

# 广西岩溶峰丛洼地内涝现状分析与综合治理对策研究

欧阳资文<sup>1,2,3</sup> 宋同清<sup>1,3</sup> 彭晚霞<sup>1,3</sup> 曾馥平<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 湖南长沙 410125; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南长沙 410128; 3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西环江 547100)

**摘要:** 岩溶内涝灾害是亚热带湿润气候条件下岩溶地区特有的一种与岩溶生态环境和人类活动密切相关的灾害类型。广西岩溶区的主要岩溶内涝有峰丛洼地内涝、峰丛(峰林)谷地内涝、岩溶平原内涝、岩溶区与非岩溶区接触过渡带内涝 4 种类型, 其中峰丛洼地内涝的发生率最高、面积最大。水文二维结构、降水、人为干扰是影响岩溶峰丛洼地内涝诸多因素中的主要因子。峰丛洼地内涝灾害的分类、分布、地质地貌特征、居民点和耕地分布情况、治理工程的投资效益比和内涝形成原因决定了应首先采取预防、综合治理相结合的普适性措施, 在内涝最严重的低峰丛洼地和高峰丛洼地地区, 还要实施针对性的水利工程和生态措施, 保障该区域生态经济的可持续发展。

**关键词:** 内涝 岩溶峰丛洼地 综合治理 广西

中图分类号: S166 文献标识码: A 文章编号: 1000-0275(2011)01-0107-04

## Study on Status of Waterlogging and Comprehensive Countermeasures in Karst Peak-cluster Depression Region, Guangxi

OUYANG Zi-wen<sup>1,2,3</sup>, SONG Tong-qing<sup>1,3</sup>, PENG Wan-xia<sup>1,3</sup>, ZENG Fu-ping<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 2. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

**Abstract:** Karst waterlogging is a distinct disaster in karst area, which closely relates with karst eco-environment and human activities in subtropical wet climate. The karst waterlogging area of Guangxi are mainly distributed in four land forms such as peak-cluster depression, peak-cluster valley, karst plains, and the transitional zone between karst and non-karst areas. And peak-cluster depression region is the most frequency and largest area of karst waterlogging. Two-dimensional hydrology, precipitation, and human disturbance are the principal factors of karst waterlogging in peak-cluster depression. The universal measures combined with prevention and comprehensive control should be adopted, which was decided by the classification and distribution of karst waterlogging in peak-cluster depression, characteristics of terra and topography, distribution of residents and croplands, the investment efficiency of project, and the causes of waterlogging. Moreover, pertinent irrigation and ecological practices should be done in the most serious waterlogging areas of low cluster-peak depression and high cluster-peak depression. All these countermeasures of karst waterlogging would be a guarantee of the sustainable ecology and economic development in the area.

**Key words:** Waterlogging; karst cluster-peak depression; comprehensive controlling; Guangxi

岩溶内涝灾害是亚热带湿润气候条件下岩溶地区特有的一种与岩溶生态环境和人类活动密切相关的灾害类型<sup>[1]</sup>。广西岩溶山地地处我国西南喀斯特南部斜坡地带, 属中亚热带季风气候, 长期强烈的岩溶作用形成了有别于其他地区的地表、地下双重二元水文结构, 众多的溶洞、溶沟、溶隙、漏斗、地下河和落水洞组成了复杂的地下管道系统<sup>[2,3]</sup>。雨热资源虽丰富但分布不均, 年平均降雨量在 1300mm~1500 mm 之间, 70%的降雨均发生在 4~9 月, 且大雨、暴雨频繁<sup>[4,5]</sup>, 又加上该地区人地矛盾突出, 人为干扰强

