

# 中国土壤可蚀性值及其估算\*

张科利<sup>1</sup> 彭文英<sup>2</sup> 杨红丽<sup>1</sup>

(1 北京师范大学地理与遥感科学学院, 北京 100875)

(2 首都经贸大学城市学院, 北京 100070)

**摘要** 土壤可蚀性是评价土壤对侵蚀敏感程度的重要指标,也是进行土壤侵蚀预报的重要参数。本文运用野外观测资料,研究了我国不同水土流失区的土壤可蚀性值问题。根据实测资料,计算给出了一组土壤可蚀性实测值。并利用这组实测值,对我国土壤可蚀性估算问题进行了探讨。结果表明,国外现有的可蚀性估算模型不能直接应用于我国土壤的可蚀性计算,估算值明显大于实测值。但估算值与实测值之间存在有良好的线形关系。最后提出了我国不同地区及不同资料占有情况下的土壤可蚀性估算方法。本文研究结果可以直接用于我国土壤侵蚀预报中土壤可蚀性计算。

**关键词** 土壤可蚀性;  $K$  值估算; 土壤侵蚀; 侵蚀预报

**中图分类号** S157.1 **文献标识码** A

水土流失是世界性的环境问题之一,同时也是其他许多环境问题日趋严重的诱因。为了有效地防治水土流失,需要深入开展土壤侵蚀及其环境效应的定量评价研究。土壤可蚀性是表征土壤性质对侵蚀敏感程度的指标,是进行土壤侵蚀和水土流失定量评价的重要依据。因此,关于土壤可蚀性的研究,一直是国内外学者关注的重要领域。国外从20世纪30年代开始研究土壤性质与侵蚀的关系,我国也从50年代开始了这方面的工作,在土壤可蚀性的研究方面取得了不少成果。关于土壤可蚀性研究,大体上可以分作三个阶段:土壤可蚀性评价指标确定、美国通用流失方程(USLE)中 $K$ 值的测定和估算、土壤可蚀性指标的时空变化及不确定性分析。Ben-nent<sup>[1]</sup>研究了土壤硅铁铝率与土壤侵蚀的关系,并提出了相应的分级标准。Middleton<sup>[2]</sup>指出土壤浸湿热的大小与土壤侵蚀率的高低成正比。Bouyoucos<sup>[3]</sup>则研究了土壤质地与侵蚀程度的定量关系。朱显谟<sup>[4]</sup>是我国最早研究土壤性质对侵蚀影响作用的学者,他将土壤影响作用分为抗冲性和抗蚀性,并测定了土壤的膨胀系数和分散速度等性质与侵蚀的关系。田积莹等<sup>[5]</sup>、史德明等<sup>[6]</sup>等通过研究土壤物理性质与侵蚀的关系,对土壤可蚀性指标进行了评价。朱显谟<sup>[7]</sup>、李勇等<sup>[8]</sup>通过抗冲槽试验和索波列夫抗

冲仪,测定了黄土的相对抗冲性指标。周佩华等<sup>[9]</sup>、吴普特等<sup>[10]</sup>分别尝试了用小区资料对黄土的可蚀性进行分析计算,他们将单位径流深所引起的侵蚀模数作为土壤抗冲性强弱的指标。

虽然上述学者从不同方面研究了土壤性质与土壤侵蚀的关系,提出了一些量化评价指标,但真正具有预报价值的指标是由Olson和Wischmeier<sup>[11]</sup>于1963年提出的土壤可蚀性 $K$ 指标,即用标准小区上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量多少来表征土壤性质对侵蚀的影响作用大小。围绕土壤可蚀性 $K$ 值的测定与估算,Smith<sup>[12]</sup>、Young和Mutchler<sup>[13]</sup>、Romkens等<sup>[14]</sup>学者根据其研究结果,各自提出了适用于不同条件的土壤可蚀性值估算式。美国学者Calvin等<sup>[15]</sup>、意大利学者Zanchi<sup>[16]</sup>通过研究土壤可蚀性的季节变化,提出了用月平均气温计算土壤可蚀性值逐月变化的公式。Ei-Swaify等<sup>[17]</sup>和日本学者细山田<sup>[18]</sup>建议在进行USLE应用推广时,按干湿季的不同分别计算可蚀性值。Bajracharya等<sup>[19]</sup>的研究表明,土壤可蚀性值变化同降雨侵蚀力的相关性很小。Rejman等<sup>[20]</sup>对波兰东南部黄土带土壤可蚀性的时间空间变化做了统计分析,表明土壤可蚀性值大小与土壤含水量密切相关。Wall等<sup>[21]</sup>的研究指出,土壤可蚀性季节变化与土壤性质的季节变化

