

文章编号: 1008 - 2786 - (2016) 6 - 772 - 08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008 - 2786.000185

气候变化背景下西南山地资源型城市水安全问题与对策 ——以昆明东川为例

李杰^{1,2} 邓伟^{1,3*} 张继飞¹ 李少娟² 黄茹² 张扣强²

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川成都 610041; 2. 云南财经大学城市与环境学院 云南昆明 650221;
3. 中国科学院大学北京 100049)

摘 要: 山地资源型城市地理条件复杂, 近现代人类活动强烈, 环境破坏严重, 生态脆弱, 易受气候变化影响下水资源配置与利用失衡而引发水安全问题。我国西南山区近几十年来受气候变暖影响极端干旱灾害频发, 加之资源型城市地区长期存在水污染问题, 区内居民水安全风险较大。本研究以昆明市东川区为例, 分析其近年来社会经济发展与水资源量变化趋势; 并对不同海拔梯度自然村进行农村饮水、灌溉用水问卷调查; 对区内主要河流进行水质采样, 以分析东川现存水安全问题并提出相应对策措施。结果显示, 东川区近年来水资源量有减少趋势, 农业发展增速缓慢; 同时区内存在水量、水质两类水安全问题; 干旱期, 中、高山区以山泉作为主要水源、及雨水作为主要灌溉用水的自然村常存在用水量短缺问题; 大部分河流均受到不同程度重金属污染, 河流水资源难以利用; 河谷区人畜饮水及灌溉用水受河流水质恶化影响较重。研究提出应对措施: 对中高山等水源涵养区进行生态修复; 严格控制重金属排放, 恢复河流水质; 以及加强小水利设施建设, 提高水资源利用效率。东川是典型的西南山地资源型城市, 其水安全问题有一定的代表性, 本研究可为上述地区水土资源耦合调控提供一定借鉴。

关键词: 水安全; 气候变化; 极端干旱; 山地资源型城市; 东川

中图分类号: X24

文献标志码: A

山地既是自然资源的赋存地, 还是水源涵养、气候调节、生物多样性维持、生态产品供给等多种功能服务区域, 并伴有较强的经济社会发展作用, 很显然, 山区是自然与人文复合的复杂系统。变化环境下山地水土作用失调失衡常导致灾害风险增加引发生态安全问题^[1]。其中, 由于气候变暖导致的区域干旱是引发山地水土要素失调的主要因素之一。研究表明, 我国西南山区(川、渝、云、贵) 从上世纪 50 年代末期以来干旱形式日趋严峻, 且在未来有持续扩大增强的趋势; 云南高原东北部、川西高原和川西

南山地是主要干旱区^[2]。不仅如此, 近 60 年来, 云南省降水与河道来水存在周期性减少趋势, 且近年来减少趋势更为明显, 云南中、东部地区极易发生极端干旱, 且从上世纪 70 年代以来, 其强度及持续时间持续增加^[3-5], 尤其是 2009—2013 年间, 云南省遭遇了 5 年连续干旱, 最严重时, 337 条中小河流断流, 348 座小型水库干涸, 349.76 万人饮水困难, 农作物因旱受灾面积 1173 万亩, 水安全问题凸显。气候变暖导致西南山地水资源配置——利用失衡已成为该区水安全的主要威胁^[6]。

收稿日期(Received date): 2016 - 05 - 21; 修回日期(Accepted): 2016 - 09 - 01。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2015CB452706) [National Key Basic Research and Development Program of China (973 Program) (2015CB452706)]

作者简介(Biography): 李杰(1984 -), 男, 河北保定人, 讲师, 博士, 主要研究领域为自然地理学 [Li Jie (1984 -), male, born in Hebei, Ph. D., and mainly study Physical Geography] E-mail: jli_1984@hotmail.com

* 通信作者(Corresponding author): 邓伟(1957 -), 男, 辽宁沈阳人, 研究员, 博士, 主要从事山区资源环境与国土空间管理研究 [Deng Wei (1957 -), male, born in Liaoning, Professor, Ph. D., mainly study mountain resource, environment and land space management] E-mail: dengwei@imde.ac.cn

气候变暖对云南山地的时空分布影响主要有以下特点,时间上,干旱主要出现在冬、春及初夏,严重时则会出现冬春初夏连旱;空间上,滇西、滇西南极端干旱较少,而滇中及滇东极端干旱灾害频发^[7]。

昆明市东川区地处滇东北,是受极端干旱影响最严重的地区之一^[8]。同时,作为典型的西南山地资源型城市^[9],东川区内水环境污染情势也不容乐观,由矿产开采引发的水环境恶化事件时有发生^[10,11]。而且,据昆明市近13年来的水资源公报显示:东川境内主要河流——小江水质长期处于劣五类(2001—2013年昆明市水资源公报)。持续干旱加之水环境不断恶化导致东川部分自然村用水安全受到水量、水质的双重威胁。这种现象在西南山地资源型城市中具有普遍性^[12],亟需有效措施合理应对。

