

# 广西壮族自治区土地利用与土壤侵蚀的关系

刘警鉴<sup>1</sup>, 卢远<sup>1</sup>, 刘斌涛<sup>2</sup>, 华 瑾<sup>3</sup>

(1. 广西师范学院 地理科学与规划学院, 广西 南宁 530001; 2. 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; 3. 广西师范学院 国土资源与测绘学院, 广西 南宁 530001)

**摘 要:** [目的] 对广西壮族自治区的土壤侵蚀现状进行定量分析, 分析土地利用类型与土壤侵蚀的关系, 为科学防治土壤侵蚀提供决策依据。[方法] 以 RUSLE 模型为基础, 引入喀斯特石漠化修正因子  $M$ , 构建适合广西地区的土壤侵蚀模型。[结果] ① 2015 年, 研究区土壤侵蚀模数为  $135.51 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 土壤侵蚀厚度达  $0.08 \text{ mm}/\text{a}$ , 土壤侵蚀面积  $2.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 土壤侵蚀量  $3.21 \times 10^7 \text{ t}$ 。其中, 喀斯特地区土壤侵蚀面积  $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占土壤侵蚀面积的  $73.81\%$ , 占总侵蚀量的  $31.01\%$ 。② 土壤侵蚀量占总侵蚀量的大小顺序为: 耕地 ( $37.58\%$ ) > 林地 ( $30.94\%$ ) > 草地 ( $16.10\%$ ) > 园地 ( $6.39\%$ ) > 工矿用地 ( $4.09\%$ ) > 裸地 ( $2.16\%$ )。[结论] 人类活动干扰强烈的土地利用影响全区土壤侵蚀空间分布格局。

**关键词:** 广西壮族自治区; RUSLE; 喀斯特石漠化修正因子  $M$ ; 土壤侵蚀; 土地利用

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)01-0041-06

**中图分类号:** S157.1, U412.1<sup>+</sup>4

**文献参数:** 刘警鉴, 卢远, 刘斌涛, 等. 广西壮族自治区土地利用与土壤侵蚀的关系[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 41-46. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.008. Liu Jingjian, Lu Yuan, Liu Bintao, et al. Relationship between land use and soil erosion in Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 41-46.

## Relationship Between Land Use and Soil Erosion in Guangxi Zhuang Autonomous Region

LIU Jingjian<sup>1</sup>, LU Yuan<sup>1</sup>, LIU Bintao<sup>2</sup>, HUA Cui<sup>3</sup>

(1. Geography and Planning Institute, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001,

China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041,

China; 3. Land Resources and Surveying Institute, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001, China)

**Abstract:** [Objective] This study aims to quantitatively analyze the state of soil erosion in Guangxi Zhuang Autonomous Region, especially on the relationship between soil erosion and land uses and provides a basis for scientific control of soil erosion. [Methods] Based on RUSLE model, the modification factor  $M$  of karst rocky desertification was introduced to construct the soil erosion model suitable for Guangxi Zhuang Autonomous Region. [Results] ① In 2015, the soil erosion modulus of the region was  $135.51 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ . The soil erosion thickness was  $0.08 \text{ (mm/a)}$ . The soil erosion area was  $2.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ , and the soil loss was  $3.21 \times 10^7 \text{ t}$ , of which the soil erosion area of karst area was  $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ , accounting for  $73.81\%$  of the soil erosion area and  $31.01\%$  of total soil loss. ② The percentage of soil loss from different land uses in total soil loss was: cultivated land ( $37.58\%$ ) > woodland ( $30.94\%$ ) > grassland ( $16.10\%$ ) > garden land ( $6.39\%$ ) > industrial and mining land ( $4.09\%$ ) > bare land ( $2.16\%$ ). [Conclusion] The land use changes induced by human interferences have greatly affected the spatial pattern of soil erosion in the whole area.

