

# 珠江流域土地石漠化和河流泥沙含量的动态变化

吴协保<sup>1,2</sup>, 黄俊威<sup>1,2</sup>, 宁小斌<sup>1,2</sup>, 宋进春<sup>1,2</sup>,  
吴照柏<sup>1,2</sup>, 但新球<sup>1,2</sup>, 王昊琼<sup>1,2</sup>, 卢立<sup>1,2</sup>

(1.国家林业和草原局 中南调查规划设计院 湖南 长沙 410014; 2.国家林业和草原局 石漠化监测中心 湖南 长沙 410014)

**摘要:** [目的] 研究珠江流域岩溶石漠化土地与河流泥沙含量动态变化及相互关系,以期科学评价珠江流域石漠化生态修复成效。[方法] 基于2018年发布的第3次石漠化监测成果数据《中国河流泥沙公报》数据,运用数理统计、图表功能和相关性分析,研究石漠化土地与河流泥沙含量动态变化关系。[结果] ①珠江流域石漠化土地面积占全国34.1%。21世纪以来,区域石漠化土地面积呈现持续减少,程度减轻,生态环境状况明显好转;②2001—2018年主要水文站年输沙量年际变动规律不明显,河流年输沙量、年平均含沙量、多年平均输沙模数总体呈现降低趋势。[结论] 珠江流域石漠化土地面积与河流泥沙含量间存在指数正相关性;河流输沙量、石漠化土地面积与植被综合盖度呈指数负相关关系,与耕地面积呈指数正相关关系。

**关键词:** 珠江流域; 石漠化土地; 石漠化程度; 泥沙含量; 动态变化

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)03-0022-09

**中图分类号:** X171.4, X43

**文献参数:** 吴协保, 黄俊威, 宁小斌, 等. 珠江流域土地石漠化和河流泥沙含量的动态变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 22-30. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.004; Wu Xiebao, Huang Junwei, Ning Xiaobin, et al. Dynamic change of land rocky desertification and river sediment content in Pearl River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 22-30.

## Dynamic Change of Land Rocky Desertification and River Sediment Content in Pearl River Basin

Wu Xiebao<sup>1,2</sup>, Huang Junwei<sup>1,2</sup>, Ning Xiaobin<sup>1,2</sup>,  
Song Jinchun<sup>1,2</sup>, Wu Zhaobai<sup>1,2</sup>, Dan Xingqiu<sup>1,2</sup>, Wang Haoqiong<sup>1,2</sup>, Lu Li<sup>1,2</sup>

(1. Central South Inventory and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration, Changsha, Hu'nan 410014, China; 2. Rocky Desertification Monitoring Center of National Forestry and Grassland Administration, Changsha, Hu'nan 410014, China)

**Abstract:** [Objective] In order to scientifically evaluate the effect of ecological restoration of rocky desertification land, the dynamic changes and interrelationships of karst rocky desertification land and river sediment content in the Pearl River basin were studied. [Methods] Based on the third rocky desertification monitoring result data which were issued in 2018 and the 2000—2018 “China River Sediment Bulletin” data, mathematical statistics, chart functions, and correlation analysis were used to study dynamic changes in and interrelationships of rocky desertification land and river sediment content. [Results] ① The area of rocky desertification land in the Pearl River basin accounted for 34.1% of the country. Since the beginning of the 21st century, the area of regional rocky desertification land has continually decreased, the degree has been reduced, and the ecological environment has improved significantly. ② From 2001 to 2018, the inter-annual variation of the annual sediment transport at major hydrological stations was not obvious. The annual sediment transport, annual average sediment concentration, and multi-year average sediment transport modulus of rivers generally showed a downward trend. [Conclusion] There is an exponential positive correlation between the rocky

收稿日期: 2020-01-01

修回日期: 2021-02-26

资助项目: 国家重点研发计划“喀斯特峰丛洼地石漠化综合治理与生态服务功能提升技术研究示范”(2016YFC0502400)

第一作者: 吴协保(1972—), 男(汉族), 湖南省安化县人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事石漠化监测与防治规划工作。Email: 543439391@qq.com。

desertification land area and river sediment content in the Pearl River basin. The amount of sediment transported by rivers and the area of rocky desertification land are exponentially negatively correlated with the comprehensive vegetation coverage and exponentially positively correlated with the area of arable land.

**Keywords:** Pearl River basin; rocky desertification degree; sediment load; sediment content; dynamic change

石漠化是西南岩溶地区的首要生态问题,与西北地区沙漠化、黄土高原水土流失并称为影响中国社会经济发展的三大环境灾害<sup>[1]</sup>,而珠江流域是中国石漠化分布最集中、石漠化程度最重、区域贫困面最大的区域,直接关系到珠江流域水利水电设施安全和水生态安全,亦维系到珠三角粤港澳地区的可持续发展和扶贫事业<sup>[2-3]</sup>,20世纪80年代,珠江上游水土流失面积占土地总面积的19.26%,至2000年增长到20.53%,加大珠江流域石漠化治理力度已刻不容缓<sup>[4]</sup>。土地石漠化程度与区域水土流失、河流泥沙含量直接相关,互为因果关系,也是衡量区域生态环境状况变化的重要指标。21世纪以来,国家加大以岩溶地区石漠化土地为核心的综合整治和生态修复力度,珠江流域各级政府高度重视石漠化治理生态修复,如珠江流域贵州段落实石漠化治理资金累计 $2.53 \times 10^9$ 元,珠江流域广西段将生物和工程措施相结合,控制水土流失,控制石漠化扩展<sup>[5]</sup>。石漠化连续监测结果表明,区域石漠化土地面积下降、程度减轻,水土流失强度降低,生态环境状况显著改善<sup>[6-7]</sup>。虽然珠江流域石漠化治理取得一定的成效,但由于年径流量大,其输沙量较大,从上游往下游逐次递增,珠江流域每年平均约有 $8.65 \times 10^7$  t泥沙输入南海<sup>[8]</sup>,这对珠江流域下游地区生态环境及用水安全问题造成一定的影响,若对河流泥沙处理不当,还会引发泥沙灾害,造成直接或间接的经济损失<sup>[9]</sup>。本文以2018年发布的岩溶地区连续3期(2005,2011,2016年)石漠化监测成果数据为基础,结合水利部发布的中国河流泥沙含量公报等数据,分析21世纪以来珠江流域的石漠化、河流泥沙含量动态变化规律,探讨石漠化状况与河流泥沙含量间的相关性,科学反映珠江流域生态环境状况的变化特征,以期为珠江流域石漠化地区综合治理的开展提供数据支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

