

# 西南喀斯特山地的土壤侵蚀研究探讨

何永彬<sup>1</sup>, 张信宝<sup>2,3</sup>, 文安邦<sup>2</sup>

1. 云南大学云南省地理研究所, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 云南 成都 610041;  
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要:** 西南喀斯特山区具有独特的喀斯特土壤特征与土壤侵蚀的环境效应, 普遍面临着因土壤侵蚀导致的“石漠化”问题。已有研究认为, 在气候、地质地貌、植被和人为活动等环境因素的影响下, 喀斯特山区土壤侵蚀以混合侵蚀方式进行。但由于对喀斯特山区土壤侵蚀过程的认识不同, 致使研究者得出土壤侵蚀强度差异较大的研究结果。有关喀斯特土壤侵蚀系统研究重点应该在土壤侵蚀机制、土壤侵蚀分级强度与土壤合理流失量等方面开展研究。

**关键词:** 土壤侵蚀研究; 喀斯特山地; 探讨; 中国西南

**中图分类号:** S157      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5906 (2009) 06-2393-06

## 1 喀斯特土壤特征与土壤侵蚀的环境效应

喀斯特生态系统的土壤是喀斯特地区岩石、大气、水、生物等四大圈层相互作用的产物<sup>[1,2]</sup>。西南喀斯特环境直接控制着土壤发育与演化的分异, 以及影响土壤侵蚀的发生发展, 喀斯特环境条件下的土壤发育演化具有显著特异性。

### 1.1 喀斯特土壤特征

我国西南喀斯特(岩溶)地区的中心地带, 分布着世界上最为典型的喀斯特景观。在西南特殊的地质与地理环境条件下, 碳酸盐岩广布, 在湿热条件下, 水的化学溶蚀力增强, 茂盛的植物通过根部分解出酸促进了化学溶蚀作用, 雨量丰沛增进了地下水的循环, 因而主要化学成分为  $\text{CaCO}_3$  的碳酸盐岩层受到溶蚀和侵蚀, 提供了土壤形成发育的物质基础和环境条件<sup>[3]</sup>。现存分布的喀斯特土壤, 除了覆盖在碳酸盐岩层以上的非碳酸盐岩层在第三纪以来的长期自然环境中形成的土壤覆盖层以外, 其余碳酸盐岩土壤是受水、气候、生物等因素共同形成的溶蚀作用后遗留的酸不溶物质(粘土矿物和硅质)残留下来或经过一定位移在沿节理发育的裂隙等低洼部位沉淀聚集, 在生物参与作用下形成的土壤<sup>[4-6]</sup>。

(1) 喀斯特成土物源少。岩溶区上覆土壤的物源主要来源于碳酸盐岩酸不溶物(主要由硅酸盐物质组成)及碳酸盐岩层间的薄层泥页岩。碳酸盐岩受含  $\text{CO}_2$  的降雨、流水、土壤与生物的溶蚀作用, 方解石等可溶性成分在不断的风化淋溶中流失, 只有极少的铁、铝、锰的氧化物和硅酸盐岩粘土矿物残留就地堆积或经搬运再沉积在溶沟、溶隙等低洼地带, 成为主要的成土物质<sup>[7-10]</sup>。

(2) 成土速度低。由于碳酸盐岩的淋溶需要持续较长时间, 西南地区多数碳酸盐岩酸不溶物含量一般不超过 10%, 华南褶皱系碳酸盐岩的纯灰岩和纯白云岩岩层中酸不溶物含量低于 5%, 有的甚至不到 1%<sup>[3]</sup>。已有研究资料表明, 广西贵县碳酸盐岩的溶蚀, 形成 1 m 厚的土层需要 250 ~ 850 ka, 需要剥蚀掉约 25 m 厚的碳酸盐岩<sup>[4]</sup>; 贵州黔中碳酸盐岩溶蚀风化形成 1 m 厚的土层需要 630 ~ 7880 ka, 较之于一般非岩溶区的成土速率慢 10~40 倍<sup>[5]</sup>。碳酸盐岩低成土速率决定了土壤侵蚀的危险性。

(3) 土石剖面结构。土石之间缺乏黏着层, 缺乏正常土壤结构中的 C 层, 多呈 A—B 或 A—AB 型剖面<sup>[10]</sup>。

(4) 薄层、分散的格局。受地表多孔介质特征的影响, 土壤分布呈现间断分散的格局。并且随着土下管网、缝隙的垂向加深加宽发展和相互贯通致使土壤继续向地下流失<sup>[8]</sup>, 作为主要储水体的土壤丧失直接引起地表环境的严重缺水。