**Keywords:** Guangxi Zhuang Autonomous Region; RUSLE; factor  $M$ ; soil erosion; land use

收稿日期: 2017-07-24

修回日期: 2017-09-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“北部湾沿海地区森林转型及水土流失效应研究: 以南流江流域为例”(41661043); 广西自然科学基金(2015GXNSFAA139234); 国家重点基础研究计划(973 计划)项目(2015CB452700)

第一作者: 刘警鉴(1992—), 男(汉族), 广西壮族自治区灵山县人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 与 RS 在土壤侵蚀、水土保持中的应用。E-mail: 741112615@qq.com。

通讯作者: 卢远(1971—), 男(汉族), 广西壮族自治区横县人, 博士, 教授, 主要从事生态遥感与土壤侵蚀研究工作。E-mail: 51150403@qq.com。

土壤侵蚀导致生态环境恶化、自然灾害加剧,导致土层变薄、有机质含量降低,甚至在暴雨冲刷下,将大量携带养分、重金属和化肥、农药的土壤进入河流水库,造成水体富营养化,使土壤肥力降低,致土地生产力下降,农业价值降低或丧失,严重威胁地区的生态安全、饮水安全和粮食安全<sup>[1]</sup>。国家在 2010—2012 年期间开展了第一次全国水利普查,同步进行了水土保持情况普查工作,获取了广西壮族自治区(以下简称广西)的县域水力侵蚀面积与分布,以及水土保持措施类型与面积等成果<sup>[2]</sup>。因此,为了开发利用好第一次全国水利调查水土保持专项调查成果资料与深入查清广西土壤侵蚀的现状。本文拟以 RUSLE 模型<sup>[3]</sup>为基础,引入喀斯特石漠化修正因子  $M$ ,计算分析广西地区土壤侵蚀空间分布、面积、强度和动态变化情况,分析耕地、园地、林地、草地、裸地、工矿用地与土壤侵蚀的关系,以期科学防治土壤侵蚀提供决策依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

广西地处中国的南疆,介于东经  $104^{\circ}26'$ — $112^{\circ}04'$ ,北纬  $20^{\circ}54'$ — $26^{\circ}24'$ 之间,土地总面积  $2.37 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,耕地占 20.62%,园地占 4.65%,林地占 56.61%,草地占 4.73%。总体地势西北高东南低,地形地貌以低山、丘陵地貌为主,占总面积的 56.15%。喀斯特地貌占总面积的 34.48%,连片分布于桂西南、桂西北、桂中和桂东北;喀斯特地区地表层透水性,土壤较薄,基岩裸露,土被不连续,植被生产力较低,土层抗蚀能力差,在降雨集中的情况下,很容易发生大面积的土壤侵蚀<sup>[4]</sup>。广西属于典型的热带、亚热带季风气候,水热条件充足,年均降雨量 1 250~1 800 mm,集中降雨在 3—9 月,年均气温  $17 \sim 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;发育着砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、黄棕壤、石灰岩土等土壤类型(红黄性土壤占 73.04%以上);天然植被有针叶林、阔叶林、竹林、灌丛、草丛,植被覆盖度高达 88.57%;近年来广西森林结构发生明显变化,人工速生桉种植面积有明显增长<sup>[5]</sup>。

### 1.2 数据来源

降雨数据来自中国气象局数据网,时间为 1980—2015 年;土地利用/土地覆被数据来自国土“二调”数据;地貌数据来自中国科学院编制的《中华人民共和国地貌图集(1:100 万)》;地表覆盖类型与管理方式野外调查单元成果来自第一次全国水利普查;土壤类型数据来自第二次全国土壤普查成果,比

例尺 1:50 万;DEM 数据由 1:5 万数字地形图生成;时间基准为 2015 年的 Landsat8 OLI 遥感影像来自地理空间数据云。

### 1.3 土壤侵蚀模型

本次模型计算只考虑水力侵蚀,不考虑崩塌、崩岗、滑坡、泥石流等重力侵蚀或混合侵蚀造成的土壤侵蚀。因为广西的喀斯特面积较大,土被不连续,并且依据冯腾等<sup>[6]</sup>的研究表明土壤侵蚀状况受地表岩石和地表形态的影响很大,王小燕等<sup>[7]</sup>的研究表明当砾石置于表土之上的表土产沙量总是低于砾石嵌入表土的产沙量,以及王济等<sup>[8]</sup>的研究表明同一坡度或不同坡度的坡面总侵蚀量均随裸岩率的增大而减小,所以有必要引入喀斯特石漠化修正因子  $M$ ,开展实现 RUSLE 模型在广西地区的适应性改进,其计算模型为:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \times M$$