1 东川区自然、社会经济概况

1.1 气候、水文概况

东川地处云南高原东北,为昆明市辖区,总面积1 863.4 km²。1958年设地级市,1999年初因铜矿枯竭、矿务局破产成为建国后首个因资源枯竭而被行政降格的资源型城市,并于2009年进入第二批国家资源枯竭型城市,是典型的山地资源型城市^[9]。全区地形陡峻,南高北低,最大高差3 640 m,形成“东西两山夹一江”、南北向排列的深、中切割的高、中山峡谷地貌特征,>35°陡坡占总面积的29.1%,是云南省水土流失最严重的地区之一。小江河谷是典型的干热河谷,河谷区(海拔<1 600 m)年均降水量:693.1 mm,而蒸发是降水的5.25倍;高山区(海

拔>2 400 m)年平均降水量1 143.7 mm,蒸发与降水大至相等(东川区水文地质情况调查报告,2014,内部资料)。

东川区降水干湿季差异显著,如图1所示,干季降水量仅占全年降水量的13%。通过对1961—2010年东川区降水、气温数据进行Mann-kendall突变检验分析(分析图略)得出,近50年来其总降水量及干季降水量基本保持稳定,但年均温与干季均温在近年来均出现显著增长($\alpha=0.05$)。其中,干季均温突变点出现在1998年,年均温突变点出现在2008年。这一变化趋势与滇东北地区气候变暖趋势基本吻合^[7]。

东川各河流均属金沙江水系,主要为小江及其支流,块河、乌龙河、小清河、黄水箐等,均为山间性河流;其特点是流量小、变幅大、流程短、比降大、沿岸侵蚀性强,河水暴涨暴落,加之长期植被破坏,地质灾害频发,造成大量蓄水无条件,提水扬程高,引水亦困难,虽然全区水资源总量比较大(年均9.318亿m³),但由于上述原因,形成“高水无处蓄、低水无用处”的局面。东川区水务局相关资料表明:同等效益的水利工程在东川修建,投资约大于其它地区2倍以上(东川区水文地质情况调查报告,2014年,内部资料)。

1.2 矿产资源开发及水环境状况

东川区作为典型的山地资源型城市,早在明、清时期就已经开展了矿产开采,被誉为“天南铜都”;截止到2007年共探明矿产资源25处,其中铜矿12处、铅锌矿6处、铁矿4处、磷矿2处和金矿1处(如图2b),且矿点多位于小江支流上游,矿业开采对小江多个子流域影响较大(昆明市东川区城市总体规

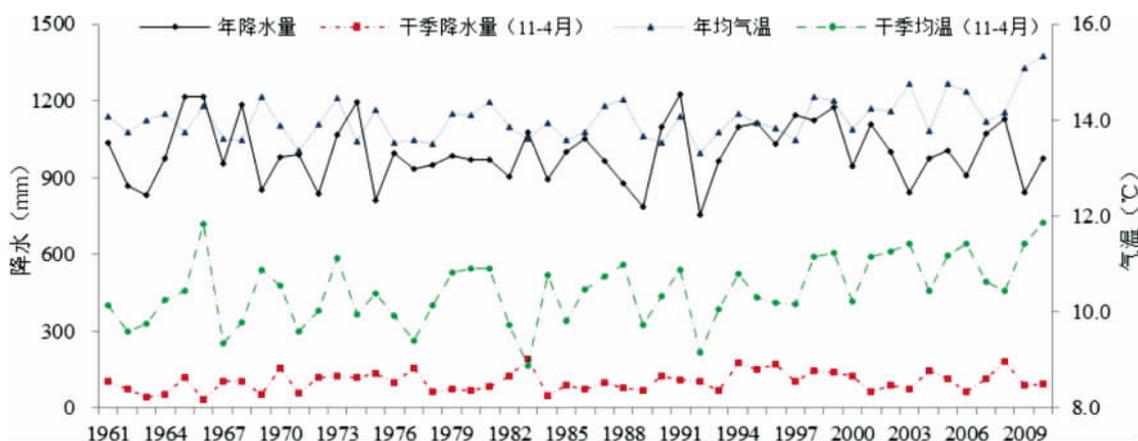


图1 1961—2010年东川区降水、气温变化图

Fig.1 Precipitation and temperature variation of Dongchuan, Kunmingin 1961—2010

划续修编(2007—2020年)。根据2013年昆明市水资源公报可知,小江评价河长132.1 km(寻甸县清水海—小江汇入金沙江河口),河流水质为劣V类,主要超标项目为总磷(TP)、砷(As)、铜(Cu)、镉(Cd)和铅(Pb)^[13]。

随着地表水资源量持续减少且河流水质不断恶化,再加之当地年内气候干湿分明(5—10月为雨季、11至次年4月为干季,连续最大4月,即6—9月降水能够达到全年降水的70.8%),使得干季区域内中、高山地可利用水资源量较少。近年来,居住于中、高山区的当地居民(东川区共有1255个自然村,其中81.4%的自然村位于海拔1500 m以上)在干季时出现人畜饮水困难的现象时有发生,水安全问题凸显。

