

# 黄土高原侵蚀产沙强度的时空变化特征

王万忠, 焦菊英

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用“水文—地貌法”即水文站实测值与侵蚀形态类型相结合的方法, 将黄土高原划分为 292 个侵蚀产沙单元, 分别对治理前后侵蚀产沙强度的时空变化特征进行了分析。结果表明: 黄土高原自 70 年代以来, 由于降雨因素和水土保持作用的影响, 侵蚀产沙强度的结构特征发生了明显变化, 侵蚀模数  $>10000 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$  的极强烈以上的侵蚀面积急剧减少 (减幅 71.8%), 减沙幅度最大的区域主要分布在以无定河为中心的极强烈侵蚀区和汾河流域的大部分地区 (减幅 50% 以上); 黄土高原侵蚀产沙, 按流域区段主要来自河龙区间 (54.8%), 按类型区主要来自黄土崩状丘陵沟壑区 (27.4%) 和干旱黄土丘陵沟壑区 (23.1%), 按侵蚀带主要来自暖温带半干旱草原风蚀、水力侵蚀带 (34.8%) 和暖温带半干旱森林草原水力侵蚀带 (32.6%); 以侵蚀模数  $>10000 \text{ t/km}^2\cdot\text{a}$  作为标准, 可将黄土高原划分为 7 个极强烈以上的侵蚀产沙中心, 其面积虽仅占全区总面积的 15.5%, 但其产沙量却占到全区总产沙量的 42.1%。

**关键词:** 黄土高原; 侵蚀产沙强度; 时空变化

**中图分类号:** S157

20 世纪 70 年代以来, 由于降雨条件和水土保持作用的影响, 黄土高原入黄泥沙发生了显著的变化。自 1987 年以来, 虽先后有诸多科研单位开展了黄河水沙的变化研究, 在黄河水沙的变化原因、侵蚀产沙规律、水土保持减水减沙效益、水土流失变化趋势等方面取得了一大批研究成果<sup>[1-7]</sup>, 但对黄土高原侵蚀产沙强度的时空变化特征研究较少。土壤侵蚀强度是研究土壤侵蚀规律, 制订水土保持规划和评价防蚀措施效果的基础数据, 也是进行水土流失动态检测的依据<sup>[8]</sup>。因此, 对黄土高原侵蚀产沙强度的时空变化进行分析, 对黄土高原生态环境建设、水土保持规划和减沙效益评价都具有指导意义。

## 1 侵蚀产沙单元的划分

目前, 在黄土高原区域侵蚀产沙量计算与空间分异特征的研究中, 能够直接应用且比较可靠系统的实测资料是这一地区的水文站泥沙观测资料。但由于黄土高原土壤侵蚀类型复杂, 区域差异较大, 在一个面积不大的流域内常常包含着几种侵蚀类型和多种侵蚀方式。而水文站测得的输沙量只能说明流域的平均侵蚀产沙状况, 不能反映出不同侵

收稿日期: 2001-06-04; 修订日期: 2001-09-26

基金项目: 国家“九五”科技攻关 (96-004-05-12) 和中国科学院水土保持研究所知识创新项目 (c183) [Foundation Item: "Ninth-Five-Year-Plan" for Science and Technology, No.96-004-05-12; and Knowledge Innovation Project of the Institute of Soil and Water Conservation, CAS, No.c183]

作者简介: 王万忠 (1952-), 男, 研究员, 长期从事水土保持效益评价与水土流失趋势预测研究, 出版专著 3 部, 发表论文 20 余篇。E-mail: scx@public.xa.sn.cn

蚀形态类型区的侵蚀强度差异。据此,采用水文站实测值与侵蚀形态类型相结合的方法,即“水文—地貌法”划分若干不同的侵蚀产沙单元(同一水文控制区内相同侵蚀形态类型的连片区域),计算各单元的侵蚀强度。

根据黄土高原水文站的布设情况和水文泥沙资料的观测历史,共划分为 120 个水文控制区(可能划分的最小区域)。在 120 个水文控制区的基础上,将土壤侵蚀类型区图<sup>[9]</sup>叠加在水文控制区分布图上,在同一水文控制区内,按照不同侵蚀形态类型的区域界线划分侵蚀产沙单元,对于具有同一侵蚀形态类型而不连接的区域,分别作为不同的侵蚀产沙单元。据此,共划分成 292 个侵蚀产沙单元。

