

# 南方丘陵紫色页岩地区土壤可蚀性因子 $K$ 值的确定

——以湖南衡阳为例

赵 辉<sup>1</sup>, 郝志敏<sup>1</sup>, 齐 实<sup>1</sup>, 王文中<sup>2</sup>, 罗建民<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

2. 湖南省衡阳市水土保持监测站, 湖南 衡阳 421001; 3. 湖南省衡东县水土保持局, 湖南 衡东 421400)

**摘 要:**通过 2003~2004 年两年的径流小区试验, 运用反推法和经验公式确定土壤可蚀性因子( $K$ ) 的取值, 并对两种结果进行比较分析得出衡阳紫色页岩地区的土壤可蚀性因子( $K$ ) 的取值范围在 0.34~0.37 之间, 为正确认识当地土壤特性从而提出有效减小水土流失危害的对策提供科学依据。

**关键词:**紫色页岩; 土壤可蚀性因子  $K$ ; 通用土壤流失方程

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0041-03

## The Determination on Soil Erodible Factor— $K$ Value in Purple Rock Hilly Area of Southern China ——A Case Study in Hengyang City, Hunan Province

ZHAO Hui<sup>1</sup>, HAO Zhimin<sup>1</sup>, QI Shi<sup>1</sup>, WANG Wenzhong<sup>2</sup>, LUO Jianmin<sup>3</sup>

(1. Key Lab. of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education,

College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Soil and Water Conservation Monitoring Station of Hengyang City, Hunan 421001, China;

3. Soil and Water Conservation Division of Hengdong County, Hunan 421400, China)

**Abstract:** In order to confirm the factor( $K$ ) of soil erodibility in purple rock hilly area of southern China, the methods of inversion formula of universal soil loss equation(USLE) and empirical equation were using to get the span of  $K$  based on the data gotten from the runoff plot during two years (2003~2004). The result shows that the  $K$  value is between 0.34 and 0.37.

**Key words:** purple shale rock; factor of soil erodibility; universal soil loss equation model

衡阳紫色页岩地区是湖南省生态最脆弱、造林最困难的地区之一。水土流失严重, 土层浅薄, 母岩裸露, 植被稀少, 经历多次人工造林绿化, 成效甚微。为了解决这一难题, 必须充分认识该地区的土壤特性, 土壤可蚀性是一种十分复杂的土壤特性, 为减小各种计算误差以精确确定土壤可蚀性因子  $K$  的取值范围, 本文采用 USLE 反推  $K$  值法和经验公式两种方法拟合  $K$  值, 为下一步制定适合该地区的有效水土保持措施奠定基础。

### 1 研究地区概况

衡阳市地处湖南省中东部, 衡邵盆地东南部, 地貌类型以盆地丘陵、低山为主。紫色岩山地面积共有 8.6 万  $\text{hm}^2$ , 占全市山地面积的 11.5%, 其地理坐标为北纬  $26^{\circ}56'$ , 东经  $112^{\circ}20'$ , 属中亚热带季风湿润气候区, 多年平均气温  $18.1^{\circ}\text{C}$ ; 极端最高气温  $40^{\circ}\text{C}$ , 极端最低气温  $-9.9^{\circ}\text{C}$ ; 年均降雨量 1340 mm, 平均相对湿度 78%; 全年无霜期 286 d; 夏季

地表温度高, 极端温度高达  $73.5^{\circ}\text{C}$ ; 土壤均为石灰性紫色土, 土层浅薄, 呈碱性反应; N 元素奇缺, 有机质含量极低; 风化层一般不足 20 cm, 基岩裸露, 土壤保水性极差; 植被覆盖率 10% 左右, 植物种类稀少。这样的立地环境严重阻碍了当地农林业生产的可持续发展, 为给该区的水土保持治理提供科学的理论依据, 当地在 2002 年 5~10 月份分别在衡东、耒阳建立径流观测小区。由于衡东县气象资料完整, 故选择衡东县栗木小流域秋波片进行试验。

### 2 研究内容与方法

#### 2.1 典型试验小区

在栗木小流域紫色页岩成土区选择 10<sup>6</sup> 枣树地作为典型小区。其规格为长方形, 面积 100  $\text{m}^2$ , 长宽比为 4:1, 即 20 m  $\times$  5 m (水平投影), 属人工标准坡, 具体情况见表 1。

