

文章编号: 0375-5444 (2000) 06-0737-07

黄河中游流域特性对产沙量与降雨关系影响

卢金发

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在黄河中游河龙区间选择了 16 个不同自然地理类型流域, 通过流域产沙量与降雨指标之间关系分析表明, 不同类型流域产沙量-降雨之间相关曲线的斜率不同; 在相同的降雨指标条件下, 越往北部产沙量变幅越大。流域产沙量与降雨指标之间关系的上述分异, 主要受流域下垫面环境特性和暴雨分布特征控制。

关 键 词: 自然地理类型; 流域产沙量; 降雨

中图分类号: P931.1; P511.2 **文献标识码:** A

流域产沙量与降雨的关系, 是流域产沙量的重要研究内容之一。然而有关不同自然地理类型流域产沙量与降雨关系研究较少。在黄河中游河龙(河口-龙门)区间自北而南选择了 16 个不同自然地理类型流域, 通过其流域产沙量与降雨关系的建立, 研究不同自然地理类型产沙与降雨关系特征, 进而探讨其影响因素。不同降雨特征已被用来建立流域产沙量与降雨关系, 包括最大 30 分钟降雨强度, 多年平均年降雨量, 汛期降雨量, 降雨变差系数, 复合降雨指数 K 等等^[1~5]。研究表明, 鉴于复合降雨指数 K 不仅包含了暴雨的信息, 而且还反映降雨的年际变差特性及不同降雨特征值的产沙信息, 在黄河中游地区的适用性明显优于其它降雨指标。流域产沙量和降雨资料均采集自黄河流域历年的水文年鉴, 资料系列最早起迄时间为 1955 年, 资料系列长度为 20~32 年。其中, 流域产沙量以流域输沙模数代表, 降雨量资料采用流域平均降雨量。对于拥有 2 个或 2 个以上雨量的流域, 其流域平均降雨量则采用流域内全部雨量站的数学平均值表示。

1 不同自然地理类型流域产沙-降雨关系

本文采用复合降雨指数 K 作为产沙量与降雨关系研究的降雨特征值。文献[5]中的复合降雨指数 K 表示为:

$$K = a \times M_1 / \overline{M_1} + b \times M_{30} / \overline{M_{30}} + c \times M_{汛} / \overline{M_{汛}} \quad (1-1)$$

式中 M_1 、 M_{30} 、 $M_{汛}$ 分别为最大 1 日、最大 30 日和汛期降雨量, $\overline{M_1}$ 、 $\overline{M_{30}}$ 、 $\overline{M_{汛}}$ 分别是多

收稿日期: 1999-12-20; 修订日期: 2000-07-05

基金项目: 国家自然科学基金委员会和水利部联合资助重大项目(59890200)和中国科学院地理科学与资源研究所创新项目(CX10G-A00-05-02) [Foundation Item: National Natural Science Foundation of China, No. 59890200]

作者简介: 卢金发(1944-), 男, 研究员, 中国地理学会遥感专业委员会理事。长期从事流域侵蚀与产沙及其所引起的土地退化和土地荒漠化研究与制图, 主编大型专题图件一套, 发表论文近 30 余篇, 合作主编专著 4 本。E-mail: lujf@mx.cei.gov.cn

年平均最大 1 日、最大 30 日和汛期降雨量， a 、 b 、 c 分别为晋西地区黄河一级支流流域最大 1 日、最大 30 日和汛期产沙量占全年产沙量百分比的平均值。所不同的是，本文上式中的系数 a 、 b 、 c 分别为各流域实测最大 1 日，最大 30 日和汛期产沙量占全年产沙量的百分比。

图 1 是黄河中游河龙区间若干流域产沙量与降雨指数的关系，由图可见，流域产沙量与降雨之间存在着明显的相关关系。然而，对于不同自然地理类型流域，相关曲线的斜率不同。这说明，随着降雨的增加，不同自然地理类型流域产沙量增加的速率不同；同时，在相近的降雨条件下，不同自然地理类型流域的产沙强度也各不相同。其中，以无定河以北流域产沙量增加速率和产沙强度最大，如佳芦河、孤山川、皇甫川流域；其次是陕北大理河、延河流域，以及晋西湫水河、蔚汾河流域，南部汾川河、仕望川等流域的增加速率最小。

