

降雨侵蚀力因子新算法的初步研究*

卜兆宏

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

董勤瑞

(山东省水利厅水土保持办公室)

周伏建

(福建省水土保持办公室)

张立文

(山东省临朐县水土保持办公室)

摘 要

本文基于侵蚀雨量与其总动能之间普遍存在极高的相关性和相近的关系式,建立了由汛期雨量和 K_{100} 组成的 R 新算法。它在各地的应用结果表明,新算法比已有算法的应用范围广,监测流失量的精度高,且易于在遥感监测中应用。它能以统一方法和精度来评价全国水蚀区的 R 差异,为水土保持工作的科学管理服务。

关键词 降雨侵蚀力因子,流失量监测、遥感监测

降雨侵蚀力因子(Erosivity factor of Rainfall,下简称为 R),是一项客观评价由降雨所引起土壤分离和搬运的动力指标。在相同地表条件下的水蚀区,同一地区不同年份,或同一年份不同地区的侵蚀呈现差异,皆源出于 R 值的不同。因此,准确计算出的 R 值可直接为水土保持工作提供科学依据。

随着人口的增加、各业用地与流失灾害的加剧,人们在认识了一般流失规律后,迫需提高水土流失的调查水平,以监测当年土壤流失量和规划来年的流失治理,把监测与规划综合为一体。以实测流失参数、建立监测模型和遥感监测与预报为三大内容的“水土流失量监测与防治强度预报的遥感方法研究”项目,正好符合这一要求^[2]。在现有的众多流失量监测模型中,以美国通用流失方程(USLE)的应用地域最广,而 R 是USLE的重要因子^[1,3]。可见,要实现流失量监测,就必须研究和应用 R 。

R 算法的研究,自魏氏(Wischmeier, W.D., 1958)的论文和美国农业手册282号(1965)、537号(1978)刊出以来^[4-10],国外Fournier, F.,(1960)、Hudson, N.W.,(1965, 1976)、Kinnell, P. I. A., (1973)、Onstad, C.A., (1975)、Lal, R., (1976)、Foster,

* 1) 国家自然科学基金资助项目

2) 本研究得到席承藩研究员、卢程隆副教授、徐朋高级农艺师、孙金庄主任工程师、赵宏夫高级工程师和有关地县水土保持同志们的大力支持与帮助,特此一并致谢。

G.R. (1977) 和 Elwell, H.A., (1978) 分别根据降雨观测资料的丰缺和流失量的实测值,对魏氏的 EI_{30} 算 R 的经典法做出了修正或提出了适于当地的简便算法^[6-10,12-14]甚至魏氏本人也提出仅用全年各月雨量计算 R 值的简便法¹⁾。国内王万忠 (1983)、周伏建 (1989) 分别修正魏氏经典法为 EI_{10} 和 EI_{60} 法^{3,4)}。尽管这些算法都很有依据,但它们应用于同一地区却存在不同 (甚至相差数倍) 的 R 值,则表明其中必有不宜使用的算法^{2),3)}。因此,已有的 R 算法尚未达到广泛应用的佳程度,尚需进一步研究和发展。

本研究的目的在于找到一种应用更广泛、既简便又能准确监测流失量的 R 新算法。只有建立这种新算法,才能实现全国水蚀区按统一算法的侵蚀力评价和分区,并满足流失量遥感监测与防治强度预报之所需。

