

黄河中游重蚀区不同下垫面的水沙效应*

尹国康

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

提 要 通过大量野外工作, 对研究区降水、径流和输沙作了系统分析, 揭示了黄土、风沙和基岩等不同下垫面的水沙效应, 加深了对水沙过程强度大、集中、时空多变等特点的认识, 为预测灾变性雨洪的水沙效应提供了科学依据。

关键词 黄河中游 降水 径流 产沙

研究区处于黄土高原干旱半干旱地区, 面积 $12.95 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。水土流失严重, 是造成黄河下游河床淤积的主要粗沙来源。

地面物质主要由黄土、风沙和基岩组成, 其所占面积分别为 62%、24% 和 14%^[1]。在基岩地面中, 风化甚深、抗蚀力很弱的砭砂岩露头, 占有相当的比重。鉴于地面物质的地域分异, 致使水沙过程及其产量发生重要的地域差异。

1 地面物质多样性及其对水沙过程的影响

1.1 下垫面物理特性

表 1 显示, 风沙土、黄土空隙度较高, 稳渗速度较大。而基岩出露区, 其稳渗速度较低, 有利于产流、集流, 形成洪峰和侵蚀产沙。黄土质地固然较砭砂岩疏松, 但砭砂岩中的泥岩在水中崩解速度却不亚于黄土。因此, 在皇甫川、窟野河、孤山川等流域中, 砭砂岩出露区产沙模数较高。

表 1 黄河中游重蚀区与水沙过程有关的地表物质特性^[2,3]

Tab. 1 Surface material properties relative to runoff and sediment-production processes in the middle Yellow River

地表物质层	地质年代	密度 / (g/cm ³)	密实程度	稳渗速度 / (mm/min)	水中崩解速度 /s	空隙度 /%
马兰黄土	Q ₃	1.3~1.45	较松	2.1~2.8	21~50	50~55
离石黄土	Q ₂	1.4~1.55	较紧密		40~140	45~50
风沙土	Q ₁	1.4~1.5	松散	3~3.5		
砭砂岩(泥岩)	T, N		紧密	0.6~1.2	<30	
砭砂岩(砂砾岩)	T, J		极紧密	0.6~1.2	>30	

* 内蒙古水保站等. 内蒙古准格尔旗皇甫川流域水土流失综合治理农林牧全面发展试验研究报告, 1985. 228.

* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 49671006 (Supported by the National Natural Science Foundation of China. No. 49671006).

来稿日期: 1997-03-30; 收到修改稿日期: 1998-12-08.

1.2 下垫面的产水特性

不同下垫面引起产水特性的差异主要有以下几个方面：

(1) 产流方式的差异。在基岩出露区，地面透水性和含蓄水份能力较低，集流快，地表径流十分突出，而地下径流较低，如皇甫川支流纳林川，流域面积 $1\,353\text{ km}^2$ ，其中有 915 km^2 发育于砭砂岩丘陵沟壑区，该流域的多年平均基流量仅及年径流总量的 18.7% 。然而在风沙覆盖区，降雨几乎全部入渗，形成稳定的地下补给水，如无定河上的芹河流域^①，发育于风沙覆盖区，其地下径流量占径流总量的 98% ，而地表径流只占 2% (1985~1990)。

(2) 径流过程的差异。在风沙区，由于缺乏地表径流作用，河网密度低，地面较缓平，这就更有利于降水入渗，河川流量调平，如芹河的洪峰流量只有常流量的 $2\sim 8$ 倍，平均月径流变幅仅 1.4 倍，并且月平均降水量与月径流量呈反变关系 (表 2)。而在基岩出露区，由于地表径流作用强度较大，加之砭砂岩风化程度深，沟谷深切，谷坡陡峻，十分有利于地表径流集中侵蚀，如纳林川，一场占平均年雨量 38.6% 的暴雨，可产生占平均年径流量 66% 的径流。在这里平均月径流变幅达 878 倍之巨，平均月径流量与月降水量呈 1.3 次幂的关系。至于黄土覆盖区的河流，其水沙特性则介于基岩区与风沙区之间，其平均年地下径流量约占年径流总量的 $50\%\sim 60\%$ ，地表径流占 $40\%\sim 60\%$ ^②。这里平均月径流变幅约 24 倍，月径流与月降水一般呈 0.6 次幂的关系。从年降水与产流的关系来看，产生 1 m^3 径流，在黄土区，往往需要 $7\text{ m}^3\sim 10\text{ m}^3$ 降水量，基岩区大约需 $5\text{ m}^3\sim 6\text{ m}^3$ ，而在风沙区似乎只需 $3\text{ m}^3\sim 4\text{ m}^3$ 。

