
* 试 *
* 验 *
* 研 *
* 究 *

基于 USLE 的广东省山区土壤 侵蚀量估算及特征分析

文雅^{1,2,3}, 刘晓南⁴, 程炯⁴

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100039;
3. 华南农业大学, 广东 广州 510642; 4. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 基于通用土壤流失方程(universal soil loss equation, USLE)、遥感和 ArcGIS 空间分析技术, 通过合理选择 USLE 模型中各土壤侵蚀因子的计算方法, 对广东省山区土壤侵蚀量进行了估算, 并对山区土壤侵蚀随土地利用类型、土壤类型、坡度及海拔高度的分布特征进行了分析。结果表明, 广东省山区 2000 年土壤侵蚀总量为 1.23×10^8 t, 年均侵蚀模数为 1 080 t/(km² · a), 侵蚀强度为轻度。不同土地利用类型中, 旱地的侵蚀强度最高, 达 2 055 t/(km² · a), 林地和草地的侵蚀模数较小, 分别为 908 和 932 t/(km² · a)。不同坡度等级的土壤侵蚀特征表现为坡度越陡, 侵蚀强度越大。不同海拔高度的侵蚀特征表现为在 0~1 600 m 高度, 侵蚀强度随海拔高度的升高而增大; 海拔高于 1 600 m 时, 侵蚀强度随海拔高度的升高而下降。

关键词: 土壤侵蚀; USLE; 广东省山区; 分布特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0112-07

中图分类号: S157.1

Assessment and Feature Analysis of Soil Erosion in Mountainous Area of Guangdong Province Based on USLE

WEN Ya^{1,2,3}, LIU Xiao-nan⁴, CHENG Jiong⁴

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academic of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China*; 2. *University of Chinese Academic of Sciences, Beijing 100039, China*;
3. *College of Informatics, South China Agriculture University, Guangzhou, Guangdong 510642, China*;
4. *Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangzhou, Guangdong 510650, China*)

Abstract: Taking reasonable soil erosion factors from remote sensing and GIS spatial analysis, we estimated the soil erosion situation by universal soil loss equation(USLE) in mountain area of Guangdong Province. The spatial changes of soil erosion with land use, soil type, slope degree and elevations also be analyzed in this paper. The results indicate that the annual average soil erosion amounted to 1.23×10^8 t with the mean soil erosion modulus of 1 080 t/(km² · a) classified as slight degree erosion. Among different types of land use, the strongest soil erosion occurred in dry land with the erosion modulus of 2 055 t/(km² · a) and the weakest erosion was in forest and grassland with the erosion modulus of 908 and 932 t/(km² · a) respectively. And the soil erosion intensity increased with slope gradient, the greater of the slope gradient, the more intense of the soil erosion. In different elevation zones, the soil erosion intensity increases with the elevation until to 1 600 meters, after which the erosion intensity decreased.

Keywords: soil erosion; USLE; mountainous area of Guangdong Province; distribution characteristics

土壤侵蚀是地表物质在内外营力(包括人为力)作用下产生脱离母质的分离^[1]。由于人类活动的影响,土壤侵蚀在自然侵蚀的基础上叠加了人为的加速侵蚀,致使土壤破坏、土地退化、河道淤积、水体污染

等一系列生态环境问题。因此,从 1877 年德国土壤学家 Ewald Wollny^[2] 开始研究土壤侵蚀的一个多世纪以来,土壤侵蚀的影响因素、侵蚀机理、侵蚀预报模型等都得到了国内外学者的深入研究并取得了卓著

收稿日期:2012-09-24

修回日期:2012-11-28

资助项目:国家科技支撑计划项目“粤港澳水量与水环境遥感监测系统与应用”(2012BAH32B03); 广东省科技计划重点项目“广东省耕地质量动态监测系统”(2012A020200006)

作者简介:文雅(1969—),女(汉族),湖南省常德市人,博士,副教授,主要从事土壤与土地资源环境信息等方面的教学与科研工作。E-mail: wenyay26@21cn.com。