一、新算法的基本原理

(一) 雨量与侵蚀动能有极高的相关性

在按经典法整理山东临朐县辛庄水保站、福建安溪县官桥水保站、河北张家口地区水保站的降雨自记资料算 R 值时发现,凡是同时满足大于 12.5mm 雨量和 0.6cm/小时最大 30 分钟雨强 (I_{30}) 条件的各次侵蚀性降雨,其雨量 (P) 与侵蚀总动能 (E) 均具有极高的相关性。表 1 表明,在山东辛庄站,无论是分年度统计的均值,还是连续 9 年 105 次侵蚀性雨的整体统计的结果,都极为一致,且 $r_{E,P} = 0.97^{**}$,说明 P 与 E 的相关性极高。同样,福建官桥站和河北张家口站的 P 与 E 也具有极高相关性,分别为 $r_{E,P} = 0.97^{**}$ 和 $r_{E,P} = 0.86^{**}$ 。虽然福建资料仅为三年,但因侵蚀性雨的雨次、雨量和总动能之和均与山东相近,且整体统计结果 ($r_{E,P}$ 、 a 、 b 值) 也十分一致,故可将其取均值,作为新算法的基本原理算式:

$$E = 22.2194P - 33.254 \quad (1)$$

式中 E 为一次降雨总动能,使用单位为 $m \cdot t/ha$ (米·吨/公顷); P 为雨量,以 mm (毫米) 为单位。

(二) 汛期量和年雨量与流失量有较高相关性

从表 1 可知,山东 9 年的汛期量 (P_f) 和年雨量 (P_a) 与侵蚀性降雨的雨量都有极高相关性 ($r_{P_f,P_f} = 0.94$, $r_{P_a,P_f} = 0.90$), 表明它们都可应用于 (1) 式中。但它们与流失量的相关性,则以汛期量 (P_f) 为佳。三个小区 6 年流失量 (A) 资料相关分析结果表明: $r_{P_f,A} > r_{P_a,A}$ (详见表 2), 且用汛期量的相关系数均值较高,达 0.836^* 。因此, (1) 式中的 P 宜用 6—9 月汛期的雨量 P_f 。由 P_f 代入 (1) 式求出的 E , 为年 (侵蚀) 总动能。

(三) 用 I_{30} 将年总动能转化为年 R

在经典法中,每次降雨的 R 是用该次的 I_{30} 与其总动能 (即时段单位雨量动能与时段雨量积之总和) 的积来表示的,形式为:

1) 陕西农林科学院主编:《土地资源利用讲义》中第六篇“土壤侵蚀”,为 FAO 专家组在华讲课中文译稿 (铅印本,1982)。

2) 卜兆宏:关于利用降雨记录计算侵蚀力的算法。1991 年在张家口等地水保试验站的讲课稿。

3) 卜兆宏等:降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用。《水土保持学报》特刊稿。

表1 不同地区的降雨资料及雨量与总动能间的相关性

Table 1 Rainfall data and correlation between precipitation and total kinetic energy in different regions

年份 Year	总雨量 Total precipitation P_t (mm)	汛期雨量 Precipitation of flood season P_f (mm)	满足二条件的侵蚀性降雨 Each erosive rainfall satisfying the two conditions			雨量与总动能的相关性 Correlation between E and P $r_{E,P}$	关系式的要素 Element of equation ($E = b \cdot P + a$)		地区站名 Region and station
			雨次 Number of times N	总雨量 Total precipitation P (mm)	总动能之和 Sum of total kinetic energy E (m·t/ha)		b	a	
1982	853.7	439.4	15	569.0	11368.5	0.9870**	19.7728	7.854	山东省临朐县辛庄水土保持试验站: N36°14' E118°34' 降雨量 800(203—1432)mm, 属暖温带 南季风型大陆性气候区
1983	496.8	309.6	9	248.2	4867.3	0.9567**	18.5349	29.660	
1984	671.2	478.1	11	425.9	8948.8	0.9911**	25.2864	-165.516	
1985	901.6	662.7	14	635.8	14265.8	0.9753**	24.5831	-97.438	
1986	475.6	402.6	8	332.8	6872.9	0.9852**	19.0090	68.332	
1987	698.1	461.9	13	381.3	8329.6	0.9519**	23.4242	-46.312	
1988	577.6	452.4	12	474.2	10210.5	0.9867**	22.2808	-29.586	
1989	481.1	338.5	7	267.0	5961.3	0.9827**	22.5412	-8.172	
1990	1054.3	831.6	16	723.0	14454.0	0.9624**	18.9792	47.559	
$r_{P..}$	0.943**	0.904**	$r_{E,P}, b, a$ 的均值			0.9754	21.5968	-21.513	
1982—1990	6210.0	4736.7	105	4057.2	85278.7	0.9724**	21.4126	-15.225	