本文中石漠化土地现状及动态变化数据来源于国家林业和草原局组织的岩溶地区第3次石漠化监测成果报告;水文监测数据资料来源于自2000—2018年《中国河流泥沙公报》;广西水资源数据来源于2009—2018年《广西水资源公报》。

### 1.2 研究方法

主要包括:①利用Excel的数理统计与图表功能,对石漠化土地现状及动态变化速率、珠江流域水文监测数据动态变化规律进行分析;②运用ArcGIS 10.3编制了珠江主要水文站空间布局图;③运用Excel趋势线指数回归法对石漠化土地面积与输沙量;输沙量、石漠化土地面积分别与植被综合盖度、耕地面积的相关性进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 石漠化土地现状

根据岩溶地区第3次石漠化监测结果,珠江流域有岩溶土地面积 $1.56 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,占监测区岩溶土地面积的34.4%,共涉及湖南、广东、广西、贵州和云南5省(自治区)165个县(市区)1 529个乡(镇)<sup>[10]</sup>。岩溶土地中有石漠化土地面积 $3.44 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占石漠化土地总面积的34.1%,占该流域岩溶土地面积的22.1%;有潜在石漠化土地面积 $4.75 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占潜在石漠化土地总面积的32.4%,占该流域岩溶土地面积的30.5%。

2.1.1 按省级行政单位分 湖南省石漠化土地面积 $4.20 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占珠江流域石漠化面积的1.2%;广东省 $5.90 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占1.7%;广西壮族自治区 $1.49 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占43.4%;贵州省 $1.02 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占29.6%;云南省 $8.30 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占24.1%,珠江流域石漠化土地主要分布在广西、贵州和云南三省(区)。

2.1.2 按土地利用类型分 发生在乔灌林地上的石漠化面积为 $2.21 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占该流域石漠化面积的64.3%;其他林地 $2.77 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占8.0%;耕地(旱地)为 $6.80 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占19.8%;草地 $2.00 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占0.6%;未利用地 $2.51 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占7.3%,珠江流域石漠化土地多发生在乔灌林地与旱地上。

2.1.3 按植被类型分 分为乔木型、灌木型、草本型、旱地作物型、无植被型5类。石漠化土地发生在乔木型上的面积为 $5.08 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占珠江流域石漠化面积的14.8%;灌木型 $1.83 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,占53.2%;草本型 $3.72 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占10.8%;旱地作物型 $6.80 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占19.8%;无植被型 $4.70 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占1.4%。珠江流域石漠化土地以灌木型、旱地作物型及乔木型居多。

2.1.4 按岩溶地貌分 发生在峰丛洼地的石漠化土地面积为  $1.19 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化面积的 34.5%; 峰林洼地为  $1.03 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占 3.0%; 孤峰残丘及平原为  $3.90 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占 1.1%; 岩溶丘陵为  $3.66 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占 10.7%; 岩溶槽谷为  $3.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占 0.9%; 岩溶峡谷为  $5\ 000 \text{ hm}^2$ , 占 0.2%; 岩溶断陷盆地为  $1.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占 0.4%; 岩溶山地为  $1.70 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占 49.3%。珠江流域石漠化土地多发生在峰丛洼地和岩溶山地上。

2.1.5 按石漠化程度分 中度石漠化土地面积最多, 为  $1.32 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化土地面积的 38.5%; 轻度、重度石漠化土地面积分别为  $9.95 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,  $1.05 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 分别占 28.9% 和 30.4%; 极重度石漠化土地面积最少, 为  $7.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 仅占 2.2%。

2.1.6 按植被盖度等级分 除属发生在旱地上的石漠化土地外, 林草植被综合盖度小于 30% 的面积为  $1.50 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化土地面积的 5.4%; 30%~49% 的面积为  $2.51 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占 90.9%; 超过 50% 的面积为  $1.01 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占 3.7%。

2.1.7 按二级流域分 珠江流域石漠化土地主要分布在南北盘江和红柳江流域, 达  $2.79 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化土地面积的 81.0%, 其中以南北盘江流域石漠化土地面积最大, 为  $1.46 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化土地面积的 42.6%。

## 2.2 石漠化土地动态变化及原因分析

据相关研究, 20 世纪 90 年代末期, 中国石漠化土地面积年均扩展率为 1.86%, “十五”时期年均扩展率为 1.37%, 表明 2000 年前后石漠化土地呈现扩展态势, 2002—2011 年期间, 中国石漠化土地的年均缩减率为 1.27%, 2011—2016 年, 年均缩减率为 3.45%, 表明 21 世纪以来, 中国石漠化土地面积扩展趋势得到逆转, 呈现“持续减少”趋势, 且石漠化土地减少速率加快<sup>[11]</sup> (详见图 1)。

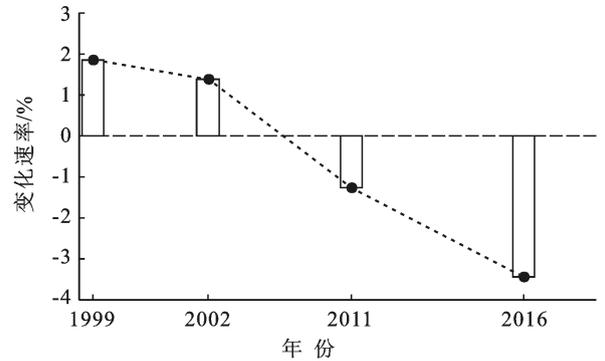


图 1 1999—2016 年中国不同监测期石漠化土地变动速率

与 2011 年相比, 珠江流域石漠化土地面积呈现减少, 减少面积为  $8.23 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占全国同期减少面积的 42.6%; 2012—2016 年石漠化土地年均缩减率为 4.2%, 高于全国同期石漠化速减率 3.45%, 表明珠江流域石漠化土地减少率高于全国平均水平, 石漠化土地治理成效显著(表 1)。

