

区域性土壤流失预测方程的初步研究

杨 艳 生

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

应用我国南方花岗岩侵蚀红壤区的径流小区观测资料,采用数值分析方法推导出适合花岗岩侵蚀红壤区,计算各次降雨时土壤流失量和年土壤流失量方程: $A_t = i \cdot y_t \cdot K \cdot LS$; 并利用野外调查量测资料,推导出适合长江三峡低中山区的土壤流失方程:

$$A_t = (152.5D - 1016.4) \cdot R \cdot LS \cdot C^{-2.3}$$

利用上述方程可以预测特定区域的土壤流失量。

我国水土流失面积约150万平方公里,平均每年流失土壤达50亿吨,长江流域及珠江流域的土壤流失量占25亿吨。全世界15亿公顷的耕地中,每年被完全毁坏的农业用地500—700万公顷。 $\frac{1}{4} - \frac{1}{3}$ 的耕地表层受到严重侵蚀^[1,2]。严重的水土流失引起了世界各国的关注并积极开展这方面的研究工作。美国从本世纪40年代起,对土壤流失方程进行研究,先后提出了不同流失方程模式,并不断的进行改进。1961年魏斯曼发表了美国通用土壤流失方程,并于1963年得到了美国土壤保持局的确认^[3]。该方程适用于美国农地的土壤流失量预测。方程的推导,采用一系列试验小区的观测资料,花费了大量财力和时间。照此要求,建立土壤流失方程,就我国现有条件还无力顾及。因此,必需从实际出发,利用已有的试验小区资料和调查材料,以推导出我国实用的土壤流失方程。本文阐述以花岗岩为母质的赣南侵蚀红壤区及长江三峡区的土壤流失预测方程及其推导。

一、流失方程推导中考虑的基本流失因子

在美国流失方程中,考虑了五项基本因子,即降雨因子(R),土壤可蚀性因子(K),地形因子(LS),作物因子(C)和保土措施因子(P)^[4]。我国南方流失区,主要是山丘坡面流失,非农地的流失和危害大于农区。在一些坡耕地广布的地区,如果从大范围看,例如 $\frac{1}{20万}$ 的比例尺图件,图上1平方厘米即为4平方公里,在几个平方厘米内,仍然是非农地占主要。所以考虑基本流失因子时分两种情况:一是较小范围区,如一个县至数县,或降雨特性变化不大的地区,可将降雨因子视为恒定因子;土壤类型或类型组合也变化不大,土壤可蚀性的变化,常同土壤结构或土壤有机质含量关系较大,而土壤有机质又与地面植被覆盖度密切相关,所以就将植被因子包括在土壤可蚀性因子内,或称它是土壤植被因子,它表示当植被覆盖度不同时,土壤可蚀性因子值也不同;地形因子暂沿用公式

$$LS = (3.281)^{0.3} (0.0076 + 0.0053S + 0.00076S^2)$$

进行计算^[4,5]。二是较大范围区,则考虑降雨因子,土壤可蚀性因子,植被因子和地形因子。其中降雨因子采用魏斯曼经验公式^[3]

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \times \log(P_i^2/P) - 0.8188)}$$

进行计算;土壤可蚀性因子则考虑土壤中粉砂和很细砂颗粒含量的数值和土壤中的有机质含量多少。当土壤颗粒组成相同时,K值随有机质增加而减小。地形因子用径流小区资料导出的公式计算。植被因子,一是考虑到植被覆盖度,二是考虑到坡面上坡耕地、梯地所占的比例,三是考虑到农地上作物生长的好坏。