表 2 不同下垫面三流域年内平均月径流变幅及 $Q_m\sim P_m$ 关系

Tab. 2 Amplitudes of mean monthly runoff over a year period and relations between mean monthly discharge and precipitation of case drainage basins for various material surfaces

下垫面类型	河流	A /km ²	W_{\max} /10 ⁴ m ³	W_{\min} /10 ⁴ m ³	W_{\max}/W_{\min}	$Q_m\sim P_m$	统计年份
黄土区	湫水河	1 873	3 268	134	24.4	$Q_m=0.255P_m^{0.662}$	1954~1979
基岩区	纳林川	1 351	3 511	4	878	$Q_m=0.024P_m^{1.292}$	1960~1979
风沙区	芹河	205.2	178	124	1.4	$Q_m=0.729P_m^{-0.08}$	1985~1990

* A 、 W_{\max} 、 W_{\min} 、 Q_m 、 P_m 分别为流域面积、平均最大月径流量、最小月径流量、月平均流量和平均月降水量。
 $Q_m\sim P_m$ 关系自上而下，其相关系数分别为 0.852 、 0.834 和 -0.819 。

(3) 暴雨径流特性的差异。基岩区的河流，如纳林川 1972-07-19 的一场暴雨，24 小时雨量达 156.4 mm ，占平均年雨量 405 mm 的 38.6% ，而径流量却占到该年径流量的 781% ；在黄土区，如岔巴沟流域，通常在 2 小时内，暴雨量超过 1.5 mm 就可产流，占年雨量 10% 左右的一场暴雨，就可产生占年总量 $50\%\sim 60\%$ 的径流。在这里，河流洪峰流量往往是常流量的数百倍甚至上千倍。然而，在风沙区，如芹河，其洪峰流量只有常流量的 $2\sim 8$ 倍。该流域 24 小时内降雨量小于 10 mm ，一般不产流，大于 50 mm 才会发生较大洪水^①。

1.3 不同下垫面产沙特性

在黄土区，尤其是砭砂岩出露区，侵蚀产沙过程主要是汛期四个月完成的，而汛期产

① 傅选齐，孙忠堂，刘志学。榆林市芹河沙地水土保持综合治理试点小流域径流泥沙观测研究。1991。

② 戴明英。径流泥沙成因分割估算模式。见：黄河水沙变化研究基金会。黄河水沙变化研究论文集（第五卷），1993。363~381。

沙又往往集中于几场大暴雨。据延安、绥德、子洲等地 210 场暴雨产沙资料统计, 日雨量大于 50 mm 的暴雨一般都引起严重侵蚀^[4], 如韭园沟, 1961-08-01 一场占年雨量 10% 的暴雨, 产生了占年沙量 89% 的泥沙。在纳林川, 1972-07-19 一场占年雨量 31.5% 的暴雨, 却产生了占年沙量 95% 的泥沙。然而, 发育于风沙区的芹河, 雨情和上述地区相似, 但径流却细水长流, 水沙输移过程十分平稳。该流域的暴雨侵蚀量只占全年侵蚀总量的 1.09%^①。从汛期降水、径流和输沙强度来看, 不同下垫面之间也存在着显著的差异 (表 3)。反映在输沙降水的年内变化关系上, 地域差异也十分明显。发育于砒砂岩区的纳林川, 其平均月输沙量随平均月雨量呈 3.767 次幂的速率增加; 黄土区大理河的增加率为 2.211 次幂; 而风沙区芹河却以 0.078 次幂的速率递减, 这是由于降水入渗以地下水的形式滞后出流造成的。至于降雨与侵蚀产沙的年际关系, 则黄土区的河流, 其年输沙量随年降水量通常呈 2.5 次幂、基岩区河流多呈 2.1 次幂, 而风沙区多呈 0.5~1.2 次幂递增。