		福建省安溪县管桥水土保持试验站: N25°01' E118°05' 降雨量 1700(1400—2300)mm, 属亚热带 南缘(或称准热带)生物气候区									
1985	1844.5	1090.2	28	1178.8	25852.1	0.9892**	22.8973	-40.645			
1988	1633.3	876.5	30	1155.1	24393.4	0.9842**	21.5937	-18.315			
1990	2286.2	1471.0	32	1803.6	40408.9	0.9380**	23.9177	-85.282			
$r_{p,i}$	0.958	0.946**	$r_{E,p,b,a}$ 的均值			0.9705	22.8029	-48.081			
1985 } 1988 } 1990 }	5764.0	3437.7	90	4137.5	90654.4	0.9702**	23.0262	-51.283			
1988	339.8	263.3	7	122.8	2609.9	0.7709*	15.9088	101.909			
1989	257.6	224.6	7	161.0	3270.7	0.8619*	26.6239	-87.369			
1990	401.3	300.9	5	117.4	2688.8	0.9650**	23.2438	-34.920			
			$r_{E,p,b,a}$ 的均值			0.8659	21.9255	-6.983			
1988 } 1989 } 1990 }	998.7	788.8	19	401.2	8569.4	0.8615**	22.0698	-15.001			

* 0.05 显著性水平; ** 0.01 显著性水平。

$$R_i = EI_{30}/173.55 = \sum_{k=1}^n e_k P_k \cdot I_{30}/173.55 \quad (2)$$

$$R = \sum_{i=1}^N R_i \quad (3)$$

式中 R_i 为一次降雨的侵蚀力因子值; R 为一年的侵蚀力因子值, 单位为 $100\text{ft}\cdot\text{sht}\cdot\text{t}\cdot\text{in}/\text{ac}\cdot\text{h}\cdot\text{y}$ (即美习用单位, 百英尺·短吨·英寸/英亩·小时·年) e_k 为第 K 时段的单位雨量动能, 算式为 $e_k = 210.35 + 89.04 \log i_k$ (i_k 为时段雨强)¹⁾, 其与该时段雨量 (P_k) 之积为时段动能 E_k , 单位为 $\text{m}\cdot\text{t}/\text{ha}$ (米·吨/公顷); 173.55 为将 R 值变换成美习用单位的常数。

在新算法中, 由(1)式算侵蚀总动能时使用的整体雨量(如 P_i), 所获得的 E 是年侵蚀总动能。在将其转化为年 R 时, 就必须使用年 I_{30} 值了。这种年 I_{30} , 应与流失量有较好的相关性。在表 2 中, 利用山东省辛庄站的资料, 列有三种可表征年 I_{30} 的值: I_{30A} 、 I_{30B} 和 I_{30C} 。它们与三个小区流失量的相关性的均值序为: $I_{30B} > I_{30C} > I_{30A}$ 的 r 。因此, 在新算法中选用 I_{30B} 作为年 I_{30} 值, 以将年 E 转为年 R 。其表达式为:

$$R = EI_{30B}/173.55 = (22.2194P - 33.254)I_{30B}/173.55 \\ = 0.128PI_{30B} - 0.192I_{30B} \quad (4)$$

式中 R 为年 R 值, 使用美国习用单位, P 为汛期雨量, 以 mm 为单位。当 R 值取整数值时, (4)式可简化为:

$$R = 0.128PI_{30B} \quad (5)$$

表 2 各种雨量、年 I_{30} 雨强与流失量的相关性

Table 2 Correlation between erosion loss and precipitation or I_{30} intensity of years

