20 卷 3期 284~ 289 页
2002 年 6 月
山 地 学 报
JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE
Vol. 20, No. 3 pp 284~ 289
Jun., 2002
文章编号: 1008- 2786(2002)03- 0284- 06

# 中国水土流失土壤因子数学模型

张爱国, 李锐, 杨勤科
(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过对现有水土流失土壤指标的分析、筛选, 确定一建模函数的主要变量, 提出了“土壤指数”的概念并把其用作模型因变量; 通过侵蚀过程分析和数理推导确定了模型的基本形式; 用模型变量的野外和室内实测数据对概念模型进行了参数拟合, 初步建立了我国水蚀区水土流失土壤因子数学模型Ⅰ和模型Ⅱ; 进而对模型的应用问题进行了讨论。

关键词: 水土流失; 土壤因子; 数学模型
中图分类号: S157 文献标识码: A

## 1 引言

对于宏观区域尺度的水土流失土壤因子定量研究而言, 虽然可以利用定位观测法测试区域内若干典型样地, 但因区域面积大、测点太多而不现实, 所以一般是通过建立土壤因子定量模型来进行评价和趋势预测[1]。国内外已先后开发出包括统计模型和过程模型在内的十几个水蚀土壤因子模型[2~15], 但这些模型都不是十分理想, 美国学者建立的土壤 $K$ 因子模型及其修正模型[2,3]皆属统计模型, 相对缺乏水蚀土壤过程的机理考察, 同时模型中考虑的土壤属性偏少, 像土壤容重、含水量等极重要的因素也无考虑; 随后国外侧重于土壤水蚀过程模型的开发, 但已开发的几个过程模型(如 LISEM 和 WEPP 中的土壤因子模型)皆不够成熟[4,5], 也不便应用, 至少目前在国内尚未见到应用的文献报道; 国内建立的区域性水蚀土壤模型都是统计模型, 一方面对美国土壤 $K$ 因子模型通过修正后加以应用[9~13], 同时也建立了几个区域性抗蚀性和抗冲性统计模型[6,11,15], 但目前还没有开发出一个区域性过程模型, 也未能建立一个全国性的土壤因子统计模型。总体上说, 美国土壤 $K$ 因子模型在我国应用的较多, 但目前国内普通存在着机械套用 $K$ 因子模型外表形式的弊端, 另外, 应用 $K$ 因子模型几乎都是在非黄土高原区, 这些区域的土壤 $K$ 因子值与黄土高原地区研究较多的抗冲性和抗蚀性数值之间难以建立数据转换关系, 所以不便于区域之间的土壤可蚀性对比, 所以有必要采用统一的土壤指标建立一个全国性的水土流失土壤因子数学模型。

## 2 确定模型变量

欲建立全国水土流失土壤因子数学模型, 先要确定模型函数中的因变量和自变量。模型变量是根据各种土壤指标的属性来确定的, 这就必须对国内外现有的水蚀土壤指标及其属性进行分析。对于目前现有众多的区域水蚀土壤因子评价指标[19~22], 可概述为三个层次的指标系统——微观的属性指标, 中观的指示指标, 宏观的综合指标。

属性指标就是影响水蚀土壤性能的基本理化性状指标。土壤抵抗侵蚀的能力最终取取于土壤自身的理化属性, 目前已确定的反映属性的指标很多, 如粉/粘、容重、比重、孔隙度、水稳性团粒含量、土壤有机质含量、有效根系量、含水量等。属性指标只反映水蚀土壤理化性质的某一特点, 非常单一, 只可能用作模型函数的自变量。

按层次分析的思想, 目前已有的抗剪强度、崩解速率、入渗速率等指标与上述土壤属性有所不同, 这些指标的每一个都可能是若干土壤属性指标的集合, 这些指标能“指示”区域水蚀土壤因子的某一个过程和性能, 我们把这些指标称为土壤水蚀过程和

收稿日期: 2001- 10- 22; 改回日期: 2002- 01- 04。
基金项目: 中国科学院知识创新项目“中国水土流失宏观分析与评价研究”(99- 01- 05)资助。
作者简介: 张爱国(1966- ), 男, 陕西洛南人, 中国科学院水土保持研究所在读博士生, 主要从事水土流失土壤因子和地理信息系统研究。电话: 029- 7010502。

