

黄土高原侵蚀产沙强度、面积、数量 间相互关系的统计分析^①

王万忠 焦菊英 郝小品

中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100
(水利部)

摘要 在对黄土高原 1959~1986 年侵蚀产沙量详细统计计算的基础上,系统分析了这一地区侵蚀强度、面积及产沙量之间的相互关系特征,给出了表示这种关系特征的数学表达式,从而对黄土高原侵蚀产沙的空间集中度有了进一步的认识。

关键词 侵蚀强度; 侵蚀面积; 产沙量

中图分类号 S157.1

Statistical Analysis on Inter-relationship among Erosion Sediment Intensity, Area and Amount in Loess Plateau

Wang Wanzhong Jiao Juying Hao Xiaoping

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract Based on statistical analysis of the erosion sediment yield in 1959~1986, the inter-relationship among erosion intensity, area and sediment yield on the Loess Plateau was systematically analysed, the mathematical expression of this relationship was proposed, the further knowledge on spatial concentration of sediment yield in the Loess Plateau was advanced.

Key words erosion intensity; erosion area; sediment yield

面积、数量、强度是反映一个地区侵蚀产沙特征的 3 大要素指标,目前有关黄土高原侵蚀产沙面积、强度、数量这 3 大要素指标的统计结果,在许多研究报告中已有报道^[1~4]。但其报道多见于对某一指标的具体统计结果,而对其 3 大要素之间的相互关系分析甚少。众所周知,黄土高原侵蚀产沙的空间分布是十分复杂的,要真正地这一地区的侵蚀产沙特征有一个比较充分的认识,不只是一要了解有多少侵蚀产沙面积和产沙量,有多大的侵蚀产沙强度,更重要的是要了解侵蚀产沙面积、强度、数量三者之间的相互关系,从而来认识这一地区侵蚀产沙的空间结构特征和集中度。

为了分析黄土高原侵蚀产沙面积、强度、数量间的相互关系,我们对黄土高原 1955~ 1986 年的侵蚀产沙量进行了详细的统计计算^[5]。目前侵蚀产沙量的计算只能以水文站的实测值为基础。为使所计算的结果是“侵蚀产沙量”而不是“河流输沙量”,或者尽可能接近实际侵蚀产沙量,我们以现有的水文站为基础(特别是不漏掉 1 000km² 以下的小流域或小河站),结合地貌特征和植被条件,以可能划分的最小控制面积为产沙量计算的基本单元,共划分了 122 个侵蚀产沙单元,每个单元的平均面积为 2 726km²。在划分中,我们尽可能注意到流域间上、中、下游的地形和植被条件的差异。因为一个流域可能由几种不同的类型区组成,产沙强度差异很大,如果仅用流域把口站的输沙量资料,势必就反映不出流域内侵蚀产沙强度的差异,使其所得侵蚀产沙量与实际有较大出入。

由于侵蚀量与产沙量是两个不同的概念,一般情况下,产沙量总是小于侵蚀量。鉴于黄土高原这样一个泥沙输移比接近于 1 的特殊侵蚀产沙区,可相对认为产沙量接近于侵蚀量,但二者很难严格区分开来,因此,本文采用侵蚀产沙量这一习惯使用的复合术语^[4]。

为便于对比分析,我们按 1959~ 1986 年、1959~ 1969 年和 1958 年 3 个阶段统计。由于人们普遍认为从 70 年代起水土保持的减沙作用明显增强,由此可以相对把 1959~ 1969 年这一阶段视为水土保持、水利措施对侵蚀产沙影响较小的阶段。把 1959~ 1986 年视为包含有人为减沙作用在内的全系列阶段。由于 1958 年是黄土高原水土流失最严重的一年,为此,我们把 1958 年作为典型年对比分析。

1 侵蚀强度与面积之间的关系

表 1 和表 2 分别是统计得出的黄土高原不同侵蚀强度和大于某一侵蚀强度量级的面积、产沙量。其中侵蚀强度的划分按陈永宗先生的标准共分为 8 级^[6]。各种侵蚀强度年侵蚀模数分别是:微弱侵蚀, < 1 000t/km²;轻度侵蚀, 1 000~ 2 500t/km²;中度侵蚀, 2 500~ 5 000t/km²;强度侵蚀, 5 000~ 7 500t/km²;强烈侵蚀, 7 500~ 10 000t/km²;极强烈侵蚀, 10 000~ 15 000t/km²;剧烈侵蚀, 15 000~ 20 000t/km²;极剧烈侵蚀, > 20 000t/km²。考虑到侵蚀产沙量计算的方便,我们统计的区域范围以水系的界限为边界。全区域包括河口镇以南,汾河以西,渭河以北,祖厉河、清水河、苦水河以东的全部地区,总面积为 336 948km²,这一区域范围实际上是黄河中游黄土高原主体(黄河中游黄土高原面积约 38 万 km²)。

