

通用土壤流失方程在小良水土保持 试验站的应用

陈法扬 王志明

(水利部南昌水利水电专科学校·南昌市·330029)

(广东省小良水土保持试验站·广东电白县)

提 要

通用土壤流失方程式(USLE)是研究土壤侵蚀中被广泛采用的公式。但是鉴于土壤侵蚀的复杂性,在很多情况下,不同地方的土壤侵蚀情况千差万别。因而,在应用该方程的过程中,往往需要对引起土壤侵蚀的各种因子作必要的修正。本文应用广东省小良水土保持试验站2号试验场(纯桉树林)和3号试验场(光板地)多年采集的有关数据,在建立数据库的基础上,运用多元回归分析方法,成功地对该方程中的各个因子进行了切合实际的修正,从而得到了能用于本地区土壤侵蚀预测预报的经验公式。本文重点阐述了通用土壤流失方程中的侵蚀动能因子(R),认为用5min雨强(EI5法)或30min雨强(即EI30法)来估算本地区的土壤流失量是比较切合实际的。

关键词:通用土壤流失方程 侵蚀动能因子 雨强

Application of Universal Soil Loss Equation At Xiaoliang Water and Soil Conservation Experiment Station

Chen Fayang Wang Zhiming

*(Nanchang Water Conservancy Faculty of the Ministry of
Water Resources, Nanchang Municipality)*

*(Xiaoliang Water and Soil Conservation Experiment Station
of Guangdong Province, Dianbai County, Guangdong Province)*

Abstract

Universal soil loss equation(USLE) is a widely-used equation in studying soil erosion in different locations under different conditions. In applying this equation, it is necessary to make some modifications to each factor affecting soil erosion. Some

related data from No.2 testing fields (by pure eucalyptus forest) and No.3 testing fields (by bare land) collected for many years were used in this paper. Based on the establishment of data base, multiple regression analysis method was employed to make some practical modifications to each factor in the equation successfully thereby to obtain an empirical equation applicable to predict and pre-estimate soil erosion in this region. This paper stresses the importance of R-factor in universal soil loss equation, and holds that it is more practical to estimate the amount of soil loss in this region using rainfall intensity in 5 minutes (EI 5 method) or rainfall intensity in 30 minutes (EI 30 method).

key words Universal Soil Loss Equation kinetic factor of soil erosion
rainfall intensity

“在环境问题中，空气和水的污染固然十分重要，但第一位的问题却是土壤侵蚀，或称水土流失。”（《公元2000年的地球》一书，主编美国巴尔尼博士）。

而要防治水土流失，就必须开展各种保护治理措施。在评价这些措施方案时，土壤流失量的估算不仅是确定各种措施方法的使用程序的必要依据，也是制定水土保持规划首先要完成的工作。

目前，就世界范围来讲，对土壤流失量的估计预测最成功的方法是采用通用土壤流失方程式。但是，在这个方程式应用的地区，仍要对方程式各个因子重新拟定，对于R因子尤其是这样。

近年来，我国许多学者在西北、华北和东北等地，相继进行了土壤流失预报方程的应用研究（重点是R值的估算），已经取得了一定的进展。现在，我们应用小良站多年试验资料，探讨通用流失方程在小良试验区应用情况。

一、通用土壤流失方程（USLE）简介

据查新资料，世界上最早的土壤流失方程称辛格（Xingg）方程，发表于1940年。该方程首次用数学方法建立了土壤侵蚀和地形影响之间的关系。一年后，即1941年，史密斯（Smith）修正了该方程，增加了水土保持工程措施对土壤侵蚀量影响因素。此时，又出现了马斯格雷夫

表1 半个世纪以来用于研究土壤流失量的主要公式及作者统计表

公 式	作 者	年 份 (年)	目的、作用或特点
$A = as^{1.4}L^{0.8}$	辛格	1940	地形影响
$P/A = as^{1.4}L^{0.6}$	史密斯	1941	保护规划指南
$A = R^{1.75}S^{1.35}L^{0.35}CP$	马斯格雷夫	1947	地区化
$A = CSLRP$	史密斯和怀特	1948	因子方法
$A = RKSLCP$	威斯奇迈尔和史密斯	1960	通用

注：表中a表示常数，其它符号意义同（式1）

(Muagrave) 方程, 进一步明确了坡度、降雨及植被因子对土壤流失量的影响, 表达了土壤因子与标准地形和降雨状况之间的关系。不久, 史密斯 (Smith) 和怀特 (Whitt) 又提出了简明土壤流失方程式。直到50年代末, 由威斯奇迈尔和史密斯 (Wischmeier and Smith) 创造了完整的通用土壤流失方程, 其表达式如下。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中:

A ——土壤流失量 (t/ha·a或t/ha·月);

R ——降雨侵蚀因子 (MJ·mm/ha·h·a或MJ·mm/ha·h·月);

K ——土壤可蚀性因子 (t·ha·h/ha);

L ——坡长因子 (m);

S ——坡度因子 ($^{\circ}$); C ——耕作和经营管理因子; P ——土壤保持因子。

二、广东省小良水土保持试验站情况简介

小良水土保持试验站位于广东省电白县西南部的小良镇。属滨海台地。北纬 $21^{\circ}27'49''$, 东经 $110^{\circ}54'18''$, 处于热带北缘地区。全站总面积 3.166km^2 。境内地形起伏, 海拔高度低, 相对高度50m左右, 坡度平缓, $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间。建站前, 到处光山秃岭, 水土流失严重。这里气候温暖, 常年高温多雨。多年平均气温 23°C , 极端最高气温 36.5°C ; 极端最低气温 4.7°C 。年降雨量 $1400\sim 1700\text{mm}$ 。多集中在5~9月 (即为雨季), 降雨量占全年的75.8%。而10月至次年4月降雨较少 (即为旱季)。其降雨量占全年的24.2%。干湿季节分明, 旱季长达半年。降雨方式多为暴雨或暴风雨 (台风雨), 最大日降雨量200mm以上。多年平均蒸发量 $1200\sim 2300\text{mm}$ 。蒸发量高的年份比年平均降雨量多出800mm; 5~9月雨季的降雨量与蒸发量相当, 较少旱情发生, 10月至次年4月为旱季, 其蒸发量大于降雨量。本站距南海岸较近, 只有5km, 因而常受海风侵袭。每年要遭受4至5次台风的袭击, 最大风力超过12级。

成土母质为花岗岩红色风化壳, 厚达数十米。地带性土壤为红壤和砖红壤。由花岗岩风化物形成的红壤土多石英砂粒, 与土壤中的粘粒胶结而形成坚硬的地皮, 降低土壤水分入渗速率。据测定, 土壤水分渗透系数为 3.83×10^{-7} (cm/s)。另外土层中隔有铁锰结核或铁盘, 阻碍土壤水分入渗。土壤呈酸性反应, pH值 $4.2\sim 5.0$ 之间。有机质含量 $0.76\%\sim 1.5\%$ 。总之, 酸、瘦、表皮硬、透水差等是这里土壤的特性。试验小区布置情况见表2。

表2 小良站试验小区设计表

小区编号	处 理	面 积 (km^2)	坡面平均坡度 ($^{\circ}$)	坡面平均长度 (m)	记 录 时 间 (年)
1号试验区	混交林	0.064		65	因很少发生水土流失, 故不作分析
2号试验区	纯桉林	0.0378	4	65	1983~1989
3号试验区	光板地	0.0373	9	65	1983~1989