表 1 2011—2016 年珠江流域石漠化状况面积及变化

石漠化状况	2011 年面积/ $\text{hm}^2$	2016 年面积/ $\text{hm}^2$	变化量/ $\text{hm}^2$	变化率/%	年均变化率/%
石漠化土地	4 261 607.3	3 438 343.7	-823 263.6	-19.3	-4.2
非石漠化土地	7 269 172.8	7 380 521.4	111 348.6	1.5	0.3
潜在石漠化土地	4 054 745.4	4 746 992.6	692 247.2	17.1	3.2

2.2.1 按石漠化程度分 与 2011 年相比, 轻度石漠化土地面积减少  $1.85 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 年均缩减率为 3.4%, 占全国同期轻度石漠化土地面积减少量的 45.91%; 中度石漠化减少  $2.81 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 年均缩减率为 3.8%, 占全国同期中度石漠化土地面积减少量的 32.6%; 重度石漠化减少  $2.83 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 年均缩减

率为 4.7%, 占全国同期重度石漠化土地面积减少量的 54.7%; 极重度石漠化减少  $7.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 年均缩减率为 12.8%, 占全国同期极重度石漠化土地面积减少量的 49.0%, 表明珠江流域重度、极重度石漠化土地面积减少比重高, 珠江流域石漠化程度减轻幅度显著高于全国平均水平(表 2)。

表 2 2011—2016 年珠江流域石漠化程度面积及变化

石漠化程度	2011 年面积/ $\text{hm}^2$	2016 年面积/ $\text{hm}^2$	变化量/ $\text{hm}^2$	变化率/%	年均变化率/%
轻度石漠化	1 179 723.4	994 605.9	-185 117.5	-15.7	-3.4
中度石漠化	1 604 100.4	1 322 854.5	-281 245.9	-17.5	-3.8
重度石漠化	1 328 466.9	1 045 404.1	-283 062.8	-21.3	-4.7
极重度石漠化	149 316.6	75 479.2	-73 837.4	-49.5	-12.8

2.2.2 按石漠化演变类型分 珠江流域顺向演变面积为  $3.15 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 逆向演变面积为  $2.68 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 顺向演变面积是逆向演变面积的 1.18 倍, 表明 2011—2016 年, 珠江流域石漠化土地朝顺向方向演替, 但局部石漠化仍存在扩展的现象, 必须引起高度重视。

表 3 2011—2016 年珠江流域 5 省区石漠化面积

省份	2011 年面积/hm <sup>2</sup>	2016 年面积/hm <sup>2</sup>	变化量/hm <sup>2</sup>	变化率/%	年均变化率/%
湖南	41 688	47 080.2	-5 392.2	-12.93	-2.46
广东	59 446.7	63 811	-4 364.3	-7.34	-1.43
广西	1 491 534.9	1 871 185.8	-379 650.9	-25.45	-4.64
贵州	1 015 984.6	1 248 143.6	-232 159	-22.85	-4.2
云南	829 689.6	1 028 736.2	-199 046.6	-23.99	-4.39
合计	3 438 343.7	4 258 956.8	-820 613.1	-23.87	-4.37

2.2.4 按植被类型分 2016 年石漠化土地上的乔木型与灌木型比重较 2011 年分别提高 1.3% 和 3.5%, 旱地作物型面积减少了  $3.40 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 表明珠江流域林草植被结构进一步优化, 石漠化旱地耕作比重迅速降低, 水土流失面积与强度降低。

2.2.5 按植被盖度分 除耕地外的林草植被综合盖度, 2016 年岩溶地区平均为 62.9%, 较 2011 年提高了 3.7%; 2016 年石漠化土地上为 41.8%, 较 2011 年提高了 1.8%。耕地外的乔灌盖度, 2016 年岩溶地区平均为 44.6%, 较 2011 年提高了 2.5%; 2016 年石漠化土地上的为 31.5%, 较 2011 年提高了 3.98%, 表明珠江流域林草植被状况明显改善, 林草植被覆盖度逐年提升, 石漠化土地上乔灌盖度增加更加明显, 表明石漠化综合治理等生态工程的成效逐步显现。

2.2.6 石漠化动态变化原因 ①国家继续实施珠江防护林、石漠化综合治理、新一轮退耕还林、水土保持等重点生态工程, 加大岩溶地区林草植被保护与修复力度, 生态工程建设是该区域石漠化土地面积持续减少的主导因素。“十二五”期间, 珠江流域纳入石漠化综合治理工程共 144 个县, 占该流域石漠化监测县的 87.3%, 占全国石漠化综合治理县的 45.9%。②随着城镇化的持续推进以及易地扶贫搬迁, 大量农村人口进入城镇生活与就业, 农村人口持续减少, 对土地的压力大为减轻。2007—2016 年, 珠江流域涉及的 5 省(区)农村人口数量持续减少, 而城镇人口持续增加, 10 a 间农村人口减少  $2.35 \times 10^7$  人。③农村能源结构不断优化, 薪材比重逐年下降, 据本次专题调研, 在农村能源结构中, 传统薪材所占比重由 2011 年的 37.2% 下降到 2016 年 20.0% 以下。此外, 坡改梯以及工程建设等直接占用石漠化土地, 导致区域石漠化土地面积减少。

2.2.3 按省级行政单位分 2011—2016 年, 5 省石漠化土地面积均呈现减少趋势, 以广西壮族自治区石漠化土地面积减少最多, 达  $3.80 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占珠江流域石漠化面积减少量的 46.1%, 其他依次为贵州、云南、湖南和广东(表 3)。

