

引用格式: 曾 成, 白晓永, 李阳兵. 基于 RUSLE 模型的喀斯特峰丛洼地土壤侵蚀及其养分流失评估 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18(10): 197—202
Zeng Cheng, Bai Xiaoyong, Li Yangbing. Evaluation of soil erosion and nutrient loss in Karst peak-cluster depression based on RUSLE model [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(10): 197—202

农业科学

基于 RUSLE 模型的喀斯特峰丛洼地土壤侵蚀及其养分流失评估

曾 成^{1,2,3} 白晓永^{2,3} 李阳兵^{1*}

(贵州师范大学地理与环境科学学院¹, 贵阳 550001; 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室², 贵阳 550002; 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站³, 普定 562100)

摘 要 以中国南方典型喀斯特峰丛洼地为研究对象, 基于 GIS 技术和 RUSLE 模型, 对喀斯特峰丛洼地的土壤侵蚀空间变化特征进行了分析。探讨了峰丛洼地土壤侵蚀与土壤养分流失之间的关系, 揭示了该地区不同土壤养分流失之间的空间变化差异。结果表明: 2015 年研究区土壤侵蚀总量为 $1\,950.21 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占研究区国土面积的 76.75%。土壤侵蚀空间分布整体上呈现出南北两侧向西中部变化的条带状的空间分布特征。因土壤侵蚀引起的土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)和全钾(TK)等养分流失总量为 $57.76 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中 SOC、TN、TP 和 TK 的平均流失量分别为 38.13、1.18、0.16 和 6.00 $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。研究区土壤侵蚀的空间变化整体上是随侵蚀等级增加, 侵蚀面积和侵蚀量逐渐减少而平均侵蚀模数增加的过程, 土壤侵蚀的空间分布差异决定了土壤养分流失空间分布差异。

关键词 RUSLE 模型 峰丛洼地 土壤侵蚀 土壤养分流失

中图法分类号 S157.1; 文献标志码 B

水土流失是一个世界性环境问题, 它一方面直接导致营养物质丰富的表土流失, 使土地退化、生产水平下降^[1,2]; 另一方面由于径流及其携带的泥沙是土壤养分流失的载体, 随着地表径流、泥沙的流失与沉积, 土壤养分也随之迁移, 导致淤积河道和水库, 接纳水体的富营养化^[3,4], 对全球土壤生态安全格局造成巨大的威胁。

峰丛洼地是一种典型的喀斯特地貌, 在中国西南部广泛分布, 自然条件复杂, 其土壤侵蚀及其养分流失往往与多种要素相关^[5]; 因此, 探索喀斯特峰丛洼地土壤侵蚀空间变化特征及其养分流失规律, 对该地区的生态及土壤侵蚀研究具有重要的意义。许多学者都对峰丛洼地的土壤理化性质进行了大量的研究, 卢怡等^[6]对不同土地利用方式对喀斯特峰丛洼地土壤团聚体碳、氮、磷分布特征进行研究, 结

果表明: 与耕地相比, 退耕还草地、退耕还林地、灌丛和原生林明显提高了原状土壤及各粒径团聚体土壤有机碳、全氮的含量, 而全磷含量则相反; 张伟等^[7]研究了斯特峰丛洼地坡面土壤养分空间变异性, 认为有机碳、全氮、碱解氮等养分的空间分布表现出随着海拔高度增加而增大的特征; 杜虎等^[8]研究了喀斯特峰丛洼地不同植被类型碳格局变化并探讨了其影响因子, 结果显示: 土壤有机碳含量、储量与土壤容重、土壤深度存在良好的线性关系, 喀斯特峰丛洼地石灰土土壤有机碳含量与水稳性团聚的分布关系密切, 土壤氮素是影响有机碳含量的主要因素研究了峰丛洼地不同植被类型碳格局变化。但是, 目前国际上关于土壤侵蚀及其养分流失的研究区域主要集中在非喀斯特地区或流域, 而对于生态地质环境背景极为脆弱的峰丛洼地研究较少。因此, 喀斯特峰丛洼地土壤侵蚀演变及其养分流失分析是非常缺乏的, 而这种研究的缺乏导致了该地区环境效应评估的误判, 这里的土壤侵蚀及其产生的石漠化影响到当地人的生存和发展。如何采取有效的方法和手段来研究峰丛洼地土壤侵蚀的空间分布变化规律及其养分流失规律, 这仍然是一个亟待解决的问题。

