

# \* 长江以南东部丘陵山区土壤可蚀性 $K$ 值研究\*

梁 音 史学正

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘 要** 以土壤亚类为基础,从土种入手,依据第二次土壤普查资料建立了我国东部丘陵区各土种的理化性质数据库。应用土壤可蚀性方法,计算出各土种的土壤可蚀性  $K$  值,用面积进行加权平均,经分类分级后,连续到相应的土壤图上,得到我国东部丘陵区土壤可蚀性  $K$  值图及其分布规律。

**关键词** 可蚀性  $K$  值 东部丘陵山区 土壤种类 长江以南

## Soil Erodiable $K$ in East Hillyfields of the Southern Yangtze River

*L iang Yin Shi X uezheng*

*(N anjing Soil Institute of Chinese Academy of Sciences N anjing 210008)*

**Abstract** Based on the subsoil species and the second soil survey information, the author established the national data pool of various subsoil types for the east hillyfields in the southern of Yangtze river. Using the method of soil erodiable  $K$  to calculate  $K$  values of various subsoil types, through dividiation, and then linking the values to the relative soil maps, the soil erodiable  $K$  value maps and their distributive regularities have been given out here.

**Key words** soil erodiable  $K$  value east hillyfields subsoil types the southern of Yangtze river

影响土壤侵蚀的因子除了降雨、径流、地形、地表植被、人为活动等侵蚀外营力外,还取决于土壤本身的抗蚀抗冲能力,即侵蚀内营力,国际上通常用土壤可蚀性  $K$  值这一指标来衡量。 $K$  值的大小表示土壤被冲蚀的难易程度,反映土壤对侵蚀外营力剥蚀和搬运的敏感性,是影响土壤流失量的内在因素,它也是定量研究土壤侵蚀的基础。世界上不论是应用很广的USLE方程,还是80年代中期开始研究的WEPP模型,都把它作为一个主要因子<sup>[2,3]</sup>,作为水土保持研究的重要内容而加以深入研究。同时,土壤可蚀性  $K$  值也是土壤侵蚀预报、土地利用规划、水土保持规划、土地利用评价和土壤环境潜在危险性评价的重要参数,缺少土壤可蚀性  $K$  值,上述许多实际工作也就缺少足够的依据。因此,对土壤可蚀性  $K$  值的研究无论在水土保持学科理论上,还是生产应用实践上都具有重要的意义。

\* 收稿日期: 1999-04-15

\* 国家自然科学基金95期间重点支持项目的部分内容,基金批准号: 49631010。

## 1 土壤可蚀性的计算方法

1971年, Wischmeier W. H. 根据实测的土壤可蚀性因子的  $K$  值与土壤性质的相关性, 建立了土壤可蚀性  $K$  值与土壤质地、土壤有机质、土壤结构和土壤通透性的关系式<sup>[1,2]</sup>:

$$100K = 2.1(N_1 \cdot N_2)^{1.14} \times (12 - O_M) \times (10^{-4}) + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3) \quad (1)$$

式中:  $N_1$  = 粉砂(0.05~0.1 mm)% + 极细砂(0.002~0.05 mm)% ;  $N_2$  = 100 - 黏粒(<0.002 mm)% 或者是  $N_1$  + 砂粒(0.1~2.0 mm)% ;  $O_M$  ——有机质的百分含量(1%~6%);  $S$  ——土壤结构系数;  $P$  ——土壤渗透级别。

此外, 国际上的许多学者也都曾建立求取土壤可蚀性  $K$  值的关系式。Young, R. A. [1997]建立的求取土壤可蚀性  $K$  值的关系式:

$$K = -0.204 + 0.385X_1 - 0.013X_2 + 0.247X_3 + 0.003X_4 - 0.005X_5 \quad (2)$$

式中:  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  和  $X_5$  分别表示细粒%、细砂%、粗粉粒%、细粉粒%、有机质含量的百分数。

Williams 等人[1990]在 EPIC (Erosion—Productivity Impact Calculator) 模型中, 把土壤可蚀性因子  $K$  值的计算公式发展为<sup>[4]</sup>:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256S_a(1 - S_i/100)][S_i/(C_i + S_i)]^{0.3}\{1.0 - 0.25C/[C + \exp(3.72 - 2.95C)]\}\{1.0 - 0.7S_n/[S_n + \exp(-5.51 + 22.9S_n)]\} \quad (3)$$

式中:  $S_a$  ——砂粒含量(%);  $S_i$  ——粉砂含量(%);  $C_i$  ——黏粒含量(%);  $C$  ——有机碳含量(%);  $S_n = (1 - S_a)/100$ 。