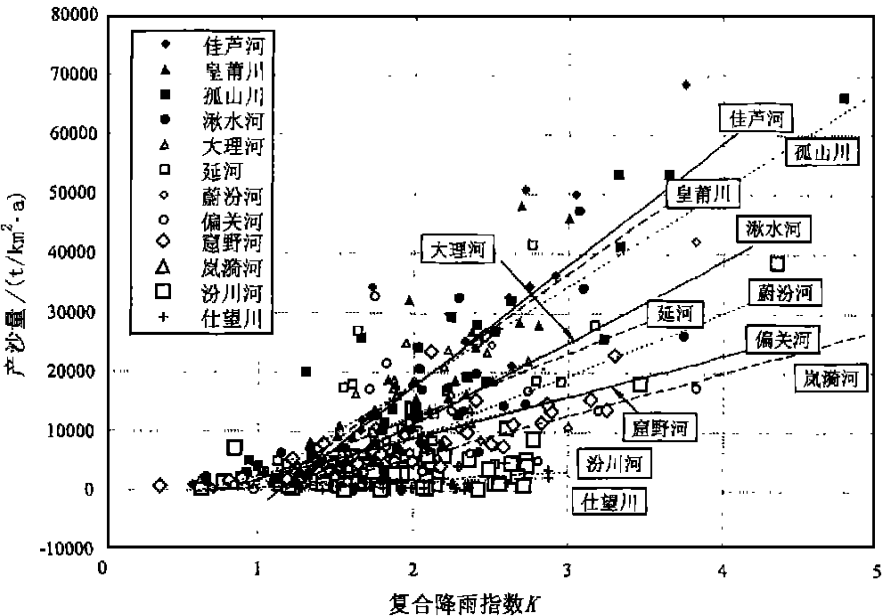


图 1 黄河中游河龙区间流域产沙量与降雨指标 K 关系

Fig. 1 Relation of sediment yield and rainfall index K in the Middle Yellow River Basin

陕北地区的窟野河、大理河流域，以及晋西偏关河、岚漪河等流域，虽然其地理位置都偏无定河流域以北地区，但产沙量随降雨的增加速率并非人们一般所认为的大，反而小于南部的延河、湫水河等流域。

不同自然地理类型流域产沙量随降雨变化的另一特点是，越往研究区北部，流域产沙量与降雨关系的点子越分散，即在 K 值相近的条件下，越往北部流域产沙量的变幅越大。由图 1 和图 2 可见，对于同一流域，最大与最小产沙量可以相差 1~3 倍。流域产沙量变幅的上述差异，在 K 值较小时，表现得不很明显，然而随着 K 值的增加，越趋增大。流域产沙量随降雨变化的这一特点主要是与北部和南部降雨分布特性的差异密切相关。

由此可见，同样的降雨作用在不同的流域下垫面上，所产生的泥沙量不同，最大和最小甚至可以相差数百倍。例如，当 K 为 2 时，基岩覆盖较广的仕望川流域产沙量仅

300 t/km²·a, 而北部以黄土覆盖为主的佳芦河流域产沙量则高达 50 000 t/km²·a。因此, 在进行流域产沙量与降雨关系时, 必须首先区分不同自然地理类型流域, 否则将是无意义的, 有时甚至会得到相反的关系, 即随着降雨量的增加, 流域产沙量反而减少, 如黄河中游地区由北部往南部, 由陕北、晋西黄土丘陵向山地地区过渡时。

2 流域环境特性对产沙-降雨关系的控制

鉴于降雨是独立于下垫面条件的流域环境因子, 在相近降雨条件下, 不同自然地理类型流域产沙量的上述差异, 首先是反映了流域下垫面环境条件的控制作用。

黄河中游河龙区间, 南北纵跨温带半湿润森林草原、半干旱草原和干旱荒漠草原地带, 地貌类型复杂, 呈现为山盆相间格局, 广泛分布着各类黄土地貌为若干山地所分隔, 如吕梁山、黄龙山、子午岭、六盘山等。因而, 处于不同自然地理单元的流域, 其植被、地面组成物质和地貌形态都各不相同。