### 1.2 喀斯特土壤侵蚀的环境效应

喀斯特碳酸盐岩地区的土壤曾经普遍分布, 经过侵蚀, 目前只出现在分散间断的裸露岩面、孔隙和小范围的厚土层坡面<sup>[11,12]</sup>。喀斯特土壤侵蚀的直接结果是土壤流失和土壤质量的降低, 造成石漠化进程加快, 喀斯特生态环境严重恶化<sup>[11]</sup>。最突出的问题是缺土、少水, 土壤薄层、分散、易流失, 大面积出现裸露岩层, 引发石漠化等一系列严重生态—社会问题<sup>[13-15]</sup>。

主要环境效应有:

(1) 石漠化进程中土壤侵蚀使表层土壤消失,

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403203, 2007CB407206); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-448); 中国科学院水土保持研究所国家重点实验室基金项目(10501-109)资助

**作者简介:** 何永彬(1967年生), 男, 副研究员, 博士研究生, 主要从事区域环境与资源等研究。E-mail: heybware@sohu.com

**收稿日期:** 2009-09-30

以致最终被裸露基岩取代。造成了生物的生长基础丧失的严酷环境,同时原本作为储水库的土被消失的结果是加重喀斯特干旱化趋势<sup>[16]</sup>。

(2) 石漠化进程中土壤质量降低。土壤的基本结构受到破坏,土壤细粒物质减少、土壤颗粒分散、土壤质地出现砂化,颗粒变粗;土壤有机质及养分含量减少,保水保肥性能减弱;土壤的通透能力下降,土壤的持水能力降低;土壤微生物功能多样性降低。导致土壤粘化、板结化和土壤贫瘠化,直接影响喀斯特植被生长和土壤—植被系统的生态效应<sup>[2,17,18]</sup>。

(3) 土壤侵蚀致使植物受到频繁的环境胁迫,导致植物生长不良或干旱死亡。不能有效发挥植被在截留降水,减少雨滴的冲击,改善土壤结构,提高土壤抗蚀能力,增加地面糙率,减轻径流速度等方面的调控能力,并导致土壤侵蚀加剧,导致岩石的大面积裸露<sup>[17,18]</sup>。

(4) 土壤在没有林草保护时,雨滴直接打击土壤,土粒分散,堵塞孔隙,形成结皮,降低了土壤入渗能力,增加了径流侵蚀,使土壤抗蚀性进一步下降。进一步促进了生态系统的退化和土地生产力退化,出现类似荒漠景观的过程<sup>[19]</sup>。

在脆弱喀斯特生态地质环境下,土地利用、人为生产方式及干扰程度对喀斯特土壤侵蚀有明显加速影响。强烈的人类活动干扰引发土壤质量的降低,土地生产力下降,进一步促进了土壤侵蚀发展和石漠化进程<sup>[20]</sup>。

## 2 喀斯特土壤侵蚀研究动态

由于喀斯特土壤侵蚀与石漠化的密切关系,以及喀斯特环境本身的特殊性和复杂性,国内从对喀斯特石漠化过程中的土壤侵蚀、土地退化、土壤质量演变、土壤退化、土壤理化性质等方面开展了科学研究,获得了土壤侵蚀与环境关系、土壤侵蚀形式、土壤侵蚀特征及发生规律等方面的认识<sup>[21,22]</sup>。

### 2.1 喀斯特土壤侵蚀的环境因素研究

#### 2.1.1 气候因素

碳酸盐岩区域表土侵蚀具有显著的随季节性降水而变化的特征<sup>[23]</sup>。区域位于太平洋季风和印度洋季风交汇影响的边缘地带,加之低纬度的区位和高海拔的地势,冷暖空气常在此交汇,形成静止锋。区域降水较大,雨季5—9月降水,占全年总降水量的70%以上,并且多以阵雨或暴雨形式出现,具有较高的土壤水力侵蚀势能。并且降雨的产流汇流过程以及地表水与地下水的转换快速,极大降低了土层的稳定性和抗侵蚀能力。另外季节干湿交替致使喀斯特土壤结构稳定性降低,抗蚀性减弱<sup>[24]</sup>。土壤在旱季出现脱水干裂形成多裂缝的柱状土壤形态,一遇

