

# 丹江口水库水环境变化特点及其改善对策

肖 焯<sup>1</sup>, 黄志刚<sup>2,3</sup>

(1. 湖南文理学院 资源环境与旅游学院, 湖南 常德 415000; 2. 遵义师范学院 资源与环境学院, 贵州 遵义 563006; 3. 南水北调中线水源区水安全协同创新中心, 河南 南阳 473061)

**摘 要:** [目的] 探讨南水北调中线工程运行后丹江口库区水环境变化影响因素及其防控对策, 为削弱库区污染负荷, 确保库区水质安全提供参考。[方法] 以丹江口水库周围及上游流域为研究区域, 采用前后对比分析法, 分析水环境变化特征及其主要影响因素, 从而提出保护改善水环境的对策。[结果] 水库大坝蓄水后丹江库区水质总体良好但空间差异显著, 部分入库支流和库湾局部污染较为严重, 氮、磷和重金属元素含量较高。[结论] 丹江口库周局部地区水土流失、农村点源污染、农业面源污染及人类活动是影响库区水质的主要原因。针对库区存在的生态环境问题, 提出了继续稳定实施退耕还林/还草政策, 优化农村产业结构, 加强工矿企业排污监管, 优化监控站点并加强居民环保意识的保护对策和建议。

**关键词:** 丹江口水库; 水质变化; 影响因素; 改善对策

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)06-0218-05

中图分类号: X524

**文献参数:** 肖焯, 黄志刚. 丹江口水库水环境变化特点及其改善对策[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 218-222. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.032; Xiao Ye, Huang Zhigang. Water environment change and its improvement countermeasures in Danjiangkou Reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 218-222.

## Water Environment Change and Its Improvement Countermeasures in Danjiangkou Reservoir Area

Xiao Ye<sup>1</sup>, Huang Zhigang<sup>2,3</sup>

(1. College of Resource, Environment and Tourism, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China; 2. College of Resources and Environment, Zunyi Normal University, Zunyi, Guizhou 563006, China; 3. Water Security Collaborative Innovation Center of Middle Route of South-to-North Water Diversion Project, Nanyang, Henan 473061, China)

**Abstract:** [Objective] The influencing factors of water environment change and its improvement countermeasures in Danjiangkou reservoir area after the operation of the middle route of south-to-north water diversion project were studied in order to provide reference for reducing pollution load and ensuring water quality safety in the reservoir area. [Methods] Taking Danjiangkou reservoir and the upper reaches of the river basin as the study area, the characteristics of water environment change and its main influencing factors were analyzed by using the before and after comparison methods, and the countermeasures to protect and improve water environment were proposed. [Results] After impoundment of the dam, the water quality of Danjiang Reservoir area was generally good, but the spatial difference was significant. Some tributaries and bays were polluted seriously, and the contents of nitrogen, phosphorus and some heavy metals were high. [Conclusion] Soil and water loss, point source pollution in rural areas, non-point source pollution in agriculture and human activities are the main factors affecting water quality in Danjiangkou reservoir area. In view of the ecological environment problems existing in the reservoir area, the protection countermeasures and suggestions are proposed, such

收稿日期: 2019-06-25

修回日期: 2019-07-28

**资助项目:** 国家自然科学基金青年项目“丹江口库区消落带植物群落生态修复模式及机制”(41601583); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2019]105); 遵义市市校联合科技研发项目(遵市科合 HZ 字 268 号); 湖南省自然科学基金项目(2017JJ3219); 湖南省教育厅项目(16C1084)

**第一作者:** 肖焯(1979—), 女(汉族), 湖南省常宁市人, 博士, 副教授, 主要从事湿地碳循环与生态修复方面的研究。E-mail: xiaoye8417@sina.cn.

**通讯作者:** 黄志刚(1978—), 男(汉族), 湖南省安乡县人, 博士, 副教授, 主要从事气候变化和农业水资源高效利用的研究。E-mail: huangzhigang2016@sina.com.

as continuous and stable implementation of the policy of returning farmland to forest or grassland, the optimization of the rural industrial structure, the strengthening of the supervision of industrial and mining enterprises' pollution discharge, the optimization of monitoring stations and the strengthening of the residents' environmental protection awareness.