陈明华等人[1995]研究了福建红壤区 26 个土壤样品的可蚀性与土壤性质的关系, 建立了土壤可蚀性  $K$  值的计算公式<sup>[7]</sup>:

$$K = 10^{-3}(160.80 - 2.31X_1 + 0.38X_2 + 2.26X_3 + 1.31X_4 + 14.67X_5) \quad (4)$$

式中:  $K$  ——可蚀性  $K$  值(美国习用单位);  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  分别表示细砾(1~3 mm)%、细砂(0.05~0.25 mm)%、粗粉粒(0.01~0.05 mm)%、细粉粒(0.005~0.01 mm)%、有机质(10 g/kg)。

史学正等人通过径流小区研究  $K$  值与土壤性质关系后, 建立了我国东部丘陵区土壤可蚀性  $K$  值的非线性方程式(国家重点基金部分内容, 尚未发表):

$$K = -0.0871 - 0.05264 \lg(V) + 0.0604(\text{pH}) - 0.0031(\text{Fe}^{3+}) + 0.5147(M) + 0.4046(C) \quad (5)$$

式中:  $K$  ——土壤可蚀性  $K$  值(0.132 h/MJ·mm);  $d$  ——表层 0~20 cm 土壤容重(g/cm<sup>3</sup>); pH ——土壤 pH 值;  $\text{Fe}^{3+}$  ——表层 0~20 cm 土壤游离  $\text{Fe}^{3+}$  含量(g/kg);  $M$  ——土壤有机质因子, 其计算式为:

$$M = 0.8243 - 1.6297 \sin(O_M) - 0.2079 \sin^2(O_M) + 5.0465 \sin^3(O_M) + 1.7092 \sin^4(O_M) - 3.5244 \sin^5(O_M)$$

其中:  $O_M$  ——土壤有机质含量(g/kg);  $C$  ——土壤黏性因子, 其算式为:

$$C = 0.1260 + 0.0694 \exp(\sin(2N_c))$$

式中:  $N_c$  为粒径小于 0.002 mm 的土壤黏粒含量(%)。该方程式对土壤可蚀性  $K$  值的复相关系数  $R$  为 0.9988, 期望方差为 0.9977。

## 2 土壤理化特性值的获取与土壤质地的转化

土壤可蚀性  $K$  值的计算, 需要土壤的有机质含量(g/kg)、粒径小于 0.002 mm 的土壤黏粒

含量(%)、表层 0~ 20 cm 土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、表层 0~ 20 cm 土壤游离铁含量( $\text{g}/\text{kg}$ )和表层土壤 pH 值等 5 种土壤理化特性值。

由于同一类型的土壤, 其各种理化性质均有时空变异性, 即同一理化性质在不同的地区其数值可能各不相同, 比如: 土壤有机质含量、容重、黏粒含量、游离态铁含量、pH 值等理化性质, 随着分布地区的不同而有所差异。为了准确地获得同一类型土壤的各种土壤性质数值, 在《中国土种志》<sup>[9, 10]</sup>上, 我们以省(区)为基本单元, 根据不同的土壤类型, 逐一查取同一土种的统计剖面数、需要的土壤性质数值和土壤类型的面积, 并建立相应的土壤性质数据库, 用以计算  $K$  值和编制土壤可蚀性  $K$  值图。

在多数计算土壤可蚀性  $K$  值的公式中, 要求土壤颗粒分析标准是美国制, 而第二次土壤普查中土壤颗粒分析采用的是国际制, 因此存在一个国际制向美国制的转换问题(两个标准的粒径见表 1)。对于土壤质地的转换, 曾有不少尝试, 但是最为准确、可靠的方法是图解法。即在半对数纸上先画出国际制的土壤颗粒大小分配曲线, 然后查出美国制某一粒径的百分数含量。此法的优点是鲜明直观, 但是绘制曲线慢而繁, 而且点与点之间的连接有一定的人为随意性。但是, 如果在计算机上, 应用  $y = aX^b$  和  $y = aX^2 + bX + c$  进行模拟, 得出了每个土壤类型的转换方程。其中, 两个方程中  $X = \ln(P)$ ,  $P$  为粒径大小( $\text{mm}$ ),  $Y$  是小于  $P$  粒径的累计颗粒含量百分数(%)。然后利用方程进行转换。本此转换共完成了近 400 个方程, 其复相关系数  $R^2 = 0.99$  以上, 结果非常满意。