成效。在侵蚀预报模型中有着深远影响的是 1965 年美国水土保持学者 Wischmeier 和 Smith^[3] 提出的通用土壤流失方程(universal soil loss equation, USLE), 该方程是一个经验统计性的土壤侵蚀预报模型, 全面考虑了影响土壤侵蚀的自然因素, 并通过降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡度坡长、作物覆盖和水土保持措施 5 大因子进行定量计算, 与基于侵蚀过程的物理模型(如美国的 WEPP 模型^[4]、欧洲的 EUROSEM^[5] 模型等)相比, 具有结构简单, 所需数据量少, 结果可靠, 在世界范围内得到了广泛的推广和应用。

在我国, 该模型已经被广泛地应用在水土流失的预测和治理工作中, 例如, 周伏健等、张宪奎等和肖寒等^[6-8] 利用 USLE 模型分别计算了福建省、黑龙江省和海南岛的水土流失量, 普遍认为 USLE 模型能够较好地适用于我国的水土流失估算和分析。该模型也便于在 GIS 支持下进行运算, 各因子的计算方法与算式则根据各地实际情况分别进行选取和修正。

广东省山区地处亚热带季风气候区, 水热资源及生物资源丰富, 土壤类型及土地利用类型多样, 是珠江三角洲乃至整个华南地区的生态屏障。改革开放以来, 广东省社会经济飞速发展, 珠江三角洲城市急剧膨胀, 产业结构急需更新和提升。在这种情况下, 广东省山区迎来了全新的发展机遇, 在自身发展的同时, 承接该省产业园区的转移, 成为广东省经济产业转移的前沿重地。在今后的一段时间内必定会产生一定程度的人为干扰, 加剧水土流失的风险。因此, 掌握广东山区土壤侵蚀特征十分必要。到目前为止, 部分学者针对 USLE 模型对华南地区土壤侵蚀的影响因子及水土流失做了一些研究, 如吴志峰、刘平等^[9-10] 对广东省的降雨侵蚀力的年内变化和年际变化进行了研究; 朱立安^[11] 对广东省土壤可蚀性的现状及影响因素进行了分析; 潘美慧^[12] 利用 USLE 方程对东江流域的土壤侵蚀进行了估算等。本研究借鉴前人的经验, 利用 USLE 模型, 通过验证参数, 对广东省山区土壤侵蚀量进行估算并进行侵蚀类型和强度的分布规律分析, 旨在掌握广东山区土壤侵蚀特征, 正确认识广东省生态环境现状, 为生态环境重建的合理决策提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

广东省山区地处东经 111°45′—117°11′, 北纬 21°43′—25°31′、南岭南侧, 与桂、湘、赣、闽 4 省接壤, 分布在粤北、粤东和粤西北部。总面积 1.18 × 10⁵ km², 占广东省总面积的 66%。属于亚热带和中亚

热带季风气候区, 年均气温 19~23 °C, 年均降水量在 1 600~2 200 mm。地貌类型多以山地丘陵为主, 谷地和盆地镶嵌其中。南雄石坑崆最高海拔为 1 902 m, 为广东第一峰。植被类型主要为亚热带常绿季雨林、中亚热带常绿阔叶林、亚热带草坡及人工杉林、松林等。土壤类型以地带性的赤红壤、红壤以及人为土壤水稻土为主。

1.2 数据来源

1:25 万 DEM (来自国家基础地理信息系统 1:25 万数据库(1995 年)); 1:20 万广东省土壤类型图(来自广东省百项工程项目: 广东省土壤图谱及作物适宜性评价, 斑块类型为土属); 2000 年广东省 1:10 万土地利用数据(来自中科院资源环境信息中心); 广东省行政区划图; 24 景 2000 年 MODIS NDVI 产品数据(来源于美国地质勘探局网站, ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/)。