三、改进型通用土壤流失方程简介

由于各地的情况千差万别, 在研究土壤流失量与各种可能形成土壤侵蚀的因子之间的关系。

时,对经典的通用土壤流失方程(USLE)常常需要作某些修正。目前国际上常用的改进型土壤流失方程有威斯奇迈尔(Wischmerier)式,史密斯(Smith)式等。根据小良水土保持试验站各处理的实际情况,对照各种改进型土壤流失方程应用时的边界条件,本文采纳了如下几个改进型流失方程。

(一) 2号试验区(纯桉林) 2号试验区系纯桉林。在研究了各种改进型土壤流失方程应用条件的基础上,选用迪斯迈耶(G·E·Dissmeyer)和福斯特(G·R·Foster)提出的适用于林区的土壤流失方程去拟合。其表达式如下。

$$A = R \cdot R_c \cdot K \cdot K_c \cdot L \cdot S \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot C_8 \cdot C_9 \cdot P \quad (2)$$

式中 A ——土壤流失量; R_c ——缓坡地降雨动能修正系数; K_c ——年内不同时间土壤可蚀性因子修正系数;

C_1 ——裸露地面积次因子; C_2 ——作物残茬次因子; C_3 ——耕作强度次因子;

C_4 ——土壤残余结合作用次因子; C_5 ——植物细根次因子; C_6 ——地面粗糙度次因子;

C_7 ——土壤有机质含量次因子; C_8 ——地表台阶次因子; C_9 ——等高耕种

次因子式中其它符号意义同式1。

(二) 3号试验区(光板地) 3号试验区为光板地,拟采用C·K马可勒(Mutcher和C·E默费里(Murphree)提出的改进型土壤流失方程予以拟合,其表达式如下。

$$A = R \cdot R_c \cdot K \cdot K_c \cdot L \cdot S \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot P \quad (3)$$

式中: C_1 ——土地利用残余产物次因子; C_2 ——作物残茬次因子;

C_3 ——耕作强度次因子; C_4 ——地面粗糙度次因子; C_5 ——植物覆盖影响次因子。

式中其他符号意义同式1。

四、通用土壤流失方程(USLE)在小良水土保持试验站的应用结果

为了建立起适合本地区的土壤流失预测预报方程,首先必须应用通用土壤流失方程,并定量地研究引起土壤侵蚀的各个因子。这些因子包括侵蚀动能和下垫面因素两大类。其中,水力侵蚀的侵蚀动能是指降雨强度和降雨量两个方面;下垫面因子是指土壤抗蚀性、坡长、坡度、作物经营因素、地面水土保持措施等方面的情况。

本文利用小良水保站多年来积累的有关土壤侵蚀方面的原始资料,引用不同的改进型土壤流失方程加以拟合,从而得到了可能引起土壤侵蚀的各个因子的经验系数,建立了具有一定代表性的土壤流失预测预报方程。

(一) 土壤可蚀性因子K 土壤可蚀性因子K是由土壤本身的理化性状决定的。主要受土壤的颗粒级配、土壤中有机质的含量及土壤团粒结构的影响。对于一定的土壤而言,这个因子是比较稳定的。

本文按威斯奇迈尔(Wischmeier)和史密斯(Smith)的诺谟图,求得了不同处理的K值,分别见表3、表4。诺谟图的K值如下。

$$100K = 2.1 \times 10(12 - OM)M^{1.4} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3) \quad (4)$$

式中: OM ——土壤的有机质百分比($OM = 1$);

$M = \text{新粉砂}\% \times (\text{新粉砂}\% + \text{新沙土}\%)$, (新粉砂颗粒直径0.002~0.1mm,新沙土颗粒直径0.1~2mm), $M = 29\% \times 72\% = 0.2088$;

表3 2号试验区不同月份土壤可能性因子修正值Kc表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\bar{T} 月	17.6	17.1	16.7	21.7	27.8	28.7	28.9	27.6	27.9	24.2	18.9	16.6
T'	0.77	0.75	0.73	0.95	1.22	1.26	1.27	1.24	1.22	1.06	0.82	0.73
Kc	1.32	1.38	1.43	1.31	0.70	0.59	0.56	0.65	0.70	1.09	1.18	1.45

注： \bar{T} 年 = 22.8℃

表4 3号试验区不同月份土壤可能性因子修正值Kc表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\bar{T} 月	16.8	18.0	22.7	22.2	25.6	28.1	28.2	28.3	26.4	23.7	21.3	16.7
T'	0.72	0.78	0.98	0.96	1.10	1.21	1.22	1.22	1.14	1.02	0.92	0.72
Kc	1.46	1.31	0.83	0.88	1.00	0.73	0.70	0.70	0.90	1.17	1.37	1.47

注： \bar{T} 年 = 23.2℃

S——土壤结构等级 (S = 1) ; P——土壤渗透等级, P = 1.

$$K = 0.175h/ft \cdot in = 0.0133t \cdot h/MJ \cdot mm$$

当应用土壤流失方程估算年侵蚀量时, K值可以取1.0。K值用诺谟图计算。但用于月侵蚀量估算时, 由于各月、各季度土壤的可蚀性不同, K值需要加以修正。根据美国Holly—Spring研究成果, K的修正值即Kc值, 是随月平均气温的变化而变化的。其表达式为:

$$Kc = 1 + 0.69COS [(t - 2.2)2\pi/12]$$

$$T' = 1 + 0.32COS [(t - 7.6)2\pi/12]$$

式中:

t——为时间; T——用年平均气温校正的月平均气温修正系数。

其计算式为

$$T' = \bar{T}_{月} / \bar{T}_{年} \quad (\text{月平均气温与年平均气温之商})$$

根据上式, 不难建立Kc与T的函数关系, 并且可近似地认为土壤可蚀性因子是受不同月份气温的变化而变化的。反之, 则可以用气温的月间变化来反映土壤可蚀性因子的变化。查不同处理的有关资料, 经计算得到各试验区土壤可蚀性因子修正值Kc, 详见表3、表4。

(二) 地形因子LS 本文借助于马斯格雷夫指数方程, 其表达式:

$$A = 5.28S^{0.49}L^{0.8} \tag{5}$$

式中:

A——年土壤侵蚀量, t/ha·a; S——地面坡度 (°); L——坡长, (m)。

拟合后求得2号试验场(纯桉林)的L、S因子为2.094。

计算式:

$$L \cdot S = \left(\frac{S'}{5.14}\right)^{0.49} \cdot \left(\frac{L'}{22.13}\right)^{0.8} = 2.094$$

式中: $S' = 4^\circ$ $L' = 65\text{m}$

3号试验场(光板地)的 $L \cdot S$ 因子为3.116。

$$L \cdot S = \left(\frac{S''}{5.14} \right)^{0.49} \cdot \left(\frac{L''}{22.13} \right)^{0.8} = 3.116$$

式中 $S'' = 9^\circ$ $L'' = 65\text{m}$

(三) 降雨侵蚀动能因子R 降雨是引起土壤侵蚀的直接动能。国内外的研究表明,在影响土壤侵蚀的降雨因子中的降雨量和降雨强度两个方面,以后者为主导性因子,即降雨强度对土壤侵蚀量的影响最直接。也就是说,某个地区的降雨方式直接影响该地区的土壤侵蚀量多少。鉴于此认识,在研究土壤侵蚀量与降雨因子(R)之间的关系时,一般采用次雨强方法。在选择暴雨强度的时段中,有采用30min雨强的,也有采用10min或5min雨强的。由此而产生了一些计算方法。如 EI_{30} 法、 EI_{10} 法、 EI_5 法、通用雨强指数法(UI法)和微分法等。本文应用小良站3号试验场(光板地)1983年至1989年的原始资料,采用不同的方法,对降雨因子与土壤侵蚀量的关系进行系统的分析。尽管采用的方法不同,但得出的结论几乎都是一致的,即降雨强度对土壤侵蚀量的影响是最直接的。