性能的“指示指标”; 指示指标的特点是, 只反映土壤水蚀过程和性能的某一个侧面, 也只可能用作模型函数的自变量。

综合指标是一个最终取决于土壤理化属性、可以体现上壤指示指标协同效应、反映区域土壤可侵蚀性的宏观指标。只有综合指标才能全面地反映出区域水蚀土壤因子的整体性, 所以可用作模型函数的因变量(模型预测目标)。目前反映土壤可侵蚀性的综合指标只有一个 $K$ 因子指标, 但 $K$ 因子指标并不理想, 主要是土壤侵蚀学意义不明[14], 所以有必要确定一个比 K 因子指标更理想的(即土壤侵蚀学意义明确、带量纲单位、且与侵蚀动力因子量纲单位匹配)综合指标作为因变量。为此, 笔者定义作为模型因变量的土壤综合指标为“土壤可侵蚀性指数”($S$), 简称“土壤指数”, 具体是指, 单位时间内(a)、单位面积上($km^2$)的土壤, 由单位体积(1)径流量所产生的推移质和悬移质重量之和(t)。

通过定义土壤综合指标“土壤指数”, 以及对现有的区域水蚀土壤属性指标和指示指标进行分析和筛选, 按层次分析的思想最后确定的两个模型函数及其变量为

$$S = f(B, K_j, r) \tag{1}$$

$$S = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8) \tag{2}$$

式中　$S$ 为土壤指数($t \cdot l^{-1} \cdot a^{-1} \cdot km^{-2}$); $B$ 代表崩解速率($cm^3 \cdot min^{-1}$); $K_j$ 代表抗剪强度($kg \cdot cm^{-2}$); $r$ 代表稳渗速度率($mm \cdot min^{-1}$)。$X$ 代表粉/粘比; $x_2$ 代表容重($g \cdot cm^{-3}$); $x_3$ 代表比重; $x_4$ 代表含水量($g \cdot kg^{-1}$, $x_5$ 代表> 0.25mm 风干土水稳性团粒含量($g \cdot kg^{-1}$); $x_6$ 代表阳离子交换量($cmol \cdot kg^{-1}$); $x_7$ 代表有机质含量($g \cdot kg^{-1}$); $x_8$ 代表有效根系量。

## 3　推导概念模型

概念模型是指包含若干待定参数、具有一定物理意义的模型函数基本形式。以下对(1)式的概念模型进行理论推导。

有关研究表明, 降雨溅蚀过程的结果主要是形成土壤表层的“板结”, 可用土壤稳渗速率的变化反映降雨溅蚀过程对土壤侵蚀量的影响[23]。由于降雨溅蚀时间很短, 假设不考虑降雨溅蚀时间, 用 $T$ 代表径流的面蚀和沟蚀时间, $s$ 代表水蚀面积, $M_1$、$M_2$ 分别代表水蚀过程中的推移质和悬移质重量(不考虑跃移质), 降雨量为 $P$, $T$ 时间内的径流量为 $Q$, 土壤入渗量为 $R$, 土壤蒸发量等为 $Z$。根据土壤指数的定义, 有

$$S = \frac{M_1 + M_2}{Q \cdot T \cdot s} \tag{3}$$

以下对(3)式中的 $M_1$、$M_2$、$Q$ 分别进行推求。

### 3.1　推移质 $M_1$ 的推导

依土壤力学原理可对水蚀过程中的推移质 $M_1$ 进行如下分析:

水体流动, 对地表的推移质土粒产生作用, 如图1所示, 作用于单位土粒上的力既包括水流作用力, 也包括土粒的重力 $G$ 及其分力 $P$ 和 $N$, 其中水流作用力有水流推移力 $F_t$ 和上举力 $F_s$, 而土粒与地面之间不但有摩擦力 $f$, 而且还存在土粒之间的粘结力 $C$(砂性土可认为其粘结力极小, 或接近于0)。

