

多层次、二型模糊(Fuzzy)综合评判 在土壤侵蚀研究中的应用

杨艳生

(中国科学院南京土壤研究所)

珍惜每寸土地是我国一项基本国策。搞好水土保持很重要。开展土壤侵蚀研究,是进行水土保持的基础工作。影响土壤侵蚀的因子很多、很复杂,而且有许多因子又难以取得确定的量测数值,过去也只是采用比较的方法,或应用数码得出某些因子的记值。即使如此,如何根据多项侵蚀因子,对侵蚀程度进行综合评价还是无能为力。模糊数学则为这方面的工作研究提供了手段。本文根据多层次结构综合评判的数学模型,并用二型Fuzzy集描述的侵蚀因子权数分配,进行土壤侵蚀多因子综合评判的尝试。

一、数学模型

数学处理的方法原理已在有关文献中阐述。综合评判的一般关系方程是: $B = A \circ R$ 其中 $\tilde{A}$ 为二型Fuzzy集所描述的各侵蚀因子的权数分配; $\tilde{B}$ 为评判结果即判决子集。若 $\tilde{B}$ 是最初一级的评判结果,经标准化以后,将作为下一层评判中相应的 $\tilde{R}$ 值。 $\tilde{R}$ 是从单一因子着眼对土壤侵蚀的评判结果。所以在上方程中,如果确定了各侵蚀因子的权数分配,确定了单一侵蚀因子对土壤侵蚀所起的作用,又选用了合适的算子,就能得到合理的评判结果。

1. 各侵蚀因子的权数选取 如果所考虑的侵蚀因子并不太多,所选因子对土壤侵蚀所起作用的大小,能有较大把握加以判断,各侵蚀因子就可给出确定的权值,否则可用Fuzzy子集的形式(表1)给出各侵蚀因子的权系数。

2. 确定单一侵蚀因子对土壤侵蚀的作用 由于在不同的土壤侵蚀情况下,同一侵蚀因子表现出的作用强度是不同的。又由于某些侵蚀因子的强度值,并不可能用某一确定数值表示,而只能用语言值或用评语加以表示,所以需要不同的评语规定合适的Fuzzy子集。各评语所对应的Fuzzy子集如表2。为了列表时的方便,各级评语还用代码加以表示。例如评语

表1 以Fuzzy子集形式给出的各权系数

等 级	评 语 及 隶 属 度						
	特别次要 (1)	很 次 要 (2)	次 要 (3)	一 般 (4)	重 要 (5)	很 重 要 (6)	特别重要 (7)
0	0.67	0.25	0	0	0	0	0
0.20	0.33	0.50	0.25	0	0	0	0
0.35	0	0.25	0.50	0.25	0	0	0
0.50	0	0	0.25	0.50	0.25	0	0
0.65	0	0	0	0.25	0.50	0.25	0
0.80	0	0	0	0	0.25	0.50	0.33
1.00	0	0	0	0	0	0.25	0.67

表 2

各侵蚀因子强度评语所对应的 Fuzzy 子集

评语及代码	等 级 及 隶 属 度						
	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3
1 很 好	0	0	0	0	0	0.3	0.7
2 好	0	0	0	0	0.2	0.6	0.2
3 较 好	0	0	0	0.2	0.6	0.2	0
4 一 般	0	0	0.2	0.6	0.2	0	0
5 较 差	0	0.2	0.6	0.2	0	0	0
6 差	0.2	0.6	0.2	0	0	0	0
7 很 差	0.7	0.3	0	0	0	0	0