表 1 土壤颗粒分析的美国制和国际制标准比较

美国制		国际制*	
粒径(mm)	名称	粒径(mm)	名称
> 2	砾	> 2	砾
2~ 1	极粗砂	2~ 0.2	粗砂
1~ 0.5	粗砂	0.2~ 0.02	细砂
0.5~ 0.25	中砂	0.02~ 0.002	粉砂
0.25~ 0.1	细砂	< 0.002	黏粒
0.1~ 0.05	极细砂		
0.05~ 0.002	粉砂		
< 0.002	黏粒		

\* 中国第二次土壤普查所使用的标准。

3 土壤类型组成及  $K$  值的计算结果

我国东部丘陵区包括浙江、福建、江西、广东、海南、广西、湖南七省和江苏、安徽、湖北三省长江以南的部分地区, 全区总面积为 119 745 万  $\text{km}^2$ (本次量测的面积)。从 1/400 万《中国红壤黄壤地区土壤图》可以看出, 该地区主要分布红壤、砖红壤和水稻土, 其它土类也有分布, 共涉及的土壤约有 14 个土类(见表 2)。

对于土壤可蚀性  $K$  值的计算, 我们以土壤理化性质数据库为基础, 应用公式(1)计算各土壤的  $K$  值, 再应用公式(5)进行典型土壤类型的局部校正。由于公式(5)所要求的各种土壤理化性质比较多, 在第二次土壤普查中许多土壤理化性质没有, 因此我们所得到的公式(5), 只是提供了应用土壤理化性质来计算土壤可蚀性  $K$  值的新方法, 仅适应于我国南方东部丘陵地区。计算出各土种的  $K$  后, 应用各土种的面积进行加权平均, 得到亚类的可蚀性  $K$  值的平均值(见表 2), 然后根据亚类的面积(本次量测面积)和  $K$  值大小进行加权平均, 得出同一土类的  $K$  值(见表 3)。研究表明, 我国东部丘陵区土壤的平均  $K$  值为 0.228, 其中  $K$  值最大的土类是紫色湿润雏形土和淡色潮湿雏形土, 分别为 0.342 和 0.339, 最小的是湿润砂质新成土和滞水常湿雏形土, 分别

为 0.037 和 0.097, 相差较大; 其余 10 个土类的可蚀性  $K$  值都在 0.12~ 0.288 之间。此外, 湿润富铁土、简育湿润铁铝土和铝质常湿雏形土 3 个土类所占的面积, 约占东部丘陵区土地面积的 66.03%, 可见这 3 个土类的  $K$  值大小直接影响着该地区的土壤侵蚀状况。

在 3 个主要的土类中, 湿润富铁土类中共有 5 个亚类, 其中红壤亚类占的比重最大, 占土地总面积的 29.76%, 其  $K$  值为 0.231; 而  $K$  值最大的亚类是褐红壤, 为 0.293;  $K$  值最小的是红泥土, 仅为 0.177, 相差不到一半。在简育湿润铁铝土类中, 划分有 4 个亚类, 分别为赤红壤、黄色赤红壤、赤红壤性土和赤红土, 其  $K$  值依次为 0.214、0.174、0.376 和 0.196, 显然赤红壤性土最大, 黄色赤红壤最小。铝质常湿雏形土类也有 4 个亚类, 其土壤可蚀性  $K$  都在 0.2 以下, 最大的是黄壤亚类, 为 0.191, 最小的是黄泥土, 为 0.136。