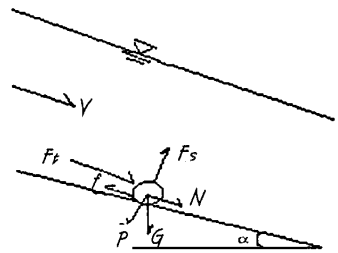


图1　土粒受力示意图

Fig. 1　The sketch map of forces acting the soil grain

设地面上质量为 $M_1$ 的土粒被埋于水体中并被推移, 水流以速度 $V$ 流动, 则该土粒的受力状况为[26]

土粒在水中的重力

$$G = M_1 \cdot g \qquad (\text{土粒的浮力忽略不计})$$

土粒沿坡面或沟道的水平分力

$$N = M_1 \cdot g \cdot \sin\alpha \qquad (\alpha \text{ 为地面坡度})$$

土粒对地面的垂直压力

$$P = M_1 \cdot g \cdot \cos\alpha \qquad (\alpha \text{ 为地面坡度})$$

水流推移力(水流对土粒迎水面的作用力, 是土粒迎水面与背水面的压力差引起的)

$$F_t = \lambda_1 \cdot \frac{M_1 \cdot V^2}{2} \qquad (\lambda_1 \text{ 为推移力系数})$$

根据伯努里定律, 一定厚度水层中的土粒受到的上举力

$$F_s = \lambda \cdot \frac{M_1 \cdot V^2}{2} \qquad (\lambda \text{ 为上举力系数})$$

根据土粒受力平衡原理, 有如下关系式

$$F_t + N = f + C = (P - F_s) \cdot \mathrm{tg}\varphi + C$$

$$\lambda\cdot\frac{M_1\cdot V^2}{2}+M_1\cdot g\cdot\sin\alpha$$

$$=(M_1\cdot g\cdot\cos\alpha-\lambda\cdot\frac{M_1\cdot V^2}{2})\cdot\mathrm{tg}\varphi+C$$

式中 $\mathrm{tg}\varphi$ 为土粒与地面的摩擦系数, $\varphi$ 为摩擦角; $C$ 为土粒之间的粘结力。

根据土壤抗剪强度的定义[21, 21]

$$(M_1\cdot g\cdot\cos\alpha-\lambda\cdot\frac{M_1\cdot V^2}{2})\cdot\mathrm{tg}\varphi+C=K_j\cdot s'\cdot g$$

式中 $K_j$ 为土壤抗剪强度, $s'$ 为土粒迎水面的面积, $g$ 为重力加速度。所以有

$$M_1=\frac{2C}{(\lambda\cdot V^2-2g\cos\alpha)\mathrm{tg}\varphi}-\frac{2gs'\cdot K_j}{(\lambda\cdot V^2-2g\cos\alpha)\mathrm{tg}\varphi}$$

令 $W=\dfrac{2C}{(\lambda\cdot V^2-2g\cos\alpha)\mathrm{tg}\varphi}$

$$x=\frac{2\cdot g\cdot s'}{(\lambda\cdot V^2-2g\cos\alpha)\mathrm{tg}\varphi}$$

$W$, $x$ 均为待定系数, 可得到如下关系式

$$M_1=W-x\cdot K_j \qquad (4)$$

### 3.2 悬移质 $M_2$ 的推导

区域水蚀过程中的悬移质[25]

$$M_2=\beta\cdot B\cdot T_1 \qquad (5)$$

式中 $\beta$ 为土壤容重, $B$ 为土壤的崩解速率, $T_1$ 为水蚀过程中土壤结构体的崩解时间。

### 3.3 径流量 $Q$ 的推导

径流量的大小与土壤入渗量有关, 区域天然条件下的入渗特征之一是不再能保证充分供水[24], 必须对积水型入渗实验数据转换。如果用 $r$ 表示土壤可能稳渗速率, 即稳渗能力, 而用 $r'$ 表示在实际降雨强度 $i$ 条件下的实际稳渗速率, 则当 $i\geqslant r$ 时, $r'=r$; 当 $i<r$ 时, $r'=i$, 可用下列数学关系式表达之