到降雨则吸水膨胀,土壤的结构稳定性容易降低。

#### 2.1.2 地质地貌因素

在宏观尺度上,地质构造通过控制大地貌的类型和特征,影响地表物质及地表径流的分配,从而影响土壤侵蚀。第三纪以来的地质构造运动奠定了层面多、坡度大、切割深、垂向喀斯特发育剧烈的碳酸盐岩山地环境,为土壤侵蚀提供了动力潜能。高山深谷、峰丛、洼地的正负地形格局显著,碳酸盐岩基岩和喀斯特形态为主的镶嵌景观格局,增大了土壤的局部聚集和广泛分散的程度<sup>[25,26]</sup>。强度土壤侵蚀多发生在地质构造复杂、新构造活动强烈的区域,特别是在主干河流的上游及河谷地带,以及在地形阶梯间的过渡地带<sup>[16,20]</sup>。分布面积广、产出厚度大的碳酸盐岩地层是喀斯特石漠化的基础,岩溶发育程度和地层组合决定了喀斯特土壤侵蚀发生的强度<sup>[27-29]</sup>。随着纯碳酸盐岩分布增加,石漠化程度加大,土壤侵蚀危害越大。

喀斯特溶蚀发育致使负地形广布,形成大规模的峰林和峰林间的宽阔洼地以及地下溶洞,同时在岩石表层溶蚀形成各种形态的裂隙。宏观和微观的多孔介质(裂隙和洞穴)以及地表、地下各种蚀余、堆积形态组成了不均匀的“二元结构”,裂隙、管道之间相互沟通,加快了水的迁移转换过程<sup>[20,25]</sup>。各类径流汇流的同时搬运土壤颗粒形成堆积。水分渗透使溶隙、孔隙和管隙中堆积土壤体呈可塑、软塑或流塑状向地下河搬运,形成独特的喀斯特土壤“地下流失”<sup>[8]</sup>。

#### 2.1.3 植被因素

喀斯特土壤属于典型的富钙土壤。许多喜酸、喜湿、喜肥的植物在这里难以生长,即使能生长也多为长势不良。受碳酸盐岩岩性特征的影响,喀斯特区森林植被覆盖率较低,通常低于非岩溶区。这也降低了森林植被——土壤系统的涵养水源、保持水土的功能<sup>[2,29]</sup>。适生植被主要是那些耐瘠嗜钙的岩生性植物群落,如旱生性的草灌丛、多种藤本有刺灌丛等,叶片革质化明显、群落结构相对简单、生态系统的正向演替速率慢且易中断。植被一旦遭到破坏,逆向演替快,而顺向演替慢,致使土壤侵蚀速度加快<sup>[29]</sup>。

#### 2.1.4 人为因素

现代侵蚀是自然侵蚀和人为加速侵蚀的综合作用过程。在长期地质作用的基础上,人为活动如森林砍伐、坡地耕作导致了表土层的侵蚀丧失、岩体裸露和石山化趋势加剧。虽然已推行山地梯田等保持水土的措施,受山地地形限制,贵州碳酸盐岩地区仍然存在大于25°的陡坡开垦耕种,从而加剧了区域土壤侵蚀的程度<sup>[20,30]</sup>。

## 2.2 喀斯特土壤混合侵蚀机制 (图 1)

碳酸盐岩山区土壤侵蚀主要发生在山坡。受降水与坡面水蚀的作用,土壤侵蚀以微距离搬运为主,是一种选择性的侵蚀过程,其侵蚀强度的地势差异显著<sup>[10]</sup>。由于土体直接位于基岩之上,降雨导致喀斯特坡地的土壤出现“壤中流”,极易发生滑移、崩塌等重力侵蚀和土层潜蚀,导致坡地的基岩直接裸露,呈现大面积的喀斯特石漠化的石质坡地景观<sup>[15]</sup>。由于缺乏土壤对降雨的渗透缓冲,加剧了裸露石面的地表径流对土壤的流水侵蚀作用,并且土壤层的持水性能的降低或丧失,促进了喀斯特环境的脆弱性和石漠化的发展。大部分土粒随降雨地表径流作局部空间位移,淀积于低洼部位,表现为土壤逐渐向裂隙、溶洼地集聚,使得岩溶地区土壤分布极不均匀,土层厚度悬殊<sup>[10,31]</sup>。

自然状态下,化学侵蚀是喀斯特地区的主导侵蚀方式。土壤的水分渗透能力很强,土壤渗透水分在土石界面的化学侵蚀以及淋溶作用是土壤形成与发育的基础。低凹有土的地方由于生物作用的明显增强,释放出大量的有机酸和 CO<sub>2</sub>,加上附近地表雨水的汇集,这些地方有相对充足的具有较强侵蚀能力的水与碳酸盐岩发生反应,从而加快了土下溶蚀速率<sup>[24,32]</sup>。喀斯特土壤土下溶蚀的发育使得基岩与土壤界面不断降低,岩层上覆土层沿坡面或就地向下蠕移,在土下岩层蚀空的情况下出现土壤层塌陷<sup>[33]</sup>。