式中: $A$ ——土壤侵蚀模数 $[\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $R$ ——降雨侵蚀力因子 $[(\text{MJ} \cdot \text{mm})/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})]$ <sup>[9-10]</sup>;  $K$ ——土壤可蚀性因子 $[(\text{t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{h})/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})]$ <sup>[11-12]</sup>;  $L, S$ ——地形因子<sup>[13-14]</sup>;  $L$ ——坡长因子(无量纲);  $S$ ——坡度因子(无量纲);  $C$ ——地表植被覆盖与管理因子(无量纲,  $0 \sim 1$ )<sup>[15]</sup>;  $P$ ——水土保持措施因子(无量纲,  $0 \sim 1$ )<sup>[16-17]</sup>;  $M$ ——喀斯特石漠化修正因子(无量纲)。

### 1.4 喀斯特石漠化修正因子 $M$

本文借鉴国家重点基础研究计划(973 计划)项目:“典型山地水土要素时空耦合特征、效应及其调控”的研究成果,结合 2011 年底全国第二次石漠化监测的结果相互修正,评估获得本次广西地区的喀斯特石漠化数据。依据《岩溶地区土壤侵蚀综合治理技术标准》(SL 461-2009)<sup>[18]</sup>给出裸岩率与石漠化强度的关系,综合刘宝元等<sup>[19]</sup>、符素华等<sup>[20]</sup>、师长兴等<sup>[21]</sup>的研究成果,喀斯特地区的土壤侵蚀,裸岩率为  $0\% \sim 50\%$ 的  $M$  因子与裸岩率近似符合线性衰减关系,裸岩率为  $50\%$ 以上的  $M$  因子与裸岩率近似符合指数衰减关系如图 1,由此计算广西地区的喀斯特石漠化修正因子  $M$ (图 2)。

### 1.5 土壤侵蚀强度分级标准

研究区主要分为岩溶地区和南方红壤丘陵区,因此,为了合理评价土壤侵蚀强度,本文融合《岩溶地区土壤侵蚀综合治理技术标准》(SL461-2009)<sup>[18]</sup>和《南方红壤丘陵区土壤侵蚀综合治理技术标准》(SL657-2014)<sup>[22]</sup>划分广西土壤侵蚀强度标准,如表 1 所示。

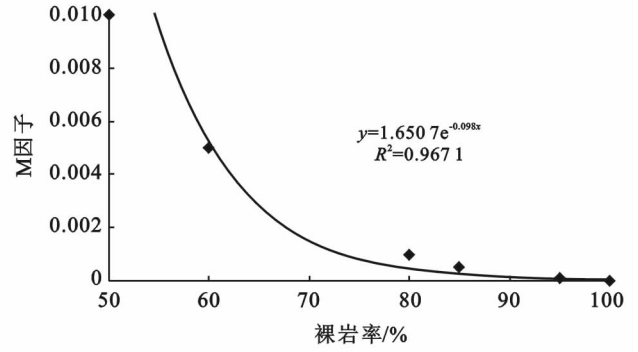
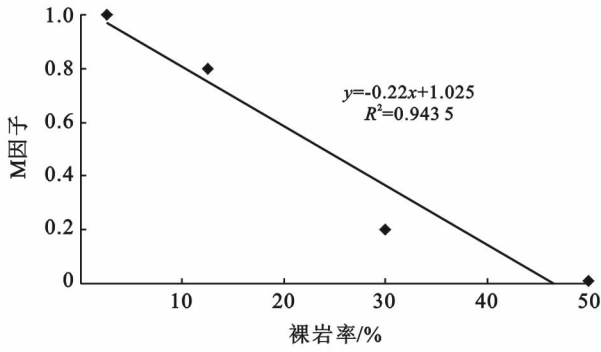


图 1 裸岩率与 M 因子关系

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤侵蚀成果合理性评价

从水文验证分析来说,本文基于输沙量=土壤侵蚀量×泥沙输移比的公式,获取了研究区 11 个水文站点的径流量和输沙量资料(2000—2015 年)。综合文安邦等<sup>[23]</sup>、景可等<sup>[24]</sup>的研究成果,并考虑流域内重力侵蚀、洼地沉积以及水库淤积的影响,合理测算了广西各个流域的泥沙输移比。由表 2 可知,本次测算各个流域的推测输沙量与实测输沙量对比分析,有 8 个水文站相对误差在 15% 范围内,11 个水文站相对误差在 25% 范围内。由此可得本次测算的推测输沙量与实测输沙量基本一致,表明本次基于 RUSLE 模