$$r'=\frac{|i+r|-|r-i|}{2}$$

根据水量平衡原理, 径流量

$$Q=P-Z-R=P-Z-(r'\cdot T_2\cdot s)$$

式中 $T_2$ 为土壤的入渗时间, $P$、$Z$、$R$、$r'$ 和 $s$ 的含义前已述及。

若令 $\dfrac{P-Z}{r'\cdot T_2\cdot s}=\lambda+1$

$$f=\frac{i}{r}$$

则有 $Q=P-X-R$

$$=\lambda\cdot r'\cdot T_2\cdot s$$

$$=\frac{\lambda\cdot T_2\cdot s}{2}(|i+r|-|r-i|)$$

$$=\frac{\lambda\cdot T_2\cdot s\cdot r}{2}(|f+r|-|1-f|)$$

$$=\eta\cdot r\cdot T_2\cdot s$$

式中 $\eta=\dfrac{\lambda}{2}(|f+1|-|1-f|)$。

### 3.4 土壤指数的概念模型

把(4)式、(5)式和(6)式代入(3)式, 可得到

$$S=\frac{W-x\cdot K_j+\beta\cdot B\cdot T_1}{\eta\cdot r\cdot T_2\cdot T\cdot s^2}$$

$$S=\frac{W-x\cdot K_j+b\cdot B}{\omega\cdot r} \qquad (7)$$

式中 $b=\beta\cdot T_1$, $\omega=\eta\cdot T_2\cdot T\cdot s^2$; $W$、$x$、$b$、$\omega$ 皆为待定参数。

## 4 参数拟合

从我国水蚀区水蚀土壤因子模型变量 $S$、$K_j$、$B$、$r$ 的实测数据入手, 可对(7)式中的参数 $W$、$x$、$b$、$\omega$ 进行估计, 然后利用 $S$ 和土壤属性指标($x_1$、$x_2$ … $x_8$)的实测数据对(2)式进行模型曲线估计和参数拟合。

2000 年夏季, "全国水土流失土壤因子野外测试小组"对中国水蚀区土壤因子进行了为期 3 个月的野外测试。此次测试是在水力侵蚀区内(黄土高原地区除外, 因为已有该区用相同测试方法和设备获取的大量数据)进行的, 测试范围包括了全国主要土类中的主要亚类分布区, 全国水蚀区内除黄土高原外的 5 个二级水蚀类型分区[26]。宏观测试点 35 个(部位样点 210 个), 选点的主要原则是符合"点面(区域)映射"、"点类(土壤亚类)映射"的全息同构原理, 符合"点控层次分级"的区域结构控制原理: 测试选点能充分反映水土流失的区域性特征, 能充分代表某一土壤亚类特征(此次测试涉及土壤亚类 27 个); 测试选点对于全国水蚀区的总体测试具有第一级宏观控制意义; 残积环境、缓坡部位、未受到较大人为扰动并未受到明显侵蚀的地点, 坡度在 5° 左右的坡耕地。

野外主要测试了土壤指数 $S$、土壤稳渗速率 $r$、土壤崩解速率 $B$、原状土抗剪强度 $K_j$ 等 4 个指标。土壤指数采用原状土径流冲刷人工模拟法分 3 层取样进行测试, 稳渗速率测定采用双环法(2 次重复), 崩解速率的测试采用静水崩解法(3 层取样, 2 次重复), 抗剪强度的测试采用浅层原状土抗剪仪法(3 层取样, 3 次重复)。

在 WINDOWS 2000 操作平台上, 利用 SPSS

(10.0专业版) 统计软件对(7) 式中的参数 $W$、$x$、$b$、$\omega$ 进行了非线性多元逐步回归拟合, 最后建立的土壤指数数学模型Ⅰ是

$$S=\frac{1.57-2.57k_{ij}+3.29B}{r}$$
$$(R^2=0.712,\ a=0.05) \qquad (8)$$

如前所述, 为了分析土壤指数的主要影响因素, 我们选用了土壤的粉/粘、容重、比重、含水量、>0.25mm风干土水稳性团粒含量、阳离子交换量、有机质含量和有效根系量等8个土壤理化属性指标。在这8个指标值中, 容重和含水量的数据在野外用常规烘干法已测出, 其余六个指标值通过对野外采集的原状土样(体积为10cm×15cm×25cm)进行室内理化分析来获得(粉/粘比用吸管法, 比重测定用比重瓶法, >0.25mm 风干土水稳性团粒含量分析用筛分法, 阳离子交换量用醋酸铵法, 有机质含量用重铬酸钾硫酸外加热法, 有效根系量用洗根法获得)。