由于各数据来源不一, 各图形数据在 ArcGIS 中预处理, 生成具有统一的投影坐标及边界的数据集, 并从中提取山区各专题图层。图层的投影类型为 Albers, 坐标参数为标准纬线 21°N, 25°N, 标准经线 113°30′E, 东偏 500 km。在数据处理的过程中, 栅格图层的分辨率取 100 m × 100 m。

广东省 26 个气象站点的 1961—2001 年逐日降雨数据; 第二次土壤普查资料《广东土种志》、《广东土壤》中的 223 个土壤剖面数据, 取各土种表层的机械组成、土壤有机质含量及面积等属性数据。五华重点水土保持监测站监测的乌陂河流域降雨量、径流量、输沙量数据。

1.3 研究方法

通用土壤流失方程 USLE 是建立在土壤侵蚀理论及大量实地观测数据统计分析基础上的经验模型^[3], 其表达式为:

$$A = 224.2 \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot P \cdot C \quad (1)$$

式中: A ——年平均土壤侵蚀量; R ——降水侵蚀因子; K ——土壤侵蚀性因子; L, S ——地形因子; P ——保护措施因子; C ——地表植被覆盖因子。 L, S, P, C 均为无量纲单位, 公式中含 224.2 系数是为了将结果换算为国际通用单位(t/km²)。

1.3.1 降水侵蚀因子 R 值的估算 降雨侵蚀力的大小既与降雨量有关, 也与降雨强度有关。降雨侵蚀力模拟有基于次降雨、日降雨、月降雨、年降雨等的侵蚀模型, 参照文献^[10], 采用日降雨侵蚀模型^[13] 计算 R 值, 公式为:

$$R_i = \alpha \sum_{j=1}^k (P_j)^\beta \quad (2)$$

式中： R_i ——第 i 个半月时段的侵蚀力值 ($\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$)； k ——该半月时段内的天数； P_j ——半月时段内第 j 天的日雨量，要求日雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ ，否则以 0 计算，12 mm 与侵蚀性降雨标准对应； α, β ——模型参数，根据区域降雨特征进行估算，如公式(3)–(4)：

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \quad (3)$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (4)$$

式中： P_{d12} ——日雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的日平均雨量； P_{y12} ——日雨量 $\geq 12 \text{ mm}$ 的年平均雨量。

以广东省 26 个气象站点 40 a 的逐日降雨为数据源，利用公式(2)–(4)模拟出每个站点逐年的半月降雨侵蚀力，并统计出各站点逐年降雨侵蚀力及多年平均降雨侵蚀力。采用 Kriging 内插方法进行空间插值，得到广东省的降雨侵蚀力 R 值，再提取广东山区的 R 值。

1.3.2 土壤可蚀性因子 K 值估算 土壤可蚀性因子决定于土壤的机械组成和有机质含量。采用 Williams 等人在 EPIC(erosion productivity impact calculator)模型中的计算公式：

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256S_{AN}(1 - S_{IL}/100)]\} \times \left(\frac{S_{IL}}{C_{LA} + S_{IL}}\right)^{0.3} \times \left[1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}\right] \times \left[1.0 - \frac{0.7SN_1}{SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9SN_1)}\right] \quad (5)$$

式中： S_{AN} ——砂粒含量(%)； S_{IL} ——粉砂含量(%)； C_{LA} ——黏粒含量(%)； C ——有机碳含量(%)， $SN_1 = 1 - S_{AN}/100$ ，利用公式(5)和第二次土壤

普查资料中的 223 个典型剖面数据，获取各土种的 K 值，然后用面积加权法获取各土属的 K 值，赋值给 1:20 万的土壤类型图，获取广东省山区土壤可蚀性因子 K 值图。