## 2 侵蚀产沙强度的计算

### 2.1 水文控制区

**单站控制区:**流域上游或流域支流上游水文站控制的区域,其产沙量的计算是以该站的输沙量来代替,侵蚀模数为该站的输沙量除以该站的集水面积。

**多站控制区:**流域(支流)下游水文站与上游(支流)一个或多个水文站之间的区域,用下游水文站的输沙量减去上游水文站的输沙量作为该区域的产沙量,所得结果除以水文站控制区间的面积即为该水文控制区的侵蚀模数。

**未控区:**对于流域下游的未控制区域,以黄河干流水文站的分布情况划分区段,水文站控制区域则为黄河干流某区段两水文站及该区段内各入黄支流出口水文站之间的区域。其产沙量为干流下游站的输沙量减去干流上游站及两站区间各入黄支流出口站的输沙量,所得结果除以本区的面积则为该区域的侵蚀模数。对于多站控制区和未控区,若所得结果为负值,说明泥沙沿程有淤积,视该区的产沙量为零。

### 2.2 侵蚀产沙单元

单一侵蚀类型的水文控制区,即为一个侵蚀单元,其侵蚀模数和产沙量直接应用水文控制区的实测资料。包含多个侵蚀类型的水文控制区,各侵蚀产沙单元的侵蚀模数和产沙量按照面积的大小,分步计算。先将几个面积较小单元的产沙量计算出来,再用水文控制区的总产沙量减去小面积单元的产沙量作为该水文控制区最大产沙单元(即主要侵蚀类型区)的产沙量。较小面积的侵蚀模数和产沙量的计算,一般用临近同一侵蚀类型区的侵蚀模数来代替(多采用侵蚀类型单一的水文控制区实测值代替)。对于个别无法用临近地区同一侵蚀类型来代替的面积较小的单元,可先用临近地区同一侵蚀类型单元的侵蚀模数代替较大面积单元的侵蚀模数后,再行计算。例如:对于丁家沟至赵石窑控制区,按侵蚀形态类型可划分为 3 个侵蚀产沙单元:单元 68(黄土崩状丘陵沟壑区,面积 2591.1 km<sup>2</sup>)、单元 69(风沙黄土丘陵沟壑区,面积 1538.4 km<sup>2</sup>)、单元 70(风沙草原区,面积 3967.5 km<sup>2</sup>)。单元 68 与单元 72 相邻,单元 72 是大理河李家河水文站控制区,为单一的黄土崩状丘陵沟壑区,这样就可用单元 72 的侵蚀模数代替单元 68 的侵蚀模数;单元 70 与单元 60 相邻,单元 60 为韩家岭水文站控制区,为单一的风沙草原区,单元 70 的侵蚀模数可用单元 60 的来代替;剩余单元 69 的侵蚀模数则用该控制区的总产沙量减去单元 68 和单元 70 的产沙量,再除以单元 69 的面积。计算公式为:

$$S_{69} = (S \times A - S_{68} \times A_{68} - S_{70} \times A_{70}) / A_{69} \quad (2-1)$$

式中:  $S_{69}$  为单元 69 的侵蚀模数 (t/km<sup>2</sup>);  $S$  为丁家沟至赵石窑控制区的侵蚀模数 (t/km<sup>2</sup>);  $A$  为丁家沟至赵石窑控制区的面积 (km<sup>2</sup>);  $S_{68}$  为单元 68 的侵蚀模数 (t/km<sup>2</sup>)  $A_{68}$  为单元 68 的面积 (km<sup>2</sup>);  $S_{70}$  为单元 70 的侵蚀模数 (t/km<sup>2</sup>);  $A_{70}$  为单元 70 的面积 (km<sup>2</sup>);  $A_{69}$  为单元 69 的面积 (km<sup>2</sup>)。

### 3 侵蚀产沙强度的结构特征

关于黄土高原侵蚀产沙强度的结构特征, 分别按 1955~1969 (非治理状况)、1970~1989 (治理状况) 和 1955~1989 (平均状况) 3 种情况计算分析 (表 1、表 2)。