通过非线性多元逐步回归拟合, 在土壤指数与土壤理化属性指标之间建立的数学关系模型Ⅱ是

$$\begin{aligned}S=&\ 258.8-(18/x_1-84.1x_1-2.6x_1^2)+\\&(32.5x_2-6.2x_2^2)-(2.8x_3-0.9x_3^2)+\\&(2.7/x_4+1.1x_4)+0.56x_5-\\&(341.2x_6+211x_6^2)+17.6x_7-23.7x_8\end{aligned}$$
$$(R^2=0.624,\ \alpha=0.05) \qquad (9)$$

## 5　讨论

全国水蚀区土壤指数的野外实际观测工作量大, 任务繁重, 应用数学模型可以在有限观测数据的基础上模拟出土壤指数, 进而对其宏观分布状况进行分析。模拟计算的预测数据表明, 在全国水蚀区内, 土壤指数有自北向南、自东向西逐渐变小的宏观水平分异趋势; 土壤指数有两个相对低值区(贵州高原和淮北山地)、两个相对高值区(黄土高原和东北黑土区); 兴安-太行-巫山一线是我国土壤指数分布的一条重要分界线, 此线以东, 从东北黑土区向南, 土壤指数逐渐变小, 在江淮流域达最小, 再向南方红壤区又稍趋变大; 在兴安-太行-巫山一线以西, 以黄土高原为高值中心区, 向南(关中、四川和云贵)逐渐变小。应用土壤指数模型Ⅱ还可以对影响土壤指数宏观分布的主导因素进行区域间的分析对比。

土壤指数概念, 首先为区域之间的土壤可蚀性大小对比提供了一个综合性的评价指标; 作为"中国水土流失宏观分析与评价研究"项目的子课题之一, 土壤指数模型研究主要是考虑到建立我国水土流失(水蚀)定量评价总模型的需要而展开的。拟建的我国水土流失定量评价总模型的一般形式为

$$A=f(C,S,G,V,H)$$

其中, $A$ 为预测土壤流失量; $C$ 为降雨径流因子; $S$ 为土壤因子; $G$ 为地形地貌因子; $V$ 为地面覆盖或植被因子; $H$ 为人为活动因子(包括水土保持措施)。这几大因子被认为是相对独立的, 其表现形式可以是一个值, 也可以是一个子模型。初步的研究成果表明, $S$ 与 $C$ 是影响我国水蚀土壤流失量的主要因子(而 $G$、$V$、$H$ 是影响土壤流失量的辅助因子; 同时, 在拟建的我国水土流失定量评价总模型中, $S$ 和 $C$ 是带量纲单位的分析对象, 而 $G$、$V$、$H$ 是不带纲单位的分析对象)。

土壤指数模型具有以下几特点:

第一, 拟合效果较好, 便于实际应用。模型Ⅰ和模型Ⅱ的 $R^2$ 值分别为0.712($\alpha=0.05$)和0.624($\alpha=0.05$), 通过对比土壤指数模型Ⅰ和模型Ⅱ的模拟值与其实测值之间的相对误差(|模拟值-实测值|/实测值), 表明两个模型的相对误差排序为: 模型Ⅱ>模型Ⅰ。模型Ⅰ误差较小, 拟合效果最好, 模型Ⅱ误差相对大些, 但由于模拟了土壤指数的影响因素, 便于成因探讨, 同时作为影响因素的土壤理化属性指标皆适于室内测定, 基本上不需野外测试而便于模拟的实际应用;

第二, 重视机理分析。土壤指数模型Ⅰ、Ⅱ是在机理分析的基础上运用统计法建立的, 即通过机理分析先确定模型函数的基本形式(概念模型), 再运用统计法拟合参数, 这样就避免了概念模型因统计(观测)数据量大小的不同而造成的随机性, 也避免了纯统计模型(如美国的土壤 $K$ 因子模型及其修正模型, 国内应用较多的土壤 $K$ 因子修正模型)相对缺乏土壤水蚀机理分析之不足;

第三, 具有层次观念。模型Ⅰ反映的是土壤指数和三个土壤指示指标的定量关系, 模型Ⅱ反映的是土壤指数和理化属性指标的定量关系, 这样就克服了 $K$ 因子公式中缺乏层次观念之不足($K$ 因子公式中把土壤机械组成、结构、有机质含量这些属性指标与土壤渗透性指示指标这两种不同层次的东西混在一起, 实际上决定土壤渗透性的还是土壤机械组成、结构、有机质含量等这些属性指标;