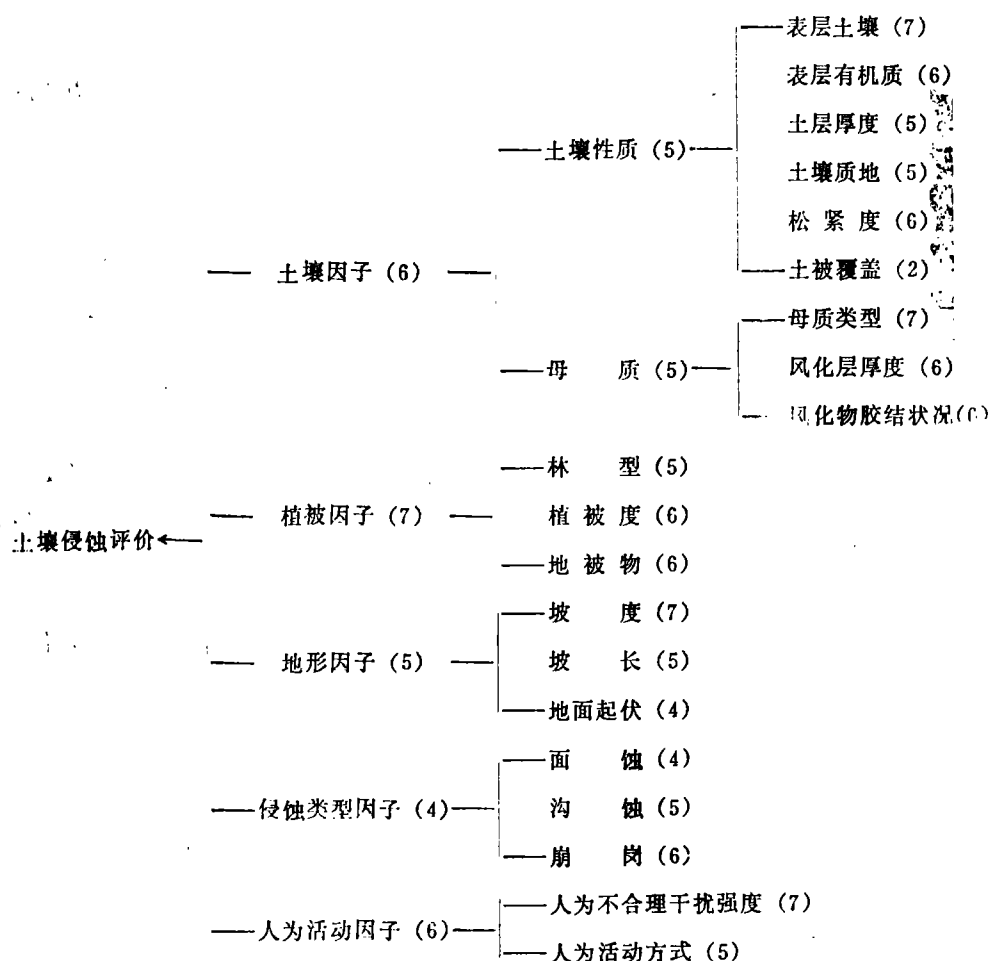


图 1 各侵蚀因子层次关系图式

(括号内为该因子重要性评语代码)

1, 表示很好, 就是对这一侵蚀因子的评语为很好, 也就是这一因子对水土保持来说很有利等等。

3. 算子的选用 考虑到各侵蚀因子都程度不同对土壤侵蚀过程产生影响, 因而在计算中

选用“add-product”算子。

在上述规定下，土壤侵蚀就可按多层、二型Fuzzy 集的综合评判方法进行评价。

二、两种侵蚀类型的评价

要进行土壤侵蚀评价，首先要确定根据那些侵蚀因子去进行评价、各侵蚀因子的强度分级如何，最后才有可能进行评判运算。

1. 土壤侵蚀因子的确定 根据多年的野外工作调查和观测，在我国南方水蚀区，对水土流失有明显影响的侵蚀因子共有五类20项。五类就是：土壤因子；植被因子；地形因子；侵蚀类型因子和人为因子。在土壤因子中又包括土壤性质因子和母质因子。而土壤性质还包括表层土壤、有机质、土层厚度、土壤质地、松紧度和土被覆盖度等；母质因子包括母质类型、风化层厚度和风化物的胶结状况等。各侵蚀因子可用图式表示如图1。

2. 各侵蚀因子的强度分级 每一侵蚀因子根据其对土壤侵蚀产生作用的不同，从表格的形式列出评语、观察或量测指标和评语代码。如表3所列表层土壤、土壤有机质含量和风化层厚薄的分级等。由于共有20个因子不能在这里一一都列出，其余从略。使用时，从表格中找到该因子的相应强度级别的评语代码值，根据此值，再从表2中查出该强度评语所对应的Fuzzy子集，以构成 $\tilde{R}$ 矩阵。

