

黄土高原坡面降雨产流产沙 过程变化的统计分析

王万忠 焦菊英

(中国科学院
水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘要 该文根据子洲团山沟3号径流场(坡度 22° , 面积 $60\text{m} \times 15\text{m} = 300\text{m}^2$)33次降雨产流产沙的过程变化情况, 统计分析了不同类型降雨坡面产流过程中的降雨变化及产流产沙过程变化。

关键词 坡面 产流产沙 过程变化

Statistic Analysis on Variation of Rainfall and Runoff-sediment Yield Process on Slope Surface in Loess Plateau Region

Wang Wanzhong Jiao Juying

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

Abstract Based on the information of 33 times rainfall, runoff and sediment yield at No. 3 runoff plot in Zizhou Tuanshangou watershed, the variation of rainfall and runoff-sediment yield on slope surface under different rain pattern are analyzed by using statistic method.

Keywords slope surface; runoff and sediment yield; process variation

1 坡面产流过程中的降雨变化

表1是子洲团山沟3号径流场13次产流过程中的降雨变化情况, 从表1的统计结果可以看出:

(1)黄土高原引起产流的主要降雨类型为短历时局地雷暴雨(A型)。这类暴雨产流发生前的降雨量一般为 $2 \sim 4\text{mm}$, 占次降雨量的10%左右, 引起产流的5min降雨强度为 $0.36 \sim 0.55\text{mm}/\text{min}$ 。在产流中的降雨量一般占次降雨量的80%以上, 降雨强度一般在 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 以上, 这和引起产流的降雨强度基本一致。产流停止后的降雨量一般也只有二三毫米, 占次雨量的5%~10%, 降雨强度也只有 $0.01 \sim 0.03\text{mm}/\text{min}$ 。从降雨历时看, 产流发生前的降雨历时多为 $3 \sim 10\text{min}$, 也有一些超过了 50min , 但是不论历时长短, 真正引起产流的降雨历时也只有 $2 \sim 5\text{min}$, 因为大部分的降雨历时为高强度降雨前的零星降雨。产流过程中的降雨历时(产流历

时)一般为10~40min,占次降雨历时的20%~40%,产流停止后的降雨时间不等,有的只有几分钟,有的超过100min,这主要决定于降雨强度,只要是不能产生径流的微量降水,时间长短是随降雨本身的特性而定。

表1 子洲团山沟3号径流场产流过程中的降雨变化

日期 (年.月.日)	降雨情况						产流发生前降雨				
	历时	雨量	雨强	最大时段雨量			雨型	历时	雨量	雨强	5min 雨强
	(min)	(mm)	(mm/min)	(10min)	(30min)	(60min)		(min)	(mm)	(mm/min)	(mm/min)
19630826	110	22.0	0.200	12.2	18.3	21.5	A	64	4.3	0.067	0.42
19640714	35	14.2	0.406	9.7	14.1	14.2	A	7	2.4	0.340	0.42
19640802	194	27.4	0.141	17.0	24.8	26.3	A	9	2.1	0.233	0.38
19640823	30	7.8	0.260	7.1	7.8	7.8	A	15	2.0	0.133	0.36
19660627	128	51.3	0.401	17.5	36.4	44.9	A	8	2.0	0.250	0.44
19660808	51	11.5	0.225	10.3	11.3	11.5	A	3	1.3	0.430	0.38
19660815	215	37.9	0.176	14.9	32.2	36.2	A	55	2.6	0.047	0.54
19670826	150	28.3	0.190	10.5	20.8	26.4	A	13	3.2	0.246	0.36
19680715	34	29.0	0.853	23.0	28.8	29.0	A	3	4.0	1.330	0.52
19660717	445	71.3	0.160	12.8	25.1	37.5	B	73	5.7	0.078	0.74
19670821	816	36.0	0.044	5.4	8.6	12.0	B	23	3.9	0.169	0.42
19630615	728	36.5	0.050	13.4	20.2	21.9	B	7	3.8	0.540	0.64
19640705	1095	92.1	0.084	8.7	17.1	22.2	C	649	33.5	0.052	0.46