**Keywords:** Danjiangkou reservoir; water quality changes; influencing factor; improvement strategy

丹江口水库是我国南水北调中线工程的重要水源地,承担着向京、津、冀、豫四省地区的输水任务。水库水质和库区生态环境状况直接关系到受水区居民的用水安全和身体健康。为更好满足调水输水需求,丹江口水库大坝于 2012 年实施加高工程,蓄水位上升致使库周形成落差达 13 m(水位从 157 m 上升到 170 m)的消落带,新增淹没区面积 305 km<sup>2</sup>[1]。库区季节性水位的涨落不仅加速了消落带土壤养分、重金属等污染物在水体中的迁移转化,而且库周大量农田积累的氮磷、重金属、农药等在周期性淹没过程中得以陆续释放。受水土流失、面源污染和人类活动影响,丹江口水库部分汇水区及库湾区域呈现中度及以上程度的水体富营养化,重金属含量也趋于中等生态风险,水质状况未达到 II 类水质要求,一些污染严重的入库支流甚至出现了 V 类水质的情况。本文分析了丹江口水库大坝加高后库区水质变化情况及特

点,探讨了库区水质发生变化的环境原因,同时为改善库区水环境质量提出了合理的对策与建议,对加强库区生态环境建设,保障调水安全具有重要意义。

## 1 库区水质变化情况及其特点

### 1.1 氮、磷含量

水体富营养化是丹江口水库水质的主要威胁。米玮洁等[2]对丹江口水库湖北段十堰市水源地主要入库河流进行水质调查发现该区域水质整体状况不佳,监测的 11 个断面中有 9 个均未到达 II 类水质要求,丹江口库区水体 P 指标为 IV 类水标准(表 1)。张乐群等[3]研究同样发现丹江口水库 2015 年不同入库支流水质状况存在显著性差异,优于 II 类水质标准的监测断面仅达到 70%,部分入库支流局部污染较为严重,其中全年为 V 类和劣 V 类水质的支流监测断面比率各占 4%。

表 1 丹江口水库及入库支流水质监测状况

年份	研究区域	氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	总氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	数据来源
2015	湖北段水源地				米玮洁等[2]
	剑河上游	2.024(劣 V)	0.330(V)	—	
	剑河下游	1.340(IV)	0.216(IV)	—	
	丹江口水库	0.219(II)	0.071(IV)	—	
2015	丹江口水库 16 条入库河流	0.073~6.493	0.02~0.58	0.83~15.50	夏凡等[4]
2016	丹江口水库 62 个典型库湾	—	雨季 0.01~0.56	雨季 0.46~7.83	夏玲玉[5]
			旱季 0.02~0.62	旱季 0.53~7.84	

由表 1 可知,2015 年库区 16 条入库河流水质污染因子以总氮(浓度为 0.83~15.50 mg/L)为主,其次是总磷(浓度为 0.02~0.58 mg/L)[4]。夏玲玉[5]根据 2016 年的监测结果得出库区 62 个典型库湾水体氮磷浓度具有季节性波动特征,雨季总氮(0.46~7.83 mg/L)和总磷(0.01~0.56 mg/L)浓度通常低于旱季,其总氮和总磷浓度分别为 0.53~7.84 mg/L 和 0.02~0.62 mg/L。刘成[6]研究表明,62 个库湾中有 18 个具有中度富营养化,5 个为重度富营养化,1 个已达极度富营养化。由此可见,2015 年和 2016 年丹江口水库及部分入库支流氮磷含量偏高,水质状况已出现不同程度的富营养化。

### 1.2 重金属污染

土壤中富集的重金属随着径流或者淹水条件进

入水体而导致水环境质量恶化的问题,一直是环境科学领域的研究热点。如表 2 可知,与河南省[7]和全国[8]土壤重金属元素背景值相比,2014—2015 年丹江口水库库区和主要入库河流[9]、新增淹没区[10]、库区及其支流[11]主要重金属元素(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As)含量均表现出不同程度的富集趋势。而 2016 年监测的丹江口水库表层沉积物中重金属元素含量(除 Cd 和 Zn 元素外)均低于两个背景值[12],说明此时水体中主要重金属含量降低了,水质得到改善。但 2014—2016 年库区 Zn 元素的污染形势不容乐观,其含量(83.89~319.21 mg/kg)显著高于河南省(62.50 mg/kg)和全国(74.20 mg/kg)土壤 Zn 元素背景值。赵丽等人[9]评价了丹江口水库表层沉积物中 8 种主要重金属元素潜在生态风险,认为中等生态