表 1 不同侵蚀强度的面积结构特征

Tab.1 Area structural characteristics of erosion intensity

分 级	标 准 (t/km <sup>2</sup> ·a)	面积 (km <sup>2</sup> )			各级面积占总面积的比例			治理后 增减变化 %
		未治理	治理	平均	未治理	治理	平均	
		1955-69	1970-89	1955-89	1955-69	1970-89	1955-89	
微弱侵蚀	<1000	92166.9	118657.9	105651.5	29.7	38.3	34.1	28.7
轻度侵蚀	1000-2500	30799.8	29371.5	28869.1	9.9	9.5	9.3	-4.6
中度侵蚀	2500-5000	39827.8	57168.4	42901.9	12.8	18.4	13.8	43.5
强度侵蚀	5000-7500	32577.9	51749.9	39707.6	10.5	16.7	12.8	58.8
强烈侵蚀	7500-10000	27399.1	28551.4	35947.5	8.8	9.2	11.6	4.2
极强烈侵蚀	10000-15000	58740.9	18406.7	46243.5	18.9	5.9	14.9	-68.7
剧烈侵蚀	15000-20000	18557.9	4292.1	7017.3	6.0	1.4	2.3	-76.9
极剧烈侵蚀	>20000	10033.7	1906.1	3765.6	3.2	0.6	1.2	-81.0
剧烈侵蚀以上	>15000	28591.6	6198.2	10782.9	9.2	2.0	3.5	-78.3
极强烈侵蚀以上	>10000	87332.5	24604.9	57026.4	28.2	7.9	18.4	-71.8
强度侵蚀以上	>5000	147309.5	104906.2	132681.5	47.5	33.8	42.8	-28.8
中度侵蚀以上	>2500	187137.3	162074.6	175583.4	60.3	52.3	56.6	-13.4

根据 1955~1989 年 35 年的平均统计, 黄土高原产沙量主要来自侵蚀模数 >5000 t/km<sup>2</sup>a 的强度以上的侵蚀区, 其侵蚀面积占总面积的 42.0 %, 产沙量占全区总产沙量的近 85.0 %; 重点来自侵蚀模数 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的极强烈以上的侵蚀区, 虽然侵蚀面积仅占总面积的 18.4 %, 但其产沙量几乎占到全区总产沙量的 50.0 %。在 8 种侵蚀强度分级中, 产沙量主要来自 2500~15000 t/km<sup>2</sup>a 之间的 4 种侵蚀强度, 其产沙量占全区总产沙量的近 90.0 %, 其中 10000~15000 t/km<sup>2</sup>a 的极强烈侵蚀占全区总产沙量的 35.0 %。

从治理前后的统计结果可以看出, 由于降雨因素和水土保持作用的影响, 侵蚀强度的结构特征发生了明显变化。首先从面积看, 侵蚀模数 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的极强烈以上的侵蚀面积急剧减少, 由  $8.7 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 减少到  $2.5 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 减幅 71.8 %, 占全区总面积的比例由 28.2 % 降低到 7.9 %。其中侵蚀模数 >15000 t/km<sup>2</sup>a 的剧烈以上的侵蚀面积由  $2.9 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 减少到  $0.6 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 减幅 78.3%; 侵蚀模数 >20000 t/km<sup>2</sup>a 的极剧烈以上的侵蚀面积由治理前的  $1.0 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 减少到仅有  $0.2 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 减幅 81.0 %。在 8 种侵蚀强度分级中, 侵蚀面积减幅较大的分别为极剧烈侵蚀 (81.0 %)、剧烈侵蚀 (76.9 %) 和极强烈侵蚀 (68.7 %)。再从产沙量结构特征看, 侵蚀模数 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的极强烈以上侵蚀区的产沙量占全区总产沙量的比例由 66.5 % 减少到 27.8 %。其中减幅较大的 3 个侵蚀强度级别为极剧烈侵蚀 (77.1 %)、剧烈侵蚀 (76.7 %) 和极强烈侵蚀 (71.6 %)。

