

DOI: 10.5846/stxb201610122068

曹建华, 邓艳, 杨慧, 蒲俊兵, 朱同彬, 蓝芙宁, 黄芬, 李建鸿. 岩溶断陷盆地石漠化演变及治理技术与示范. 生态学报, 2016, 36(22): - .  
Cao J H, Deng Y, Yang H, Pu J B, Zhu T B, Lan F N, Huang F, Li J H. Rocky desertification evolution, treatment technology and demonstration in Karst faulted basins, Southwest China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): - .

## 岩溶断陷盆地石漠化演变及治理技术与示范

曹建华\*, 邓艳, 杨慧, 蒲俊兵, 朱同彬, 蓝芙宁, 黄芬, 李建鸿

中国地质科学院岩溶地质研究所/联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 桂林, 541004

**摘要:**岩溶断陷盆地区是国家石漠化综合治理工程、生态安全屏障、连片特困区,石漠化治理科技投入薄弱。针对断陷盆地盆-山共存的环境地质结构分异,及水土资源不匹配和石漠化严重等问题,在滇东蒙自、建水、泸西为重点区,开展“喀斯特断陷盆地石漠化演变及综合治理技术与示范(2016YFC0502500)”项目的国家重点研发活动,阐明流域尺度石漠化演变机理,以水土资源高效利用为基础、生态服务功能提升为核心,研发石漠化综合治理技术,形成生态治理-生态产业协同发展模式,为生态富民和生态文明建设提供技术与示范。形成喀斯特断陷盆地石漠化机理识别-治理技术研发-生态产业模式构建-综合效益评估-国土资源空间高效利用对策等系列成果,培养一支高水平创新团队。

**关键词:**喀斯特断陷盆地;石漠化;环境地质分异;水土资源

## Rocky desertification evolution, treatment technology and demonstration in Karst faulted basins, Southwest China

CAO Jianhua, DENG Yan, YANG Hui, PU Junbing, ZHU Tongbin, LAN Funing, HUANG Fen, LI Jianghong

*Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences/International Research Center on Karst under the auspices of UNESCO, Guilin, 541004, China*

**Abstract:** Karst faulted basin area is ecological security shelter and contiguous poverty zone with paying rare attention to science and technology in comprehensive rocky desertification treatment national engineering. Many problems like the geologic structure basin-mountain coexistence, water and soil resources non-match and serious rocky desertification still exist there. And these problems have a great influence on regional ecological security shelter function. Based on the National Key Research and Development Program of China “Rocky desertification evolution, integrated control technologies and demonstration in karst faulted basin area, Southwest China”, Mengzi, Jianshui, Luxi in the eastern Yunnan are selected as the study area, the mechanism of rocky desertification evolution at the basin scale would be illustrated, with the enhancement the utilization efficiency of water and soil resources, the ecological service function will be improved. We also build collaborative development model both ecological management and ecological industry, and provide technology and demonstration for ecological enriching people and ecological civilization construction. The expected outcomes of our investigation and research, are the mechanism of rocky desertification in karst faulted basins, technologies on integrated control, models of ecological industry, comprehensive benefit evaluation, space and efficient utilization of land resources, as well as high level of innovation team.

**Key Words:** Karst faulted basin; Rocky desertification; Environmental and geological differentiation; Water and

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502500)

收稿日期:2016-10-12

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jhcaogl@karst.ac.cn

soil resources

## 1 引言

喀斯特区是地球表层系统典型的脆弱生态区组成部分,全球喀斯特分布面积达 2200 万平方千米,约占陆地面积的 15%,是地球表层系统的重要组成部分,喀斯特地下水提供了全球 1/4 人口生产、生活用水<sup>[1-6]</sup>。但鉴于喀斯特地区成土物质先天不足,土壤资源短缺、土壤侵蚀程度严重,且土壤侵蚀过程具复杂性和隐蔽性<sup>[7-10]</sup>;含水介质具有地表-地下双层性和不均匀性,水资源以地下水为主,开发利用难度大,季节性旱灾和涝灾频发<sup>[4,11-13]</sup>;植被立地条件恶劣,群落生态系统自然恢复缓慢、人工修复难度大<sup>[14-18]</sup>,因此,喀斯特分布区是大气表层典型脆弱生态区,其对气候环境变化、人为干扰响应敏感<sup>[1-2]</sup>。