日期 (年.月.日)	产流过程中降雨						产流停止后降雨		
	历时	雨量	雨强	停流历时	停流雨量	停流雨强	历时	雨量	雨强
	(min)	(mm)	(mm/min)	(min)	(mm)	(mm/min)	(min)	(mm)	(mm/min)
19630826	46	17.7	0.385	—	—	—	0	0	0
19640714	19	11.7	0.616	—	—	—	9	0.1	0.011
19640802	24	23.0	0.958	—	—	—	161	2.3	0.014
19640823	10	5.6	0.560	—	—	—	0	0	0
19660627	48	41.3	0.860	—	—	—	72	8.0	0.110
19660808	15	9.9	0.660	—	—	—	33	0.3	0.009
19660815	38	31.3	0.824	—	—	—	122	4.0	0.033
19670826	40	22.0	0.550	—	—	—	97	3.1	0.032
19680715	16	24.7	1.554	—	—	—	15	0.3	0.020
19660717	78	54.7	0.701	33	5.6	0.170	261	5.3	0.020
19670821	69	22.2	0.320	615	6.1	0.010	109	3.8	0.035
19630615	67	20.3	0.300	52	2.2	0.040	602	10.2	0.034
19640705	64	31.6	0.494	110	16.6	0.151	272	10.4	0.038

(2)同A型暴雨不同,锋面性降雨夹有雷暴性质的B型暴雨,产流前的降雨量一般为3.5~5.5mm,同样占次降雨量的10%,引起产流的5min降雨强度为0.4~0.7mm/min。产流中的降雨量一般占次降雨量的70%以上,这其中包括了一部分未产流的间歇性降雨,实际产流雨量一般占次雨量的40%~70%。产流停止后的降雨量一般不超过10mm,降雨强度在0.02~

0.04mm/min。从降雨历时看,B型降雨产流发生前的降雨历时一般在20~70min,如果雷暴性降雨先发生,那么,产流前的降雨历时可能只有几分钟。B型暴雨的产流历时一般只有50~80min,仅占降雨总历时的10%~20%,产流过程中的间歇性降雨历时和产流停止后的降雨历时要占总降雨历时的70%以上。

(3)长历时锋面雨(C型)在产流前的降雨量可达几十毫米,有时占次降雨量的1/3~1/2。只要没有能够引起产流的高强度降雨,其雨量还可能达到五六十毫米,因为对于黄土性土壤来说,超渗产流是最基本的产流特点。C型降雨产流中雨量一般占次雨量的20%~30%,产流过程中的间歇性降雨和产流停止后的降雨雨量可占次雨量的20%~40%。从降雨历时看,C型降雨在产流发生前的降雨历时达数百分钟,可占次降雨历时的一半左右,产流历时一般只有50~80min,仅占次降雨历时的5%~10%,产流过程中低强度间歇性降雨和产流停止后降雨的历时一般占次降雨历时的30%~50%。

(4)从产流过程中降雨变化的总体情况看,由于黄土性土壤具有超渗产流的显著特点,因此,不论产流发生前降雨量多大,降雨历时多长,关键是触发产流的瞬时降雨强度一般要达到0.5mm/min左右,A型暴雨产流前的降雨历时一般为3~10min,B型暴雨为20~50min,C型暴雨为300~800min,可能也有几十分钟。A型暴雨的产流历时一般为10~40min,B型暴雨和C型暴雨有50~80min。产流历时占降雨总历时的比例A型暴雨为20%~40%,B型暴雨为10%~20%,C型暴雨为5%~10%;产流停止后和产流过程中低强度间歇性降雨的历时,A型暴雨只有几分钟到几十分钟,B型暴雨和C型暴雨可达数百分钟。从产流雨量和非产流雨量的比例看,A型暴雨产流雨量占总雨量的80%以上,B型暴雨为50%~80%,C型暴雨为30%左右。

2 坡面产流、产沙的过程变化

图1—4是团山沟3号径流场6次典型降雨的降雨与产流、产流与产沙、产流与输沙、产沙与输沙的过程变化。表2是团山沟3号径流场1963~1969年39次产流降雨最大流量、最大含沙量和最大输沙率在产流过程中的出现时间,表3是产流开始后一二分钟的最大流量、最大含沙量出现时的流量、含沙量以及最大含沙量、最大流量的出现时间(以产流开始后的时间计算)。通过上述图表,我们对黄土高原坡面产流、产沙的过程变化有以下认识:

(1)从39次降雨流量、含沙量和输沙率的峰值出现时间看,有50%的降雨流量、含沙量和输沙率峰值同时出现。有30%的降雨含沙量峰值超前于流量和输沙率峰值。有8%的降雨流量峰值超前于含沙量和输沙率峰值。有12%的降雨流量、含沙量、输沙率峰值互不同时出现。

(2)当含沙量峰值超前于流量峰值时,最大含沙量多出现在产流开始后的一二分钟,而最大流量多出现在最大含沙量后的1~4min或产流的中段。根据统计结果,流量峰值滞后于含沙量峰值的时间一般不超过5min。当含沙量峰值滞后于流量峰值时,一般最大含沙量紧随最大流量出现,时间只差一二分钟。因此对于坡面产流产沙来说,沙峰和洪峰几乎是同时出现。

(3)根据表3的统计结果,33次降雨的最大含沙量平均为552.6kg/m³,最大流量出现时的含沙量平均为476.7kg/m³,最大流量时的含沙量相当于最大含沙量的86.3%,比最大含沙量小15%左右。在这33次降雨中,有15次降雨沙峰和洪峰同时出现,洪峰时的含沙量即为最大含沙量;有12次降雨沙峰超前于洪峰,这12次降雨最大含沙量平均为662.4kg/m³,而最大