降雨量的观测采用自记雨量计及雨量筒同步观测。根据自记纸上记录结果分析每次降雨的雨量、雨强和降雨历

\* 收稿日期: 2005-12-05

基金项目: 长江上游水土保持委员会办公室基金项目: “南方丘陵紫色岩水土流失综合治理模式与效益研究” (2002-2004) 资助。

作者简介: 赵辉 (1971-), 男, 高级工程师, 北京林业大学在读博士, 主要从事水土保持技术研究工作。

时,并用来计算降雨侵蚀力因子( $R$ );雨量筒用来拟合自记雨量计所测得的降雨量。

为减少工作量并降低观测成本,不用堰箱法而采取体积法测流,用接流桶九孔分流配合分水箱进行径流和泥沙观测,即径流泥沙量由集水槽通过输水管道进入接流桶(主测推移质),通过接流桶九孔分流后由一分水管引入分水箱(主测悬移质),并配备自记雨量计进行同步观测,从而得出每次降雨引起的土壤流失量( $A$ )。具体尺寸接流桶内径为 120 cm,高 100 cm,分流孔距桶上边沿为 15 cm,分水箱净空尺寸为 120 cm×120 cm×120 cm。

表 1 10 枣树地小区基本情况表

| 年份   | 径流场面积/ $\text{m}^2$ | 植被盖度/ $\%$ | 坡度/ $^\circ$ | 备注    |
|------|---------------------|------------|--------------|-------|
| 2003 | 100                 | 16         | 10           | 人工标准坡 |
| 2004 |                     | 31         |              |       |

### 2.2 运用 USLE 方程反推 $K$ 的计算值

根据当地已有各项观测资料及下垫面资料得到 USLE 方程中的  $L$ 、 $S$ 、 $C$ 、 $P$  及场次降雨条件下的  $A$ 、 $R$  这 6 个参数的实测值,再运用 USLE 方程反推出  $K$  的计算值,其具体计算公式为: $K=A/(R\cdot LS\cdot C\cdot P)^{[7]}$ 。

式中: $A$ ——单位面积次降雨条件下的土壤侵蚀量,  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;  $R$ ——次降雨侵蚀力因子,  $\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h})$ ;  $K$ ——土壤可蚀性因子,根据土壤的机械组成、有机质含量、土壤结构和渗透性确定,  $\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}/(\text{hm}^2\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm})$ ;  $LS$ ——地形因子(可拆分成  $L$ —坡长因子,  $S$ —坡度因子)  $C$ ——植被与经营管理因子,与植被覆盖度和耕作期相关;  $P$ ——水土保持措施因子,它等于等高耕作、带状间作或修梯田等水土保持措施下的土壤流失量与顺坡耕作( $P=1$ )时相同地块上产生的土壤流失量之比。

在同一径流小区内,  $LS$ 、 $C$ 、 $P$  值均为定值,则可将公式变形为:  $K=A/(R\cdot b)$

其中,  $b=LS\cdot C\cdot P$

### 2.3 根据经验公式计算 $K$ 值

运用美国经验公式<sup>[8]</sup>:

$$K=0.1317\times\{0.2+0.3\exp[-0.0256Sd(1-Si/100)]\}\times[S\dot{V}(Cl+Si)]^{0.3}\times\{1.0-0.25C/[C+\exp(3.72-2.95C)]\}\times\{1.0-0.7Sn/[Sn+\exp(-5.51+22.9Sn)]\}$$

结合对当地土壤质地的测定计算  $K$  的实测值。

## 3 结果分析

### 3.1 反推法确定 $K$ 值

#### 3.1.1 $R$ 值的确定

$R$  因子是 USLE 模型中的首要基础因子,它与降雨量、降雨历时、降雨强度和降雨动能有关,反映降雨径流的综合侵蚀能力。一次降雨  $R$  值的计算公式为<sup>[3]</sup>:

$$R=\sum E\cdot I_n$$

式中:  $\sum E$ ——次降雨总动能,  $\text{MJ}/\text{hm}^2$ ;  $I_n$ ——次降雨最大  $n$  分钟雨强,  $\text{mm}/\text{h}$ 。

$$E=E_iP$$

式中:  $E$ ——一次降雨某段降雨产生的动能,  $\text{MJ}/\text{hm}^2$ ;  $E_i$ ——某段降雨单位面积上每毫米降雨所产生的动能,  $\text{MJ}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$ ;  $P$ ——某段降雨雨量,  $\text{mm}$ 。

$$E_i=0.119+0.0873\lg I\quad I\leqslant 76\text{mm/h}$$

$$E_i=0.283\quad I>76\text{mm/h}$$

式中:  $I$ ——相应时段的降雨强度,  $\text{mm}/\text{h}$ 。

本文的  $\sum E\cdot I_n$  结构采用  $\sum E\cdot I_{30}^{[7]}$ ,再根据已有场次降雨资料求得相应的降雨因子  $R$  值,见表 2。

