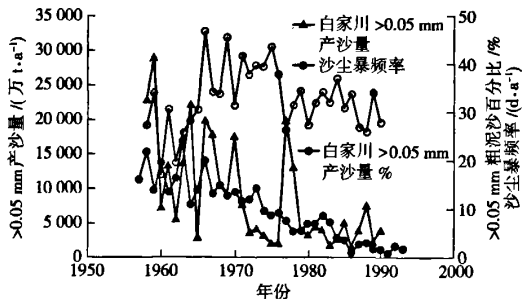


图4 无定河流域平均沙尘暴频率、 $d > 0.05$  mm粗泥沙百分比和产沙量随时间的变化

Fig.4 Temporal variations in annual number of sandstorm days, percentage of  $d > 0.05$  mm sediment, and  $d > 0.05$  mm sediment yield in the Wudinghe River Basin

了流域平均沙尘暴频率与时间的相关系数,高达  $-0.911$ ,可见减小的趋势极为明显。可以认为,图中显示的  $d > 0.05 \text{ mm}$  粗泥沙百分比和产沙量的减少趋势与沙尘暴频率的减小有一定的因果关系。

从 20 世纪 60 年代开始,国家在无定河流域中展开了水土流失治理工作,治理规模逐步扩大。图 5 显示,从 1970 年以来,梯田、坝地、造林和种草的面积都呈现增大的趋势。

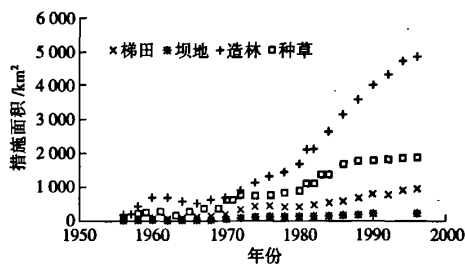


图 5 无定河流域梯田、坝地、造林和种草面积随时间的变化

Fig.5 Temporal variation in areas of 4 soil and water conservation measures in the Wudinghe River Basin

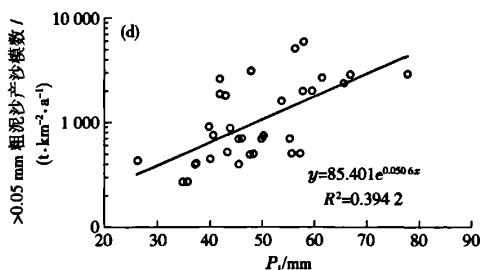
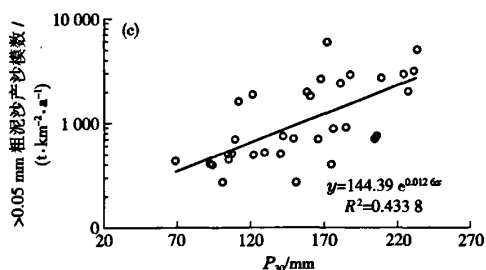
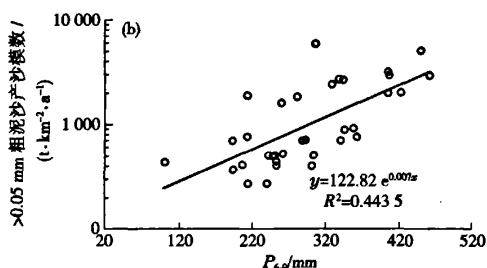
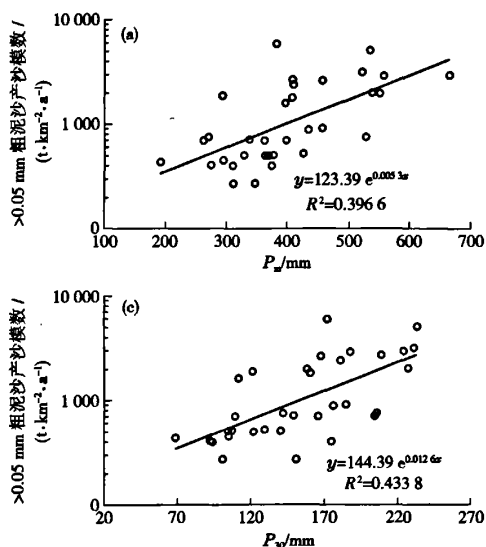


