

# 六道沟流域有效水蚀风蚀能量 及其特征研究

张平仓 唐克利

中国科学院  
水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100

**摘要** 神木县六道沟流域属于典型的水蚀风蚀交错带,该文是在流域 5 年观测资料的基础上,分析计算了土壤有效水蚀能量和风蚀能量以及年内分配特征。指出该地区从 2~5 月、11~12 月地表裸露,气候干旱,风力强盛,有效风蚀能量表现最高,其中 4~5 月和 11 月是风蚀能量的高峰时期,同时,占流域面积 40.4% 的 NW、N、S、E、S 坡(8 方位计)又是风力吹蚀和风积的最主要坡面,是防治风蚀的重点部位。6~10 月份,有效风蚀能量低,风力不强,加之地面湿润,风蚀风积作用表现微弱,但有效水蚀能量高,并集中于 7~8 月份,形成水力侵蚀的高峰。这种水力与风力侵蚀能量在一年之中相互交替、促进的结果是该地区土壤侵蚀强烈的重要原因。

**关键词** 六道沟流域 有效水蚀风蚀能量 年内分配特征

## Study on the Effective Water and Wind Erosion Energy and Its Characteristics in Liudaogou Small Watershed

Zhang Pingcang Tang Keli

(Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and the  
Ministry of water Resources, 712100 Yangling, Shaanxi)

**Abstract** Liudaogou small watershed belongs to the typical water-wind erosion crisscross region. On the basis of the five-year observed data, the effective water and wind erosion energy has been calculated and their monthly distribution has been studied. The results have shown that in Liudaogou area, From February to May and from November to December, especially, in April, May and November, climate is drought, the wind is strong, the soil of this area is almost uncovered and the effective wind erosion energy is very high, so there are the summits of wind erosion forming in these months. At the same time, the slopelands of NW, N, SE, and S (8 positions) which take the 40.40% of total area of whole Liudaogou watershed are the key places of wind erosion and accumulation, also the key places of preventing wind erosion. From June to October, the humidity is high, The soil is covered by

some limited vegetation, the effective wind erosion energy is very low and the wind faction is weak, but the effective water erosion energy is not only high but also concentrated in July and August, especially in August, forming the water erosion summit. The alternation and mutual aggravation of the effective water and wind erosion energy cause the soil erosion in Liudaogou area to be very serious.

**Key words** Liudaogu area; Effective water and wind erosion energy; Distribution characteristics in year

水和风是土壤侵蚀形成的最主要动力因素。研究表明<sup>[1][2][3]</sup>,黄土高原地区最强烈的侵蚀地区位于黄土高原北部水蚀风蚀交错带,其原因是土壤侵蚀全年进行,水蚀与风蚀相互交替,相互促进和迭加的结果。本文以水蚀风蚀交错带晋陕蒙接壤区神木六道沟流域 5 年观测资料为基础,分析计算流域水蚀风蚀能量及年内分配特征,以进一步揭示该流域土壤侵蚀的时空特征。

## 1 六道沟流域气候因素及降水和风的基本特征

六道沟流域面积 6.89km<sup>2</sup>,主沟长 4.21km,自南而北流入三道河,向东约 14km 再汇入窟野河流域。流域北依长城,地处毛乌素沙地边缘,南靠黄土丘陵地区,属典型的盖沙黄土丘陵地貌景观。地面起伏较平缓,但切割破碎,沟谷密度 6.45km/km<sup>2</sup>,海拔高程 1 081~1 273.9m,西南高,东北低,最大高差 192.9m。