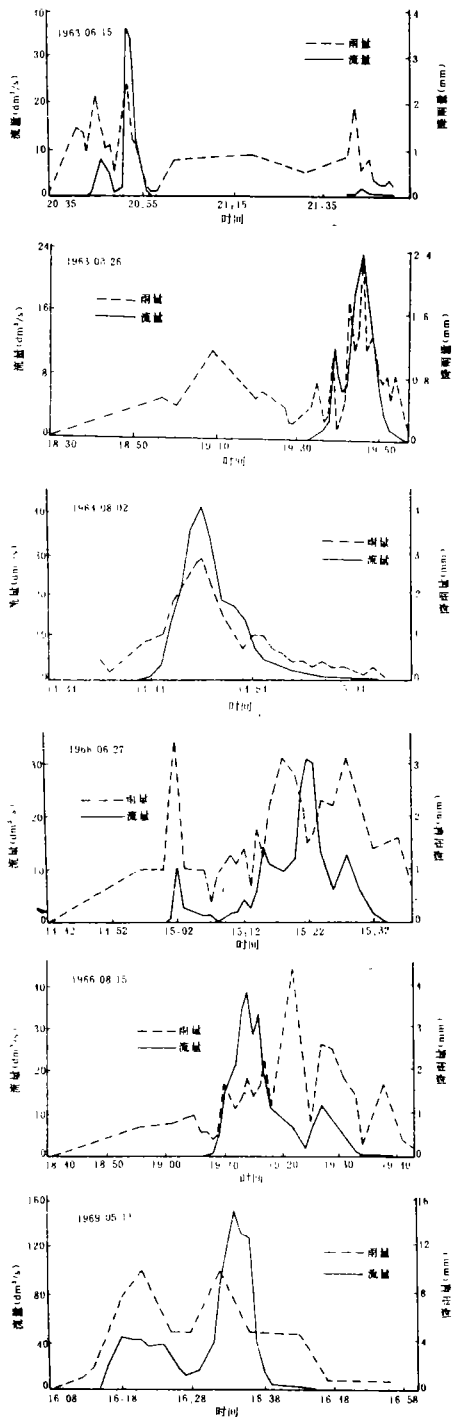


图1 子洲团山沟3号径流场6次产流降雨量与流量的过程变化

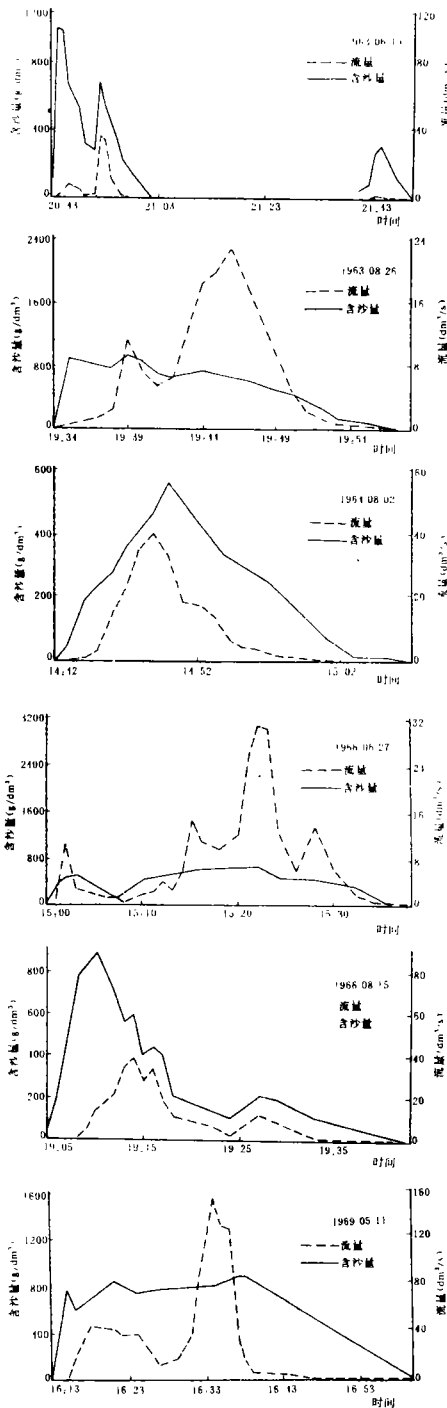


图2 子洲团山沟3号径流场6次产流降雨量与含沙量的过程变化

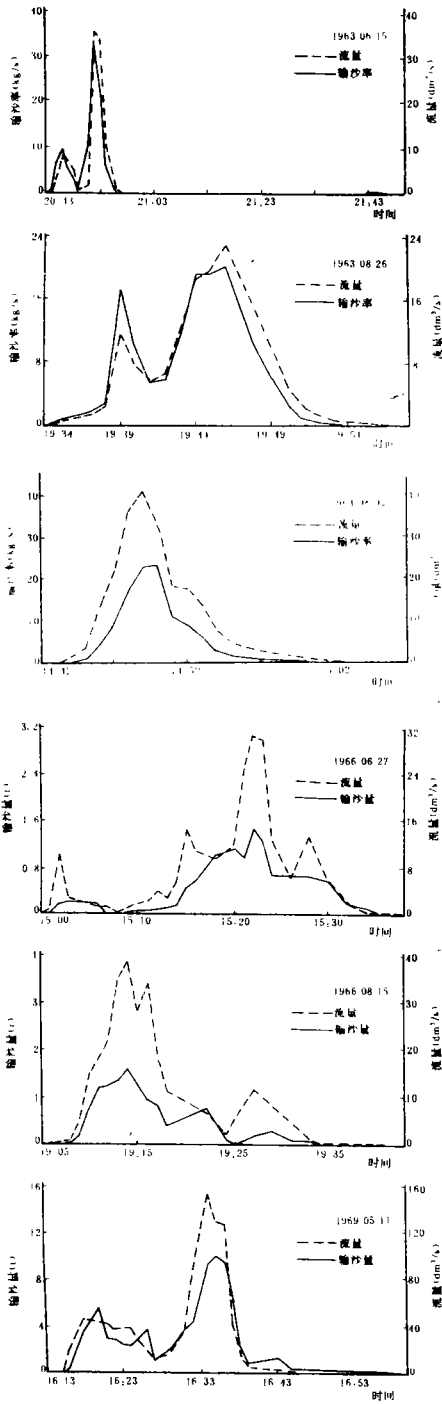


图3 子洲团山沟3号径流场6次产流降雨流量与输沙量的过程变化

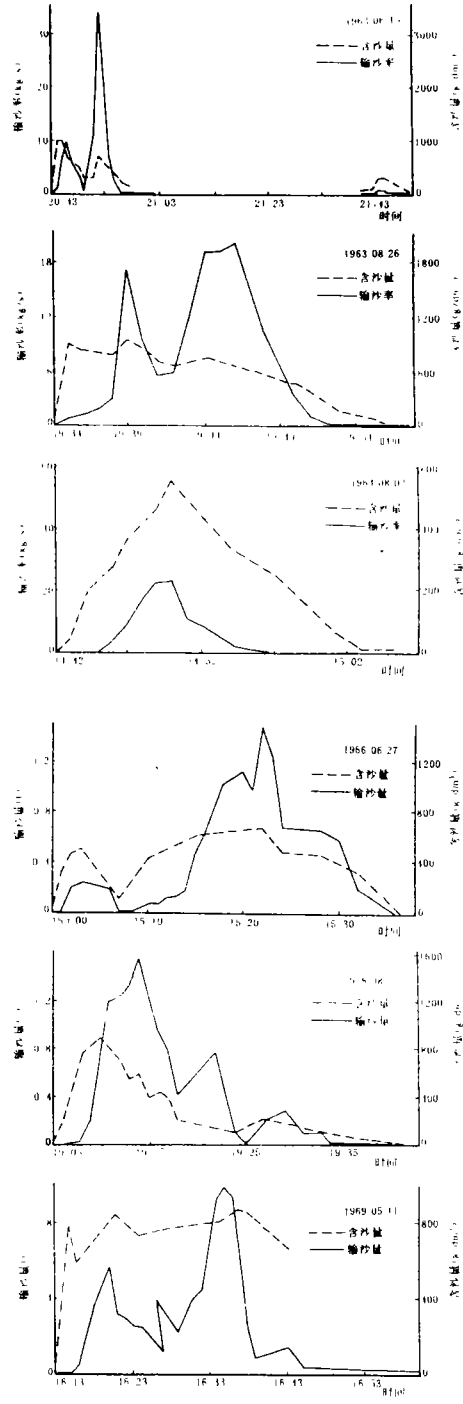


图4 子洲团山沟3号径流场6次产流降雨含沙量与输沙量的过程变化

流量出现时的含沙量平均为 $517.9\text{kg}/\text{m}^3$,最大流量出现时的含沙量相当于最大含沙量的 78.2% ,比最大含沙量小 20% 左右;有6次降雨沙峰滞后于洪峰,这6次降雨的最大含沙量平均为 $371.8\text{kg}/\text{m}^3$,最大流量出现时的含沙量平均为 $293.3\text{kg}/\text{m}^3$,相当于最大含沙量的 78.8% ,比最大含沙量也小 20% 左右。从总体看,当洪峰和沙峰不同时出现时,最大流量出现时的含沙量一般比最大含沙量小 20% ,但是洪峰和沙峰出现时的流量却差异很大。沙峰超前于洪峰的12次降雨,洪峰时的最大流量平均为 $18.6\text{dm}^3/\text{s}$,沙峰时的流量平均为 $9.3\text{dm}^3/\text{s}$,二者相差1倍。

表2 子洲团山沟3号径流场流量、含沙量、输沙率的峰值出现时间

日期 (年.月.日)	最大流量 (m^3/s)	最大含沙量 (kg/m^3)	最大输沙率	备注	日期 (年.月.日)	最大流量 (m^3/s)	最大含沙量 (kg/m^3)	最大输沙率	备注
19640705	1:00	1:00	1:00	流量、含沙量、输沙率、峰值同时出现。	19630615	20:52	20:44	20:52	沙峰在先。
19640721	3:44	3:44	3:44		19630826	19:46	19:39	19:46	流量和输沙量峰值
19640823	21:43	21:43	21:43		19630828	20:43	20:41	20:43	同时出现。