年份 Year	年总雨量 Total precipitation $P_i(\text{mm})$	汛期雨量 Precipitation of flood season $P_f(\text{mm})$	年 I_{30} 值 Annual I_{30} value			径流小区实测流失量 Observed erosion loss in unit plot (t/km^2)		
			I_{30A} (cm/h)	I_{30B} (cm/h)	I_{30C} (cm/h)	小区号 No. of plot		
						83-2	83-3	83-5
1984	671.2	478.1	1.92460	2.98680	2.45570	14766	9460	328
1985	901.6	662.7	3.06525	3.73793	3.39959	40013	52834	3968
1986	475.6	402.6	2.79444	2.87022	2.83233	1477	20163	827
1987	698.1	461.9	2.36667	2.39950	2.38310	3330	7985	40.5
1988	577.6	452.4	2.45500	2.86130	2.65815	13635	28281	2391
1989	481.1	338.5	2.95143	3.50781	3.22962	1038	11093	—
$r_{I_{30A}-1}$	0.865*	0.943**	0.213	0.591	0.461	坡度 5°	25°	15°
$r_{I_{30A}-3}$	0.618	0.793	0.564	0.609	0.652	坡长 22.25	44.50	20.71m
$r_{I_{30A}-5}$	0.513	0.771	0.694	0.840*	0.878*	K 值 0.230	0.193	0.144
$r_{I_{30A}}$ 均值	0.679	0.836*	0.490	0.680	0.664	连年种花生, 但长势不同	连年种花生, 但长势不同	连种花生 5 年

1) 此式由 $e_k = 916 + 331 \log i_k$ 导出。其步骤如下:

$e_k = 916 + 331 \log(i_k/2.54) = 782 + 331 \log i_k$, 其单位仍与原式同, 为 $\text{ft}\cdot\text{sht}\cdot\text{t}\cdot\text{in}/\text{ac}\cdot\text{h}$ 只是时段雨强 i_k 使用 cm/h 。为使其单位变为 $\text{m}\cdot\text{t}\cdot\text{cm}/\text{ha}\cdot\text{h}$, 因 $1\text{ft}\cdot\text{sht}\cdot\text{t}\cdot\text{in}/\text{ac}\cdot\text{h} = 0.268993\text{m}\cdot\text{t}\cdot\text{cm}/\text{ha}\cdot\text{h}$, 故用 0.268993 乘以上式后为, $e_k = 210.353 + 89.037 \log i_k$ 。

当 R 使用 $MJ \cdot mm/ha \cdot h \cdot y$ (兆焦耳·毫米/公顷·小时·年) 或为 $100J \cdot mm/m^2 \cdot h \cdot y$ (百焦耳·毫米/平方米·小时·年) 单位时, (4) 式转为:

$$R = 2.179P I_{30.5} - 3.268 I_{30.5} \quad (6)$$

(4)–(6) 式, 就是 R 因子的新算法。

二、应用结果与讨论

(一) 应用结果

1. 应用程序: 在一个地区应用新算法时, 首先要寻找该地区内或其最邻近的水保站或气象站、水文站的自记雨量资料, 以求出 $I_{30.5}$ 。然后, 收集全地区内各种站所观测得的汛期或全年的雨量资料。

2. 应用结果: 按上述程序, 首先在山东、福建、四川、河北等省的站区开展了新算法的应用, 并用其监测的流失量与实测值比较了相对精度(除河北省的站因无实测值外)。监测的流失量按式 $A = 224.2KLSCPR = f \cdot R$ 计算; 同一小区不同年的 f 值不同, 是因作物长势或离顺坡耕翻年数多而 C 值不同之故。应用结果如表 3、4、5 所示。表中还尽可能地列出了现有经典法和魏氏简便法的应用结果, 以供比较。此外, 在山东省临朐县作了全面应用, 绘制了全县 R 等值线图, 供全县流失量遥感监测中使用。