1.3.3 地形因子(LS)估算 地形因子对土壤侵蚀的影响由坡长(L)和坡度(S)决定。在 USLE 模型中，往往把它们当作一个独立的因子进行估算。由于不同的国家或地区其地形特征各不相同，因此，出现了针对不同地形区域的各种不同算式^[14-17]。依据广东省山区的地形地貌特征与闽东南地区相接近，故选取黄炎和^[17]等的 LS 因子算式：

$$LS = 0.08\lambda^{0.35}\alpha^{0.66} \quad (6)$$

式中： λ ——坡长； α ——百分比坡度。二者都是基于广东山区 1:25 万 DEM 模型获取。

1.3.4 地表覆盖因子(C)估算 地表覆盖因子(C)是土壤侵蚀的主要抑制因子之一，与植被覆盖度和土地利用类型密切相关。要获取大范围的植被覆盖度，遥感技术是最为有效的手段。在研究区 C 值求取过程中，分非农用地(如林地、草地、未利用地等)和农用地两种类别分别求取。对非农用地，首先利用 24 景广东省域 2000 年的 MODIS 16 d 合成的 NDVI 数据产品，在 ERDAS 中合成 2000 年的 NDVI 年均值。然后，采用基于 NDVI 的像元二分模型^[18-19]计算出植被覆盖度(F_c)，如公式(7)。

$$F_c = \frac{(\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min})}{(\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})} \quad (7)$$

根据 Wischmeier 等^[20-22]的研究，在植被覆盖度的基础上，结合土地利用方式，对研究区非农用地按表 1 进行 C 因子取值。

表 1 C 因子的取值

类别	冠层类型	地表覆盖率/%					
		0	20	40	60	80	95 以上
1	没有明显的冠层	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
2	较高的草丛或矮灌丛	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
3	树木	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003

针对农用地，因考虑到农作物的熟制，作物类型及覆盖度随季节变化而变化，用年均覆盖度来提取农用地的 C 值不能有效地反映农用地的土壤侵蚀特征。因此，农用地的 C 值按照坡度及耕作方式进行取值，其取值大小参照文献^[23]，详见表 2。

1.3.5 水土保持措施因子(P)估算 水土保持措施因子 P 是采用专门措施后土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值。其值在 0~1 之间。0 表示不发生侵蚀，1 表示未采取任何水土保持措施。本研究

沟谷及宽谷水田取 0.1，坡耕地按坡度值换算出 P 值^[24-25](表 3)，其他地类一律取 1，得到广东省山区 P 值图层。

表 2 不同坡度和耕作方式的 C 值

坡度	等高带状耕作	草田带状间作	水平梯田	等高垄作
$<5^\circ$	0.3	0.1	0.03	0.1
$5^\circ \sim 10^\circ$	0.5	0.1		0.1
$>10^\circ$	0.6	0.2		0.3

表 3 坡耕地坡度值与 P 值换算关系

坡度/%	1~2	2~8	8~12	12~16	16~20
P 值	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8

1.3.6 土壤侵蚀量的计算、验证及侵蚀强度分级

根据 USLE 方程及各因子的估算,在 ArcMap Spatial Analyst 中将各个因子连乘,获取每个栅格的土壤侵蚀模数。数据的精度验证采用五华县乌陂河流域的水土流失实测数据与模型的计算数据进行对比,验证模型的合理性。

乌陂河小流域位于广东省东北部(24°02′—24°07′N,115°38′—115°42′E),面积 23.23 km²。该流域 20 世纪 80 年代初期土壤侵蚀非常严重,后期逐步治理,水土流失得到了有效的控制。1984—1990 年实测水文期间,土地覆盖前后差异甚大,不能进行有效检验。选取降雨量与多年平均降雨量相似、植被覆盖度和 2000 年的现状年最接近的 1990 年实测数据进行验证。验证结果表明,乌陂河流域年土壤侵蚀量实测为 13 404.4 t,USLE 模拟量为 11 977.96 t,模拟精度达到 83.54%。表明模型的计算结果具有较好的可靠性。

在模型计算结果可靠的前提下,按水利部颁布的侵蚀强度分级标准(SL190—96),将研究区的土壤侵蚀强度分为 6 级(表 4)。并在 ArcGIS 的支撑环境

下,对研究区土壤侵蚀特征及其与土地利用类型、坡度、海拔高度等要素的关系特征进行分析。

表 4 土壤侵蚀强度分级标准(SL190—96)