从表 1 可以看出:根据 1959~ 1986 年 28 年的统计结果,占黄土高原侵蚀面积最大的是 2 500~ 5 000t/km² 的中度侵蚀区,面积为 89 380km²,占全区域面积的 26.5%;其次是 < 1 000t/km² 的微弱侵蚀区,面积为 74 841km²,占全区域面积的 22.2%;再之是 1 000~ 2 500t/km² 的轻度侵蚀区,面积为 62 807km²,占全区域的 18.6%,再其次是 5 000~ 7 500t/km² 的强度侵蚀区和 7 500~ 10 000t/km² 的强烈侵蚀区,面积分别为 40 532km² 和 38 305km²,各占全区域面积的 12.1% 和 11.4%。基本趋势是侵蚀强度愈大,所占面积愈小。1959~ 1969 年的统计结果和 1959~ 1986 年的统计结果总趋势基本一致,但极强烈侵蚀以上(≥10 000t/km²)的面积 1959~ 1969 年的统计值明显比 1959~ 1986 年统计结果大。其中,10 000~ 15 000t/km² 的极强烈侵蚀,1959~ 1969 年统计结果为 51 608.1km²,而 1959~ 1986 年统计结果为 23 693.7km²,它们占全区域面积的比例分别为 13.0% 和 6.1%,相差 1 倍;15 000~ 20 000t/km² 的剧烈侵蚀,1959~ 1969 年统计结果为 29 273.4km²,而 1959~ 1986 年统计结果为 14 784.0km²,它们占全区域面积的比例分别为 5.1% 和 2.7%;> 20 000t/km² 的极剧烈侵蚀 1959~ 1969 年的统计结果为 17 425.6km²,而 1959~ 1986 年统计结果为 4 699.6km²,它们占全区

域面积的比例分别为 2.0% 和 0.4%。由此来看, 70 年代后, 侵蚀产沙强度明显减小。再从 1958 年的统计结果看, 同样以中度侵蚀所占面积最大(24.5%), 但极强烈侵蚀以上($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积占了总面积的近 40%, 其中极强烈侵蚀面积 $43\ 014\text{km}^2$, 占总面积 12.8%, 剧烈侵蚀面积 $46\ 587\text{km}^2$, 占总面积的 13.8%, 极剧烈侵蚀面积 $43\ 016\text{km}^2$, 占总面积的 12.8%。

表 1 不同侵蚀强度的产沙面积、产沙量及占全区的比例

Tab. 1 The erosion sediment area, amount and its proportion of different erosion sediment intensity

分 类	年 份	侵蚀强度分级(t/km^2)								合计	
		极剧烈 > 20000	剧烈 15000 ~ 20000	极强烈 10000 ~ 15000	强烈 7500 ~ 10000	强度 5000 ~ 7500	中度 2500 ~ 5000	轻度 1000 ~ 2500	微弱 < 1000		
产沙面积	面积 (km^2)	1959~ 1986	1347	9259	20477	38305	40532	89380	62807	74841	336948
		1959~ 1969	6633	17310	43950	26737	43762	71732	56022	70802	336948
		1958	43014	46587	43016	22879	24288	82456	34346	40362	336948
	面积 (%)	1959~ 1986	0.4	2.7	6.1	11.4	12.0	26.5	18.6	22.2	100.0
		1959~ 1969	2.0	5.1	13.0	7.9	13.0	21.3	16.6	21.0	100.0
		1958	12.8	13.8	12.8	6.8	7.2	24.5	10.2	11.9	100.0
产沙量	产沙量 (万 t)	1959~ 1986	4699.6	14784.0	23693.7	31147.1	252769	33919.7	10035.5	3569.0	147125.4
		1959~ 1969	17425.6	29273.4	51608.1	23920.8	27589.4	24882.1	9535.2	3372.7	187607.2
		1958	122789.6	77333.6	53165.9	18973.9	14921.9	33987.8	6321.8	767.3	328261.8
	产沙量 (%)	1959~ 1986	3.2	10.0	16.1	21.2	17.2	23.1	6.8	2.4	100.0
		1959~ 1969	9.3	15.6	27.5	12.8	14.7	13.3	5.1	1.8	100.0
		1958	37.4	23.5	16.3	5.8	4.5	10.3	2.0	0.2	100.0