1.3 社会经济现状

东川区社会经济统计资料显示,2013年年末全区GDP(当年价格)为73.25亿元,三产比例为7:62:30。全区户籍人口为31.3万,其中农业人口17.2万,非农人口14.1万。全区各土地利用类型面积占总面积百分比分别为:耕地13.1%,林地占28.9%,草地52.3%,水域2.0%,建筑用地0.9%,未利用地2.9%。以上数据表明东川区城市化水平较低,经济发展主要依赖以矿业和建筑业为主的第二产业,农业和第三产业发展较为落后,主要以传统种植业和畜牧业为主。

2 调查分析方法

面对东川区严峻的水安全形势,本研究从山地居民可用水量以及东川区境内河流水质两个方面开展调查,从而深入认识东川区目前面临的水安全问题并提出相应对策。

2.1 水资源与社会经济数据分析

主要分析近年来东川区水资源总量的变化(数据来源:2001—2013年昆明市水资源公报),及东川区社会经济的发展情况(数据来源:2001—2011年昆明市东川区统计年鉴;2012—2014年昆明市东川区年鉴)。

2.2 山地居民可用水量调查

本研究使用问卷调查法^[14,15],按照不同海拔梯度筛选20个自然村(图2a),每个村随机发放3~4份调查问卷进行调查。以期对高山峡谷区不同位置:河谷(海拔<1600 m)、中山区(海拔在1600~2400 m)、高山区(海拔>2400 m)居民水资源使用情况进行了解和分析。其中位于河谷的调查村落9个、位于中山区的调查村落6个、位于亚高山及高山的调查村落5个;共完成调查问卷63份。

2.3 东川区河流水质采样分析

本研究针对东川境内小江干流(4个监测断面),及《昆明市水功能区划》^[16]中区划为工业用水

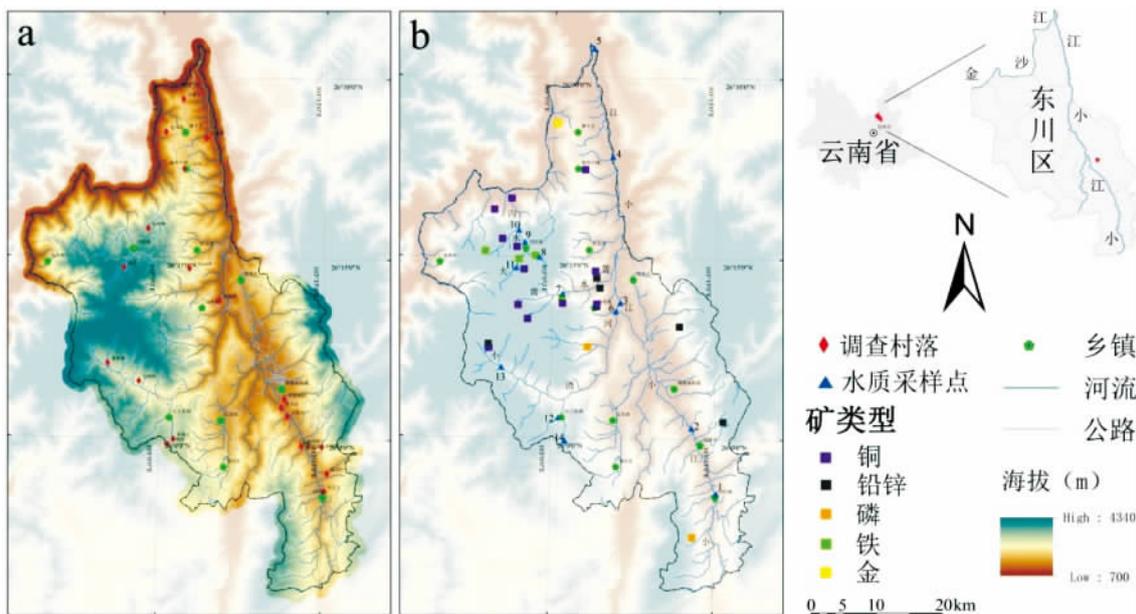


图2 调查村落及水质采样点位置图(a为调查村落;b为水质采样点)

Fig. 2 Location of investigated villages (a) and water sample sections (b)

区的大水沟及其支流(4个监测断面)与黄水箐(1个监测断面)作为主要的监测对象;将区内水质较好的小清河及其支流《昆明市水功能区划》将其列为保护区和保留区,现状水质为Ⅱ类)作为对照监测河段(4个监测断面)(如图2b所示)。其中,大水沟与黄水箐两流域内汇集了众多矿点,是东川主要的矿产开发区,人为利用较高,现状水质均为劣Ⅴ类。