从治理前后侵蚀强度面积结构和产沙量结构变化的同步性看, 侵蚀模数 > 10000 t/km<sup>2</sup>a 的极强烈以上侵蚀区, 面积和产沙量减幅基本一致, 分别为 71.8 % 和 73.9 %。在 8 种侵蚀强度分级中, 除微弱侵蚀、轻度侵蚀和强烈侵蚀的面积和产沙量增减幅度变化不一致外, 其余 5 种侵蚀强度面积和产沙量的增减幅度变化基本一致。

表 2 不同侵蚀强度的产沙量结构特征

Tab.2 Sediment yield structural characteristic of erosion intensity

分 级	标 准 (t/km <sup>2</sup> .a)	产沙量 (×10 <sup>4</sup> t)			各级产沙量占总产沙量的比例			治理后 增减变化 %
		未治理	治理	平均	未治理	治理	平均	
		1955-69	1970-89	1955-89	1955-69	1970-89	1955-89	
微弱侵蚀	<1000	1539.2	3199.3	2624.1	0.8	2.6	1.7	107.9
轻度侵蚀	1000-2500	4457.7	5359.6	4837.3	2.3	4.4	3.1	20.2
中度侵蚀	2500-5000	15069.6	22037.9	16343.4	7.7	18.1	10.6	46.2
强度侵蚀	5000-7500	20260.2	32639.7	25239.4	10.4	26.8	16.3	61.1
强烈侵蚀	7500-10000	24182.5	24700.3	29840.0	12.4	20.3	19.3	2.1
极强烈侵蚀	10000-15000	73007.5	20735.8	53936.6	37.4	17.0	34.9	-71.6
剧烈侵蚀	15000-20000	32149.6	7479.6	11555.3	16.5	6.1	7.5	-76.7
极剧烈侵蚀	>20000	24765.5	5669.3	10118.6	12.7	4.7	6.5	-77.1
剧烈侵蚀以上	>15000	56915.1	13148.9	21673.9	29.1	10.8	14.0	-76.9
极强烈侵蚀以上	>10000	129922.6	33884.7	75610.5	66.5	27.8	48.9	-73.9
强度侵蚀以上	>5000	174365.3	91224.7	130689.9	89.2	74.9	84.6	-47.7
中度侵蚀以上	>2500	189434.9	113262.5	147033.3	96.9	93.0	95.2	-40.2

### 4 侵蚀产沙强度的区域分异

根据 292 个单元治理前后侵蚀产沙强度的计算结果，分别绘制了黄土高原治理前后侵蚀产沙强度变幅图和侵蚀模数 < 5000 t/km<sup>2</sup>a、5000~10000 t/km<sup>2</sup>a 和 > 10000 t/km<sup>2</sup>a 等 3 个强度的区域分布图 (图 1~3)。从中看出治理前后侵蚀产沙强度的区域变化特点：

(1) 治理后，减沙幅度最大的区域主要分布在以无定河为中心的极强烈侵蚀区和汾河流域的大部分地区 (减幅在 50% 以上)，其次是延河流域附近地区 (减幅在 30 %~50 % 之间)，其它区域减幅程度不很明显。

(2) 治理前，侵蚀强度 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的区域集中分布在河口镇至龙门区间黄河干流两岸、北洛河上游地区、泾河中上游的部分地区、以及渭河葫芦河和散渡河流域的大部分地区。治理后，侵蚀强度 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的地区仅零散地分布在皇甫川流域，黄河两岸的窟野河、佳芦河、无定河、湫水河下游地区，以及北洛河、泾河的河源地区。

(3) 由于治理后河龙区间和泾、渭河上游地区侵蚀强度 >10000 t/km<sup>2</sup>a 的区域面积大幅度减少，上述大部分地区变成了 5000~10000 t/km<sup>2</sup>a 的侵蚀区。侵蚀强度 <5000 t/km<sup>2</sup>a 的面积分布变化不大。

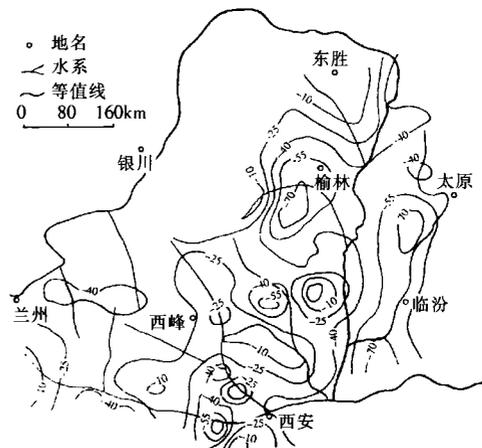


图 1 黄土高原治理前后侵蚀产沙强度变幅图  
Fig1 The variety extent Sediment intensity between before and after control on loess plateau