(二) 讨论

为分析 R 新算法的应用前景, 特对其特点作一讨论。

1. 新算法监测流失量的精度高: 从表 3、4、5 可知, 在山东用新算法的 R_n 监测的流失量精度平均为 82.42% (65—99%), 均比用经典法 R_{30} 的和简便法 R_s 的精度高很多。虽然它比修正的经典法 R_{20} 的监测精度低些, 但因它的 R_n 与 R_{20} 具有极高相关性 $r_{R_n, R_{20}} = 0.986^{**}$, 可用其关系式 ($R'_{20} = 1.5954R_n - 75.393$) 由 R_n 算出 R'_{20} 。而用 R'_{20} 的监测精度为 87.41% (74—93%), 则说明新算法的监测精度在山东还可提高。在福建, 用新算法的 R_n 监测流失量的精度最高, 为 72.20% (60—91%)。经典法的 R_{30} 及修正经典法的 R_{20} 和简便法的 R_s 的监测精度都很低。只有修正经典法的 R_{40} 的监测精度才与新算法的相近, 为 71.44% (61—90%)。在四川, 用 R_n 监测的流失量精度为 82.76% (67—99%), 比用 R_s 的监测精度(平均为 54.44%, 变化于 30—89%) 高得多。这表明, 新算法应用于监测年流失量比已有算法(经典法和魏氏简便法)的效果好。

新算法的这个特点, 与其原理的普遍性有关。表 1 可知, 山东、福建、张家口三个站均相距甚远, 但其侵蚀性雨的整体统计结果, 皆表明 E 与 P 极相关, 且关系式几乎相同。在表 2 和其它应用结果表中, 各地的 $I_{30.5}$ 值, 也没有十分显著的区别。这些都说明了新算法原理的普遍性。然而, 各地的汛期雨量是有显著差异的; 同一地各年侵蚀性雨也不尽相同而使 $I_{30.5}$ 值有异。新算法正是基本反映了降雨侵蚀实质, 才得以具备监测精度高特点的。

2. 新算法的应用范围广: 从已应用的范围来看, 新算法可应用于纬度 $25^\circ - 43.5^\circ$ 的范围(我国水蚀区 70% 在此范围)。已有算法则不具备这种能力。从山东、福建的应用结果来看, 经典法(EI_{30}) 在大于纬度 36° 就不及修正的经典法(EI_{20} 或 EI_{10}) 好; 在小于纬度

表3 新算法在山东省辛庄站

Table 3 Application results of new algorithm in Xinshuang Station

年份 Year	流失量实测值 Observed erosion loss $A_0(t/km^2)$	小区状况确定的 f 值 f -value defined by the conditions of plot f	新算法的 R 值 R value of new algorithm $R_n \left(\frac{100 \cdot ft \cdot sht \cdot t \cdot in}{ac \cdot h \cdot y} \right)$	用 R_n 值监测的流失量和相对精度 Erosion loss and relative accuracy monitored by using R_n value	
				流失量 $A_n(t/km^2)$	相对精度 (%)
1984	9460	83-3 小区 49.442044	182.209	9008.8	95.23
1985	52834	111.2446	316.354	35192.7	66.61
1986	20163	111.2446	147.359	16392.9	81.30
1987	7985	49.4420	141.405	6991.3	87.56
1988	28281	111.2446	165.141	18371.0	64.96
1989	11093	74.1631	151.312	11221.8	98.85
多年均值 Mean of years			184.359		82.42
r_{1, A_0}	1		0.880*		
$r_{1, R_{20}}$			0.986** ($b = 1.5954, a = -75.393$)		
1985	25729.56	22°小区 70.2074	402.481	28257.2	91.05
1988	8720.56	42.1244	317.397	13370.2	65.22
1990	10869.81	31.5933	570.576	18026.4	60.30
多年均值 Mean of years			430.151		72.20

1) 福建官桥站三年的年 $I_{30, B}$ 值分别为 2.8882、2.8339、3.03343cm/hr。在算 $I_{30, B}$ 中缺少 1985 年 2 月自记测的精度也将变低,而对 $I_{30, B}$ 值则影响甚微。