\* 国家自然科学基金项目(40271072, 40235056)资助

作者简介:张科利(1962~),男,陕西宝鸡人,教授,博士生导师,研究方向为土壤侵蚀和水土保持,已发表论文60余篇

收稿日期:2005-09-11;收到修改稿日期:2006-04-24

密切相关。从 20 世纪 90 年代初以来,我国许多学者也按照 USLE 的思路,先后对内蒙古、黑龙江、广东、福建、江西、辽宁、云南等地主要土壤的可蚀性进行了观测研究<sup>[22-29]</sup>,得到了一些土壤的可蚀性值,在土壤可蚀性值估算方面也进行过尝试。经过几十年的努力,虽然我国在土壤性质对侵蚀的影响作用评价方面取得了一些进展,但目前仍存在很多问题。评价土壤可蚀性的指标多种多样,测算土壤可蚀性值的径流小区和降雨侵蚀力  $R$  值的计算方法也不尽统一,在有些研究中甚至出现降雨侵蚀力和土壤可蚀性指标单位的错误。同时,由于没有一组统一规范指导下的土壤可蚀性指标实测值,许多关于土壤可蚀性值估算的研究尚缺乏验证。所有这些问题的存在,不仅引起了我国土壤可蚀性研究的混乱,极大地妨碍了土壤侵蚀预报研究的进程,而且在很大程度上也限制了与国外同类研究的比较和交流。本文在分析布设在我国东部不同水土流失区小区实测资料的基础上,对我国土壤可蚀性值问题进行了系统研究,观测计算了一组土壤可蚀性  $K$  值,并对无实测资料地区土壤可蚀性估算问题进行了探讨。其结果对我国土壤可蚀性研究向规范性和系统性发展,以及土壤侵蚀预报工作的推进都有重要意义。同时,这组实测值也可为我国不同地区的土壤可蚀性估算研究提供了一个尺度上的参照。

## 1 资料与方法

### 1.1 土壤可蚀性 $K$ 值的测定

土壤可蚀性  $K$  是美国通用流失方程 (USLE) 中评价土壤对侵蚀影响作用的因子,是与其他诸因子匹配使用的定量指标。因此,要得到统一的、具有可比性的土壤可蚀性  $K$  值,必须明确标准小区和统一降雨侵蚀力的计算。美国 USLE 中定义的标准小区为坡长 22.13 m,坡度为 9%,连续保持清耕休闲状态的小区。根据中国水土流失严重区的地形条件、农作习惯,同时考虑我国现有资料的坡度范围等,作者曾讨论过中国的标准小区问题,建议采样坡长 20 m、坡度 15% 的清耕休闲小区作为土壤侵蚀预报研究的标准小区<sup>[30, 31]</sup>。经过几年的观测实践,考虑到区域地形特征的差异,建议在东北黑土区可以采用 USLE 中定义的标准小区规范,以便于观测小区的布设。只是在计算土壤可蚀性  $K$  值时需要交待清楚,以便统一订正。

### 1.2 土壤可蚀性 $K$ 值的计算

根据 USLE 中的定义,土壤可蚀性  $K$  值是标准小区上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量。USLE 的表达式为:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中: $A$  为单位面积上多年的平均土壤流失量, $R$  为降雨侵蚀力因子, $K$  为土壤可蚀性因子, $L$  为坡长因子, $S$  为坡度因子, $C$  为覆盖-管理因子, $P$  为水土保持措施因子<sup>[32]</sup>。根据 USLE 的构建原理和各因子的定义取值,在标准小区上,土壤可蚀性指标值可以根据下式直接计算:

$$K = \frac{A}{R} \quad (2)$$

若观测小区不是标准小区,需要首先对观测资料予以订正,然后再经过上述程序计算土壤可蚀性  $K$  值。在资料订正时,如果小区坡长不是标准小区要求的坡长坡度,采用以下公式对坡度和坡长进行订正。