中温带半干旱气候,决定六道沟流域以及所在地区气候变化剧烈,降水稀少而相对集中,大风、干旱、洪涝等自然灾害频繁。与设于神木县平川气象站资料作比较(表 1),六道沟丘陵地区,年均温 8.3℃,低于神木站 0.1℃,1 月平均最低 -10.0℃,比神木站低 0.3℃,7 月最高 22.6℃,比神木站低 1.1℃。流域五年平均降水量 364.2mm(1993、1995 年为旱年,1992、1994、1996 年为平水年),其中 11 月至来年 5 月平均降水仅 43.5mm,占 11.94%,而神木站同期降水占 16.99%。6~9 月汛期流域降水 303.0mm,占 83.2%,更集中于 7~8 月,平均 246.3mm,占 67.65%,而神木站 6~9 月汛期降水占全年 77.5%,7~8 月降水占 53.75%,降水最多的 8 月份,在流域占全年的 39.92%,在神木站占 28.50%。在风力方面,流域全年平均风速 3.6m/s,高出神木站 1.4m/s,除 1 月份之外,风速在任何月份均高于神木站 1.1~2.2m/s 不等,以上特征值均说明流域气候变化剧烈,特别是降水量和风速相对更加集中,促使土壤侵蚀强烈发生。

表 1 川地与丘陵地区气候特征对比

Tab. 1 The climate Characteristics Contrast between plain and hill area

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	89	10	11	12	年平均值	
均温(℃)	神 木	-9.7	-5.4	2.4	10.9	17.6	22.0	23.7	22.0	15.8	9.2	0.2	-7.4	8.4
	六道沟	-10.0	-3.6	2.6	11.3	17.2	21.9	22.6	20.7	16.2	8.8	1.4	-8.5	8.3
降水(mm)	神 木	2.4	3.9	9.4	20.5	27.9	46.4	110.4	124.7	57.5	24.5	8.5	1.7	437.4
	六道沟	3.9	1.8	3.3	8.4	15.4	28.7	100.9	145.4	28.0	17.7	8.3	2.4	364.2
风速(m/s)	神 木	2.0	2.2	2.6	3.0	2.8	2.5	2.1	1.9	1.7	1.8	2.0	1.9	2.2
	六道沟	1.7	3.7	3.3	3.7	4.2	3.8	3.8	3.2	3.4	3.4	4.2	3.1	3.6

注:神木站为 1957~1996 年资料 六道沟站为 1992~1996 年资料

## 2 流域有效水蚀能量的计算及特征

流域水蚀能量的来源是降水,但并非所有降水都能够产生径流和土壤侵蚀。本文将产生径流并导致裸露黄土坡地土壤侵蚀发生的降水过程称之为有效降水,其能量称作有效水蚀能量。六道沟流域年降水过程中,降雨主要集中于 6~10 月,其它月份降水过程基本不产生径流,也不产生土壤侵蚀,因此可以认为其有效水蚀能量为零。在 6~10 月汛期之中,我们主要以坡面小区域径流泥沙观测为依据,分析计算那些产生径流及侵蚀产沙的有效降水及其能量。

### 2.1 有效水蚀能量的计算

国内外对水蚀能量的研究,着重是对降雨侵蚀的研究,并提出了许多经验半经验公式,分析总结这些公式,基本上可以概括为两个指标,即降雨动能和最大 30min 雨强的乘积<sup>[4]</sup>

我们在此将有效水蚀能量规定为一次有效降雨过程的总动能乘以作用时间(即次降雨历时),即:

$$W_s = E_i \cdot t \quad (1)$$

公式(1)中,  $E_i$ ——一次有效降雨过程的总动能,  $E_i$ ——一次降雨过程中等雨强时段的动能,计算方法为:

$$E_i = e_i \cdot P_i \quad (2)$$

$e_i$ ——一次降雨过程中等雨强时段的单位雨量动能,  $P_i$ ——该时段内的雨量。

按公制单位(米吨单位)为:

$$e_i = 11.897 + 8.73 \log I_i \quad (3)$$

$I_i$ ——该时段的雨强,量纲为 mm/h,此时规定  $e_i$  的量纲为  $J/m^2 \cdot mm$ ,取雨量  $P_i$  量纲为 mm,则  $E_i$  量纲为  $J/m^2$ 。