级别	平均侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
微度	<500
轻度	500~2 500
中度	2 500~5 000
强度	5 000~8 000
极强度	8 000~15 000
剧烈	>15 000

2 结果与分析

2.1 广东省山区土壤侵蚀的总体特征

统计分析结果表明,广东省山区年均土壤侵蚀总量为 1.23×10⁸ t,年均侵蚀模数为 1 080 t/(km²·a),侵蚀强度总体表现为轻度。其侵蚀强度分级特征如表 5 所示,表现为以微度侵蚀和轻度侵蚀为主,分别占总面积的 45.26%和 44.93%,中度以上侵蚀约占 10%。

从侵蚀量百分比可以看出,轻度侵蚀贡献率最大,占总侵蚀量的 47.30%;其次是中度侵蚀,占 21.77%;强度侵蚀、极强侵蚀、剧烈侵蚀尽管所占面积只有 2.79%,但占土壤侵蚀量的贡献率达 22.48%,是水土流失治理不可忽略的部分。

表 5 广东省山区土壤侵蚀强度统计

侵蚀强度	面积/ km ²	面积比例/ %	年均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	年侵蚀总量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	侵蚀量比例/ %
微度侵蚀	51 260.70	45.26	203	1 040.95	8.45
轻度侵蚀	50 883.30	44.93	1 145	5 824.73	47.30
中度侵蚀	7 952.34	7.02	3 371	2 680.94	21.77
强度侵蚀	1 822.74	1.61	6 199	1 129.9	9.17
极强侵蚀	1 077.34	0.95	10 523	1 133.65	9.21
剧烈侵蚀	254.26	0.22	19 865	505.075	4.10
全区	113 250.69	100	1 080	12 315.25	100

由广东省山区土壤侵蚀的空间分布特征图分析可知,该区表现为 3 个水土流失高敏感区,分别是北部山区的连州市南部与阳山、乳源县的交界处、清新县北部、英德市北部和西部;西部云雾山地区的信宜、高州市东北部、阳春市西部、新兴县西部和南部;东部莲花山脉一带的揭西、陆河、五华,及饶平、丰顺、潮安地区。

2.2 广东省山区土壤侵蚀随土地利用类型的分布特征

不同的土地利用类型对土壤侵蚀的影响主要表现在植被覆盖度、植被类型及田间管理和水土保持措施的差异上。广东省山区不同土地利用类型的土壤

侵蚀特征详见表 6。从年均侵蚀模数来看,旱地最高,达 2 055 t/(km²·a),这主要是广东省山区的旱地大多是旱坡地,除了植被覆盖度及水保措施等因素的影响外,坡度因素也加大了旱坡地的侵蚀。林地和草地的侵蚀模数较小,分别为 908 和 932 t/(km²·a),主要是因为林地和草地植被覆盖度高,受人为干扰小,因此侵蚀强度较小。水田和未利用地的侵蚀模数相当,约为 1 600 t/(km²·a),分别受控于田间管理和植被覆盖度等因素。从面积比例和侵蚀量比例来看,尽管林地的侵蚀模数最低,但由于占全区面积的 73.33%,因此,对侵蚀量的贡献达 61.61%;草地而

积占 5.32%，对侵蚀量的贡献为 4.59%；水田和旱地是人类干扰最剧烈的部分，二者面积占 19.53%，但对侵蚀量贡献达 32.09%，因此是侵蚀治理的重点区

域，可通过田间管理等措施加以改善。建筑用地和未利用地面积比例和所占的侵蚀量份额都较小，二者面积占 1.82%，侵蚀量占 1.71%。

表 6 广东省山区随不同土地利用类型的土壤侵蚀特征

土地利用类型	面积/km ²	面积比例/%	年均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	年侵蚀总量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	侵蚀量比例/ %
水田	14 996.90	13.17	1 639	2 457	19.99
旱地	7 239.35	6.36	2055	1 488	12.10
林地	83 473.59	73.33	908	7 575	61.61
草地	6 054.51	5.32	932	564	4.59
建筑用地	2 061.12	1.81	1 008	208	1.69
未利用地	14.73	0.01	1 608	2	0.02