基于上述因子的考虑,并力图推导出适合于小范围应用(大比例尺调查制图)和较大范围应用(即适用以中小比例尺调查制图)的两类土壤流失方程。

二、流失方程产生的地域条件及导出过程

流失方程的导出是以一定地区的试验观测和调查资料为数值依据的,从流失方程产生的地域条件,可以推知所得方程的适用范围。

(一) 第一类方程是以江西赣南丘陵山区为地域范围进行推导的。

该区水土流失严重,尤其靠近居民区、农区流失更为严重,其水土流失状况在我国南方有代表性。在南方流失最严重区域发生在花岗岩母质土壤上,所以就选取了赣南宁都县水土保持站为试验点,并以该站设置的径流小区观测资料,作为流失方程推导的数值依据。该站属中亚热带低山丘陵区,土壤为花岗岩母质发育的红壤,流失量大,危害严重。当地气候温和,年雨量约 1500 毫米。该站设置了数个地表径流观测小区作长期定位观测。各观测小区都安置在自然坡面上。如一号小区,坡度 15°,坡长 20 米,小区宽 5 米,整个小区面积为 100 平方米,植被覆盖度为 10%,土壤为花岗岩风化物 and 松散白沙土,大于 1 毫米的土粒含量达 50% 以上。其余各小区、坡度植被等条件不同。各小区对全年各次降雨均作详细记载。根据所得资料进行方程推导的主要过程如下:

1. 从观测资料中选取 10 个项目:最近 5 天的降雨量、最近一次降雨量、当次降雨量、降雨强度、径流深度、径流系数、悬移质、推移质、(悬移质+推移质)/径流深和悬移质+推移质,作主成份分析,得出反映降雨和径流容量因子和强度因子的降雨量、降雨强度、径流深和径流系数四项为主要因子,并集中了全部信息量的 $\frac{2}{3}$,而且可以看出,这四项因子同流失量(悬移质+推移质量)相关显著^[6],因此就可以利用这些因子进行回归分析。

2. 以上述四项因子为自变量,以流失量为因变量,在电子计算机上作逐步回归分析,得出如下回归方程^[7]:

$$y = 5.459 - 0.472x_1 + 0.128x_2 + 1.715x_3 - 14.041x_4$$

其中 y 为坡面流失量, x_1 — x_4 分别为降雨量、降雨强度、径流深度和径流系数。利用这一方程可以预测在一定降雨条件下产生的坡面流失量。

3. 上述方程是利用实测数据求出的,在条件差的人工露天操作的情况下,获得的实测

数据的可靠性必须进行检验,如果实测数据不可靠,得出的回归方程就失去实际意义。但是每次降雨产生的真实流失量值是不可知的,因此,应用传统方法检验实测值的可靠性成为不可能,因此,就选用了模糊数学中模糊数和贴近度的概念用以作实测值的效果评分^[8]。结果表明实测流失量值得分 70 以上者占全部观测数据的 75%。实测值同预测值有半数以上相对误差小于 $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ 以上数据的相对误差小于 $\frac{1}{2}$ 。所以认为所得结果是基本满意的。

4. 由于观测小区的坡度为 15° , 坡长 20 米, 计算得 $LS = 2.487$, 土壤可蚀性因子值为 0.1, 所以推出的土壤流失方程为^[10]:

$$A = 4 \cdot y \cdot K \cdot LS$$

式中: A 为坡面流失量(吨/年·平方公里); y 为前述回归方程, 利用其四项降雨、径流因子算出具体数值; K 为土壤可蚀性因子; LS 为地形因子。利用这一方程算得的径流小区的年流失量为 2263.8 吨/年·平方公里, 恰与实测量相同^[9]。当坡面坡度为 25° , 坡长为 50 米, K 值为 0.18 时, 算得的年流失量为 10506.9 吨/平方公里, 与实际观测情况大致相符。

(二) 第二类方程是以长江三峡地区, 即川东鄂西交界区, 包括涪陵、万县地区和湖北巴东等县为推导的地域范围。

该地区属中亚热带湿润季风气候类型, 地形为低中山区, 年雨量为 1000—1500 毫米。但由于地形复杂多变, 气候立体变化明显。地形特点是山高、坡陡、谷窄, 水土流失也十分严重。其中紫色砂页岩分布范围广, 以此为母岩的土壤农用面积大, 土壤坡面流失量也最大。所以就以紫色砂页岩区, 作为建立适用以较大范围的流失方程, 进行资料调查的重点地域。调查点以一个水库及其流域为单元, 在万县地区的开县共调查了淤积 6 至 25 年的十多个水库淤积量, 以这些资料作为方程推导的数值依据。调查水库的集流面积, 最小为 0.12 平方公里, 最大为 22.9 平方公里。各调查点的侵蚀土壤类型、植被覆盖等条件各异, 大致代表了三峡区的流失面貌。各水库量测出的年平均侵蚀模数最大为 4741 吨/平方公里, 最小为 1784 吨/平方公里, 平均流失量为 3548 吨/平方公里。以此区域的流失状况作为土壤流失预测方程导出的标准区域, 并以此区域各项流失因子作为导出方程的基准条件。