19640911	22:05	22:05	22:05		19660627	15:22	15:21	15:22	
19660626	16:44	16:34	16:44		19660815	19:14	19:10	19:14	
19660814	16:34	16:34	16:34		19670821	19:54	19:53	19:54	
19670829	13:07	13:07	13:07		19670826	15:52	15:50	15:52	
19670831	23:20	23:20	23:20		19680715	19:48	19:44	19:48	
19690512	2:07	2:07	2:07		19690616	15:12	15:11	15:11	
19660717	18:36	18:36	18:36		19680822	0:28	0:26	0:28	
19640714	22:37	22:37	22:37		19690704	14:43	14:42	14:43	
19680813	10:13	10:13	10:13		19690714	17:32	17:31	17:32	
19690809	23:24	23:24	23:24	19680718	18:42	18:44	18:44	洪峰在先,沙峰和最大输沙率或洪峰	
19690820	21:37	21:37	21:37	19640802	14:49	14:50	14:50	和最大输沙率同时出现	
19610927	3:59	3:59	3:59	19680725	18:47	19:03	18:47		
19690720	17:41	17:41	17:41	19680719	13:59	14:03	13:59		
19660808	7:27	7:27	7:27						
19660828	19:10	19:10	19:10	19670824	23:53	23:55	0:00	流量、含沙量	
19670819	22:24	22:24	22:24	19690726	19:07	19:08	19:01	输沙率峰值	
19670822	2:47	2:47	2:47	19610722	13:53	13:46	13:50	互不同时出现	

