

红壤和紫色土抗侵蚀性指标的计算方法研究

钟壬琳^{1,2}, 张平仓²

(1. 浙江省水土保持监测中心, 浙江 杭州 310009; 2. 长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要:以长江流域主要侵蚀性土壤——红壤和紫色土为研究对象,以土壤可蚀性 K 值作为土壤抗侵蚀性指标,采用通用土壤流失方程计算得到人工模拟降雨试验下红壤和紫色土的抗侵蚀性指标,分别为 0.325 2 和 0.276 3。应用侵蚀—生产力评价模型(EPIC),根据上述两种土壤的理化性质计算其土壤抗侵蚀性指标,分别为 0.313 8 和 0.266 8。分析比较这两种方法得到的土壤抗侵蚀性指标,最终得到侵蚀—生产力评价模型(EPIC)的修正系数(1.04)。

关键词:红壤; 紫色土; 土壤抗侵蚀性指标; 侵蚀—生产力评价模型

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)06-0095-04

中图分类号: S157

Calculation Methods of Soil Anti-erodibility Index of Red Soil and Purple Soil

ZHONG Ren-lin^{1,2}, ZHANG Ping-cang²

(1. *Water and Soil Conservation Monitoring Center of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310009, China*; 2. *Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei 430010, China*)

Abstract: Two erosive soils, red soil and purple soil in Yangtze River basin, was selected as research objects, and K value was taken as indices of soil anti-erodibility, this paper calculated the soil anti-erodibility of red soil and purple soil under rainfall simulation experiments using universal soil loss equation(USLE). The results showed that the K values were 0.325 2 and 0.276 3 respectively for red and purple soil. Meanwhile, the K values were also calculated for red and purple soil using EPIC model, they were 0.313 8 and 0.266 8 respectively. Bases on the comparison of K values with two methods, the correction coefficient of EPIC model was obtained, the value was 1.04.

Keywords: red soil; purple soil; soil anti-erodibility indices; EPIC model

我国是世界上水土流失最严重的国家之一,长江流域由于自然和人为因素的共同影响,水土流失问题十分严重,据 2000 年全国第二次水土流失遥感调查,长江流域水土流失面积达 $6.374 \times 10^5 \text{ km}^2$,占流域总面积的 35.41%^[1]。

土壤是水土流失过程中各种营力作用的对象,土壤自身的抗侵蚀性是指土壤是否易受侵蚀动力破坏的性能,也就是土壤对侵蚀介质剥蚀和搬运的敏感性,是土壤承受降雨和径流分离及输移等过程的综合性能^[2]。欧美国家在土壤抗侵蚀性指标方面起步较早,也比较成功。我国水土保持研究工作是在新中国成立以后迅速发展起来的,就目前的土壤抗侵蚀性指标研究来说,我国不少专家学者借用国外一些成功的土壤抗侵蚀性指标的研究方法和经验公式来评价我国土壤抗侵蚀性指标,如吕玺喜,沈荣明^[3]应用二次

样条插值法将土壤机械组成从苏联制转换为美国制,并用威斯奇迈尔建立的土壤可蚀性 K 值计算公式计算了我国南方易蚀土壤的 K 值;杨萍^[4]以河南省淮河上游鲁山县观音寺小流域为例,以侵蚀—生产力评价模型(EPIC)计算得到的 K 值来反映土壤抗侵蚀性,通过插值方法研究该小流域土壤抗侵蚀性的空间分布状况;张金池^[5]以江苏省邓下小流域为例,也以侵蚀—生产力评价模型(EPIC)中的 K 值来反映土壤抗侵蚀性,通过插值方法研究该小流域土壤抗侵蚀性的空间分布特征。虽然做了大量的研究,但是国外有关土壤抗侵蚀性指标的经验公式是否能直接适用于我国还值得商榷。

本研究以长江流域主要侵蚀性土壤——红壤和紫色土为对象,以土壤可蚀性 K 值作为土壤抗侵蚀性指标,分别采用通用土壤流失方程和侵蚀—生产力

收稿日期:2011-02-14

修回日期:2011-04-07

资助项目:国家重点基础科学(973)研究发展计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407203)

作者简介:钟壬琳(1984—),女(汉族),浙江省湖州市人,硕士研究生,研究方向土壤侵蚀与产沙。E-mail:zhongrl0919@163.com。

通信作者:张平仓(1961—),男(汉族),陕西省渭南市人,博士,教授级高级工程师,主要从事土壤侵蚀与水土保持方面的研究工作。E-mail:zhangpc@mail.crsri.cn。