在流域基本土地单元划分的基础上, 通过遥感方法, 结合野外实地调查和室内量计, 提取了河龙区间各流域植被覆盖度、地面组成物质和沟谷密度资料^[6]。其中植被覆盖指标 V_c 是在野外调查和验证的基础上, 通过目视解译确定的, 共划分为 5 级。地面物质指标 S_m 是在研究区主要地面组成物质分类的基础上, 根据其各自的野外侵蚀特征, 结合水文站输沙模数资料和室内抗蚀性试验数据, 综合计分而得。沟谷密度 D_d 是在每一基本土地单元内, 利用 1/50 000 地形图, 取样方量计而得。最后, 在流域基本土地单元信息提取的基础上, 通过面积加权平均获得流域平均植被覆盖度、地面组成物质和沟谷密度值数据。

图 2 是黄河中游河龙区间若干流域产沙与流域特性的关系, 图中 VSD 是流域下垫面环境特性综合指标, 表达为:

$$VSD = V_c + S_m + D_d \tag{2-1}$$

式中 V_c 、 S_m 和 D_d 分别为经归一化处理以后流域的植被覆盖度、地面组成物质和沟谷密度值数据, 其中 V_c 等于 1 减去归一化植被覆盖度, 以保证三者变化对流域产沙量影响的方向一致性。显然, 指标 VSD 反映流域下垫面环境的抗侵蚀产沙能力, VSD 越大, 流域抗侵蚀产沙的能力越弱, 因而在同样的侵蚀动力条件下, 侵蚀产沙强度越大; 反之, 流域抗侵蚀产沙的能力越强, 在同样的侵蚀动力条件下, 侵蚀产沙强度越小。

由图 2 可见, 流域产沙量与流域环境特性之间有着相当好的正相关关系, 随着流域 VSD 值的增加, 流域产沙量显著增加, 其相关系数可达 0.94。进一步分析表明, 不同自然地理类型流域在图 3 中所处的位置明显不同。其中, 佳芦河、皇甫川、孤山川流域位于曲线最上方, 汾川河、仕望川流域位于曲线最下方; 陕北地区的流域, 如大理河、延河流域, 以及晋西湫水河、蔚汾河流域, 位于曲线的中部。

图 2 中不同自然地理类型流域所处位置的不同, 显然是由其流域下垫面环境特性所决定的。佳芦河、皇甫川、孤山川流域, 由于其流域抗侵蚀产沙能力最弱, 产沙强度最强, 因而位于曲线最上方; 汾川河、仕望川流域则反之, 其流域抗侵蚀产沙能力最强, 产沙强度最弱, 因而位于曲线最下方; 延安、晋西地区的流域的抗侵蚀产沙能力介于上述二者之间, 因而位于曲线的中部。

神木以上窟野河流域, 位于黄土高原与鄂尔多斯过渡地区, 王道恒塔以上部分在地貌

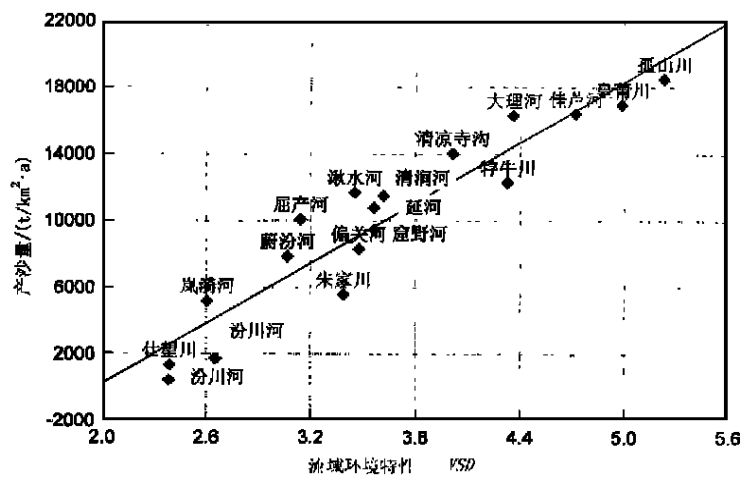


图 2 黄河中游河龙区间流域产沙量与流域环境特性的关系

Fig.2 Relation of sediment yield and river basin environment in the Middle Yellow River Basin