烈, 水土流失严重, 生态环境恶化, 植被覆盖度降低, 森林覆盖率 $\leq 13\%$ <sup>[6,7]</sup>。在一些溶蚀洼地、谷地和峰林平原, 因水库蓄水抬高水位或连续降大雨或暴雨导致地下岩溶管道淤塞, 排泄受阻, 经常发生内涝, 使原本少有的农田受淹, 严重阻碍了农村经济的发展。目前的研究仅涉及到岩溶水利水电建设引起的岩溶浸没内涝<sup>[1,8]</sup>, 还没有摸清岩溶内涝的形成机理, 且西南喀斯特岩溶类型与其他国家和地区差异较大, 人为活动非常强烈, 也没有比较好的国外经验和理论借鉴, 岩溶内涝有效治理的难度很大。本文以广西峰

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(编号: KZCX2-XB2-08); 国家科技支撑计划(编号: 2009BAD6B008); 国家自然科学基金项目(编号: 30970508, 31070425 和 31000224); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(编号: 2006CB403208); 中国科学院“西部之光”人才培养计划。  
作者简介: 欧阳资文(1970-) 男, 汉族, 湖南郴州人, 博士生, 主要从事恢复生态学研究, 通讯作者: 曾馥平。  
收稿日期: 2010-08-19; 修回日期: 2010-10-18

丛洼地岩溶内涝为对象,通过总结前人的研究成就和采集中国科学院亚热带农业生态研究所喀斯特生态试验站的部分整理和试验数据,在系统分析广西岩溶山地特别是岩溶峰丛洼地内涝的分类、分布和成因的基础上,提出了广西岩溶峰丛洼地内涝的综合治理对策,为促进该地区生态、经济、社会的协调发展提供了理论依据。

## 1 广西岩溶内涝灾害的分类与分布

### 1.1 岩溶地貌与内涝灾害的分类与分布

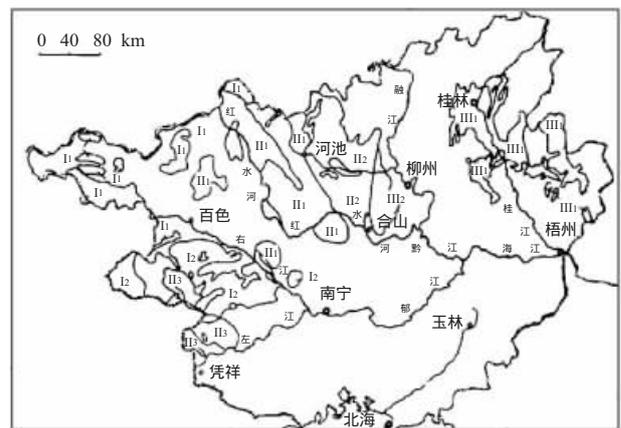
广西岩溶山地从云贵高原斜坡地带的峰丛洼地,经东南方向依次过渡为峰林谷底、岩溶平原<sup>[1]</sup>,面积约 9.7 万 km<sup>2</sup>,是西南岩溶石山地区主要的岩溶省份,其岩溶面积占广西土地面积的 42%<sup>[9]</sup>,广西岩溶山地大部分属裸露型岩溶区,内涝灾害频繁,内涝类型多样,基于地貌特征主要有峰丛洼地内涝、峰丛(峰林)谷地内涝、岩溶平原内涝、岩溶区与非岩溶区接触过渡带内涝 4 种类型<sup>[10]</sup>。

### 1.2 岩溶峰丛洼地内涝灾害的分类与分布

形态各异的多边形封闭状负地形即溶蚀洼地<sup>[11]</sup>与联座的峰林组成的岩溶峰林是广西最发育和最具典型的岩溶地貌,面积为 6.28×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>,占全国岩溶峰林面积 63.63%,占广西岩溶面积的 64.74%。其中峰丛洼地最为发育,面积约 4.96×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>,占广西岩溶峰林面积的 78.98%,占广西岩溶面积的 51.13%<sup>[12]</sup>。