2017 年 10 月 10 日收到

国家重点研发计划

(2016YFC0502300) 资助

第一作者简介: 曾 成(1992—), 硕士研究生。研究方向: 土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zengchengyx@126.com。

* 通信作者简介: 李阳兵(1968—), 教授。研究方向: 土地利用与生态过程研究。E-mail: li-yabin@sohu.com。

有鉴于此,本文以典型喀斯特峰丛洼地研究区,基于 RUSLE 模型和 GIS 技术,主要解决以下问题:①确定研究区发生土壤侵蚀的区域;②以各种土壤养分的空间分布数据在 ArcGIS 软件中进行计算,通过数据统计得到各养分因子随土壤流失的贡献率;③揭示研究区土壤侵蚀及其养分流失的空间分布特征和规律。

1 研究区概况

峰丛洼地是以溶蚀作用为主形成的岩溶地貌。指由峰脚高低不一的塔状、锥状溶峰组成峰丛;峰丛间有溶蚀洼地(或溶蚀漏斗)的地貌组合。贵州省内的峰丛洼地主要分布在黔西南的安龙县、册亨县、望谟县,黔南的罗甸县、平塘县、独山县、荔波县、三都县(图 1)。研究区降水每年的 5~9 月,多年平均降水在 1 300 mm 左右,雨热同季。

2 材料与方法

2.1 数据来源

收集到的数据包括:研究区 2015 年的日降雨数据,来源于中国气象网(<http://www.cma.gov.cn/>);土壤类型来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),各种土壤类型的粒径含量和有机质含量,主要参考《中国土种志》;DEM 和 NDVI 数据来源于地理空间数据云([geospatial data cloud: http://www.gscloud.cn](http://www.gscloud.cn)),空间分辨率均为 30 m;土地利用来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>);实地调查所得的土壤理化性质数据。

2.2 RUSLE 模型计算

采用 RUSLE 模型^[9]和 GIS 技术研究贵州省土壤侵蚀空间分布特征:

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

式(1)中 A 为土壤侵蚀量, $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$; R 为降雨侵蚀力因子, $MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$,采用 CREAMS 模型^[10],日降水量 ≥ 30 mm 的喀斯特区域侵蚀性降雨标准计算 R 因子。 K 为土壤可蚀性因子, $t \cdot hm^2 \cdot h / (hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$,采用 Sharpley 等^[11]在 EPIC 模型中的估算方法; LS 为坡长坡度因子,根据 Liu 等^[12]的研究结果对贵州省坡度坡长进行计算; C 为植被覆盖与管理因子,根据蔡崇法等^[13]的方法,并参照谭炳香等^[14]的算法计算植被覆盖率; P 为水土保持措施因子。将上述各因子图层在 ArcGIS 软件支持下转化为同一坐标下 $100 m \times 100 m$ 大小的栅格图层,相乘得到研究区土壤侵蚀模数空间分布图。并参照水利部 SL190—2007《土壤侵蚀分类分级中的水力侵蚀强度分级标准》将土壤侵蚀进行分级。

2.3 土壤养分流失估算

将采样所得的土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)和全钾(TK)数据,在 ArcGIS 支持下与土壤类型图连接生成养分空间分布图,并转为栅格图,得到研究区土壤养分的空间分布图。在 ArcGIS 中将土壤养分与土壤侵蚀模数两类栅格图层相乘得到土壤养分流失量空间分布图,再乘以栅格面积得土壤养分流失总量。

3 结果分析

3.1 土壤侵蚀空间变化特征

计算结果表明,在 2015 年贵州省峰丛洼地遭受土壤侵蚀总面积为 $15\,416.51 km^2$ (表 1),占研究区总面积的 76.75%,总的侵蚀量为 $1\,950.21 \times 10^4 t \cdot a^{-1}$ 。土壤侵蚀空间分布整体上呈现出南北两侧向中部变化的条带状的空间分布特征(图 2)。