风险主要位于豫西北和湖北库区的大部分地区。总体而言,2016 年库区水体重金属含量与 2014,2015

年相比已大幅降低,水质得到改善,但空间差异显著,主要以河流入库区水质较差。

表 2 丹江口水库土壤重金属含量对比

研究区	样本数	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	数据来源
丹江口水库库区及入库河流(2014 年)	86	0.84	43.81	34.77	36.85	29.20	83.89	11.42	赵丽等 <sup>[9]</sup>
丹江口水库新增淹没区农田(2015 年)	169	1.04	45.11	24.71	32.52	28.69	73.71	12.64	韩培培等 <sup>[10]</sup>
丹江口库区及其支流(2015 年)	52	1.30	61.73	104.39	28.54	100.68	285.67	73.30	李佳璐 <sup>[11]</sup>
丹江口水库表层沉积物(2016 年)	15	0.24~0.52	32.54~59.32	8.38~15.50	—	10.16~11.93	159.22~319.21	—	李冰等 <sup>[12]</sup>
河南省土壤背景值	—	0.065	63.20	20.00	—	22.30	62.50	9.80	邵丰收等 <sup>[7]</sup>
全国土壤背景值	—	0.097	61.00	22.60	26.90	26.00	74.20	11.20	魏复盛等 <sup>[8]</sup>

## 2 库区水质变化的主要原因分析

丹江口水库从 2014—2018 年丹江口水库入库流量逐年减少,出库流量基本呈增加的趋势。水库汛期来水丰枯不均,秋汛 9 月,10 月来水丰沛。丰水期水质主要受农业面源污染的影响,而枯水期水质主要受人类活动如工农业生产、城镇径流等点源污染的干扰。近年来,尽管政府先后采取了一系列措施(如关停库区重污染企业、退耕还林、生态修复等)以保障库区水质安全,并且取得了良好成效。但是丹江口库周局部地区水土流失、农村点源污染、农业面源污染等生态环境问题依然存在,影响水库水质安全。

### 2.1 库区周围及上游流域的坡耕地水土流失未得到有效的治理

水土流失主要来自植被覆盖度小的坡耕地、荒坡、幼林,以坡耕地最为严重。丹江口库区及其上游流域的水土流失主要发生在库周及汉江干流至汉中盆地周边地区,以坡耕地最为严重,其水土流失面积达到土地总面积的 53.1%,年均土壤侵蚀量为  $1.82 \times 10^8 \text{ t}^{[13]}$ 。研究表明,坡耕地的坡度越大,水土流失越严重,坡度  $15^\circ \sim 25^\circ$  的坡耕地水土流失量为  $6\ 000 \sim 15\ 000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,坡度大于  $25^\circ$  水土流失加剧,治理困难,恢复缓慢<sup>[14]</sup>。杜军等<sup>[15]</sup> 调查分析了 2010—2015 年丹江口水库汇水区土壤侵蚀情况,结果显示土壤重度以上侵蚀强度主要发生在坡度大于  $15^\circ$  的坡耕地。在坡度  $15^\circ \sim 25^\circ$  的坡耕地中实施退耕还林/还草生态恢复工程虽然具有良好的生态效益,但因经济效益很少而难以让老百姓接受,因此有效的水土流失防治措施难以实施。而在坡度大于  $25^\circ$  的陡坡耕地实施退耕还林/还草生态修复工程不仅投入较大且水土流失治理效果并不理想,因而此类坡耕地水土流失情况依旧比较严重。

### 2.2 水库大坝加高后造成的环库消落带局部区域水土流失严重

随着水库大坝加高蓄水,库区淹没面积逐渐扩

大,库区水文情势也随之发生改变,环库区消落带面积逐步增加。在地形、气候与人类活动等多重因素的影响下,环库区消落带局部区域水土流失现象比较严重,已成为影响库区水质的重要面源污染源。随着库区季节性水位的涨落,环库区消落带局部地区由于水力侵蚀作用存在滑坡、崩塌现象。2016 年丹江口水库及上游流域水土流失占流域总面积的 44.8%;环库区 69% 的消落带出现了不同程度的水土流失问题,其中有 23% 的消落带受到强烈及其以上程度的土壤侵蚀<sup>[16]</sup>。水土流失主要发生在降雨频繁、降雨强度较大的雨季,其中 7—9 月的水土流失量占全年总流失量的 70% 左右。总体而言环库区消落带水土流失面积分布范围广,形成原因复杂,强烈的水土流失不仅降低了土壤肥力,而且加剧了水污染,严重的威胁到了生态安全。