评价模型(EPIC)进行计算,并根据两种土壤的理化性质计算其土壤抗侵蚀性指标,分析比较两种方法得到的土壤抗侵蚀性指标,修正侵蚀—生产力评价模型(EPIC),以期为长江流域主要侵蚀性土壤的抗侵蚀性指标的计算提供一种较为简便的方法。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤及理化性质

试验地点选择在长江水利委员会长江科学院沌口科研基地,试验用土选自湖北省武汉地区的红壤及湖

北省秭归县的紫色土,两种土壤的理化性质详见表 1。

1.2 试验装置

试验在人工模拟降雨大厅内的移动可调节试验槽(坡度可在 $0^{\circ}\sim 28^{\circ}$ 之间调节)中进行,该土槽长 3 m,宽 1 m,深 50 cm,槽底部留有直径 5 mm 小孔,用以排出雨水,土槽下部也有同样的小孔,并配备了铁皮槽,以接收地表径流和壤中流。

采用下喷式降雨器,降雨高度 2.5 m,并在试验前对降雨器雨强和降雨的均匀性等降雨参数进行了率定。

表 1 试验用土的理化性质

土 壤	土壤机械组成 %				容重/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	pH	有机质含量/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
	2~0.1 mm	0.1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm			
红 壤	22.84	7.89	36.64	32.64	1.28	5.5	6.18
紫色土	38.07	9.24	42.92	9.76	1.49	6.0	5.12

1.3 试验方案

人工模拟降雨试验选择红壤和紫色土作为试验用土,共设计 $5^{\circ}, 10^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}$ 这 4 个坡度和 0.60, 1.10, 1.61, 2.12, 2.54 mm/min 共 4 种雨强,共计 40 场降雨试验,每场降雨试验控制总雨量为 50 mm。

在侵蚀槽中铺 0.4 m 厚的供试土壤,该土壤过 1 cm 的筛,以去除杂草和石块。为了控制土壤前期含水量基本一致以消除土壤前期含水量对侵蚀试验的影响,在降雨前先用 0.60 mm/min 的小雨强润湿 10 min,搁置 24 h 后进行试验,并在试验前再次对土壤进行适当的耙松。然后调整不同的坡度和雨强进行一系列的试验。为保证每场试验的一致性,试验不换土,但在每场降雨试验开始前,都在坡面上铺一层细土(过 1 cm 孔径的筛)以模拟耕作土壤,降雨试验连续进行。在一场试验结束后,土槽搁置,让水充分下渗,在自然状态下风干,进行第二场试验前测定土壤含水量,当所测含水量与第一场试验基本一致时再开始第二场试验。试验从小雨强开始,4 个坡度试验结束后,再增大雨强,开始下一组试验。

本试验采用可升降式土槽调节坡度,利用环刀法测定土壤容重;利用烘干法测定土壤前期含水量;采用筛分法结合沉降法分析供试土壤颗粒组成;利用水土流失移动试验室上的多功能数据采集器和压力表来率定降雨强度。试验中前 10 min 的观测方法为:前 3 min 每分钟观测一次径流量、泥沙量,接下来的 4 min 每 2 min 观测一次,然后 3 min 观测一次;10 min 之后每 5 min 观测一次直至地表径流结束。径流小区出口的径流总量用塑料桶全部收集测量;利用烘干法测定径流含沙量。

2 结果与分析

2.1 人工模拟降雨条件下的土壤抗侵蚀性指标

目前常用于预测土壤抗侵蚀性的指标主要是土壤流失方程中的土壤可蚀性 K 值^[6]。通用土壤流失方程将土壤可蚀性因子(K)定义为标准小区上单位降雨侵蚀力引起的土壤流失率。根据通用土壤流失方程 USLE 中土壤可蚀性因子(K)的定义,土壤可蚀性 K 值可表示为

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

式中: A ——土壤流失量($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可蚀性因子; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——作物管理因子; P ——水土保持措施因子。

其中,降雨侵蚀力 R 可表示为:

$$R = E_{\text{总}} \cdot I_{30} \quad (2)$$

$$E = 210.2 + 89 \lg I \quad (3)$$

式中: $E_{\text{总}}$ ——次降雨总动能 ($\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{cm})$); I_{30} ——次降雨最大 30 min 雨强($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)。