表3 各侵蚀因子强度分级及评语代码

表 层 土 壤							
可 蚀 性	小		较 小	较 大	很 大	中 等	大
保留土层	残留A层	次生A层	B层	红砂土层	白砂土层	粗 骨 土	半风化物
评语代码	1	2	3	5	7	4	6
土 壤 有 机 质 含 量							
含 量	多	较 多	中 等	较 少	少		
指标(%)	> 5	4 — 5	2 — 4	1 — 2	< 1		
评语代码	1	2 — 3	4	5 — 6	7		
风 化 层 厚 薄							
厚 薄	很 厚	厚	较 厚	较 薄	薄	很薄或无	
指标(米)	>20	10—20	5 — 10	1 — 5	0.3—1	<0.3	
评语代码	7	6	5	3 — 4	2	1	

3. 给出各侵蚀因子对产生侵蚀影响的重要性评语，以根据表1确定其权数分配 根据经验和实测比较，各侵蚀因子的重要性评语，已用(1)一(7)表示在前述侵蚀因子图式中，并和表1中的重要性评语(1)一(7)含义相同。

4. 给出评判类型条件 现将甲、乙两地的土壤及其侵蚀状况描述如下。

甲地：土壤母质是砂砾岩，风化层薄，属砂粘混杂物；表土层为粗骨性土，土质沙性，有机质含量<1%，无明显有机质层，表土松散，土被为全覆盖；植被为零星草木，植被度<30%，地表无地被物；坡度10—15°，坡长约20米，为低山丘陵区；人们常上山砍树割草，遇雨有沙石下山，造成中等为害；侵蚀以面蚀为主，侵蚀程度较强。

乙地：土壤母质是砂砾岩，风化层较薄，约2米，砂砾质；表土有重新发育的A层，有机质含量中等，有机质层较薄，质地为壤土，松紧度中等，土被全覆盖；植被为草灌混交，盖

度约90%，地表有少量地被物；坡度平缓，坡长约10米，为一低丘地形；该地为封山育林区，人为不合理干扰轻；目前几乎没有片蚀。

根据这些描述，就可从侵蚀因子强度分级表中查出各因子的评语代码，并列出于表4。

表 4

侵蚀因子	表层土壤	表层有机质	有机质厚度	土壤质地	松紧度	土被覆盖	母质类型	风化层厚度	风化物胶结状况	植被类型	植被度	坡度	坡长	地面起伏	面蚀	沟蚀	崩岗	人为不合理干扰强度	人为活动方式	地被物厚度	
评语代码	甲	4	7	7	6	7	7	3	2	5	6	7	4	2	3	3	0	0	3	7	7
	乙	2	4	5	5	6	7	3	4	6	3	2	1	1	3	1	0	0	1	3	6

5. 计算甲、乙两地土壤侵蚀的综合评价 通过最初一、二层的综合评判，得到甲、乙两地五类侵蚀因子的评判结果。具体运算步骤如下。如B土壤甲的计算是：

(1) 根据各侵蚀因子层次关系图式，土壤因子包括土壤性质和土壤母质两项，土壤性质后又包括了六项，以这六项后的因子重要性评语代码，可从表1中查出并得到相应权系数阵M1：

$$\widetilde{M1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .50 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .25 \\ 0 & 0 & .25 & .25 & 0 & 0 \\ 0 & .25 & .50 & .50 & .25 & 0 \\ .33 & .50 & .25 & .25 & .50 & 0 \\ .67 & .25 & 0 & 0 & .25 & 0 \end{pmatrix}$$