中国西南裸露型喀斯特区是全球 3 大喀斯特集中发布区之一,地处中国东南太平洋、西南印度洋季风区,喀斯特发育强烈,脆弱的喀斯特生态环境叠加人口压力和不合理的生产活动,导致中国西南喀斯特区在从 1987 年到 2005 年,西南岩溶石漠化的面积呈加剧趋势,每年增加 1800—2000 平方千米,相当于一个中等大小的自然县,严重制约了当地经济社会的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。

2008 年,国务院批复了《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲(2006—2015)》,在西南喀斯特石漠化区,启动国家石漠化综合治理生态工程,国家工程的实施取得成效:揭示喀斯特生态系统脆弱性,定义石漠化的内涵,并进行了分类、分级、分区<sup>[1-2,14]</sup>;在喀斯特地下水探测、开发技术方面取得较大的成效<sup>[19-20]</sup>;揭示了喀斯特区土壤侵蚀的双向性和隐蔽性<sup>[21-24]</sup>,制定《岩溶地区水土流失综合治理技术标准》(SL461—2009)<sup>[25]</sup>;筛选和培育了一批植物品质,并就种群与环境间元素的生物地球化学行为<sup>[26-34]</sup>、及适应性机制进行了研究<sup>[35-38]</sup>。

2016 年 3 月,国务院发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》,明确指出:荒漠化、石漠化、水土流失综合治理是推进国家重点区域生态修复的主要内容。

断陷盆地区是石漠化综合治理重要的类型区,位于珠江、长江中上游,隶属国家“两屏三带”生态安

全屏障区,虽然西南喀斯特石漠化土地面积扩展得到遏制,总体趋势转好,但滇东断陷盆地地区恶化,仍然是集中连片重度石漠化区。

喀斯特断陷盆地石漠化综合治理在基础理论研究和关键技术研发方面薄弱,治理模式单一,综合效果亟待提升。因此,开展喀斯特断陷盆地石漠化演变及综合治理技术与示范,形成科技支撑服务的、产学研用为一体的生态治理-生态产业协同发展的断陷盆地石漠化综合治理模式及示范具有重要的意义。

## 2 总体思路与研究内容

喀斯特断陷盆地集中分布在滇东-攀西,滇东是断陷盆地发育典型、石漠化最为严重的地区。相对于其他喀斯特类型区,断陷盆地的石漠化演变、水土资源具有 5 个方面的特点:(1)受西南印度洋季风影响,形成明显干湿季节,季节性干旱严重,年平均降水量 800—1100mm,70% 以上的降水量集中在 5 月—10 月;滇东断陷盆地光照强度是西南喀斯特区最高的区域,年太阳辐射量达 550—630kJ/cm<sup>2</sup><sup>[39-40]</sup>;(2)盆-山地地形变化剧烈,盆地与周边山区气候反差大,与山区相比,盆地降水量低 1/3,而蒸发量高 1/3,年均气温高 4—5℃,盆地缺水更为严重;(3)周边山区喀斯特发育,水源漏失,地下河深埋,土壤流/漏失严重,周边山区及斜坡地带是石漠化发生的主要地貌部位;(4)喀斯特地下河流域补给区面积一般都超过 1000km<sup>2</sup>,结构复杂,饱气带厚度巨大,水土资源分离;(5)喀斯特地质、水文、气候条件的制约,导致植被立地添加差和群落生态的多样性。

选择喀斯特断陷盆地发育典型、国家石漠化治理工程区的蒙自、建水、泸西为重点研发区,围绕地质-气候制约的断陷盆地生态系统运行规律及石漠化驱动机制,断陷盆地地表-地下水、土过程与资源高效利用调控机理,生态服务功能提升与生态产业培育协同机制 3 个科学问题;及大功率充电联合跨孔 CT 成像准确定位地下河技术,流域尺度水土资源高效利用与优化调控技术,深根系乔-灌-草生物篱土壤流/漏失阻控及水土保持生态工程技术,喜钙耐旱植物材料筛选与快繁及仿自然植物群落优化配置技

术,特色经济林-草(药)-畜(禽)复合系统构建技术,生物资源利用提升与生态衍生产业培育等 6 项关键技术,按照“揭示石漠化机理-研发治理技术-构建生态产业模式-评估综合效益”的总体思路(图),设计 6 项研究内容:

(1)断陷盆地生态环境地质分异及石漠化演变机理。揭示碳、氮、钙、水在生态系统中迁移规律,阐明生态系统演替和石漠化演变过程及驱动机制。

(2)断陷盆地地表、地下水资源高效利用与优化调控。阐明流域尺度水文地质结构与水文过程,研发地下水开发、地表水调蓄、雨水收储、节水灌溉、土壤保墒等综合高效利用技术。

(3)断陷盆地土壤流/漏失阻控与质量提升。揭示坡面、高原面岩土组构与生态特点,土壤流/漏失驱动因素,研发深根系乔-灌-草生物篱等阻控技术;消减土壤连作等障碍因子,提高土壤质量。

(4)断陷盆地石漠化区植被恢复与功能提升。揭示高原面、坡面和盆地石漠化区植被退化与恢复生态学机制,进行耐旱耐瘠薄植物材料的筛选与快

繁,研发仿自然植物群落构建、林-灌-草优化配置技术。

(5)断陷盆地特色生态产业的培育、技术开发与示范。研发优质林(果)-药(菌)、林-草-畜等生态衍生产业技术模式,进行特色生物资源利用与加工企业、生态旅游产业的培育。

(6)断陷盆地石漠化综合治理模式与技术集成。集成水土资源高效利用、石漠化生态治理-生态富民耦合调控技术,形成可推广的综合治理模式,县域示范,国际合作,技术共享。

本项目依托联合国教科文组织国际岩溶研究中心、国际泥沙研究培训中心,及 4 个国家级、6 个省部级平台,由中国地质科学院岩溶地质研究所牵头,联合国土资源部、中科院、教育部、水利部、国家林业局的科研、高校、企业等 18 个具有前期基础、优势单位,共同组成跨部门、多学科、产学研用联合攻关的队伍。本项目的申报还得到蒙自市、泸西县、建水县政府的大力支持。

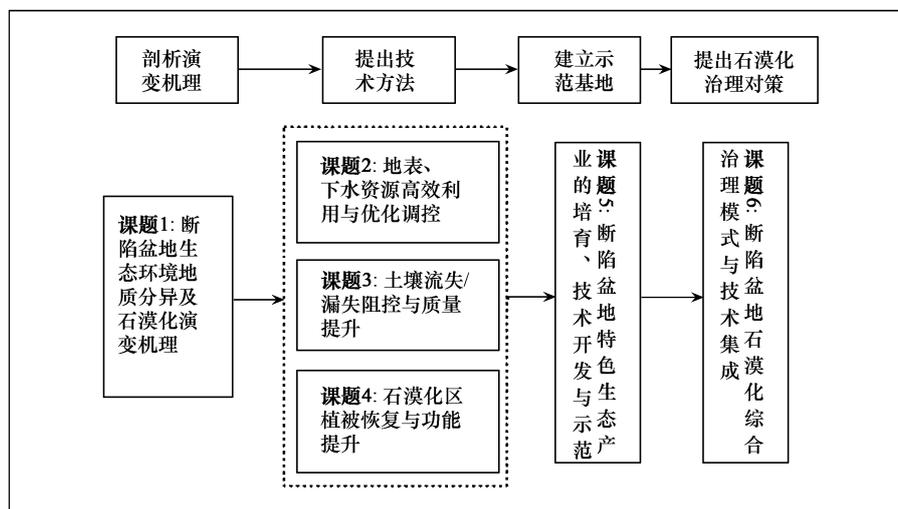


图 1 项目技术路线及研究内容间的相互关联

Fig.1 Program technical route and the correlation between the content of research

### 3 总体目标、考核指标或预期成果

#### 3.1 总体目标

针对断陷盆地盆-山共存的环境地质结构,及水土资源不匹配和石漠化严重等问题,阐明流域尺度石漠化演变机理,以水土资源高效利用为基础、生态服务功能提升为核心,研发石漠化综合治理技术,形成生态治理-生态产业协同发展模式,为生态富民和

生态文明建设提供技术与示范。具体目标包括以下 6 个方面:

(1)阐明碳、水、钙和氮等物质元素在断陷盆地喀斯特生态系统中循环规律,解析断陷盆地石漠化演变机理与模式,为石漠化治理技术、生态产业模式提供依据。

(2)揭示断陷盆地流域尺度“五水(雨水、地表

水、喀斯特表层带水、地下水、

土壤水)”转换规律,研发地下水开发、地表水调蓄、雨水收储、水质修复、节水灌溉等综合高效利用技术。

(3)揭示高原面及其与盆地交界坡面的土壤侵蚀关键驱动因素与阻控机制,研发深根系乔-灌-草生物篱土壤流/漏失阻控及水土保持生态工程技术;阐明土壤质量退化演变规律,研发土壤质量提升与特色作物连作障碍消减技术。

(4)基于断陷盆地植被退化与恢复生态学机制,研发筛选、快繁、群落构建、可持续性经营技术,构建仿自然植物群落与林-灌-草优化配置模式与示范。

(5)筛选具生态产业前景的乡土经济物种,开展引进物种的适应性研究,研发复合经济林-草(药)-畜(禽)等系统和复合水/干果技术,形成生态衍生产业模式并示范,培育特色生物资源加工企业。

(6)发表能佐证上述科学研究、技术研发和产业模式的论著,申请或授权专利,编写技术规程/标准;建立示范基地,形成断陷盆地石漠化综合治理可供借鉴的范式(例);培养一支在我国断陷盆地喀斯特生态系统及石漠化治理领域的高水平创新团队。

### 3.2 预期成果与考核指标

**学术成果:**通过本项目研究成果的总结凝练,将在地质、水文、水资源、生态与环境等领域期刊上发表学术论文 150 篇以上,其中国际主流期刊 SCI 论文 35 篇以上;围绕断陷盆地喀斯特生态系统形成演化与石漠化演变机理、综合治理技术途径、断陷盆地生态产业可持续发展机制等方面,出版学术专著 3—5 部,形成断陷盆地喀斯特生态系统框架,完善喀斯特生态系统理论,巩固喀斯特生态系统国际领先地位。

**技术成果:**针对国家重大目标、尤其石漠化综合治理和脆弱生态修复和保护,通过关键技术研发,形成石漠化治理技术模式 8—10 项,申请专利 30—35 项,编写断陷盆地石漠化综合治理相关技术规程/标准 3 个,为国家断陷盆地石漠化综合治理提供技术支撑。

**示范成果:**建立示范基地 3 个,核心示范区面积 3000 亩,核心区植被覆盖率提高 30%,水土流失率降低 40%,水资源利用率提高 25%,年人均收入增加 15%,形成生态产业模式 6—8 项。

**成果推广与国际合作成果:**充分发挥本项目国际平台作用,在项目执行期间,举办 2 期援外国际培训班,尤其关注喀斯特石漠化地区发展中国家的学员招生;同时,举办国内尤其当地农民培训 3 次,培训人数 600 人以上;开展县域推广 1 个。

争取与本项目相关的政府间科技合作项目、政府科学技术合作例会交流合作项目 2—3 项,举办 1 次国际学术研讨会。

**人才培养成果:**通过国内、国外两种途径,加强创新人才的培养。其一,在项目课题中,根据总体目标,立出创新内容,让具有发展潜力的年轻人承担,培养硕博士 35 名,学术骨干 20 名;其二,利用国家政策和国际平台,送年轻人到国际知名的大学、科研机构深造、学习,培养省部级以上高层次人才 1—2 名;其三,培养一支在我国断陷盆地喀斯特生态系统及石漠化治理领域的高水平创新团队。

## 4 结语

喀斯特断陷盆地是构造成因为主体的喀斯特地貌形态类型,该区的水循环、水资源状况受到构造断裂、裂隙的方向、深度、程度及岩溶发育强度的制约,而土壤资源受到多母质来源和西南印度洋季风影响,盆-山地形的反差更加丰富了植被类型的多样性、复杂性和修复的难度大的特点,因此,喀斯特断陷盆地类型的划分、水土植物资源的禀性的阐明,针对石漠化演变及治理显得十分重要;