坡度  $S$  采用刘宝元等<sup>[32]</sup>提出的陡坡公式:

$$S = 21.91 \sin - 0.96 \quad (3)$$

坡长  $L$  采用 USLE 中的公式:

$$L = \left[ \frac{-}{20} \right]^m \quad (4)$$

其中, $m$  为系数。当坡度大于 5%, $m = 0.5$ ;当坡度介于 3.5~4.5 之间时, $m = 0.4$ ;当坡度介于 1~3 之间时, $m = 0.3$ ;当坡度小于 1% 时, $m = 0.2$ 。

如果实际小区处理不是标准小区要求的完全裸露地,需要根据实际观测确定的覆盖因子 ( $C$ ) 或水土保持因子 ( $P$ ) 值予以订正,然后再计算土壤可蚀性  $K$  值。为了便于与国外同类研究比较,本文在计算土壤可蚀性值时,先将土壤流失量资料统一订正到 USLE 标准小区规范上,再计算可蚀性值大小。

### 1.3 观测小区及资料获取

由于中国水土流失类型多样,土壤类型众多,建立土壤可蚀性值数据库是十分艰巨的工作。为了获得中国水土流失严重区土壤可蚀性  $K$  值,我们分别在东北黑土区的黑龙江 93 农场和宾县、北方土石山区的密云、西北黄土高原的陕西绥德、西南石质山区四川绥宁和南方红壤丘陵区福建安溪建立了 6 个观测点,分别建立了坡长为 20 m,坡度为 15% 和 5% (93 农场) 的观测小区,同步观测不同土壤的水土流失。每次降雨过后,即时观测径流并采集泥沙样,计算土壤侵蚀量。用自记雨量器记录降雨过程,计算降雨侵蚀力。由于观测期间宾县和绥德两地的产流次数太少,文中使用了前人的观测资料。另外,在本研究

中除了绥德、子洲和离石站外,其他各地全为裸露小区。对于这三个站  $C$  的取值,根据张岩等对安塞站作物覆盖的研究结果<sup>[35]</sup>,农地平均  $C$  值为 0.517,考虑到绥德、子洲和离石的降水情况,本研究中绥德和子洲两站  $C$  值取安塞侵蚀较大的荞麦地  $C$  值 0.74,离石站则取 0.5 来订正。对于所引用的前人研究结果,都订正到了统一的标准小区上。

## 2 中国主要土壤的可蚀性 $K$ 值

### 2.1 中国部分土壤可蚀性实测值

土壤可蚀性指标值是进行土壤侵蚀预报的必要

依据,野外小区观测是获取不同土壤可蚀性值的主要途径。而且,建立我国土壤可蚀性值基本数据库也是开展侵蚀预报的基础工作。但由于我国幅员辽阔,土壤类型多样,在每一种土壤上都建立观测小区显然也不现实。为此,可以通过对不同地区典型土壤进行的同步观测,获取一组土壤流失资料,计算土壤可蚀性实测值,建立土壤可蚀性基本控制点,再推广到其他土壤类型。因此,获取一组土壤可蚀性实测值是我国土壤可蚀性及侵蚀预报研究的必要步骤。根据我们布设在不同水土流失区的小区观测数据,结合以往有关站点的观测资料,计算中国代表性土壤的可蚀性  $K$  值如表 1。

表 1 中国部分土壤实测可蚀性  $K$  值

Table 1 Soil erodibility values for soils in China

侵蚀类型区 Soil erosion areas	土壤类型 Soil type	位置 Site	小区状况 Plot conditions	$K$ 值 $K$ value	资料年限 Period
东北黑土区 Black soil region of Northeast China	典型黑土 Typical black soil	鹤山 Heshan	9%, 20 m 裸地 Bare land	0.038 1	2002 ~ 2003
	白浆土 Albic bleached soil	宾县 Binxian	9%, 20 m 裸地 Bare land	0.021 0	1985 ~ 1989
	棕壤 Brown earth	西丰 Xifeng	10.5% ~ 26.8%, 20 m 裸地 Bare land	0.009 7	1980 ~ 1990
北方土石山区 Earth-rocky mountains of North China	粗骨褐土 Fragmental cinnamon soil	密云 Miyun	26.8%, 20 m 裸地 Bare land	0.001 8	2001 ~ 2003
黄土高原地区 Loess Plateau of Northwest China	黄绵土 Cultivated loessial soil	皇甫川 Huangfuchuan	10.5%, 20 m 裸地 Bare land	0.016 6	1987 ~ 1989
	黄绵土 Cultivated loessial soil	子洲 Zizhou	40.4%, 60.3%, 20 m 农地 Farm land	0.018 6	1964 ~ 1967
	黄绵土 Cultivated loessial soil	绥德 Suide	25.5%, 20 m 农地 Farm land	0.023 4	1956 ~ 1958
	黄绵土 Cultivated loessial soil	安塞 Ansai	8.7% ~ 53.2%, 20 m 裸地 Bare land	0.009 2	1985 ~ 1989
	黄绵土 Cultivated loessial soil	离石 Lishi	8.7% ~ 57.7%, 20 m 农地 Farm land	0.015 6	1957 ~ 1964
西南石质山区 Lithic mountains of Southwest China	紫色土 Purplish soil	绥宁 Suining	26.8%, 20 m 裸地 Bare land	0.019 1	1999 ~ 2002
南方红壤丘陵 Red soil hilly region of South China	红壤 Red earths	安溪 Anxi	24.9%, 16.67 m 裸地 Bare land	0.007 3	1999 ~ 2002
	砖红壤 Latosols	岳西 Yuxi	32.5%, 36.4%, 20 m 裸地 Bare land	0.001 8	1984 ~ 1991

