

赤水河干流水环境影响因素分析

张为, 杨斌 (贵州师范大学喀斯特生态文明研究中心, 贵州贵阳 550025)

摘要 总结赤水河的水环境特征及其形成原因, 发现上游地区由于燃煤和矿产开采等活动, 使赤水河水体中出现重金属元素; 沿线县市的农业生产活动中农药化肥的施用、白酒工业产生的工业污水和生活污水的无序排放导致水体中总氮、总磷和生化需氧量增大; 由于喀斯特地质结构特征, 流域内水土流失严重, 土壤中累积的化肥、农药残留和重金属元素流入河水, 加剧河水的污染。

关键词 赤水河; 水环境; 影响因素

中图分类号 X 824; TV 213 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)05-0080-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.05.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Influencing Factors on Main Stream Water Environment of Chishui River

ZHANG Wei, YANG Bin (Research Center of Karst Ecological Civilization, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract The water environment characteristics of Chishui River and the influencing factors were summarized. In the upper reaches of the region, due to coal-fired and mineral-mining activities, heavy metal elements appeared in the water; the use of pesticides and fertilizers in the agricultural production activities, and the disorderly discharge of industrial sewage and domestic sewage from the liquor industry resulted in increase of total nitrogen, total phosphorus, and biochemical oxygen demand. Due to the geological structure of karsts, water and soil loss in the river basin was serious, and the accumulated fertilizer and pesticide residues and heavy metal elements in the soil flowed into the river water, which intensified the pollution of the river water.

Key words Chishui River; Water environment; Influencing factors

赤水河是长江上游一级重要的支流, 其发源于云南省镇雄县, 经贵州省毕节、大方、金沙、遵义、仁怀等, 至四川省合江县入长江, 流经滇、黔、川 3 省 13 县市。由于特殊的自然地理条件, 赤水河流域的生物资源丰富, 截至 2006 年底, 在赤水河流域已划分形成了多个自然保护区, 其中国家级保护区 3 个, 市县级保护区 11 个^[1]。全流域共有珍稀保护动植物 77 余种, 其中国家重点保护植物 39 种, 国家重点保护动物 38 种^[2]。据中国科学院水生生物研究所 2007 年调查资料显示, 赤水河栖息的 131 种鱼类中有 37 种是长江上游特有的^[3]。同时赤水河还被称为“美酒河”, 在以贵州省仁怀市、习水县和四川省古蔺县为主的赤水河流域中下游数十千米的河段内分布着 400 多家酒类生产企业^[4], 培育了茅台、习酒、泸州老窖、郎酒等国内外知名的白酒品牌, 酒类企业已经成为区域经济发展的重要驱动力^[5]。以仁怀市为例, 2013 年仁怀市完成白酒规模工业增加值 357.3 亿元, 占全市生产总值的 90% 以上。

赤水河的水生态环境对茅台等白酒工业的发展和长江上游生物多样性保护起着十分重要的作用。2017 年 10 月《国家生态文明试验区(贵州)实施方案》公布, 方案中明确提出了建立长江珠江上游绿色屏障建设示范区的战略定位。赤水河生态环境整体保持较好, 水质整体在 II 类以上, 但是随着赤水河流域经济社会的发展, 其生态环境出现了一定程度的破坏, 上游茅台站枯水期的氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和丰水期、平水期的粪大肠菌群均超出水环境功能区要求^[6], 支流盐津河

的水质甚至达到了劣 V 类^[7]。因此, 该研究通过对赤水河干流主要污染物[总氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、硫酸根(SO_4^{2-})、重金属等]特征及其形成原因的总结, 为赤水河流域管理和保护、经济社会健康发展和贵州生态文明建设提供一定的科学依据。