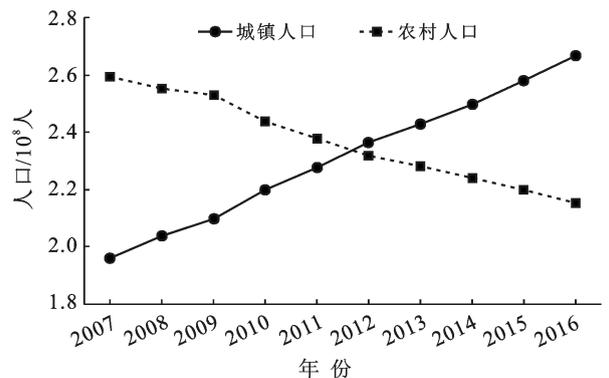


图 2 2007—2016 年珠江流域 5 省城镇与农村人口变化对比

### 2.3 河流泥沙含量动态变化状况

珠江流域主要水文站包括西江流域南盘江小龙潭站、红水河迁江站、柳江柳州站、郁江南宁站、浔江大湟江口站及西江梧州站、高要站; 北江流域石角站; 东江流域博罗站。

2.3.1 径流量 珠江主要水文站 2000 年前多年平均径流量较 21 世纪多年平均径流量偏高 5.0%, 各主要水文站偏高幅度为 2.4%~35.3%, 其中小龙潭水文站偏高幅度最多, 其次为迁江站和南宁站, 其余水文站均低于多年平均径流量偏高值(表 4)。

2001 到 2018 年间, 珠江主要水文站年径流量平均值年际变动规律总体不明显, 但年度间差异明显, 2015, 2017 年全流域年径流量偏大, 而 2011 年年径流量偏小, 2015, 2017 年各水文站平均径流量分别为  $1.09 \times 10^{11}$ ,  $1.07 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 是 2011 年的 1.92, 1.89 倍, 而 2018 年各水文站平均径流量为  $8.11 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 仅为 2017 年的 76.2%, 造成珠江年径流量年份差异的主要原因热带气旋等气象因素导致的降雨差异<sup>[12]</sup>, 据广西 2011, 2015, 2017 年水资源公报显示,

2011, 2015, 2017 年广西区年降水量分别为 1 894, 1 806, 1 268.8 mm, 2015, 2017 年年降水量分别是 2011 年的 1.5, 1.4 倍。各水文站年径流量变动总体趋势与珠江主要水文站年径流量平均值变动趋势基本一致, 2001—2011 年, 珠江主要水文站年径流量平均值及各水文站年径流量总体呈现下降趋势, 而 2012

至 2017 年呈现逐步升高态势, 2015—2017 年珠江主要水文站年径流量平均值较 2011—2014 年, 2001—2010 年多年平均偏多 36% 和 25%, 而 2015—2017 年各水文站多年平均径流量较 2011—2014 年多年平均偏多 11%~128%, 较 2001—2010 年多年平均偏多 9%~43% (表 4)。

表 4 珠江主要水文站分阶段径流量动态变化

$10^8 \text{ m}^3$

项目	平均径流量									各水文站年径流量平均值
	南盘江 (小龙潭)	红水河 (迁江)	柳江 (柳州)	郁江 (南宁)	浔江 (大湟江口)	西江 (梧州)	西江 (高要)	北江 (石角)	东江 (博罗)	
2000 年前	38.7	674.6	399.0	376.0	1 718.0	2 044.0	2 211.2	419.6	234.7	901.8
21 世纪	28.6	578.3	386.7	350.9	1 664.2	1 971.7	2 113.6	409.6	227.0	858.9
2001—2005 年	34.2	597.4	375.2	367.3	1 698.0	2 025.8	2 099.6	410.2	194.7	866.9
2006—2010 年	27.4	542.5	363.9	319.4	1 578.6	1 844.6	1 998.6	402.5	260.6	815.4
2011—2014 年	16.5	474.9	342.0	335.9	1 468.5	1 758.0	1 933.3	406.5	208.7	771.6
2015—2017 年	36.0	725.1	530.1	372.9	2 030.3	2 418.3	2 608.3	470.9	264.1	1 050.7
2018 年	32.9	634.4	307.3	419.7	1 608.0	1 851.0	1 995.0	270.5	182.5	811.3

注: 2000 年前多年平均含 2000 年, 21 世纪多年平均指 2001 至 2018 年。下同。

2.3.2 输沙量 珠江主要水文站 21 世纪多年平均输沙量明显低于 2000 年前多年平均输沙量, 珠江主要水文站 21 世纪多年平均输沙量为  $9.12 \times 10^6 \text{ t}$ , 仅为 2000 年前多年平均输沙量的 27.0%, 各主要水文站 21 世纪多年平均输沙量是 2000 年前多年平均输沙量的 4.5%~86.9%, 各主要水文站多年平均输沙量均减少, 红水河迁江水文站减少幅度最大, 而柳江柳州水文站减少幅度较小 (表 5)。而 21 世纪以来, 珠江主要水文站年输沙量平均值年际变动规律不明显, 但与年径流量、降水量集中度及暴雨强度等存在密切关系, 2001—2011 年, 珠江主要水文站年输沙量平均值总体呈现下降趋势, 但 2012—2017 年呈现增加态势, 与其年径流量变动规律基本一致, 特别是 2011—2014 年主要水文站年输沙量平均值处于历史低值, 为  $5.46 \times 10^6 \text{ t}$ , 仅为 2001—2010 年和 2015—2017 年主要水文站年输沙量平均值的 51.1%, 51.2%, 而 2018 年年输沙量平均值仅为  $3.49 \times 10^6 \text{ t}$ , 仅为 2017 年的 25.6% (图 3, 表 5)。2001—2017 年, 珠江各主要水文站年输沙量年际变动规律不明显, 年度差异较明显, 与各水文站年径流量波动规律基本保持一致; 珠江各主要水文站除北江石角、东江博罗水文站外年输沙量总体变动规律与珠江主要水文站年输沙量平均值变动规律保持一致, 各主要水文站年输沙量总体呈现: 2001—2005 年平均值 > 2006—2010 年平均值 > 2011—2014 年平均值趋势, 2015—2017 年平均值又高于 2015 年前 14 a 平均值, 与各水文站年径流量明显偏多规律基本一致; 而 2018 年各主要水文站年输沙量又远低于 2017 年, 与各主要水文站年径流量偏

低相吻合 (表 5)。

戴仕宝等<sup>[13]</sup>的研究表明, 1955—2005 年以来, 珠江流域入海泥沙整体上呈下降趋势, 本文观点与其研究结论一致, 导致输沙量年际波动变化的主要因素是气候变化, 而珠江流域梯级水库建设也是入海泥沙含量减少的重要原因。