表 2 次降雨条件下的  $R$  值表

| 时间         | 次降雨量          | 降雨历  | $I_{30}$                          | $\sum E$                           | $R_{30}(\sum E\cdot I_{30})$                                     |
|------------|---------------|------|-----------------------------------|------------------------------------|--|
|            | / $\text{mm}$ | /h   | / $(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$ | / $(\text{MJ}\cdot\text{hm}^{-2})$ | $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot(\text{hm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1})$ |
| 2003-05-22 | 32.4          | 24   | 10                                | 5.64                               | 56.400   |
| 2003-06-05 | 21.9          | 12.3 | 13.2                              | 4.48                               | 59.136   |
| 2003-06-27 | 91.6          | 22.1 | 39.6                              | 19.55                              | 774.180  |
| 2004-03-19 | 31.8          | 20.3 | 12.7                              | 4.95                               | 62.865   |
| 2004-03-24 | 28.6          | 18.3 | 10.2                              | 4.71                               | 48.042   |
| 2004-05-12 | 106.9         | 16.1 | 44.6                              | 22.76                              | 1015.096   |

注:  $I_{30}$ 代表一次降雨最大 30 min 雨强;表中所选这 6 场典型降雨均有径流和泥沙产生。

#### 3.1.2 $A$ 值的确定

根据已有实测资料得出每场降雨土壤侵蚀量值,见表 3。

表 3 次降雨条件下土壤侵蚀量表

| 时间                                     | 03-05-22 | 03-06-05 | 03-06-27 | 04-03-19 | 04-03-24 | 04-05-12 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 土壤侵蚀量/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^{-2})$ | 1.5729   | 1.1734   | 8.0100   | 1.5690   | 1.3409   | 9.4100   |

#### 3.1.3 $b$ 值的确定

(1)  $LS$  值的确定。本文坡长因子( $L$ )采用 W. H. 维希迈尔和 D. D. 史密斯提出的经验公式确定<sup>[8]</sup>:

$$L=(N/22.1)^m$$

式中 22.1 是 USLE 采用的标准小区坡长(m),  $m$  是可变的坡长指数,  $\lambda$  是水平投影坡长,而不是坡面长度。坡长指数  $m$  与细沟侵蚀(由水流引起)和细沟间侵蚀(主要由雨滴打击引起)的比率有关,由下式计算<sup>[10]</sup>:

$$m=\beta/(1+\beta)$$

式中:  $\beta$ ——细沟侵蚀与细沟间侵蚀的比率。

当土壤对细沟侵蚀和细沟间侵蚀的敏感性相同时,  $\beta$  由下式计算<sup>[11]</sup>:

$$\beta=(\sin\theta/0.0896)/[3.0(\sin\theta)^{0.8}+0.56]$$

式中:  $\theta$ ——坡度( $^\circ$ )。

坡度因子采用 McCool 等提出的公式<sup>[12]</sup>:

① 坡长  $\geqslant 5\text{ m}$ ,

$$S=10.8\sin\theta+0.03\quad \theta<5.14^\circ$$

$$S=16.8\sin\theta-0.50\quad \theta\geqslant 5.14^\circ$$

④ 坡长  $< 5\text{ m}$ ,

$$S=3.0(\sin\theta)^{0.8}+0.56$$

(2)  $C$  值的确定。植物经营管理因子  $C$  本文采用蔡崇法等通过坡面产沙量与植被覆盖度相关关系的研究,建立了  $C$  因子值与植被覆盖度  $c$  之间的关系<sup>[1]</sup>:

$$C=0.6508-0.3436\lg c$$

式中:  $C$  最小值应为 0,即不产生土壤流失,此时  $c$  为 78.3%,即当  $c\geqslant 78.3\%$  时,  $C$  值为 0;  $c$  为 0 时,  $C$  值为 1。代入公式时,  $c$  取其百分数。