1 赤水河干流水环境现状

学者们对赤水河的水化学特征做了大量工作, 研究发现赤水河水化学组成存在明显的空间和时间分布特征。安艳玲等^[8-9]、罗进等^[10]对枯水期赤水河干流的水质做了较为全面的研究, 其结果显示赤水河干流水质整体在 II 类以上, 由于受到喀斯特地区碳酸盐岩风化作用影响, 其水化学成分以 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子为主。但是水质测量结果显示河水中总氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和硫酸根(SO_4^{2-})的浓度随着赤水河空间位置的变化而变化(图 1)。赤水河上游的硫酸根离子在源头处的云南省威信县最大, 而后迅速降低, 并呈波动缓慢上升; 在赤水河中下游, 硫酸根离子浓度保持缓慢上升的趋势, 在习水县复兴镇达到 1.1 mmol/L, 而后迅速降低在赤水市降到 0.6 mmol/L, 随后急剧升高至 0.98 mmol/L。赤水河水体中的总氮浓度波动相对较小, 上游的总氮浓度(0.3 mmol/L)整体上略高于中游地区(0.2 mmol/L), 但是在下游赤水市急剧升高到 0.75 mmol/L, 随后急剧降低到 0.1 mmol/L(图 1)。

与此同时, 赤水河水体中的重金属含量也随着空间的位置变化而变化。油秋平等^[11]研究发现赤水河上游到下游镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)和铅(Pb)4 种重金属含量呈逐渐增加的趋势。相反, 汞(Hg)从上游到下游呈下降趋势, 进入仁怀市后含量降低为零。砷(As)在上游呈上升趋势, 但下游未检测出。综合污染指数分析显示, 赤水河上游属于微污染, 下游及整条河流属于轻度污染^[11]。于霞等^[12]采用污染负荷指数法分析赤水河表层沉积物的重金属特征, 结果显示强污染点集中分布在上游, 中等污染和无污染点主要分布在中下游

基金项目 贵州省教育厅高等学校人文社会科学研究基地项目(2017jd041); 贵州省科技厅-贵州师范大学联合基金项目(黔科合 LH 字[2017]7339 号); 贵州师范大学 2016 年博士科研启动项目。

作者简介 张为(1988—), 男, 湖北武汉人, 讲师, 博士, 从事水环境地球化学研究工作。

收稿日期 2018-10-09

地区,污染程度从大到小依次为上游>中游>下游。

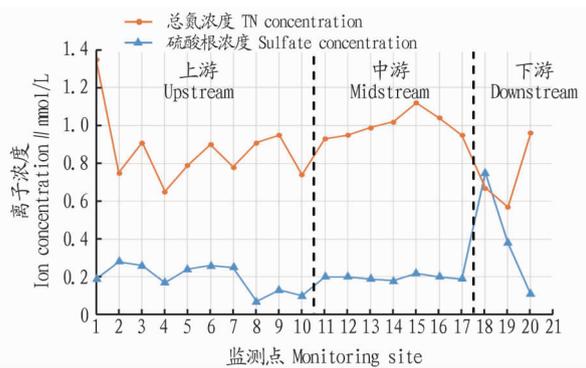
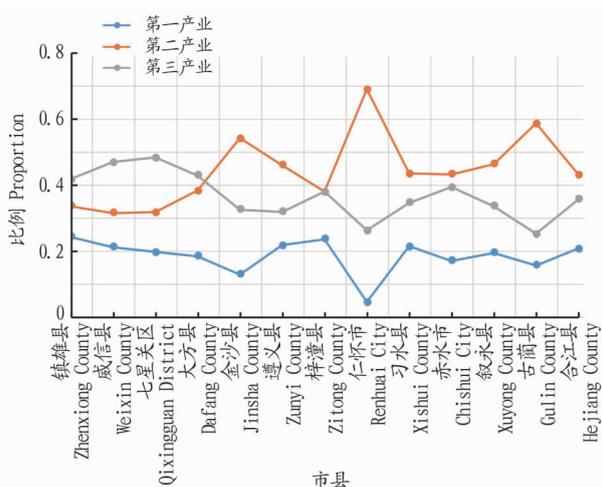