表 2 我国东部丘陵区土类及其亚类的土壤可蚀性  $K$  值与面积

代码	土 类	亚 类	$K$ 值	面积/km <sup>2</sup>	占总面积/%
1	湿润铁铝土	11 砖红壤	0.228	32891.52	2.7468
		12 红色砖红壤	0.197	281.40	0.0235
		13 黄色砖红壤	0.213	4679.63	0.3908
		14 砖红壤性土	0.264	162.85	0.0136
		15 赤土	0.211	1686.01	0.1408
2	简育湿润铁铝土	21 赤红壤	0.214	142885.55	11.9325
		22 黄色赤红壤	0.174	225.12	0.0188
		23 赤红壤性土	0.367	36142.59	3.0183
		24 赤红土	0.196	5962.71	0.4896
3	湿润富铁土	31 红壤	0.231	356400.20	29.7633
		32 黄红壤	0.244	31656.95	2.6437
		33 褐红壤	0.293	2769.70	0.2313
		34 红壤性土	0.227	56695.60	4.7347
		35 红泥土	0.177	11319.48	0.9453
4	铝质常湿雏形土	41 黄壤	0.191	122103.83	10.1970
		42 表潜黄壤	0.148	12622.31	1.0541
		43 黄壤性土	0.197	7385.86	0.6168
		44 黄泥土	0.136	4897.00	0.3839
5	干润富铁土		0.158	1986.57	0.1659
6	铁质湿润淋溶土	61 黄棕壤	0.219	6303.37	0.5264
		62 黄棕壤性土	0.412	3525.29	0.2944
7	湿润淋溶土		0.120	1948.25	0.1627
10	滞水常湿雏形土		0.097	1706.36	0.1425
11	紫色湿润雏形土	11 紫色土	0.343	24817.12	2.0725
		112 紫泥土	0.306	874.14	0.0730
12	钙质湿润富铁土	121 红色石灰土	0.252	16525.99	1.3801
		122 棕色石灰土	0.244	44899.53	3.7496
		123 黄色石灰土	0.175	31339.62	2.6172
		124 黑色石灰土	0.111	3277.42	0.2737
		125 耕种石灰土	0.164	1571.05	0.1312
15	湿润砂质新成土		0.037	1877.60	0.1568
16	海积潮湿正常岩成土		0.170	617.88	0.0516
17	淡色潮湿雏形土	171 石灰性潮土	0.322	6687.75	0.5585
		172 潮泥土	0.413	1514.77	0.1265
18	水耕人为土			200727.10	16.7629

4 土壤可蚀性  $K$  值图的编制与分布规律

以 1/400 万中国红壤黄壤地区土壤图 of 工作底图, 应用 ARC/INFO 进行数字化, 再将以上所计算的各亚类的可蚀性  $K$  值, 采用土壤可蚀性  $K$  值的分级指标, 以省为单元划分  $K$  值的等级, 然后将各等级值赋给各省的不同土壤类型, 连接到底图上, 在计算机上可以得出土壤可蚀性

$K$  值图。各等级的面积统计一同列于表 4, 结果表明, 土壤可蚀性  $K$  值在 0.2~0.25 之间的土壤面积占土地总面积的 45.16%, 可见中低可蚀性土壤的面积占土地总面积的百分比比较大。

表 3 不同土类的土壤可蚀性  $K$  值与面积分布

代 码	土 类	平均 $K$ 值	面积/ $\text{km}^2$	占总面积/%
1	湿润铁铝土	0.225	39701.41	3.3155
2	筒育湿润铁铝土	0.245	185115.97	15.4592
3	湿润富铁土	0.230	458841.93	38.3183
4	铝质常湿锥形土	0.186	146709.00	12.2518
5	干润富铁土	0.158	1986.57	0.1659
6	铁质湿润淋溶土	0.288	9828.66	0.8208
7	湿润淋溶土	0.120	1948.25	0.1627
10	滞水常湿锥形土	0.097	1706.36	0.1425
11	紫色湿润锥形土	0.342	25691.26	2.1455
12	钙质湿润富铁土	0.217	97613.61	8.1518
15	湿润砂质新成土	0.037	1877.60	0.1568
16	海积潮湿正常岩成土	0.170	617.88	0.0516
17	淡色潮湿锥形土	0.339	8202.52	0.6850
18	水耕人为土	-	200272.10	16.7629

表 4 我国东部丘陵区土壤可蚀性  $K$  值的分级指标

代码	可蚀性级别	$K$ 值的范围	分布面积/ $\text{km}^2$	占总面积/%
1	低可蚀性土壤	$< 0.15$	22144.42	1.85
2	较低可蚀性土壤	$0.15 \sim 0.20$	189636.33	15.84
3	中低可蚀性土壤	$0.20 \sim 0.25$	540796.49	45.16
4	中可蚀性土壤	$0.25 \sim 0.30$	138710.04	11.58
5	中高可蚀性土壤	$0.30 \sim 0.35$	42316.63	3.53
6	高可蚀性土壤	$> 0.35$	45822.76	3.83

