

# 用田间实测法研究我国亚热带土壤的 可蚀性 $K$ 值\*

史学正 于东升 邢廷炎

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

J. Breburda

(联邦德国 Justus-Liebig 大学土壤及水土保持研究所)

## 摘 要

本文在自然降雨条件下用全裸地小区田间实测了我国亚热带七种有代表性的不同类型土壤的可蚀性  $K$  值, 结果表明这七种不同类型土壤间的  $K$  值差别很大, 其中紫色土和红砂岩发育的耕种普通红壤的  $K$  值最大, 分别达到 0.440 和 0.438, 最小的是第四纪红色粘土发育的红色土, 其值只有 0.104, 还不到紫色土  $K$  值的  $1/4$ 。我们亦用国际上十分流行的诺谟图方法估算了这七种不同类型土壤的可蚀性  $K$  值, 其中有二类土壤用这种方法所估算的  $K$  值较接近于田间实测的  $K$  值, 有一类土壤相差较大, 有三类土壤相差很大, 还有一类土壤不能用这种方法来估算, 因此, 国际上十分流行的用诺谟图估算土壤可蚀性  $K$  值的方法对我国亚热带多数土壤并不合适。

**关键词** 土壤可蚀性,  $K$  值, 诺谟图, 亚热带

土壤利用不当引起退化导致全球环境恶化已是当今世界面临的重大问题, 我国亚热带尽管土壤退化类型众多, 但最主要、最严重且分布最广的是土壤侵蚀退化。土壤流失量大小除了与侵蚀介质等外营力有关外, 还取决于土壤的抗蚀抗冲能力, 国际上习惯用土壤可蚀性 (Soil erodibility) 来衡量, 并用  $K$  值表示, 它是指土壤对侵蚀介质剥蚀和搬运的敏感性, 是土壤遭受侵蚀退化难易的一种量度指标, 是影响土壤流失量大小的内在因素, 亦是土壤侵蚀预报, 水土保持规划, 生态环境评价的重要内容<sup>[1]</sup>。1978年 Wischmeier<sup>[9]</sup>系统地完善了土壤可蚀性  $K$  值的定义以及田间实测方法, 即用一个特定的单位小区来测定, 这一方法后来成为土壤可蚀性  $K$  值研究的“经典”方法。由于在实际工作中只能对典型土壤类型的可蚀性  $K$  值进行田间实测, 然后根据这些实测结果来估算其他土壤的可蚀性  $K$  值, 因此, 1971年 Wischmeier<sup>[10]</sup>提出了用诺谟图方法来估算耕地的土壤可蚀性  $K$  值, 这种方法在

\* 本研究工作得到国家自然科学基金的资助(批准号: 49571045), 并承蒙龚子同先生和史德明先生的指导, 在此深表谢意。

国际上影响很大,流传甚广,但已有研究表明,有些地区不能用这种方法来估算  $K$  值。

我国土壤可蚀性研究起步较晚,虽然研究条件有限,但还是开展了许多工作。1964 年田积莹等<sup>[2]</sup>用土壤团聚体与分散度、团聚状况与团聚度和分散率与侵蚀率来推算土壤抗蚀性。1983 年史德明<sup>[3]</sup>用土壤团聚体为指标和用小型抗冲仪分别测定了红壤的抗蚀性和抗冲性,结果表明耐蚀耐冲性以变质岩发育的红壤为最高,花岗岩发育的红壤最低。1994 年王佑民等<sup>[4]</sup>测定了 5 个省的 255 个土样,认为土壤腐殖质含量、水稳定性团粒含量和粘粒含量是反映黄土高原土壤抗蚀性的最佳指标。1995 年史学正等用人工模拟降雨来研究土壤的可蚀性<sup>[5]</sup>。由于我国水土保持基础研究薄弱,尚未建立可与国际上对比的不同类型土壤的可蚀性  $K$  值,也没有现成的与国际接轨又适合于我国的求取土壤可蚀性  $K$  值的方法,因此,许多工作只好直接引用 Wischmeier 的诺谟图方法来估算土壤可蚀性  $K$  值,有些作者甚至还把  $K$  值当作等于 1 的常数,这就造成预报精度低,致使数以千计的侵蚀小区观察资料缺乏对比基准,同国际上交流也较为困难。因此,本文将探讨如何田间实测并建立与国际上接轨又可进行定量对比的我国亚热带不同类型土壤的可蚀性  $K$  值,并初步评价国际上十分流行的 Wischmeier 诺谟图方法在我国亚热带地区的适用性。