中国岩溶区石漠化综合治理从前期治理侧重遏制石漠化面积扩张、增加植被覆盖率为,转向提升单位面积生态服务、培育生态治理衍生产业为主,服务国家生态文明建设,针对喀斯特断陷盆地石漠化治理前期科技投入力量薄弱、治理模式单一、效果不明显,因此,本项目需要充分吸收消化峰丛洼地、高原类型区石漠化治理已有的经验,在新起点、更高要求上部署项目实施方案,强调因地制宜、宏观与微观相结合,强调背景调查、基础研究要服务于石漠化治理的技术研发和生态产业模式的构建,点的工作部署,要考虑在面上的代表性和推广性,尤其生态产业的模式要考虑与当地经济社会的实际需求相结合;

在揭示断陷盆地石漠化随时间尺度演变,分析成因机制的基础上,在工作部署上强调空间尺度的合理安排,可分为 3 个级别:喀斯特地貌部位(盆地

边缘丘林、周边中高山、断裂斜坡),不同地貌部位地质、气候、水文特征的揭示,物质能量循环规律的掌握,是认识断陷盆地生态系统和石漠化演变的基础;流域尺度(补给区、径流区、排泄区),喀斯特断陷盆地地下河流域的面积通常面积大,水文地质条件复杂,以水资源短缺为制约因素的断陷盆地,了解和掌握流域尺度的水循环、水资源空间分配和合理开发利用及管理,对石漠化治理和生态产业的可持续性具有十分重要性;区域尺度(县域、地级州市、断陷盆地大类型区),石漠化治理、生态系统服务功能提升、国土资源的空间规划将明显受到国家政策和地区政府管理条例的影响。

## 5 鸣谢

本项目的立项、尤其实施方案的编写过程中,受到专业机构 21 世纪议程管理中心、项目牵头单位的主管单位、专项指南专家组和同行专家的指导,课题牵头单位中国地质科学院岩溶地质研究所、云南省地质调查局、中国科学院亚热带农业生态研究所、中国水利水电科学研究院、北京林业大学和云南省红河哈尼族彝族自治州、蒙自市、泸西县和建水县政府的大力支持,感谢参加本项目的 18 个单位、116 位专家学者的辛勤劳动。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] 袁道先,蔡桂鸿,岩溶环境学,重庆:重庆出版社,1988,23-30.
- [ 2 ] 袁道先,蒋勇军,沈立成,蒲俊兵,肖琼等,现代岩溶学,北京:科学出版社,2016,319-335
- [ 3 ] Ford D, Williams P. 1989. Karst Geomorphology and Hydrology. Boston: Unwin Hyman.
- [ 4 ] 蒋忠诚,夏日元,时坚,等.西南岩溶地下水资源开发利用效应与潜力分析.地球学报,2006,27(5):495-502.
- [ 5 ] Zhongcheng Jiang, Yanqing Lian, and Xiaoqun Qin. Rocky Desertification in Southwest China: Impacts, Causes, and Restoration. Earth-Science Reviews, 132 (2014), 1-12.
- [ 6 ] 邹胜章,陈宏峰,梁彬,裴建国,唐建生.西南峰丛山区分散供水模式及存在的问题.中国岩溶,2006,01:12-17.
- [ 7 ] 曹建华,袁道先,潘根兴,岩溶生态系统中的土壤,地球科学进展,2003,18(1):37-44.
- [ 8 ] 曹建华,袁道先等,受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统,北京:地质出版社,2005,5-100.
- [ 9 ] 曹建华,袁道先,章程,蒋忠诚,受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统,地球与环境,2004,32(1):1-8;
- [ 10 ] 李阳兵,王世杰,李瑞玲岩溶生态系统的土壤.生态环境学报,2004,13(3):434-438.
- [ 11 ] 王宇.西南岩溶石山区断陷盆地岩溶水系统分类及供水意义.中国地质,2003,02:220-224.
- [ 12 ] 王明章.西南岩溶石山区地下水开发在石漠化防治中的地位.贵州地质,2006,04:261-265.
- [ 13 ] 王腊春,史运良.西南喀斯特山区三水转化与水资源过程及合理利用.地理科学,2006,26(2):173-178.
- [ 14 ] 蒋忠诚,李先琨,胡宝清,等,广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究.北京:科学出版社,2011,195-233.
- [ 15 ] 李先琨,苏宗明,吕仕洪,等.广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义.山地学报,2003,21(2):129-139.
- [ 16 ] 文丽,宋同清,杜虎等.中国西南喀斯特植物群落演替特征及驱动机制.生态学报,2015,35(17):5822-5833.
- [ 17 ] 喻理飞.退化喀斯特森林自然恢复评价研究.林业科学,2000,36(6):12-19.
- [ 18 ] 喻理飞,朱守谦,叶镜中等.退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究.林业科学,2002,38(1):1-7.
- [ 19 ] 王宇.云南泸西小江流域岩溶水有效开发模式研究.昆明理工大学,2006.
- [ 20 ] 何师意,梁彬,关碧珠.湘西大龙洞地下河流域水土流失特征及其对水库工程的影响.中国岩溶,2008,04:293-302.
- [ 21 ] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国水土流失防治与生态安全(西南岩溶区卷).北京:科学出版社,52-103.
- [ 22 ] 周念清,李彩霞,江思珉,唐益群.普定岩溶区水土流失与土壤漏失模式研究.水土保持通报,2009,29(1):7-11.
- [ 23 ] 刘仙,蒋勇军,况明生等.西南岩溶石漠化区水土保持研究新进展.亚热带水土保持,2009,21(2):20-23.
- [ 24 ] 罗为群,张辉旭,蒋忠诚等.岩溶峰丛洼地不同环境水土流失差异及防治研究——以广西果化岩溶生态研究基地为例.地球学报,2014,35(4):473-480.
- [ 25 ] 标准中华人民共和国水利行业标准,岩溶地区水土流失综合治理技术标准,(SL461-2009)
- [ 26 ] 田潇,周运超,蔡先立,等.黔中高原坡耕地植物篱物种选择.湖北农业科学,2016,55(2):398-401.
- [ 27 ] 张军以,戴明宏,王腊春,等.西南喀斯特石漠化治理植物选择与生态适应性.地球与环境,2015,43(3):269-278.
- [ 28 ] 龙永光,宋林.黔东南石漠化治理主要植物种选择研究,资源与环境科学,2011(7):330-332.
- [ 29 ] 国家林业局防治荒漠化管理中心,国家林业局中南林业调查规划设计院.石漠化综合治理模式,中国林业出版社,2012,1-158.
- [ 30 ] 熊康宁,梅再美,彭贤伟等.喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究.贵州林业科技,2006,34(1):5-8.
- [ 31 ] 蒋忠诚,李先琨,曾馥平等.岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究.地球学报,2009,30(2):155-166.
- [ 32 ] 邓艳,蒋忠诚,蓝芙宁,等.广西热带亚热带典型森林岩溶区土壤-植物系统元素分布特征.生态环境,2008,17(3):1140-1145.
- [ 33 ] 邓艳,蒋忠诚,罗为群,等.不同岩溶生态系统中元素的地球化