注:表中可蚀性  $K$  值单位为国际制  $t\text{ hm}^{-2}\text{ h hm}^{-2}\text{ Mj}^{-1}\text{ mm}^{-1}$ , 标准小区为 USLE 规范。国际制  $\times 7.59 =$  美制单位 Note: The table uses the metric system,  $t\text{ hm}^{-2}\text{ h hm}^{-2}\text{ Mj}^{-1}\text{ mm}^{-1}$ , for unit of erodibility value, and the standard plot is designed as is required by USLE. One metric unit times 7.59 equals one U. S. customary unit of tons acre h/ (hundred acre ft ton in)

## 2.2 中国土壤可蚀性 $K$ 值变化规律

就所研究的土壤类型而言,我国土壤可蚀性  $K$  值变化于 0.001~0.04 之间,且相对集中于 0.007~0.02。东北黑土区的黑土、白浆土和黄土高原地区的黄绵土,以及四川盆地的紫色土分别为可蚀性值较高的土壤。南方红壤丘陵区的砖红壤、红壤,北方土石山区的粗骨褐土等土类的可蚀性值相对较小。另外,就一个地区而言,土壤可蚀性值大小也会因土壤性质的差别有很大变化,如同属黄土高原的西安塞和山西离石等地的土壤可蚀性值要比北部地区小。美国通用流失方程中公布的主要土壤类型的可蚀性值变化于 0.004~0.091 之间,且比较集中于 0.03~0.05 之间。与美国相比,我国土壤可蚀性  $K$  值普遍偏小。究其原因,一方面我国与美国在计算降雨侵蚀力时采用的侵蚀性降雨标准略有差异,同样一场降雨侵蚀力计算结果不同。另一方面我国的径流小区一年内观测时间不够长,基本上没有冬季资料。再一方面是我国大部分地区都是横坡耕作,而美国基本上为顺坡耕作。由于这些差异的存在,使得我国土壤可蚀性计算值普遍偏小。我国土壤可蚀性值大小与美国实测值这种明显差异的存在,提醒我们在建立适合中国条件的侵蚀预报模型时,对美国已有的研究成果首先需要用实测值来验证,不能直接照搬,否则,预测结果将会误差很大。

## 3 土壤可蚀性 $K$ 值的估算及应用

由于自然界存在的土壤类型多种多样,对每一种土壤都实施观测,确定其可蚀性值大小不论从人力物力,还是时间上都很难实现。因此,在获取一组可靠的土壤可蚀性实测值以后,应该研究其估算问题。关于土壤可蚀性值的估算研究,国内外已有许多成果。但由于国外土壤可蚀性实测值与我国实测值之间存在明显的差异,国外关于土壤可蚀性估算的研究成果不能直接在我国使用。国内相关研究又多缺乏实测资料的验证,或者只是一个观测点的结果。因此,目前我国仍没有一个从根本上解决土壤可蚀性值估算的方法。

### 3.1 土壤可蚀性 $K$ 值估算

对于我国土壤可蚀性的估算问题,最简捷的方法就是参照国外的研究成果,用我国的实测资料进行验证。如果计算精度可行,就可以修订使用。如果国外已有研究成果经修订仍不适用于我国的土壤类型,再考虑根据我国的数据资料建立估算公式。