1. 通用指数法(UI)。保加利亚N·G·ONCHEV(翁契夫)的研究成果表明,一次降雨对土壤流失的影响可以分为两个部分:一是能引起水土流失的部分,称为主动侵蚀降雨。主动侵蚀降雨为总降雨量大于9.4mm;同时,瞬时雨强大于8.7mm/h的降雨。其它则称为非产生水土流失的降雨。翁契夫提出用通用指数 R_{ui} 来表示降雨侵蚀因子:

$$R_{ui} = \frac{P_i}{\sqrt{t_i}} \quad (6)$$

式中: R_{ui} ——一次降雨的通用指数;

P_i ——雨强大于8.7mm/h,同时雨量大于9.4mm的降雨量(mm);

t_i ——雨强大于8.7mm/h的降雨历时(min)。

$$\text{月通用指数: } R_{\text{月}} = \sum R'$$

$$\text{年通用指数: } R_{\text{年}} = \sum R'$$

根据小良站的情况,我们将通用指数法中划分侵蚀降雨的指标即一次降雨量和瞬时雨强分别修正为9.4mm和8.7mm/h。经过对3号试验区降雨资料的划分与处理,计算出各次降雨的 R_{ui} 值,并统计表5。

表5 3号试验区 R_{ui} 计算结果表

(mm/min)

R_{ui}	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1983年	37	76	169	120	60	0	36	119	0	0	0	0	617
1984年	0	0	36	62	146	312	74	266	0	0	0	0	869
1985年	0	0	49	170	34	280	146	294	106	60	0	0	1139
1986年	0	0	0	35	92	184	208	71	106	80	0	0	776
1987年	0	37	75	4	125	242	207	159	91	31	17	0	988
1988年	9	0	0	38	162	101	46	273	43	36	60	0	768
1989年	0	0	33	64	92	92	86	164	148	0	0	0	679

表 6 3 号试验场实测土壤侵蚀量表 (t/ha·月或t/ha·a)

侵蚀量	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合计
1983年	1.14	3.61	5.57	2.18	5.50	0.39	1.49	6.66	1.21	1.22	0	0	28.97
1984年	0	0	2.69	4.61	7.80	12.25	12.26	8.94	2.20	0	0	0	50.75
1985年	0	3.18	3.00	10.23※	4.37	29.08	6.30	28.53※	6.40	6.32	0	0	97.41※
1986年	0	0.14	0.17	1.67	5.75	13.38	11.96	12.10	5.88	11.12	0	0	62.17
1987年	0	1.29	4.37	0	13.08	21.83	10.34	10.47	6.22	1.40	0.29	0	72.17
1988年	0.02	0	0	1.38	14.73	4.46	2.67	14.56	4.06	0.96	8.81	0	51.65
1989年	0	0	0.30	3.94	4.44	3.29	9.94	6.56	8.42	0	0	0	36.89

※：为插补数据

应用 3 号场 1983 年至 1989 年的实测资料，以 R_{ui} 值为自变量，对应的月或年土壤侵蚀量作为因变量进行线性相关分析，分别求得以下拟合方程，均达到显著相关。

$$A_{月} = 0.071R_{ui} - 0.02 \quad r = 0.89 \quad (7)$$

$$A_{年} = 0.075R_{ui} + 5.77 \quad r = 0.69 \quad (8)$$

式中 $A_{月}$ 表示月土壤侵蚀量； $A_{年}$ 表示年土壤侵蚀量。即可以从降雨通用指数计算出土壤流失量的理论值。

2. EI_{30} 法。美国的威斯奇迈尔 (W·H·WISCHMEIER) 研究成果表明，土壤侵蚀量同侵蚀性降雨动能 (E) 与其最大 30min 雨强的乘积关系非常密切，从而提出了用 EI_{30} 的值表示降雨侵蚀性因子 R。威斯奇迈尔公式中所谓侵蚀性降雨是指降雨量大于 12.7mm，瞬时雨强大于 10mm/h 的降雨。结合小良站的情况，笔者认为一次降雨量大于 12.7mm 作为底值偏高，故修正为 10mm。本文引用 WISCHMEIER SMITH UNTAND 降雨动能计算公式：

$$ei = 916 + 3311 \log_{10} Ii \quad (9)$$

式中： Ii ——瞬时雨强 (in/h)； ei ——单位降雨动能。(ft·t/mile·ft)

为了便于计算，将雨强分为 5 个等级，其对应的降雨动能分别为表 7 所示。

表 7 不同雨强等级对应的侵蚀动能计算结果表

等 级	I	II	III	IV	V
雨强范围	0~10	10~25	25~50	50~75	>75
动能 (J/m ² ·mm)		23	26	28	29

降雨总动能 (E) 为：

$$E = \sum eiXi = 23X_2 + 26X_3 + 28X_4 + 29X_5$$

其中 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别为 II、III、IV、V 雨强等级内的降雨量。

$$R'EI_{30} = E \cdot I_{30}$$

年降雨侵蚀因子为 $R_{年} = \sum R'$ ，月降雨侵蚀因子为 $R_{月} = \sum R'$ 。

利用这种方法计算出的 REI_{30} 值见表 8。

表8 3号试验区REI₃₀值计算结果表

[MJ·mm/ha·h·月(a)]

REI ₃₀	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1983年	271	676	2246	1857	3870	0	119	1414	16	82	0	0	10551
1984年	0	0	422	1321	3433	10976	299	2694	109	0	0	0	19254
1985年	0	70	590	1892	318	6725	966	6584	824	2342	0	0	20311
1986年	0	77	32	295	1668	1642	1592	434	693	1245	0	0	7678
1987年	0	164	585	4	2304	3144	1314	1293	572	126	91	0	9597
1988年	9	0	0	303	4957	629	287	2241	485	77	395	0	9383
1989年	0	0	394	458	2108	295	1331	2447	1427	0	0	0	8460

用前述方法进行相关分析,得到年土壤侵蚀量或月土壤侵蚀量与30min雨强侵蚀动能的关系式分别如下。

$$A_{月} = 0.0039REI_{30} + 2.85 \quad r = 0.78 \quad (10)$$

$$A_{年} = 0.0033REI_{30} + 30.13 \quad r = 0.94 \quad (11)$$

式中A_月表示月土壤流失量; A_年表示年土壤流失量。由REI₃₀值可以预测本区年或月土壤流失量。

3. EI₁₀法。斯坦内斯库 (RSTANESCU) 等人仿效W·H·WISCHMEIER作法提出了EI₁₀法。即利用降雨动能与其最大10min雨强的乘积作为降雨侵蚀性指标。根据定义,其数学表达式为:

$$R'EI_{10} = E \cdot I_{10} \quad (12)$$

式中: I₁₀——最大10min雨强;

E——侵蚀性降雨动能。

$$\text{年降雨侵蚀性因子} \quad R_{年} = \sum_{年} R'$$

$$\text{月降雨侵蚀性因子} \quad R_{月} = \sum_{月} R'$$

应用3号场1983年至1989年的有关原始资料,经过计算,求得各年各月的REI₁₀值,详见表9。

表9 3号试验区REI₁₀值计算结果表

[MJ·mm/ha·h·月(a)]

