

# 不同尺度域的侵蚀模数

张信宝<sup>1,2</sup>, 贺秀斌<sup>1</sup>, 文安邦<sup>1</sup>, 齐永青<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 概述了点、地块、坡面、流域、区域等不同尺度域侵蚀模数的物理概念和数学表达式, 分析了其相关关系; 介绍了不同尺度域侵蚀模数的测定和计算模型, 对今后侵蚀产沙的监测研究工作提出了建议。

**关键词:** 侵蚀模数; 不同尺度域; 内涵; 监测; 研究

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)02-0069-03

中图分类号: S157.1

## Soil Erosion Rates Under Different Land Scale Conditions

ZHANG Xin-bao<sup>1,2</sup>, HE Xiur-bin<sup>1</sup>, WEN An-bang<sup>1</sup>, QI Yong-qing<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, Sichuan Province, China; 2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Physical concepts of the "soil erosion rates" in different scales, such as erosion rate for a point, for an erosion block of land, for a slope, for a catchment and for a region, and their relevant formula were given. Meanwhile, monitoring methods and calculating models for assessments of those rates were introduced. Suggestions for future monitoring and research works on soil erosion and sediment production were also proposed.

**Keywords:** soil erosion rate; different scale; concept; monitoring; research

侵蚀模数的定义是“单位时间、单位面积土地上的土壤侵蚀量,常用每年每 1 km<sup>2</sup> 的土壤侵蚀量或每年侵蚀土层的厚度表示”<sup>[1]</sup>,当前不同尺度域的侵蚀模数的概念存在一些混淆,已影响到国内土壤侵蚀及其相关学科的深入开展,和水保事业的发展<sup>[2]</sup>。尺度转换是当前土壤侵蚀研究的热点之一,显然正确理解不同尺度域侵蚀模数的内涵,是土壤侵蚀尺度转换研究的基础<sup>[3-7]</sup>。本文从物理概念的角度,阐明不同尺度域侵蚀模数的内涵及相互关系,以利土壤侵蚀和水土保持研究工作的健康开展;与此同时,还介绍了不同尺度域侵蚀模数的测定和计算方法。

## 1 不同尺度域侵蚀模数的内涵和测算方法

### 1.1 点侵蚀速率 $R_p$

点侵蚀速率为地表某点的单位时间土壤流失厚度,可表述为:

$$R_p = h / t \quad (1)$$

式中:  $R_p$ ——点侵蚀速率(mm/a);  $h$ ——土壤流失厚度(mm);  $t$ ——时间(a)。点侵蚀速率为负值时,表示点堆积速率。

点侵蚀速率的测定方法,主要有测针法和<sup>137</sup>Cs示踪法。测针法,根据一定时段内测针处的土壤流失厚度求算侵蚀速率。<sup>137</sup>Cs示踪法,根据取样剖面的<sup>137</sup>Cs流失量求算取样点处的侵蚀速率。

### 1.2 地块侵蚀模数 $R_u$

地块是坡面基本侵蚀单元,地块内土质、植被、土地利用和地形条件基本一致,空间尺度几平方米到几平方公里不等。一个地块单元内,径流和犁耕等营力引起的土壤颗粒的起动、搬运、堆积往往是一个完整的过程。无上方来水来沙的地块,地块的土壤流失量等于地块下方的泥沙输出量;有上方来水来沙的地块,地块的土壤流失量等于地块下方的泥沙输出量与上方泥沙输入量之差。地块侵蚀模数为单位时间地块土壤流失量与地块面积的比值,可表述为:

$$R_u = W_u / (A_u \cdot t) = (S_{u_{io}} - S_{u_{ii}}) / (A_u \cdot t) \quad (2)$$

式中:  $R_u$ ——地块侵蚀模数[t/(km<sup>2</sup>·a)];  $W_u$ ——地块土壤流失量(t);  $A_u$ ——地块面积(km<sup>2</sup>);  $t$ ——时间(a);  $S_{u_{io}}$ —— $i$ 地块的泥沙输出量(t);  $S_{u_{ii}}$ —— $i$ 地块的泥沙输入量(t)。

地块侵蚀模数是表征土壤侵蚀程度的基本单位,取得方法有测定法和计算法 2 种。测定法主要有径

流小区法和<sup>137</sup>Cs 示踪法。径流小区法根据一定时段内的土壤流失量和小区面积求算侵蚀模数。地块径流小区测定的为无上方来水来沙的地块的侵蚀模数。<sup>137</sup>Cs 示踪法采用网格法或地形剖面线法布置取样点,根据<sup>137</sup>Cs 流失量计算各点土壤侵蚀速率,各点侵蚀速率的加权平均值为地块侵蚀模数。<sup>137</sup>Cs 法测得的是地块的净土壤流失量,因此既可以测定无,而且可以测定有上方来水来沙的地块的侵蚀模数。算法主要有统计模型法(经验模型法)和物理模型法。统计模型是分析径流小区实测资料得出的经验公式,如国内江忠善等的陕北黄土农耕地侵蚀速率与坡度、坡长关系的模型,美国的 USLE 和 REUSLE 模型等。统计模型求得的是无上方来水来沙的地块的侵蚀模数。物理模型是实验基础上建立的表征坡面泥沙起动、输移和沉积物理过程的模型,如美国的 WEPP 模型等。物理模型不但可以求算无上方来水来沙的地块的侵蚀模数,如已知上方来水来沙量,还可以求算有上方来水来沙的地块的净土壤流失量。