(2) 根据表4因子强度评语代码，从表2中查出并得到强度评语阵：

$$\widetilde{R1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & .2 & .6 & .2 & 0 & 0 \\ .7 & .3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .7 & .3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .2 & .6 & .2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .7 & .3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .7 & .3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(3) 对最初一层进行评判运算：

$$\widetilde{N_{土壤甲}} = \widetilde{M1} \cdot \widetilde{R1} = \begin{pmatrix} .175 & .075 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .350 & .150 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .175 & .075 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .225 & .225 & .050 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .800 & .600 & .100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ .925 & .525 & .116 & .198 & .660 & 0 & 0 \\ .350 & .150 & .134 & .402 & .134 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(4) 同前三步做法类似，求出N母质甲；

$$\widetilde{N}_{\text{母质甲}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & .25 \\ 0 & 0 & .50 \\ 0 & 0 & .25 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & .25 & 0 \\ .33 & .50 & 0 \\ .67 & .25 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & .2 & .6 & .2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & .2 & .6 & .2 \\ 0 & .2 & .6 & .2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & .050 & .150 & .050 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .100 & .300 & .100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .050 & .150 & .050 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & .050 \\ 0 & 0 & 0 & .066 & .198 & .660 & .100 \\ 0 & 0 & 0 & .134 & .402 & .134 & .050 \end{bmatrix}$$

(5) 求出土质甲和母质甲的单项评判:

$$\begin{aligned} \widetilde{R}_{\text{土质甲}} &= \widetilde{C}_{\text{权}} \cdot \widetilde{N}_{\text{土质甲}} = (0, 0.2, 0.35, 0.5, 0.65, 0.8, 1) \cdot \widetilde{N}_{\text{土质甲}} \\ &= (1.854, 1.129, 0.317, 0.560, 0.662, 0, 0) \end{aligned}$$

归一后化: $\widetilde{R}_{\text{土质甲}} = (0.411, 0.250, 0.070, 0.124, 0.146, 0, 0)$

$$\widetilde{R}_{\text{母质甲}} = (0, 0.024, 0.071, 0.140, 0.351, 0.415, 0)$$

(6) 求 $\widetilde{N}_{\text{土壤甲}}$ 时, 类似以上步骤, 从侵蚀因子层次关系图式查到土壤性质和母质的重要性评语代码, 再从表 1 中查出并得到相应的权系数阵, 然后再右乘以 $\widetilde{R}_{\text{土质甲}}$ 、 $\widetilde{R}_{\text{母质甲}}$ 排成的矩阵:

$$\widetilde{N}_{\text{土壤甲}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ .25 & .25 \\ .50 & .50 \\ .25 & .25 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.411 & 0.250 & 0.070 & 0.124 & 0.146 & 0 & 0 \\ 0 & 0.024 & 0.071 & 0.140 & 0.351 & 0.415 & 0 \end{bmatrix}$$

(7) 求出土壤甲的评判结果 $\widetilde{B}_{\text{土壤甲}}$:

$$\begin{aligned} \widetilde{B}_{\text{土壤甲}} &= (0, 0.2, 0.35, 0.5, 0.65, 0.8, 1) \cdot \widetilde{N}_{\text{土壤甲}} \\ &= (1.206, 0.759, 0.280, 0.510, 0.795, 0.431, 0) \end{aligned}$$

归一化后: $\widetilde{B}_{\text{土壤甲}} = (0.303, 0.191, 0.070, 0.128, 0.200, 0.108, 0)$

计算后得到五类侵蚀因子的评判结果是:

$$\widetilde{B}_{\text{土壤甲}} = (0.303, 0.191, 0.070, 0.128, 0.200, 0.108, 0);$$

$$\widetilde{B}_{\text{植被甲}} = (0.557, 0.386, 0.057, 0, 0, 0, 0);$$

$$\widetilde{B}_{\text{地形甲}} = (0, 0, 0.090, 0.317, 0.296, 0.235, 0.062);$$

$$\widetilde{B}_{\text{类型甲}} = (0, 0, 0.2, 0.6, 0.2, 0, 0);$$

$\widetilde{B}_{\text{人为甲}} = (0.287, 0.123, 0, 0.118, 0.354, 0.118, 0)$ 。

$\widetilde{B}_{\text{土壤乙}} = (0.072, 0.156, 0.205, 0.288, 0.111, 0.146, 0.022)$;

$\widetilde{B}_{\text{植被乙}} = (0.072, 0.214, 0.072, 0.057, 0.243, 0.271, 0.072)$;