REI ₁₀	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1983年	471	1204	3382	2360	3918	0	263	2343	36	116	0	0	14092
1984年	0	0	2360	2007	4817	12749	537	3852	264	0	0	0	26586
1985年	0	185	3918	3388	495	7811	1494	8446	1478	3241	0	0	30456
1986年	0	176	42	532	2660	2898	3206	764	1576	1786	0	0	13640
1987年	0	370	980	4	4217	4554	2321	2321	802	227	124	0	15920
1988年	20	0	0	426	7846	1080	639	3535	803	127	147	0	14623
1989年	0	0	584	820	3381	604	1129	3303	2675	0	0	0	12396

经线性相关分析后，得到月土壤侵蚀量 ($A_{月}$) 和年土壤侵蚀量 ($A_{年}$) 与 REI_{10} 的相关方程式，分别为式13和式14。均达显著水平。

$$(1) A_{月} \text{ 与 } REI_{10} \text{ 的关系: } A_{月} = 0.003REI_{10} + 1.58 \quad r = 0.70 \quad (13)$$

$$(2) A_{年} \text{ 与 } REI_{10} \text{ 的关系: } A_{年} = 0.003REI_{10} + 16.92 \quad r = 0.94 \quad (14)$$

4. EI_5 法。即用降雨侵蚀动能与5min雨强的乘积来研究其与土壤侵蚀量的关系的方法，计算同上，计算结果见表10。

表10 3号试验场 REI_5 值计算结果表 [MJ·mm/ha·h·月(a)]

REI_5	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合 计
1983年	519	1571	3576	2554	3940	0	347	2846	48	148	0	0	15549
1984年	0	0	708	2241	4846	13887	634	4866	353	0	0	0	27515
1985年	0	274	809	3734	691	8814	1780	9487	1847	3250	0	0	30486
1986年	0	220	80	596	2840	3940	4107	869	1906	2114	0	0	16672
1987年	0	425	1447	4	4343	6506	2730	3320	988	326	160	0	20249
1988年	22	0	0	501	7850	1314	838	4226	803	176	1085	0	16815
1989年	0	0	714	1063	4325	705	2228	3948	3547	0	0	0	16530

同样得到如下相关方程。

$$\text{月土壤侵蚀量与 } REI_5 \text{ 的关系: } A_{月} = 0.002REI_5 + 2.01 \quad r = 0.83 \quad (15)$$

$$\text{年土壤侵蚀量与 } REI_5 \text{ 的关系: } A_{年} = 0.00288REI_5 + 10.56 \quad r = 0.92 \quad (16)$$

均达到显著相关水平。

5. $KE > 25$ 法。英国著名土壤学家 N·W·HUDSON (哈德逊)，在对非洲土壤侵蚀的研究中发现，用 EI_5 指标反映降雨侵蚀力，不象 Wischmeier 在美国研究时所期望的那么适用，尤其是在热带和亚热带地区。经过深入细致的研究，他发现对于出现侵蚀的降雨来说，存在着一个起始低雨强度问题，也就是说，当起始雨强低于某一个数值时，地面不会产生土壤侵蚀。据此，他提出在热带和亚热带地区用 $KE > 25$ 起始雨强指标方法。

所谓 $KE > 25$ 的指标，是指降雨强度大于 25mm/h 的降雨总动能。

根据 Wischmeier Smith and Uhland 的降雨动能公式，大于 25mm/h 降雨的总动能为：

$$E = 26X_3 + 28X_4 + 29X_5 \quad (17)$$

式中： E ——侵蚀性降雨动能

X_3 、 X_4 、 X_5 ——分别表示 III、IV、V (表 7) 三个降雨强度等级中对应的降雨量。

即：次降雨侵蚀因子 $R'_{KE > 25} = E = 26X_3 + 28X_4 + 29X_5$

年降雨侵蚀因子 $R_{年} = \sum R'$ ； 月降雨侵蚀因子 $R_{月} = \sum R'$ 。

应用 3 号试验区 1983 年至 1989 年的原始资料，经计算得到 $R_{KE > 25}$ 值如表 11。

线性相关分析后，得到 3 号试验区月土壤侵蚀量 ($A_{月}$) 和年土壤侵蚀量 ($A_{年}$) 与 $R_{KE > 25}$ 的相关方程分别如式 18 和式 19，均达到显著相关水平。

$$A_{月} = 0.28R_{KE > 25} + 1.3 \quad r = 0.84 \quad (18)$$

表11 3号试验区RKE>25值计算结果表

[MJ·mm/ha·h·月(a)]

RKE>25	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1983年	5	18	33	35	25	0	5	23	4	2	0	0	150
1984年	0	0	9	14	43	123	12	61	6	0	0	0	268
1985年	0	4	11	33	9	80	22	84	37	20	0	0	300
1986年	0	4	2	7	30	46	40	10	19	19	0	0	177
1987年	0	5	13	0	30	49	34	29	12	3	2	0	177
1988年	0	0	0	5	14	8	51	8	2	8	0	0	96
1989年	0	0	8	9	40	10	22	30	28	0	0	0	147

$$A_{\text{年}} = 0.288RKE > 25 + 13.24$$

$$r = 0.94$$

(19)

6. 微分法。苏联学者科辛等人,在苏联克拉斯达尔州黑海沿海地区的研究成果表明,在亚热带,无论是Wischemeier的 EI_{30} 指标还是Hudson的 $KE > 25$ 指标,都不是那么理想。在估算土壤流失量时,用 EI_{30} 指标时其结果往往会偏大,而用 $KE > 25$ 的指标时其结果则往往会偏小。因而,他提出一种折衷的微分法来计算降雨侵蚀指标。降雨强度超过25mm/h的降雨侵蚀指标与 $KE > 25$ 法计算,部分或全部雨强小于25mm/h的降雨侵蚀指标则按 EI_{30} 法计算,具体表达式为:

$$R'_{\text{微}} = R'_{KE > 25} + R'E'I_{30}' = KE > 25 + E'I_{30}'$$

式中: $KE > 25$ 为雨强大于25mm/h的降雨动能 (MJ/ha) 计算方法同或17;

E' 为雨强小于25mm/h的降雨动能 (MJ/ha);

I_{30}' 为雨强小于25mm/h降雨的30min最大降雨强度 (mm/h)。

即 次降雨侵蚀指标: $R'_{\text{微}} = KE > 25 + EI_{30}'$

年降雨侵蚀指标 $R_{\text{年}} = \sum_{\text{年}} R'$; 月降雨侵蚀指标 $R_{\text{月}} = \sum_{\text{月}} R'$ 。

应用3号试验区的原始资料,经计算求得各年各月的 $R_{\text{微}}$ 值如表12。

表12 3号试验区 $R_{\text{微}}$ 值计算结果表

[MJ·mm/ha·h·月(a)]

$R_{\text{微}}$ 值	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1983年	129	94	111	92	138	0	13	136	54	32	0	0	799
1984年	0	0	82	65	101	408	31	386	31	0	0	0	1104
1985年	0	5	44	29	41	390	113	55	122	40	40	0	889
1986年	28	0	0	26	201	129	40	248	13	128	129	0	952
1987年	0	75	116	333	164	289	47	403	240	147	0	0	1814
1988年	0	13	8	9	120	133	108	11	315	482	0	0	1200
1989年	0	0	63	24	132	22	256	108	276	0	0	0	881