河流水质调查采样依据《中华人民共和国国家环境保护标准》(HJ 495-2009)中“水质采样方案设计技术规定”、“水质采样技术指导”及“水质样品的保存和管理技术规定”等相关方法进行。根据东川区主要矿产资源种类及主要河段富营养化情况,本研究分别选择:铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、总磷(TP)、总氮(TN)和化学需氧量(COD)共6个指标进行水质测定,其中Cu、Pb和Zn使用原子吸收分光光度法进行测定(GB 7475-87)、COD使用重铬酸盐法进行测定(GB 11914-89)、TN使用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法进行测定(GB 11894-89)、TP使用钼酸铵分光光度法进行测定(GB 11893-89)。

3 气候变化影响下东川区社会经济与水资源矛盾

图1所示2001年以来,年降水量呈减少趋势,而东川区年均温、干季均温均呈上升趋势,导致蒸发量增大;气候变化对东川区水资源总量的影响巨大(图3)。

自20世纪末原东川市行政上划归为昆明市东川区以来,区域经济得到较大发展(如图3所示),全区GDP在近年中增长近12倍。尤其是2006年以来,受企业生产和投资增长拉动,全区经济快速增长;第二产业增长迅速,第三产业涨势平稳,而第一产业增长缓慢。从三产比例来看,第一产业所占比例逐年降低,而农业人口虽然在2011—2013年间减少了7万人,但仍然占有较大比例,农业发展存在较大压力。东川区农业生产受水、土要素制约较大,除了东川区高山峡谷地貌对农业发展产生的影响外,水资源总量在近年来呈现减少趋势,且严重低于多年平均水平(9.3亿m³)表明水资源总量变化对农业、乃至东川区的整体发展都产生了一定影响和制约。

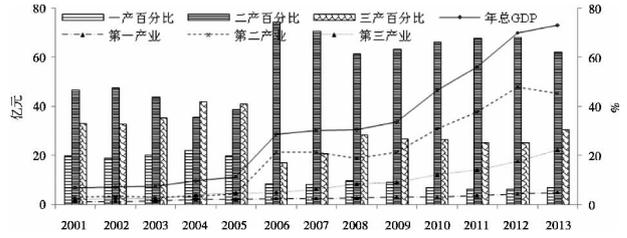


图3 2001—2013年东川区经济发展趋势图

Fig. 3 The economic trends of Dongchuan, Kunming in 2001—2013

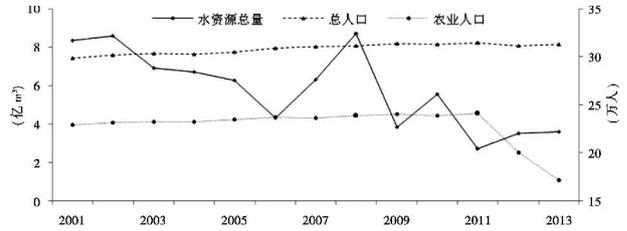


图4 2001—2013年东川区水资源与人口变化趋势图

Fig. 4 Water resource and population dynamics of Dongchuan, Kunming in 2001—2013

4 东川区水安全问题分析

4.1 农村居民人畜饮水困难

问卷调查分析结果显示,饮用水来自山泉或通过水管从山泉引水的居民占78%;直接使用自来水作为人畜饮水的居民仅占10%,且均居住在距乡镇较近的村落;利用水井获取饮用水的居民占11%;直接利用河道水作为饮用水的居民占1%。由此可见,山泉仍是该地区人畜饮水的主要水源。但由于山泉易受气候影响,当干旱出现时,当地居民的人畜饮水极易出现不足或短缺的现象。根据调查,2009—2013年云南连旱期间,认为自己所居住村落出现旱灾的居民占到调查总数的83%。其中,认为饮用水源因旱灾而干涸的居民占调查总数的25%,认为水源供水量因旱灾而减少的为49%,认为饮水量受旱灾影响不大的居民为8%。可见,东川区极易在干旱时期出现农村居民人畜饮水短缺问题。

4.2 河流重金属污染严重

如图5所示,东川区境内部分主要河流存在较为严重的污染,以重金属污染为主;本次水质调查14个断面Cu、Pb和Zn均有不同程度超标。其中Cu超标较为严重的水样采集断面:4、10、11和13号均地处铜矿区附近或下游。地处因民镇下游的10号点位Cu超标尤其严重,是重金属污染最严重的位置之一。小江干流5个水样采集断面(1-5

号) Pb 含量均超标严重,对金沙江水质影响极大。此外,小清河虽然是东川区内人为干扰较少的河流,尤其是小清河上游及源头地处轿子雪山国家级自然保护区境内,但该流域的 4 个水样采集断面(6、12、13 和 14)的重金属含量均远超 V 类水标准,说明该流域存在矿企未达标排放或者区域重金属本底值较高的情况。

从各断面 TP、TN 及 COD 三个指标来看,小江干流水质存在严重富营养化的现象,由于区内有磷矿的开采,水体 TP 含量随流域汇水逐渐增加;TN 和 COD 浓度随干流水量的增加而有所降低。7、10 至 14 等 6 个断面水体富营养化较轻,水质相对较