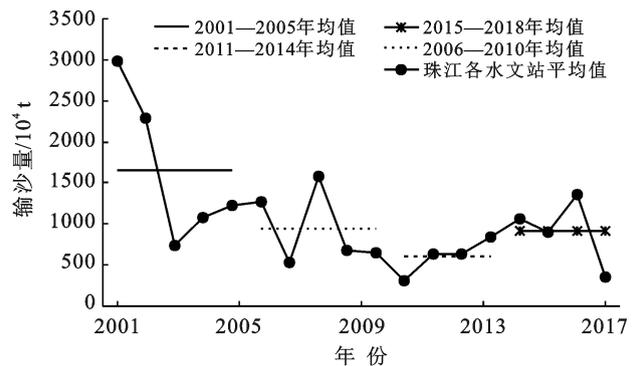


图 3 珠江流域 2001—2017 年主要控制水文站年输沙量平均值变化

2.3.3 年平均含沙量 珠江主要水文站 21 世纪多年年平均含沙量明显低于 2000 年前多年年平均含沙量, 珠江流域 21 世纪多年年平均含沙量为  $0.106 \text{ kg/m}^3$ , 仅为 2000 年前多年年平均含沙量的 28.4%; 各主要水文站 21 世纪多年平均输沙量均低于 2000 年前多年平均输沙量, 21 世纪多年平均输沙量是 2000 年前多年平均输沙量的 6.6%~89.7%, 红水河迁江水文站减少幅度最大, 而柳江柳州水文站减少幅度较小 (表 6)。

表 5 珠江流域主要水文站分阶段输沙量动态变化

10<sup>4</sup> t

项目	平均输沙量									各水文站年输沙量平均值
	南盘江 (小龙潭)	红水河 (迁江)	柳江 (柳州)	郁江 (南宁)	浔江 (大湟江口)	西江 (梧州)	西江 (高要)	北江 (石角)	东江 (博罗)	
2000 年前	642.5	4 665.3	711.2	1 084.5	6 682.8	7 431.5	8 083.4	732.5	303.4	3 370.8
21 世纪	295.5	264.3	618.4	489.9	1 765.0	1 844.6	2 356.7	440.8	128.5	911.5
2001—2005	403.7	620.7	483.0	943.8	2 632.0	2 782.0	3 604.0	351.0	138.9	1 328.8
2006—2010	286.8	170.4	452.8	358.2	1 406.0	1 655.4	2 258.0	486.8	195.1	807.7
2011—2014	192.6	49.6	294.8	320.3	1 124.5	992.5	1 271.5	587.5	80.3	545.9
2015—2017	300.7	188.1	1 665.7	229.7	2 136.7	2 146.7	2 406.7	423.7	102.5	1 066.7
2018 年	194.0	39.6	276.0	338.0	672.0	606.0	805.0	125.0	81.2	348.5

表 6 珠江流域主要河流分阶段年平均含沙量动态变化

kg/m<sup>3</sup>

项目	平均含沙量									各水文站年输沙量平均值
	南盘江 (小龙潭)	红水河 (迁江)	柳江 (柳州)	郁江 (南宁)	浔江 (大湟江口)	西江 (梧州)	西江 (高要)	北江 (石角)	东江 (博罗)	
2000 年前	1.661	0.692	0.178	0.288	0.389	0.364	0.366	0.175	0.129	0.374
21 世纪	1.034	0.046	0.160	0.140	0.106	0.094	0.112	0.108	0.057	0.106
2001—2005 年	1.182	0.104	0.129	0.257	0.155	0.137	0.172	0.086	0.071	0.153
2006—2010 年	1.045	0.031	0.124	0.112	0.089	0.090	0.113	0.121	0.075	0.099
2011—2014 年	1.170	0.010	0.086	0.095	0.077	0.056	0.066	0.145	0.038	0.071
2015—2017 年	0.836	0.026	0.314	0.062	0.105	0.089	0.092	0.090	0.039	0.102
2018 年	0.59	0.006	0.09	0.081	0.042	0.033	0.04	0.046	0.044	0.043

由表 6 可见,21 世纪以来,珠江流域各水文站中,小龙潭水文站年平均含沙量明显高于其他水文站,主要是小龙潭水文站位于珠江上游南盘江流域,其集雨区面积较小,又位于滇中经济发达区,该区域降水量存在明显的干、湿两季,5—10 月为雨季,降水量占全年的 85%左右,且多大雨、暴雨,其降水量占全年的 60%以上,水土流失明显<sup>[14]</sup>;该区域是云南省岩溶土地与石漠化土地集中分布区,人口密集,农业人口比重高,是全国主要烟草产区和云南省主要农作物产区,长期的农业、牧业等人类活动导致林草植被破坏严重,且人为扰动地表层频繁,加剧了岩溶地区水土流(漏)失,河流泥沙含量增加;特别是小龙潭以上流域因径流量较小,缺乏大中型水利枢纽设施,对河流泥沙拦截与阻滞能力弱,导致小龙潭水文站年平均泥沙含量居高不下。剔除小龙潭水文站后珠江各水文站的年平均含沙量动态变化规律与年均径流量、年均输沙量变动规律基本吻合,即 2001—2011 年河流年平均含沙量总体呈现下降趋势,2012—2017 年呈现略微上升趋势,2018 年远低于 2017 年前多年平均值;而 2001—2018 年珠江主要水文站年平均含沙量总体变化呈现指数线性逐步降低趋势, $R^2=0.56$ ,各水文站中除北江石角、东江博罗及柳江柳州站个别年份存在异常外,各水文站年平均含沙量变化趋势与全流域基本吻合(图 4)。