### 5 侵蚀产沙源来源

按不同的流域、侵蚀类型区<sup>[9]</sup>和侵蚀带<sup>[10]</sup>分别统计 1955~1989 的黄河中游侵蚀产沙

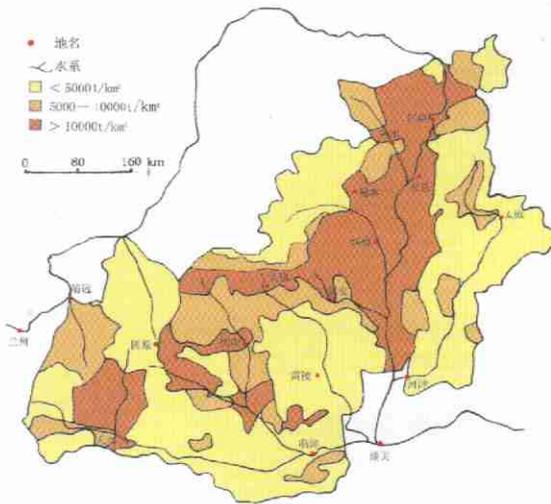


图2 黄土高原侵蚀产沙强度区域分布 (1955-1969)  
Fig2 The spatial distribution of sediment yield intensities on Loess Plateau (1955-1969)

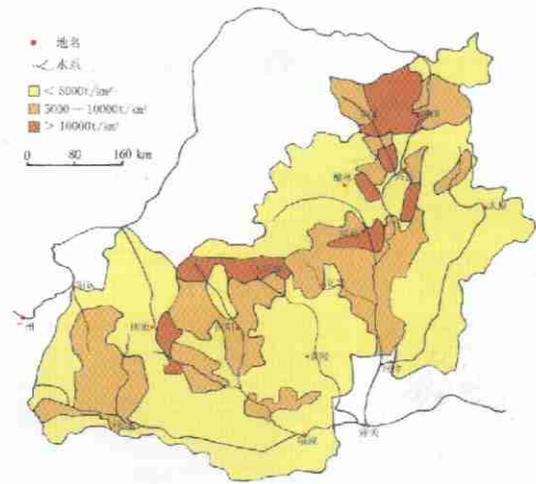


图3 黄土高原产沙强度区域分布 (1970-1989)  
Fig3 Distribution of sediment intensities on Loess Plateau (1970-1989)

来源(表 3), 结果表明:

(1) 按流域或区段计算, 黄土高原的水土流失主要来自河龙区间, 占全区总产沙量的 54.8%; 其次是泾河和渭河流域, 分别占全区总产沙量的 17.6% 和 13.3%;

(2) 按不同侵蚀类型区计算, 黄土高原的水土流失主要来自黄土峁状丘陵沟壑区和干旱黄土丘陵沟壑区, 占全区总产沙量的 50.5%; 其次是黄土梁状丘陵沟壑区、黄土平岗丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区, 分别占全区总产沙量的 11.0%、9.8% 和 9.7%;

(3) 按侵蚀带计算, 暖温带半干旱草原风蚀、水力侵蚀带和暖温带半干旱森林草原水力侵蚀带是黄土高原的主要产沙来源, 占全区总产沙量的 67.4%, 其次是暖温带亚湿润落叶阔叶林水力、重力侵蚀带, 占全区总产沙量的 23.6%。