峰丛洼地地形表现为四周挺拔的山峰,封闭其间是较平直的洼地,相对高差通常为 200m~300m,最高可达 600m,呈圆桶状,形如锅底,天然降雨由周边山坡汇集流向洼地,经由洼地中的落水洞、漏斗流入地下,当雨量过大或落水洞(漏斗)流水不畅,就会导致内涝发生。根据广西峰丛洼地所处的地势高低、空间分布、成因类型以及地表和地下岩溶形态特征,可将广西岩溶峰丛洼地划分为高峰丛洼地、低峰丛洼地、边缘峰丛洼地和峰簇洼地 4 种基本类型、7 个亚类型的岩溶内涝灾害类型(图 1)。高峰丛洼地主要分布在广西西部地区的中山山地,在峰丛洼地区内还间夹部分谷地,基座高,海拔高度≥800m,山峰海拔高度 1000m~1800m,洼地和山峰高差相对较小,150m~250m,洼地密度 0.9 个/1000m<sup>2</sup>~2 个/1000m<sup>2</sup>,地下水埋藏深度大,内涝多是因地表水消泄不及而积水成涝,内涝程度较轻,低峰丛洼地主要分布于桂西北和桂西南,次为桂中和桂东北,基座海拔<800m,山峰标高为 700m~1100m,相对高差 200m~500m,洼地密度 2 个/1000m<sup>2</sup>~3 个/1000m<sup>2</sup>。内涝或因地下河上游来水量大,水位上升溢出地表淹没洼

地,或因地表河流水位上涨和修建水库抬高了河水位,河水淹没地下河和岩溶泉出口,顶托补给岩溶地下水,通过地下河天窗、落水洞溢出地表而成内涝,再或因岩溶洼地四周的季节性岩溶泉和季节性地下河雨后大量涌水而成内涝;边缘峰丛洼地专指其边界的一部分,与非碳酸盐岩溶组成的山体相连,有来源于非可溶岩地区的外源水参与其演化的峰丛洼地,多属于低峰丛洼地,外源水携带着大量的泥沙在系统中淤塞,使内涝灾害加重,峰簇洼地主要分布于峰林平原中和山地边缘,很少发生内涝。由此可见,广西岩溶山地内涝主要以低峰丛洼地为主,其次为高峰丛洼地。



1. 桂西北-桂西高峰丛洼地, 2. 桂西南高峰丛洼地, 3. 桂西北低峰丛洼地, 4. 桂中低峰丛洼地, 5. 桂西南低峰丛洼地, 6. 桂东北峰簇洼地系统和低峰丛洼地, 7. 桂中峰簇洼地。

图 1 广西岩溶峰丛洼地分布图<sup>[13]</sup>

## 2 广西岩溶峰丛洼地内涝形成的原因

### 2.1 水文二维结构

丰富的降水和高温加速了碳酸盐岩的溶蚀,喀斯特地表水和地下水水文二维结构明显。由溶沟、溶隙、漏斗、落水洞等入渗通道和溶洞、地下河、洞穴等泄水通道组成了复杂的地下管道系统。地表径流很少,漏水严重,地面渗入系数 0.3 以上的面积占总面积的 89%,其中渗入系数 0.3~0.6 的占 69%,0.6~0.9 占 20%,首先到达地面的降水 90%迅速渗入地下,每年剥蚀表土层 0.3cm<sup>[14,15]</sup>。中国科学院环江喀斯特试验站径流场定位观测表明,广西岩溶峰丛洼地径流量小,即使在丰水年(1979.7mm)年地表径流也小于 1%,年径流量<4mm(表 1),水分主要以入渗为主(表 2),石灰土稳定入渗率为 0.69mm/min~2.08mm/min,平均可达黄土稳定入渗率(0.33mm/min~1.13mm/min)的 2 倍,模拟试验也表明石灰土稳定入渗率为 1.43mm/min,可达红壤(0.31mm/min)的 4.6 倍,近似饱和导水率 1.18mm/min,可达红壤(0.4mm/

min)的 3 倍。封闭的峰丛洼地没有地表排水出路,地下河常常埋藏很深,几乎所有的大气降水均要通过入渗管道、输入到排水管道。一般情况下,地下管道系统的排水能力能够适应当地的降水量和降水强度,但当大暴雨和连续降雨量过大时,因排水不畅而使洼地发生内涝。