对于不同岩性上发育的同一亚类土壤, 其  $K$  值也有一定的差异, 一般来说, 花岗岩和第四纪红土上发育的土壤  $K$  值较高。由于红壤、黄壤和赤红壤 3 个亚类在该地区所占的比重较大, 分别占总土面积的 29.76%、10.20% 和 11.93%, 因此我们重点讨论这 3 个亚类。从表 5 可知, 第四纪红土和石灰岩发育的红壤, 其  $K$  值分别为 0.281 和 0.29, 较其它母质发育的红壤高。然而其余母质发育的红壤其  $K$  值分也都在 0.2 以上。说明红壤亚类的可蚀性较高。在黄壤亚类中, 石灰岩发育的黄壤  $K$  值最大, 为 0.406, 其余岩性发育的黄壤其  $K$  值都小于 0.2, 因此, 铁铝质岩发育的黄壤存在着较大的侵蚀危险性。对于赤红壤亚类, 4 类母质发育的赤红壤, 其  $K$  值相差不大, 在 0.18~0.221 之间, 其中花岗岩类母质发育的赤红壤的  $K$  值较大, 同其它母质发育的赤红壤来说, 存在有较大的侵蚀危险性。

表 5 同一亚类不同岩性上发育的土壤可蚀性  $K$  值

亚 类	铁质岩 (玄武岩、安山岩等)	铁铝质岩 (石灰岩、大理岩等)	硅铝质岩 (花岗岩、花岗片麻岩等)	硅铁质 (第四纪红土、板岩、泥岩等)	硅质岩 (砂岩、浅海沉积物等)
砖红壤	0.197	-	0.232	-	0.240
黄色砖红壤	0.218	-	0.235	0.196	-
赤红壤	-	0.217	0.221	0.208	0.183
红壤	0.232	0.290	0.204	0.281	0.259
黄红壤	-	-	0.236	0.239	0.212
红壤性土	0.166	-	0.205	0.192	0.414
黄壤	-	0.406	0.157	0.183	0.191
黄壤性土	-	0.246	0.165	0.237	-
黄棕壤	-	0.213	0.202	0.259	-

## 5 结 语

(1) 土壤可蚀性  $K$  值图的应用前景。首先  $K$  值图本身是土壤抵抗水蚀能力大小的一个相对的综合指标,  $K$  值愈大的土壤, 其抗冲抗蚀能力愈小; 相反,  $K$  值愈小的土壤, 其抗冲抗蚀能力愈强。在农业生产和水土保持规划中, 在中、高可蚀性地区, 应重点考虑水土流失因素导致的各种危害, 而在低可蚀性地区, 其注意的程度可适当降低一些。此外, 将  $K$  值图与土壤侵蚀现状图结合起来, 可以看出高、中、低可蚀性土壤的侵蚀现状, 以便采取相应的治理和防治对策。同时, 可以利用土壤可蚀性  $K$  值, 结合坡度等级、地形能量等因子, 判断某一地区的侵蚀危害性, 在预测预报土壤侵蚀量时,  $K$  值是一个必不可少的主要因子。

(2) 众所周知, 土壤性质, 特别是土壤有机质、土壤 pH、土壤团粒结构、土壤黏粒含量等等, 经过若干年以后, 由于人类生产活动和自然界各种因素的作用, 即是同一类型的土壤, 经过许多年以后, 其各种理化性质都在变化。那么, 决定  $K$  值的土壤因子也在发生变化,  $K$  值也应该在变。因此在  $K$  值的动态变化方面可以继续作深入研究。同时发现, 土壤颗粒中  $0.1 \sim 0.002 \text{ mm}$  粒径的土粒含量与土壤可蚀性的关系极为密切, 土壤有机质含量较大时的土壤可蚀性研究, 应用 GU E L P H 方法观测的土壤入渗速率如何应用到土壤可蚀性  $K$  值的计算中去等等问题, 以后我们可以继续作进一步研究。

## 参考文献

- 1 Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook 537, Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning, 1987, 537
- 2 Wischmeier W. H. J. Soil and Water Conservation 1971, 26: 189~ 193
- 3 Laflen J. M. et al., J. Soil and Water Conservation 1991, 46(1): 40~ 44
- 4 Sharply A. N. Williams J. R. 1990, EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U S Department of Agriculture Technical Bulletin. N. 1768
- 5 史学正等. 用人工模拟降雨仪研究我国亚热带土壤的可蚀性. 水土保持学报, 1995, 9(3): 38~ 42
- 6 史学正等. 用田间实测法研究我国亚热带土壤的可蚀性  $K$  值. 土壤学报, 1997, 34(4): 399~ 405
- 7 陈明华等. 土壤可蚀性因子研究. 水土保持学报, 1995, 9(1): 19~ 24
- 8 于东升等. 应用不同人工降雨方式对土壤可蚀性  $K$  值的研究. 水土保持学报, 1997, 3(2)
- 9 全国农业普查办公室. 中国土种志(第1~ 6卷). 北京: 中国农业出版社, 1995
- 10 席承藩主编. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998