在计算过程中,将降雨过程线按等雨强划分为  $n$  个时段,求出各时段的  $E_i$ ,相加为  $E_i$ 。

为避免所计算的能量数量级过大,难以比较,我们将所计算能量除以 24,这样一次降雨过程的一次有效水蚀能量计算公式为:

$$W_s = \frac{1}{24} E_i \cdot t \quad (4)$$

$W_s$ ——一次降雨的水蚀能量,量纲为  $J \cdot d/m^2$ ,  $t$ ——一次有效降雨的历时,取量纲为 h。

根据公式(3)、(4)计算六道沟流域 1993~1996 年 6~10 月 43 场有效降雨过程的水蚀能量,并统计各月、年有效水蚀能量的总值,然后平均,结果如表 2

表 2 六道沟流域有效水蚀能量年内分配

Tab. 2 Monthly distribution of effective water erosive energy

特征值	月 份					全年合计
	6	7	8	9	10	
$\bar{P}$ (mm)	7.7	96.1	133.9	7.3	9.0	254
$\bar{i}$ (mm)	0.25	1.11	2.11	0.17	0.27	3.91
$\bar{W}_s$ ( $J \cdot d/m^2$ )	31.89	632.61	840.62	23.34	41.06	1560.52
$\bar{W}_s$ (%)	2.04	40.55	53.88	1.50	2.63	100

### 2.2 有效水蚀能量的年内分配特征

表 2 中,  $\bar{t}$  为各月平均有效降雨作用总时间, 结果表明, 六道沟流域全年平均有效降雨作用时间仅 3.91d 或 93.84h, 主要集中于 7~8 月, 为 3.22d, 占 82.35%, 其中 8 月份最多为 2.11d, 占 53.96%。

全年平均有效降雨量  $\bar{P}$  为 254mm, 7~8 月达 230.0mm, 占 90.55%, 8 月达 133.9mm, 占 52.17%。有效降雨占同期总降雨量 320.7mm 的 79.20%, 占全年总降水量的 69.74%。

六道沟流域全年平均有效水蚀能量为  $1\ 560.52\text{J} \cdot \text{d}/\text{m}^2$ , 主要集中于 7~8 月, 达  $147.23\text{J} \cdot \text{d}/\text{m}^2$ , 占 93.43%, 其中 8 月份占 53.88%, 从而可确定全年土壤水力侵蚀的主要时期为 7~8 月, 而主要在 8 月, 其次为 7 月。

## 3 有效风蚀能量的计算及特征

### 3.1 有效风速的确定

为计算有效风蚀能量, 首先需要确定有效风速, 我们将裸露黄土质及片沙覆盖地面起沙风速作为有效风速。

为确定起沙风速, 我们和董治宝等<sup>①</sup>在六道沟流域用手持风速仪对不同典型风蚀物质进行起动风速实验。通过建立经验关系, 最后确定六道沟流域 11.4m 处(气象站风速仪高度)的起沙风速或有效风速为  $7.2\text{m}/\text{s}$ , 为此可将大于或等于  $7.3\text{m}/\text{s}$  的风速作为有效风速。表 3 表示了六道沟流域有效风速。

表 3 六道沟流域逐日各方位有效起沙风 ( $> 7.3\text{m}/\text{s}$ )

Tab. 3 Effective wind velocity and direction of Liudaogou small watershed

月份	风 向																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	平均
1								7.3	7.8	7.7				7.4			7.6
2	8.0	8.0						8.7	8.6	8.1		7.3		8.8	8.7	8.4	8.3
3	8.6	8.5	7.6	7.7			11.3	8.5	7.5	8.1	7.3	8.1		9.9	9.2	8.9	8.6
4	9.2	8.4	8.0	8.0					7.6	8.5	8.2	9.1	9.5	10.4	10.7	10.1	9.0
5	7.9	8.8	7.3	9.4				8.5	9.4	9.1	9.2	8.0	7.3	8.8	8.8	8.7	8.6
6	8.3	7.7				7.3		8.0	7.9	8.0	7.8	8.8	8.2	9.7	8.9	8.3	8.2
7	7.3	8.9	7.6	7.9		8.7		8.3	9.1	8.3		9.2	10.0	9.0		8.6	8.6
8		8.5		8.5	8.0		9.0	8.5	8.8	8.4	7.7	8.2		9.1		9.0	8.5
9	7.5	8.0						8.1	8.1	8.6		8.5		8.7	10.1	8.8	8.5
10	7.9	8.1							8.0	8.0	8.1	8.7		9.3	9.1	7.8	8.3
11	7.7	10.0						7.9	8.3	7.9	8.7	8.2	9.1	9.1	9.5	8.1	8.6
12	8.2	8.5						8.2	8.1	8.4	8.5	8.1	7.9	8.9	11.0	8.8	8.6
全年	8.1	9.3	7.6	8.3	8.0	8.0	10.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.4	8.7	9.1	9.6	8.7	8.5