型引入喀斯特石漠化修正因子来构建适宜广西地区的土壤侵蚀模型是科学合理的。

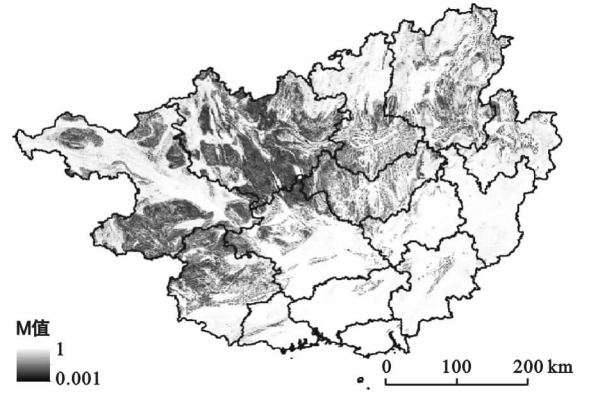


图 2 广西石漠化修正因子 M 分布

表 1 广西地区土壤侵蚀强度分级标准

t/(km<sup>2</sup>·a)

地区	侵蚀等级					
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	剧烈侵蚀
岩溶地区	≤50	50~300	300~1 500	1 500~3 000	3 000~6 000	>6 000
南方红壤丘陵区	≤500	500~1 500	1 500~3 000	3 000~5 000	5 000~10 000	>10 000

表 2 水文验证分析对比

水文站	控制流域	集水面积/ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	推测输沙量/ 10 <sup>4</sup> t	实测输沙量/ 10 <sup>4</sup> t	绝对误差/ 10 <sup>4</sup> t	相对误差/ %
全州 2	湘江	0.57	37.11	40.59	3.48	8.58
融水	融江	2.36	366.40	314.83	51.56	16.38
三岔	龙江	1.64	149.54	131.29	18.25	13.90
金鸡	北流河	0.91	159.57	189.55	29.98	15.82
崇左	左江	2.82	221.82	208.30	13.52	6.49
宁明	明江	0.43	57.92	56.19	1.73	3.08
瓦村 2	驮娘江	1.16	168.31	182.72	14.41	7.89
桂林 3	桂江	0.28	29.53	26.73	2.80	10.48
恭城	恭城河	0.26	24.18	26.05	1.87	7.18
博白 2	南流江	0.28	36.02	36.02	5.98	16.61
常乐 2	南流江	0.66	62.19	63.90	1.71	2.67

### 2.2 全区土壤侵蚀空间格局分析

由表 3 可知,全区以微度侵蚀为主,土壤侵蚀面积为 2.52 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,约占土地总面积的 10.65%。

各侵蚀强度占土地总面积的比例分别是,轻度占 7.15%,中度占 2.44%,强烈占 0.60%,极强烈占 0.29%,剧烈占 0.10%。其中,喀斯特地区土壤侵蚀

面积  $1.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占总侵蚀面积的 73.81%, 占喀斯特面积的 22.68%, 凸显喀斯特地区土壤侵蚀问题的严峻形势。从测算数据来看, 在桂东、桂南、桂东南地区, 土壤侵蚀面积并不大, 但是这几个地区是广西种植桉树的主要区域。桉树本身种植周期短, 易于成林,

在种植小苗或大片砍伐后, 土地植被稀少, 土壤的沙化现象更为严重, 且在桉树成林之后, 其土地上的植被更稀少、枯枝落叶种类也少, 甚至有时候往往是寸草不生的, 因此很易出现多雨季节时大量的水土冲刷现象, 会造成桉树林存在严重的、潜在的土壤土壤隐患<sup>[25]</sup>。