### 1.3 坡面侵蚀模数 $R_s$

坡面由一个或几个连续的地块组成。几个连续地块组成的坡面,上部地块产出的径流泥沙进入相邻的下部地块,坡面的土壤流失量为最下部地块随径流流出的泥沙量。

坡面侵蚀模数为单位时间坡面土壤流失量(最下部地块随径流流出的泥沙量)与坡面面积的比值,可表述为:

$$R_s = W_s / (A_s \cdot t) = W_{u_i} / (A_s \cdot t) \quad (3)$$

式中:  $R_s$  ——坡面侵蚀模数 [t / (km<sup>2</sup> · a)];  $W_s$  ——坡面土壤流失量 (t);  $A_s$  ——坡面面积 (km<sup>2</sup>);  $t$  ——时间 (a);  $W_{u_i}$  —— $i$  地块的土壤流失量。

坡面侵蚀模数的测算方法同地块侵蚀模数,有测定法和算法两种方法。测定法主要有径流小区法和<sup>137</sup>Cs 示踪法。测定坡面侵蚀模数的径流小区多为非标准小区,往往根据自然地形设置,可由一个或几个地块组成。<sup>137</sup>Cs 示踪法采用网格法或地形剖面线法,在研究坡面内布置取样点,根据<sup>137</sup>Cs 流失量计算各点土壤侵蚀速率,进而采用加权平均法求算各地块和整个坡面的侵蚀模数。算法采用统计模型或物理模型求算坡面侵蚀模数。国外发达国家侵蚀模型的研究主要集中于农地,农地坡度多较缓,大型机械耕作,地块面积大,整个坡面往往就是一个地块,地块侵蚀模型当然也就是坡面侵蚀模型,地块侵蚀模数也就是坡面侵蚀模数。我国除东北黑土丘岗地外,大部分丘陵山区的坡耕地坡度陡,地块面积小,而且往往

不连续。如川中丘陵区为方山地貌,数百米长的一个坡面,往往由数十个宽仅数米的缓坡农地地块和相间的陡坡林草地地块组成。国内仅黄土丘陵区开展了一些坡面侵蚀模型的研究,提出的一些初步模型尚需改进、完善。至于多个不同类型地块组成的复杂坡面,如川中丘陵区缓坡农地和相间的陡坡林草地组成的台阶状坡面,未见有相关的侵蚀模型。

### 1.4 流域侵蚀模数 $R_c$

流域是封闭的水文单元,空间尺度几平方米到几百万平方公里不等。流域的下垫面和气候条件可能是单一的,也可能是复杂多样的;流域内土壤侵蚀产出的泥沙可能全部随径流输出,也可能部分输出流域,其余的停积于流域内的坡麓、谷地和河床。流域侵蚀模数为流域内单位时间土壤侵蚀总量与流域面积的比值,可表述为:

$$R_c = W_c / (A_c \cdot t) = R_{s_i} A_i / A_c \quad (4)$$

式中:  $R_c$  ——流域侵蚀模数 [t / (km<sup>2</sup> · a)];  $W_c$  ——流域土壤侵蚀总量 (t);  $A_c$  ——流域面积 (km<sup>2</sup>);  $t$  ——时间 (a);  $R_{s_i}$  —— $i$  坡面(地块)的侵蚀模数 [t / (km<sup>2</sup> · a)];  $A_i$  —— $i$  坡面(地块)的面积 (km<sup>2</sup>)。

流域侵蚀模数有侵蚀量计算法和输沙模数推算法两种求算方法。侵蚀量计算法用式(4)求算流域侵蚀模数。输沙模数推算法见后文。

### 1.5 流域输沙模数 $S_c$

流域输沙模数为河流某一断面处单位时间输沙量与断面以上流域面积的比值,可表述为:

$$S_c = W_c / (A_c \cdot t) \quad (5)$$

式中:  $S_c$  ——流域输沙模数 [t / (km<sup>2</sup> · a)];  $W_c$  ——河流某一断面处输沙量 (t);  $A_c$  ——断面以上流域面积 (km<sup>2</sup>);  $t$  ——时间 (a)。

流域内侵蚀产出的泥沙可能部分自然停积于坡麓、谷地,河床或被地埂、沙凼、道路、塘堰等人工建筑物所拦截,因此流域输沙模数往往小于流域侵蚀模数,两者的比值为泥沙输移比:

$$D = S_c / R_c \quad (6)$$

式中:  $D$  ——泥沙输移比。

流域侵蚀模数的输沙模数推算法,即根据河流水文站测定的流域输沙模数和泥沙输移比,利用式(6)求算流域输沙模数。由于黄土粒度组成细,黄河中游河流的自然泥沙输移比接近于 1,流域输沙模数往往可以表征流域的侵蚀模数。国内外绝大部分河流的泥沙输移比小于 1,一般认为一条河流的泥沙输移比随着流域面积的增大而减小,但泥沙输移比不随着流域面积的增大而减小的情况也多有报道。