表 2 大于某一侵蚀强度量级的产沙面积、产沙量及占全区的比例(%)

Tab. 2 The erosion sediment area, amount and its proportion of more than one erosion sediment intensity

分 类	年 份	极剧烈以上 ≥ 20000	剧烈以上 ≥ 15000	极强烈以上 ≥ 10000	强烈以上 ≥ 7500	强度以上 ≥ 5000	中度以上 ≥ 2500	轻度以上 ≥ 1000	合计	
产沙面积	面积 (km^2)	1959~ 1986	1347	10606	31083	69388	109920	199300	262107	336948
		1959~ 1969	6633	23943	67893	94630	138392	210124	266146	336948
		1958	43014	89601	132617	155496	179784	262240	296586	336948
	面积 (%)	1959~ 1986	0.4	3.1	9.2	20.6	32.6	59.1	77.8	100.0
		1959~ 1969	2.0	7.1	20.1	28.1	41.4	62.4	79.0	100.0
		1958	12.8	26.6	39.4	46.2	53.4	77.9	88.1	100.0
产沙量	产沙量 (万 t)	1959~ 1986	4699.6	19483.6	43177.3	74324.4	99601.3	133521.0	143556.5	147125.4
		1959~ 1969	17425.6	46699.0	98307.1	122227.9	149817.3	174699.4	184234.6	187607.2
		1958	122789.6	200123.2	253289.1	272263.0	287184.9	321172.7	327494.5	328261.8
	产沙量 (%)	1959~ 1986	3.2	13.2	29.3	50.5	67.7	90.8	97.6	100.0
		1959~ 1969	9.3	24.9	52.4	65.2	79.9	93.1	98.2	100.0
		1958	37.4	61.0	77.9	82.9	87.5	97.8	99.8	100.0

从表 2 的结果可以看出: 根据 1959~ 1986 年统计结果, 中度侵蚀以上 ($\geq 2\ 500\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $199\ 300\text{km}^2$, 占区域面积的近 60% (59.1%), 强度侵蚀以上 ($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $109\ 920\text{km}^2$, 占区域面积的大约 30% (32.6%), 强烈侵蚀以上 ($\geq 7\ 500\text{t}/\text{km}^2$) 面积共 $69\ 388\text{km}^2$, 占区域面积的大约 20% (20.6%), 极强烈侵蚀以上 ($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $31\ 083\text{km}^2$, 占区域面积的近 10% (9.2%), 剧烈侵蚀以上 ($\geq 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $10\ 606\text{km}^2$, 占区域面积的大约 3% (3.1%), 极剧烈侵蚀以上 ($\geq 20\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $1\ 347\text{km}^2$, 占区域面积不到 0.5% (0.4%), 而从 1959~ 1969 年的统计结果看, 极强烈侵蚀以上的面积要比 1959~ 1986 年的统计结果大得多 (20.1%)。其中极剧烈侵蚀以上面积 $6\ 633\text{km}^2$, 占总面积 2.0%, 剧烈侵蚀以上面积 $23\ 943\text{km}^2$, 占总面积 7.1%, 极强烈以上面积 $67\ 893\text{km}^2$, 占总面积的 20.1%。再从 1958 年统计结果来看, 极强烈以上的面积达到 $132\ 617\text{km}^2$, 占总面积的 39.4%, 其中剧烈侵蚀以上面积达 $89\ 601\text{km}^2$, 占总面积的 26.6%。

3 个统计阶段的统计结果同时说明, 统计阶段对所得结果有很大影响, 如果我们要说明没有人为减沙作用下的不同侵蚀强度的面积, 可采用 1959~ 1969 年统计结果; 要说明 50 年代以来较长时段的不同侵蚀强度的面积, 可采用 1959~ 1986 年统计结果; 要说明典型年的情况, 可采用 1958 年的统计结果。