表 3 侵蚀产沙来源

Tab.3 The source of sediment yield

流域(区段)			类型区			侵蚀带*		
名称	产沙量 ( $\times 10^4 t$ )	占总产沙 比例(%)	名称	产沙量 ( $\times 10^4 t$ )	占总产沙 比例(%)	名称	产沙量 ( $\times 10^4 t$ )	占总产 沙比例(%)
河龙区间	84598.4	54.8	黄土平岗丘陵沟壑区	15201.3	9.8	1	13939.9	9.0
泾河	27209.7	17.6	黄土峁状丘陵沟壑区	42250.7	27.4	2	53676.4	34.8
北洛河	8507.6	5.5	黄土梁状丘陵沟壑区	17025.5	11.0	3	50333.3	32.6
渭河	20522.2	13.3	黄土山麓丘陵沟壑区	7829.2	5.1	4	36514.8	23.6
汾河	5543.8	3.6	干旱黄土丘陵沟壑区	35746.3	23.1			
祖厉河	5640.2	3.7	风沙黄土丘陵沟壑区	5799.0	3.8			
清水河	2442.5	1.6	森林黄土丘陵沟壑区	452.9	0.3			
			黄土高塬沟壑区	14954.4	9.7			
			黄土残塬沟壑区	5088.8	3.3			
			黄土阶地区	2278.2	1.5			
			风沙草原区	6443.8	4.2			
			高原土石山区	1394.3	0.9			
总计	154464.4	100	总计	154464.4	100	总计	154464.4	100

\*1 中温带干旱荒漠草原、暖温带半干旱草原强烈风蚀带; 2 暖温带半干旱草原风蚀、水力侵蚀带; 3 暖温带半干旱森林草原水力侵蚀带; 4 暖温带亚湿润落叶阔叶林水力、重力侵蚀带

表 4 黄土高原产沙中心的侵蚀特征

Tab. 4 Sediment yield features of the 7 centers on Loess Plateau

编号	区 间 范 围	面积 km <sup>2</sup>	侵蚀产沙状况		占全区的 比例 (%)		核心区侵蚀强度	
			侵蚀 强度	产沙量	面积	产沙量	km <sup>2</sup>	t/km <sup>2</sup> .a
			t/km <sup>2</sup> .a	×10 <sup>4</sup> t.a				
1	皇甫川、孤山川、清水川及窟野河、 黄河干流河曲以上的部分地区	13707.6	14253.9	19538.7	4.4	12.6	635.0	28638.6
2	窟野河、秃尾河下游和佳芦河的大部地 区	3238.7	21473.6	6954.7	1.0	4.5	1212.3	34447.3
3	黄河东岸岚漪河、蔚汾河、湫水河、三 川河、屈产河和昕水河的部分地区	7104.2	12350.8	8774.3	2.3	5.7	1517.1	14426.9
4	无定河白家川至丁家沟和绥德区间、大 理河绥德至青阳岔、李家河区间, 以及 清涧河延川以上地区	8794.0	12426.9	10928.2	2.8	7.1	2902.0	14850.5
5	延河延安以上、北洛河吴旗志丹以上和 泾河洪德以上地区	8695.3	13177.6	11458.3	2.8	7.4	3216.6	15797.2
6	泾河杨家坪以上部分地区及马连河庆阳 至洪德、悦乐区间	4993.2	11900.8	5942.3	1.6	3.8	1540.2	12806.0
7	渭河南河川至甘谷、秦安和武山区间	1495.5	10776.5	1611.6	0.5	1.0	1495.5	10776.5

黄土高原侵蚀产沙的空间集中度很高, 根据 1955~1989 年的平均统计结果, 10 % 的面积集中了 35 % 的产沙量, 30 % 的面积集中了 70 % 的产沙量, 50% 的面积集中了 90 % 的产沙量。按照 292 个侵蚀产沙单元侵蚀强度的大小排序, 其面积和产沙量的累积百分比拟和关系如下:

$$S = -1E - 06A^4 + 0.0004A^3 - 0.0515A^2 + 3.4725A + 5.4107 \quad (5-1)$$

式中:  $S$  为产沙量累积百分比 (%);  $A$  为产沙面积累积百分比 (%)。

## 6 侵蚀产沙中心

以侵蚀强度  $>10\ 000\ \text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$  作为标准, 根据 1955~1989 年的平均统计结果, 可将黄土高原划分为 7 个产沙中心 (表 4)。7 个产沙中心中, 面积最大的是皇甫川、孤山川、清水川及窟野河、黄河干流河曲以上的部分地区, 面积为  $13\ 707.6\ \text{km}^2$ ; 最小的是渭河南河川至甘谷、秦安和武山区间, 为  $1\ 495.5\ \text{km}^2$ 。侵蚀强度最大是窟野河、秃尾河下游和佳芦河的大部分地区, 平均为  $21\ 473.6\ \text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ , 最大区可达  $34\ 447.3\ \text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ ; 最小的是渭河南河川至甘谷、秦安和武山区间, 为  $10\ 776.5\ \text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。从总体情况看, 黄土高原 7 个产沙中心面积虽只有  $48\ 028.5\ \text{km}^2$ , 仅占全区总面积的 15.5%, 但其产沙量却占到全区总产沙量的 42.1%。