为此,我们首先考虑用土壤可蚀性实测值来验证已有的估算公式。

尽管关于土壤可蚀性值估算的研究很多,但具有代表性的成果为 Wischmeier 等提出的方法、EPIC<sup>[33]</sup>模型中的计算方法,以及 Shirazi 等所建立的公式<sup>[34]</sup>。

Wischmeier 等选用粉粒+极细砂粒含量、砂粒含量、有机质含量、结构和入渗 5 项土壤特性指标,通过分析其与土壤可蚀性因子  $K$  值之间的关系,提出了土壤可蚀性  $K$  值估算公式(5)。

$$K = [2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - OM) + 3.35(s - 2) + 2.5(p - 3)] / 100 \quad (5)$$

式中, $M$  为美国粒径分级制中的(粉粒+极细砂)%与(100-粘粒)之积, $OM$  为土壤有机质含量, $s$  为结构系数, $p$  为渗透性等级。

EPIC 模型中,采用考虑土壤有机碳和粒径组成资料的公式(6)来估算土壤可蚀性值。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[0.0256 SAN(1 - SL/100)] \left[ \frac{SL}{CLA + SL} \right]^{0.3} \left[ 1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \left[ 1.0 - \frac{0.7SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9SN1)} \right] \} \quad (6)$$

式中, $SAN$ 、 $SL$ 、 $CLA$  为砂粒、粉粒、粘粒含量, $C$  则为土壤有机碳含量(%), $SN1 = 1 - SAN/100$ 。由于在使用公式(5)和公式(6)来估算土壤可蚀性时,需要粒径组成、有机质、土壤入渗等多种资料,在没有任何资料的情况下,Shirazi 等建议可用只考虑几何平均粒径( $D_g$ )的公式(7)来计算土壤可蚀性。

$$K = 7.954 \left\{ 0.0017 + 0.0494 \exp \left[ - \frac{1}{2} \left[ \frac{\log(D_g) + 1.675}{0.6986} \right]^2 \right] \right\} \quad (7)$$

根据公式(5)~公式(7)的要求,对表 1 中 10 种土壤(鹤山、岳西和怀柔无土壤性质数据资料)的粒径组成、有机质含量、透水特性和结构等级等土壤性质数据进行收集和整理,分别用公式(5)~公式(7)计算了所观测土壤的土壤可蚀性值  $K_{\text{nomo}}$ 、 $K_{\text{epic}}$  和  $K_{\text{formlar}}$ 。用估算值与对应的实测值绘制 1:1 线图,得到图 1。图中散点分布趋势表明,对所研究的土壤类型而言,不论用哪一个估算公式,其结果都是估算值远远大于实测值。说明在美国土壤流失预报时所采用的土壤可蚀性值估算公式都不能直接应用于我国土壤的可蚀性值计算。这一结果与史学正研究南方土壤可蚀性后的结论相同<sup>[36]</sup>。

但是,仔细分析各公式计算点的变化发现,尽管

图 1 中关系点都偏离 1:1 线,但各类计算点都表现出一定的规律性。为了进一步分析估算值与实测值之间的关系,改变横坐标范围得图 2,显示除计算值  $K_{\text{nomo}}$ 与实测值关系图中有两个点偏离较大外,其他两个公式的估算结果与实测值之间存在一定的线形关系。对  $K_{\text{nomo}}$ 与实测值关系图作进一步分析发现,两个偏离点分别为位于东北的黑龙江宾县的白浆土和辽宁西丰的棕壤。考虑到东北地区独特的自然地理环境特征,冻融过程对侵蚀的影响作用显著,必然也就影响到东北地区土壤对侵蚀的响应过程,使水土流失强度与其影响因素之间的关系复杂化,应该单独分析。为此,先将白浆土和棕壤资料剔除再作相关统计分析,得到以下 3 个估算值与实测值之间的关系式:

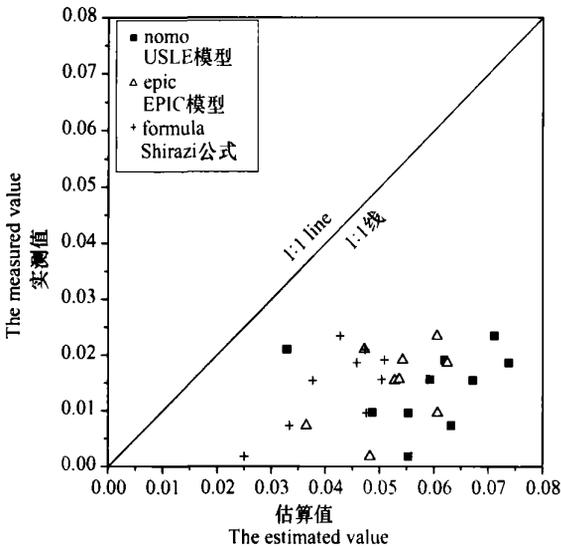


图 1 土壤可蚀性实测值和估算值 1:1 线图

Fig. 1 Comparison between simulated values and measured values of soil erodibility

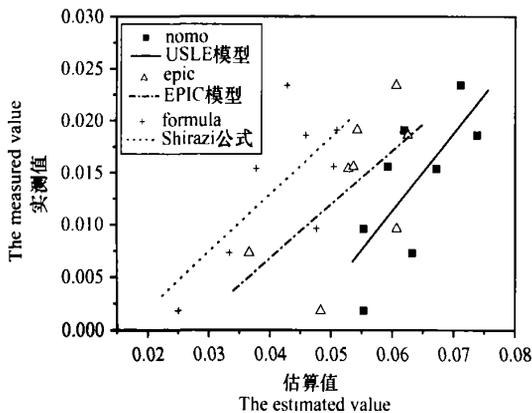


图 2 土壤可蚀性实测值和估算值拟合关系图

Fig. 2 Fitting of observed values to estimated values of soil erodibility

$$K = -0.03336 + 0.74488 K_{\text{nomo}} \quad (8)$$

$$r = 0.721, p = 0.043$$

$$K = -0.01383 + 0.51575 K_{\text{epic}} \quad (9)$$

$$r = 0.613, p = 0.106$$

$$K = -0.00911 + 0.55066 K_{\text{formula}} \quad (10)$$

$$r = 0.705, p = 0.051$$

各关系式的相关系数大小表明,除用 EPIC 模型中的公式(6)估算值相关性稍差外,在不考虑东北地区的我国东部其他地区,用公式(5)和用公式(7)计算的可蚀性值与实测值之间的相关性大体相当,且具有较好的相关性。这一结果表明,尽管用公式(5)~公式(7)计算的土壤可蚀性值与实测值大小相差甚远,但通过公式(8)~公式(10)修正后仍可以用作我国东部地区土壤可蚀性值的估算。可以根据掌握的资料选择使用,为土壤侵蚀预报服务。

### 3.2 中国土壤可蚀性 K 值应用

土壤可蚀性 K 值是土壤侵蚀预报中的重要参数,取值精度直接关系到侵蚀量预报值的准确程度。首先考虑选择在土壤性质资料较全时,可用公式(5)计算,再将计算值代入公式(8)计算土壤实际可蚀性大小。在只有土壤粒径组成资料时,就可以考虑先用公式(7)计算一个  $K_{\text{formlar}}$ ,再代入关系式(10)计算土壤实际的可蚀性值大小。对于东北地区的土壤,在没有建立精确的估算公式以前,建议采用公式(7)和公式(10)来计算土壤可蚀性值大小。有了土壤可蚀性实测值和估算值之间的关系式(8)~(10),就可以根据第二次土壤普查资料来估算没有实测数据地区的土壤可蚀性值大小。再结合全国降雨侵蚀力等直线图,对不同地区的水土流失量做出估算。

## 4 结 论

土壤可蚀性是进行土壤流失预报的基础数据,可蚀性指标值的准确与否直接关系到土壤侵蚀预报精度。本文运用不同地区的小区实测资料,研究计算了不同水土流失区的土壤可蚀性值大小,得到以下结论:

1) 我国土壤可蚀性 K 值变化于 0.001 ~ 0.04 之间,且相对集中于 0.007 ~ 0.02。黑土、白浆土和黄绵土,以及紫色土的可蚀性值较高。砖红壤、红壤、粗骨褐土等土壤的可蚀性值相对较小。

2) 与美国相比,我国土壤可蚀性 K 值普遍偏小,国外现有的土壤可蚀性估算方法不能直接应用

于我国的土壤可蚀性值估算。

3) 用 Wischmeier 等、EPIC 模型, 以及 Shirazi 等所建立的公式计算的可蚀性值与实测值之间具有良好的线形关系, 通过修正转换, 可以用于我国的土壤可蚀性值估算。