线性相关分析后，得到3号试验区月土壤侵蚀量（ $A_{月}$ ）和年土壤侵蚀量（ $A_{年}$ ）与R微值的相关方程分别为式20式21，均达到显著相关水平。

$$A_{月} = 0.03R_{微} > 25 + 3.4 \quad r = 0.72 \quad (20)$$

$$A_{年} = 0.038R_{微} > 25 + 28.28 \quad r = 0.71 \quad (21)$$

综合以上各种方法的计算结果，将3号试验区的土壤侵蚀量A与降雨因子R的关系式汇总成表13、表14。

表13 A月与R相关结果统计表

计算方法	相关方程	相关系数
UI法	$A = 0.071R - 0.02$	0.89
EI ₃₀ 法	$A = 0.0039R + 2.85$	0.78
EI ₁₀ 法	$A = 0.003R + 1.58$	0.70
EI ₅ 法	$A = 0.002R + 2.01$	0.83
KE>25法	$A = 0.28R + 1.3$	0.84
微分法	$A = 0.03R + 3.4$	0.72

表14 A年与R相关结果统计表

计算方法	相关方程	相关系数
UI法	$A = 0.075R - 5.77$	0.69
EI ₃₀ 法	$A = 0.0033R + 30.13$	0.94
EI ₁₀ 法	$A = 0.003R + 16.92$	0.938
EI ₅ 法	$A = 0.00288R + 10.56$	0.92
KE>25法	$A = 0.288R + 13.24$	0.94
微分法	$A = 0.038R + 28.28$	0.71

表13说明月土壤侵蚀量（ $A_{月}$ ）和通用侵蚀性降雨指数UI之间的关系具有最高的相关性。

表14说明年土壤侵蚀量（ $A_{年}$ ）和30min雨强的侵蚀动能EI₃₀及KE>25之间关系具有最高的相关性。可见，在研究月土壤侵蚀量与降雨因子关系时，采用通用侵蚀性降雨指数法为宜；而在研究年土壤侵蚀量与降雨因子关系时，则采用EI₃₀法或KE>25法为宜。总之，UI法、EI₃₀法和KE>25法比较适宜用于热带或亚热带地区。

（四）耕作和经营管理因子C C值的大小受耕作和土壤管理的影响。一般而言，耕作合理，地表覆盖好，C值小；反之则大。2号试验区和3号试验区因处理情况不同，因而C值的计算方法略有差异。

1. 3号试验场（光板地）。3号试验场是光板地，C值大小和下列各因子有关系：土地利用残余因子，组合残茬次因子，耕作强度次因子，大粗糙度（微地形）次因子和植物覆盖影响次因子等。C值的大小就是这5种次因子的乘积。其数学表达式表示为：

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \quad (22)$$

式中各符号的含义同前。

(1) C_1 的确定。 由于3号试验区多年闲置，根本没利用，所以土地利用残余物次因子 C_1 取1.0，即 $C_1 = 1.0$ 。

(2) C_2 的确定。 3号试验区为休闲地，则不存在组合残茬的影响，所以 C_2 也取1.0，即 $C_2 = 1.0$

(3) C_3 的确定。 3号试验区多年闲置，长期没有耕作。但是，长期闲置的土地，土壤结构也会遭到破坏而减少土壤的抗蚀性，根据贾思斯维尔曲线 C_3 拟取0.48，即 $C_3 = 0.48$ 。

(4) C_4 的确定。 C_4 的原意是指土地在耕种以后，地表将有一个粗糙度的变化。 C_4 就是反映这些粗糙度对土壤流失影响的因子。3号试验区为长期休闲地，因而也就没有耕作后地表粗糙度的变化。但这并不等于这里的地表是光滑的。由于地表土壤的不断流失，地面变得凹凸不平，使地表粗糙度发生变化。根据G·E迪斯迈耶 (Dissmeyer) 曲线 (略)，3号试验区的 C_4 拟取0.44，即 $C_4 = 0.44$ 。

(5) C_5 的确定。 C_5 的原意是指植物覆盖影响次因子。但3号试验区是多年闲置的光板地，拟按裸露土壤次因子处理。根据Wischmeier裸露土壤次因子曲线，(如图1) C_5 取0.69，即 $C_5 = 0.69$ 。

表15 3号试验区C值次因子计算结果表

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C
1.0	1.0	0.48	0.44	0.69	0.15

2. 2号试验区 (纯桉林)。2号试验区是纯桉林地。根据迪斯迈耶 (Dissmeyer) 和福斯特 (Foster) 的研究成果。C因子的影响因素有9个次因子，C值就等于9个次因子之积。其数学表达式为：

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot C_7 \cdot C_8 \cdot C_9 \tag{23}$$

式中符号含义同式22。

(1) C_1 的确定。 C_1 为裸露土壤次因子。全裸露土壤的 C_1 值为1.0，覆盖率越高， C_1 越小

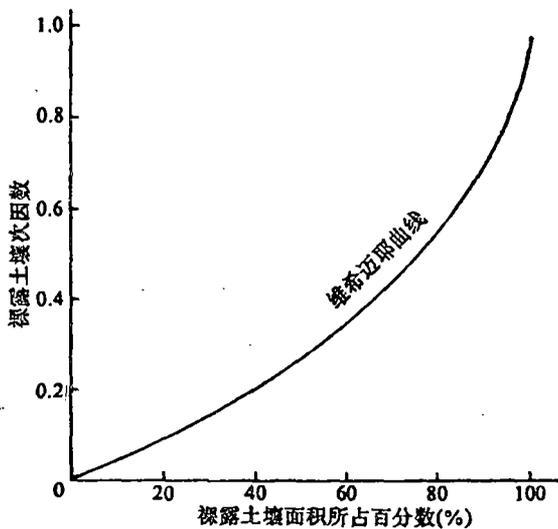


图1 裸露土壤次因数

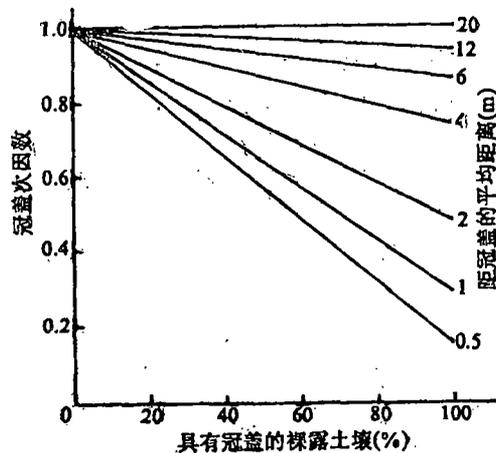


图2 冠盖次因数

根据2号试验区的覆盖率，查图1曲线，得 C_1 为0.18。

(2) C_2 的确定。 C_2 为冠盖次因子。冠盖次因子取决于植物冠盖的高度和密度，根据2号试验区的冠盖情况，查图2曲线，得 C_2 为0.90。

(3) C_3 的确定。 C_3 为土壤重新固结的次因子。根据迪斯迈耶 (Dismyer) 和福斯特的研究成果，认为耕作土壤比未耕作土壤侵蚀严重。如图3曲线所示，将耕地休闲一段时间后，土粒重新固结，土壤抗蚀性增强，侵蚀量减小。根据2号试验区的情况，查图3曲线得 C_3 为0.48。