$\widetilde{B}_{\text{地形乙}} = (0, 0, 0, 0.073, 0.218, 0.264, 0.446)$;

$\widetilde{B}_{\text{类型乙}} = (0, 0, 0, 0, 0, 0.3, 0.7)$;

$\widetilde{B}_{\text{人为乙}} = (0, 0, 0, 0.082, 0.246, 0.259, 0.413)$ 。

甲地的综合评价价值 $W_{\text{甲}}$ 可用下式表示:

$$W_{\text{甲}} = C_{\text{权}} \cdot \widetilde{N}_{\text{综甲}} \cdot C^T$$

其中 $C_{\text{权}} = (0, 0.20, 0.35, 0.50, 0.65, 0.80, 1.00)$;

$$\widetilde{N}_{\text{综甲}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & .25 & 0 \\ 0 & 0 & .25 & .50 & 0 \\ .25 & 0 & .50 & .25 & .25 \\ .50 & .33 & .25 & 0 & .50 \\ .25 & .67 & 0 & 0 & .25 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} .303 & .191 & .070 & .128 & .200 & .108 & 0 \\ .557 & .386 & .057 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & .090 & .317 & .296 & .235 & .062 \\ 0 & 0 & .200 & .600 & .200 & 0 & 0 \\ .287 & .123 & 0 & .118 & .354 & .118 & 0 \end{pmatrix}$$

$C = [-3, -2, -1, 0, 3, 2, 1]$, (C^T 是等级矩阵 C 的转置)

计算结果: $M_{\text{甲}} = -0.797$; 按同样步骤求得: $M_{\text{乙}} = 1.199$ 。

三、结果及讨论

从两地土壤侵蚀综合评价值可以看出, 甲地受侵蚀比较严重, 评价值就小, 乙地受蚀轻, 综合评价值就大。因此综合评价值的大小就反映出讨论地区水土保持条件的好坏, 水土保持条件好, 综合评价值就大, 反之就小。前述方法还有如下的优点。

1. 对于影响因子多而且复杂的土壤侵蚀研究, 采用多层次、二型 Fuzzy 综合评价方法, 不仅可以得出较为合理的评判结果, 而且还可以推动土壤侵蚀研究的规范化。在前述五类侵蚀因子中, 不仅包括了土壤和母质的基本性质, 也包括了植被、地形等在内的主要环境因子和人为活动因子, 因此这些材料的收集和规范化, 不仅只对土壤侵蚀评价, 而且对土壤肥力、土壤资源评价、人类环境评价等都有实用价值, 而上述方法提供了应用实例。规范制定以后, 就可以使所研究的问题从定性走向定量, 从形态描述研究, 走向数值分析研究, 进而为利用电子计算机等现代研究手段打下基础。

2. 在土壤侵蚀、土壤地理等研究工作中, 有许多重要因子是无法用某一确定值进行表示的, 有的则是不能用精确值表示的。例如地面坡度, 虽然可以量出某一范围的坡度值, 但实际上, 由于各处地面的起伏都不一样, 坡度也是随地变化的。因此, 长期以来, 土壤地理学就还停留在形态或描述性研究上。而 Fuzzy 数学的综合评价方法, 就为土壤地理提供了有用的数值分析手段, 使得某些不能取得确定数值的重要因子数值化, 从而使这一研究从定性走向定量成为可能。

3. 多层次、二型 Fuzzy 综合评价方法, 为解决因子分群、找到各因子间的相互关系提供了思路, 避免了过去属于不同层次的因子, 列入同一层次进行处理的不合理状况。用 Fuzzy 子集亦可解决各因子的权数分配问题。因此, 这一方法比对单层、确定权值的(下转第91页)