### 3.2 风蚀能量计算公式的确定

风是风蚀作用的动力, 表示风蚀能的基本公式是  $E = \frac{1}{2}mv^2$ 。Chepil 等曾提出风蚀气候因子公式为<sup>[5]</sup>:

① 董治宝, 陕北沙漠黄土带典型区风蚀流失量模型(博士论文 1994. 11)

$$C = 386 \frac{\bar{V}^3}{[3.16 \sum_{i=1}^{12} (\frac{Pi}{1.8Ti + 20})^{10/9}]^2} \quad (5)$$

式中:  $\bar{V}$  ——9.1m 处平均风速(m/s);  $Pi$  ——月平均降水量(mm);  $Ti$  ——月均温( );  $C$  ——风蚀气候因子指数(无量纲)。

但由于在干旱地区  $C$  将趋于无穷大( $Pi = 0$ ) 使得公式(5)的应用有着较大的限制,为此,联合国粮农组织(FAO)提出了一个修正公式<sup>[6]</sup>

$$C = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \bar{V}^3 (\frac{ETPi - Pi}{ETPi}) \cdot d \quad (6)$$

式中:  $\bar{V}$  ——2m 高处的月均风速(m/s);  $ETPi$  ——月潜在蒸发量(mm);  $Pi$  ——月降水量(mm);  $t$  ——月天数(d)。

之后 Skidmore<sup>[7]</sup> 引进风速机率密度函数来处理水分条件对风蚀气候力的影响,提出了一个新的风蚀气候侵蚀力的计算模型。

$$CE = \rho [V^2 - (Vi^2 + r/\rho a^2)^{3/2}] f(v) dv \quad (7)$$

式中:  $CE$  ——风蚀气候侵蚀能( $J/m^2$ );  $\rho$  ——大气密度( $kg/m^3$ );  $V$  ——临界风速(m/s);  $Vi$  ——风速(m/s);  $r$  ——吸附水的粘聚抗力( $N/m^2$ );  $a$  ——常数。

在公式(7)中引进  $V^2$  的概念,但计算起来相当复杂, $f(V)$  难以确定,而且没有考虑蒸发和降水因子,为便于计算,并综合以上三个公式,在本文中计算风蚀能量采用下列公式:

$$W_f = \frac{1}{24} (\rho V^2 \frac{E - P}{E} \cdot t) \quad (8)$$

式中:  $V$  ——11.4m 处的有效风速(m/s);  $E$  ——蒸发量(mm);  $P$  ——降水量(mm);  $t$  ——作用时间(h);  $\rho$  ——大气密度取  $1.205kg/m^3$ ;  $W_f$  ——风蚀能量指标( $J \cdot d/m^2$ )。

公式(8)的优点在于  $W_s$  的量纲与水蚀能量指标一致,便于比较和讨论,其次公式(8)不仅引进了  $V^2$  这一风蚀动能的基本量,而且考虑了降水量和蒸发量,使计算的风蚀能量更符合实际。