表3 广西地区市域土壤侵蚀状况

城市	总面积/ $10^4 \text{ km}^2$	土壤侵蚀参数								
		模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	厚度/ $(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	总量/ $10^4 \text{ t}$	面积/ $10^4 \text{ km}^2$	轻度/ %	中度/ %	强烈/ %	极强烈/ %	剧烈/ %
南宁	2.20	65.75	0.04	144.65	0.15	5.25	1.28	0.19	0.09	0.03
柳州	1.85	204.56	0.12	378.44	0.28	9.87	3.81	0.98	0.46	0.17
桂林	2.76	168.12	0.10	464.01	0.27	6.41	2.10	0.59	0.32	0.15
梧州	1.25	127.64	0.07	159.55	0.04	2.11	0.84	0.33	0.20	0.06
北海	0.40	113.78	0.07	45.51	0.02	3.12	1.00	0.37	0.17	0.04
防城	0.62	239.23	0.14	148.32	0.05	4.53	2.12	0.93	0.50	0.16
钦州	1.08	173.19	0.10	187.05	0.08	5.13	1.76	0.50	0.22	0.06
贵港	1.06	92.58	0.05	98.13	0.05	3.05	0.88	0.20	0.11	0.05
玉林	1.28	96.09	0.05	123.00	0.05	2.51	0.69	0.19	0.11	0.04
百色	3.61	118.57	0.07	428.04	0.43	8.29	2.51	0.60	0.28	0.07
贺州	1.17	186.84	0.10	218.60	0.09	4.31	1.78	0.65	0.43	0.29
河池	3.33	99.59	0.06	331.63	0.47	10.72	2.46	0.54	0.24	0.08
来宾	1.33	143.16	0.08	190.40	0.23	10.45	5.15	0.99	0.40	0.12
崇左	1.73	167.33	0.09	289.48	0.31	10.67	5.47	1.30	0.55	0.16
合计	23.67	135.51	0.08	3 207.52	2.52	7.15	2.44	0.60	0.29	0.10
喀斯特	8.20	121.27	0.07	994.54	1.86	15.66	5.26	1.07	0.47	0.18

如附图4所示, 从土壤侵蚀空间分布情况来看, 位于桂西南的崇左市, 桂中的柳江流域—红水河流域—黔江流域交汇地带, 桂北河池的环江一带, 桂东北的桂江与贺江的西北侧地带、湘江东部地带, 百色的隆林地带、田阳与田东地带是广西土壤侵蚀主要分布区域。如附图5所示, 本文也从分析耕地、园地、林地、草地、裸地、工矿用地与土壤侵蚀的关系, 揭示全区土壤侵蚀分布格局与土地利用分布格局的关系。

由表3可知, 全区年均土壤侵蚀量为  $3.21 \times 10^7 \text{ t}$ 。其中, 喀斯特地区的年均土壤侵蚀量为  $9.95 \times 10^5 \text{ t}$ , 占总侵蚀量的 31.01%。同时, 根据估算结果, 桂西、桂西北、桂西南、桂中、桂东北等区域是全区土壤侵蚀量的主要来源, 为全区贡献了 71.73% 的土壤侵蚀量。而桂东、桂南、桂东南地区土壤侵蚀量的占比较小, 但并不表明土壤侵蚀量不大, 依然存在严重的土壤侵蚀。由表3可知, 全区平均土壤侵蚀模数为  $135.51 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 平均侵蚀厚度达  $0.08 \text{ mm}/\text{a}$ 。喀斯特地区平均土壤侵蚀模数为  $121.27 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 平均侵蚀厚度达  $0.07 \text{ mm}/\text{a}$ 。其中, 喀斯特地区强烈以上等级, 占对应总面积的 1.72%, 相比全区强烈以上等级占对应总面积的 0.99%, 可见喀斯特地区侵

蚀的剧烈程度。从各市侵蚀强度来看, 各市侵蚀强度差异不大, 桂东北的贺州、桂林, 桂北的柳州, 桂南的钦州、防城港, 桂西南的崇左, 桂中的来宾均超过  $135.51 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 防城港的侵蚀模数最高, 达  $239.23 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