第四, 建模指标比较全面。有关土壤水蚀过程和机能的研究表明[26], 区域土壤特性对水蚀的影响主要表现在三个过程和机能上, 一是影响侵蚀动力对其分散崩解的难易, 二是决定雨水入渗速度, 三是在冲刷搬运时表现出来的抗剪机能。所以在模型Ⅰ中选用了崩解速率、稳渗速率和抗剪强度等三个指标作为模型函数的自变量。模型Ⅱ考虑的土壤理化属性指标更为全面, 注意吸取了现有模型[2~13]中考虑的土壤属性偏少的教训, 认真筛选了分别反映土壤质地、结构、化学和生物属性的 8 个土壤属性指标, 比较全面和相对准确地反映了范围较大时土壤属性影响因素更为复杂多样的客观情况。

由于建模时用到的实测数据有限, 土壤指数模型并不完美。随着全国水蚀区更多实测数据的获取, 模型Ⅰ中的拟合参数、模型Ⅱ的模型基本形式及其参数将得到不断地修正。对于模型Ⅰ的修正, 由于其概念模型是相对可靠的, 同时模型Ⅰ中的土壤指数 $S$、土壤稳渗速率 $r$、土壤崩解速率 $B$、原状土抗剪强度 $K_j$ 等指标值主要是通过野外测试获取的, 所以主要问题是在统一土壤指标野外测试技术规范(测点选择、测试方法与操作要求、测试设备、测试记录与数据精度、测试数据统计方法等)的基础上获取更多的实测数据, 进而对模型Ⅰ中的参数($W$、$x$、$b$、$\omega$)进行更好的拟合; 对于模型Ⅱ的修正, 主要克服其模型预测值误差过大之不足, 一是在机理分析的基础上对作为模型变量的土壤理化属性指标进行更合理地筛选, 二是通过室内理化分析数据精度的提高进而对模型参数进行更好地拟合。

参考文献:


[1] 杨勤科, 李锐. 中国水土流失和水土保持定量研究进展[J]. 水土保持通报。1998, **18**(5): 13~18.

[2] W.H. Wischmier, d. d. Smith, Predicting SoilErosion by Water: a Guide to Conservation Planning. US~DA Handbood No. 537. 1978.

[3] 李凤. RUSLE 侵蚀模型及其应用[J]. 水土保持研究, 1997, **4**(1): 109~112.

[4] 杨勤科, 李锐. LISEM; 一个基于 GIS 的流域土壤流失预报模型[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 13~18.

[5] Laflen, j. m., L.. Lane and G. R. Foster. WEPP: A new generation of erosion prediction technology. *J Soil and Water Cons*. 1991. **46**(1), 34~38

[6] 杨艳生. 区域性土壤流失预测方程的初步研究[J]. 土壤学报, 1990, **27**(1): 73~79.

[7] 付炜, 黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀预测模型建立方法的研究[J]. 水土保持学报, 1992, **6**(3): 6~14

[8] 韦中亚. 石家庄土壤侵蚀定量评价研究[J]. 水土保持学研究, 1999, **6**(4): 62~68。

[9] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省土壤流失预报研究[J]. 水土保持学报。1996, **9**(1): 25~36

[10] 游松财. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县为例[J]. 自然资源学报, 1999, **14**(1): 62~68.

[11] 安和平. 北盘江中游地区土壤抗蚀性及预测模型研究[J]. 水土保持学报, 2000, **14**(4): 38~42.

[12] 肖寒. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J]. 土壤蚀与水土保持学报, 1999, **5**(4): 75~80.

[13] 杨子生. 滇西北山区坡耕地土壤可蚀性因子[J]. 山地学报. 1999, **17**(增刊): 10~15.

[14] 杨艳生. 关于土壤流失方程中的 K 因子的探讨[J]. 中国水土保持, 1982, (4): 10~13.

[15] 李勇, 朱显谟. 黄土高原土壤抗冲性机理初步研究[J]. 科学通报, 1990, 35(5): 390~393.