表3 胶膜中的铁、锰含量

编 号	样 品	总 量 (%)				铁(Fe ₂ O ₃ %)		锰(MnO%)		
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	活性的	游离的	活性的	游离的
11-1	S ₅₋₃ 胶 膜	64.61	6.72	0.64	2.58	0.2288	0.319	1.85	0.1933	0.1955
	S ₅₋₃ 非胶膜	64.73	6.19	0.84	2.58	0.0958	0.220	1.84	0.0713	0.0775
	S ₅₋₃ 全土壤	66.34	6.02	1.12	2.35	0.102	0.232	1.82	0.0777	0.0815
	胶膜与全土的相对差(%)		11.05			76.66	31.79	7.10	85.81	82.31
7-1	S _{4A} 胶 膜	61.92	6.76	2.37	1.99	0.1382	0.2786	2.04	0.0991	0.0994
	S _{4A} 全土壤	59.17	5.12	7.13	2.55	0.0867	0.2476	2.01	0.0645	0.0712
	胶膜与全土的相对差(%)		11.76			45.80	11.78	1.81	42.39	33.06

kson和Tamm法测定了土壤的游离铁、锰和活性铁、锰,变异系数为20—30%,比总量的变化大得多。五个古土壤条带的游离铁平均值1.96%,活性铁0.24%,分别占总铁的32.83%和3.99%,比黄土母质平均值高46.27%和85.23%,游离锰平均值0.0745%,活性锰0.0642%,分别占总锰的78.01%和67.23%,比黄土母质层高35.70%和61.71%。活动锰和游离锰的比例大,说明它更容易变动;活性铁和游离铁的绝对量高,说明它对土壤呈色等特性的影响大。它们的消长变化规律恰好与黄土中古土壤系列组合迭覆、红黄颜色的交替相一致,含量高的峰值点正是红褐色的古土壤条带。随着风化成壤作用的进行,铁、锰不断活化释放、老化、结晶成为游离状态,染色土粒,也为进一步的转化移动提供来源和物质基础。相关分析表明,除游离锰外,活性铁、锰、游离铁都与pH和有机质含量之间存显著的相关关系,这表明它们是土壤形成过程的产物。因此,活性的和游离的铁、锰将是区别黄土母质层和古土壤层,反映土壤颜色,指示成壤作用的气候条件和土壤发育程度的重要指标。

发育得最好的第一、五层古土壤条带的游离铁、锰和活性铁、锰含量很高,接近于北亚热带的地带性土壤——黄棕壤,说明古气候条件是比较接近于黄棕壤地区的。

参考文献

- [1] 朱显谟,我国黄土性沉积物中的古土壤,中国第四纪研究,第1期,9—19页,1965。
- [2] 刘东生等,黄河中游的黄土,189—194页,科学出版社,1961。
- [3] 陈家坊,土壤胶体中的氧化物,土壤通报,第2期,44页,1981。
- [4] 熊毅等编著,土壤胶体,科学出版社,1983。
- [5] Alexander E.B., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38: 121, 1974.
- [6] McKeague J.A. and Day J.H. Can., J. of Soil Sci., 46: 13, 1966.
- [7] Mehra O.P. and Jackson M.L., 7th Natl. Conf. on clay and clay minerals, 317—327, 1960.
- [8] 唐克丽、姜永清等,扶风黄土剖面中埋藏古土壤的微形态及其发生学的探讨,第三届全国第四纪学术会议论文集,科学出版社,1982。
- [9] 王振权等,西北地区褐色土型耕种土壤及古土壤的基本性质的初步研究,土壤专报,第32号,1958。
- [10] 唐克丽,武功黄土沉积物中埋藏古土壤的微形态及其发生学,科学通报,第3期,177页,1981。
- [11] 南京土壤研究所,土壤理化分析,上海科技出版社,1978。
- [12] 许祖诒、陈家坊,土壤中无定形氧化铁的测定,土壤通报,第6期,32页,1980。
- [13] Singer A., J. of Soil Sci., 28: 125—135, 1977.

(上接第106页)评价方法更具有优越性和实用价值。

当然本工作还只是首次尝试,数学方法也还只是采用引用文献中的模式,有待在应用中找到更合适的处理方法。为了适应这一方法的应用,土壤侵蚀研究,也还应根据这一方法的要求加以推进。例如,各侵蚀因子强度的野外鉴别手段和指标,还应抓紧研究和解决。但可以肯定,通过实践,这一方法将应用更广并不断完善。