### 1.6 区域侵蚀模数 $R_r$

区域侵蚀模数为某一区域内单位时间土壤侵蚀总量与区域面积的比值,可表述为:

$$R_r = W_r / (A_r \cdot t) \quad (7)$$

式中:  $R_r$ ——区域侵蚀模数 [ $t / (km^2 \cdot a)$ ];  $W_r$ ——区域土壤侵蚀总量 ( $t$ );  $A_r$ ——区域面积 ( $km^2$ );  $t$ ——时间 ( $a$ )。

区域侵蚀模数多根据区域内不同地类或次一级区域侵蚀模数面积加权平均求得。

## 2 研究工作建议

国内各地设置的用于测定土壤流失量的径流小区,多为标准地块径流小区。虽然由于产汇流条件和自然坡面地块存在一定差异,标准小区测得的侵蚀模数未必代表地块的实际侵蚀模数,但测定值的表征价值还是得到了公认。除标准小区外,由于地形条件的限制,或为了研究土壤侵蚀量与坡长的相关关系,各地还有一些非标准径流小区。国内坡面径流小区设置较少,不同类型地块组成的坡面径流小区更少,实测坡面侵蚀模数资料稀缺。重力侵蚀和冲沟侵蚀产沙量的研究薄弱,可靠数据有限。大中河流悬移质输沙模数资料比较可靠,但除泥沙输移比接近于1的黄土高原地区外,其它地区由于泥沙输移比不明,很难用输沙模数推算侵蚀模数。黄土丘陵区梁卯坡地,由于径流小区实测资料较多,加之黄土质地细,土质均一,建立的土壤侵蚀量预测模型比较符合实际,计算结果比较可靠。其余的各种土壤侵蚀量预测模型,无论是统计模型还是物理模型,均存在这样或那样的问题,计算结果难以可靠。

国内正在开展水保监测网络建设,将在全国各地布设大量标准径流小区。如前所述,不同于国外发达国家,我国陡坡地多,地块小,坡地往往由多个不同类型的地块组成,标准径流小区监测的地块侵蚀模数,未必能表征坡面侵蚀程度,更谈不上表征政府决策部门和社会关心的流域或区域侵蚀程度。鉴于国内土壤侵蚀监测和研究现状,认为各地在布设标准径流小区监测和研究地块侵蚀的同时,应加强坡面和小流域

侵蚀产沙的监测和研究工作,并提出如下建议:

(1) 重视坡面径流小区和小流域简易水文站的建设。坡面小区和小流域 ( $< 0.5 \sim 1 km^2$  为宜) 的侵蚀产沙监测资料,可以弥补标准径流小区资料的不足,较好地反映坡面和小流域的侵蚀程度。

(2) 充分发挥塘库众多的优势,大力开展塘库淤积调查。我国农村小流域塘库众多,如黄土高原的淤地坝和南方的塘堰。塘库淤积的调查研究往往可以提供大量有关小流域侵蚀产沙的宝贵信息,一定程度上可以弥补小流域侵蚀产沙监测资料的不足。

(3) 积极采用  $^{137}Cs$  示踪等新技术,开展侵蚀产沙的调查研究工作。 $^{137}Cs$  示踪等新技术已成功地用于测定地块、坡面侵蚀模数,沉积物断代法确定塘库淤积量,和调查流域泥沙来源等方面,具有经济、快速和可靠的特点,特别适用于无资料地区的侵蚀产沙的调查研究工作。

(4) 加强坡面和小流域侵蚀产沙统计模型的研究。如前所述,我国陡坡地多,地块小,坡地往往由多个不同类型的地块组成,利用地块侵蚀模型难以确定坡面侵蚀程度,以及政府决策部门和社会关心的流域或区域侵蚀程度。因此应加强坡面和小流域侵蚀模型的研究,根据先易后难的原则,可先行开展统计模型的研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 唐政洪, 蔡强国, 等. 不同尺度条件下的土壤侵蚀监测及模型研究[M]. 水科学进展, 2002, 13(6): 781—787.
- [3] 杨子生. 论水土流失与土壤侵蚀及其有关概念的界定[J]. 山地学报, 2001, 19(5): 436—445.
- [4] 王飞, 李锐, 杨勤科. 土壤侵蚀研究的尺度转换[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 9—12.
- [5] 宋桂琴. 谈水土流失、土壤侵蚀两概念的区别与联系[J]. 中国水土保持, 1997(2): 47—49.
- [6] 贺秀斌, 张信宝, 文安邦. 川中丘陵区侵蚀产沙的尺度单元及其研究方法[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3): 18—20.
- [7] 景可. 长江上游泥沙输移比初探[J]. 泥沙研究, 2002(1): 53—59.