## 参考文献 (References)

- [1] The Research Fund Committee of the Ministry of Water Resources on the runoff and sediment changes in Yellow River. The Collection of Research Thesis on the Runoff and Sediment Changes in Yellow River (Vol.1-5), 1993.[水利部黄河水沙变化研究基金会. 黄河水沙变化研究论文集(第一卷~ 第五卷). 1993.]
- [2] Ye Qingchao. Researches on Environmental Changes of the Yellow River Basin and Laws of Water and Sediment Transportation. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1994. [叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1994.]

- [3] Tang Keli. Soil Erosion and Runoff-sediment Changing in Yellow River Basin. Beijing: China Science and Technology Press, 1993. [唐克丽. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.]
- [4] Zhang Shengli, Li Zhuo, Zhao Wenlin et al. The reason and development direction of runoff and sediment in the rich and coarse sediments area in the middle reaches of Yellow River. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1998. [张胜利, 李倬, 赵文林等. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.]
- [5] The Soil and Water Conservation Bureau of Yellow River Water Conservancy Committee. Study on the Soil and Water Conservation in Yellow River Basin. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 1998. [黄河水利委员会水土保持局编. 黄河流域水土保持研究. 郑州: 黄河水利出版社, 1997.]
- [6] The Middle Reaches of Yellow River Administrative Bureau of Yellow River Water Conservancy Committee. Analysis on the Runoff and Sediment Reducing Benefits of Soil and Water Conservation Measures in Hekouzhen and Longmen Area. 1998. [黄委会黄河中游管理局. 河龙区间水土保持措施减水减沙效益分析. 1998.]
- [7] Wang Wanzhong, Jiao Juying. Rainfall and Erosion Sediment Yield in the Loess Plateau and Sediment Transportation in the Yellow River Basin. Beijing: Science Press, 1996. [王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙. 北京: 科学出版社, 1996]
- [8] The Integrated Scientific Surveying Team on Loess Plateau of Chinese Academy of Sciences. The Regional Features and Control Approach of Soil Erosion in Loess Plateau Area. Beijing: China Science and Technology Press, 1990. 77. [中国科学院黄土高原综合科学考察队. 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. 77.]
- [9] The Yellow River Water Conservancy Committee of Ministry of Water Resources. Huanghe River Atlas. Beijing: China Cartographic Publishing Press, 1989. 247-250. [水利部黄河水利委员会编. 黄河流域地图集. 北京: 中国地图出版社, 1989. 247-250.]
- [10] Gan Zhimao. Landforms and Soil Erosion of the Loess Plateau. Xi'an: Shaanxi People's Press, 1989. 130-132. [甘枝茂. 黄土高原地貌与土壤侵蚀研究. 西安: 陕西人民出版社, 1989. 130-132.]
- [11] Jiao Juying, Li Jing, Wang Wanzhong. Erosion environment in the sediment-rich area on the Loess Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, 12(1): 49-57.

## Temporal and Spatial Variation Features of Sediment Yield Intensity on Loess Plateau

WANG Wan-zhong, JIAO Ju-ying

(Institute of Soil and Water Conservation, CAS and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Based on the distribution of the hydrological station and its observation series of sediment information on loess Plateau, the study area was divided into 120 hydrological control area firstly, then according to the different soil erosion type area, the 120 hydrological control area were divided into 292 soil erosion units. The main results are as following: (1) The sediment yield of loess plateau (average condition from 1955 to 1989) are mainly come from the violence erosive area with erosion modulus  $>5000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ , the area of it made up 42.8% of the total sediment yielding area, and the sediment from it amounted to 85.0% of the total amount of erosive sediment yield. And the mighty violence erosive area with erosion modulus  $>10000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ , the area of it only made up 18.4% of the total sediment yielding area, but the sediment from it amounted to 50% of the total amount of erosive sediment yield. In the 8 grade of erosion intensity, the sediment yield from the area