## 参考文献

- [1] Bennett H H. Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. *Soil Sci.*, 1926, 21:349~375
- [2] Middleton H E. Properties of soils which influence erosion. *USDA Tech. Bull.* 178, 1930
- [3] Bouyoucos G J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1935, 27:738~741
- [4] 朱显谟, 张相麟, 雷文进. 泾河流域土壤侵蚀现象及其演变. *土壤学报*, 1954, 2(4):209~222. Zhu X M, Zhang X L, Lei W J. Soil erosion and its evolution in Jinghe watershed (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1954, 2(4):209~222
- [5] 田积莹, 黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究. *土壤学报*, 1964, 12(3):278~296. Tian J Y, Huang Y D. Primary study on relationship between erodibility factor and soil characteristic in Ziwuling mountain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1964, 12(3):278~296
- [6] 史德明, 杨艳生, 姚宗虞. 土壤侵蚀调查方法中的侵蚀实验研究和侵蚀量测定问题. *中国水土保持*, 1983, 6:21~22. Shi D M, Yang Y S, Yao Z Y. Experimental method and soil loss determination in soil erosion investigation (In Chinese). *Chinese Journal of Soil and Water Conservation*, 1983, 6:21~22
- [7] 朱显谟. 黄土地区植被因素对于水土流失的影响. *土壤学报*, 1960, 8(2):110~121. Zhu X M. Impact of vegetation on soil loss (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1960, 8(2):110~121
- [8] 李勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究. *水土保持学报*, 1990, 4(1):1~16. Li Y, Wu Q X, Zhu X M, et al. A study on soil anti-scourability increased by root system of plant in the Loess Plateau (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, 4(1):1~16
- [9] 周佩华, 武春龙. 黄土高原土壤抗冲性的实验研究方法探讨. *水土保持学报*, 1993, 7(1):29~34. Zhou P H, Wu C L. The research method of soil anti-scourability experiment in Loess Plateau (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(1):29~34
- [10] 吴普特, 周佩华, 郑世清. 黄土沟壑区土壤抗冲性的研究. *水土保持学报*, 1993, 7(3):19~36. Wu P T, Zhou P H, Zheng S Q. Study on soil anti-scourability in the hilly-gullied loess plateau (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(3):19~36
- [11] Olson T C, Wischmeier W H. Soil erodibility evaluation for soils on the runoff and erosion stations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1963, 27(5):590~592
- [12] Smith D D. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agric. Eng.*, 1941, 22:173~175
- [13] Young R A, Mutchler C K. Erodibility of some Minnesota soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1977, 32:180~182
- [14] Romkens M J M, Roth C B, Nelson D W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1977, 41:954~960
- [15] Calvin K M, Cade E C. Soil erodibility variation during the year. *Transactions of the ASAE*, 1983, 26(5):1102~1104
- [16] Zanchi C. Influenza dell'azione battente della pioggia edei rescellamento nel processo erosivo e variazioni dell'erodibilita del suolo nei diversi periodi atagionali. *Annali Istituto Sperimentale Studio e Difesa Suolo*, 1983, 14:347~358
- [17] E-Swaify S A, Dangler E W. Erodibilities of selected tropical in relation to structural and hydrologic parameters. In: *Soil Erosion: Prediction and Control*. Ankeny, Iowa, 1976. 105~114
- [18] Hosoyamada K. The effects of rainfall and soil properties on farmland conservation. *Irrig. Eng. and Rural Planning Jpn. Soc. Irrig. and Reclamation Eng.*, 1986, 9:5~14
- [19] Bajracharya R M, Lal R. Seasonal soil loss and erodibility variation on a Miamian silt loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 56:1560~1565
- [20] Rejman J, Turksi R, Paluszek J. Spatial and temporal variations in erodibility of loess soil. *Soil and Tillage Research*, 1998, 46:61~68
- [21] Wall G J, Dickinson W T, Rudra R P, et al. Seasonal soil erodibility variation in Southwestern Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, 1988, 68:417~424
- [22] 金争平, 史培军, 侯福昌, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式. 北京:海洋出版社, 1992. Jin Z P, Shi P J, Hou F C, et al. *Soil Erosion Model and Control Method in Huangfuchuan Watershed* (In Chinese). Beijing: Ocean Press, 1992
- [23] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究. *水土保持通报*, 1992, 12(4):1~9. Zhang X K, Xu J H, Lu X Q, et al. A study on the soil loss equation in Heilongjiang Province (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1992, 12(4):1~9
- [24] 杨艳生, 史德明. 关于土壤流失方程中  $K$  因子的探讨. *中国水土保持*, 1982, 4:39~42. Yang Y S, Shi D M. Study on soil erodibility factor in USLE (In Chinese). *Chinese Journal of Soil and Water Conservation*, 1982, 4:39~42
- [25] 陈明华, 周福建, 黄炎和, 等. 土壤可蚀性因子的研究. *水土保持学报*, 1995, 9(1):19~24. Chen M H, Zhou F J, Huang Y H, et al. Study on the soil erodibility factor (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(1):19~24
- [26] 史学正, 于东升, 吕喜玺. 用人工模拟降雨仪研究我国热带土壤可蚀性. *水土保持学报*, 1995, 9(3):38~42. Shi X Z, Yu D S, Lu X X. Study on soil erodibility by using rainfall simulator in subtropic China (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(3):38~42
- [27] 林素兰, 黄毅, 聂振刚, 等. 辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立. *土壤通报*, 1997, 28(6):251~253. Lin S L, Huang Y, Nie Z G, et al. Soil loss equation for hilly areas of North-