2.3 广东省山区土壤侵蚀随坡度的分布特征

坡度是土壤侵蚀的主要影响因子之一。广东省山区不同坡度等级的土壤侵蚀特征详见表 7。随着坡度等级上升，年均侵蚀模数逐渐增大，显示出坡度越陡，侵蚀强度越大。当坡度为 0~5°时，年均侵蚀模数为 478.49 t/(km²·a)，坡度>25°时，年均侵蚀模数增大致 2 551.17 t/(km²·a)。从面积比例和侵蚀

比例来看，坡度<5°的面积占优势，为 36.31%；但侵蚀量只占 15.98%；坡度为 5°~10°，10°~15°，15°~20°的面积比例差异不大，分别为 17.40%，19.74%和 13.95%，侵蚀比例差异亦不大，分别为 15.30%，22.81%和 20.66%。坡度为 20°~25°和>25°时，尽管面积分别只占 7.94%和 4.67%，由于侵蚀模数增大，侵蚀量比例分别可达 14.31%和 10.95%。

表 7 广东省山区随不同坡度等级的土壤侵蚀特征

坡度/(°)	面积/km ²	面积比例/%	年均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	年侵蚀总量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	侵蚀量比例/ %
0~5	41 118.39	36.31	478.49	1 967.51	15.98
5~10	19 704.93	17.40	955.97	1 883.73	15.30
10~15	22 352.29	19.74	1 256.84	2 809.33	22.81
15~20	15 793.78	13.95	1 610.64	2 543.81	20.66
20~25	8 992.30	7.94	1 959.63	1 762.16	14.31
>25	5 286.03	4.67	2 551.17	1 348.56	10.95

2.4 广东省山区土壤侵蚀随海拔的分布特征

广东省山区不同海拔高度的土壤侵蚀特征详见表 8。从面积比例和侵蚀量比例来看，海拔 800 m 以下的山区占主体，面积共占 95.6%，侵蚀量共占 92.82%；海拔 800~2 000 m 的山地面积只占 4.4%，侵蚀量占 7.18%。从年均侵蚀模数来看，首先在 0~1 600 m，随海拔高度的上升，年均侵蚀模数由 920 t/(km²·a)增大到 2 271.48 t/(km²·a)；然后，随海拔的升高年均侵蚀模数下降，到 1 800~2 000 m 时，年均侵蚀模数下降为 1 723.37 t/(km²·a)。广东山区土壤侵蚀强度随海拔高度的分布特征受多种因素的影响，在海拔 1 200 m 以下，除了自然因素的影响外，还叠加了人为活动的干扰。海拔 1 200 m 以上，土壤侵蚀强度主要为自然因素的影响，即植被覆盖度、植被类型、土壤类型、坡度等决定了土壤侵蚀强度特征。

3 结果讨论

广东省先后进行了 4 次土壤侵蚀遥感调查，其方法均以遥感影像目视解译的地表覆盖度为依据，结合土地利用现状图和地形因子，做出土壤侵蚀等级的定性判别。

采用 USLE 模型，通过参数验证，对广东省山区土壤侵蚀强度估算结果与广东省 1999 年的土壤侵蚀遥感调查的结果有所出入(表 9)。表 9 显示，1999 年遥感定性调查结果高达 91.44% 的面积集中在微度侵蚀，约 8.35% 的面积为轻度、中度和强度侵蚀，极强度和剧烈侵蚀几乎没有(面积比例只有 0.62%)。而通过 USLE 方法定量估算，广东省山区土壤侵蚀强度分布面积，微度侵蚀面积由 91.44% 大幅度缩小到 45.26%，轻度侵蚀面积由 3.80% 显著增大到 44.93%，中度和强度侵蚀面积明显增大至 8.63%，极