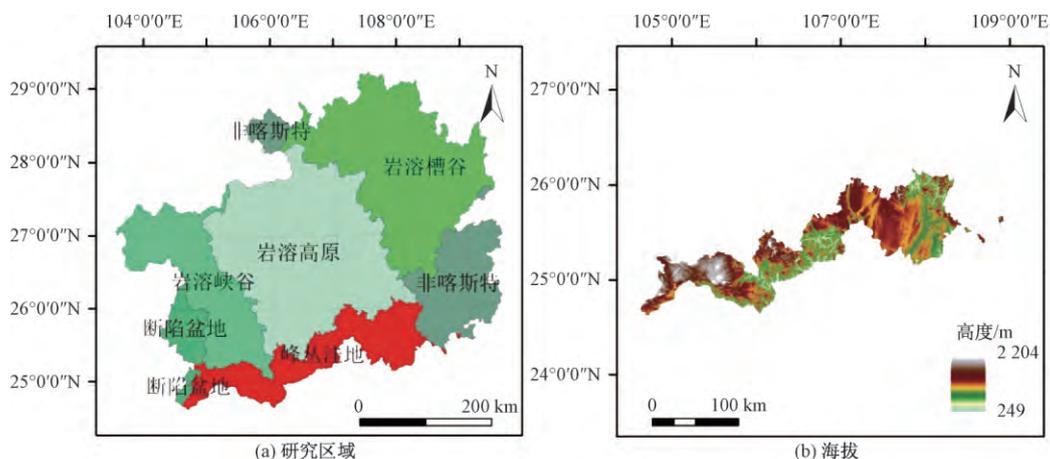


图 1 研究区区位图

Fig. 1 Location of study area

表 1 土壤侵蚀现状统计
Table 1 Soil erosion status statistics

侵蚀强度	侵蚀面积/ km ²	面积比/ %	平均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	侵蚀量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	侵蚀量 比/%
微度	6 223.23	40.37	150.31	93.54	4.80
轻度	6 665.95	43.24	1 212.66	808.35	41.45
中度	1 943.23	12.60	3 537.67	687.45	35.25
强度	545.21	3.54	5 983.38	326.22	16.73
极强度	38.83	0.25	8 895.18	34.54	1.77
剧烈	0.06	0.00	15 000.00	0.09	0.00

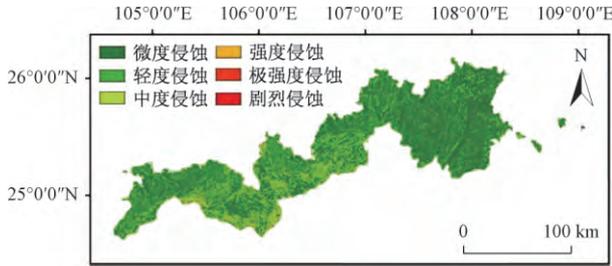


图 2 土壤侵蚀空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil erosion

从土壤侵蚀面积来看, 研究区 2015 年的微度侵蚀面积约占总侵蚀面积的 40.37%, 轻度侵蚀面积约占总侵蚀面积的 43.24%, 所占面积在所有侵蚀等级中最大。微度侵蚀和轻度侵蚀二者之和占到了侵蚀总面积的 83.61%。轻度以上侵蚀等级的面积所占比例呈现出侵蚀等级升高, 而侵蚀面积逐渐下降的变化趋势; 中度侵蚀面积占侵蚀总面积的 12.60%, 仅次于微度和轻度侵蚀面积; 强度侵蚀面积为 3.54%, 极强度侵蚀面积为 0.25%; 剧烈侵蚀面积仅为 0.06 km², 所占整个遭受侵蚀的面积比例可以忽略不计。可见贵州省从侵蚀范围上总的呈现侵蚀等级升高面积逐渐减少的现象。

从土壤侵蚀量来看, 研究区微度侵蚀以上的所有等级侵蚀量随侵蚀等级的增加而侵蚀量逐渐减少, 峰丛洼地侵蚀量贡献主要是轻度侵蚀和中度侵蚀, 其侵蚀量之和所占比例达到了总侵蚀量的 76.70%; 微度侵蚀和极强度侵蚀所占侵蚀总量的比例分别为 4.80% 和 1.77%; 而剧烈侵蚀所占侵蚀量极小, 其比例可以忽略不计。