## 1 试验小区设计、标本和方法

七种不同类型土壤的可蚀性研究小区(9—15 号)建在江西鹰潭中国科学院红壤生态试验站内,试验地原先是一块坡度约为 8% 的稀疏马尾松林荒地,试验开始之前这块荒地平均每  $30\text{m}^2$  仅有一棵矮小的马尾松。土壤为第四纪红色粘土发育的粘淀红壤,土层稳定,变化小,其原来土壤的腐殖质表层已被侵蚀。每个小区面积为  $12\text{m}^2$ ,其中 9—11 号小区的土壤发育于第四纪红色粘土,9 号是网纹层已出露地表的红色土,10 号是已有 40 多年旱耕历史的粘淀红壤,11 号是荒地的粘淀红壤。12 号、13 号小区的土壤发育于红砂岩,其区别在于 12 号是荒地,而 13 号是旱耕地。14 号和 15 号分别是紫色土和花岗岩发育的准红壤<sup>[6]</sup>。每年三月底小区内的土壤都翻耕一次,并把土耙平,然后测定每次降雨小区的径流量,并测出泥沙含量。土壤颗粒组成用吸管法测定。

## 2 结果

### 2.1 土壤的颗粒组成

9 至 11 号小区都是第四纪红色粘土发育的土壤(表 1),其颗粒分布非常有规律,主要以粘粒和粗粉砂占优势,二者之和可达 70—80%,土壤质地除 10 号勉强归属粘土外,其余都属于壤质粘土。红砂岩发育的土壤(12、13 号)以细砂(0.25—0.1mm)含量最高,其次是极细砂(0.1—0.05mm),多数归属砂壤土。紫色土非常特殊,其粉砂含量可高达 71.4%,归属粉砂壤土。花岗岩发育的准红壤主要以细砂、极细砂和粘粒这三个粒级为主。

### 2.2 降雨及径流

1992、1993 和 1994 年的降雨量分别为 1991.1mm、1908.6mm 和 1930.4mm,降雨的各月分配不均匀。1992 年降雨分布有一些特殊性,3 月的雨量达到 483.1mm,7 月的雨量亦

表1 土壤的颗粒组成(%)

Table 1 Mechanical composition of the soils (%)

小区号	土壤类型	采样深度	2-1	1-0.5	0.5-	0.25-	0.1-	0.05-	0.005-	<0.002	质地
Plot	Soil type	Depth (cm)	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Texture
9	红色土	Cw 0-20	0.7	0.6	1.6	5.3	11.2	25.8	10.0	44.8	壤土
10	粘淀红壤	Ap 0-15	0.9	1.3	2.8	8.0	8.4	23.9	4.3	50.4	粘土
11	粘淀红壤	Ah 0-20	0.2	0.6	1.8	7.7	11.2	31.5	4.8	42.2	壤质粘土
		Bt 20-40	0.4	0.7	1.8	6.7	11.2	28.9	6.7	43.6	壤质粘土
12	普通红壤	Ah 0-20	0.5	1.4	6.8	37.8	21.7	12.2	2.3	17.3	砂壤土
		Bw 20-40	0.2	1.2	5.4	32.5	18.5	3.7	10.8	25.1	砂质粘壤土
13	普通红壤	Ap 0-15	0.4	1.1	6.8	42.5	21.4	13.7	2.0	12.1	砂壤土
		Bw 15-40	0.2	0.6	8.2	36.6	21.0	11.5	3.7	18.2	砂壤土
14	紫色土	Cw 0-20	0.2	0.5	0.8	1.0	12.0	62.4	9.0	14.0	粉砂壤土
15	准红壤	Ah 0-15	3.5	6.7	10.0	19.9	20.4	10.3	7.3	21.9	砂质粘壤土
		Bw 15-40	4.4	6.1	11.2	25.0	11.9	10.0	9.3	22.1	砂质粘壤土