表 3 不同下垫面水沙过程的差异 (%)^{*}

Tab. 3 Differentiation of runoff and sediment yield processes under various ground conditions

下垫面类型区	$P_f/\bar{P}_a/\%$	$W_f/\bar{W}_a/\%$	$S_f/\bar{W}_a/\%$	统计年份
砒砂岩区	77.9	86.5	97.5	1960~1979
黄土丘陵沟壑区	68~77	61~67	85~97	1960~1979
风沙覆盖区	70	30~40	30~55	1960~1969

* W_f 、 \bar{W}_a 分别为汛期 (6 月~9 月) 和年平均径流量、 S_f 、 \bar{W}_a 分别为汛期 (6 月~9 月) 和年平均输沙量, 其它符号同前。

1.4 不同下垫面降水输沙比特点

从总体上看, 产生每吨泥沙所需降水量, 以基岩区为最少, 黄土区次之, 风沙区最大, 而且属于不同量级 (表 4)。在基岩区和黄土区, 降雨历时愈短、强度愈大, 则降雨输沙比愈低, 而在风沙区情况较复杂。

表 4 不同下垫面流域降水输沙比^{*}

Tab. 4 Ratios between precipitation and sediment runoff for various ground basins

下垫面类型区	P_a/S_a	P_f/S_f	\bar{P}_h/\bar{S}_h	P_h/\bar{W}_h
基岩区	17~35	14~28	3.8~5.9	3~5
黄土区	21~56	16~41	4~10	1.7~2.3
风沙区	129~1 615	>2 000	700~1 500	180~200

* \bar{P}_h 、 \bar{W}_h 、 \bar{S}_h 分别为暴雨降水量、暴雨径流量和暴雨输沙量, 其它符号同前。

2 地面形态结构复杂性及其对水沙特性的影响

2.1 地面形态结构特点

就黄土覆盖区来看, 研究区大体上分属于四个地貌类型区:

(1) 黄土丘陵沟壑第一副区 (简称黄丘一副区)。主要分布于河龙区间北、中片各入黄支流的中下游, 面积约 $6.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这里以峁状丘陵为主, 地面主要由沙质新黄土组成,

① 傅选齐, 孙忠堂, 刘志学. 榆林市芹河沙地水土保持综合治理试点小流域径流泥沙观测研究. 1991.

沟壑密度高达 $3.4 \text{ km/km}^2 \sim 7.6 \text{ km/km}^2$ ，坡度在 25° 以上的地面占到 69% 。由于土松、沟密、坡陡，侵蚀模数多在 $1.2 \times 10^4 \text{ t/km} \cdot \text{a}$ 以上。

(2) 黄丘二副区主要分布在延河、北洛河上游和马连河西川中游地区，面积约 $1.49 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。以峁状丘陵为主，间有残塬。地面多半由新黄土组成。沟壑密度一般为 $3 \text{ km/km}^2 \sim 5 \text{ km/km}^2$ ，坡度在 25° 以上的地面亦占到 50% 以上。鉴于地面土质松散、沟壑密度和地面坡度较大，故地面在未治理之前其侵蚀模数多在 $0.9 \times 10^4 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 以上。

(3) 黄丘五副区，主要分布在红河、县川河、朱家川、北洛河、马连河西川等河上游，面积约 $1.39 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。这里黄土地貌以平梁大峁为主，间有古宽谷盆地，地面一般有黄土覆盖，但沟壑密度较小，一般为 $1.4 \text{ km/km}^2 \sim 2.5 \text{ km/km}^2$ ，坡度较缓， 25° 以内的地面占在 87% ，其中小于 5° 的缓平地面占到 21% 。由于地面坡度较缓，沟壑密度较小，故侵蚀模数较低，一般为 $5\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a} \sim 6\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。