因为其研究区选在三峡库区库首湖北省秭归县王家桥小流域,为长江的二级支流。属中亚热带大陆性季风气候,温暖湿润,雨热同季。年平均温度 14.5~18.0 $^\circ\text{C}$ ,降水量 1 000~1 250 mm,与衡东栗木小流域气候相近。

(3)  $P$  值的确定。4 号小区为 10 枣树地,采用等高水平耕作措施,查相关资料<sup>[3,4]</sup>取  $P=0.8$ 。

这样,  $b$  值中各项即可确定,其具体计算结果见表 4。

表 4  $LS$ 、 $C$ 、 $P$  计算结果表

| $\theta/^\circ$ | $N\text{ m}$ | $LS$  | 2003   |       | 2004   |       | $P$ |
|-----------------|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|
|                 |              |       | $c/\%$ | $C$   | $c/\%$ | $C$   |     |
| 10              | 20           | 2.277 | 16     | 0.233 | 31     | 0.140 | 0.8 |

#### 3.1.4 $K$ 值的确定

土壤可蚀性反映降雨、径流以及入渗等作用过程对土壤流失量综合影响的程度。土壤可蚀性因子( $K$ )主要强调坡

面降雨过程中,土壤基本性质对土壤流失量的影响。

根据公式 1 得出  $K$  的取值,见表 5。

表 5  $K$  值计算表

| 10°枣树地   |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 时间   | 03-05-22 | 03-06-05 | 03-06-27 | 04-03-19 | 04-03-24 | 04-05-12 |
| $A/(t \cdot \text{hm}^{-2})$   | 1.5729   | 1.1734   | 8.01     | 1.569    | 1.3409   | 9.41     |
| $R_{30}/(\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$ | 81.216   | 73.92    | 1020.51  | 95.04    | 56.52    | 1201.728 |
| $b$  | 0.4244   | 0.4244   | 0.4244   | 0.255    | 0.255    | 0.255    |
| $K$  | 0.045634 | 0.037403 | 0.018494 | 0.064741 | 0.093037 | 0.030707 |
| $K$ 的平均值= 0.0483   |          |          |          |          |          |          |

注: 此时的  $K$  值为国际制单位。

在同一径流小区,  $USLE$  方程中  $K$  的取值会随  $R$  的不同上下波动, 再加上  $K$  值本身会有一个季节的变化, 因此在上表中会看到在不同场次降雨条件下,  $K$  的取值很分散, 而本文要确定的是  $K$  的 annual 平均值, 故将以上 6 场典型降雨所计算出的  $K$  值取平均。

3.2 经验公式法确定  $K$  值

对于土壤可蚀性  $K$  值的计算方法, 除上述的反推法以外, 还可根据公式直接求得。其中应用最广的是 Wischmeier 等建立的土壤可蚀性指数  $K$  值的确定方法。  $K$  的最初测定是在标准连续休闲的裸露小区(水平投影规格 22.1 m × 1.5 m, 坡度 9%) 上, 单位侵蚀指数( $EI_{30}$ ) 的土壤流失量, 而最简单的方法是查可蚀性诺谟图或用下式计算<sup>[8]</sup>:

$$100K = 0.1317 \times f \cdot 2.1M^{1.14} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

式中:  $K$  ——土壤可蚀性因子,  $t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h} / (\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ ;  $M$  ——土壤级配参数, 可用下式表示:

$M = (0.002 \sim 0.1 \text{ mm 组分含量的百分数}) \times (100 - \text{黏粒含量百分数})$ , 而黏粒含量百分数 =  $100 - (0.002 \sim 0.1 \text{ mm 组分含量百分数}) - (0.1 \sim 2.0 \text{ mm 组分含量百分数})$ ;  $a$  ——有机质含量百分数, 0~6%;  $b$  ——土壤结构系数, 特细粒为 1, 细粒为 2, 中粒为 3, 块状或片状为 4;  $c$  ——土壤渗透级别。

而当地资料中缺乏土壤结构系数和渗透级别的测定资料, 因此采用 Williams 等人(1990)在 EPIC(Erosion- Productivity Impact Calculator)模型中推出的土壤可蚀性因子  $K$  值计算公式<sup>[9]</sup>:

$$K = 0.1317 \times \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256Sd(1 - Si/100)]\} \times [Si/(Cl + Si)]0.3 \times \{1.0 - 0.25C/[C + \exp(3.72 - 2.95$$

参考文献:

[1] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用于 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14 (2): 19~ 24.