### 3.3 有效风蚀能量的计算及年内分配特征

根据公式(8)计算各月不同方位的有效风蚀能量如表5,再将表5按八方位合并成表6。

通过表3~6,可对六道沟流域有效风速(表3)、作用时间(表4)及有效风蚀能量作进一步的分析。

3.3.1 有效风蚀能量的年内分配特征 1月份有效风速最小,平均仅为7.6m/s,其中以南风最大,也仅7.8m/s,作用时间也最短,仅9600s,合计仅0.11d,表现在有效风蚀能量方面也是最小的,仅  $7.9 J \cdot d/m^2$ ,占全年有效风蚀能量的0.38%,其次是8月份,作用时间仅0.99d,平均有效风速8.5m/s,有效风蚀能量为  $35.31 J \cdot d/m^2$ ,占全年总值的1.69%。整个汛期6~10月5个月(水蚀季节),有效风蚀能量仅  $510.77 J \cdot d/m^2$ ,占全年的24.59%。4~5两个月,有效风速分别为9.0和8.6m/s,作用时间分别为3.12d和3.44d,有效风蚀能量合计达  $715.39 J \cdot d/m^2$ ,占全年的34.45%。其中4月最大,占全年的18.39%。其次是11月份,有效平均风速为8.6m/s,有效风蚀能量占全年的11.72%。4~5月和11月构成了全年风蚀能量的两个高峰期。

表 4 六道沟流域有效起沙风(> 7. 3m/s)作用时间(s)

Tab. 4 The action duration of effective wind velocity in Liudagou small watershed

月 份	风 向								
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
1								600	6000
2	7800	25200						8400	25800
3	18600	41400	4200	3000			600	20400	46800
4	39600	14400	1800	1800					1800
5	6600	25800	9000	1800				16200	44400
6	4800	11400				600		3600	6000
7	600	10200	2400	4800		3000		10200	10200
8		4800		1200	600		600	26400	6600
9	1800	9600						21600	22800
10	4200	7200							2400
11	600	600						11400	23400
12	6600	1200						5400	19800
全年	91200	151800	17400	12600	600	3600	1200	124200	216000

月 份	风 向							合计
	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
1	1200				1800		9600	
2	31800		600		30600	30600	69600	230400
3	40800	1200			11400	7800	3000	199200
4	12600	9000	14400	10200	60400	43200	60000	269200
5	87000	10200	5400	600	21000	17400	51600	297000
6	53400	2400	30000	1800	30600	2400	50400	197400
7	43200		7200	3600	7800		5400	105600
8	28200	1200	9000		5400		1800	85800
9	18600		1200		16200	1800	30600	124200
10	20400	3000	1800		51600	16200	12600	119400
11	27000	9000	5400	1800	37200	45000	94800	256200
12	27000	1200	6600	1800	11400	34200	37200	152400
全年	391200	37200	81600	16800	285400	198600	417000	2046400

3. 3. 2 有效风蚀能的方位特征 按 16 方位统计(表 5), 全年以 NNW 方位风蚀能量最大, 占 20. 52%, 其中 4 月份又是全年最大的, 占 NNW 风的 20. 22%, 其次是 NWW 和 SSW, 分别占 16. 87% 和 16. 14%, 以上三个方位有效风蚀能量合计占 53. 53%, 说明流域以上三个坡向为风蚀而对应背风坡包括 SSE 和 SEE、NNE 三个坡向为风积坡。合并 16 方位为 8 方位后(表 6), 可看出 NW 方向有效风蚀能量最大, 占 31. 28%, 其次为 S 风, 占 19. 9%, 再次是 N

风,占 18.39%,三者合计占全年有效风蚀能量的 69.57%。相应 SE 坡相对风积坡。N 坡和 S 坡风力作用相互扰动,是风力作用十分强烈的坡向,4 月份多 N 风,S 坡发生风积,而 5 月份多 S 风,又将风积物吹蚀给 N 坡,但 5 月份仍然有相当能量的 N 风,所以长期而言,S 坡多发生风积。以上四个坡向(NW、S、N 以及 SE 坡向)合计面积占全流域的 40.4%,是风力活动的最主要坡面。