达到 381.4mm。1993 和 1994 年基本上都是正常年,降雨量主要集中分布在 4—8 月,但特殊的是 1993 年雨季略有推迟,使 7 月份的降雨量达到 299.7mm,1994 年 12 月的降雨也很特殊,其降雨量达到 230.2mm。不同类型土壤全裸地的径流量及径流系数差别很大(图 1),大致上可分成三种类型,径流量和径流系数最高的一类包括三类土壤,即 13 号红砂岩发育的耕种普通红壤、14 号紫色土和 15 号花岗岩发育的准红壤,它们的年均径流量和径流系数分别在 750mm 和 0.40 以上;最小的一类是 9 号第四纪红色粘土发育的红色土,其年均径流量只有 308.2mm,径流系数 0.18 以下;另一类是 10、11 和 12 号小区,其径流量和径流系数大小介于上述二种类型之间。

### 2.3 土壤流失量

不同类型土壤全裸地的土壤流失量相差亦很大,大致趋势同径流量相同,最高的是 14 号紫色土和 13 号红砂岩发育的耕种普通红壤(图 2),其年均值分别达到 122.6t / ha 和 108.1t / ha,最小的是 9 号第四纪红色粘土发育的红色土,其年均值只有 28.6t / ha,不到紫

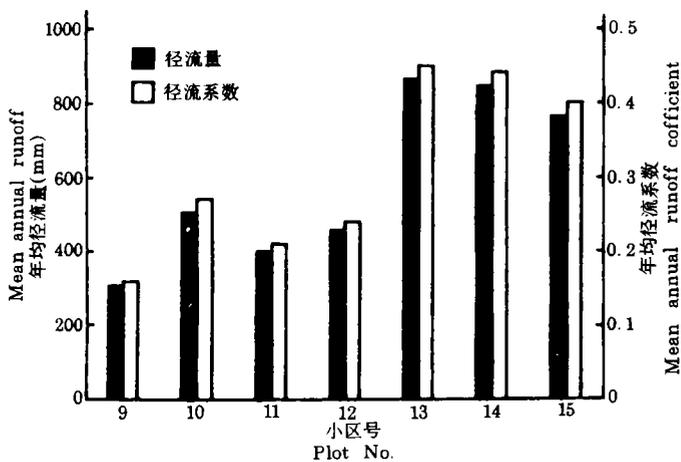


图1 不同类型土壤全裸地的径流量和径流系数

Fig.1 Runoff and runoff coefficient of different types of soils without vegetation

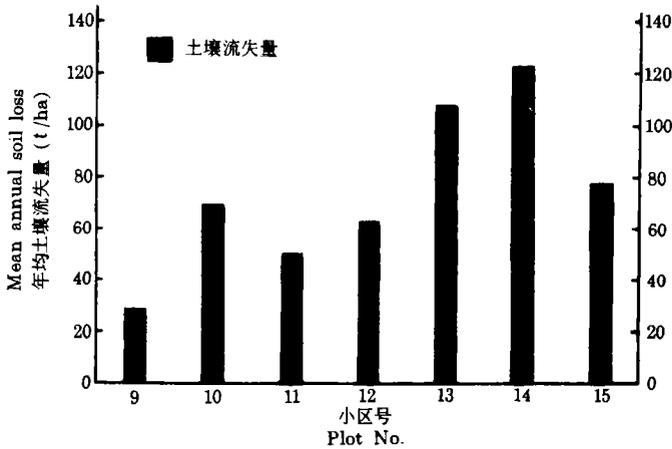


图2 不同类型土壤全裸地的土壤流失量

Fig.2 Soil loss of different types of soils without vegetation

绍<sup>[11,12]</sup>。由于我国在方法论等基础研究方面较为薄弱,目前尚不具备对这种方法作出全面评价的条件。近几年来国内已有许多学者开始应用这一方法来求取  $K$  值<sup>[7,8]</sup>,而这一方法是总结了美国中西部土壤条件下的一个经验公式,是否适用于我国实际情况还需要我国水土保持学家进行验证。诺谟图方法的估算式为:

$$100K = 2.1M^{1.14} \cdot (10^{-4}) \cdot (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