好,主要缘于断面所处的位置接近各河流的中、上游等人口密度较低区域。

根据上述水质调查分析,东川区境内部分河流水质较差,对农业灌溉及渔业生产有较大影响。

4.3 农田灌溉用水风险大

根据调查,认为缺乏农田灌溉用水的居民占总调查人数的 66.7%,主要居住在:落雪、瓦岗寨、老炭房、上竹山坪、大梁子、陷塘村、陶家村和木树朗村等 8 个自然村。除木树朗村以外,这些村落主要分布在河流的源头或上游,海拔范围 1 447 ~ 3 160 m (图 2a);且农田主要为旱地(坡地)。当地中、高山坡度较大,且难以引、蓄水是该地区农业灌溉用水缺

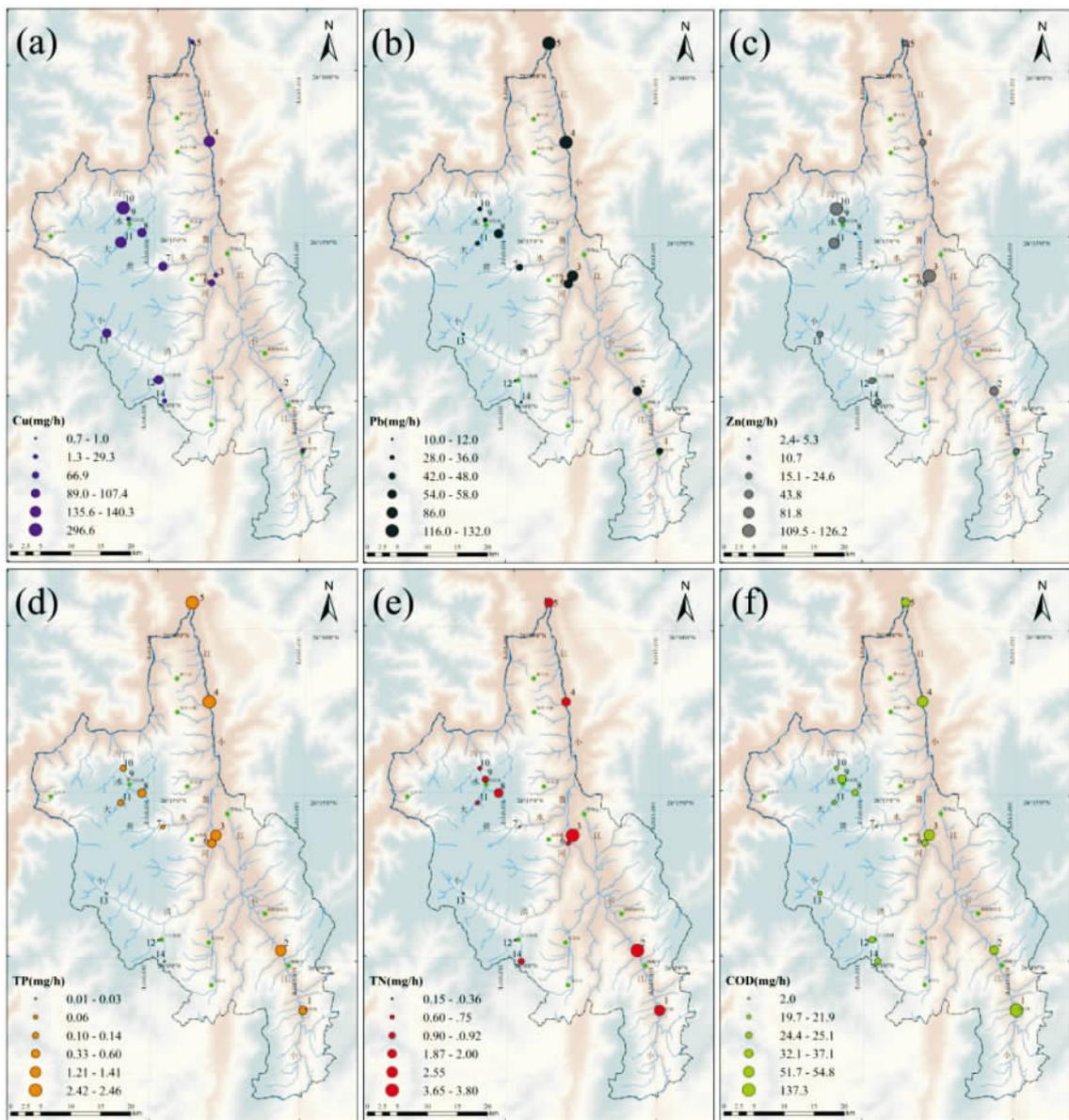


图 5 各水质断面指标检测值

Fig. 5 The indexes detection value in each water quality section

乏的主要原因。此外,根据绝大多数受调查居民的旱地(坡地)仅为雨养农业,并无其它水利设施,旱季受灾的风险很大。而且通过实地观察,东川区大部分坡耕地都保留着较为原始的坡地耕作习惯,大多为坡耕或坡式梯田,很少引入带有土坎或者设有水土保持设施的梯田,水土匹配性差,容易失衡,加剧了水土流失等环境问题。