流域内有效风蚀能量最大方位的风即 NW 风主要发生于 4 月份,占该方位全年风蚀能量的 25.93%(图 1),其次是 11 月份,占 17.69%,再次是 12 月份和 2 月份分别占 12.29%和 12.67%,四个月合计占 68.58%;S 风主要发生于 5 月份,占 26.82%,其次是 3 月和 2 月分别占 17.47%和 11.54%,三个月合计占 55.5%;N 风主要发生于 4 月份,占 25.61%,其次是 5 月和 2 月分别占 13.37%和 13.55%,三个月合计占 52.5%,可见主要方位风力的相对集中性。

表 5 六道沟流域有效风蚀(16 方位 J.d/m<sup>2</sup>)

Tab. 5 Effective wind erosive energy in Liuadaogou small watershed (16 position)

月份	风 向																
	NNE	N	NE	NEE	E	SEE	SE	SSE	S	SSW	SW	SWW	W	NWW	NW	NNW	合计
1	*							0.42	5.26	0.93				1.30			7.90
	**							0.43	2.67	0.28				0.37			0.38
2	22.24	6.48						8.76	23.15	30.37		0.43		32.76	32.19	67.54	224.29
	14.94	7.26						9.01	11.75	9.06		0.59		9.35	12.31	15.84	10.80
3	40.01	19.35	3.32	2.42			10.47	20.53	41.16	38.89	0.87			15.58	9.81	3.35	205.77
	26.87	20.54	21.14	25.40			97.42	21.12	20.88	11.60	2.53			4.45	3.75	0.79	9.91
4	15.53	46.91	1.58	1.58					1.48	12.44	8.34	16.69	12.93	105.60	72.59	86.20	381.88
	10.43	49.77	10.07	16.62					0.75	3.71	24.20	22.64	67.84	30.14	27.75	20.22	18.39
5	37.06	5.60	9.50	2.16			16.10	53.56	98.49	10.60	4.67	0.43	22.61	18.80	53.82		333.51
	24.89	5.94	60.45	22.65			16.556	27.17	29.37	30.76	6.34	2.26	6.45	7.19	12.62		16.06
6	8.86	4.25				0.14	2.96	4.90	43.39	1.87	30.88	1.58	10.99	2.52	45.91		186.04
	5.95	4.52				16.29	3.04	2.49	12.94	5.41	41.88	8.29	38.51	0.97	10.77		8.96
7	7.72	0.30	1.31	2.87		2.12	6.72	6.99	28.45		5.98	0.57	6.09			3.91	73.03
	5.18	0.32	8.34	30.12		83.71	6.92	3.55	8.48		8.10	2.99	1.74			0.92	3.52
8	1.89		0.50	0.22		0.28	11.08	2.44	11.61	0.40	3.47		2.60			0.82	35.31
	1.27		5.20	1.00		2.58	11.40	1.24	3.46	1.16	4.71		0.74			0.19	1.69
9	7.73	1.28					17.84	18.78	7.26		10.10		14.69	2.29	30.22		101.18
	5.19	1.35					18.35	9.53	2.16		1.50		4.19	0.88	7.09		4.87
10	5.89	3.28						1.93	16.60	2.45			58.73	17.02	9.31		115.21
	3.96	3.48						0.98	4.95	7.12			16.76	6.51	2.18		5.55
11	0.76	0.40					8.90	19.31	21.26	8.76	4.64	2.03	39.59	52.63	85.18		243.45
	0.51	0.43					9.16	9.79	6.34	25.40	6.30	10.65	11.30	20.12	19.98		11.72
12	1.18	6.03					3.91	18.15	25.66	1.18	5.86	1.52	12.34	53.72	40.03		169.57
	0.79	6.39					4.02	9.21	7.65	3.41	7.95	7.97	3.52	20.54	9.39		8.15
合	148.88	94.25	15.72	9.52	0.22	2.53	10.75	97.21	197.10	335.33	34.48	73.73	19.05	350.39	261.58	426.28	2077.14
计	7.17	4.54	0.76	0.46	0.01	0.12	0.52	4.68	9.49	16.14	1.66	3.55	0.92	16.87	12.59	20.52	100.00

表 6 六道沟流域有效风蚀能(8方位 J.d/m<sup>2</sup>)