表2 用诺谟图方法估算得到的不同类型土壤的可蚀性  $K$  值

Table 2 Soil erodibility factor  $K$  of seven different types of soils estimated by using Wischmeier's nomography

小区号 Plot	土壤颗粒 (%) Mechanical composition		O.M. (g/kg)	土壤结构 等级 Soil Structure grade	土壤渗透性等级 Soil permeability grade	$K$ $\frac{0.132T \cdot \text{hr}}{\text{MJ} \cdot \text{mm}}$
	2.0—0.1 mm	(0.002—0.05mm) +(0.05—0.1mm)				
9	8.2	47.0	2.6	4	5	0.31
10	13.0	36.6	11.8	4	6	0.26
11	10.3	47.5	8.6	4	5	0.31
12	46.5	36.2	3.9	2	3	0.22
13	50.8	37.1	7.5	2	3	0.24
14	2.5	83.5	4.5	2	3	—
15	40.1	38.0	34.2	3	4	0.22

其中  $M = (\% \text{粉砂} + \text{极细砂})(100 - \% \text{粘粒})$ ,  $a = \% \text{OM}$ ,  $b = \text{土壤结构代码}$ ,  $c = \text{土壤剖面渗透等级}$ 。根据上述用诺谟图来估算土壤可蚀性  $K$  值的要求,把土壤颗粒组成、土壤有机质、土壤结构、土壤渗透性以及用这些资料借助于诺谟图方法估算所得到的  $K$  值列于表2。为了便于与国际上通用的英制单位  $K$  值进行比较,本文中的  $R$  值和  $K$  值的单位都采用 SI 制单位前乘以一个系数来表示,其中  $R$  值的单位为  $17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr}$ ,  $K$  值的单

色土土壤流失量的  $1/4$ 。

### 3 讨论

#### 3.1 用诺谟图方法估算的土壤可蚀性 $K$ 值

应用诺谟图方法估算土壤可蚀性  $K$  值是 1971 年美国水土保持学家 Wischmeier 等人<sup>[10]</sup>在总结了美国中西部土壤侵蚀研究成果之后提出的,并在世界各国得到了广泛的应用,不少专著及教材中亦作为一种求取土壤可蚀性  $K$  值的主要方法来进行介

位为  $0.132T \cdot \text{hr} / \text{MJ} \cdot \text{mm}$  (其中  $\text{MJ}$  为  $10^6 \text{J}$ ), 这样不管是  $R$  值, 还是  $K$  值, 它们的绝对值都与英制单位的绝对值相同。从表 4 可见, 土壤可蚀性  $K$  值最大的是第四纪红色粘土发育的土壤, 其值介于  $0.26-0.31$  之间, 最小的是 12 号红砂岩发育的荒地普通红壤和花岗岩发育的准红壤, 它们都为  $0.22$ , 紫色土由于其粉砂含量超过  $70\%$ , 故不能用诺谟图方法来估算。