调研中认为不缺乏农田灌溉用水的居民占33.3%,且其主要居住在6个自然村(大脑包、黑马山、大树脚、洒海村、大平子和大石头),且均分布在小江干流的河谷内,海拔范围在1280~1440m(图2a),是除木树朗村以外海拔最低的6个村子,由于河流水量相对充足稳定,农田一般为靠近河道的河坝水田,旱地较少,加之交通相对发达,水利设施容易修筑,对农业生产的水源保障比较稳定。但值得注意的是利用水污染严重的河流进行灌溉,将对农作物生长及食品安全构成严重威胁。

此外,水权分配也是保障水资源利用的条件之一。因为木树朗村距离铜都镇较近,村落周围修建有砖厂、采石场以及引水式水电站等工矿企业,当地居民普遍反映需要向其它村落购买水源进行农业灌溉,所以存在水权公平分配与交易的管理问题。

5 东川区水安全问题对策与措施

5.1 修复水源涵养区

根据2015年5月28日Landsat 8卫星OLI影像提取东川区近期NDVI((Normalized Difference Vegetation Index)^[17]值以获得植物生长期该区域植被分布格局,计算得出东川区内植被分布总面积为404.85 km²,占东川区总面积的21.7%;其中,高山区(>2400 m)植被覆盖面积/率为269.86 km²/39.76%、中山区(1600~2400 m)植被覆盖面积/率为121.91 km²/16.34%、河谷区(<1600 m)植被覆盖面积/率为13.08 km²/2.98%。东川区植被覆盖的总特征符合干热河谷植被分布的一般规律,但由于数百年的矿业开采^[18]对当地植被的破坏十分严重,使得植被覆盖总体偏低。

对研究区进行水文分析,中山区内一级河流(河流分类采用A. N. Strahler在1952提出的河流分类方式)^[19]为105条,占全区一级河流总数的54.4%;高山区内一级河流为64条,占全区一级河流总数的33.1%;上述两区是东川区主要的水源涵

养区,保水功能十分重要。相关管理部门应当针对东川区干热河谷地貌特点,有针对性的对区内中、高山进行植被恢复工作。且中山区是东川自然村分布最为集中的区域(占自然村总数的64.6%),通过有效方式鼓励当地居民自发进行植被恢复是水土保持与水源涵养的有效途径。

此外,由于区内部分矿点地处中、高山区,由于多年开采,对山区地貌破坏严重,存在很多采空区和塌陷区域,不仅对居民生活、生产安全构成很大威胁^[20],同时也对地下水产生较大影响^[21],相关管理部门应当对此类矿点采取有针对性的生态恢复措施^[22],以免其对水源涵养区的破坏。

5.2 控制河流重金属污染

水体重金属污染对东川区城乡居民的生产和生活,及区域整体的生态环境具有严重的影响^[15];同时,东川地处长江流域上游,生态安全位置十分重要,亟需相关工矿企业对矿产开采产生的工业废水及废渣即使处理,以及做好尾矿库废水处理工作。相关管理部门应严格监测和检查工矿企业重金属污染物的排放;引导其开展矿区废水资源化利用^[22];减少矿石和矿渣的裸露堆放而随降水过程造成的水体污染。目前,国家财政部经济建设司和国家环保部规划财务司批准了《昆明市东川区重金属污染综合防治实施方案》(2015—2017年)将对矿区的重金属污染防治起到积极的作用。

5.3 建设小水利,提高用水效率

2014年,汤丹镇共建设“爱心水窖”1200个,雨季蓄水后,将为汤丹镇增加年均供水量1.5万立方米,解决和改善2987人的饮水问题,新增389.7亩耕地灌溉面积^[23]。据了解,东川区2015年拟建设8000个小水窖^[24],按照上述估算,应能多解决1.7万人的引水问题,2533亩耕地灌溉面积。但是根据东川区第六次全国人口普查资料(2014年),东川区农业人口为20.2万人,目前的小水窖建设对于东川区农村人口的生产、生活仍有很大缺口。应加大力度扶持山地“五小水利”工程的推广和开展。此外,基于西南山地的传统农耕方式,应当加强对已有陂塘、水池、水渠等水利设施的管理和利用,完善山地农村水利设施的管理机制,从而有效提高水资源的利用效率^[25]。

5.4 优化国土空间开发格局

鉴于东川是传统的矿业开发区,气候变化和人类活动导致的环境变化对资源依赖性发展提出了重

大挑战,必须创新发展思路和变换发展模式,转变发展路径。要重新审视东川区水土资源空间格局与时空变化,基于创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,分析全区生态、生产、生活空间的特征、结构与空间关系及问题,从资源环境承载力支撑限度考虑国土空间开发潜力与合理布局,基于水资源配置合理性、安全性及其阈值,科学重构“三生空间”结构与功能,通过实施多规合一,优化城镇建设、产业开发、农业发展、植被恢复的空间格局,促进东川区的协调与可持续发展。