(4)在33次降雨产流中,最大含沙量出现在产流开始后 $1\sim 3\text{min}$ 的占 40% ,出现在产流开始后 5min 内的占 60% ,出现在产流开始后 10min 的占近 80% 。

(5)在33次降雨产流中,产流开始 1min 的流量平均为 $0.31\text{dm}^3/\text{s}$,多数在 $0.2\sim 0.6\text{dm}^3/\text{s}$ 之间,仅为最大流量的 2.2% ,但其含沙量却高达 $292.7\text{kg}/\text{m}^3$,多数在 $200\sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ 之间,相当于洪峰含沙量的 61.4% ;产流 2min 的流量平均为 $1.8\text{dm}^3/\text{s}$,多数在 $1.0\text{dm}^3/\text{s}$ 左右,仅为最大流量的 13.3% ,但其含沙量高达 $369.5\text{kg}/\text{m}^3$,相当于洪峰含沙量的 77.5% 。

(6)含沙量峰值出现在产流一开始的多为局地雷暴雨,这类暴雨一开始,降雨强度很大,高强度的降雨以很大的能量冲击地表,并使地表薄层水流产生强烈紊乱,增加水流的挟沙能力。从统计结果看,在33次降雨中,产流 1min 含沙量超过 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 的有7次,占 21.2% ;超过 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 的有10次,占 30.3% ;超过 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 的有19次,占 57.6% 。产流 2min 含沙量超过 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 的就有10次,占 30.3% ;超过 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 的有15次,占 45.5% ;超过 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 的有21次,占 63.6% 。

最大含沙量出现在产流后1min 的有3次,出现在产流2min 以内的有7次。

表3 子洲团山沟3号径流场产流开始后一二分钟和洪峰、沙峰出现时的流量、含沙量及最大含沙量、最大流量的出现时间

日期 (年.月.日)	1min 产流		2min 产流		最大流量		最大含沙量		最大含沙量 出现时间	最大流量 出现时间
	流量 (m ³ /s)	含沙量 (kg/m ³)	流量 (m ³ /s)	含沙量 (kg/m ³)	流量 (m ³ /s)	含沙量 (kg/m ³)	含沙量 (kg/m ³)	流量 (m ³ /s)	产流开始 后的时间 (min)	产流开始 后的时间 (min)
19630615	0.59	1010	6.50	1000	36.4	693	1010	0.59	1	8
19630826	0.63	909	1.00	841	22.9	661	957	11.5	4	11
19630828	0.13	456	1.93	269	11.6	421	456	0.13	1	4
19640705	0.04	29.9	0.26	145	5.52	740	740	5.52	10	10
19640714	0.15	110	1.91	296	9.57	449	449	9.57	5	5
19640802	0.04	52	0.89	186	40.9	462	556	33.6	8	7
19640823	0.15	218	2.72	398	22.9	556	556	22.9	4	4
19640721	0.04	21.4	0.16	19.2	0.44	97.8	97.8	0.44	13	13
19640911	0.04	9.69	0.09	6.23	0.96	127	127	0.96	35	35
19660626	0.8	625	3.8	700	23.7	765	765	23.7	6	6
19660627	0.9	330	10.6	481	30.7	668	673	24.8	21	22
19660717	0.2	327	2.6	695	17.4	863	863	17.4	3	3
19660808	0.4	192	3.1	284	13.5	412	412	13.5	3	3
19660814	0.3	607	0.4	799	0.4	799	799	0.4	2	2
19660815	0.1	204	0.5	540	38.8	589	889	14.9	5	9
19660828	0.4	66.6	1.0	112	9.2	244	244	9.2	5	5
19670819	0.5	634	1.7	694	1.7	694	694	1.7	2	2
19670821	0.2	170	0.2	58	1.1	637	639	0.8	6	7
19670822	0.2	285	1.9	488	15.4	823	823	15.4	3	3
19670825	0.2	237	0.6	191	3.1	272	289	0.9	22	20
19670826	0.2	27	0.4	147	11.3	329	351	8.8	26	28
19680715	0.5	509	1.2	549	54.3	798	880	44.5	3	7
19680725	0.2	297	1.4	255	16.6	339	414	8.7	22	6
19680813	0.2	294	0.4	683	1.1	796	796	1.1	4	4
19680822	0.2	259	1.3	419	4.4	381	419	1.3	2	4
19690616	0.9	293	3.1	271	4.8	184	467	1.5	3	4
19690704	0.5	623	0.9	400	0.9	400	623	0.5	1	2
19690714	0.3	245	1.8	575	6.2	451	575	1.8	2	3
19690720	0.3	146	4.7	186	9.2	228	228	9.2	3	3
19680718	0.2	200	0.9	200	2.5	263	347	0.5	5	3
19680719	0.4	81.6	1.1	137	1.7	202	231	0.9	8	4
19690512	0.1	47.9	0.2	84	8.3	472	472	8.3	7	7
19690726	0.2	54.3	1.0	86	17.4	222	394	6.4	71	70