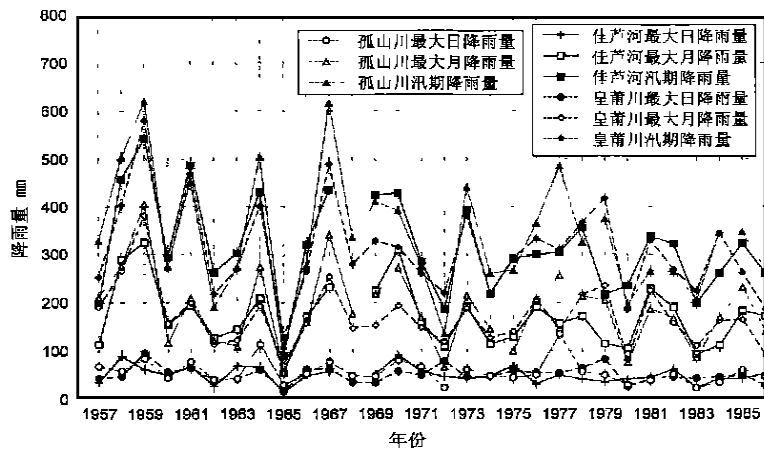


图 3 皇甫川、孤山川、佳芦河流域降雨量历年变化

Fig.3 Temporal variation of rainfall in Huangpuchuan, Gushanchuan and Jialuhe river Basins

上主要由鄂尔多斯高原面组成，地形起伏小，沙地覆盖面积大，因而流域抗侵蚀产沙的能力相对较强。晋西偏关河和岚漪河流域位于黄土高原与吕梁山过渡地带，流域基岩山地和黄土覆盖的基岩山地分别占约 70% 和 60%，其中有 50% 和 10% 位于现代侵蚀较弱的唐县期准平原上，流域平均植被覆盖度约为 50%，因而流域抗侵蚀产沙的能力也较强。因此，上述流域虽然其纬度与佳芦河、孤山川、皇甫川流域相近，但在图 2 中的位置明显偏下。

图 2 中各流域所处的位置，与图 1 所反映的产沙量随降雨变化特征完全吻合。可见，图 1 中不同自然地理类型流域产沙量随降雨变化速率的不同，主要是受流域下垫面环境特性所控制的，流域下垫面环境特性对流域产沙量与降雨关系起着十分重要的影响。

需要说明的是，所以采用 VSD 作为反映流域下垫面特性的指标，是为了方便讨论流域自然地理特性对产沙量与降雨关系的控制作用。至于地面组成物质、沟谷密度和植被覆盖

度对流域产沙量影响的权重, 目前尚无统一认识。作者认为, 植被对流域产沙量的影响是第一位的, 只有在植被覆盖比较均一的情况下, 地表物质和地貌形态特征的作用才会显现出来, 而地貌形态特征与前两者相比, 则是处于从属的地位。然而, 已有研究表明, 地表植被覆盖又受到地面组成物质的严格控制。可见, 三者之间关系及其对流域产沙量的影响极为复杂, 其权重孰大孰小, 有待今后继续研究, 本文暂作等权处理。