参考文献(References)

- [1] 邓伟,戴尔阜,贾仰文,等. 山地水土要素时空耦合特征效应及其调控[J]. 山地学报, 2015, 33(5): 513-520 [Deng Wei, Dai Erfu, Jia Yangwen, et al. Spatiotemporal coupling characteristics effects and their regulation of water and soil elements in mountainous area[J]. Mountain Research 2015, 33(5): 513-520]
- [2] 姚玉璧,张强,王劲松,等. 中国西南干旱对气候变暖的响应特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(9): 1409-1417 [Yao Yubi, Zhang Qiang, Wang Jinsong, et al. The response of drought to climate warming in southwest in China[J]. Ecology and Environmental Sciences 2014, 23(9): 1409-1417]
- [3] 付奔,胡关东,杨帆,等. 云南干旱“常态化”的分析[J]. 水文, 2014, 34(4): 82-85 [Fu Ben, Hu Guandong, Yang Fan, et al. Analysis of drought normalization in yunnan province[J]. Journal of Chian Hydrology 2014, 34(4): 82-85]
- [4] 尹晗和李耀辉. 我国西南干旱研究最新进展综述[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 183-193 [Yin Han & Li Yaohui. Summary of advance on drought study in southwest China[J]. Journal of Arid Meteorology 2013, 31(3): 183-193]
- [5] 罗丽艳,李芸,马平森,等. 云南省干旱及演变趋势分析[J]. 人民珠江, 2011, 2: 13-15, 46 [Luo Liyan, Li Yun, Ma Ping-sen, et al. Analysis of drought situation and evolution trend in yunnan [J]. Pearl River 2011, 2: 13-15, 46]
- [6] 陈坚. 云南有效应对五年连旱的模式及经验[J]. 中国水利, 2013, 16: 10-12 [Chen Jian. The experiences and mode to response the five years drought in Yunnan Province [J]. China Water Resources 2013, 16: 10-12]
- [7] 张万诚,郑建萌,任菊章. 云南极端气候干旱的特征分析[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 59-64 [Zhang Wancheng, Zheng Jianmeng, Ren Juzhang. Climate characteristics of extreme drought events in Yunnan[J]. Journal of Catastrophology 2013, 28(1): 59-64]
- [8] 云南网. 东川三年连旱,6万人饮水困难[OL]. 云南网, 2012, http://society.yunnan.cn/html/2012-02/15/content_2044241.htm. [Yunnan net. Over 60 thousand people hard to find drinking water in the 3-year drought in Dongchuan [OL]. Yunnan Net, 2012, http://society.yunnan.cn/html/2012-02/15/content_2044241.htm.]
- [9] 张继飞,邓伟,刘邵权. 西南山地资源型城市地域空间发展模式:基于东川区的实证[J]. 地理科学, 2013, 33(10): 1206-1215 [Zhang Jifei, Deng Wei, Liu Shaoquan. The regional spatial development pattern of mountain resource-based city in southwest of China: a case study of dongchuan district [J]. Scientia Geographica Sinica 2013, 33(10): 1206-1215]
- [10] 中国新闻网. 云南东川“牛奶河”调查: 周边农田唯一水源[OL]. 中国新闻网, 2013, <http://www.chinanews.com/sh/2013/04-03/4699769.html>. [China news. The investigation of "milk River" in Dongchuan, Yunnan: It is the only water source of the surrounding farmland [OL]. China News Net 2013, <http://www.chinanews.com/sh/2013/04-03/4699769.html>.]
- [11] 南方都市报. 昆明东川区再现“牛奶河”官方已锁定排污企业[OL]. 南方都市报, 2014, <http://paper.oeeee.com/nis/201412/01/300507.html>. [Southern Metropolis Daily. The sewage enterprises which caused the second "milk River" in Dongchuan, Yunnan had been officially locked [OL]. Southern Metropolis Daily, 2014, <http://paper.oeeee.com/nis/201412/01/300507.html>.]
- [12] 秦趣,陈志霞,杨洪. 西南山区矿业城市生态基础设施综合评价[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(1): 103-107 [Qin Qu, Chen Zhixia, Yang Hong. Synthetic assessment of ecological infrastructure on mining cities of the southwest mountainous area in China [J]. Journal of the Northwest Normal University (Natural Science) 2015, 51(1): 103-107]
- [13] 昆明市水务局. 2013年昆明市水资源公报[R]. 2013, 21-22. [Kunming Municipal Water Affairs Bureau. The 2013 Kunming water resources bulletin [R]. 2013, 21-22.]
- [14] 风笑天. 方法论背景中的问卷调查法[J]. 社会学研究, 1994, 3: 13-18 [Feng Xiaotian. Questionnaire survey method in the methodology background [J]. Journal of Sociology Study, 1994, 3: 13-18]
- [15] 陶永明. 问卷调查法应用中的注意事项[J]. 中国城市经济, 2011, 20: 305-306 [Tao Yongming. Notes on the application of questionnaire [J]. China Urban Economy 2011, 20: 305-306]
- [16] 黄英,陈晓光,郑丽梅,等. 昆明市东川区汤丹和落雪两镇蔬菜中铜镉含量分析[J]. 大理学院学报, 2009, 8(2): 14-15 [Huang Ying, Chen Xiaoguang, Zheng Limei. Notes on the application of questionnaire [J]. Journal of the Dali University 2009, 8(2): 14-15]
- [17] 杜玉龙. 东川因民铜矿区矿坑水水化学特征及资源化利用[D]. 昆明理工大学, 硕士学位论文, 2010. [Du Yulong. Hydro-chemical characteristics and resource utilization of mine water of Yinmin Copper Mining area in Dongchuan [D]. Kunming University of Science and Technology, Master Dissertation, 2010.]
- [18] Tucker CJ, Pinzon JE, Brown ME, et al. An extended AVHRR 8 km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4485-4498
- [19] 东川矿务局. 东川铜矿志[M]. 昆明: 云南民族出版社, 1990. [Dongchuan Mining Bureau. Dongchuan copper mine histories [M]. Kunming: Yunnan National Publishing House, 1990.]