### 2.3 土地利用与土壤侵蚀特征分析

2.3.1 耕地土壤侵蚀状况 由表4可知, 耕地面积为  $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其侵蚀面积达  $8 300 \text{ km}^2$ , 占总侵蚀面积的 32.94%, 占耕地面积的 17.01%。耕地平均侵蚀模数为  $247.03 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 平均侵蚀厚度达  $0.11 \text{ mm}/\text{a}$ ; 耕地年均侵蚀量  $1.21 \times 10^7 \text{ t}$ , 占总侵蚀量的 37.58%, 是区内侵蚀面积和侵蚀量贡献最大的土地利用类型。

由表5可知, 坡耕地平均侵蚀模数为  $892.88 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 年侵蚀厚度达  $0.5 \text{ mm}/\text{a}$ , 是耕地侵蚀模数的 3.61倍, 是耕地侵蚀厚度的 4.55倍, 是总侵蚀厚度的 6.25倍, 可见坡耕地侵蚀程度剧烈。坡耕地年均侵蚀量  $7.23 \times 10^6 \text{ t}$ , 占耕地侵蚀量的 59.99%, 是土壤侵蚀贡献最大的耕地类型。坡耕地坡度大、坡面平整度与水土保持措施较差, 土地垦殖率高, 人为活动强烈, 极易在暴雨冲刷下造成严重的土壤侵蚀<sup>[13]</sup>。

表 4 土地利用土壤侵蚀状况

土地利用类型	总面积/ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	土壤侵蚀								
		模数/ (t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	面积/ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	总量/ 10 <sup>4</sup> t	侵蚀厚度/ (mm · a <sup>-1</sup> )	轻度/ %	中度/ %	强烈/ %	极强烈/ %	剧烈/ %
耕地	4.88	247.03	0.83	1 205.51	0.11	56.87	29.96	8.01	3.95	1.22
园地	1.10	186.52	0.16	205.17	0.11	67.16	23.60	5.55	2.72	0.97
林地	13.40	74.06	0.77	992.40	0.05	82.62	11.75	3.27	1.77	0.58
草地	1.12	461.21	0.48	515.56	0.26	59.08	33.12	6.02	1.53	0.25
裸地	1.46	47.39	0.18	69.19	0.03	84.47	12.47	1.91	0.81	0.34
工矿用地	0.05	2 625.45	0.03	131.27	1.51	25.26	24.82	16.93	18.24	14.76

注:土壤侵蚀比例:耕地=耕地的轻度侵蚀面积/耕地侵蚀面积。

表 5 坡耕地、坡园地各坡度土壤侵蚀状况

地类	土壤侵蚀	总和	坡度/(°)					
			3~5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
坡耕地	侵蚀面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	0.45	0.06	0.09	0.16	0.10	0.03	0.01
	侵蚀模数/(t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	892.88	553.68	744.17	981.83	1 242.15	1 287.48	1 012.61
	土地总面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	0.81	0.13	0.19	0.27	0.14	0.05	0.02
	侵蚀厚度/(mm · a <sup>-1</sup> )	0.50	0.31	0.41	0.55	0.70	0.73	0.58
坡园地	侵蚀面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	0.15	0.01	0.02	0.05	0.04	0.02	0.01
	侵蚀模数/(t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	242.80	233.08	236.31	244.23	248.88	244.24	236.21
	土地总面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	0.84	0.03	0.15	0.26	0.25	0.11	0.04
	侵蚀厚度/(mm · a <sup>-1</sup> )	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13

2.3.2 园地土壤侵蚀状况 园地面积为  $1.10 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 其侵蚀面积为 1 600 km<sup>2</sup>, 占总侵蚀面积的 6.35%, 占园地面积的 14.54%。园地平均侵蚀模数为 186.52 t/(km<sup>2</sup> · a), 平均侵蚀厚度达 0.11 mm/a; 园地年均侵蚀量  $2.05 \times 10^6$  t, 占总侵蚀量的 6.39%。

由表 5 可知, 坡园地是园地侵蚀的主要类型, 其平均侵蚀模数为 242.8 t/(km<sup>2</sup> · a), 年侵蚀厚度达 0.14 mm/a; 其年均侵蚀量达  $2.04 \times 10^6$  t, 占园地侵蚀量的 99.41%, 对园地的土壤侵蚀贡献巨大。因为坡园地种植方式与坡耕地的种植方式类似, 没有很好的水土保持措施, 人为干扰强烈, 极易发生严重的土壤侵蚀。