(7)流量与输沙率的过程变化基本是一致的,流量峰值和输沙率峰值一般同时出现。例如:1963年6月15日19:52流量和输沙率同时出现峰值,流量为36.4dm³/s,输沙率为342 000g/s;

1963年8月26日19:46流量为 $22.9\text{dm}^3/\text{s}$,输沙率为 $20\ 200\text{g}/\text{s}$,同时出现峰值。也有个别降雨最大输沙率略后于洪峰。例如:1964年8月2日19:49出现洪峰,流量为 $40.9\text{dm}^3/\text{s}$,输沙率为 $22\ 800\text{g}/\text{s}$ 。当流量降为 $33.6\text{dm}^3/\text{s}$,输沙率升为 $23\ 500\text{g}/\text{s}$,出现峰值;最大输沙率滞后于洪峰的时间一般只有1min,其最大输沙率值也略高于洪峰时的输沙率,甚至很接近。

(8)在坡面上,含沙量峰值和流量峰值的持续时间都很短,一般只有 $2\sim 5\text{min}$,但流量峰值降落要比含沙量快得多。例如:1963年8月26日19:46流量出现峰值 $22.9\text{dm}^3/\text{s}$,到19:50流量降得只有 $5.3\text{dm}^3/\text{s}$,而含沙量则从19:46的 $661\text{kg}/\text{m}^3$ 只降到19:05的 $510\text{kg}/\text{m}^3$ 。

国际会议消息

国际土壤侵蚀与旱地农业学术研讨会 将于1997年9月在西安召开

由中国科学院、水利部水土保持研究所与美国农业部农业研究局国家土壤侵蚀研究室联合主办的“国际土壤侵蚀与旱地农业学术研讨会”(SEDF97)将于1997年9月16~19日在历史名城西安举行。研讨会将得到中国科学院、中华人民共和国水利部、美国水土保持学会、国际水土保持协会等国内外相关组织机构的支持与赞助。

本次研讨会将围绕以下六个主题:土壤侵蚀过程;土壤风蚀和水蚀预报;区域土壤侵蚀环境与水土保持规划;小流域管理中土地持续利用和经济开发;半干旱地区可持续发展的旱地农业体系;遥感、地理信息系统、全球定位系统和其它技术在水土保持和旱地农业研究中的应用。会议除大会交流论文外,还将安排与会代表赴黄土高原进行野外科学考察,会议论文集拟在国外正式出版。

研讨会目前正在紧张筹备,SEDF97研讨会秘书处设在陕西杨陵中国科学院、水利部水土保持研究所,有意参加会议者可向秘书处联系,函索有关材料。

电 话:0910-7012411

传 真:0910-7012210

联系人:陈改学

地 址:陕西省咸阳市杨陵区西农路26号 中科院、水利部水土保持研究所

邮 编:712100

Email: office@ms, iswc, ac, cn

(SEDF97秘书处供稿)