(4) 黄土高原沟壑区，主要分布在晋西临汾地区，面积约 $4\,900 \text{ km}^2$ 。黄土塬面宽阔，平均沟壑密度仅 $1.2 \text{ km/km}^2 \sim 2.3 \text{ km/km}^2$ ，而沟谷切割较深。地面多发育壤黄土，小于 5° 的缓平地面近占到 40% 。

这四大片黄土地貌类型区又为大小流域所覆盖，并为部分流域将其耦合在一起。因此，流域地貌为该地区的次一级地面形态结构。不同流域形态结构，对水沙过程有着重要影响。

2.2 流域平面外形特征

入黄支流固然其大小级别不同，外表形态各异，但其主要发育于黄土覆盖区，从宏观上看，下垫面较为“单一”，受构造控制的畸形流域并不多见，故各支流的形状也有一定的相似，其狭长度 $L_b/2\sqrt{A/\pi}$ 或园度 $2\sqrt{A/\pi}/L_b$ 值的波动幅度不是很大。以本区面积逾 $1\,000 \text{ km}^2$ 的 22 条独流入黄支流来看，其狭长度仅变动在 $1.86 \sim 2.87$ 之间，园度波动在 $0.33 \sim 0.54$ 之间，其流域面积 A 与流域长度 L_b 之间、与河流坡度 J 之间均存在着明确的关系：

$$L_b = 1.752A^{0.547} \quad r = 0.968 \quad N = 22 \quad (2-1)$$

$$J = 397.297A^{-0.549} \quad r = -0.836 \quad N = 22 \quad (2-2)$$

2.3 地面形态结构对产水产沙的影响

地面物质物理特性的地域分异，必然引起地面形态结构的地域差异，进而引起产沙方式和强度的地域差异（表 5）。即便发育于同类型下垫面区的小流域，其地面形态结构也存在着较大的差异。

表 5 不同下垫面的地表形态结构、产沙方式和侵蚀强度特点^{*}

Tab. 5 Characteristics of form structure, sediment-production way and erosion intensity on various material surfaces

下垫面类型区	D /(km/km^2)	A_v/A	主要产沙方式	输沙模数 /($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$)
砒砂岩出露区 ^①	$5.0 \sim 7.0$	$40 \sim 70$	谷坡块体崩塌、散落作用十分强烈	$20\,000 \sim 21\,000$
黄土丘陵沟壑区 ^②	$2.5 \sim 7.5$	$25 \sim 48$	谷坡重力侵蚀、谷道水流侵蚀、沟间地坡面冲刷	$10\,000 \sim 18\,000$
风沙覆盖区 ^②	$0.05 \sim 0.1$	$3 \sim 5$	风吹使沙丘向河岸移动 → 岸坡滑塌 → 河床水流输移	$200 \sim 400$

* 表中 D 、 A_v 分别为河网密度和沟谷面积。

① 傅选齐，孙忠堂，刘志学. 榆林市芹河沙地水土保持综合治理试点小流域径流泥沙观测研究. 1991.

② 戴明英. 轻重泥沙成因分割估算模式. 见：黄河水沙变化研究基金会. 黄河水沙变化研究论文集（第五卷）. 1993. 363～381.

由于流域地面沟壑密度或沟谷面积比差异较大,与此相应的侵蚀模数变化幅度也较大,如处于高土塬沟壑区的南小河流域,其值为 $4\,350\text{ t/km}\cdot\text{a}$,而黄丘区的韭园沟却达 $18\,120\text{ t/km}\cdot\text{a}$ 。至于沟谷地的侵蚀模数,大致变动在 $14\,000\text{ t/km}^2\cdot\text{a}\sim 27\,000\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ 之间(表6)。黄丘区沟谷侵蚀模数为沟间地的1倍~4倍,而黄土塬沟壑区的谷地侵蚀模数为沟间地的10倍以上。发育于黄土区的流域,其谷地的产沙量占到全流域的50%以上,甚至高达86.3%。