碳酸盐岩的地上与地下“双层结构”与多孔介质特征,造成碳酸盐岩层孔隙的“土壤囊”,并且在地下管隙连通地下水系的情况下,地表水与地下水快速转换,出现的“双层结构”致使地表土壤有进一步被带到深部地下管网堆积的情况,土壤颗粒通过地

下水系携带至下游地表河堆积<sup>[8]</sup>。

山地环境区域的高侵蚀潜能使土壤丧失与分散性加剧,加上人为因素方面的植被砍伐与坡地耕作,土地侵蚀退化剧烈<sup>[30]</sup>。

2007年,张信宝<sup>[33]</sup>提出了岩溶坡地的土壤侵蚀是地表流水侵蚀、重力侵蚀、土下化学溶蚀、地下流失、蠕移、人为加速侵蚀等方式叠加的混合侵蚀的观点。

## 2.3 喀斯特土壤侵蚀强度

现有的喀斯特土壤侵蚀研究方法主要有河流泥沙观测、坡地径流小区观测、遥感解译、通用土壤流失方程 (RUSLE) 模型计算和土壤侵蚀核素示踪研究等。不同研究者给出的土壤流失量数值往往差别很大。如柴宗新<sup>[34]</sup>根据广西的桂林、富阳、邹圩、屯洞等等水文站测量结果发现,河流含沙量 0.06 ~ 0.10 kg·m<sup>-3</sup>,悬移质侵蚀模数为 60 ~ 130 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;朱安国<sup>[14]</sup>对贵州山区主要河流监测发现,河流平均输沙模数为 322 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,最高为 1047 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> (乌都河),最低为 56 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> (樟江);陈晓平<sup>[35]</sup>报道云南文山的西畴西部峰丛地区侵蚀面积占 76%,平均侵蚀模数为 387.7 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,最大侵蚀模数为 1300 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;熊康宁等基于遥感解译和典型样区资料获得的部颁“土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-96)”,西南石山区允许侵蚀量为 500 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,并作为轻度侵蚀的下限。贵州喀斯特的侵蚀模数 500~2500 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> 的中度以上石漠化面积占到 7.5%,侵蚀模数大于 2500~5000 t·km<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> 的轻度以上石漠化面积占到全省的 20.4%<sup>[36]</sup>;许月卿等<sup>[37]</sup>以贵州省猫跳河流域为研究区,在 GIS、遥感技术支撑下,应用修正的美国通用土壤流失方程 (RUSLE) 计算研究区的土壤侵蚀量。研究区平均