在上述分析资料基础上, 我们将 122 个侵蚀产沙单元的侵蚀模数由大到小依次排列, 并将其占总面积的比例累加, 得到侵蚀强度与面积的关系式为:

$$1959 \sim 1986 \text{ 年: } A \% = 94.88e^{-0.00021S_m} \quad r = 0.975 \quad (1)$$

$$1959 \sim 1969 \text{ 年: } A \% = 93.59e^{-0.00016S_m} \quad r = 0.981 \quad (2)$$

式中: A 为大于某一侵蚀强度量级面积占总面积的比例 (%); S_m 为侵蚀强度 (mm/min)。

上式给出了计算侵蚀强度与面积的结构比例计算方法, 例如要求出侵蚀模数 $\geq 800\text{t}/\text{km}^2$ 的面积占侵蚀总面积的比例。令 $S_m = 800$, 代入 (1) 式, 求得 $A = 80.2\%$, 由此可知侵蚀模数 $\geq 800\text{t}/\text{km}^2$ 的面积占总面积的 80.2%。

2 侵蚀产沙强度与产沙量的关系

从表 1 中不同侵蚀强度所产生的产沙量及占全区总产沙量的比例可以看出: 根据 1959~ 1986 年统计结果, 占全区产沙量比例最大的是 $2\ 500 \sim 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 的中度侵蚀和 $7\ 500 \sim 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 的强烈侵蚀区, 分别占总产沙量的 23.1% 和 21.2%, 其次是 $5\ 000 \sim 7\ 500\text{t}/\text{km}^2$ 的强度侵蚀和 $10\ 000 \sim 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 的极强烈侵蚀区, 分别占全区总产沙量的 17.2% 和 16.1%。从 1959~ 1969 年统计结果看, $10\ 000 \sim 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 的极强烈侵蚀区产沙量最大, 可占全区总产沙量的 27.5%, 其次是 $15\ 000 \sim 20\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 的剧烈侵蚀和 $5\ 000 \sim 7\ 500\text{t}/\text{km}^2$ 的强度侵蚀区, 分别占全区总产沙量的 15.6% 和 14.7%。再从 1958 年统计结果看, 产沙量最多的是极剧烈侵蚀区, 占总产沙量的 37.4%, 其次是剧烈侵蚀区, 占总产沙量的 23.5%, 再次是极强烈侵蚀区, 占到总产沙量的 16.3%。

从表 2 中大于某一量级侵蚀强度的产沙量占全区总产沙量的比例, 1959~ 1986 年的统计结果可以看出, 强度侵蚀以上 ($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的产沙量约占全区总产沙量的 70% (67.7%), 强烈侵蚀以上 ($\geq 7\ 500\text{t}/\text{km}^2$) 的产沙量可占全区总产沙量的大约 50% (50.5%), 极强烈侵蚀以上 ($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的产沙量可占全区总产沙量的大约 30% (29.3%)。而 1959~ 1969 年的统计结果, 强度侵蚀以上的产沙量几乎占到全区总产沙量的 80% (79.9%), 其中极强烈侵蚀以

上的产沙量占全区总产沙量的 52.4%，剧烈侵蚀的产沙量占总产沙量的 24.9%。再从 1958 年看，强度侵蚀以上的产沙量几乎占到全区总产沙量的 87.5%，其中极强烈侵蚀以上的产沙量占全区总产沙量的 77.2%，剧烈侵蚀的产沙量占总产沙量的 61.0%。

同样，我们将 122 个侵蚀产沙单元的侵蚀模数由大到小依次排列，并将其占全区总产沙量的比例累加，得到侵蚀强度与产沙量的关系式为：

$$1959 \sim 1986 \text{ 年: } S\% = 116.66e^{-0.00013S_m} \quad r = 0.966 \quad (3)$$

$$1959 \sim 1969 \text{ 年: } S\% = 119.21e^{-0.00010S_m} \quad r = 0.964 \quad (4)$$

式中： S 为大于某一侵蚀强度量级产沙量占总产沙量的比例(%)； S_m 为侵蚀强度(mm/min)。

上式给出了侵蚀强度与产沙量的结构比例计算方法，例如要求侵蚀模数 $\geq 3000\text{t/km}^2$ 的产沙量占全区总产沙量的比例，令 $S_m = 3000$ 代入(3)式，求得 $S\% = 79.1\%$ ，由此可知侵蚀模数 $\geq 3000\text{t/km}^2$ 的产沙量可占总产沙量的 79.0%。