图 6 白家川站粗泥沙年产沙量与无定河流域年平均降水量、面平均汛期降雨量、面平均最大 30 d 降雨量和面平均最大 1 d 降雨量之间的关系

Fig.6 Plots of  $>0.05 \text{ mm}$  coarse sediment yield in the Baijiachuan Station against four rainfall indices: annual (a), high-flow season (b), annually 1 day maximum (c), and maximum 30 day (d) precipitations in the Wudinghe River Basin

河流域内水土保持措施(梯田、造林、种草和坝地)总面积的关系。可以看到,在总体上,二者之间呈负相关关系,但仔细观察后发现,所有点可以用两条斜率不同的直线来拟合,二者之间存在着一个转折点。当水土保持面积小于  $3500 \text{ km}^2$  时,粗泥沙年产沙量

### 3.2 粗泥沙的产沙量与影响因素的关系

粗泥沙的产沙过程与水力作用、风力作用有密切关系。从自然地理因素的角度考虑,前者可以用降雨特性来表达,后者则可以用风力和沙尘暴特性来表达。图 6 分别点绘了白家川站粗泥沙年产沙量( $Q_{s, >0.05}$ )与无定河流域面平均年降水量( $P_m$ )、面平均汛期降雨量( $P_{6-9}$ )、面平均最大 30 d 降雨量( $P_{30}$ )和面平均最大 1 d 降雨量( $P_1$ )之间的关系,并给出了回归方程和相关系数的平方值。可以看到, $Q_{s, >0.05}$ 与 $P_m$ 、 $P_{6-9}$ 、 $P_{30}$ 和 $P_1$ 均有较好的正相关关系。粗泥沙年产沙量 $Q_{s, >0.05}$ 与 $P_{6-9}$ 的相关程度最高,与 $P_{30}$ 的相关程度次之,与 $P_m$ 的相关程度再次之,与 $P_1$ 的相关程度居第四。图 7 点绘了白家川站粗泥沙年产沙量( $Q_{s, >0.05}$ )与无定河流域年平均沙尘暴频率关系,二者之间也存在着正相关关系,即随着沙尘暴频率的增大,粗泥沙的产沙量也增多。

无定河流域中,水土保持措施的实施是对侵蚀产沙过程关系最密切影响最大的人类活动方式。图 8 点绘了白家川站粗泥沙年产沙量( $Q_{s, >0.05}$ )与无定

随水土保持面积的增大而迅速减小;当水土保持面积大于  $3500 \text{ km}^2$  时,粗泥沙年产沙量基本上不随水土保持面积的增大而减小;因此,水土保持面积  $3500 \text{ km}^2$  可以视为该地区粗泥沙年产沙量随水土保持面积变化的一个临界值。

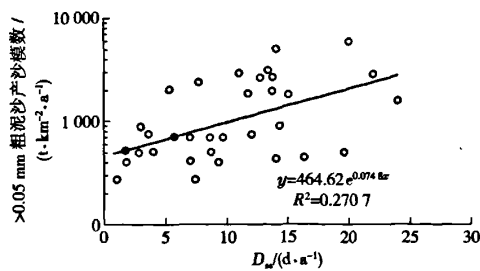


图 7 白家川站粗泥沙年产沙量与无定河流域年平均沙尘暴频率关系

Fig.7 Relationship between  $d > 0.05$  mm sediment yield in the Baijiachuan Station and annual number of sand-dust storm days in the Wudinghe River Basin

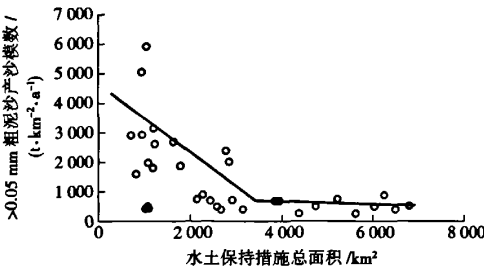


图 8 白家川站粗泥沙年产沙量与无定河流域内水土保持措施(梯田、造林、种草和坝地)总面积的关系

Fig.8 Relationship between the  $d > 0.05$  mm coarse sediment yield of the Wudinghe River Basin and total area of soil and water conservation measures in the Baijiachuan Station