- ern Liaoning Province (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(6):251~253
- [28] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究. 水土保持通报, 1999, 19(1):1~9. Yang Z S. Study on soil loss equation of cultivated slopland in Northeast mountain region of Yunnan Province (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 1999, 19(1):1~9
- [29] 蒋定生, 李新华, 范兴科, 等. 论晋陕蒙接壤地区土壤的抗冲性与水土保持措施体系的配置. 水土保持学报, 1995, 9(1):1~7. Jiang D S, Li X H, Fan X K, *et al.* Discussion on soil anti-scouring properties and arrangement of soil and water conservation measure system in the contiguous areas of Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 9(1):1~7
- [30] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用. 自然资源学报, 1999, 14(4):345~350. Liu B Y, Zhang KL, Jiao J Y. Soil erodibility and its use in soil erosion prediction model (In Chinese). Journal of Natural Resources, 1999, 14(4):345~350
- [31] 张科利, 刘宝元, 蔡永明. 土壤侵蚀预报研究中的标准小区问题论证. 地理研究, 2000, 19(3):297~302. Zhang KL, Liu B Y, Cai Y M. Study on unit plot used in soil loss prediction in China (In Chinese). Geographical Research, 2000, 19(3):297~302
- [32] 刘宝元, 张科利, 谢云. 土壤侵蚀模型. 北京:中国科学技术出版社, 2001. Liu B Y, Zhang KL, Xie Y. Soil Loss Prediction Model (In Chinese). Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2001
- [33] United States Department of Agriculture. EPIC-Erosion/ Productivity Impact Calculator 1. Model Documentation. Technical Bulletin Number 1768, Washington D. C., USDA-ARS, 1990
- [34] Shirazi M A, Boersma L. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48:142~147
- [35] 张岩, 刘宝元, 史培军, 等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算. 生态学报, 2001, 21(7):1050~1056. Zhang Y, Liu B Y, Shi P J, *et al.* Crop cover factor estimating for soil loss prediction (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7):1050~1056
- [36] 史学正, 于东升. 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. Shi X Z, Yu D S. Erodibility values for soils in subtropical zone of China based on field plots (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(4):399~405

## SOIL ERODIBILITY AND ITS ESTIMATION FOR AGRICULTURAL SOIL IN CHINA

Zhang Keli<sup>1</sup> Peng Wenyong<sup>2</sup> Yang Hongli<sup>1</sup>

(1 School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(2 Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

**Abstract** Soil erodibility is an important indicator to evaluate soil susceptibility to erosion, and an important parameter in soil erosion prediction. A study was carried out on the issue of soil erodibility values of different soil erosion regions in China using the data obtained from field observation of plots. A set of soil erodibility values were calculated using field data, and used to analyze feasibility of estimating erodibility of the soils in China. Results show that the soil erodibility estimation models now available from other countries could not be used directly in estimating soil erodibility in China, but there was a fine linear relationship between estimated values and measured values, though the former were obviously higher than the latter. A new method is advanced for estimating soil erodibility of the soils in China despite of difference in geographic region and availability of data. The results of the research could be directly used in prediction of soil erosion in China.

**Key words** Soil erodibility;  $K$  factor estimation; Soil erosion; Soil loss prediction