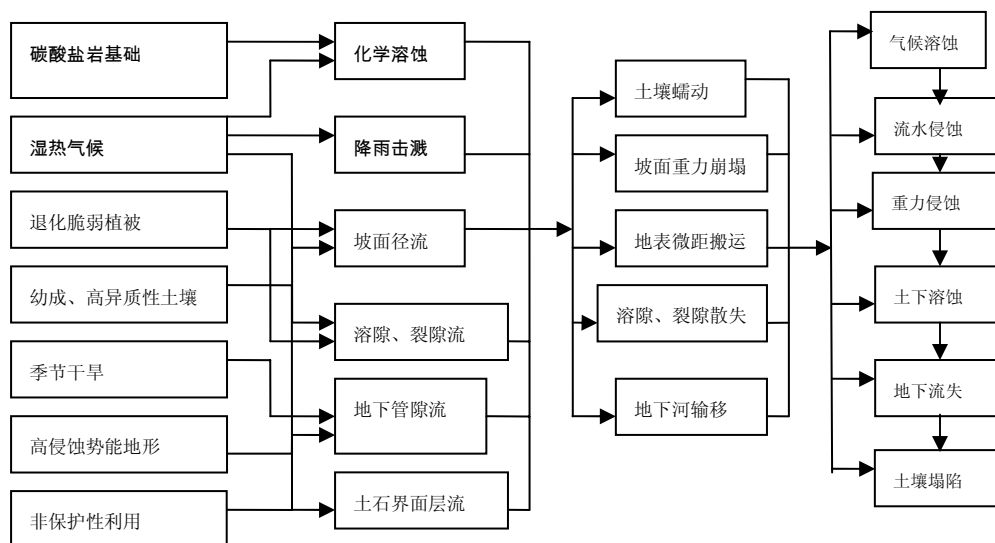


图1 喀斯特石漠化地区的土壤混合侵蚀机制

Fig.1 The chart of mixed soil erosion mechanism in karst rock desertified areas

土壤侵蚀模数为  $28.6 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 属于中度侵蚀; 龙明忠<sup>[38]</sup>对贵州花江喀斯特峡谷土壤侵蚀监测发现, 不同石漠化等级的土壤侵蚀模数为  $3.5\sim 9.5 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 裴建国<sup>[39]</sup>对广西省马山县 12 个典型洼地的实地调查发现, 1960—2000 年的侵蚀模数平均为  $14.13 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。其中 1960—1980 年土壤流失深度可达  $0.5\sim 2 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ , 侵蚀模数达  $4.7\sim 19.04 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 平均为  $9.13 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 张治伟<sup>[40]</sup>在重庆南部南川市境内, 按不同侵蚀强度的坡地取  $^{137}\text{Cs}$  样品, 用于研究岩溶坡地不同侵蚀程度的土壤侵蚀强度与特征, 获得林草地平均侵蚀速率  $112.5 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 缓坡耕地平均侵蚀速率  $565.5 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 陡坡耕地的平均侵蚀速率  $2\,264.8 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。一般说来, 在森林植被破坏后的早期水土流失阶段, 土壤侵蚀强度通常较大, 随着可侵蚀土壤的减少耗尽, 土壤侵蚀强度急剧减小。而且由于研究区域、观测尺度、方法的不同, 所获得的土壤侵蚀强度往往差异较大。

### 3 喀斯特土壤侵蚀研究的现状问题

长期以来, 认为喀斯特土壤侵蚀动力是水力侵蚀为主, 对喀斯特土壤侵蚀机制认识局限在流水和重力作用下的地表土壤侵蚀搬运过程, 从而导致了研究方法的局限性。长期沿用非喀斯特地区的土壤侵蚀研究方法, 导致目前已有的喀斯特土壤侵蚀模数缺乏时效与区域代表性, 同时数据的准确性相对较低, 很多在植被破坏后最初几年研究获得的数据一直沿用至今。传统的径流小区观测资料可靠, 但投资大、历时长, 并且受面积、土壤厚度、地形、坡度、坡向、植被覆盖等因素的影响, 难以反映大范围区域的土壤侵蚀状况; 而遥感解译法和模型法存在着尺度大、主观经验性强、绘图精度差和绝对定标难等方面的弱点, 土壤侵蚀数据的精度不高; 喀斯特地区河流泥沙观测获得的土壤侵蚀数据一般偏低; 喀斯特坡地运用核素示踪研究土壤侵蚀存在运用范围的限制, 一般推算的土壤侵蚀量偏大。总的说来, 喀斯特土壤侵蚀研究缺乏基础机制研究的突破和科学指导。

同时有关喀斯特土壤侵蚀强度的部颁分级指标过高, 导致对喀斯特土壤侵蚀危害的轻视或忽视。水利部水土保持司颁布的“土壤侵蚀分类分级标准(SL190-96)”中西南石山区允许侵蚀量为  $500 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 按照喀斯特地区河流含沙量一般很低, 即使以前述流悬移质侵蚀模数的 10 倍计算, 其土壤侵蚀强度仅为轻度侵蚀。为适应生态建设和规划管理部门对土壤侵蚀数据的需求, 需要探索新的研究途径和方法。

### 4 喀斯特土壤侵蚀研究的发展方向

由于喀斯特环境本身的特殊性和复杂性, 我国

有关喀斯特环境土壤侵蚀的研究工作极为薄弱。因此, 围绕着喀斯特地区土壤侵蚀仍有大量科学问题需要研究。

#### 4.1 从岩溶表层生态系统的发展演变机理和过程的角度来开展岩溶土壤侵蚀演变的动态特征和环境反馈关系的研究

充分认识土壤在地球表层生态系统中的地位与作用, 从土壤形成演化的驱动力去探索并体现土壤与地质过程、生态过程及社会经济过程的关系。重点在流域表层系统尺度上、从岩溶生态系统演化的角度来认识喀斯特生态系统土壤的特征及其与岩溶生态退化恢复的关系<sup>[2,15]</sup>。

#### 4.2 喀斯特土壤侵蚀产沙机制研究

喀斯特土壤侵蚀形式有机械侵蚀、化学侵蚀和重力侵蚀多种, 而且土粒搬运多为局部位移, 而河流输沙模数未能反映土壤侵蚀的真实水平, 就向我们提出了如何表述这种侵蚀产沙速率的问题。需要考虑基岩平均剥蚀速率、风化与溶蚀速率、侵蚀速率和沉积速率、产沙量、河流断面的泥沙通量、库塘湖泊所接受的泥沙沉积量、泥沙输移比、以及地下流失量等数据, 在坡地土壤侵蚀和河流侵蚀等不同尺度上掌握土壤流失整体状况。