而坡度(S)坡长(L)因子在标准小区上,其值为 1,在非标准小区上,可通过刘宝元等^[7]提出的坡度和坡长公式进行转化。

$$S = 21.9 \sin \theta - 0.96 \quad (4)$$

$$L = (\lambda/20)^m \quad (5)$$

当坡度 $< 1\%$ 时, $m = 0.2$; 当坡度在 $1\% \sim 3\%$ 时, $m = 0.3$; 当坡度在 $3\% \sim 5\%$ 时, $m = 0.4$; 当坡度 $> 5\%$ 时, $m = 0.5$ 。本试验条件下, C 和 P 值均为 1。

采用通用土壤流失方程计算人工模拟降雨试验的红壤和紫色土的抗侵蚀性指标,结果详见表 2—3。

表 2 人工模拟降雨条件下的红壤抗侵蚀性指标

场次	雨强/ (mm · min ⁻¹)	坡度/ (°)	R	L	S	CP	A/ (t · hm ⁻²)	K
1	0.60	5	14.682 4	0.684 3	0.948 7	1	2.133 4	0.223 8
2	1.10	5	20.628 2	0.684 3	0.948 7	1	5.177 1	0.386 6
3	1.61	5	30.596 5	0.684 3	0.948 7	1	8.542 5	0.430 1
4	2.12	5	40.910 9	0.684 3	0.948 7	1	15.102 1	0.568 7
5	2.54	5	44.270 5	0.684 3	0.948 7	1	9.851 6	0.342 8
6	0.60	10	14.682 4	0.566 0	2.842 9	1	7.989 6	0.338 2
7	1.10	10	20.043 8	0.566 0	2.842 9	1	10.968 8	0.340 1
8	1.61	10	39.032 9	0.566 0	2.842 9	1	13.217 3	0.210 4
9	2.12	10	51.277 3	0.566 0	2.842 9	1	16.831 8	0.204 0
10	0.60	15	13.185 7	0.468 2	4.708 1	1	9.076 6	0.312 3
11	2.12	15	49.569 6	0.468 2	4.708 1	1	40.953 5	0.374 8
12	2.54	15	59.461 6	0.468 2	4.708 1	1	47.332 6	0.361 1
13	0.60	20	13.185 7	0.387 3	6.530 2	1	12.001 0	0.359 9
14	1.10	20	18.687 2	0.387 3	6.530 2	1	26.598 0	0.562 8
15	2.54	20	59.461 8	0.387 3	6.530 2	1	43.970 2	0.292 4

表 3 人工模拟降雨条件下的紫色土抗侵蚀性指标

场次	雨强/ (mm · min ⁻¹)	坡度/ (°)	R	L	S	CP	A/ (t · hm ⁻²)	K
1	0.60	5	9.349 6	0.684 3	0.948 7	1	3.007 9	0.495 6
2	1.10	5	18.687 2	0.684 3	0.948 7	1	5.708 2	0.470 5
3	2.12	5	39.241 1	0.684 3	0.948 7	1	7.776 0	0.305 3
4	2.54	5	48.080 0	0.684 3	0.948 7	1	8.624 1	0.276 3
5	0.60	10	9.349 6	0.566 0	2.842 9	1	10.353 4	0.688 2
6	1.10	10	18.687 2	0.566 0	2.842 9	1	11.414 0	0.379 6
7	1.61	10	28.773 6	0.566 0	2.842 9	1	13.310 0	0.289 4
8	2.12	10	39.241 1	0.566 0	2.842 9	1	17.064 0	0.270 2
9	2.54	10	48.080 0	0.566 0	2.842 9	1	18.201 2	0.235 3
10	0.60	15	9.349 6	0.468 2	4.708 1	1	10.704 9	0.519 4
11	1.10	15	18.687 2	0.468 2	4.708 1	1	13.957 8	0.338 8
12	2.12	15	39.241 1	0.468 2	4.708 1	1	22.754 3	0.263 1
13	2.54	15	48.080 0	0.468 2	4.708 1	1	26.566 4	0.250 7
14	0.60	20	9.349 6	0.387 3	6.530 2	1	11.862 6	0.501 7
15	1.10	20	18.687 2	0.387 3	6.530 2	1	13.652 2	0.288 9
16	1.61	20	28.773 6	0.387 3	6.530 2	1	19.487 5	0.267 8
17	2.12	20	39.241 1	0.387 3	6.530 2	1	27.057 0	0.272 6
18	2.54	20	48.080 0	0.387 3	6.530 2	1	34.477 8	0.283 5