图1 赤水河干流总氮和硫酸根浓度随水水流向的变化^[8-10]

Fig.1 Variations of total nitrogen and sulfate concentration in the main stream of Chishui River

2 赤水河干流水环境特征形成原因

赤水河河水中元素的含量主要是受水-岩反应、岩石的风化所控制,以 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子为主^[8-10]。但是,人类经济活动、产业发展对生态环境具有重要的影响^[13-14],河水中的特征离子可以用于指示人类活动及工业污染对水体的影响,其中 SO_4^{2-} 主要来源于大气酸沉降、酸性矿山废水、含水层岩石中石膏的溶解、燃煤等;总氮($\text{NH}_3\text{-N}$)主要来源于农业施肥、工业活动和汽车尾气所产生的氮化合物等^[9]。赤水河流域上下游县市依托不同的资源禀赋制定了各自不同的发展方向,形成了不同的产业类型和产业结构(图2、图3),也形成了不同的污染类型。



注:数据来源于各县市统计年鉴及政府工作报告

Note: Data originated from statistical yearbook of each county and government work report

图2 2016年赤水河流域各县市三大产业产值的构成

Fig.2 Composition of the three major industrial outputs of Chishui River Basin in 2016

2.1 燃煤的影响 赤水河上游地区的云南省镇雄县、威信县,贵州省的毕节市七星关区、大方县是传统的煤产区和矿产开发区,其间分布有黔北煤炭国家规划区、毕节-大方硫铁矿矿区等大型矿床资源分布区(图3),形成了以矿产资源开采和选冶为主的工业体系。与此同时,燃煤也是赤水河上

游地区民众能源的重要来源。耿金等^[15]研究发现赤水河上游地区河水中的 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 呈正相关关系,认为石膏等矿物的溶解是 SO_4^{2-} 的主要来源之一。同时对比发现上游水体中 SO_4^{2-} 的含量比1990年增加了近2倍,认为川贵地区燃煤导致的水质酸化和硫酸型酸雨对碳酸盐矿物的溶解也是赤水河中 SO_4^{2-} 含量增加的另一个重要因素^[8,16]。

砷和汞是煤燃烧中的挥发性元素,雒昆利等^[17]发现赤水河源头镇雄和威信两县的煤中砷的含量较高、煤层中黄铁矿结核中汞的含量高。在贵州西南地区存在由于燃煤和汞矿开采而导致的土壤和大气中汞的高含量富集。汞矿资源的开采导致赤水河流域大气中汞含量的差异性分布,呈现上游含量相对较高、中游的含量相对较低的特点^[18]。同时结合油秋平等^[11]关于赤水河水体中的砷和汞在上游存在而在下游消失的空间分布特征,可以推断赤水河上游地区云南、贵州、四川的煤燃烧挥发到大气中的汞和砷通过降雨等大气沉降的方式加入到赤水河上游的水体中。

2.2 农业生产的影响 从图1可以看出,赤水河上游地区水体中总氮含量略高于中游水体中的含量,那是因为虽然上游地区工业结构以煤、电行业为主,但是第一产业所占比重最大,占到全部总量的40%以上,是主要的农业生产区。例如贵州省大方县2017年种植的蔬菜面积达33 680.00 hm^2 、中药材达1.04万 hm^2 、经果林达7 093.00 hm^2 ^[19]。中游仁怀市第一产业的产值占总产值的比例虽然很低,但是其第一产业的总值也达到镇雄县、大方县和金沙县的水平。为了满足茅台酒原料的供应需求,仁怀市要求高粱和玉米种植户尽量使用农家肥和有机肥,但河流周边种植业仍然大量使用化肥和农药^[20],过量施用的农药化肥通过地表径流和淋溶等途径进入水体。滕智超等^[6]通过因子分析后认为高锰酸盐指数、粪大肠菌群和氨氮的负载较高,认为农田径流的面源污染也是水体的污染源之一,且赤水河上游农业生产区以中、低山为主,地面坡度大,人均耕地少,过度开垦导致的严重水土流失将农药化肥的残留物带入到河水中。