## 2.2 降水

表 1 丰水年坡地次降雨 - 地表产流特征

利用方式	地表径流系数			年径流量 (mm)
	平均值(%)	标准差	变异系数(%)	
荒坡地	0.72	0.77	108.44	3.37
坡耕地	0.61	0.55	89.67	2.95
牧草地	0.57	0.65	115.18	2.79
果园地	0.74	0.72	97.67	3.62
人工林地	0.49	0.55	113.76	2.47
自然封育地	0.94	0.88	93.94	4.56

表 2 桂西岩溶区石灰土稳定入渗率和近似饱和导水率

测点	初始含水量 (%)	最终含水量 (%)	稳定入渗率 (mm/min)	近似饱和导水率 (mm/min)
1	29.19	46.70	0.828	2.90
2	40.5	51.47	0.798	1.66
3	36.59	55.25	0.689	1.04
4	37.09	48.62	0.425	0.75
5	29.8	51.57	1.143	2.18
6	38.73	59.15	2.080	5.31

降水是岩溶内涝产生的直接原因。一方面降水在峰丛洼地的汇流过程中,不断地溶蚀和侵蚀地表的固体物质,带入地下管道系统,在不同的地方沉积淤塞而抬高河床、减小过水断面、堵塞入渗管道导致排水能力减弱,难以适应当地的降水量和降水强度,造成洼地内涝发生;另一方面,当汛期遇到大暴雨和连续大雨时,河流水位上涨,淹没了地下河出口或岩溶泉出口,在水头压力作用下,河水就会通过地下河出口或泉口沿着岩溶管道倒灌,顶托补给岩溶地下水,在洼地中形成滞留现象,使内涝加重。

## 2.3 人为干扰

广西岩溶峰丛洼地人地矛盾突出,尚有 50 万人生活在人均耕地不到 0.02hm<sup>2</sup>、每年人畜饮水短缺 3~4 个月的非人类适宜生存地段。为生存起见,人类通过采伐、开垦、采集、采樵、采矿、旅游开发、工程建设等方式对本来脆弱的生态环境进行不断的干扰和破坏,特别是 50 年代、60 年代初和 70 年代的 3 次垦荒高潮和 1958 年、60~70 年代、80 年代分山到户的 3 次恶性森林开采导致了植被锐减,生物多样性严重丧失,森林覆盖率仅 12.90%,其中碳酸盐岩山地森林覆盖率不到 1.2%,系统水源涵养能力削弱,水土流失和石漠化现象加重<sup>[13,16-18]</sup>,石漠化面积已达 2.18×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>,且每年以 3%~6%的速度扩展,入渗渠

道填堵、地下河淤塞、河床抬高,导致和加剧岩溶内涝的发生;其次,修建大型水库使水位升高,浸没了周边的地下河水口,使地下河水力坡度变缓,水库回水倒灌及泥沙淤塞地下河,每逢雨季汇流于洼地中的水无法排泄而发生内涝,最后,因上游洼地不合理的隧道排洪使下游洼地发生内涝或内涝灾害加重。

## 3 广西岩溶峰丛洼地内涝综合治理措施

针对峰丛洼地地形封闭、没有地表排水出路、地下河常常埋藏较深、水文二维结构明显、人为干扰严重等特点,应采取水利工程措施和生态环境措施相结合的普适性综合治理方法,内涝严重的高峰丛洼地和低峰丛洼地应根据水文地质条件、居民点和耕地的分布情况、治理工程的投资效益比分别采取合适的治理措施。