#### 4.3 可操作的喀斯特土壤侵蚀分级强度研究

现行土壤侵蚀模数等指标不能很好的反映喀斯特地区的实际情况, 同类型的土壤侵蚀研究缺少可比性, 从而造成研究成果在土壤侵蚀预防和治理的实际应用中可操作性较差。应该以允许土壤侵蚀量作为区分不同侵蚀区域侵蚀强度的基础指标<sup>[41]</sup>。

由于喀斯特地区土层薄的特征, 岩溶地区土壤侵蚀的严重程度在很大程度上取决于特定地质环境背景下的成土速率, 根据目前掌握的地表土壤侵蚀资料来确定土壤侵蚀危险度有一定的局限。应该结合碳酸盐岩地区成土速率来确定碳酸盐岩地区的土壤流失危险程度。

#### 4.4 维持健康河流为基础的喀斯特土壤合理流失量

自然状况下, 流域的土壤流失量等于河流输沙量。人类活动影响有限的流域, 可根据河流输沙量和泥沙输移比求算流域土壤合理流失量。人类活动对全球大部分河流及其所在流域的水土和植被资源均有不同程度的开发利用, 流域的侵蚀产沙、泥沙输移和沉积状况发生了一定的变化, 许多流域还很强烈。人类活动影响强烈的流域, 应主要根据维持健康合理的需沙量和泥沙输移比确定流域的合理土壤流失量<sup>[42]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988: 24-29.  
YUAN Daoxian, CAI Guihong. The Science of Karst Environment[M].