2.3 工业污水的影响 在赤水河中游地区,仁怀市经济总量在赤水河流域各县市中最高,其中第二产业的比值占到总增加值的69%,而第一产业的比重占到10%以下(图2)。与仁怀市隔河相望的四川古蔺县,虽然经济总量不高,但因为酿酒企业的存在,其第二产业也占到总产值的60%。根据酱香型白酒下沙—发酵—蒸馏—出酒的生产工艺流程,其中蒸馏过程中产生的锅底水是含有氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)及化学需氧量(COD)的有机高浓度废水,依据现在的白酒工业生产状况,到2020年白酒工业的废水排放量将达到4 320 t^[5],由此将产生数量庞大的氨氮等污染物。季益虎等^[21]分析茅台监测断面和小河口临测断面2001—2010年期间高锰酸钾指数、生化需氧量和氨氮总量随时间的变化,认为2004年仁怀市对造纸企业及煤矿的限期治理和五马河流域个体手工造纸业的全面取缔是2005年高锰酸钾指数和生化需氧量降低的重要原因。

2.4 生活污水的影响 邹凤钗等^[7]通过对赤水河中段包括

干流和支流 10 个断面的水质进行分析,发现虽然氨氮、化学需氧量、生化需氧量、总氮、总磷和水质 pH 等指标都存在明显的空间分布特征,但是不同指标之间存在明显的相关性,包括支流在内的整个河水中氨氮和总磷的相关性最好,平水期干流河水中化学需氧量和总磷相关性最好,枯水期氨氮和

总磷的相关性较好。通过对各个指标之间的相关性分析,认为赤水河中段主要的排放污染源是固定的几个,其中支流城镇生活污染和白酒工业废水的直接排放是一个主要的排放源^[20]。邹凤钗等^[7]发现由于支流城镇居民生活污水未经处理排放,导致盐津河支流的水质甚至达到劣 V 类。