### 3.1 普适性措施

3.1.1 预防措施 洼地内涝治理首先坚持以预防为主,分析其具体的致灾因子,找出其发展规律,做好灾害的预测预报工作,杜绝不合理的平整土地,防止有意或无意的把落水洞堵填而造成的内涝;避免固体废弃物(如塑料垃圾、枯枝落叶等)随意倾倒造成落水洞堵塞和地下河堵塞而成内涝。

3.1.2 治理规划 根据广西岩溶峰丛洼地的分布状况和具体特点,制定整体治理规划和分区治理规划。

3.1.3 水利工程措施 扩大落水洞入口,在地下河系瓶颈段扩大其过水断面,在地形有利处开挖明渠和排水隧洞疏导,在排水入口(落水洞、天窗、竖井)修建拦石坝。

3.1.4 生态环境措施 封山育林、保持水土、防止泥石堵塞地下岩溶管道等。如马山县弄拉屯为典型的峰丛洼地,该屯地势高,地表径流贫乏,地下水深埋,以前的旱季常造成水荒,而到了汛期,由于其天然林已于 1958~1963 年全部砍光,调蓄能力下降,水土流失及石漠化加剧,落水洞和地下河可能遭淤积,偶遇连续暴雨就会导致大量雨水汇集于洼地内而不能及时消水,形成内涝。近年来在该屯主要采用了生态环境治理和修复的方法,居民对几个岩溶泉的补给区的森林发展和保护十分重视,并结合土地整理、退耕还林种草、土壤改良、水资源开发等工程来共同治理<sup>[9]</sup>。经过长期的保护和综合治理,使生态环境有了很大改善,森林的生态水文功能逐步增强,居民的饮用水得到了保证的同时,内涝灾害的可能性和规模都有减少的趋势。随着后续的导流明渠、排水隧洞等工程设施的完成,该屯的内涝灾害将基本可以消除。生态环境治理与修复的方法不仅对岩溶内涝防治具

有显著成效,而且对于耕地资源保护、干旱治理、流域地表地下水道淤塞预防、土地生产力和人们收入提高都具有重要意义。

3.1.5 科学管理措施 洼地内涝治理是一项复杂的系统工程,首先需要水利、林业、农业、气象、科研和企业等部门通力合作,二是要处理好上下游之间的关系,避免上游排泄导致下游内涝加重,三是从投资效益比考虑,对突发性内涝应制定合理的补偿政策,四是对一些居民少但内涝严重且时间长的地区应实行环境移民。

### 3.2 高峰丛洼地内涝防治措施

高峰丛洼地呈不规则盆状,底部面积较大,且有大于 1m 厚的土层覆盖。在较大的洼地中常有伏流穿越,因基座高,远离排泄基准面和蓄排洪场所,径排途径过长,“瓶颈”状洞管过多,排泄困难,内涝防治应以生态环境工程措施为主,水利工程措施为辅。

3.2.1 生态环境工程措施 除退耕造林、封山育林等普适性措施外,还应着重解决好作物的时空分布格局。在水平布局上,地势最低的地方种植牧草,地势略高、土层较厚、土壤肥力相对较好的地方退耕种桑养蚕,地势较高(正常年分不受内涝影响)种植玉米和果树,坡地全部退耕还林。广西环江古周喀斯特峰丛洼地生态恢复与重建试验示范区在地势最低的地方全部种植桂牧 1 号养牛,在地势略高的地方全部退耕种桑养蚕,地势较高的地方种植玉米、板栗、枇杷、柑橘,坡地种植香椿、任豆等树种,在立地条件较好的坡地实施林草间种养牛,取得了很好的经济效益、生态效益和社会效益。在时序布局上,根据内涝发生特点,选择适宜的种植方式,尽量避免内涝对作物生长的影响,如广西环江古周喀斯特峰丛洼地生态恢复与重建试验示范区改变了传统的种植结构,实现了土豆+玉米+红薯+大豆的连作方式,避免了内涝的危害。