Tab. 6 Effective wind erosive energy in liudaogou small watershed (8 position)

风 月 份	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		合计	%
	能量	%	能量	%	能量	%	能量	%	能量	%	能量	%	能量	%	能量	%		
1							0.21	0.35	5.94	1.44	0.46	0.19	0.65	0.28	0.65	0.10	7.90	0.38
2	51.73	13.55	11.12	11.72			4.38	7.23	42.72	11.54	15.40	6.44	16.59	7.18	82.34	12.67	224.29	10.80
3	41.03	10.75	24.53	25.84	1.21	19.36	20.74	34.21	70.87	17.14	20.31	8.49	7.79	3.37	19.27	2.97	205.77	9.91
4	97.78	25.61	10.13	10.67	0.79	12.64			7.70	1.86	22.91	9.59	74.07	32.05	168.49	25.93	381.88	18.39
5	51.04	13.37	29.11	30.67	1.08	17.28	8.05	13.28	110.86	26.82	62.18	26.02	14.07	6.09	57.01	8.77	333.51	16.06
6	31.64	8.29	4.43	4.67	0.21	3.36	1.89	3.12	28.08	6.79	39.00	16.32	22.52	9.74	30.97	4.77	186.04	8.96
7	6.12	1.60	6.61	6.69	2.49	39.84	4.42	7.29	24.58	5.95	17.21	7.20	6.61	2.86	5.00	0.77	73.03	3.52
8	1.77	0.46	1.20	1.26	0.47	7.52	5.82	9.60	13.79	3.34	7.94	3.32	3.03	1.31	1.71	0.26	35.31	1.69
9	20.26	5.31	3.86	4.07			8.92	14.71	31.33	7.58	4.18	1.75	7.90	3.42	24.74	3.81	101.18	4.87
10	10.88	2.90	1.98	2.09					10.23	2.47	10.75	4.50	29.37	12.71	51.04	7.85	115.21	5.55
11	43.37	11.36	0.38	0.40			4.45	7.34	34.39	8.32	21.71	9.08	21.15	9.15	115.01	17.69	243.445	11.72
12	26.64	6.98	5.09	5.36			1.96	3.23	15.05	3.64	16.94	7.09	17.45	8.42	79.09	12.29	169.57	8.15
合计	381.83	18.39	94.92	4.58	6.25	0.30	60.62	2.92	413.37	19.9	239.01	11.51	231.11	11.13	649.91	31.28	2077.14	100.00

### 4 有效水蚀、风蚀能量的交互作用

图 2 表示了有效水蚀能量和风蚀能量在年内分配过程和相互作用过程,从 2 月至 5 月流域气候干旱,地面干燥且裸露,风蚀能量高,风力作用强烈,是风蚀风积的主要月份,其中 4~5 月形成全年第一个风蚀能量高峰,以 4 月份为最高点;6~10 月,为降雨汛期,地面潮湿,是植物、作物开始生长和收获季节,风力活动微弱,但水力活动强烈,水蚀能量达到最高峰,7~8 月形成全年第二个水蚀能量高峰,即以 8 月为最高点;11 月~12 月,收获季节已过,随之雨季结束,气候又进入相对干旱期,水蚀微弱风力活动又开始强烈,形成全年第三个侵蚀能量高峰期,即 11 月的风蚀