3.3 粗泥沙的产沙量与影响因素的多元回归分析

用多元回归分析对降水变化、沙尘暴频率变化和水土保持措施面积变化对无定河流域粗泥沙产沙

量变化的影响进行了综合评价。以白家川站粗泥沙产沙量( $Q_{s, > 0.05}$ )为因变量,作为影响因子的自变量包括:1)降水特征,用年雨量( $P_m$ ),汛期降雨量( $P_{6-9}$ ),最大1d降雨量( $P_1$ )与最大30d累积降雨量( $P_{30}$ )表示;2)风沙作用特征,用历年沙尘暴频率( $D_m$ )表示;3)水土保持措施面积( $A_{tgc}$ ),用到某一年为止的梯田( $A_t$ )、坝地( $A_e$ )、造林( $A_f$ )和种草( $A_g$ )的保存面积之和来表示。由于目前所收集到的悬移质泥沙粒度资料的年限为1956—1990年,故对于粒径 $d > 0.05$  mm粗泥沙产沙量的分析只能利用这一时段的资料。

为了对不同降水指标的变化、沙尘暴频率的变化对于 $Q_{s, > 0.05}$ 变化的影响进行评价,分别建立了 $Q_{s, > 0.05}$ 与 $D_m$ 和4个不同降水指标之间的二元回归方程,见表1~4。回归方程的形式为

$$Q_{s, > 0.05} = a + bP + cD_m \tag{1}$$

式中 $P$ 为 $P_m$ 、 $P_{6-9}$ 、 $P_{30}$ 和 $P_1$ 中的任意一个。

由于上式中各变量的数量级相差很大,不能直接根据回归系数( $b$ 和 $c$ )的大小来判定各变量贡献的大小。我们对各变量的数据进行了标准化,使之在0~1之间,然后重新进行回归计算,得到常数项为0的回归方程为

$$Q_{s, > 0.05} = b^* P + c^* D_m \tag{2}$$

上式中回归系数 $b^*$ 、 $c^*$ 绝对值的大小可以反映其变化对三角洲造陆速率变化的贡献率的大小。由此可以求出 $P$ 对 $Q_{s, > 0.05}$ 的贡献率 $C_p$ 和 $D_m$ 对 $Q_{s, > 0.05}$ 的贡献率 $C_d$ 分别为:

$$C_p = b^* / (b^* + c^*) \tag{3}$$

$$C_d = c^* / (b^* + c^*) \tag{4}$$

表 1  $Q_{s, > 0.05}$ 与 $D_m$ 和 $P_m$ 的回归结果

Tab.1 Results of multiple regression between  $D_m$  and  $P_m$

项目	数据标准化前	数据标准化后	t-检验结果	显著性概率水平	各变量的贡献率/%
常数项	5.662 1	0	22.950 7	0.000 0	
$P_m$ 系数	0.002 6	0.569 7	4.372 9	0.000 1	$P_m$ 63.4
$D_m$ 系数	0.022 6	0.328 9	2.524 6	0.017 1	$D_m$ 36.6

注:复相关系数 $R = 0.718 0$ ,  $F$ 检验的结果 $F = 15.965$ ,显著性概率 $p = 0.000 02$ ,标准均方误差 $E_s = 0.346 28$ 。

表 2  $Q_{s, > 0.05}$ 与 $D_m$ 和 $P_{6-9}$ 的回归结果

Tab.2 Results of multiple regression between  $D_m$  and  $P_{6-9}$

项目	数据标准化前	数据标准化后	t-检验结果	显著性概率水平	各变量的贡献率/%
常数项	5.582 5	0	26.418 8	0.000 0	
$P_{6-9}$ 系数	0.003 8	0.650 9	5.597 0	0.000 0	$P_{6-9}$ 67.1
$D_m$ 系数	0.021 9	0.318 7	2.740 2	0.010 2	$D_m$ 32.9

注:复相关系数 $R = 0.782 2$ ,  $F$ 检验的结果 $F = 23.657$ ,显著性概率 $p = 0.000 01$ ,标准均方误差 $E_s = 0.309 91$ 。

表 3  $Q_{s, > 0.05}$  与  $D_m$  和  $P_{30}$  的回归结果  
Tab.3 Results of multiple regression between  $D_m$  and  $P_{30}$

项目	数据标准化前	数据标准化后	t-检验结果	显著性概率水平	各变量的贡献率/%	
常数项	5.498 2	0	32.203 4	0.000 0		
$P_{30}$ 系数	0.007 7	0.727 0	7.572 6	0.000 0	$P_{30}$	66.5
$D_m$ 系数	0.025 2	0.366 4	3.816 0	0.000 6	$D_m$	33.5