- Chongqing: Chongqing Press, 1988: 24-30.
- [2] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37-44.  
CAO Jianhua, YUAN Daoxian, PAN Genxing. Some soil features in Karst ecosystem[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 37-44.
- [3] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 3-5.  
The Karst Research Group of the Institution of Geology, Chinese Academy of Sciences. *Karst Research of China*[M]. Beijing: Science Publishing House, 1987: 3-5.
- [4] 韦启蟠, 陈鸿昭, 吴志东, 等. 广西弄岗自然保护区石灰土的地球化学特征[J]. 土壤学报, 1983, 20(1): 30-42.  
WEI Qifan, CHEN Hongzhao, WU Zhidong, et al. The geochemical characteristics of limestone soil in Nonggang area, Guangxi[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1983, 20(1): 30-42.
- [5] 王世杰, 季宏兵, 欧阳自远, 等. 碳酸盐岩风化土作用的初步研究[J]. 中国科学: D辑. 1999, 29(5): 441-449.  
WANG Shijie, JI Hongbing, OUYANG Zhiyuan, et al. Preliminary study on carbonate rock weathering and soil formation[J]. *Science in China: D*. 1999, 29(5): 441-449.
- [6] 张美良, 邓自强. 我国南方喀斯特地区的土壤及其形成[J]. 贵州工学院学报, 1994, 23(1): 67-75.  
ZHENG Meiliang, DENG Ziqiang. The soil and soil formation in Karst area of South China[J]. *Journal of Guizhou Institute of Technology*, 1994, 23(1): 67-75.
- [7] 李德文, 崔之久, 刘耕年, 等. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 183-188.  
LI Dewen, CUI Zhiyu, LIU Gengnian, et al. Formation and evolution of Karst weathering crust on limestone and its cyclic significance[J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(3): 183-188.
- [8] 徐则民, 黄润秋, 唐正光, 等. 中国南方碳酸盐岩上覆红土形成机制研究进展[J]. 地球与环境, 2005, 33(4): 29-36.  
XU Zemin, HUANG Runqiu, TANG Zhengguang, et al. A review of advances and outstanding issues in research on the forming mechanism of laterite in south China[J]. *Earth and Environment*, 2005, 33(4): 29-36.
- [9] 王宇, 张贵. 滇东岩溶石山区石漠化特征及成因[J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 933-938.  
WANG Yu, ZHANG Gui. On the desertification and genesis of karst stone mountain area in East Yunnan[J]. *Advance in Earth Science*, 2003, 18(6): 933-938.
- [10] 郑永春, 王世杰. 贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 461-465.  
ZHENG Yongchun, WANG Shijie. Geological cause of calcareous soil erosion and land rocky desertification in karst area, Guizhou province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 461-465.
- [11] 杨明德. 论喀斯特环境的脆弱性[J]. 云南地理环境研究, 1990, 2(1): 21-29.  
YANG Mingde. Fragility of karst environment[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1990, 2(1): 21-29.
- [12] 西南农业大学主编. 土壤学 [M]. 南方本, 第二版. 北京: 农业出版社, 1986: 206-211.  
Agriculture University of Southwest China. *Soil Science*[M]. The South Press, the Second Edition. Beijing: Agriculture Press, 1986: 206-211.
- [13] 杨汉奎. 喀斯特石漠化是一种地质-生态灾难[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(3): 137-147.  
YANG Haikui. Karst rocky desertification and assessment of the disasters[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1995, 15(3): 137-147.
- [14] 朱安国, 林昌虎. 山区水土流失因素综合研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1995: 48-59.  
ZHU Anguo, LIN Changhu. *The Synthetical Study on Elements of Loss of Water and Soil In Mountain Area*[M]. Guiyang: GuiZhou Scientific and Technological Pressing, 1995: 48-60.
- [15] 苏维钧, 周济祥. 贵州喀斯特山地的“石漠化”及防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177-182.  
SU Weiji, ZHOU Jizuo. Rock desertification in Guizhou karst region and its preventing strategy[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1995, 4(2): 177-182.
- [16] 曹建华, 袁道先. 受地质条件约束的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 3-5.  
CAO Jianhua, YUAN Daoxian. *Chinese Southwest Karst Ecosystem Restricted by Geological Factors*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 3-5.
- [17] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639-644.  
LIU Fang, WANG Shijie, LIU Yuansheng, et al. Change of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 639-644.
- [18] 龙健, 江新荣, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 419-427.  
LONG Jian, JIANG Xinrong, DENG Qiqiong, et al. Characteristics of soil rocky desertification in the karst region of Guizhou province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 419-427.
- [19] 林昌虎, 朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与环境变异的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 9-12.  
LIN Changhu, ZHU Anguo. Study on soil erosion and environment variation in karst mountainous region of Guizhou[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 9-12.
- [20] 张殿发, 王世杰, 周德全. 土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制-以贵州省喀斯特山区为例[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 6-10.  
ZHANG Dianfa, WANG Shijie, ZHOU Dequan, et al. Eco-Geo environment of rocky desertification and its driving mechanism-a typical example in karst. Mountainous areas of Guizhou province[J]. *Rural eco-environment*, 2002, 18(1): 6-10.
- [21] 吕明辉, 王红亚, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 87-96.  
LV Minghui, WANG Hongya, CAI Yunlong. General review of soil erosion in the Karst area of Southwest China[J]. *Progress in Geography*, 2007, 26(2): 87-96.
- [22] 覃小群, 朱明秋, 蒋忠诚. 近年来我国西南岩溶石漠化研究进展[J]. 中国岩溶, 2006, 25(3): 234-238.  
QIN Xiaoqun, ZHU Mingqiu, JIANG Zhongcheng. A review on recent advances in rocky desertification in Southwest China karst region[J]. *Carsologica Sinica*, 2006, 25(3): 234-238.
- [23] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 1-8.  
BAI Zhanguo, WAN Guojiang. Study on watershed erosion rate and its environmental effects in Guizhou Karst region[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(1): 1-8.
- [24] 蒋忠诚. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理[J]. 热带地理, 1998, 18(4): 34-39.  
JIANG Zhongcheng. Features of epikarst zone in South China and formation mechanism[J]. *Tropical Geography*, 1998, 18(4): 34-39.
- [25] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 44-52, 92-129.  
YUAN Daoxian. *Karst of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 44-52, 92-129.
- [26] 卢耀如. 中国喀斯特地貌的演化模式[J]. 地理研究, 1986, 5(4): 25-34.  
LU Yaoru. The evolution pattern of karst geomorphology in China[J]. *Geographical Research*, 1986, 5(4): 25-34.
- [27] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的空间相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.  
LI Ruiling, WANG Shijie, ZHOU Dequan, et al. The correlation be-