强度和剧烈侵蚀面积也扩大到 1.17%。侵蚀强度的分布由微度侵蚀显著偏移到了微度和轻度侵蚀,其他侵蚀强度类别面积也有明显扩大。这种出入是由方法差异导致的结果。由于遥感信息仅对上层树冠变化反应敏感,却不能正确反映出树下及近地表层植被

状况,而正是近地表层植被在防治侵蚀过程中起着关键作用,从而在定性判断过程中会严重低估实际的侵蚀状况和强度。通过本次模型定量估算,对广东省山区土壤侵蚀强度的面积分布状况及分布规律有了正确判断和新的认识,为有关部门管理决策提供科学依据。

表8 广东山区随不同海拔高度的土壤侵蚀特征

海拔/m	面积/km ²	面积比例/%	年均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	年侵蚀总量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	侵蚀量比例/%
0~200	46 638.90	41.18	920.54	4 293.32	34.86
200~400	34 389.17	30.37	1 136.56	3 908.55	31.74
400~600	18 623.56	16.44	1 147.01	2 136.15	17.35
600~800	8 617.14	7.61	1 268.42	1 093.02	8.88
800~1 000	3 236.15	2.86	1 652.68	534.83	4.34
1 000~1 200	1 228.32	1.08	1 935.82	237.78	1.93
1 200~1 400	411.46	0.36	2 138.72	88.00	0.71
1 400~1 600	94.34	0.08	2 271.48	21.43	0.17
1 600~1 800	9.07	0.01	2 154.55	1.95	0.02
1 800~2 000	0.34	0.0003	1 723.37	0.06	0.0005

表9 不同方法估算广东山区土壤侵蚀强度面积分布对比

侵蚀强度	本次模型估算/%	1999年遥感调查/%
微度侵蚀	45.26	91.44
轻度侵蚀	44.93	3.80
中度侵蚀	7.02	3.18
强度侵蚀	1.61	1.37
极强侵蚀	0.95	0.55
剧烈侵蚀	0.22	0.07

4 结论

(1) 广东省山区年均土壤侵蚀量为 1.23×10^8 t, 年均侵蚀模数为 $1 080$ t/(km²·a), 侵蚀强度为轻度。从侵蚀强度分级来看,以微度和轻度为主,面积分别占 45.26% 和 44.93%, 侵蚀量分别占 8.45% 和 47.3%; 中度侵蚀以上的面积 10% 左右,但侵蚀量占 44.25%。

(2) 不同土地利用类型的侵蚀特征表现为旱地的侵蚀强度最高,达 $2 055$ t/(km²·a), 林地和草地的侵蚀模数较小,分别为 908 和 932 t/(km²·a)。不同坡度等级的土壤侵蚀特征表现为坡度越陡,侵蚀强度越大:坡度为 $0 \sim 5^\circ$ 时,年均侵蚀模数为 478.49 t/(km²·a), 坡度 $> 25^\circ$ 时,年均侵蚀模数增大至 $2 551.17$ t/(km²·a)。不同海拔高度的侵蚀特征表现为 $0 \sim 1 600$ m, 侵蚀强度随海拔高度的升高而增大; $> 1 600$ m 时,侵蚀强度随海拔高度的升高而下降。

致谢:本文写作过程中得到张晓萍研究员和吴志峰研究员的指导与帮助,特此感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 景可,陈永宗,李凤新. 黄河泥沙与环境[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [2] 张光辉. 土壤侵蚀模型研究现状和展望[J]. 水科学进展,2002,13(2):389-396.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall-erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains[M]. USDA Agricultural Handbook, 1965.
- [4] Nearing M A, Lane L J, Alberts E E, et al. Prediction technology for soil erosion by water: Status and research needs[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54(6):1702-1711.
- [5] Morgan R. The European Soil Erosion Model: An Update on Its Structure and Research Base[M]// Rickson R. Cambridge: Conserving Soil Resources: European Perspectives • CAB International, 1994.
- [6] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省土壤流失预报研究[J]. 水土保持学报,1995,9(1):25-30,36.
- [7] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9.
- [8] 肖寒,欧阳志云,王效科,等. GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):75-80.
- [9] 吴志峰,刘平,王继增,等. 广东省降雨侵蚀力时间变化