### 2.3 土地利用类型多样,农业面源污染问题突出

丹江口库区土地利用类型主要分为农业用地、林地、居民地、草地、灌丛和林地等 6 种类型,其中以农业用地为主。由于山区人多地少,为追求耕地高产出量不断加大化肥、农药施用量。2017 年丹江口市氮、磷、钾肥施用总量达 14 100 t,每  $1 \text{ hm}^2$  平均用量折纯为 315 kg,而氮、磷肥占 95% 以上;农药用量达到 1 431 t,每亩均  $1 \text{ hm}^2$  平均用量 31.5 kg<sup>[17]</sup>。相关研究<sup>[16]</sup> 表明,水源地氮肥施用已经处于风险状态,施用量大的地区土壤酸化严重,致使营养元素流失而污染水体。库区湖北段的农业面源污染主要来自农业种植、农村生活污水、畜禽与水产养殖几个方面,农业面源污染防控的重点是农田氮磷流失。环库区消落带内有近 17 333.33  $\text{hm}^2$  的农田,其化肥使用量为  $188 \sim 356 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,但其利用效率仅为 15%~35%<sup>[18]</sup>。当库区水位上升消落带处于淹没状态时,累积在其中的氮磷物质、重金属和农药等有毒有害物质则逐渐释放到水体中,从而影响水质安全。

### 2.4 工业、城镇村人类活动造成的点源污染加重了环境污染

丹江口水库水位上升会使新增淹没区内因工矿

企业和居民生活的各种固、液废弃物的不合理排放而累积在土壤中的重金属释放到水体中,从而影响库区水质安全。近年来,库区周边城市工业发展迅速,不同工矿企业所排放的废水严重威胁到库区水环境质量。雷沛<sup>[19]</sup>等研究发现皮革和造纸业的COD及氨氮排放量最高,制药、食品和石化企业为丹江口库区贡献了16%~40%的高COD排放量,石化、采掘和冶金则分别为库区贡献了17%~45%的高氨氮排放量,库区的点源污染主要来自生活污水和养殖业。大部分集镇虽然建有污水处理厂但大部分居民生活污水未经处理就直接排放,严重影响到地表水质。此外,库区畜禽养殖业较分散,一些规模化养殖基地发展迅速并转移到库周,畜禽废弃物随意排放、利用率低、无害化处理不及时加重了库周环境污染。汉强等<sup>[20]</sup>研究表明,2014年丹江口典型小流域内人畜粪便总氮污染负荷是流域平均负荷量的13倍。因此合理处理工矿企业废弃物、城镇村居民生活垃圾和养殖场中的畜禽粪便可以有效控制库区点源污染源的排放,保障水库水质安全。

### 3 保护改善库区水环境的对策与建议

综合上述分析,丹江口水库蓄水后水源区面临着水土流失、工农业点面源污染等诸多问题,严重的影响了水库水质安全。针对丹江口库区存在的生态环境问题,提出以下对策与建议,以期通过综合防治水土流失和控制水污染源的排放措施来确保库区水质安全。

#### 3.1 继续稳定实施退耕还林/还草政策,防治水土流失

丹江口水库水源区调整基本农田种植结构,限制耕地过度开发。对于坡度大于15°的坡耕地继续稳定实施退耕还林/还草政策,种植根系发达的香根草、芦苇、狗牙根等优势植物群落以达到护坡固土的作用;对于坡度小于15°的坡耕地,以坡改梯的方式控制水土流失。严禁乱砍乱伐环库周围地区的天然林地,禁止毁林开荒,加强人工林和混交林培育以修复退化林地;在环库区消落带规划种植耐淹水植物构建植被缓冲带以防治水土流失,优化环库生态林保护屏障。

#### 3.2 优化农业产业结构,减少农业面源污染

因地制宜调整库周的农业产业结构,在兼顾经济效益的情况下大力发展生态农业,建立经济果木林。改变传统耕作模式,实施免耕、少耕和秸秆还田等种养结合的保护性耕作方式,减少农药化肥的使用量;加强有机肥、高效肥和生物农药的施用;建设农田生态拦截沟渠,在排水渠中种植高效吸附氮磷植物以净化水质;大力推广种养结合的生态农业混合模式,继

续推广生物肥料生产应用技术,充分利用人畜粪肥,减少农业面源污染。

#### 3.3 加强工矿企业排污监管,控制人类活动的点源污染

完善监管体系,严格控制排污企业的污水违法排放问题;开展科学研究工作,建立适合丹江口水库水质达标的工矿企业污水排放标准。对于造纸、化工、印染等高污染企业,在污水排放区建立人工湿地缓冲区,利用湿地植被吸附分解功能降低有毒有害物质浓度再进行污水系统处理。合理充分利用已经建成的城镇村生活污水处理设施,构建人工湿地以减少生活污水的排放。在库周禁止家禽畜牧的养殖,防止畜禽粪便直接入库造成污染。利用生物技术对生活垃圾、人畜粪便集中堆放发酵沤肥加以农业利用,大力推广农村清洁化生产、美化乡村环境。