流失方程的基本形式仍然是: $A = R \cdot K \cdot LS \cdot P$ 。对于标准流失区, 各流失因子可定为 1, 这时该区流失方程的形式就带上一常数项, 变为: $A = G(R \cdot K \cdot LS \cdot P)$, 在此 $G = 3548$ 。若将标准区各流失因子的求取代入上方程, 就会得到流失方程的具体形式。标准区各项流失因子代入方程后, 方程的实际形式又会有一定改变。对标准区各流失因子的基准条件是:

(1) 降雨因子 R , 按前述魏斯曼公式计算。据当地 25 年的雨量资料, 求得平均 R 值为 290。

(2) 土壤可蚀性因子 K , 主要取决于土壤粉砂、很细砂颗粒及有机质的含量。计算公式可写成 $K = (0.0075D - 0.05)(1.4 - 0.28Om)$, 其中 D 为土壤 0.002—0.10 毫米颗粒含量百分数, Om 为土壤有机质含量百分数, 当含量在 1.5—3.5% 时适用, 当有机质

<1.5 时, $(1.4-0.28Om)$ 项取 1, 当有机质 >3.5 时, 该项取 0.4。对于标准区, 土壤粉砂及很细砂的含量约 50%, 土壤有机质小于 1.5%, 故 $K = 0.325$ 。

(3) 地形因子 LS , 主要考虑坡度和坡长, 利用调查区设置在不同坡度上径流小区的观测资料, 并作数值分析处理后, 得出 LS 的计算公式:

$$LS = 0.0023 \times 1.1^a \times h(1 - \cos a) / \sin a$$

式中 a 为地面平均坡度, h 为相对高度(米)。对于标准区 $a = 20^\circ$, $h = 400$ 米, 计算得 $LS = 3.67$,

(4) 植被因子 P , 是根据其它侵蚀因子组合大致相同的条件下, 植被因子的变化对土壤流失的影响不同得出: $P = 18982.63C^{-2.3}$ 。对于标准区植被覆盖率 $C = 50(\%)$, 所以 $P = 2.35$ 。此外, 考虑到不同地区, 山丘坡面耕地多少及作物生长的好坏, 应将按上述公式计算出的植被因子值加以调整。一般坡耕地流失量较自然坡面大; 坡面梯田(田)较自然坡面流失小; 作物生长好的耕地比作物生长差的流失小, 所以植被因子值也需作相应的调整。耕地面积不同时的修正系数如表 1; 不同作物生长状况下供选取的植被度范围如表 2。此资料均由野外观测对比得到。当用上述公式计算坡耕地的植被因子值时, 就需要用 α 值加以修正。

表 1 坡面上不同坡耕地面积比例所取的修正系数

Table 1 Revised coefficient of vegetation factor value on the slopes with different area of arable land

耕地类型和占坡面面积比例 Types and percent of arable land to the total area	全坡面为坡耕地 Arable land on the whole slope	半坡面为坡耕地或全坡式耕地 Half of slope being arable or whole slope being terraced	1/2—2/3 为梯田 1/2—2/3 slope being terraced	1/2 为梯田 1/2 slope being terraced
修正系数 α Revised coefficient	1.33	1.15	0.67	0.75

表 2 不同作物生长状况下所取的植被度范围

Table 2 Vegetation coverage under different growing condition of crops

植被度(%) Coverage (%)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
作物生长状况 Growing situations	作物生长差, 有丢荒现象 Crops growing very bad or land is bare				作物生长正常 Crops growing normally					作物生长好, 复种指数高 Crops growing well and multiple crop index is high				

将上列标准区各流失因子值代入方程整理后得到:

$$A = 0.8351 \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot C^{-2.3}$$

用此方程算出标准区的流失量为 3545 (吨/年·平方公里)。

三、两类预测方程的适用条件

根据前面讨论, 可将四个主要方程列出:

$$y_i = (5.459 - 0.472x_{i1} + 0.128x_{i2} + 1.715x_{i3} + 14.041x_{i4}) \times 10^4 \quad (1)$$

$$A_1 = 4 \cdot y_i \cdot K \cdot LS \quad (2)$$

$$A_{1.} = 9056 \cdot K \cdot LS \quad (3)$$

$$A_2 = 0.8351 \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot C^{-2.3} \quad (4)$$