26° 就很不适用了,需用修正的经典法(EI_{60})。魏氏简便法存有时好时坏现象,平均监测精度较低,在任何地区都有不宜使用的年代,特别是当地较早的年代,往会产生重大错误。例如,在山东的 1988 年、福建的 1988 年,都属当地的干旱年,但其 R_n 比 R_{20} 或 R_{60} 大二倍以上。自然,国内的两种修正经典法或国外其它简便法,无疑只适用于其诞生地。令人欣慰的是,新算法的结果总是与其最适用的修正经典法的结果相近或最相关。总之,新算法的应用范围比已有算法广。

新算法的这个特点,具有以统一方法、统一标准和精度评价全国各地侵蚀力差异的能力,是很有实用价值的。应用范围较小的已有算法,显然不具备这种能力。应用结果表中的 R_n 多年均值,初步说明了各省 R 值的差异,由大至小顺序为:福建官桥(430) > 四川遂宁(262) > 山东辛庄(184) > 河北张家口(70)。随着新算法应用区域的增多和各区域资料年数的增加,新算法必将更加完善和可靠,有可能成为较准确评价全国各地侵蚀力差异的统一算法。

和福建省官桥站¹⁾的应用结果

of Shandong Province and Guanqiao Station of Fujian Province

经典法和魏氏简便法的 R 值及其监测的流失量和相对精度(单位与新算法同) R values of classical algorithms and Wischmeier's convenient algorithm and the erosion losses and relative accuracy monitored (the same unit as new algorithm)												地区站名
EI ₁₀ /EI ₀₀ 法			EI ₂₀ 法			EI ₃₀ 法			魏氏简便法			Region and station
R _{10/00}	A _{10/00}	相对精度(%)	R ₂₀	A ₂₀	相对精度(%)	R ₃₀	A ₃₀	相对精度(%)	R _e	A _e	相对精度(%)	
R ₁₀	A ₁₀											
284.457	14064.1	67.26	194.437	9613.4	98.40	171.768	8492.6	89.77	274.061	13550.1	69.81	
556.927	63067.6	83.77	432.717	48137.4	91.11	330.727	36791.6	69.64	358.105	39837.2	75.40	
194.687	21657.9	93.10	163.443	18182.2	90.18	133.357	14813.0	73.47	197.099	21926.2	91.96	
187.468	9268.8	86.15	160.552	7938.0	99.41	133.514	6601.2	82.67	148.851	7359.5	92.17	
300.547	33434.2	84.59	214.410	23852.0	83.34	177.890	19789.3	69.97	437.235	48640.0	58.14	
177.406	13157.0	84.31	146.862	10891.7	98.19	130.672	9691.0	87.06	181.756	13479.6	82.30	
283.582		83.26	218.737		93.44	179.623		78.78	266.184		78.30	
0.909			0.931			0.913			0.674			
			1						0.584			
R ₀₀	A ₀₀											
406.831	28562.5	90.08	649.914	45628.8	56.39	575.659	40415.5	63.66	413.710	29045.5	88.58	
317.624	13379.7	65.18	607.284	25581.5	34.09	491.138	20688.9	42.15	693.918	29230.9	29.83	
568.246	17952.8	60.55	-	-	-	940.152	29702.5	36.60	766.338	24211.1	44.90	
430.900		71.44			45.24			47.47	624.655		54.44	