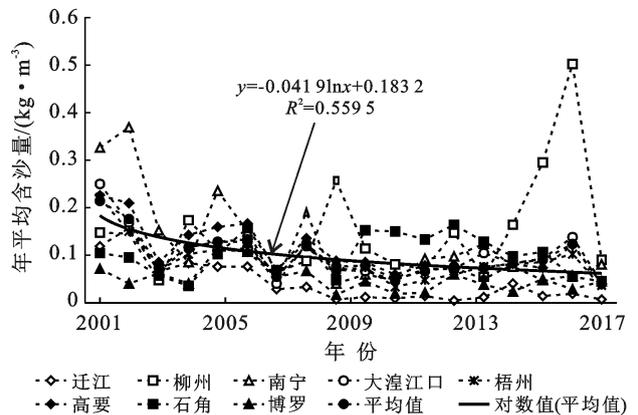


图 4 珠江流域 2001—2017 年主要水文站(剔除小龙潭站)年平均含沙量变化

2.3.4 多年平均输沙模数 珠江主要水文站 21 世纪多年平均输沙模数明显低于 2000 年前多年平均输沙模数,珠江流域 21 世纪多年平均输沙模数为 63.4 t/(km<sup>2</sup>·a),仅为 2000 年前多年年平均输沙模数的 27.0%;各主要水文站 21 世纪多年平均输沙模数均低于 2000 年前多年平均输沙模数,21 世纪多年平均输沙模数是 2000 年前多年平均输沙模数的 5.7%~87.0%,红水河迁江水文站降低幅度最大,而柳江柳州水文站降低幅度最小(表 7)。

结果表明,21 世纪以来,除柳江柳州站、北江石角个别年度异常外,珠江主要水文站年平均输沙模数

及各水文站年输沙模数的变化规律与年平均含沙量基本一致,即 2001—2011 年河流年输沙模数总体呈现下降趋势,2012—2017 年呈现略微上升趋势,2018 年远低于 2017 年前多年平均值(表 7,图 5)。表明 21 世纪以来珠江流域水系河流年输沙模数、年含沙量总体呈现降低态势,与区域林草植被增加、陡坡耕种比重降低,生态环境状况持续改善,水土流失量减少紧

密相关。而小龙潭、柳州、北江石角水文站分别处于珠江上游南盘江及主要支流柳江和广东北部北江上,区域年度降雨量分配不均,大雨、暴雨集中度年度差异明显,集雨区面积较小,输沙距离较短,且水文站上中游缺乏大中型水利枢纽设施对河流泥沙的拦截和阻滞,导致年度输沙模数变化曲线不规则,且年输沙模数相对较高(图 6)。

表 7 珠江主要水文观测站年输沙模数对比

t/(km<sup>2</sup>·a)

项目	平均输沙模数									各水文站年输沙量平均值
	南盘江 (小龙潭)	红水河 (迁江)	柳江 (柳州)	郁江 (南宁)	浔江 (大湟江口)	西江 (梧州)	西江 (高要)	北江 (石角)	东江 (博罗)	
2000 年前	417.2	361.9	156.6	149.2	231.6	227.3	230.0	190.8	119.9	234.6
21 世纪	191.9	20.5	136.2	67.4	61.2	56.4	67.0	114.8	50.8	63.4
2001—2005 年	262.2	48.2	106.4	129.8	91.2	85.1	102.5	91.4	54.9	92.5
2006—2010 年	186.3	13.2	99.7	49.3	48.7	50.6	64.2	126.8	77.1	56.2
2011—2014 年	125.0	3.8	64.9	44.1	39.0	30.4	36.2	153.0	31.7	38.0
2015—2017 年	195.2	14.6	366.9	31.6	74.1	65.6	68.5	110.3	40.5	74.2
2018 年	126.0	3.1	60.8	46.5	23.3	18.5	22.9	32.6	32.1	40.6

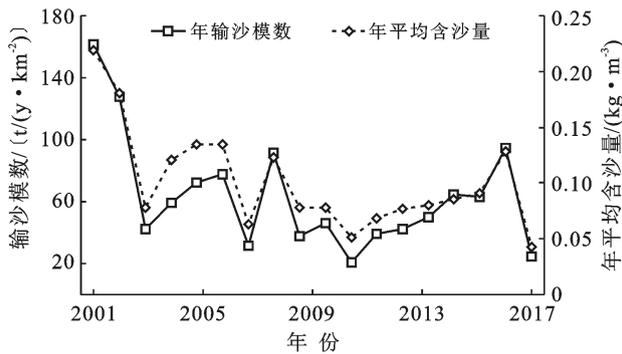


图 5 珠江流域 2001—2017 年主要水文站年输沙模数与年输沙量变化关系

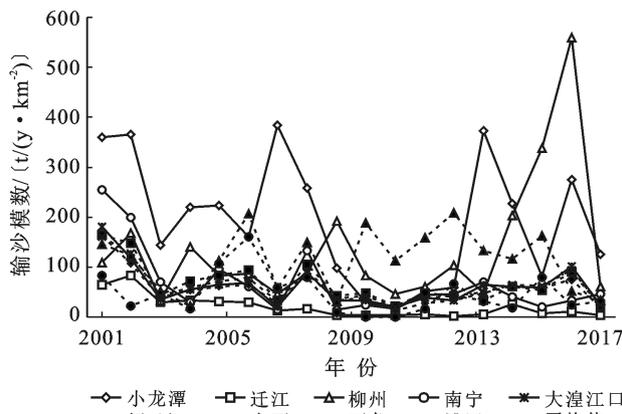


图 6 珠江流域 2001—2017 年主要水文站年输沙模数变化

## 2.4 输沙量与石漠化土地面积相关性分析

本文以珠江流域及石漠化土地集中分布、程度较重的珠江流域中部的红水河流域(迁江站)为例,

2001—2005 年多年平均输沙量对应第一次石漠化监测成果数据(2006 年),2006—2010 年多年平均输沙量对应第二次成果数据(2011 年),2011—2015 年多年平均输沙量对应第 3 次成果数据(2016 年),运用 Excel 趋势线指数回归法分析输沙量、石漠化土地面积与岩溶土地植被综合盖度、耕地面积间的关系。结果表明:河流输沙量与石漠化土地面积呈指数正相关关系(珠江流域、红水河流域  $R^2$  分别为 0.92,0.94),随石漠化土地面积减少,输沙量逐步降低但降低的速度呈下降趋势(图 7);河流输沙量、石漠化土地面积与植被综合盖度呈指数负相关关系(红水河流域  $R^2$  分别为 0.77,0.96),与耕地面积呈指数正相关关系(红水河流域  $R^2$  为 0.97,0.79)(图 8)。