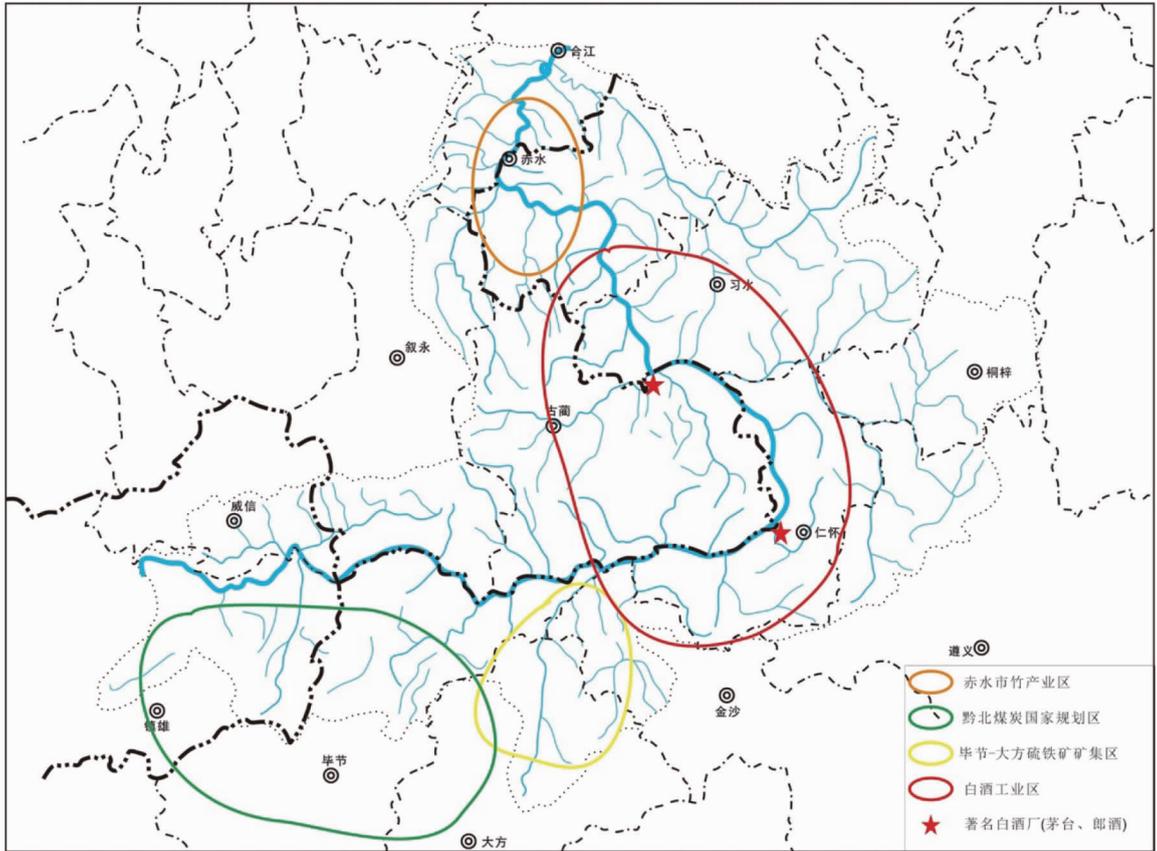


图3 赤水河流域产业格局(改自文献[1])

Fig. 3 The industrial pattern of Chishui River Basin (Adapted from reference[1])

2.5 土地利用方式的影响(水土流失) 蔡宏^[22]通过相关性分析发现,建设用地与总磷、氨氮、总氮呈高度正相关。根据实地调查他认为流域内城镇和农村居民点生活污水和生活垃圾、农村圈养的家禽家畜以及工业污水的排放是水体污染的主要来源。坡度 $>25^\circ$ 的耕地与水体中氨氮、总磷呈显著的正相关性,总氮、总磷、氨氮和化学需氧量等与水土流失呈显著的正相关关系。赤水河属典型喀斯特地区,流域内坡度 $>15^\circ$ 的土地面积占流域总面积的 66.78%^[23],整体表现为坡降大、土层薄、水土流失严重。邹翔等^[24]调查发现,赤水河流域水土流失面积达 9 521.84 km²,占土地面积的 49.85%,其中强烈以上的流失面积为 1 410.78 km²,占土地面积的 14.81%。在农业生产活动中,氮肥和磷肥只有少量被作物吸收,而大部分营养元素则因为水土流失被带入到赤水河水体中。

赤水河上游地区云南省的镇雄县、威信县,贵州省的毕节市七星关区、大方县,多年的矿冶活动导致土壤中的污染元素含量的富集。例如上游的毕节市赫章县野马川属于铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)和镉(Cd)的重度污染区^[25],织金煤矿

区的土壤已受到一定程度重金属污染^[26]。赤水河流域中游土壤的污染情况与上游有所不同,以仁怀市五马镇三元村为例的赤水河中游土壤中铜(Cu)、汞(Hg)、镍(Ni)和镉(Cd)均介于无污染到中度污染之间,锌(Zn)、铬(Cr)和砷(As)均处于无污染级,整体上土壤重金属综合潜在生态风险处于轻度污染、安全程度^[27]。水土流失将土壤中的重金属元素带入到赤水河河水中,使河水中出现重金属元素,而中游土壤是轻度、安全程度的重金属含量,在水体自身的净化作用下,重金属含量逐渐降低。