3 侵蚀产沙面积与产沙量的关系

为了分析侵蚀产沙面积与产沙量二者之间的关系，我们仍对 122 个侵蚀产沙单元按侵蚀模数大小依次排列，并将其相应的面积和产沙量累加，点绘累计面积(%)与累计产沙量(%)的关系曲线，求得侵蚀产沙面积与产沙量的二次曲线关系式为：

$$S\% = 9.04 + 2.184(A\%) - 0.013(A\%)^2 \quad r = 0.998 \quad (5)$$

式中： S 为区域产沙量百分比(%)； A 为区域面积的百分比(%)。

上式实际上反映了黄土高原产沙量空间分布的集中程度。表 3 是由(5)式计算得到的不同侵蚀产沙面积所对应的侵蚀产沙量。

表 3 黄土高原侵蚀产沙面积与侵蚀产沙量的关系(%)

Tab. 3 The relationship between erosion sediment area and erosion sediment amount in the Loess Plateau

统计时段	侵蚀产沙面积(%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1959~1986年	31.0	50.0	65.0	75.5	84.2	91.2	95.6	98.0	99.5	100.0
1959~1969年	32.0	52.3	67.8	80.0	86.2	92.0	96.0	98.4	99.8	100.0
1958年	32.0	51.5	65.5	78.0	85.0	90.7	95.5	98.0	99.9	100.0

由表 3 的结果可以看出，黄土高原侵蚀产沙量空间分布的集中程度很高，10% 的面积集中了 30% 的产沙量，20% 的面积集中了 50% 的产沙量，50% 的面积集中了 85% 的产沙量，70% 的面积集中了 95% 的产沙量。而且不论采用哪种统计时段，这种集中程度几乎没有什么差别。

4 侵蚀强度、面积、产沙量三者之间的相互关系

表 4 和表 5 分别是不同侵蚀强度和大于某一量级侵蚀强度面积与产沙量的比例结构情况。从表 4 和表 5 可以看出：1959~1986 年统计结果，极剧烈侵蚀以上 ($\geq 20000\text{t/km}^2$) 面积可占总面积的 0.4%，产沙量占总产沙量的 3.2% (1959~1969 年统计分别占 2.0% 和

9.3%); 剧烈侵蚀以上($\geq 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$)的面积可占总面积的3.1%,产沙量可占总产沙量的13.2%(1959~1969年分别占到7.1%和24.9%); 极强烈侵蚀以上($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$)的面积可占总面积的9.2%,产沙量占总产沙量的29.3%(1959~1969年分别占到20.1%和52.4%); 强烈侵蚀以上($\geq 7\ 500\text{t}/\text{km}^2$)的面积可占总面积的20.6%,产沙量占50.5%(1959~1969年分别占到28.1%和65.2%); 强度侵蚀以上($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$)的面积可占总面积的32.6%,产沙量可占总产沙量的67.7%(1959~1969年分别占到41.4%和79.9%)。

从1959~1986年的结果可看到,占全区侵蚀面积和产沙量最大的均是中度侵蚀(分别占26.5%和23.1%),而1959~1969年占全区侵蚀面积最大的虽然是中度侵蚀(21.3%),但占总产沙量最大的是极强烈侵蚀(27.5%)。再从1958年看,占面积最大的是中度侵蚀(24.5%),但占总产沙量最大的是极剧烈侵蚀(37.4%)。

上述分析可知,黄土高原侵蚀产沙量空间集中度比较高。

表 4 不同侵蚀强度的产沙面积与产沙量的比例结构

Tab. 4 The proportion composition of erosion sediment area and amount under different erosion sediment intensity

年 份	分 类	占全区的比例(%)							合计	
		极剧烈 > 20000	剧烈 15000 ~ 20000	极强烈 10000 ~ 15000	强烈 7500 ~ 10000	强度 5000 ~ 7500	中度 2500 ~ 5000	轻度 1000 ~ 2500		微弱 < 1000 -
1959~ 1986	面积(%)	0.4	2.7	6.1	11.4	12.0	26.5	18.6	22.2	100.0
	产沙量(%)	3.2	10.0	16.1	21.2	17.2	23.1	6.8	2.4	100.0
1959~ 1969	面积(%)	2.0	5.1	13.0	7.9	13.0	21.3	16.6	21.0	100.0
	产沙量(%)	9.3	15.6	27.5	12.8	14.7	13.3	5.1	1.8	100.0
1958	面积(%)	12.8	13.8	12.8	6.8	7.2	24.5	10.2	11.9	100.0
	产沙量(%)	37.4	23.5	16.3	5.8	4.5	10.3	2.0	0.2	100.0