注:复相关系数  $R=0.853\ 0$ ,  $F$  检验的结果  $F=40.058$ , 显著性概率  $p=0.000\ 01$ , 标准均方误  $E_s=0.259\ 68$ 。

表 4  $Q_{s, > 0.05}$  与  $D_m$  和  $P_1$  的回归结果  
Tab.4 Results of multiple regression between  $D_m$  and  $P_1$

项目	数据标准化前	数据标准化后	t-检验结果	显著性概率水平	各变量的贡献率/%	
常数项	5.611 8	0	18.563 1	0.000 0		
$P_1$ 系数	0.023 3	0.521 0	3.640 6	0.001 0	$P_1$	64.5
$D_m$ 系数	0.019 7	0.286 1	1.999 4	0.054 7	$D_m$	35.5

注:复相关系数  $R=0.670\ 7$ ,  $F$  检验的结果  $F=12.265$ , 显著性概率  $p=0.000\ 13$ , 标准均方误  $E_s=0.369\ 02$ 。

从表 1~4 可以看出,对于  $P_m$ 、 $P_{6-9}$ 、 $P_{30}$  和  $P_1$  而言,回归方程的复相关系数分别为 0.718 0、0.782 2、0.853 0 和 0.670 7,复相关系数在采用  $P_{30}$  作为降雨指标时取得最大值。风水两相作用导致的侵蚀产沙既与风力作用有关,又与水力作用有关。春季盛行的风力作用将大量粗颗粒泥沙吹送到河道中,在随后发生的夏季暴雨所产生径流的作用下,特别是在高含沙水流的作用下,粗泥沙进一步向河道下游输送到出口控制断面以下。在风力作用较强而暴雨较少的年份,虽有大量粗泥沙进入河道,但缺少进一步将这些粗泥沙向下搬运的动力;而在风力作用较弱而暴雨较多的年份,虽有搬运粗泥沙的动力,但河道中的粗泥沙较少。显然,在这 2 种情形下粗泥沙的产沙量均不会很大,只有在风力作用和水力作用均较强的年份,即沙尘暴频率和最大 30 d 降雨量均较多的年份,才会出现较高的粗泥沙产沙量。这就是在表 1~4 的回归方程中,当选用  $D_m$  和  $P_{30}$  回归效果最为显著的原因,因此,最终采用下列 2 式表达风力作用和水力作用对粗泥沙产沙量的影响。

$$\ln Q_{s, > 0.05} = 5.498\ 2 + 0.007\ 7\ P_{30} + 0.025\ 2\ D_m \quad (5)$$

$$\ln Q_{s, > 0.05} = 0.727\ 0\ P_{30} + 0.366\ 4\ D_m \quad (6)$$

由式(6)估算出,  $P_{30}$  和  $D_m$  的变化对  $\ln Q_{s, > 0.05}$  变化的贡献率分别为 66.5% 和 33.5%,即沙尘暴特征的变化对粗泥沙产沙量变化的贡献率相当于暴雨特征的变化贡献率的 1/2。

为了体现自然因子和人为因子对粗泥沙产沙量变化的影响,建立了粗泥沙年产沙量与最大 30 d 降雨量、年沙尘暴频率和水土保持措施面积之间的关

系如下:

$$\ln Q_{s, > 0.05} = 5.706\ 0 + 0.007\ 6\ P_{30} + 0.017\ 0\ D_m - 0.000\ 37A_{tgc} \quad (7)$$

复相关系数  $R$  为 0.856, 标准均方误  $E_s$  为 0.261 1 (对数单位),其余的统计参数见表 5。上式表明,粗泥沙年产沙量随最大 30d 降雨量、年沙尘暴频率的减少而减少,随水土保持面积的增大而减少;因此,20 世纪 60 年代中期以来暴雨的减弱、沙尘暴的减弱和水土保持措施面积的增大,导致了无定河流域粗泥沙产沙量的减少。

表 5 回归方程的统计参数  
Tab.5 Statistical parameters of regression

	平方和	自由度	均方	F 值	显著性概率水平
回归	5.449 4	3	1.81	26.653 2	$1.76 \times 10^{-8}$
剩余	1.976 4	29	0.068 2		
总和	7.425 8				