with erosion modulus 2500-15000t/km<sup>2</sup>.a amounted to about 90% of the total amount of erosive sediment yield, and the sediment from the area with erosion modulus 10000-15000t/km<sup>2</sup>.a reach 35.0%. (2) Sediment intensities have changed evidently because of rainfall factor and the effects of soil and water conservation. From the view of structural features of sediment area, the sediment area with erosion modulus >10000t/km<sup>2</sup>.a reduced rapidly, from  $8.7 \times 10^4$ km<sup>2</sup> (1955-1969) to  $2.5 \times 10^4$ km<sup>2</sup> (1970-1989), reduced 71.8%, and the proportion in the total area decreased from 28.2% to 7.9%. And the sediment area with erosion modulus >15000t/km<sup>2</sup>.a reduced from  $2.9 \times 10^4$ km<sup>2</sup> to  $0.6 \times 10^4$ km<sup>2</sup>, reduced 78.3%; the area with erosion modulus >20000t/km<sup>2</sup>.a reduced from  $1.0 \times 10^4$ km<sup>2</sup> to only  $0.2 \times 10^4$ km<sup>2</sup>, reduced 81.0%. In the 8 grade of erosion intensity, the sediment area with erosion modulus >20000t/km<sup>2</sup>.a, 15000-20000 t/km<sup>2</sup>.a and 10000-15000 t/km<sup>2</sup>.a decreased greatly, and the reductive degree is 81.0%, 76.9% and 68.7% respectively. And from the view of structural features of sediment yield, the proportion of sediment yield of mighty violence erosive area with erosion modulus >10000t/km<sup>2</sup>.a in that of total area reduced from 66.0% to 27.8%. And sediment yield reduced more greatly is the area with erosion modulus >20000t/km<sup>2</sup>.a, 15000-20000 t/km<sup>2</sup>.a and 10000-15000 t/km<sup>2</sup>.a, the reductive degree is 77.1%, 76.7% and 71.6% respectively. (3) The regions where the sediment yield reduced evidently are mainly distributed in the mighty violence erosive area surrounding Wuding River, and the majority of Fen river, the reductive degree is above 50%. Before soil and water conservation (1955-1969), the regions with erosion modulus >10000t/km<sup>2</sup>.a were distributed in the majority of the mainstream reaches of Yellow River between Hekouzheng and Longmen area, the upper reaches of Beiluo River, the most part of upper and middle reaches of Jing River, and the much area of Hulu River and Sandu River in Wei River basin. After soil and water conservation (1970-1989), the regions with erosion modulus >10000t/km<sup>2</sup>.a were scattered in Huangpuchuan river, the lower reaches of Kuye River, Jialu River, Wuding River and Qiushui River near to the mainstream reaches of Yellow River, and the riverhead of Beiluo River and Jing River. After control, the area with erosion modulus >10000t/km<sup>2</sup>.a in Hekouzheng - Longmen area, the upper reaches of Jing River and Wei River decreased on a large scale, and the erosion modulus reduced to 5000-10000 t/km<sup>2</sup>.a. the area with <5000 t/km<sup>2</sup>.a has changed not too much. (4) The sediment yield of loess plateau, calculated according to tributaries, are mainly come from Hekouzheng - Longmen area (54.8%), next from Jing River (17.6%) and Wei River (13.3%); according to soil erosion type areas, are mainly from loess Mao hill gully region and arid loess hill gully region (50.5%), next from loess Liang hill gully region (11.0%), loess flat hillock hill gully region (9.8%), and loess plateau hill gully region (9.7%); according to soil erosion belts, are mainly from wind and water erosion belt in semi-arid steppe region and water erosion belt in semi-arid forest steppe region (67.4%), next is from water and gravity erosion belt in sub-humid broad-leaf forest region (23.6%). (5) Taking sediment yield intensity >10000t/km<sup>2</sup>.a as criterion, there are 7 sediment yield centers on Loess Plateau. The area of the 7 centers made up 15.5% of the total sediment yielding area, however, the sediment yield amounted to 42.1% of the total amount of erosive sediment yield.

Keyword: Loess Plateau; sediment yield intensity; time and spatial variation