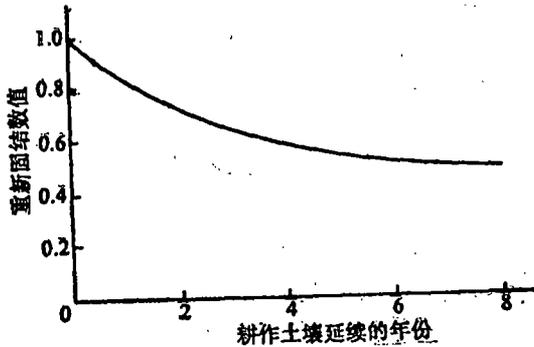


图3 土壤重新固结次因数

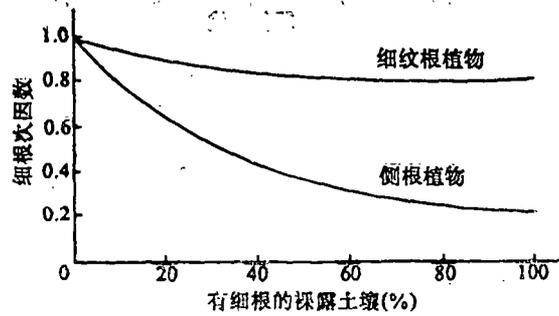


图4 细根次因数

(4) C_4 的确定。 C_4 为高的有机质含量次因子。有机质含量越高， C_4 值越小；反之，有机质含量越低， C_4 值越接近于1.0。在林区，高有机质含量能提高林下土壤的抗侵蚀性。但2号区纯桉林内枯枝落叶少，土壤贫瘠，据测定有机含量为0.76%~1.5%，故 C_4 值几乎等于1.0。

(5) C_5 的确定。 C_5 为细根次因子。稠密的网状细根层，常常存在于森林土壤上部，即使树木被砍伐后，稠密的细根网层仍继续存在，从而保护地表土壤免受侵蚀。根据威斯奇迈尔对于草地细根抗蚀作用的研究成果 (图4)，结合2号试验区的实际情况，查图4曲线得， C_5 为0.81。

(6) 残余物结合作用次因子 C_6 的确定。残余物结合是指土地被开垦以后，原有的植物根系或腐烂物质与土粒结合的作用。开垦利用时间越长，这种结合作用越弱， C_6 次因子值则越接近于1.0；2号试验区已长期被利用，残余结合作用已基本消失，故 C_6 值为1.0。(图5)

(7) C_7 的确定。 C_7 为表土搬移后就地沉积的一个次因子。地表粗糙或障碍物多， C_7 因子弱或接近于1.0。反之则小于1.0。2号试验区为林地，障碍物多，土壤迁移后再堆积的量多，故 C_7 值接近于1.0。根据2号场的情况，参照国外有关研究成果， C_7 值拟取0.8。

(8) C_8 的确定。 C_8 为台阶次因子。迪斯迈耶和福斯特认为地面径流将土壤沉积在凹地中和障碍物的后面，一直到不能储存更多的土壤为止。这些堆积物形成很多的台阶，减小了坡度，并应用一不规则坡度法绘出图6曲线，根据2号试验区土粒迁移堆积的情况，查图6曲线，得 C_8 为0.9。

(9) C_9 的确定。 C_9 为沿等高线耕作的次因子。不沿等高线耕作者， C_9 值为1.0。2号试验区没有等高耕作，故 C_9 取1.0。

(五) P的确定 土壤保持因子P。根据Wischmeier的定义，P值是表示采用某种水土保

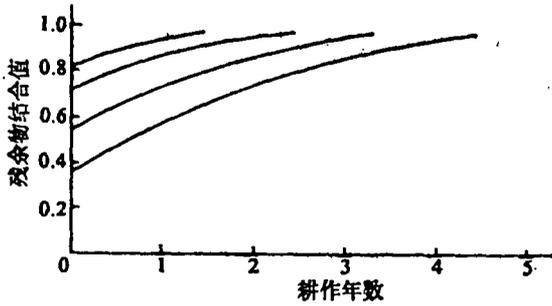


图5 残余物结合次因数

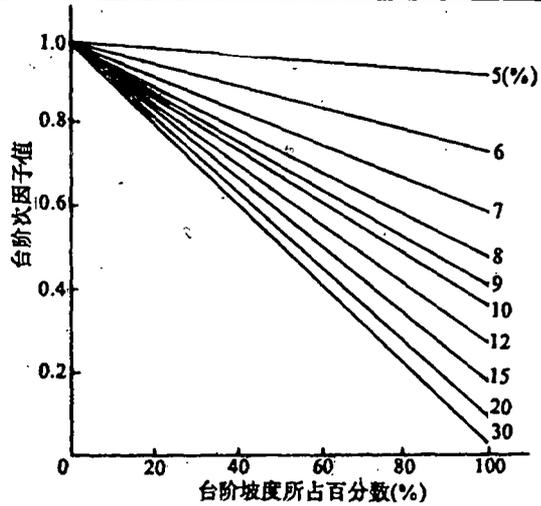


图6 台阶次因数

持措施后的土壤流失量(如:等高耕作,带状种植或修建梯田等)与顺坡耕作流失量的比值。由于2号试验区没有采取水土保持措施,故其比值为1.0。

表16 2号试验区C值次因子计算结果表

$C_{1/2}$	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C
0.18	0.90	0.48	1.0	1.81	1.0	0.80	0.9	1.0	0.45

五、小良水土保持试验站土壤流失经验方程

(一) 经验公式 根据以上对影响水土流失因子的分析结果,应用通用土壤流失方程,得到了适合于小良水土保持试验站的土壤流失经验方程。

2号试验区(光板地)

$$A = 0.000656R_c \cdot R_{月} \tag{24}$$

$$A = 0.000656R_{年} \tag{25}$$

式23中 R_c ——侵蚀性降雨因子修正值; $R_{月}$ ——月侵蚀性降雨因子;

式24中 $R_{年}$ ——年侵蚀性降雨因子; A ——土壤侵蚀量。

3号试验区(纯桉林)

用于计算月土壤侵蚀量经验公式:

$$A = 0.00635R_c \cdot R_{月} \tag{26}$$

用于计算年土壤侵蚀量经验公式:

$$A = 0.00635R_{年} \tag{27}$$

式中符号含义同前。

(二) 对经验式的评价 只有通过对不同处理实测土壤流失量与应用经验公式(式24、25、26、27)求得的理论土壤流失量之间误差的分析,才能评价用回归分析方法建立起来的土壤流失经验方程的可靠性。

1. 不同处理年土壤侵蚀量实测值与理论值比较。

表17 2号试验区土壤侵蚀量测算值和实测值对照表

2号场	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
A算	6.92	12.63	13.33	5.04	6.30	6.16	5.15
A实	9.08	15.37	21.99*	12.26	11.28	4.12	7.74
1-A/A'	0.24	0.18	0.39	0.59	0.44	-0.50	0.35

表18 3号试验区土壤侵蚀量计算值和实测值对照表

3号场	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
A算	67.00	122.26	128.98	48.75	60.94	59.58	49.88
A实	28.97	51.42	97.41*	62.99	70.19	52.34	47.52
1-A'/A'	-1.31	-1.38	-0.32	0.23	0.13	-0.14	-0.05

2. 不同处理土壤侵蚀量比较。 不同处理土壤侵蚀量实测值与理论值比较情况见表19, 表20。

表19 2号试验区土壤侵蚀量实测值与理论值比较表

(t/ha·月)