总的来看, 研究区侵蚀量的贡献主要集中于轻度侵蚀, 其面积比例占到了侵蚀总面积的 43.24%, 侵蚀量占到了整个峰丛洼地区侵蚀总量的 41.45%, 是整个研究区应该加强水土保持措施的侵蚀等级。研究区自轻度以上侵蚀都表现出随侵蚀等级的升高, 侵蚀面积和侵蚀量都减少的变化趋势, 研究区的平均侵蚀模数随侵蚀等级升高而逐渐增大的特征, 究其原因, 是研究区降雨空间的差异和峰丛洼地的地貌差异导致了研究区土壤侵蚀空间变化。一方面研究区内降雨由南北两侧向中部逐渐增多, 研究区降雨侵蚀力由中部的最高值 5 739.41 MJ·mm·hm⁻²·h⁻¹·a⁻¹ 减弱到南北两侧的最低值 2 877.94 MJ·mm·hm⁻²·h⁻¹·a⁻¹, 导致雨水对土壤的冲刷在空间上相应的减弱; 另一方面由于地形和海拔的原因, 研究区中部位于黔南地区的低海拔河谷发育, 导致径流及其携带的泥沙随着地表径流失与沉积, 土壤养分也随之迁移, 使研究区的土壤侵蚀格局大致上呈现出由高海拔向低海拔地区增加的趋势, 土壤养分也发生了相应变化, 地形因素对土壤养分流失的影响在大范围内起到的作用是比较显著的。

3.2 土壤养分流失空间变化特征

图 3 为研究区 2015 年土壤侵蚀引起的土壤养分流失量空间分布。表 2 为峰丛洼地的土壤养分流

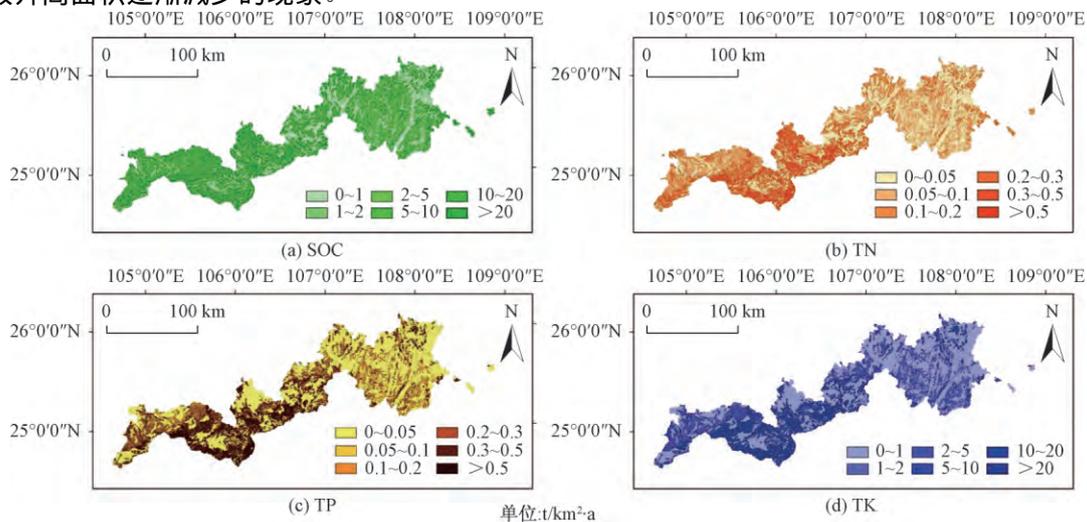


图 3 土壤养分流失空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil nutrient loss

表2 土壤养分流失统计
Table 2 Soil nutrient loss statistics

养分元素	流失面积/ km ²	平均流失量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	流失总量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)
SOC	12 347.15	38.13	40.08
TN	13 035.39	1.18	1.54
TP	8 550.26	0.16	0.14
TK	10 004.11	6.00	6.01

流失统计。研究区土壤养分流失量的空间分布与土壤侵蚀强度空间格局类似,呈西南向东北条带状变化的两侧高中部低的空间分布格局,高值区出现在中部,低值区出现在西部和东部两侧。