- 初步分析[J]. 亚热带水土保持, 2005, 17(1): 34-37.
- [10] 刘平, 吴志峰, 匡耀球, 等. 基于日降雨数据的广东省降雨侵蚀力初步分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(5): 555-560.
- [11] 朱立安, 李定强, 魏秀国, 等. 广东省土壤可蚀性现状及影响因素分析[J]. 亚热带水土保持, 2007, 19(4): 4-7.
- [12] 潘美慧, 伍永秋, 任裴鹏, 等. 基于 USLE 的东江流域土壤侵蚀量估算[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2154-2164.
- [13] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 705-711.
- [14] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determine the relationship between erosion and soil productivity[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(1): 129-144.
- [15] Gregory K J, Walling D E. Drainage Basin, Form and Process: A Geomorphological Approach[M]. Edward Arnold, 1973.
- [16] 江忠善, 李秀英. 黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究[M]. 西北水保所集刊, 1988, 7(1): 42-47.
- [17] 黄炎和, 卢程隆, 付勤, 等. 闽东南土壤流失预报研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(4): 13-18.
- [18] 王辉, 咎国盛, 毕晓丽, 等. 基于 MODIS 的泾河流域植被动态年际变化[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 850-856.
- [19] 黄靖, 夏智宏. 基于 MODIS 遥感数据的武汉市植被覆盖变化监测分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(2): 16-20.
- [20] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook. Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 1978.
- [21] Wischmeier W H. Rainfall erosion potential: Geographic and location differences of distribution[J]. Agricultural Engineering, 1962, 43(4): 212-215.
- [22] Wischmeier W H, Mannerling J V. Soil and water management and conservation relation of soil properties to erodibility[J]. Soil Science Society of America, 1969, 33(1): 131-138.
- [23] 刘赞. 长江中游防护林水土流失 RS 反演监测研究[D]. 四川 成都: 四川农业大学, 2009.
- [24] 高江波, 周巧富, 常青, 等. 基于 GIS 和土壤侵蚀方程的农业生态系统土壤保持价值评估[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 77-83.
- [25] 钟朝章, 卜伟文, 王胜华, 等. 乌陂河小流域降雨对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 1993, 13(2): 55-60.

欢迎订阅 2014 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学及管理人员。

《中国农业科学》中文版为半月刊, 影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。中文版为大 16 开, 每月 1, 16 日出版, 国内外公开发行人。每期 224 页, 定价 49.50 元, 全年定价 1188.00 元。国内统一刊号: CN11-1328/S, 国际标准刊号: ISSN 0578-1752, 邮发代号: 2-138, 国外代号: BM43。

《中国农业科学》英文版(*Agricultural Sciences in China*), 2002 年创刊, 月刊, 2012 年更名为《农业科学学报》(*Journal of Integrative Agriculture*, JIA)。2006 年 1 月起与国际著名出版集团 Elsevier 合作, 全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2009 年被 SCI 收录, 2012 年 JCR 影响因子为 0.527。JIA 为大 16 开, 每月 20 日出版, 国内外公开发行人。每期 160 页, 国内订价 80.00 元, 全年 960.00 元。国内统一刊号: CN 10-1039/S, 国际标准刊号: ISSN 2095-3119, 邮发代号: 2-851, 国外代号: 1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅, 也可向编辑部直接订购。

邮编: 100081 联系人: 林鉴非 传真: 010—82106247

电话: 010—82109808, 82106280, 82106281, 82106282

网址: www.ChinaAgriSci.com; E-mail: zgnykx@mail.caas.cn

地址: 北京中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部