3 降雨特性对产沙-降雨关系的影响

对于同一流域而言, 由于其下垫面条件是基本相同, 因而相近降雨条件下产沙量变幅的不同, 显然是与其降雨分布特性有关。

图 3 和 4 分别是皇甫川、孤山川, 佳芦河流域产沙量和降雨量历年变化。以佳芦河为例, 其历年最大产沙量出现于 1970 年。然而, 该年汛期和年降雨总量并不大, 但最大 1 日降雨量却是历年来最大的, 最大 30 日降雨量也仅次于 1959 年。显然, 佳芦河流域 1970 年的产沙量峰值主要是由特大暴雨造成的, 而且是几场大暴雨的产物。又如孤山川流域的 1977 年产沙峰值, 该年的汛期降雨量和最大 30 日降雨量都不大, 然而其最大 1 日降雨异常大, 超出正常年份数倍。因此, 可以认为其产沙峰值主要是由一次特大暴雨所造成。1959 年皇甫川流域和孤山川流域同时出现产沙峰值, 对照图 3 和 4 可以清楚地看到, 该峰值的出现不仅是几场暴雨的产物, 也与该年降雨总量较大有关。

由此可见, 产沙峰值的出现主要是与降雨分布特征有关, 尤其是与暴雨分布特征密切相关。由于随着越往北部干旱气候过渡, 降雨的季节性变化越明显, 暴雨频率增加, 强度增大, 因而导致越往干旱区过渡, 在相同的 K 值条件下, 流域产沙量变幅越大。例如对照图 3~5 可见, 皇甫川流域 1967 年与 1972 年 K 值相近, 但由于前者最大 30 日降雨量和汛期降雨量均明显大于后者, 从而导致前者的产沙量超过后者约 1 倍。类似的, 孤山川由于 1959 年最大 30 日降雨量和汛期降雨量大大超过 1970 年, 尽管两者的 K 值相差不大, 但前者产沙量约等于后者的 1 倍。

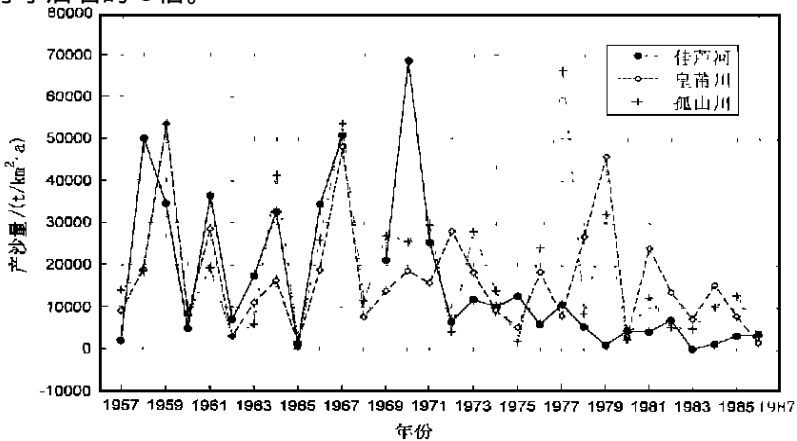


图 4 皇甫川、孤山川, 佳芦河流域产沙量历年变化

Fig. 4 Temporal variation of sediment yield in Huangpuchuan,

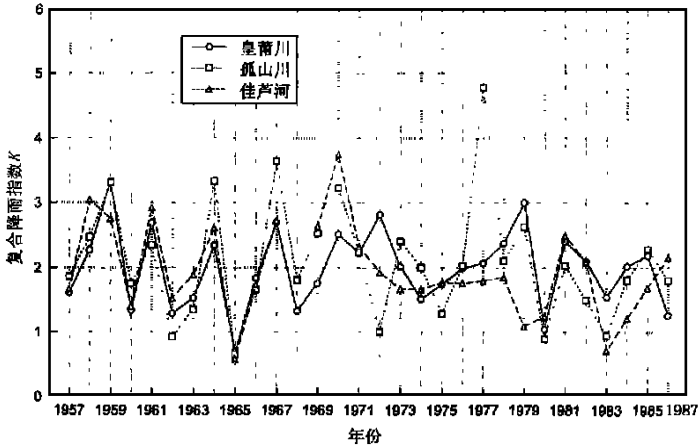


图 5 皇莆川、孤山川、佳芦河流域降雨指标 K 历年变化

Fig.5 Temporal variation of rainfall index K in Huangpuchuan, Gushanchuan and Jialuhe river Basins