资料和 1990 年 3、4 月中三次自记资料,对 R₂₀、R₃₀ 和 R₀₀ 来说,加上这些资料后将比表中值还要大些,用其

3. 新算法易于在遥感监测中应用: 这一特点是由新算法对降雨资料要求较简单决定的。诚然,新算法需要求出当地当年的 I_{30B} 值,但在目前各流域或各省、县都有水保站或水文站、气象台站的条件下,新算法可利用遥感监测区内或最邻近站的自记降雨资料求出该值。这与经典法必须全靠自记降雨资料而只能算出该站 R 值,是有本质区别的。对于缺乏自记降雨资料的广大地区,经典法不适用;即使用魏氏简便法也要求有全年各月的降雨量资料,仍比新算法的资料要求苛刻。流失量遥感监测是按象元逐个算出的,最好每个象元都有正确的 R 值,但至少在全监测区应均匀分布较多的雨量观测点,才可实现准确的流失量监测。在我国,除县级以上气象台站外,多数水文站、水保站、乡级气象站,只有 6 至 9 月汛期的雨量观测资料。我们在山东临朐县开展遥感监测流失量时,就遇到此类情况,正是靠新算法才得以算出 20 余个站的 R 值,勾绘出全县 R 等值图,并内插获得每个象元的 R 值的。因此,新算法可以充分利用监测区内的观测资料,客观反映区内的 R 值差异,有利于提高遥感监测精度。

表4 新算法在四川省遂宁站的应用结果

Table 4 Application results of new algorithm in Suining Station of Sichuan Province

1985年的汛期量 Precipitation of flood season in 1985 P_f (mm) 781.4	年 I_{30} 值 Annual I_{30} value (cm/h) 2.6205	新算法的 R_n 值 R_n value of new algorithm R_n (100-ft-sht t-in/ac-h-y) 261.597	魏氏简便算法的 R_c 值 R_c value of Wischmei- er's convenient algorithm R_c (100-ft-sht t-in/ac-h-y) 363.691	站区位置 Station site			
小区流失量 实测值 Observed erosion loss	小区状况确定 的 f 值 The f -value determined by conditions of plot	用 R_n 监测的流失量和 相对精度 Erosion loss and relative accuracy monitored by R_n value	用 R_c 监测的流失量和 相对精度 Erosion loss and relative accuracy monitored by R_c value	N30°22' E105°29' 年均降雨量为993mm (737—1371), 1985年 降雨量为1253.4mm, 属中亚热带湿润气候 区。紫色土, K 值为 0.362。小区等高种 植作物			
A_e (t/km ²)	坡度	f 值	流失量 A_e (t/km ²)	相对精度 (%)	流失量 A_e (t/km ²)	相对精度 (%)	
15895.21	25°	84.9799	22230.5	71.50	30905.7	51.43	
11619.13	20°	54.3438	14216.2	81.73	19764.4	58.79	
8744.00	15°	35.7151	9343.0	93.59	12989.3	67.32	
5114.80	10°	19.7643	5170.3	98.93	7188.1	71.16	
3700.72	5°	9.4805	2480.1	67.02	3448.0	93.17	
平均相对监测精度				82.55		68.37	

表5 新算法在河北省张家口站的应用结果

Table 5 Application results of new algorithm in Zhangjiakou Station of Hebei Province

年份 Year	I_{30} 值 Annual I_{30} value (cm/h)	新算法的 R_n 值 R_n value of new algorithm R_n (100-ft-sht t-in ac-h-y)	经典法和魏氏简便法的 R 值 R values of the classical algo- rithm and Wischmeier's conve- nient algorithm				说 明 Note
			R_{15}	R_{20}	R_{30}	R_c	
1988	1.8664	76.089	67.299	58.231	43.111	102.256	缺 5.9 月自记资料
1989	2.2241	63.513	54.078	49.640	40.320	48.426	缺 6 月自记资料
1990	1.8439	70.664	59.006	47.833	34.444	90.136	缺 9 月自记资料
均值		70.089				80.273	

顺便指出, 在国外遥感监测流失量的研究中, 由于无法充分使用监测区内的降雨资料, 往往全区仅有一个 R 值。例如, Ripple, B.J., (1982) 和 Hession, W. C., (1988) 都是假定全区 R 为一常数^[11,15], 是不合理的。国内也有类似情况。

上述讨论表明, 新算法有比已有算法更多的优点, 有着广为应用的前景。

三、结 论

综上所述, 基于侵蚀雨量与总动能关系的普遍性, 由汛期量和 I_{30} 组成的 R 新算法, 可得出如下结论: 1) 它监测流失量的精度高; 2) 它的应用范围比已有算法广; 3) 它在遥感监测中易于应用; 4) 它有可能成为评价全国各地侵蚀力差异的统一算法。