不同类型的土壤养分流失量差异较大,其中SOC的土壤养分的单位面积平均流失量和流失总量大于其余几种类型的土壤养分。研究区SOC单位面积平均流失量为38.13 t/(km²·a),流失面积占研究区总面积的61.47%。TN的平均流失量为1.18 t/(km²·a),流失面积占研究区总面积的64.90%,主要分布区域与SOC分布类似。TP的平均流失量为0.16 t/(km²·a),流失面积占研究区总面积的42.57%。TK的平均流失量为6.00 t/(km²·a),流失面积占研究区总面积的49.81%,其空间分布格局均与SOC流失空间格局相似。2015年研究区因土壤侵蚀导致土壤养分大量流失,SOC流失40.08×10⁴ t,TN流失1.54×10⁴ t,TP流失0.14×10⁴ t,TK流失6.01×10⁴ t,合计养分流失总量54.76×10⁴ t,SOC流失最严重。

土壤侵蚀和地表径流是引起土壤中N、P流失的主要途径^[15]。峰丛洼地和非喀斯特地区相比,峰丛洼地地区土壤养分的平均流失量[12.83 t/(km²·a)]小于非喀斯特地区[13.34 t/(km²·a)]。这与峰丛洼地地区的土层厚度有直接关系,广泛分布的碳酸盐岩,成土速率低,导致研究区的土层整体比较浅薄;研究区碳酸盐岩受到溶蚀后,可溶物被流水带走,不溶物才形成土壤。西南地区碳酸盐岩中不溶物含量为1%~9%,一般小于5%^[16]。碳酸盐喀斯特蚀风化形成1 m厚的土层需要630~7 880 ka,较之于一般非喀斯特区的成土速率慢10~40倍^[17],而非碳酸盐岩地区的成土速率和土壤厚度一般高于碳酸盐岩分布地区。岩溶峰丛洼地土壤的流失主要是在水动力的作用下随水的流动而流失^[18],研究区充沛的降雨,为土壤流失提供了动力潜能,在研究区中部地势较低的地方,河流发育,降水以后地表大量形成径流,土壤也大量流失,从而导致随土壤流失的养分高于研究区的其他地方。

耕作对喀斯特脆弱生态系统土壤具有重要影

响,是造成土壤养分流失、退化的主要原因^[19],强烈的耕种必然导致水土流失的加剧。随海拔的升高,人类活动的干扰逐渐减弱,植被状况得到改善。研究区东部有一部分高海拔面积位于黔南地区,植被覆盖良好,人类活动的干扰相对于其他地区较弱,故遭受的土壤侵蚀程度较轻,土壤养分流失的状况也较轻。其次,土层厚度与岩石裸露率、坡度、高程之间均为极显著负相关关系^[20]。研究区东部位于黔南的部分地区,海拔较高,故土层厚度也薄,在相同条件下的土壤流失量也小于其他地区,导致土壤养分的流失也少于其他地区。

不同的地貌条件对土壤养分流失的影响不同,峰丛洼地的岩溶作用强烈,坡面往往发育有“石隙土”“石碗土”等土体形式^[7],导致研究区的部分地区存在泥沙堆积的现象,土层相对较厚。再加上周围裸岩的分布会增加水分和风化凋落物的输入,有机质含量较高,这些地区的土壤流失带走的土壤养分相对于周围的裸岩裸土等无土可流的地方会比较大。

3.3 人类活动对土壤养分流失的影响

人为活动对下垫面条件的扰动也是导致土壤养分流失的一个重要因素,人为干扰越剧烈,土壤养分流失量就越大。喀斯特峰丛洼地生态环境复杂,由于人类的不合理利用土地,导致水土流失,土层变薄,使当地生态环境变得十分脆弱,严重制约了当地的生产、生活和经济的发展。峰丛洼地地质环境特殊,其生态系统比同纬度的其他地区都易遭受破坏。石漠化就是在喀斯特地区的土壤流失导致的恶果,石漠化的存在导致降雨进入地表后的运移途径、运移强度、运移水量产生了骤变,水的流失以及土壤流失的水载体动能也随之突变^[21],加剧了水土流失的发生强度以及地下漏失,土壤侵蚀以及造成的土壤养分大量流失,不仅对农业生产发展造成较大的经济损失,同时会引起一系列生态环境问题,必须加强土壤侵蚀防治工作。