2.6 植被的截留作用 因为植物根部对污染物的地表径流的截留作用,林地面积与总磷、氨氮和化学需氧量等指标呈显著的负相关关系^[22]。蔡宏^[22]研究认为,总氮、总磷、氨氮和化学需氧量等与低度植被覆盖呈正相关关系,随着植被覆盖度的增加,转变为负相关关系。赤水河下游的赤水市形成了以竹子为主的林业生态建设和林业产业建设,其竹林面积占全市国土面积的 48%^[28]。竹子的种植使赤水市水土流失得到有效遏制,赤水河出境泥沙含量年减少在 400 万 t 以上^[29]。赤水市的竹林对赤水河河水中的污染物有显著的降

低作用。但是,赤水市是流域内最大的城镇,王发鹏等^[30]通过赤水市河段的着生藻类的种类组成等生物学指标进行采样调查与分析后发现,赤水市河段的水质整体呈轻微污染,认为生活污水的排放和农药化肥的施放是水体污染的主要原因。

3 结论与讨论

赤水河发源于云南省北部镇雄县,流经滇、黔、川三省共 13 个县市。沿河县市依据自身的地理资源环境制定了不同的经济发展模式,由此使得上、中、下游形成不同的主体污染类型。上游地区由于历史时期及一直持续到现在的燃煤导致的酸雨、燃煤产生的挥发性重金属的沉降,使赤水河水体中出现重金属元素,且上游水体中硫酸根的含量最大;同时由于沿线县市的农业生产活动中农药、化肥的施用,以及中游贵州省仁怀市、四川省古蔺县白酒工业的污水和赤水河沿线生活污水的无序排放导致水体中总氮、总磷和生化需氧量增大。同时由于赤水河属典型喀斯特地区,坡降大、土层薄、水土流失严重,土壤中由于矿产开采产生的重金属和农药、化肥施用产生的氮磷,在雨水的淋滤下,顺势流入河流,加剧了土壤中化肥、农药残留和重金属元素对水质的影响。下游的赤水市形成了以竹子为主的林业生态建设和林业产业建设,起到涵养水源、保持水土、降低水体污染物浓度的作用,但是由于生活污水的排放和农药化肥的施放,以及中上游地区农业活动和工业污水的排放,导致下游水体呈轻微污染的状态。

为了综合协调解决赤水河流域出现的水环境污染问题,黄真理^[31]主张建立赤水河流域综合性自然保护区,任晓冬^[1]建议成立赤水河流域综合保护协调委员会。为切实加强赤水河流域生态环境保护工作,改善提高区域生态环境质量,提升赤水河干流生态环境保护协作监管水平,贵州省仁怀、赤水、习水三县(市)环境保护局签订了《跨界流域环境保护联动协议》;2017 年 9 月,在中国赤水河流域保护治理发展协作推进会之“赤水河流域市县政协主席会议”上,赤水河 16 个县(区、市)一致通过了中国赤水河流域生态经济发展《仁怀宣言》,旨在探索跨区域的流域生态经济建设协调发展新路,共同推进赤水河流域生态保护、环境治理和生态经济发展。2018 年 2 月,云南、贵州、四川经过协商后,签订了《赤水河流域横向生态保护补偿协议》,并按 1:5:4 的比例,共同出资 2 亿元人民币,设立赤水河流域横向补偿资金,分配比例为 3:4:3。以上县(市)间和省际间的联合协议有利于综合系统的改善和赤水河水环境的保护。