- [20] Strahler AN. Dynamic basis of geomorphology [J]. Geological Society of America Bulletin, 1952, 63(9): 923-938.
- [21] 昆明信息港. 昆明东川 6.5 万人的移民之路 [OL]. 昆明信息港, 2014, http://xw.kunming.cn/a/2014-08/01/content_3650743.htm. [Kunming Information Port. The migration road of 65 thousand people in Dongchuan, Kunming [OL]. Kunming Information Port, 2014, http://xw.kunming.cn/a/2014-08/01/content_3650743.htm.]
- [22] 黄玉. 云南省矿山环境地质问题研究及对策 [D]. 昆明理工大学, 硕士学位论文, 2007. [Huang Yu. Research and countermeasures of mine environmental geological problems in Yunnan Province [D]. Kunming University of Science and Technology, Master Dissertation 2007.]
- [23] 云南网. 昆明东川区汤丹镇 1200 个“爱心水窖”蓄水 [OL]. 云南网, 2014, http://news.yunnan.cn/html/2014-11/07/content_3441083.htm. [Yunnan Net. 1200 love cellars filled in Tangdan town, Dongchuan, Kunming [OL]. Yunnan Net, 2014, http://news.yunnan.cn/html/2014-11/07/content_3441083.htm.]
- [24] 中国昆明. 东川将建 8000 个“爱心水窖” [OL]. 中国昆明, 2012, <http://www.km.gov.cn/xxgkml/zwdt/634363.shtml>. [KunmingChina. 8000 love cellars will be built in Dongchuan, Kunming [OL]. Kunming China, 2012, <http://www.km.gov.cn/xxgkml/zwdt/634363.shtml>.]
- [25] 胡靖. 小水窖救不了农村水利 [OL]. 三农中国, 2010, http://www.snzg.cn/article/2010/0514/article_18624.html. [Hu Jing. Small cellars cannot save the rural water conservancy [OL]. Kunming China, 2010, http://www.snzg.cn/article/2010/0514/article_18624.html.]

Water Security Problems and Strategies under Climate Change in a Mountain Resource

——Based on Dongchuan City, Kunming

LI Jie^{1 2}, DENG Wei^{1 3}, ZHANG Jifei¹, LI Shaojuan², HUANG Ru², ZHANG Kouqiang²

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041 Sichuan;

2. School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221 Yunnan;

3. University of Chinese Academy Sciences)

Abstract: Mountain resource-based cities, for its complicated geography condition, intense human activities and serious pollution, are vulnerable to the imbalance of water resources allocation and utilization under the climate change, which causes severe water security problems. Dongchuan district is a typical resource-based city in the Southwest Mountainous Region in China, which was double threatened by water quantity decrease and quality deterioration under the regional drought in recent years. In this study, the water in 13 rivers include main streams and tributaries in Dongchuan was sampled; and 63 questionnaires were investigated for the drinking water and irrigation difficulties of the Natural villages in different altitude, in order to analyze the existing water security problems and propose Strategies and solutions. The results showed that, most of the rivers in Dongchuan are polluted by heavy metals in several degrees, which means rivers are hard to utilize; those villages which use springs for their drinking water and rain for the irrigation in middle or high mountain area (altitude more than 1 600 m) would have higher risks of water shortages in drought period, and the natural village in the valley would strongly infected by the river pollution for their farmland irrigation largely depend on rivers. To solve the problems above, firstly, heavy metal emissions should be control strictly and the water quality in rivers should be recovered; secondly, the damaged vegetation, especially the forest, in the middle and high mountain area should be restored, which could provide stable water supply for the region; thirdly, the construction of small water conservancy facilities could be great improvement for the utilization efficiency of water resources. The status of water security in Dongchuan has universality in Mountain resource-based cities. The strategies provided in this study could give effective references for the prevention and control of water security problems in these areas.

Key words: Water security; Climate change; Mountain resource-based city; Dongchuan