4 结论与讨论

(1) 研究区土壤侵蚀的空间变化整体上是随侵蚀等级增加,侵蚀面积和侵蚀量逐渐减少而平均侵蚀模数增加的过程。随着土壤侵蚀的等级升高,发生侵蚀的区域逐渐减少,土壤侵蚀的量也随之下降,但侵蚀等级越高,单位面积上流失的土壤也就越多,故平均侵蚀模数增大。

(2) 在喀斯特峰丛洼地地区,土壤养分流失的空间差异主要受控于地质背景、降水和海拔。人类活动是造成土壤侵蚀及养分流失的重要因素。峰丛

洼地碳酸盐岩广泛分布,成土速率低、土层浅薄,研究区降雨充沛,为土壤侵蚀提供了动能,在中部海拔较低的地区地表径流较多,导致土壤及其养分大量流失,在东部海拔较高区域受人为干扰较少,从随土壤流失的养分低于中部地区。

(3) 喀斯特峰丛洼地存在土壤迁移沉积的现象。不同的喀斯特地貌对土壤养分流失的影响不同,峰丛洼地坡面往往发育有“石隙土”“石碗土”等土体形式,存在泥沙堆积的现象。

参 考 文 献

- Lin Y, Deng H, Du K, *et al.* Combined effects of climate, restoration measures and slope position in change in soil chemical properties and nutrient loss across lands affected by the Wenchuan Earthquake in China. *Science of the Total Environment*, 2017; 274: 596—597
- Pardon P, Reubens B, Reheul D, *et al.* Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2017; 247: 98—111
- Napoli M, Marta A D, Zanchi C A, *et al.* Assessment of soil and nutrient losses by runoff under different soil management practices in an Italian hilly vineyard. *Soil & Tillage Research*, 2017; 168: 71—80
- Vaezi A R, Zarrinabadi E, Auerswald K. Interaction of land use, slope gradient and rain sequence on runoff and soil loss from weakly aggregated semi-arid soils. *Soil & Tillage Research*, 2017; 172: 22—31
- Zeng C, Wang S, Bai X, *et al.* Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*, 2017; 8(4): 1—26
- 卢 怡, 龙 健, 廖洪凯, 等. 不同土地利用方式对喀斯特峰丛洼地土壤团聚体碳、氮、磷分布特征的影响. *江苏农业科学*, 2017; 45(6): 289—294
Lu Y, Long J, Liao H K, *et al.* Effects of different land use types on distribution characteristics of soil C, N and P in Karst peak cluster depression. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017; 45(6): 289—294
- 张 伟, 陈洪松, 王克林, 等. 典型喀斯特峰丛洼地坡面土壤养分空间变异性研究. *农业工程学报*, 2008; 24(1): 68—73
Zhang W, Chen H S, Wang K L, *et al.* Spatial variability of soil nutrients on hillslope in typical karst peak-cluster depression areas. *Transactions of the CSAE*, 2008; 24(1): 68—73
- 杜 虎, 宋同清, 曾馥平, 等. 喀斯特峰丛洼地不同植被类型碳格局变化及影响因子. *生态学报*, 2015; 35(14): 4658—4667
Du H, Song T Q, Zeng F P, *et al.* Carbon storage and its controlling factors under different vegetation types in depressions between karst hills, southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2015; 35(14): 4658—4667
- Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (rusle). *Agriculture Handbook*. Washington, D. C.: United States Department of Agriculture (USDA), 1997
- Knisel W G, CREAMS. A field-scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems: USAD-ARS-26. Washington D. C.: USDA, 1980
- Sharpley A N, Williams J R. Epic-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation: USAD-ARS-Grassland-1768. Washington, D. C.: United States Department of Agriculture, 1990
- Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, *et al.* Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 1994; 64(5): 1759—1763
- 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究. *水土保持学报*, 2000; 14(2): 19—24
Cai C F, Ding S W, Shi Z H, *et al.* Study of applying USLE and geographical information system IDRISI to predict soil erosion in small watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000; 14(2): 19—24
- 谭炳香, 李增元, 王彦辉, 等. 基于遥感数据的流域土壤侵蚀强度快速估测方法. *遥感技术与应用*, 2005; 20(2): 215—220
Tan B X, Li Z Y, Wang Y H, *et al.* Estimation of vegetation coverage and analysis of soil erosion using remote sensing data for Guishuihe drainage basin. *Remote Sensing Technology and Application*, 2005; 20(2): 215—220
- 赵明松, 李德成, 张甘霖, 等. 基于 RUSLE 模型的安徽省土壤侵蚀及其养分流失评估. *土壤学报*, 2016; 53(1): 28—38
Zhao M S, Li D C, Zhang G L, *et al.* Evaluation of soil erosion and soil nutrient loss in Anhui Province based on RUSLE Model. *Acat Pedologica Sinica*, 2016; 53(1): 28—38
- 中国科学院地质研究所岩溶研究组. *中国岩溶研究*. 北京: 科学出版社, 1979
Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences. *Chinese journal of Karst research*. Beijing: Science Press, 1979
- 陈晓平. 喀斯特山区环境土壤侵蚀特性的分析研究. *水土保持学报*, 1997; 3(4): 31—36
Chen X P. Research on characteristics of soil erosion in Karst mountainous region environment. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1997; 3(4): 31—36
- 罗为群, 蒋忠诚, 欧阳然, 等. 典型岩溶峰丛洼地水土保持技术研究. *中国水土保持*, 2013; (1): 37—41
Luo W Q, Jiang Z C, Ou Y R, *et al.* Typical soil and water conservation technology of Karst peak-cluster depression. *Soil and Water Conservation in China*, 2013; (1): 37—41
- 张 伟, 陈洪松, 王克林, 等. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间变异特征及影响因子分. *中国农业科学*, 2006; 39(9): 1828—1835
Zhang W, Chen H S, Wang K L, *et al.* The heterogeneity of soil nutrients and their influencing factors in peak-cluster depression areas of karst region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006; 39(9): 1828—1835
- 魏兴琥, 徐喜珍, 雷 俐, 等. 粤北岩溶峰丛自然坡面与梯田土壤侵蚀特征分析. *中国水土保持*, 2014; (9): 43—47
Wei X H, Xu X Z, Lei L, *et al.* Soil erosion characteristics of natural slopes and terraces of Karst peak-cluster in Northern Guangdong Province. *Soil and Water Conservation in China*, 2014; (9): 43—47
- 唐益群, 张晓晖, 周 洁, 等. 喀斯特石漠化地区土壤地下漏失的机理研究——以贵州普定县陈旗小流域为例. *中国岩溶*, 2010; 29(2): 121—127
Tan Y Q, Zhang X H, Zhou J, *et al.* The mechanism of underground leakage of soil in karst rocky desertification areas—A case in Chenqi