1. 方程(1)是计算各次降雨时,在标准小区 100 平方米坡面上产生的流失量,其中的 i 表示第 i 次降雨,全年各次降雨产生的土壤流失量相加,即得全年流失量,再换算成全年每平方公里的流失量。所以 y_i 的单位为吨/平方公里。对标准径流小区而言,全年的流失量为 2264 吨/平方公里。

2. 对试验区的邻近坡面流失量可按方程(2)进行计算,其中的

$$y = \sum_i y_i,$$

为全年各次降雨产生流失量总和。利用方程(2)可以计算距试验区较远区域的坡面流失量。对距试验区较近区域,由于降雨量和降雨特点与试验区相同,所以可将 y 作为定值,方程(2)就简化成方程(3)。方程中的 K 亦可根据 $K = 0.0075x - 0.05$ 式进行计算,但应根据有机质多少加以校正。同时,由于花岗岩母质发育的侵蚀土壤,小于 0.1 毫米粒径的土粒含量低,因此规定当 0.002—0.10 毫米粒径的土粒含量小于 20% 时, x 以 20% 或 K 值以 0.10 值处理。当然 K 值还可以用其他方法求出。

3. 方程(2)、方程(3)只适用以不包括农地的自然坡面土壤流失量预测,若坡面有农地分布时,农地的流失量应另行估算。

4. 方程(2)同方程(4)在预测结果上是一致的,只是它们推导的资料依据不同和获得资料的地域范围不同。方程(4)出自更广的地域,所以它可将方程(2)归纳在内。在方程(4)中的植被因子是由植被度(C)推出,在推导中植被度有一定数值范围,即最低限约 30%,所以在应用时,如果植被度小于 25%,则 C 值仍以 25 处理,否则无限外推会得出错误结果。

有了上述的一些规定和说明,就可以利用方程(2)作每次降雨时坡面土壤流失量预测,或用方程(3)作全年坡面土壤流失量预测。如果将方程(2)、(3)中的 K 因子,转换成方程(4)中的 x 、 C 参数,则也可以用方程(4)代替方程(3)作全年坡面流失量预测。如江西宁都县,其降雨因子 R 取 270,当坡面坡长为 20 米,坡度 15° (计算出 $LS=2.487$), $K=0.1$ (相当于 $x=20\%$), 植被度小于 25%。在这些条件下,用方程(3)算出的坡面流失量为 2252 (吨/年·平方公里); 而用方程(4)算出的流失量为 2264, 可见两值是非常接近的。但应用时仍须注意它们的地区性,它们能否适用以更广的区域,还有待今后的检验和修正。

预测方程建立以后,就可以用它来预测一定条件下的土壤流失量。如三峡区各个流失片区根据土壤流失图量算的流失量与用方程预测流失量是基本一致的(表 3)。因此它能为水利、水保工程的建设提供基本资料; 另外它还还为不同水保措施提供效益预测。如当土壤中粉粒及很细砂粒含量为 50%, $R=300$, 坡长 400 米、坡度 20 度, 植被度从 30% 增加到 50%, 用预测方程计算土壤坡面流失量,大约可减少 $\frac{2}{3}$ 。可见植树种草、提高地面覆盖率有很好的保土效果; 再如,当坡度为 40° 时,采用修筑拦山堰或水平沟,使坡

表 3 量算流失量与方程计算的流失量

Table 3 Soil loss amounts by actual measure and calculation

片名 Location	量算的流失量 Soilloss by actual measure	方程计算流失量 Soilloss by calculation from production equation
垫江片	2073	2066
丰都沿江片	4185	4240
石柱龙潭片	2684	2289
开县片	3734	3540
巫溪大昌片	4079	3151
巫山片	2118	2188
花岗岩区片	4012	3766
宜昌片	1488	1006
龙角片	2496	2671
云阳奉节片	4074	3889