[2] 吕喜玺, 等. 土壤可蚀性  $K$  值的初步研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6 (1): 63~ 70.

[3] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.

[4] 唐德富, 包忠谟. 水土保持[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.

[5] 赵羽, 金争平, 等. 内蒙古土壤侵蚀研究[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

[6] 何毓蓉, 等. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京: 科学出版社, 1991;

[7] 景可, 王万忠, 郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 69~ 70.

[8] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planting[M]. Agriculture Handbook No. 537. 1978.

[9] Sharply A N, Williams J R. EPIC- - Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation[J]. U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin, No. 1768, 1990.

[10] Foster, G R, L D Meyer, C A Onstad. A runoff erosive factor and variable slope length exponents for soil loss estimates [J]. Trans. ASAE, 1977, 20: 683~ 687.

[11] M cCool, D K, G. R. Foster, C. K. Mutchler, et al. 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Trans. ASAE, 1989, 32: 1571~ 1576.

[12] M cCool, D K, L C Brown, G R Foster, et al. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Trans. ASAE, 1987, 30: 1387~ 1396.

$C)]\} \times \{1.0 - 0.7Sn/[Sn + \exp(-5.51 + 22.9Sn)]\}$  式中:  $Sd$  ——砂粒(0.1~ 2.0 mm) 含量百分数(%);  $Si$  ——为粉粒(0.002~ 0.1 mm) 含量百分数(%);  $Cl$  ——为黏粒(< 0.002 mm) 含量百分数(%);  $C$  ——有机碳含量百分数(%);  $Sn = 1 - Sd/100$ 。

根据对秋波片 10°枣树地小区表层土壤的质地进行测定得出反映当地成土区表层土壤质地的  $K$  的平均值, 其中有有机碳含量取 0.51%, 从表 6 中可见其  $K$  的取值与纯土(即有机碳含量为 0%) 的  $K$  值近似相等。

表 6 土壤可蚀性因子  $K$  值表

| 土壤     | 母质  | 深度    | 砂粒/%         | 粉粒/%             | 粘粒/%       | 有机碳/                       | $K$ 值 |
|--------|-----|-------|--------------|------------------|------------|----------------------------|-------|
|        |     | /cm   | 2 mm~ 0.1 mm | 0.1 mm~ 0.002 mm | < 0.002 mm | (10 g · kg <sup>-1</sup> ) |       |
| 石灰性紫色土 | 砂页岩 | 0~ 20 | 49.17        | 47.09            | 3.74       | 0                          | 0.046 |
|        |     |       |              |                  |            | 0.51                       | 0.045 |

这里的  $K$  值采用了国际制单位, 以期与方程中的  $R$  和  $A$  单位保持一致。若转换为美国制单位则该地区的  $K$  值取 0.34。

3.3  $K$  值的取值

通过对  $K$  的计算值(反推法求得)和实测值(经验公式求得) 进行比较可见, 二者的相对误差{[(实测值- 计算值)/ 实测值] × 100%} 仅为- 7.3%, 则衡阳紫色页岩成土区表层土壤可蚀性因子  $K$  的取值在 0.045 0~ 0.048 3(国际制单位) 之间。

4 结 论

(1) 在美国  $USLE$  中, 规定坡度为 9%, 坡长为 22.13 m, 连续保持清耕裸露休闲状态, 且实行顺坡耕作的小区为标准小区。而当地未建立标准对照小区, 为了便于计算, 标准小区采用美国制标准的。

(2) 次降雨侵蚀力  $R$  的计算公式为:  $R = \sum EI_{30}$ ; 从 2003 ~ 2004 年挑选出的六场典型降雨中, 得出  $R$  的取值在 56.520~ 1 201.728 MJ · mm/(hm<sup>2</sup> · h) 之间。

(3) 植被经营管理因子( $C$ ) 及水土保持措施因子( $P$ ) 因缺乏当地经验公式的参考, 选择与当地气候、水文条件近似的地区的经验公式和数据确定。

(4) 衡阳土壤属石灰性紫色土, 其土壤可蚀性因子  $K$  的取值范围在 0.34~ 0.37(美国制单位) 之间。