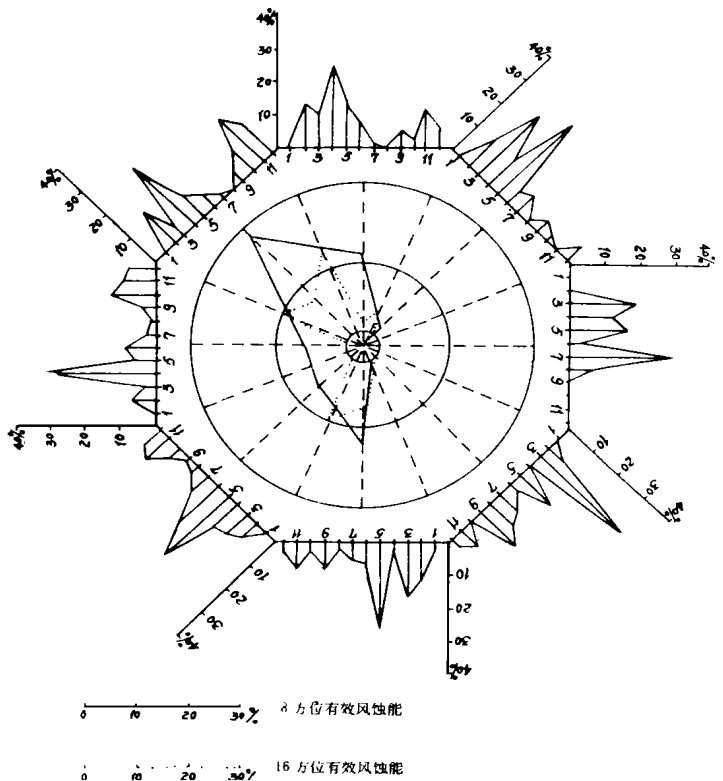


图 1 有效风蚀能量玫瑰图及年内分配

Fig. 1 The effective wind erosion energy rose and distribution



能量高峰期。全年除 1 月份外, 其余各月均有相当高的风蚀或水蚀能量, 其中 8、7、4、5、11、2 月为土壤有效侵蚀能量的高值月份, 6、9、10、3、12 月为次高值月份, 这种水蚀风蚀能量的相对交替和互补促使该地区全年均表现出强烈的土壤侵蚀, 唯 1 月份, 水蚀风蚀能量均表现最低, 土壤侵蚀也十分微弱。

有效水蚀风蚀能量是决定流域以及所在地区土壤侵蚀年内分配的决定因素, 由于它是土壤侵蚀形成的动力因素, 因此从侵蚀角度而言, 决定土壤侵蚀量特别是空间分布还将取

决于外动力因素与下垫面因素的结合, 不同的地形、地面物质、植被以及人为因素还将对有效水蚀风蚀能量进行再分配, 从而将全面确定该地区土壤侵蚀的时空图式。

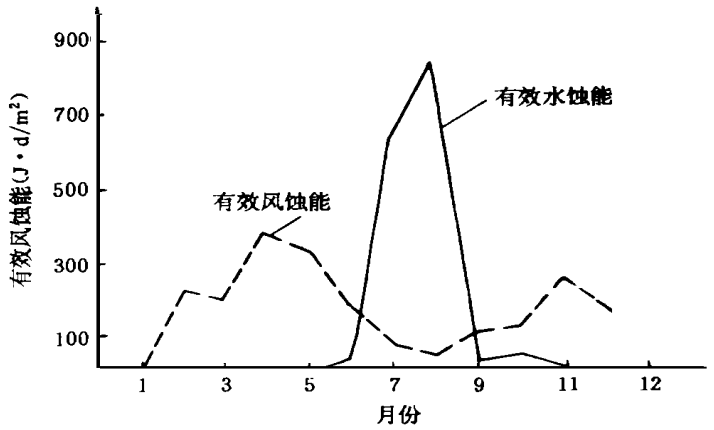


图 2 逐月有效侵蚀能量变化曲线

Fig. 2 The change of monthly mean effective erosive energy

参考文献

- 1 唐克丽主编. 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.
- 2 唐克丽, 张平仓, 王斌科. 土壤侵蚀与第四纪生态环境演变. 第四纪研究, 1991, 4
- 3 唐克丽主编. 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 柯克比 M J, 摩根 RPC 编著. 土壤侵蚀. 王礼先等译. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- 5 Chepil W S et al. climate factor for estimating wind erodibility fields. Journal of soil and water conservation. 1983, 38: 106 ~ 109
- 6 FAO. A Provisional methodology for soil degradation assessment. Rome, 1979.
- 7 Sllidmare EL. wind erosion climatic erosive. climate change, 1986, 9(1 ~ 2): 195 ~ 208