### 3.2 自然降雨条件下田间实测的土壤可蚀性 $K$ 值

求取土壤可蚀性  $K$  值首先应计算求出  $R$  值, 虽然计算它的方法很多, 但“经典”的方法是  $EI_{30}$  法, 即  $R = E \cdot I_{30} / 100$ 。根据自记雨量计记录的降雨过程曲线, 通过读数并计算可求得 1992 年  $R$  值 =  $446(17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr})$ , 其中 1992 年 5—12 月  $R$  值 =  $392(17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr})$ , 1993 和 1994 年的  $R$  值分别为  $459$  和  $297(17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr})$ 。根据通用流失方程所规定的条件, 本试验中植被因子  $C = 1$ 、管理因子  $P = 1$ , 所以通用流失方程简化为:  $A = R \cdot K \cdot \text{LS}$  (地形因子), 土壤可蚀性  $K$  值由  $K(0.132T \cdot \text{hr} / \text{MJ} \cdot \text{mm}) = A(T / \text{ha}) / R(17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr}) \cdot \text{LS}$  而求得。自然降雨条件下的全裸地观察小区采用了二种不同的处理, 即在 1992 年和 1993 年观察过程中未破除结壳, 1994 年则破除了结壳, 其自然降雨条件下田间实测的不同类型土壤的可蚀性  $K$  值列于表 3。从中可见, 1993 年田间实测的土壤可蚀性  $K$  值以 13 号红砂岩发育的耕种普通红壤和 14 号紫色土为最高, 分别达到  $0.206$  和  $0.202$ , 最低的是 9 号第四纪红色粘土发育的红色土, 其值只有  $0.051$ 。1994 年采用与 1992 和 1993 年不同的处理以后, 其  $K$  值已有较大的差别, 大约要比 1992 年和 1993 年的  $K$  值高出一倍, 其中紫色土和红砂岩发育的耕种普通红壤的  $K$  值最大, 分别达到  $0.440$  和  $0.438$ , 最小的是第四纪红色粘土发育的红色土, 其值只有  $0.104$ , 不到紫色土  $K$  值的  $1/4$ 。

表 3 自然降雨条件下田间实测的土壤可蚀性  $K$  值

Table 3 Soil erodibility factor  $K$  measured with field plots under natural rainfall condition

小区号 Plot	LS	1992(5—12月)			1993			1994		
		未破除结壳			未破除结壳			破除结壳		
		With crusting			With crusting			Without crusting		
		$R$	$A$ (泥沙) Soil loss	$K$	$R$	$A$ (泥沙) Soil loss	$K$	$R$	$A$ (泥沙) Soil loss	$K$
9	0.47	392	27.5	0.067	459	24.8	0.051	297	32.4	0.104
10	0.45	392	24.6	0.061	459	56.5	0.123	297	82.9	0.277
11	0.39	392	27.3	0.080	459	41.4	0.103	297	59.1	0.228
12	0.44	392	36.0	0.093	459	58.2	0.129	297	67.8	0.232
13	0.43	392	78.5	0.208	459	91.0	0.206	297	125.2	0.438
14	0.49	392	82.5	0.192	459	101.7	0.202	297	143.5	0.440
15	0.43	392	34.0	0.090	495	82.3	0.186	297	73.3	0.256

单位:  $R$  值为  $17\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{hr}$ ,  $A$  为  $\text{t} / \text{ha}$ ,  $K$  值为  $0.132T \cdot \text{hr} / \text{MJ} \cdot \text{mm}$ 。

### 3.3 二种不同方法估算和田间实测所求得土壤可蚀性 $K$ 值的比较

前面讨论了用二种不同方法估算和田间实测七种不同类型土壤的可蚀性  $K$  值(表 4),

表 4 二种不同方法实测和估算的土壤可蚀性 $K$ 值的比较Table 4 Comparison between estimated and measured soil erodibility factor  $K$  by two different methods

小区号 Plot	9	10	11	12	13	14	15
土壤类型	红色土	粘淀红壤	粘淀红壤	普通红壤	普通红壤	紫色土	准红壤
$K_1$ (自然降雨)	0.104	0.277	0.228	0.232	0.438	0.440	0.256
$K_2$ (诺谟图法)	0.31	0.26	0.31	0.22	0.24	—	0.22
$ K_1 - K_2 $	0.206	0.017	0.082	0.012	0.198	—	0.036
相对误差(%)	198	6.1	36.0	5.2	45.2	—	14.1