Evaluation of Soil Erosion and Nutrient Loss in Karst Peak-cluster Depression Based on RUSLE Model

ZENG Cheng^{1 2 3} , BAI Xiao-yong^{2 3} , LI Yang-bing^{1*}

(School of Geography and Environmental Science ,Guizhou Normal University¹ , Guiyang 550001 , China;

State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences² , Guiyang 550081 , China;

Puding Karst Ecosystem Observation and Research Station , Chinese Academy of Sciences³ , Puding 562100 , China)

[Abstract] The spatial variability of soil erosion was analyzed , which the relationship between soil erosion and soil nutrient loss was discussed in Karst-peak cluster depression , and the spatial variability of different soil nutrient loss was revealed. The typical karst peak cluster depression in southern China used GIS technology and RUSLE model. The results show that the total area of soil erosion was $1\ 950.21 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ in 2015 , accounting for 76.75% of the study area. The spatial distribution of soil erosion is characterized by the north and south sides to the central changes in the strip. The total nutrient loss caused by soil erosion was $57.76 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, and the average losses of SOC , TN , TP and TK were 38.13 , 1.18 , 0.16 , 6.00 $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. The spatial variation of soil erosion is overall: erosion area and erosion amount gradually decreased with the erosion level increases , but the average erosion modulus increase process in the study area. The spatial distribution of soil erosion determines the spatial distribution of soil nutrient loss.

[Key words] RUSLE model peak cluster depression soil erosion soil nutrient loss