由表 2—3 可以看出,红壤和紫色土的抗侵蚀性指标的变化幅度较大,这说明如果简单的将土壤抗侵蚀性指标用于次降雨模型,将会带来较大的误差,进而失去其意义。

通用土壤流失方程创始人 Wischmeier^[8] 曾对许多学者将 USLE 方程用于其它目的而提出 3 条建议: (1) USLE 方程是用来预报坡地土壤侵蚀量的; (2) USLE 是用来预报长期的土壤流失量,土壤流失

必须是大量的、连续不断发生的事件,与由于单次活动而引起的土壤流失事件是不同的;(3) 用 USLE 来预报土壤流失量时最大的潜在错误在于各因子不恰当的取值。因此,利用 USLE 方程求取土壤抗侵蚀性指标,其中的 A 和 R 因子必须是大量标准小区上次降雨过程的综合,而不是某个次降雨过程。

因此,人工模拟降雨试验下土壤抗侵蚀性指标的计算不应该是单次或者多次降雨的简单平均,而应该

统计为多次降雨过程的综合,故以 RLSCP 为横坐标, A 为纵坐标,其斜率即为土壤抗侵蚀性指标。由图 1

可得,红壤的抗侵蚀性指标为 0.325 2,紫色土的抗侵蚀性指标为 0.276 3。

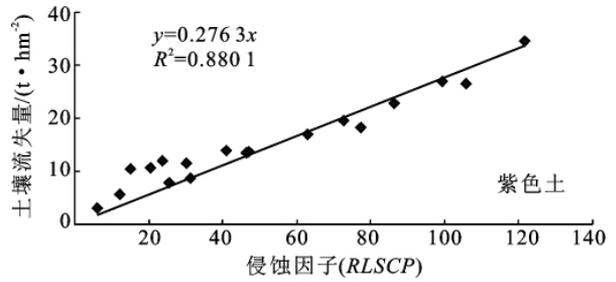
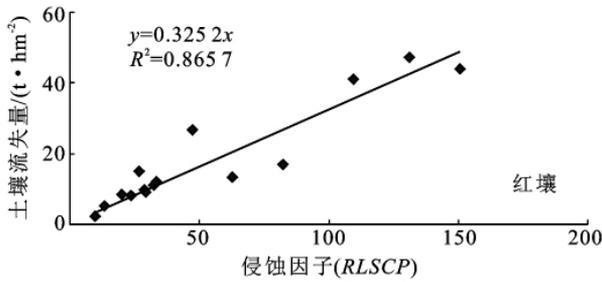


图 1 模拟降雨条件下土壤流失量与各因子的关系

2.2 利用侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 求得土壤抗侵蚀性指标

应用侵蚀—生产力模型 (EPIC) 来计算土壤抗侵蚀性指标是 1990 年美国水土保持学家 Williams 等人^[9]在总结美国中西部土壤侵蚀研究成果之后提出来的,因其仅与土壤砂粒含量、粉粒含量、黏粒含量和土壤有机碳含量有关,计算起来非常简便,故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抗侵蚀性指标的主要方法来进行介绍。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做出正确评价的条件,近几年来已有许多学者开始应用这一方法来求取土壤抗侵蚀性指标。

EPIC 模型中土壤抗侵蚀性指标计算公式为^[9-10]:

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

式中: S_a ——砂粒含量(%); S_i ——粉粒含量(%); C_i ——黏粒含量(%); C ——有机碳含量(%), 有机碳含量=有机质含量÷1.724; $S_n=1-S_a/100$ 。

根据公式(6)以及供试土壤的理化性质,计算得到红壤和紫色土的抗侵蚀性指标,分别为 0.313 8 和 0.266 8。

2.3 侵蚀—生产力评价模型的修正

将上述两种方法得到的土壤抗侵蚀性指标进行分析比较。可以发现,采用 EPIC 模型计算得到的土壤抗侵蚀性指标值均比人工模拟降雨试验下实测到的土壤抗侵蚀性指标值要小。人工模拟降雨试验方法在各国进行水土保持研究中已被广泛应用,而侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 是在总结美国中西部

地区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进行验证。因此,可以认为采用人工模拟降雨试验方法求取土壤抗侵蚀性指标更为可靠,侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 在进行修正后才能在我国适用。

将侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 计算得到的土壤抗侵蚀性指标定义为 K_E , 将人工模拟降雨试验方法下得到的土壤抗侵蚀性指标定义为 K_U , 将 K_U 与 K_E 的比值定义为侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 的修正系数,依次计算红壤和紫色土的修正系数,得到红壤和紫色土的 K_U 与 K_E 的比值,均为 1.04,即侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 的修正系数为 1.04。

3 结论

- (1) 由人工模拟降雨试验实测求得的红壤和紫色土的抗侵蚀性指标分别为 0.325 2 和 0.276 3。
- (2) 运用侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 计算求的的红壤和紫色土的抗侵蚀性指标分别为 0.313 8 和 0.266 8。
- (3) 分析比较这两种方法得到的土壤抗侵蚀性指标,最终得到侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 的修正系数为 1.04。

[参 考 文 献]

[1] 长江水利委员会. 长江流域水土保持公报[R]. 湖北武汉:长江水利委员会, 2007.