表6 黄河中游黄土覆盖区不同地貌类型小流域产沙特征^[2]

Tab. 6 Characteristics of sediment yield of small drainage basins with various types in loess area

地貌类型区	流域	P_a /mm	M_{aa} /($\text{m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	M_{ia} /($\text{t}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	M_{ir} /($\text{t}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	M_{ir}/M_{ia}	S_r/S_B
黄丘 I 副区	韭园沟	525	24 695	18 120	21 910	1.37	53.6
黄丘 I 副区	王家沟	510	28 500	15 850	27 280	4.04	76.2
黄丘 II 副区	吕二沟	590		10 390	16 598	3.60	77.0
黄土塬沟壑区	南小河流域	557	8 993	4 350	13 701	10.89	86.3

* M_{aa} 、 M_{ia} 、 M_{ir} 、 M_{ia} 、 S_r 、 S_B 分别为平均年径流模数、年产沙模数、谷地侵蚀模数、沟间地侵蚀模数、谷地产沙量、流域产沙量。

3 侵蚀过程特点

3.1 强度大

由于本区气候干旱,植被覆盖率低,地面物质松散,暴雨强度大,因此,地面侵蚀强度很大。据占总面积80%的测控流域实测统计,平均年输沙模数高达 $0.963\times 10^4\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$,其中如孤山川流域($1\,263\text{ km}^2$)、佳芦河流域($1\,121\text{ km}^2$)达 $2\times 10^4\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ 以上。窟野河下游神木至温家川区间($1\,347\text{ km}^2$),其年输沙模量高达 $4.25\times 10^4\text{ t/km}\cdot\text{a}$ (1956~1969),最大年份可达 $8\times 10^4\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ (1959、1967)。

3.2 过程集中

据本区17条直接入黄支流(总面积 $64\,764\text{ km}^2$)的50年代~60年代实测资料统计,年内最大1日、最大30日和汛期的输沙量分别占到年输沙量的28.9%、61.5%和97.6%。从暴雨—径流—输沙过程来看,年内的输沙量主要是由几场暴雨完成的。并且从表7可见,在同样降水量的情况下,集中降水所产生的地面侵蚀效应要较分散降水的效应强得多。

3.3 时空变化复杂性

输沙过程年际间波动性也十分突出,如窟野河最大1日、最大30日、汛期(6月~9月)及年的输沙量年际间波动幅度分别高达168.8、105.1、88.5和57.6倍(1954~1969)。其下游神木至温家川区间,1959年的输沙量高达 $16.7\times 10^7\text{ t}$,而1965年的沙量仅 $16\times 10^4\text{ t}$,两者之间相差达927.8倍之巨。在空间上,侵蚀强度不仅受地面物质性质和地貌部位的制约,而且还与土地利用类型相关。在同一物质组成的小流域中,其侵蚀模数,从农耕地到牧草地,再到道路和村庄,渐次增大。

表 7 昕水河唐户沟暴雨—径流—产沙关系^①

Tab. 7 Relations among storm, runoff and sediment runoff in Tanghugou gully, Xinsuihe stream

年份	暴 雨		P_a	P_b/P_a	W_b/W_a	S_b/S_a
	次数	P_b mm	mm			
1976	2	59.6	588	10.1	60.9	73.1
1977	8	46.0	575.5	8.0	89.2	90.7
1978	3	53.2	602.3	8.8	71.6	85.7
1979	2	41.4	480	8.6	59.0	49.4
1980	3	32.1	514.6	6.2	56.5	85.5
1981	3	57.3	528.8	10.8	86.2	93.3
1982	1	15.0	373.6	4.0	81.1	83.7
1983	3	35.6	550.7	6.5	14.5	31.5
1984	4	179.6	486.7	36.9	79.8	83.5
1985	3	35.6	590.6	6.0	47.1	31.5
平均	3.2	55.3	529.1	10.5	64.6	70.8