表 5 大于某一侵蚀强度量级的产沙面积与产沙量的比例结构

Tab. 5 The proportion composition of erosion sediment area and amount of more than one erosion sediment intensity

年 份	分 类	占全区的比例(%)						合计	
		极剧烈以上 ≥ 20000	剧烈以上 ≥ 15000	极强烈以上 ≥ 10000	强烈以上 ≥ 7500	强度以上 ≥ 5000	中度以上 ≥ 2500		轻度以上 ≥ 1000
1959~ 1986	面积(%)	0.4	3.1	9.2	20.6	32.6	59.1	77.8	100.0
	产沙量(%)	3.2	13.2	29.3	50.5	67.7	90.8	97.6	100.0
1959~ 1969	面积(%)	2.0	7.1	20.1	28.1	41.4	62.4	79.0	100.0
	产沙量(%)	9.3	24.9	52.4	65.2	79.9	93.1	98.2	100.0
1958	面积(%)	12.8	26.6	39.4	46.2	53.4	77.9	88.1	100.0
	产沙量(%)	37.4	61.0	77.9	82.9	87.5	97.8	99.8	100.0

5 结 论

(1) 黄土高原侵蚀产沙量空间分布的集中程度很高, 10% 的面积集中了 30% 的产沙量, 20% 的面积集中了 50% 的产沙量, 50% 的面积集中了 85% 的产沙量, 70% 的面积集中了 95% 的产沙量。

(2) 在不考虑人为减沙作用的情况下(相对而言), 以 1959~ 1969 年统计结果, 黄土高原剧烈侵蚀以上($\geq 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $23\ 943\text{km}^2$, 占总面积的 7.1%, 其产沙量占总产沙量的 24.9%; 极强烈侵蚀以上($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $67\ 893\text{km}^2$, 占总面积的 20.1%, 其产沙量占总产沙量的 52.4%; 强度侵蚀以上($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $138\ 392\text{km}^2$, 占总面积的 41.4%, 其产沙量占总产沙量的 79.9%。

(3) 若按 1959~ 1986 年较长时段统计, 黄土高原剧烈侵蚀以上($\geq 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $10\ 606\text{km}^2$, 占总面积的 3.1%, 其产沙量占总产沙量的 13.2%; 极强烈侵蚀以上($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $31\ 083\text{km}^2$, 占总面积的 9.2%, 其产沙量占总产沙量的 29.3%; 强度侵蚀以上($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $109\ 920\text{km}^2$, 占总面积的 32.6%, 其产沙量占总产沙量的 67.7%。

(4) 按土壤流失最严重的 1958 年统计, 黄土高原剧烈侵蚀以上($\geq 15\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $89\ 601\text{km}^2$, 占总面积的 26.6%, 其产沙量占总产沙量的 61.0%; 极强烈侵蚀以上($\geq 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $132\ 617\text{km}^2$, 占总面积的 39.4%, 其产沙量占总产沙量的 77.2%; 强度侵蚀以上($\geq 5\ 000\text{t}/\text{km}^2$) 的面积共 $179\ 784\text{km}^2$, 占总面积的 53.4%, 其产沙量占总产沙量的 87.5%。

(5) 本文得到的有关侵蚀强度与面积、侵蚀强度与产沙量、产沙面积与产沙量的数学表达式, 表明了彼此间的数量关系。

参考文献

- 1 龚时, 熊贵枢. 黄河泥沙来源和地区分布. 人民黄河, 1979, (1)
- 2 陈永宗. 黄河泥沙来源及侵蚀的时间变化. 中国水土保持, 1988, (1)
- 3 支俊峰等. 黄河流域粗泥沙来源及分布研究. 水土保持学报, 1990, (2)
- 4 景可等. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1992
- 5 王万忠, 焦菊英著. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙. 北京: 科学出版社, 1996
- 6 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