3.2.2 水利工程措施 高峰丛洼地内涝较轻,远离地表河流和蓄排洪场所,不具备修建排洪隧道条件,但洼地中普遍分布 3m~5m 厚的土层,因此在较严重的高峰丛洼地内涝区域可建立溶洼成库,调蓄洪涝。

### 3.3 低峰丛洼地内涝防治措施

低峰丛洼地内涝在全面实施普适性措施中应特别强调处理好上下游之间的关系,内涝严重、居民较少的漏斗状洼地实施生态移民,同时,根据峰丛洼地与地下河主干道和排泄区较近的特点及内涝的严重状况,应以水利工程为主,生态环境工程为辅。

3.3.1 水利工程措施 充分利用已有的水利工程,清

除已有的排洪蓄道中淤污,使其行洪顺畅,减少工程挖方量,在此基础上,对内涝特别严重的区域重新修建排洪蓄道工程。

3.3.2 生态环境工程措施 在做好退耕还林、作物时空合理布局的基础上,引进一些避涝品种,改进栽培技术措施,减轻内涝对作物生长的危害,如广西环江古周喀斯特峰丛洼地生态恢复与重建试验示范区,引进了华玉 4 号、农大 108、湘玉 7 号、液单系列等优质玉米品种,克新 3 号、克新 4 号等马铃薯冬种作物,桂牧 1 号、宽叶雀稗等耐涝牧草品种,对玉米常规栽培技术进行改进,通过提前播种和覆盖薄膜育苗技术相结合,将玉米成熟期提前 20d~25d,调节到 6 月 15 日之前,成功地避开了洪涝灾害。

参考文献:

- [1] 光耀华,郭纯青,李文兴,等.岩溶浸没内涝灾害研究[M].桂林:广西师范大学出版社,2001.
- [2] 袁道先.岩溶地区的地质环境和水文生态问题[J].南方国土资源,2003(1):22-25.
- [3] 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.
- [4] 宋同清,彭晚霞,曾馥平,等.喀斯特木论保护区旱季土壤水分的空间异质性[J].应用生态学报,2009,20(1):98-104.
- [5] 广西壮族自治区地方志编纂委员会编.广西通志·岩溶志[M].南宁:广西人民出版社,2000.
- [6] 彭晚霞,王克林,宋同清,等.喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J].生态学报,2008,28(2):811-820.
- [7] 曾馥平,彭晚霞,宋同清,等.桂西北喀斯特人干扰区植被自然恢复 22 年后群落特征[J].生态学报,2007,27(12):5110-5119.
- [8] 邹成杰,张汝清,光耀华,等.水利水电岩溶工程地质[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [9] 蒋忠诚.广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J].广西科学,2001,8(4):308-312.
- [10] 杨富军,蒋忠诚,罗为群,等.广西典型岩溶内涝成因与防治分析[J].广西科学院学报,2009,25(2):119-122,126.
- [11] 袁道先主编.岩溶学词典[M].北京:地质出版社,1988:8.
- [12] 广西壮族自治区气象局农业气候区协作组.广西农业气候资源分析与利用[M].北京:气象出版社,1988.
- [13] 裴建国.广西溶洼系统结构特征及其对岩溶内涝影响[J].广西科学,2002,9(3):193-197.
- [14] 袁道先.岩溶作用与碳循环研究进展[J].地球科学进展,1999,14(5):425-432.
- [15] 何腾兵.贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨[J].水土保持学报,2000,14(5):28-34.
- [16] 王德炉,朱守谦,黄宝龙.贵州喀斯特石漠化类型及程度评价[J].生态学报,2005,25(5):1057-1063.
- [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.
- [18] 宋同清,彭晚霞,曾馥平,等.桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略[J].山地学报,2008,26(5):597-604.
- [19] 蒋忠诚,李先琨,曾馥平.岩溶峰丛洼地生态重建[M].北京:地质出版社,2007.