• P_b 、 W_b 、 S_b 分别为暴雨量、暴雨径流量和暴雨产沙量； P_a 、 W_a 、 S_a 分别为年相应值。

4 结语

(1) 本区是我国水土流失最严重地区，每年从这里输入黄河的泥沙占黄河总沙量的 60% 以上，而且沙粗， >0.025 mm 颗粒占到总沙量的 50%~70%，是造成黄河下游河床淤积的主要泥沙来源区。

(2) 由于地表物质性质差异，其产水特性有很大不同。在风沙覆盖区，地表径流很小，而地下径流高达 90% 以上，甚至达到 98%；而砒砂岩出露区，其多年平均基流量远不到年径流总量的 20%；黄土区在治理水平较低的 50 年代~60 年代，其平均地下径流量约占年径流总量的 50%~60%。在径流年内变幅方面，其量值固然与流域面积有关，但从其规模可作比较的流域看，如处在砒砂岩出露区的纳林川，其平均月径流变幅达 878 倍，处于黄土覆盖区的湫水河为 24 倍。而处于风沙覆盖区的秃尾河（高家堡站）仅 2.2 倍。在平均月径流量与月降水量的关系上，基岩区、黄土区分别为 1.3 次幂和 0.6 次幂的关系，而在风沙区，两者可呈反变关系。在年际变化方面，基岩区、黄土区、风沙区的平均年径流量与年降水量分别呈现为 1.9 次幂、0.7~0.8 次幂及 0.1~0.4 次幂的关系。至于在年降水与年产流之间相对数量上，黄土区、基岩区、风沙区每产生 1 m^3 径流，大致分别需要 7 m^3 ~ 10 m^3 、 5 m^3 ~ 6 m^3 和 3 m^3 ~ 5 m^3 的降水量。

(3) 不同下垫面产沙特性的差异更为突出，全区汛期雨量固然均为年降水量的 70%~75% 左右。但汛期平均输沙量，在黄土区和砒砂岩区都占到年沙量的 90% 以上。而在风沙区，汛期沙量仅及年沙量的 30%~55%。黄土区和砒砂岩区平均月输沙量随月降水量呈 2~3 次幂的速率增长，而在风沙区的芹河，两者却呈反变关系。至于产生每吨泥沙所需降水量，以砒砂岩区为最少，黄土区次之，风沙区最大。此外，在基岩区和黄土区，降雨强度愈大，则降雨输沙比愈低，而在风沙区情况较复杂。

① 黄委会水科院，多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测，1995。

表 8 平均年降水、径流、产沙因气候波动和人类活动而发生变化^①
 Tab. 8 Variations of mean annual precipitation-runoff-sediment yield caused
 by both climatic fluctuation and man's activity in the area

年 份	P_a /(10 ⁴ m ³)	W_a /(10 ⁴ m ³)	S_a /(10 ⁴ t)	W_a/P_a	P_a/W_a	P_a/S_a	W_a/S_a
50~60 年代	4 935 273	547 900.5	99 811.6	11.10	9.01	49.45	5.49
1970~1979	4 472 753	446 677.4	96 035.6	9.98	10.01	46.57	4.65
1980~1989	4 232 160	352 775.3	41 570.6	8.34	12.00	101.81	8.49

* 符号含意与表 3 雷同,参数由研究区 21 条面积逾 1 000 km² 黄河支流(总面积 103 704 km²)实测资料统计得到。

(4) 由于人类活动和气候波动,自 70 年代以来,本区径流系数和降水径流所引起的产沙效应明显减小(表 8)。

参 考 文 献 (References)