参考文献

[1] 任晓冬. 赤水河流域综合保护与发展策略研究[D]. 兰州:兰州大学,

- 2010.
- [2] 王忠锁,姜鲁光,黄明杰,等. 赤水河流域生物多样性保护现状和对策[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 175-180.
- [3] 王芊芊. 赤水河鱼类早期资源调查及九种鱼类早期发育的研究[D]. 武汉:华中师范大学, 2008.
- [4] 张从林,王毅,乔海娟,等. 酒类企业对赤水河流域水环境的影响[J]. 水资源保护, 2015, 31(4): 62-66.
- [5] 杨丽芳. 贵州赤水河流域白酒产业经济现状及可持续发展途径分析[J]. 酿酒科技, 2014(8): 136-138.
- [6] 滕智超,丁爱中,李亚惠,等. 赤水河上游水质时空特征分析及其污染源解析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(3): 322-327.
- [7] 邹凤叙,董泽琴,王海鹤,等. 赤水河中段水环境质量现状[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 368-371.
- [8] 安艳玲,吕婕梅,吴起鑫,等. 赤水河流域上游枯水期水化学特征及其影响因素分析[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(8): 117-122.
- [9] 安艳玲,蒋浩,吴起鑫,等. 赤水河流域枯水期水环境质量评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(10): 1472-1478.
- [10] 罗进,安艳玲,吴起鑫,等. 赤水河中下游冬季河水化学空间分布特征分析[J]. 地球与环境, 2014, 42(3): 297-305.
- [11] 油秋平,支崇远,王璐,等. 赤水河底栖硅藻多样性及其与重金属相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 347-349.
- [12] 于霞,安艳玲,吴起鑫. 赤水河流域表层沉积物重金属的污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5): 1400-1407.
- [13] 王晓梅. 洱海流域产业结构的水环境污染效应时空研究[D]. 武汉:华中师范大学, 2016.
- [14] 袁杭松,陈来. 巢湖流域产业结构演化及其生态环境效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 349-352.
- [15] 耿金,陈建生,张时音. 赤水河上游流域水化学变化与离子成因分析[J]. 水文, 2013, 33(1): 44-50.
- [16] 陈静生,夏星辉,蔡绪怡. 川贵地区长江干支流河水主要离子含量变化趋势及分析[J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 131-135.
- [17] 雒昆利,李会杰,陈同斌,等. 云南昭通氟中毒区煤、烘烤粮食、黏土和饮用水中砷、硒、汞的含量[J]. 煤炭学报, 2008, 33(3): 289-294.
- [18] 李强,郭飞,莫测辉,等. 贵州省环境中汞污染现状与分布特征[J]. 生态科学, 2013, 32(2): 235-240.
- [19] 2017 年大方县政府工作报告[R/OL]. [2018-09-20]. <http://www.df0857.com/dafang/dafangxinwen/2018/0126/5679.html>.
- [20] 方月梅,张晓玲. 赤水河九仓—中华段污染负荷及水环境容量分析[J]. 湖北理工学院学报, 2014, 30(1): 16-20.
- [21] 季益虎,方宏萍,沈兴鹏,等. 赤水河茅台段水环境趋势分析[J]. 贵州化工, 2012, 37(5): 37-38, 41.
- [22] 蔡宏. 茅台酒水源生态环境变化对水质的影响研究[D]. 成都:成都理工大学, 2015.
- [23] 赵静,唐剑波,黄尚书,等. 赤水河流域水土流失类型区划分及防治对策[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(14): 3369-3371.
- [24] 邹翔,薛小红,赵健. 赤水河流域水土流失特点与分区防治研究[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(8): 12-15.
- [25] 朱恒亮,刘鸿雁,龙家寰,等. 贵州省典型污染区土壤重金属的污染特征分析[J]. 地球与环境, 2014, 42(4): 505-512.
- [26] 耿丹. 织金县煤矿区土壤-农作物重金属污染特征及农作物食用风险评价研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2015.
- [27] 王维. 赤水河上游土壤养分及重金属污染评价:以仁怀市五马镇三元村为例[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2017.
- [28] 何元梅,方六平. 赤水市农牧局报告:竹产业带动一方百姓增收致富[EB/OL]. (2017-01-24) [2018-09-20] <http://www.gzchishui.gov.cn/doc/2017/01/24/117378.shtml>.
- [29] 何婷. 贵州省赤水市竹产业发展的环境影响研究[D]. 兰州:兰州大学, 2009.
- [30] 王发鹏,胡晓红,陈椽. 赤水河赤水市河段的水质状况评价[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(5): 208-211.
- [31] 黄真理. 论赤水河流域资源环境的开发与保护[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4): 332-339.