2.3.3 林地土壤侵蚀状况 林地面积为  $1.34 \times 10^5$  km<sup>2</sup>, 以微度侵蚀为主, 其侵蚀面积为 7 700 km<sup>2</sup>, 占总侵蚀面积的 30.56%, 占林地面积的 5.75%。林地平均侵蚀模数为 74.06 t/(km<sup>2</sup> · a), 平均侵蚀厚度达 0.05 mm/a; 林地年均侵蚀量  $9.92 \times 10^6$  t, 占总侵蚀量的 30.94%。通过土地利用数据对比分析, 发现林地侵蚀主要发生在人工纯林地(桉树林)、疏林地和新造幼林地上, 并且在有林地、灌木林地中, 占土壤侵蚀的面积较大。

2.3.4 草地土壤侵蚀状况 草地面积为  $1.12 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 人工草地与天然草地仅占草地面积的 0.47%。草地侵蚀面积为 4 800 km<sup>2</sup>, 占总侵蚀面积的 19.04%,

占草地面积的 42.86%。草地平均侵蚀模数为 461.21 t/(km<sup>2</sup> · a), 平均侵蚀厚度达 0.26 mm/a, 高于耕地、园地的侵蚀强度, 可见草地的土壤侵蚀不容忽视。草地年均侵蚀量  $5.16 \times 10^6$  t, 占总侵蚀量的 16.10%。草地发生侵蚀的机制主要是自然因素, 侵蚀区域多分布在桂北、桂西北、桂中等喀斯特地区, 分布在坡度大、土壤层薄的裸岩荒坡上<sup>[26]</sup>。

2.3.5 裸地与工矿用地土壤侵蚀状况 裸地面积为  $1.46 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 其侵蚀面积为 1 800 km<sup>2</sup>, 占总侵蚀面积的 7.14%, 裸地平均侵蚀模数为 47.39 t/(km<sup>2</sup> · a), 平均侵蚀厚度达 0.03 mm/a; 裸地年均侵蚀量  $6.92 \times 10^5$  t, 占总侵蚀量的 2.16%。从侵蚀强度和侵蚀面积来看, 裸地侵蚀并不大, 是因为其主要分布在桂北、桂西北、桂西、桂中的喀斯特地区, 分散在缓坡山地地貌中, 裸岩率与石漠化比例高, 土壤层薄。

工矿用地面积为 500 km<sup>2</sup>, 其侵蚀面积为 300 km<sup>2</sup>, 占总侵蚀面积的 1.19%。工矿用地平均侵蚀模数为 2 625.45 t/(km<sup>2</sup> · a), 平均侵蚀厚度达 1.51 mm/a, 是所有地类中平均侵蚀模数和侵蚀厚度值最高的地类, 远远超过了坡耕地的年均侵蚀模数和侵蚀厚度值。工矿用地年均侵蚀量  $1.31 \times 10^6$  t, 占总侵蚀量的 4.09%。工矿用地因人为活动干扰非常强烈, 加之植被覆盖度低等因素, 极易在降雨的情况下发生剧烈侵蚀。

### 3 讨论与结论

(1) 以 RUSLE 模型为基础, 引入喀斯特石漠化修正因子  $M$ , 测算广西土壤侵蚀数据, 通过分析土壤侵蚀面积、强度与空间格局, 结合水文资料验证分析, 综合表明土壤侵蚀调查结果与空间格局是合理的。但依然存在几个问题: 岩溶区、人工林(桉树林等)、崩岗、山地灾害的输沙贡献的不确定性以及泥沙输移比的不确定性, 这些问题将在接下来的工作中继续研究完善。

(2) 喀斯特地区土壤层较薄, 其侵蚀面积占总侵蚀面积的 73.81%, 侵蚀量占总侵蚀量的 31.01%, 凸显喀斯特地区土壤侵蚀的严峻形势。同时, 比较各土地利用的土壤侵蚀量占总侵蚀量: 耕地(37.58%) > 林地(30.94%) > 草地(16.10%) > 园地(6.39%) > 工矿用地(4.09%) > 裸地(2.16%), 表明耕地和林地是土壤侵蚀的主要来源。其次, 根据本文研究分析, 耕地、林地、园地、工矿用地发生土壤侵蚀的机制主要受人类活动的影响, 而草地、裸地的土壤侵蚀主要受自然因素的影响。