它的求取应该以自然降雨破除结壳条件下田间实测所求得的  $K$  值为基准,因此,我们把这种条件下田间实测所求得的土壤可蚀性  $K$  值与用诺谟图方法估算的  $K$  值作一比较,以便评价诺谟图方法在我国亚热带地区的适用性。从表 4 可见,12 号红砂岩发育的普通红壤和 10 号第四纪红色粘土发育的耕种粘淀红壤用诺谟图方法所估算的  $K$  值略低于田间实测所求得的  $K$  值,其相对误差均小于 10%,因此,这两类土壤可以用诺谟图的方法来估算其  $K$  值。15 号花岗岩发育的准红壤用诺谟图方法所估算的  $K$  值与田间实测的  $K$  值已有较大的差异,其差值为 0.036,误差已超过 10%,达到 14.1%。9 号和 11 号第四纪红色粘土发育的红色土和粘淀红壤以及 13 号红砂岩发育的耕种普通红壤用诺谟图方法所估算的  $K$  值与田间实测的  $K$  值相差很大,其中 9 号红色土相差已达 0.206,因此,这三类土壤不能直接用诺谟图的方法来估算其  $K$  值。14 号紫色土由于其粉砂含量超过 70%,故也不能用诺谟图方法来估算其  $K$  值。这表明国际上十分流行的用诺谟图估算土壤可蚀性  $K$  值的方法对我国亚热带的多数土壤并不合适。

## 参 考 文 献

- 1 史学正,邓西海,1993:土壤可蚀性研究现状及展望。中国水土保持,第 5 期,25—29 页。
- 2 田积莹等,1964:子午岭连家乏地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性指标的初步研究。土壤学报,第 12 卷 3 期,286—296 页。
- 3 史德明,1983:中国红壤。37—153 页,科学出版社。
- 4 王佑民等,1994:黄土高原土壤抗蚀性的研究。水土保持学报,第 8 卷 4 期,11—16 页。
- 5 史学正等,1995: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,第 9 卷 3 期,38—42 页。
- 6 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组等,1991:中国土壤系统分类(首次方案)。1—120 页,科学出版社。
- 7 陈法扬等,1992:通用土壤流失方程在小良水土保持试验站的应用。水土保持通报,第 12 卷 1 期,23—41 页。
- 8 马志尊,1989:应用卫星影象估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨。中国水土保持,第 3 期,24—27 页。
- 9 Wischmeier, W. H. et al., 1978: Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. Agriculture Handbook 537. USDA, Washington, D. C. pp.1—58.
- 10 Wischmeier, W. H. et al., 1971: A soil erodibility nomograph farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation 26: 189—193.
- 11 Lal, R., 1990: Soil Erosion in the Tropics. R. R. Connelley & Sons Company. pp. 1—580.
- 12 Morgan, R. P. C. 1986: Soil Erosion and Conservation. Longman Scientific Technical.

## SOIL ERODIBILITY FACTOR $K$ AS STUDIED USING FIELD PLOTS IN SUBTROPICAL CHINA

Shi Xuezheng Yu Dongsheng and Xing Tingyan

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)*

J. Breburda

*(Institute of Soil Science and Soil Conservation, Justus-Liebig-University, Giessen, Germany)*

### Summary

In the work soil erodibility factor  $K$  of seven different types of soil in subtropical China was studied using field plots under natural rainfall condition. The field plots were established in Yingtan of Jiangxi Province. The results showed that there were great differences among soil erodibility factor  $K$  of seven different types of soils. Among them calcaric regosols developed on purple shale and cultivated cambisol on red sandstone had the highest factor  $K$ , being up to 0.440 and 0.438 (0.132 k.hr / MJ. mm) respectively. The lowest was eroded acrisols derived from Quaternary red clay, with factor  $K$  of only 0.104, being less than 1 / 4 of the factor  $K$  value of purple soil. The soil erodibility factor  $K$  of seven types of soils were also estimated by using the Wischmeier's nomography. These results showed that the factor  $K$  values of two types of soils estimated by the nomography were close to those measured using field plots, one of the seven types of soils had a bigger difference between the factor  $K$  obtained by the above two methods, three had a big difference, and one couldn't be estimated by the nomography. Therefore, the nomograph method for estimating soil erodibility factor  $K$  was almost unsuitable for the soil types in subtropical China.

**Key words** Soil erodibility, Factor  $K$ , Nomograph, Subtropical China