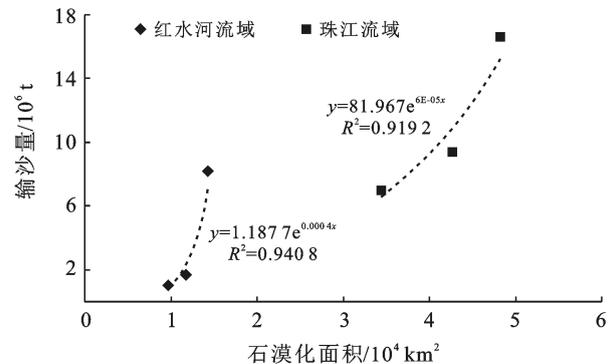


图 7 输沙量与石漠化面积相关性分析

21 世纪以来随着退耕还林还草、珠江防护林、土地综合治理等国家重点生态工程持续推进,尤其是

2008年石漠化综合治理生态修复工程实施,石漠化土地综合治理的力度不断加大,此外,随着异地生态扶贫搬迁、城镇化建设与劳务输出等,岩溶地区生态环境承载力降低,人为干扰减少,乔灌植被比重增加,林草植被盖度增加,陡坡耕地比重持续下降。据监测表明,红水河流域岩溶地区2005—2016年乔灌植被类型比重增加5%,林草植被盖度由2005年的38.1%

提升至2016年的44.7%;岩溶地区耕地面积由2005年的 $1.16 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 减少到2016年的 $8.79 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,而 $15^\circ$ 以上的陡坡耕地面积2016年较2005年减少了近一半50%,区域生态状况明显好转,流域水土流(漏)失面积减少,水土流失强度降低<sup>[15-16]</sup>。为此,红水河流域河流输沙量及年平均含沙量均呈现持续降低的趋势。

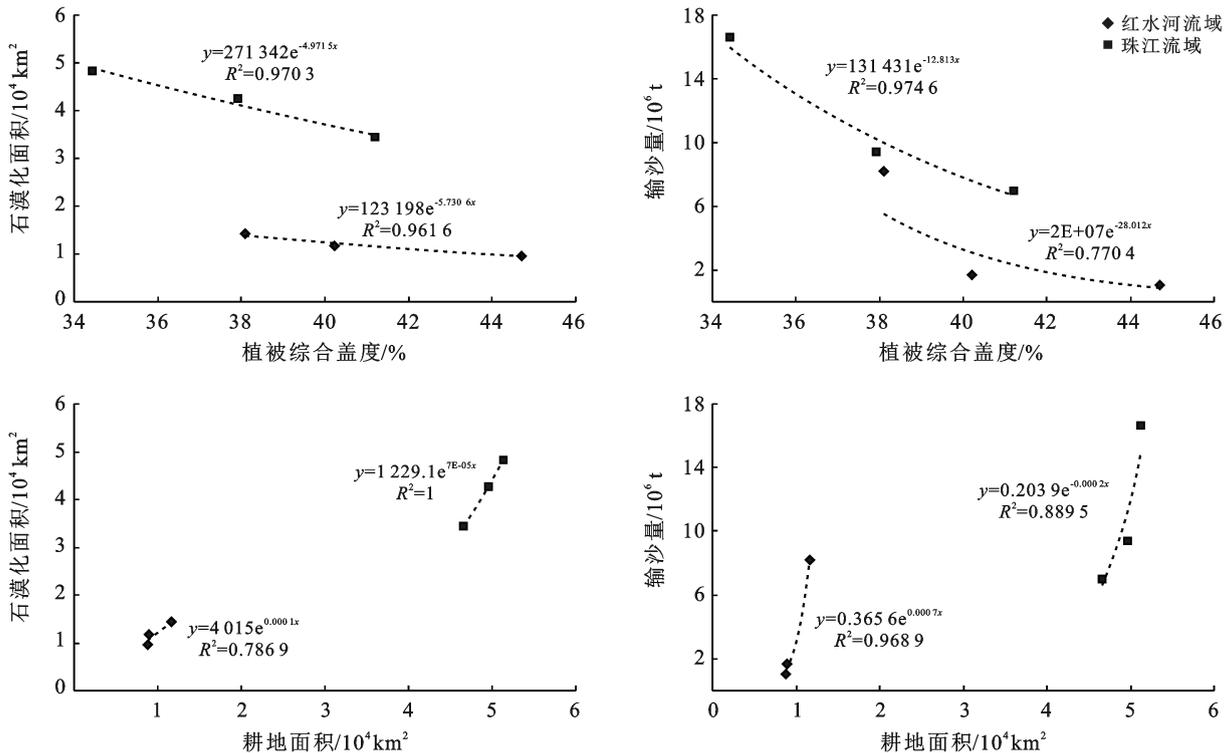


图8 珠江流域2001—2017年输沙量、石漠化面积与植被综合盖度、耕地面积相关性分析

### 3 结论与讨论

(1) 珠江流域是中国石漠化土地集中分布区,截止2016年,该流域有石漠化土地面积 $3.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,占全国石漠化土地总面积的34.1%。

(2) 珠江流域是中国石漠化土地面积减少最多,程度减轻最快的区域,石漠化土地面积减少 $8.23 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,占全国同期减少面积的42.6%;2011—2016年石漠化土地年均缩减率为4.2%,高于全国同期石漠化速减率3.45%;重度、极重度石漠化面积减少 $3.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,占全国同期重度、极重度石漠化面积减少的53.4%,远高于珠江流域石漠化土地减少量的比重。

(3) 21世纪以来,根据各年度泥沙公报数据,珠江各主要水文站年输沙量年际变动规律不明显,但2001—2011年年输沙量总体呈现下降趋势,2012—2017年呈现略微上升趋势,2018年远低于2017年前多年平均值,而2001—2018年河流年输沙量总体仍呈

现降低趋势,年平均含沙量、多年平均输沙模数等动态变化规律与年均输沙量基本吻合,与各主要水文站年径流量及降水量、降雨强度与时空布局等紧密相关。

(4) 自1998年以来,中国加大了岩溶地区生态修复力度,相继实施了珠江防护林、退耕还林还草、生态公益林效益补偿、水土保持、农业综合开发等生态保护与建设项目,尤其是2008年启动了石漠化综合治理专项工程,加快了石漠化土地的治理与生态修复;岩溶地区农村人口大量转移,降低了岩溶土地的人口压力;农村能源结构优化,传统薪材比重逐年下降,促进了岩溶地区林草植被的保护,林草植被结构提质优化,林草植被盖度与乔灌盖度逐年增加,珠江流域石漠化面积逐年减少、石漠化程度减轻,体现了中国生态建设与保护的成效逐渐显现,区域生态环境正朝着良性方向发展。