[2] 张爱国, 张平仓, 杨勤科. 区域水土流失土壤因子研究[M]. 北京:地质出版社, 2003.

[3] 吕喜玺, 沈荣明. 土壤可蚀性因子 K 值的初步研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1):63-70.

[4] 杨萍, 胡续礼, 姜小三, 等. 小流域尺度土壤可蚀性(K值)的变异及不同采样密度对其估值精度的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(6):35-39.

(下转第 107 页)

4 结语

作为世界上受泥石流灾害威胁最为严重的国家之一,研究其预报模型,提高预报精度,对提高我国山洪灾害防御能力具有重要作用。本研究通过 Fisher 判别分析法对泥石流产生的当日降雨量和 15 d 实效雨量进行了分析,提出了 Fisher 判别分析泥石流预报模型。该模型具有操作简单易懂和计算速度快等特点,并将其运用于密云县泥石流的预报中,结果正确率高达 84.7%,值得在泥石流预报中推广应用。

[参 考 文 献]

- [1] 陈雷. 陈雷在山洪灾害防治县级非工程措施建设会议讲话[EB/OL]. (2010-04-24)[2010-09-09]. http://www.gov.cn/gzdt/2010-11/25/content_1753454.htm.
- [2] 师哲,张平仓,舒平安. 泥石流监测预报预警系统研究[J]. 长江科学院院报,2010,27(11):115-119.
- [3] 崔鹏,高克昌,韦方强. 泥石流预测预报研究进展[J]. 中国科学院院刊,2005,20(5):363-369.
- [4] 郑国强,张洪江,刘涛,等. 基于 Bayes 判别分析法的密云县山洪泥石流预报模型[J]. 水土保持通报,2009,29(1):83-87.
- [5] 孟凡奇,李广杰,李明,等. 逐步判别分析法在筛选泥石流评价因子中的应用[J]. 岩土力学,2010,31(9):2925-2929.
- [6] 白云飞,江露英. 边坡稳定性预测的 Fisher 判别分析模型[J]. 有色金属:矿山部分,2010,62(2):49-52.
- [7] 李秀珍,王成华,宋刚. 基于 Fisher 判别分析法的潜在滑坡判识模型及其应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2009,20(4):23-26.
- [8] 董陇军,李夕兵,白云飞. 急倾斜煤层顶煤可放性分类预测的 Fisher 判别分析模型及应用[J]. 煤炭学报,2009,34(1):58-63.
- [9] 赵选民,徐伟,师义民,等. 数理统计[M]. 北京:科学出版社,1999:303-308.
- [10] 朱永生. 实验数据多元统计分析[M]. 北京:科学出版社,2009:48-54.
- [11] 袁志发,宋世德. 多元统计分析[M]. 北京:科学出版社,2009:255-266.
- [12] 张尧庭,方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京:科学出版社,1982:172-179.
- [13] 王学民. 应用多元分析[M]. 上海:上海财经大学出版社,2009:178-190.
- [14] 暴奉贤,陈宏立. 经济预测与决策方法[M]. 广州:暨南大学出版社,2007:251-255.
- [15] 王礼先,于志民. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京:中国林业出版社,2001:121-175.
- [5] 张金池,李海东,林杰,等. 基于小流域尺度的土壤可蚀性 K 值空间变异[J]. 生态学报,2008,28(5):2199-2206.
- [6] Wischmeier W H. Cropping-management factor evaluations for a universal soil-loss equation[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1960, 24:322-326.
- [7] 刘宝元,张科利,谢云. 土壤侵蚀模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.
- [8] Wischmeier W H. Use and misuse of the universal soil loss equation[J]. J. Soil and Water Conserv., 1976,31:5-9.
- [9] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. The EPIC model and its application[C]//Proc. ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agro-technology Transfer, 1983:111-121.
- [10] Williams J R, Sharply A N. EPIC erosion productivity impact calculator I: Model documentation [J]. US Department of Agriculture Technical Bulletin, 1990, 1768:105-124.

(上接第 98 页)