参 考 文 献

- [1] 卜兆宏等, 1989: 水土流失调查的遥感数据处理。东南大学出版社, 216 页。
- [2] 卜兆宏等, 1990: 水土流失量遥感监测的研究设想与初步进展。遥感技术动态, 第 4 期, 31—37 页。
- [3] 王万忠, 1983: 黄土地区降雨特性与土壤流失量关系的研究 II、降雨侵蚀力指标 R 值的探讨。水土保持通报, 第 5 期, 62—64 页。
- [4] 周伏建等, 1989: 福建省降雨侵蚀力指标的初步探讨。福建省水土保持, 第 2 期, 58—60 页。
- [5] 柯克比, M.J., 和 R.P.C. 摩根编著, 王礼先等译, 1987: 土壤侵蚀。水利电力出版社, 362 页。
- [6] Elwell, H. A., 1978: *Destructive potential of Zimbabwe/Rhodesia rainfall*. Rhodesian Agriculture Journal 76:227—232.
- [7] Foster, G. R., L. D. Meyer, and C. A. Onstad, 1977: *A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates*. Transactions. American Society of Agricultural Engineers, 20: 683—687.
- [8] Fournier, F., 1960: *Climas et erosion: la relation entre l'erosion du sol par l'eau et les precipitations atmospheriques*. Presses Universitaires de France, Paris.
- [9] Hudson, N. W., 1965: *The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to northern Rhodesia*. M. S. thesis. University of Cape Town, Cape Town, South Africa.
- [10] Hudson, N. W., 1976: *Soil conservation*. BT Batsford, London, England.
- [11] Hession, W. C., et al. 1988: A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution. *J. of Soil and Water Conservation*, Vol. 43, No.3, 264—265.
- [12] Kinnell, P. I. A., 1973: *The problem of assessing the erosive power of rainfall from meteorological observations*. Soil Science Society of America Proceedings 37:617—621.
- [13] Lal, R. 1976: *Soil erosion problems on an Alfisol in western Nigeria and their control*. Monograph 1. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. pp.208.
- [14] Onstad, C. A., and G. R. Foster., 1975: *Erosion modelling on a watershed*. Transactions, American Society of Agricultural Engineers 18:288—292.
- [15] Ripple, B. J., et al., 1982: Remote sensing and computer modeling for water quality planning in South Dakota. in *Remote Sensing for Resource Management*. pp. 309—316, SCSA, IOWA, 50021.
- [16] Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1958: *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. Transactions, American Geophysical Union 39:285—291.
- [17] Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1965: *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Agriculture Handbook 282. U.S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
- [18] Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978: *Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537. U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C. pp.58

PRELIMINARY STUDY ON NEW ALGORITHM OF EROSIVITY FACTOR OF RAINFALL*

Bu Zhaohong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)

Dong Qinrui

(Office of Soil and Water Conservation, Water Conservancy Department of Shandong Province)

Zhou Fujian

(Office of Soil and Water Conservation Of Fujian Province)

Zhang Liwen

(Office of Soil and Water Conservation of Linzi County in Shandong Province)

Summary

According to very high correlation existing generally between erosive precipitation and kinetic energy, a new algorithm of R composed of the I_{30BS} and the precipitation of flood season has been initially created. Application results of new and old algorithm in different region show that the new algorithm was wider in application range, higher in the accuracy of monitoring erosion loss and easier in the usage in remote sensing monitoring of erosion losses. Using the new algorithm, the R values of all rainfall erosion regions in China could be calculated and evaluated in the same accuracy, which would be beneficial to the scientific management of soil and water conservation.

Key words Erosivity factor of rainfall, Monitoring soil loss, Monitoring using remote sensing.

* The Project Supported by National Natural Science Foundation of China.