(5) 石漠化综合治理生态修复工程实施以来,流域林草植被盖度上升,石漠化耕地面积减少,陡坡耕

种比重降低,区域生态状况明显好转,石漠化土地面积不断减少,程度降低,流域水土流失面积减少,水土流(漏)失强度亦降低,从而流域河流输沙量及年平均含沙量均呈现持续降低的趋势。研究表明,珠江流域石漠化土地面积与河流泥沙含量间存在指数正相关性;河流输沙量、石漠化土地面积与植被综合盖度呈指数负相关关系,与耕地面积呈指数正相关关系。

### [参 考 文 献]

- [1] 杨成波,王震洪.中国西南地区石漠化及其综合治理研究[J].农业环境与发展,2007,24(5):9-13.
- [2] 刘拓,周光辉,但新球.中国岩溶石漠化:现状、成因与防治[M].北京:中国林业出版社,2009.
- [3] 治疗“地球癌症”的中国方案:我国石漠化生态修复技术成果聚焦[J].国土资源,2019,(6):21-23.
- [4] 王敬贵,亢庆,杨德生.珠江上游水土流失与石漠化现状及其成因和防治对策[J].亚热带水土保持,2014,26(3):6:38-41.
- [5] 曾春花,韩杰.珠江流域贵州段石漠化生态修复管理机制研究[J].广西师范大学学报(哲学社会科学版),2016,52(2):25-30.
- [6] 屠志方,李梦先,但新球.我国西南岩溶地区石漠化动态

变化及防治对策研究[J].林业资源管理,2014(4):4-7.

- [7] 吴照柏,但新球,吴协保,等.岩溶地区石漠化土地动态变化与原因分析[J].中南林业调查规划,2013,32(2):62-66.
- [8] 姚章民.珠江流域主要河流泥沙变化分析[J].水文,2013,33(4):80-83.
- [9] 王军,姚仕明,周银军.我国河流泥沙资源利用的发展与展望[J].泥沙研究,2019,44(1):76-83.
- [10] 但新球,李梦先,吴协保,等.中国岩溶地区石漠化现状[J].中南林业调查规划,2019,38(1):1-6.
- [11] 国家林业和草原局.岩溶地区第3次石漠化监测报告[R].北京:国家林业和草原局,2018.
- [12] 邓汗青,罗勇.近50年珠江流域降水时空特征分析[J].气象科学,2013,33(4):355-361.
- [13] 戴仕宝,杨世伦,蔡爱民.51年来珠江流域输沙量的变化[J].地理学报,2007,62(5):545-554.
- [14] 彭妮,周泓,李江林,等.昆明近50年城市化气候变化特征及未来趋势[J].安徽农业科学,2015,43(30):171-174.
- [15] 李冰,唐亚.金沙江下游地区人类活动对土壤侵蚀的影响[J].山地学报,2012,30(3):299-307.
- [16] 但新球,吴照柏,吴协保,等.近15年中国岩溶地区石漠化土地动态变化研究[J].中南林业调查规划,2019,38(2):1-7.

(上接第21页)

- [25] 高磊,饶良懿,崔飞波,等.太行山土石山区典型植物措施水土保持效应[J].浙江农林大学学报,2017,34(6):1079-1086.
- [26] 李瑞,张弛,顾再柯,等.贵州喀斯特区典型小流域坡面土壤侵蚀与主要影响因子的响应[J].水土保持研究,2018,25(3):1-5.
- [27] 林锦阔,李子君,许海超,等.降雨因子对沂蒙山区不同土地利用方式径流小区产流产沙的影响[J].水土保持通报,2016,36(5):7-12.
- [28] 缪凌,董建国,汪有科,等.黄土丘陵区不同土地利用类型下的深层土壤水分变化特征[J].水土保持研究,2016,23(2):13-18.
- [29] 肖兴艳,刘方,姚斌,等.中国西南喀斯特土壤水分研究进展[J].云南农业大学学报(自然科学),2015,30(6):958-964.
- [30] 张笑楠,王克林,张伟,等.桂西北喀斯特峰丛洼地坡面土地利用对土壤水分的影响[J].土壤通报,2009,40(6):1250-1254.
- [31] 陈洪松,傅伟,王克林,等.桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探[J].水土保持学报,2006,20(4):136-139.
- [32] 王家文,周跃,肖本秀,等.中国西南喀斯特土壤水分特征研究进展[J].中国水土保持,2013(2):37-41.
- [33] 刘营营,余冬立,刘冬冬,等.土地利用与土壤容重双因

子对土壤水分入渗过程的影响[J].水土保持学报,2013,27(5):84-88.

- [34] 刘海隆,蒋太明,刘洪斌,等.不同土地利用方式对岩溶山区旱坡地土壤水分时空分异的影响[J].土壤学报,2005,42(3):428-433.
- [35] 蓝家程,傅瓦利,彭景涛,等.不同土地利用方式下岩溶溶蚀速率及影响因素[J].生态学报,2013,33(10):3205-3212.
- [36] 陈众,田丰,董俊.不同土地利用方式对丘陵山区坡面侵蚀产沙量的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(1):186-191.
- [37] 任雨之,郑江坤,付滢,等.不同耕种模式下降雨等级对紫色土坡耕地产流产沙的影响[J].中国水土保持科学,2020,18(3):90-98.
- [38] 唐克丽.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [39] 和继军,蔡强国,刘松波.次降雨条件下坡度对坡面产流产沙的影响[J].应用生态学报,2012,23(5):1263-1268.
- [40] 柏勇,杜静,杨婷婷,等.不同水土保持措施对石漠化区水土流失的影响[J].中国水土保持科学,2018,16(2):103-110.
- [41] 杨洁,莫明浩,宋月君,等.红壤坡地水土保持植物措施下柑橘林地水文生态效应[J].长江流域资源与环境,2012,21(8):994-999.