- 1 Tang Keli, Xiong Guishu, Liang Jiyang et al. Erosion and change of runoff and sediment in the Yellow River valley. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993. 249. (In Chinese) [唐克丽, 熊贵枢, 梁季阳等. 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. 249.]
- 2 Jing Ke, Chen Yongzong, Li Fengxin. Sediment and environment in the Huanghe River. Beijing: Science Press, 1993. 248. (In Chinese) [景可, 陈永宗, 李凤新. 黄河泥沙与环境. 北京: 科学出版社, 1993. 248.]
- 3 Loess Plateau Synthetic Surveying Team of Academia Sinica. Regional Characteristics and Control of Soil Erosion in Loess Plateau Area. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1990. 277. (In Chinese) [中科院黄土高原综合考察队. 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. 277.]
- 4 Yin Guokang, Chen Qinluan. Characteristic index and statistical model of sediment yield in small drainage basins of loess plateau in China. *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(1): 32~46. (In Chinese) [尹国康, 陈钦峦. 黄土高原小流域特性指标与产沙统计模式. 地理学报, 1989, 44(1): 32~46.]
- 5 Yin Guokang. An analysis on the causes of variations of runoff and sediment yield in the sandy and coarse sediment region of the middle Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(2): 174~183. (In Chinese) [尹国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析. 地理学报, 1998, 53(2): 174~183.]
- 6 Armstrong A C. Potential effects of climate change on agricultural production and the hydrology of drained grassland in the UK. In: McGregor, Duncan F M, Thompson D A. *Geomorphology and Land Management in a Changing Environment*. 1995.
- 7 Jones David K C. Environmental change, geomorphological change and sustainability. In: McGregor D F M, Thompson D A. *Geomorphology and Land Management in a Changing Environment*. 1995.
- 8 Thompson D A, Sooging H M. Agricultural terrace degradation in south-east Spain: modelling and management strategies. In: McGregor D F M, Thompson D A. *Geomorphology and Land Management in a Changing Environment*. 1995.

① 南京大学大地海洋科学系. 黄河中游多沙粗沙区产水、产沙特性、统计模型及水沙变化原因分析. 1995.

EFFECT OF VARIOUS LAND SURFACES ON RUNOFF AND SEDIMENT YIELD IN THE HEAVY EROSION AREA, THE MIDDLE YELLOW RIVER

Yin Guokang

(Department of urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words Yellow River, rainfall, runoff, sediment yield

Abstract

Located in loess plateau of China, the study area belongs to dry and semi-arid region with $12.95 \times 10^4 \text{ km}^2$ of area. Here erosion is very heavy. It is the main source area causing channel deposition in the lower Yellow River. By a detailed analysis on characteristics of precipitation-runoff-sediment yield of various land surfaces of the area, the main points of the paper are as follows:

1. Annual precipitation in the area is generally 450 mm or so, of which rainfall from June to Sept. amounts to 73 per cent of the total. Here not only is storm intensity very heavy as that a heavy storm on Aug. 1, 1997, in which the maximum point rainfall of the storm centre amounted to 1 400 mm with 10 hours duration, but the storms are frequent in summer and varied in time and space.

2. Surface material compositions of the area are mainly loess (62%), sand blown by the wind (24%) and bed rock (14%). Various surfaces make a notable impact on runoff and sediment runoff processes. Of mean annual runoff, only 18.7 per cent is in the form of baseflow for the rock outcrop area, 50~60 per cent for the area covered with loess, and more than 90 per cent for the area covered with sand blown by the wind. Of mean annual runoff, about 85 per cent occurs from June to Sept. for the rock area, about 65 per cent for the loess area; and 35 per cent for the area covered with sand. As to mean annual sediment yield, of which over 97 per cent falls in flood period for the rock area, about 85~97 per cent for the loess area and only 30~55 per cent for the area covered with sand.

3. Both material composition and form structure of land surface have a great influence on erosion intensity. In sandstone area with very weak resistance to erosion the breaching extents (A_i/A) of the surface, the quotient of the gully or valley cumulative area (A_i) and the total drainage area (A), typically lie in the range 0.4 to 0.7 and the sediment yield module highly reach the range between $20\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ and $21\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$. The module generally lie in the range $10\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ to $18\,000 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ for loess mantle area with the values of A_i/A lying between 0.25 and 0.48. The module often lie between $200 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ and $400 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ for the sand mantle area with the values of A_i/A lying between 0.03 to 0.05. As to within the loess mantle area the values of erosion modulus may be from 3 to 4 times variation between various sections due to difference in morphology.