2号试区	侵蚀量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1983年	A'算	0.23	0.61	2.11	1.08	1.02		0.03	0.38	0.01	0.04		
	A实	0.26	0.51	1.70	0.38	4.07	0.04	0.20	1.39	0.17	0.36		
	1-A'/A	0.12	-0.20	-0.24	-1.84	0.75	1.00	0.85	0.73	0.94	0.89	-1.00	-1.00
1984年	A'算			0.40	0.77	0.90	2.45	0.06	0.72	0.03			
	A实			0.39	0.16	6.29	1.72	3.02	3.27	0.52			
	1-A'/A	-1.00	-1.00	-0.03	-3.81	0.87	-0.42	0.98	0.73	0.94	-1.00	-1.00	-1.00
1985年	A'算			0.06	0.55	1.10	0.08	1.50	0.21	1.77	0.21	1.01	
	A实			0.46	0.92	2.11※	0.58	6.67	3.17	6.52※	1.10※	0.46	
	1-A'/A	-1.00	-1.00	0.87	0.40	0.48	0.86	0.78	0.93	0.73	0.81	-1.20	-1.00
1986年	A'算		0.07	0.03	0.17	0.44	0.37	0.34	0.12	0.18	0.54		
	A实		0.41	0.04	0.32	2.00	2.42	2.51	1.06	0.93	2.57		
	1-A'/A	-1.00	0.82	0.25	0.47	0.78	0.84	0.86	0.87	0.81	0.80	-1.00	-1.00
1987年	A'算		0.15	0.55	0.01	0.60	0.70	0.28	0.35	0.15	0.05	0.07	
	A实		0.20	1.01	0.21	1.68	3.68	1.63	1.97	0.70	0.12	0.08	
	1-A'/A	-1.00	0.25	0.45	0.95	0.96	0.98	0.83	0.82	0.78	0.58	0.13	-1.00

续表19 2号试验区土壤侵蚀量实测值与理论值比较表 (t/ha·月)

1988年	A'算	0.01			0.18	1.27	0.14	0.06	0.60	0.12	0.03	0.31	
	A实	0.02		0.02	0.18	1.79	0.50	0.13	0.80	0.20	0.26	0.17	0.06
	1-A'/A	0.5	-1.00	1.00	0.01	0.29	0.72	0.54	0.25	0.40	0.88	-0.82	1.00
1989年	A'算			0.37	0.27	0.55	0.07	0.29	0.66	0.37			
	A实	0.08		0.51	0.55	1.59	0.45	1.56	1.36	1.55	0.08	0.01	
	1-A'/A	1.00	-1.00	0.27	0.51	0.65	0.84	0.81	0.51	0.76	1.00	1.00	-1.00

表20 3号试验区土壤侵蚀量实测值与理论值比较表 (t/ha·月)

3号试区	侵蚀量	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1983年	A'算	2.51	5.61	11.86	10.34	14.43		0.30	3.54	0.05	0.39		
	A实	1.14	3.61	5.57	2.18	5.50	0.39	1.49	6.66	1.21	1.22		
	1-A'/A	-1.20	-0.55	-1.13	-3.74	-1.62	1.00	0.80	0.47	0.96	0.68	-1.00	-1.00
1984年	A'算			3.76	7.36	13.9	28.37	0.16	6.74	0.36			
	A实			2.69	4.61	7.80	12.25	12.26	8.94	2.20			
	1-A'/A	-1.00	-1.00	-0.40	-0.60	-0.78	-1.32	0.94	0.25	0.84	-1.00	-1.00	-1.00
1985年	A'算		0.59	3.12	10.54	1.19	17.38	2.45	16.48	2.75	11.03		
	A实		3.18	3.00	10.23*	4.37	29.08*	6.30	28.53*	6.40	6.32		
	1-A'/A	-1.00	0.82	-0.40	-0.02	0.73	0.40	0.61	0.36	0.57	-0.74	-1.00	-1.00
1986年	A'算		0.64	0.17	1.64	6.22	4.24	4.04	1.09	2.31	5.87		
	A实		0.14	0.17	1.67	5.75	13.38	11.96	12.10	5.88	11.12		
	1-A'/A	-1.00	-3.56	0.01	0.02	-0.08	0.68	0.66	0.91	0.61	0.47	-1.00	-1.00
1987年	A'算		1.36	3.09		8.59	8.13	3.34	3.23	1.91	0.43		
	A实		1.29	4.32		13.08	21.83	10.34	10.47	6.22	1.40	0.29	
	1-A'/A	-1.00	-0.06	0.29	-1.00	0.34	0.63	0.68	0.69	0.69	0.69	1.00	-1.00
1988年	A'算	0.08			1.69	18.48	1.63	0.73	5.58	1.62	0.36	2.41	
	A实	0.02			1.38	14.73	4.46	2.67	14.56	4.06	0.96	8.81	
	1-A'/A	-3.00	-1.00	-1.00	-0.22	-0.25	0.64	0.73	0.62	0.60	0.62	0.73	-1.00
1989年	A'算			2.08	2.55	7.86	0.76	3.38	6.12	4.75			
	A实			0.30	3.94	14.44	3.29	9.94	6.56	8.42			
	1-A'/A	-1.00	-1.00	-5.94	0.35	0.46	0.81	0.66	0.07	0.44	-1.00	-1.00	-1.00

为了深入研究水土流失规律,在充分分析小良水土保持试验站不同处理所取得的有关土壤侵蚀的原始资料的基础上,作者根据小良站观测到的降雨形式,对降雨侵蚀能力因子(Rc)作了必要的修正(见表21),并绘制出土壤侵蚀量与侵蚀性降雨因子之间的回归曲线(图7、图8)。

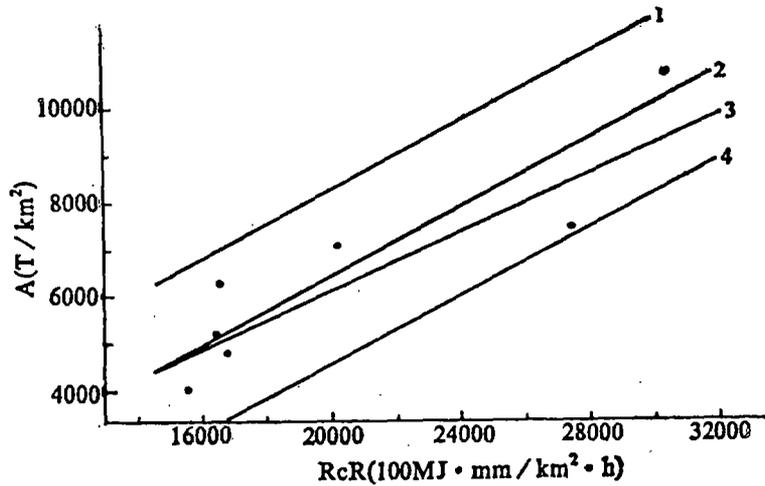


图 7 小良水土保持试验站通用土壤流失方程 (USLE) 应用成果, 回归成果, 实测成果比较图

- 1. $A_1' = 0.00334R + 1428$
- 2. $A' = 0.00334R - 392$
- 3. $A' = 0.00305R$
- 4. $A_2' = 0.00334R - 2212$

说明: 图中·为实测点据;

$A' = 0.00334R - 392$ 为修正的回归方程, A_1' , A_2' 为其误差区间;