其它因素，如流域内泥沙的前期暂时储存等，也可能对产沙峰值的出现产生影响。例如佳芦河 1970 年、孤山川 1977 年和皇甫川 1979 年产沙峰值出现之前，由于降雨总量和强度相对较小，一般都有几个产沙低值年。尤其是这些流域基岩侵蚀所占比重较大，重力侵蚀十分活跃，在降雨强度较小的年份，其侵蚀物质不能全部带到流域出口处，而在流域内暂时储存，遇到大水年时再被带出流域，从而导致产沙峰值的形成。

参考文献 (References):

[1] Wang Wanzhong. On the relations of soil loss to the precipitation characteristics in the loess regions[J]. *Bull. of Soil and Water Conservation*, 1983, 3(4): 7-13. (In Chinese) [王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究[J]. 水土保持通报, 1983, 3(4): 7-13.]

[2] Cai Qiangguo et al. The Processes and Modeling of Soil Erosion and Sediment Production in Small Catchment of the Loess Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1998. 9-18. (In Chinese) [蔡强国等. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M]. 北京: 科学出版社, 1998 9-18.]

[3] Jing Ke, Lu Jinfa et al. The Erosion Environment and Its Development of the Middle Yellow River Basin[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1997. 60-108. (In Chinese) [景可, 卢金发等. 黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997. 60-108.]

[4] Wang Menglou, Zhang Ren. On the model for sediment production based on one event of rainstorm in Cabagou Catchment, North Shaanxi Province[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1990, 4(1): 11-18. (In Chinese) [王孟楼, 张仁. 陕北岔巴沟流域次暴雨产沙模型的研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 11-18.]

[5] Zhou Mingyan. Sediment production of the river basins drained into the Yellow River and the effectiveness of its control in Shanxi Province[J]. *Shanxi Hydrology*, 1985(4): 31-40. (In Chinese) [周明衍. 晋西入黄河流产沙规律和流域治理效果[J]. 山西水文, 1985(4): 31-40.]

[6] The Compiling Committee for 1:500000. Map Series of Natural Resource and Environment in the Loess Plateau Area by using Remote Sensing On Survey and Series Mapping of Natural Resource and Environment at a Scale of 1:500000 by 1:500000 using Remote Sensing[M]. Beijing: Seismological Press, 1992. 68-109. (In Chinese) [黄土高原地区资源与环境遥感系列图编委会 主编. 黄土高原地区资源与环境遥感调查与系列制图研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992. 68-109.]

Effect of Geographical Characteristics of River Basins on Relation of Sediment Yield and Rainfall in the Middle Yellow River

LU Jin-fa

(*Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of
Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: Nineteen river basins in different geographical environments have been chosen to study the relations of sediment yield and rainfall in the Middle Yellow River Basin. Four major types of river basins were categorized, i.e., loess river basin with low vegetation coverage, mixed loess and rocky basin, rocky basin partly covered by loess and rocky basin. A composite index K was used as rainfall index for analysis of relations of sediment yield and rainfall.

It was showed by data plotting that obvious positive relation exists between specific sediment yield and rainfall index K . The slope of line much varied from one type of river basins to another, indicating different rates at which specific sediment yield increases with the increase of rainfall index K . Moreover, obvious variation of specific sediment yield was observed for the same K value. Specific sediment yield tends to become increasingly greater from the south to the north within the studied area as index K increases.

The environment features of river basins contribute a great deal to the control of the relations of specific sediment yield and rainfall index. An index VSD , integrated vegetation cover, surface material and morphological features, was used to indicate the resistance of river basin environment to erosion and relate to the specific sediment yield of river basin. It was revealed that specific sediment yield has obviously positive relations to the index VSD . It is of great interest that the places where different river basins were located on the plotting diagram are perfectly coincided with those on the diagram of the relation of specific sediment yield and rainfall K .

Since rainfall index K relates to both rainstorms and the total rainfall different frequencies and intensities of rainstorms could occur for the same K value. By comparing the temporal variations of specific rainfalls with specific sediment yield, it was shown that the peaks of specific sediment yield could be produced either by one rainstorm event or by several rainstorm events, even the total volume of precipitation.

Key words: physio-geographical types; sediment yield; rainfall