(3) 各土地利用类型主要以微度侵蚀为主, 强烈以上等级, 主要发生在耕地、园地, 分别占其对应的总侵蚀面积的 13.18%, 9.25%。此外, 草地、工矿用地的强烈以上侵蚀强度, 分别占其对应的总侵蚀面积的 7.80%, 49.93%。由此可见, 草地、工矿用地的侵蚀强度也不容忽视。同时, 广西地区人工林地(桉树林等)种植面积日益增长, 存在的土壤侵蚀隐患不容忽视。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 尚河英, 尹忠东, 张鹏. 川中不同类型小流域土壤侵蚀特征分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(5): 5-7.
- [2] 陆炳群. 广西壮族自治区第一次水利普查公报[J]. 广西水利水电, 2013(3): 92-94.
- [3] George R F, Daniel C Y, Glenn A W, et al. User's Guide: Revised Universal Soil Loss Equation [M]. Version 2, USDA, Washton DC: Agricultural Research Service, 2003: 10-15.
- [4] 张一澜, 文安邦, 严冬春, 等. 赤水河流域不同土地利用类型土壤侵蚀的<sup>137</sup>Cs法研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(2): 187-192.
- [5] 广西大百科全书. 广西大百科地理卷[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2008.
- [6] 冯腾, 陈洪松, 张伟, 等. 桂西北喀斯特坡地土壤<sup>137</sup>Cs的剖面分布特征及其指示意义[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 593-599.
- [7] 王小燕, 李朝霞, 徐勤学, 等. 砾石覆盖对土壤水蚀过程影响的研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 115-120.
- [8] 王济, 蔡雄飞, 雷丽, 等. 不同裸岩率下我国西南喀斯特山区土壤侵蚀的室内模拟[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 1-5.
- [9] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33-40.
- [10] 刘宝元, 郭索彦, 李智广, 等. 中国水力侵蚀抽样调查[J]. 中国水土保持, 2013(10): 26-34.
- [11] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 7-13.
- [12] 张文太, 于东升, 史学正, 等. 中国亚热带土壤可蚀性  $K$  值预测的不确定性研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 185-191.
- [13] 刘斌涛, 宋春风, 史展, 等. 西南土石山区土壤土壤方程坡度因子修正算法研究[J]. 中国水土保持, 2015(8): 49-51.
- [14] 符素华, 刘宝元, 周贵云, 等. 坡长坡度因子计算工具[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(5): 105-110.
- [15] 刘斌涛, 宋春风, 史展, 等. 西南土石山区水平梯田的水土保持措施因子[J]. 中国水土保持, 2015(4): 36-39.
- [16] 张岩, 袁建平, 刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1033-1036.
- [17] 刘宝元, 刘璞娜, 张科利, 等. 中国水土保持措施分类[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 80-84.
- [18] 中华人民共和国水利部. SL461-2009 岩溶地区土壤侵蚀综合治理技术标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [19] 刘宝元, 毕小刚, 付素华. 北京土壤土壤方程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [20] 符素华, 路炳军, 叶芝菡. 地表砾石对降雨径流及土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 15-18.
- [21] 师长兴. 砾石对土壤可蚀性的影响及土壤可蚀性值估算方法[J]. 土壤通报, 2009, 40(6): 1989-1401.
- [22] 中华人民共和国水利部. SL657-2014 南方红壤丘陵区土壤侵蚀综合治理技术标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [23] 文安邦, 张信宝, 张一云, 等. 云南东川泥石流沟与非泥石流沟<sup>137</sup>Cs示踪法物源研究[J]. 泥沙研究, 2003(4): 52-56.
- [24] 景可, 焦菊英, 李林育, 等. 输沙量、侵蚀量与泥沙输移比的流域尺度关系: 以赣江流域为例[J]. 地理研究, 2010, 29(7): 1163-1170.
- [25] 黄国勤, 赵其国. 广西桉树种植的历史、现状、生态问题及应对策略[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5142-5152.
- [26] 蒋建生, 邹知明, 彭丽娟. 岩溶地区石山灌草丛草地演替及其培育和利用[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 109-114.