$A = 0.00305R$ 为修正的通用土壤流失方程。

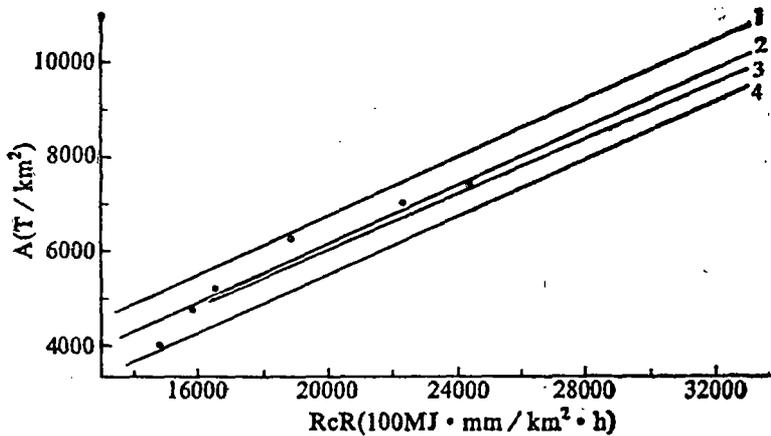


图 8 小良水土保持试验站修正土壤流失方程 (USLE) 应用成果, 回归成果, 实测成果比较图

- 1. $A_1' = 0.0031R_c \cdot R + 570$
- 2. $A' = 0.0031R_c \cdot R - 80$
- 3. $A = 0.00305R_c \cdot R$
- 4. $A_2' = 0.0031R_c \cdot R - 73$

说明: 图中·为实测点据;

$A' = 0.0031R_c \cdot R - 80$ 为相关方程, A_1' , A_2' 为其误差区间

$A = 0.00305R_c \cdot R$ 为通用土壤流失方程式。

雨型修正系数是由降雨形式对土壤侵蚀量影响大小来确定的。通过对从1983年至1989年之间引起土壤侵蚀的81次典型降雨情况的原始记录分析, 发现小良站的降雨形式大致可以分为三种情况。(1) 突发性降雨。这种降雨形式历时短, 雨强大, 平均雨强超过10mm/h, 可谓急风暴雨; (2) 峰值型降雨。这种形式的降雨历时较长, 一般在数小时, 雨强较小, 一般小于10mm

表21 小良站降雨侵蚀力雨型修正 (R_c) 系数表

年 代	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
R_c	0.95	0.88	1.15	1.13	1.12	0.94	1.00

/h, 同时形成降雨峰值, 40%以上的雨量集中在峰期; (3) 均匀型降雨。这种形式的降雨历时长、雨强小, 无明显的峰值, 可谓和风细雨。这3种形式降雨对土壤侵蚀量影响大小次序为: 突发性降雨 > 峰值型降雨 > 均匀型降雨。

不同处理修正后的土壤流失经验方程式如下:

$$2 \text{号试验区 (纯桉林)} \quad A = 0.000762R_cR \quad (28)$$

$$3 \text{号试验区 (光板地)} \quad A = 0.00305R_cR \quad (29)$$

用修正后的经验公式计算不同处理土壤流失量与实测值的比较结果见表22。

表22 应用修正后的经验公式计算不同处理土壤流失量与实测值比较表 (t/ha²·a)

流 失 量		1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	平均	备 注
2号试验区	实测(A)	977	2 130	2 515	1 211	1 179	451	1 256	1 388	$A' = 0.000762R_cR$ 或 $A' = 0.00038R$ 平均误差取其方差 $\delta = \frac{\sqrt{(A - A')^2}}{n - 1} / A$
	计算(A')	1088	1 804	2 641	1 435	1 747	616	740	1 434	
	误差 (%) ($\frac{A - A'}{A}$)	-11.4	15.3	-5.0	-18.5	-48.2	36.6	41.0	26.3	
3号试验区	实测(A)	3 984	7 406	10 666	5 281	7 022	4 780	5 153	6 470	$A' = 0.00305R_cR$
	计算(A')	4 505	7 385	10 694	5 745	6 917	4 821	5 042	6 444	
	误差 (%) ($\frac{A - A'}{A}$)	-13.1	0.3	-0.3	8.5	1.5	-0.9	2	4.8	

六、结果和讨论

(一) 结 果 在充分研究分析不同处理原始资料的基础上, 建立修正型土壤流失经验公式, 其计算结果更接近于实际观测值, 使土壤流失预测值与实测值的关系更为密切。从表22中可以看出, 3号试区土壤流失预测值与实测值的相关系数可达0.99, 2号试区的相关系数为0.87, 均为极显著相关。换言之, 在95%的置信度下, 其预测误差区间分别为 $\pm 648\text{t}/\text{km}^2$ 和 $\pm 692\text{t}/\text{km}^2$ 。也就是说, 用上述经验式预测年土壤流失量时, 其误差可控制在 $648\sim 692\text{t}/\text{km}^2$ 以下, 具有相当高的准确度。由此可见, 用小区试验方法研究通用土壤流失方程 (USLE), 在我国热带、亚热带地区的适用性是可行的。小良站的资料在热带北缘和亚热带南缘有一定的代表性。

(二) 讨 论 1. 关于K值的修正。如前所述, K值是根据诺谟图计算出来的, 并结合土壤特性和气温的月校正值进行修正。在实际应用中, 发现在雨季时, K值偏小。因而, 有的学者

认为，修正K值时，光考虑气温的月变化特性是不全面的。他们认为K值的计算应以土壤的其它理化状为依据，并结合土壤含水量和气候情况进行综合分析。目前，仍采用小区试验资料进行数学处理以后求得。

2. 关于C值的修正。由一系列数学计算结果得到2号试验区（纯桉林）的C值为0.45；3号试验区（光板地）的C值为0.15。说明就土壤管理这个因素而言，光板地的水土流失比纯桉林要严重。C值的修正受多方面因素的影响，但主导因素是地面覆盖情况。地面覆盖情况好，C的修正值小；反之则大。目前修正C值常借用维希迈耶（Wischmeier）曲线等。借用的依据是：C值的研究对象与被借用的曲线的试验边界条件相似或基本一致。

3. 关于本文总结的土壤侵蚀经验公式的适应范围问题。通过对小良水土保持试验站不同处理所获得的有关土壤侵蚀的大量原始资料的数学处理，得到了土壤侵蚀量与侵蚀性降雨因子之间的回归方程式。

(1) 纯桉林： $A = 0.000762R_cR$ ； (2) 光板地： $A = 0.00305R_cR$ （式中符号意义同前）。

从上述两式可以明显地看出，在相同的侵蚀性降雨因子的影响下，光板地的土壤流失量比有覆盖的纯林桉高5~10倍。

小良水土保持试验站属热带北缘，成土母质为花岗岩红色风化壳。由于历史上水土流失严重，表土层已不复存在，大部分地方砂土层裸露。这种情况在我国南方花岗岩风化区具有一定的代表性。例如福建安溪水保站的研究成果表明，在许多方面与小良站有相似之处。

总之，定量地研究通用土壤流失方程中影响水土流失的各个因子是件非常复杂的工作。本文通过对小良站数十年积累的试验资料的处理，应用微机技术，在建立数据库的基础上，对当地的水土流失规律作了深入的探讨。并研制出适合我国国情的水土保持试验资料分析系统。在计算机屏幕上实行了图表化，显示出微机技术在研究水土流失规律方面的广阔前景。研究水土流失规律是为了更好地贯彻中央有关水土保持的方针，为水土流失地区搞好土壤流失的预测预报工作，如气象部门那样，为各地政府和人民提供优质服务。

参 考 文 献

- [1] 美国土壤保持协会。《土壤侵蚀预报与控制》。北京：农业出版社，1981年
- [2] 辛树帜，蒋德麒。《中国水土保持概论》。北京：农业出版社，1982年
- [3] H·N马卡韦耶夫P·恰C洛夫。《侵蚀过程》。中国水土保持编辑部，1985年
- [4] 王礼先。“侵蚀指数微分计算法”。《中国水土保持》，1987年