[16] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 27~105.

[17] 赵兴安. 黑土侵蚀区土壤理化特性抗冲性能初探[J]. 中国水土保持, 1981. 6.

[18] 郭培才. 黄土区土壤抗蚀性预报及评论方法研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 48~52.

[19] 高维森. 土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J]. 1991, 5(2): 60~64.

[20] 将定生. 黄土高原壤入渗速率的研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 299~304.

[21] 将定生. 黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J]. 水土保持通报, 1995, **15**(3): 20~27.

[22] 陆兆熊. 黄土抗剪力及可蚀性的时空变化规律[M]. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集, 北京: 水利电力出版社, 1990, 1~11.

[23] (美)L. D 贝弗尔, 等(叶和才, 等译). 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1983.

[24] 廖松. 工程水文学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991, 3.

[25] 沙玉清. 泥沙运动学引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.

[26] 刘秉正, 吴法启. 土壤侵蚀[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1997, 10.

# The Mathematical Models on Soil Factor of Water and Soil Loss in China

ZHANG Ai-guo, LI Rui and YANG Qin-ke
*(Institute of Soil and Water Conservation, Chines Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, ShaoxiProvince, PRC)*

**Abstract:** Quantitative study on soil factor of water erosion in macroscopic regions is generally done by establishing the mathematical models. In view of various shortages existing in quantiative moedls of soil factor developed. It is necessary to build up new nationwide matematical models of soil factor for the comparison of soil erodibility among the regions. Two problems of the establishment and application of Soil Index Models are discussed in the article.

The steps of the models' establishment are as follows:

1. Determining the models' variables. The models' variables have been determined according to the soil indictors' properties. All of the indictors are generalized as three types: attributive indictors, designative indictors and synthetical indictor. Attributive indictors and designative indictors can merely be used as independent variables, while synthetical indictor as an dependent variables, so the concept of soil index "$S$" is proposed and used as dependent variable of the establishing models. Two functions and their variables are determined by analysis and selection of soil indictors existed at present used in warter erosion, these are

$$S = f(B, K_j, r), \qquad S = f(x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8)$$

where $S$ is soil index, $B$ is soil collapse rate, $K_j$ is soil anti- shearing intensity, $r$ is soil steady filtration rate, $x_1$ to $x_8$ refers to mealy sand to clay, capacity, specific gravity, water content, granule content of water-stability, cation exchange amount, organic matter, effective root amount.

2. Calculating the concept model. Concept model is ascertained by analysis of the erosion process and mathematicsl calculations of suspension matters, rurr off, and so on. it is

$$S = \frac{W - x \cdot K_j + b \cdot B}{W \cdot r}$$

where $w$, $x$, $b$ and $W$ are the parameters awaiting determination, $S$, $K_j$, $B$ and $r$ are the same as mentioned above.

3. Estimating the parameters. According to the firsthand data obtained through field test and indoor analytic data of the physical and chemical properties of soil samples, parameters in the concept models are estimated, and the Model Ⅰ and model Ⅱ of soil factor of water erosion in China have praliminarily been built:

$$S = \frac{1.57 - 2.57K_j + 3.29}{r} \qquad (R_2 = 0.712,\ a = 0.05)$$

$$S = 258.8 - (18/x_1 - 84.1x_1 - 2.6x_1^2) + (32.5x_2 - 6.2x_2^2) - (2.8x_3 - 0.9x_3^2) + (2.7/x_4 + 1.1x_4) + 0.56x_5 - (341.2x_6 + 211x_6^2) + 17.6x_7 - 23.7x_8)$$

$$(R^2 = 0.624,\ \alpha = 0.05)$$

The application and revision of the models are discussed too. As to the models' application, Firstly, Soil Index Model, as one of the subr-models, is mainly to meet the need of the development of Chief Estimation Model of Water Erosion in China. Secondly, Model Ⅰ has a higher accuracy for the prediction of soil losses and Model Ⅱ is more convenient for application. Theirdly, soil erosion mechanism analysis ahas been taken much count of and the indicators selected in the models are more comprehensive than K factor in USLE or RUSLE. But it is necessary to reasonably modify or revise the concept models and their parameters with the more data obtained by field and indoor tests.

**Key words:** water and soil loss; soil factor; mathematical models