## 4 结论

从 1965 年以来,无定河流域  $d > 0.05\ mm$  粗泥沙百分比和粗泥沙产沙量呈现出减少趋势,这种减少与年降水量、年沙尘暴频率的减少和水土保持面积的增大有一定的因果关系。最大 30 d 降雨量和沙尘暴频率的变化对粗泥沙产沙量变化的贡献率分别为 66.5% 和 33.5%,即沙尘暴特征的变化对粗泥沙产沙量变化的贡献率相当于暴雨特征的变化贡献率的 1/2。建立了粗泥沙年产沙量与最大 30 d 降雨量、年沙尘暴频率和水土保持措施面积之间的多元

回归方程, 方程显示, 粗泥沙年产沙量随最大 30 d 降雨量、年沙尘暴频率的减少而减少, 随水土保持面积的增大而减少; 因此, 20 世纪 60 年代中期以来, 暴雨的减弱、沙尘暴的减弱和水土保持措施面积的增大是无定河流域粗泥沙产沙量的减少的原因。

研究成果表明, 风沙的治理对于控制粗泥沙的来源、减少进入黄河的粗泥沙数量有重要意义, 在黄河多沙粗沙区的治理中不容忽视。

## 5 参考文献

- [1] 钱宁, 王可钦, 阎林德, 等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响//第1次河流泥沙国际学术讨论会论文集. 北京: 光华出版社, 1980: 53-62
- [2] 许炯心. 黄河上中游产水产沙系统与下游河道沉积系统的耦合关系. 地理学报, 1997, 52(5): 421-429
- [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. 郑州: 黄河水利出版社, 2000: 1-296
- [4] 唐克丽. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 118-152
- [5] 景可, 陈永宗, 李凤新. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1993: 107-131
- [6] 许炯心. 黄河中游支流悬移质粒度与含沙量、流量间的复杂关系. 地理研究, 2003, 22(10): 39-48
- [7] Xu J X. The optimal grainsize composition of suspended sediment of hyperconcentrated flows in the middle Yellow River. International Journal of Sediment Research, 1997, 12(3): 170-176
- [8] 杨根生. 黄土高原北部地区土地沙漠化综合治理. 北京: 科学出版社, 1991: 1-242
- [9] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区的风水两相侵蚀产沙过程. 中国科学: D 辑, 2000, 30(5): 540-548
- [10] 冉大川, 刘斌, 白志刚, 等. 河龙区间减沙效益与水土流失治理度的关系. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 24-34
- [11] 朱金兆, 胡建忠. 黄河中游地区侵蚀产沙规律及水土保持措施减洪减沙效益研究综述. 中国水土保持科学, 2004, 3(2): 41-48
- [12] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的响应. 地理学报, 2004, 59(6): 972-981
- [13] 师长兴. 风力侵蚀对无定河流域产沙作用定量分析. 地理研究, 2006, 25(2): 285-293
- [14] 张经济, 冀文慧, 冯晓东. 无定河流域水沙变化现状、成因和发展趋势研究//汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究: 第2卷. 郑州: 黄河水利出版社, 2003: 393-429

(责任编辑: 程 云)

## 中国水土保持学会水土保持监测专业委员会 暨学术研讨会在广西桂林召开

中国水土保持学会水土保持监测专业委员会暨学术研讨会于 2007 年 12 月 4—5 日在广西壮族自治区桂林市召开。

水利部水土保持司张学俭副司长参加会议并做了重要讲话, 他强调, 深入学习贯彻党的十七大精神, 以科学发展观为指导, 按照水利部党组提出的可持续发展治水思路, 开拓创新, 努力做好新时期的水土保持监测工作, 为中国水土保持事业又好又快的发展做出应有的贡献。

中国水土保持学会水土保持监测专业委员会主任委员郭索彦做了题为《全面贯彻党的十七大精神 推动水土保持监测工作健康持续发展》的报告。

参加会议的有水利部水土保持司, 中国水土保持学会, 各流域机构水土保持监测中心站, 各省(自治区、直辖市)水土保持监测总站, 水土保持监测专业委员会委员等共计 66 人。

会议共收集论文 44 篇, 其中 38 篇发表于《水土保持通报》2007 年第 4 期。会上还评出了优秀论文一等奖 3 篇, 优秀论文二等奖 6 篇, 并为获奖者颁发了优秀论文证书。

9 位代表在大会上做了学术报告, 来自各地水土保持监测机构的会员和代表们在大会上进行了研讨交流, 报告和交流期间, 与会代表积极响应, 大家畅所欲言, 献言献策, 是一次难得的学术研讨会。

(中国水土保持学会: 宋如华)