- 学迁移特征比较——以广西弄拉和弄岗自然保护区为例. 中国岩溶, 2006, 25(2), 168-171。
- [34] 李先琨, 蒋忠诚, 黄玉清等. 桂西南岩溶山地优势植物种群动态及其对岩溶作用的影响. 地球学报, 2008, 29(2): 253-259.
- [35] 郭柯, 刘长成, 董鸣, 我国西南喀斯特植物生态适应性与石漠化治理. 植物生态学报, 2011, 35(10): 991-999.
- [36] 曹坤芳, 付培立, 陈亚军, 等. 热带岩溶植物生理生态适应性对于南方石漠化土地生态重建的启示. 中国科学: 生命科学, 2014, 03: 238-247.
- [37] Yan Deng, Yi-Ming Kuo, Zhongcheng Jiang, Xingming Qin, Zhenjiang Jin. Using stable isotope to quantify water uptake by *Cyclobalanopsis glauca* in typical clusters of karst peaks in China, Environmental earth sciences, 2015, 74: 1039-1046.
- [38] Yan Deng, Zhongcheng Jiang, Xingming Qin. Water source partitioning among trees growing on carbonate rock in a subtropical region of Guangxi, China, Environmental earth sciences, 2012, 66(2), 635-640.
- [39] 王宇. 滇东地区断陷岩溶盆地裸露—覆盖型岩溶水系统特征剖析——以吴家营岩溶水系统为例. 云南地质, 1993, 03: 301-316.
- [40] 彭淑惠, 王宇, 张世涛. 昆明岩溶断陷盆地的环境地质问题及治理对策. 地质灾害与环境保护, 2008, 02: 98-103.