- tween rock desertification and lithology in karst area of Guizhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 314-320.
- [28] 孙承兴, 王世杰, 周德全, 等. 碳酸盐岩差异风化成土特征及其对石漠化形成的影响[J]. *矿物学报*, 2002, 22(4): 308-314.  
SUN Chengxing, WANG Shijie, ZHOU Dequan, et al. Differential weathering and pedogenetic characteristics of carbonate rocks and their effect on the development of rock desertification in karst regions[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 22(4): 308-314.
- [29] 姚智, 张朴, 刘爱明. 喀斯特区域地貌与原始森林关系的讨论-以贵州荔波茂兰、望谟麻山为例[J]. *贵州地质*, 2002, 19(2): 99-102.  
YAO Zhi, ZHANG Pu, LIU Aimin. Relationship between the Karst regional geomorphology and the virgin forest: a case study of Maolan at Libo and Mashan at Wangmo, Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2002, 19(2): 99-102.
- [30] 林昌虎, 朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与环境变异的研究[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 9-12.  
LIN Changhu, ZHU Anguo. Study on soil erosion and environment variation in karst mountainous region of Guizhou[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 9-12.
- [31] 周游游, 时坚, 刘德深. 峰丛洼地的基岩物质组成与土地退化差异分析[J]. *中国岩溶*, 2001, 20(1): 35-39.  
ZHOU Youyou, SHI Jian, LIU Deshen. Differences of land degradation in peak clustered depressions composed of different bedrocks[J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 20(1): 35-39.
- [32] 韦启蟠. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防治途径[J]. *水土保持研究*, 1996, 3(4): 72-76.  
WEI Qifan. Soil erosion in karst region of South China and its control[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1996, 3(4): 72-76.
- [33] 张信宝, 王世杰, 贺秀斌, 等. 碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失[J]. *地球与环境*, 2007, 35(3): 202-206.  
ZHANG Xingbao, WANG Shijie, HE Xiubin, et al. Roles of soil creeps and slides in formation and evolution of weathering crusts of carbonate rocks in southwest China[J]. *Erath and Environment*, 2007, 35(3): 202-206.
- [34] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J]. *山地研究*, 1989, 7(4): 255-259.  
CHAI Zhongxin. Soil erosion in karst area of Guangxi autonomous region[J]. *Mountain Research*, 1989, 7(4): 255-259.
- [35] 陈晓平. 喀斯特山区环境土壤侵蚀特征的分析研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(4): 31-36.  
CHEN Xiaoping. Research on characteristics of soil erosion in karst mountainous region environment[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(4): 31-36.
- [36] 熊康宁, 黎平, 周忠发. 喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究-以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 56-71.  
XIONG Kangning, LI Ping, ZHOU Zhongfa. The study of Karst rocky desertification using the GIS & RS tech-a case study of Guizhou Province[J]. Beijing: Geology Press, 2002: 56-71.
- [37] 许月卿, 邵晓梅. 基于GIS和RUSLE的土壤侵蚀量计算-以贵州省猫跳河流域为例[J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4): 67-71.  
XU Yueqing, SHAO Xiaomei. Estimation of soil erosion supported by GIS and RUSLE: A case study of Maotiaohe Watershed, Guizhou Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(4): 67-71.
- [38] 龙明忠, 杨洁, 吴克华. 喀斯特峡谷区不同等级石漠化土壤侵蚀对比研究-以贵州花江示范区为例[J]. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 24(1): 25-30.  
LONG Mingzhong, YANG Jie, WU Kehua. A contrast study on soil erosion under different rock desertification grades in karst gorge areas-a case study of the Huajiang demonstration area, Guizhou[J]. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences Edition*, 2006, 24(1): 25-30.
- [39] 裴建国, 李庆松. 典型岩溶峰丛山区土地利用与水土流失[J]. *水土流失通报*, 2006, 26(2): 94-99.  
PEI Jianguo, LI Qingsong. Land use and soil and water loss in typical karst mountain area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(2): 94-99.
- [40] 张治伟, 傅瓦利, 张洪, 等. 岩溶坡地土壤侵蚀强度的<sup>137</sup>Cs法研究[J]. *山地学报*, 2007, 25(3): 302-308.  
ZHANG Zhiwei, FU Wali, ZHANG Hong, et al. Study on soil erosion of different degrees in karst region by using Cesium-137 technique[J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(3): 302-308.
- [41] 陈奇伯, 齐实, 孙立达. 土壤容许流失量研究的进展与趋势[J]. *水土保持通报*, 2000, 20(1): 9-13.  
CHEN Qibo, QI Shi, SUN Lida. Process and trend of soil loss tolerance research[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(1): 9-13.
- [42] 张信宝, 焦菊英, 贺秀斌, 等. 允许土壤流失量和合理土壤流失量[J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(2): 114-116.  
ZHANG Xingbao, JIAO Juying, HE Xiubin, et al. Soil loss tolerance and reasonable soil loss[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(2): 114-116.

## Discussion on karst soil erosion mechanism in karst mountain area in southwest China

HE Yongbin<sup>1</sup>, ZHANG Xinbao<sup>2,3</sup>, WEN Anbang<sup>2</sup>

1. Yunnan University, Insitution of Yunnan Geography Research, Kunming, 650223, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

3. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

**Abstract:** Karst mountainous area commonly faced with the risk of soil erosion leading to lithic desertification especially in Southwest Chinas which has particular soil characteristics and its environmental effect. The current research considered that the soil erosion proceeded in mingled forms affected by the closely related element including weather, geological and geomorphologic factors, vegetable and human activities. But different researcher reported the soil erosion intensity with bigger difference guided by their own thought on karst soil erosion process. The systematic karst soil erosion research should put emphasizes on the soil erosion mechanism and the soil erosion intensity classification and and the assume of reasonable soil loss.

**Key words:** soil erosion research; karst mountain area; disscussion; the Southwest China