长从 90 米缩短至 40 米,坡面流失量要比原来减少近 $\frac{1}{2}$, 亦可见工程措施的保土效果。

上述方程的适用条件是: 对方程 (2)、(3) 适用于江西赣南花岗岩低山丘陵区, 以及年降雨量 1200—1500 毫米左右, 夏秋季多暴雨的华东、华南花岗岩流失区。该区以土壤风化层厚、土壤颗粒粗、土壤有机质含量相差悬殊和土壤风化物的胶粘紧实状况差异大特点, 所以土壤可蚀性因子同土壤颗粒粗细、有机质含量多少及表层土壤的紧实状况关系密切。当土壤粉砂质含量高, 有机质含量低, 胶结状况差时, 可蚀性因子值可达 0.3, 甚至更大, 当土壤中的粘粒和有机质含量高时, 可蚀性因子值可达 0.05, 甚至更小。方程 (4) 适用于长江三峡低中山区, 那里以山高、坡陡、谷窄、土薄、露岩面积较大为特征, 而且坡耕地有广泛的分布。所以坡面上植被度、露岩面积大小, 耕地面积比例, 土壤质地和有机质含量都是影响流失量的重要因素。

四、小 结

1. 适合于我国南方花岗岩侵蚀红壤区, 预测坡面土壤流失量的方程是

$$A_1 = 4 \cdot y_i \cdot K \cdot LS,$$

它可以预测各次降雨时产生的土壤流失量, 全年各次流失量累加即为年流失量。

2. 适合于长江三峡低中山区的流失预测方程是

$$A_2 = (152.5D - 1016.4) \cdot R \cdot LS \cdot C^{-2.5}$$

它可以预测该区及类似区域的每年土壤流失量。

3. 在一定条件下, 第二类方程可代替第一类方程的计算, 并得出相近结果, 说明通过应用中的检验和改进, 应用范围将扩大, 应用效果将会进一步提高。

参 考 文 献

- [1] 雨普, 1982.7.8: 水土流失与水土保持, 人民日报二版。
- [2] 徐宝康, 1982.8.13: 怎忍沃土付东流, 人民日报七版。

- [3] 陕西省农林科学院主编, 1981: 土地资源利用讲义, 联合国粮农组织专家组讲授教材, 农业部土地资源利用培训班。
- [4] 史德明, 1981: 美国土壤流失预报方程介绍。辽宁水土保持, 第1期。
- [5] 杨艳生等 1982: 关于土壤流失方程中K因子的探讨。中国水土保持, 第4期。
- [6] 杨艳生等, 1984: 降雨、径流因子的初步研究 (I)。水土保持通报, 第6期。
- [7] 杨艳生等, 1985: 降雨、径流因子的初步研究 (II)。水土保持通报, 第3期。
- [8] 杨艳生等, 1985: 降雨、径流因子的初步研究 (III)。水土保持通报, 第4期。
- [9] 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编, 1987: 长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集。科学出版社, 498—521页。
- [10] Yang Yansheng, 1986: Prediction of Erosion Losses of Red Earths Derived from Granite. Current Progress in Soil Research in China, p. 633—635.

A PRELIMINARY STUDY ON THE REGIONAL PREDICTION EQUATION OF SOIL LOSSES

Yang Yansheng

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

Summary

A predicting equation for soil loss is derived by means of numerical analysis of the data from the experimental plots on eroded red earth developed on granite in South China. The equation is

$$A_1 = 4 \cdot y \cdot K \cdot LS$$

where A_1 is amount of soil losses,

$$y = 5.459 - 0.472x_1 + 0.128x_2 + 1.715x_3 - 14.041x_4,$$

x_1 to x_4 refer to rainfall, rainfall intensity, volume of runoff and runoff coefficient respectively; K is erodibility and LS gradient-length of slope. This equation could be used for predicting the amount of soil losses in granite region of South China. Another predicting equation derived through soil erosion investigation and reservoir sediment measurement in the region of the Yangtze Gorges is

$$A_2 = 0.8351 \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot C^{-2.5},$$

where A_2 is soil losses, R and C are rainfall factor and coverage of vegetation respectively, K and LS are the same as mentioned above. By using this equation, the soil losses of the region of Yangtze Gorges could be calculated.