#### 3.4 优化监测站点,加强居民环保意识

在入库河流及其支流合理布局监测站点,优化监测设备。利用南水北调中线渠首环境监测应急中心平台,对入库支流、库周、库心的水质进行长期监测以提供预警预报,对各个水质监测站点的水环境进行定期分析、评价其生态风险,构建生态环境监管网系统以达到水质空间化、动态化的监控,便于及时采取有效的防控措施。根据库区流域降雨径流特点,借助流域水文综合模拟模型,结合水量与水质变化情况,综合模拟水库加高前后水环境状况,以便适时预测水环境的变化趋势。各级政府部门也要积极号召丹江口水库及上游区域居民加强环境保护意识,共同做好库区的水土保持与生态环境建设工作,以确保南水北调中线工程的顺利运行。

## 4 结论

南水北调中线工程自2014年通水运行以来,丹江口水库及其上游流域依然存在不同程度的水土流失情况,以坡度大于15°的坡耕地较为严重。由于农业面源污染、工矿企业及城镇村居民生活污水的不合理排放致使库区部分库湾及支流水体氮磷等营养元素含量过高、重金属污染严重。此外,环库区和主要入库河流新增消落带在季节性淹水时溶解吸附了多种类型的污染物致使一些支流污染较重,部分支流与库湾水体已出现不同程度富营养化,加剧了消落带区域经济发展与库区水质安全保障工作之间的矛盾。库区的生态环境优劣直接关系到受水区水质的安全,也决定了南水北调工程的成败。虽然政府采取了一些有效的措施来保障库区水质安全,但是由于跨流域调水运行过程中库线长而曲折,在自然因素和人为因

素的双重作用下依然存在一些环境问题,因此库区水质保障工作依旧十分艰巨,为保障库区水质的安全,需要政府的大力支持及全民的积极参与,采取积极有效的措施进行防治结合,确保库区水质安全。

### [参 考 文 献]

- [1] 王剑,尹炜,强小燕,等.丹江口水库新增淹没区农田土壤重金属生态危害评价[J].环境科学研究,2015,28(4):568-574.
- [2] 米玮洁.丹江口湖北库区水源地湿地植物特征与水质分析[C]//中国水利学会.中国水利学会2015学术年会论文集(上册).中国水利学会:中国水利学会,2015:281-287.
- [3] 张乐群,吴敏,万育生.南水北调中线水源地丹江口水库水质安全保障对策研究[J].中国水利,2018(1):44-47.
- [4] 夏凡,胡圣,龚治娟,等.不同水质评价方法的应用比较研究:以丹江口水库入库河流为例[J].人民长江,2017,48(17):11-15.
- [5] 夏玲玉.丹江口水库库湾水体氮磷对景观背景响应[D].湖北武汉:华中农业大学,2017.
- [6] 刘成.基于土地利用结构的丹江口水库库湾富营养化风险评估[D].湖北武汉:华中农业大学,2016.
- [7] 邵丰收,周皓韵.河南省主要元素的土壤环境背景值[J].河南农业,1998(10):29.
- [8] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等.中国土壤环境背景值研究[J].环境科学,1991,12(4):12-19.
- [9] 赵丽,王雯雯,姜霞,等.丹江口水库沉积物重金属背景值的确定及潜在生态风险评估[J].环境科学,2016,37(6):2113-2120.
- [10] 韩培培,谢俭,王剑,等.丹江口水库新增淹没区农田土壤重金属源解析[J].中国环境科学,2016,36(8):2437-2443.
- [11] 李佳璐,姜霞,王书航,等.丹江口水库沉积物重金属形态分布特征及其迁移能力[J].中国环境科学,2016,36(4):1207-1217.
- [12] 李冰,王亚,郑钊,等.丹江口水库调水前后表层沉积物营养盐和重金属时空变化[J].环境科学,2018,39(8):3591-3600.
- [13] 胡甲均,张玉华.丹江口库区及其上游水土流失现状及防治对策[J].中国水利,2003(13):47-49.
- [14] 高宝林,程胜高.丹江口库区坡耕地水土流失治理模式探讨[J].中国水土保持,2009(12):21-23.
- [15] 杜军,李洪涛,王玉凤,等.河南省丹江口水库汇水区土壤侵蚀动态变化[J].河南科学,2018,36(6):898-903.
- [16] 孔小莉,张华钢,杨德丽.“十三五”丹江口库区生态环境现状及治理对策研究[J].中国环境管理干部学院学报,2017,27(2):26-28.
- [17] 王清,杨冰,陈焰红,等.丹江口库区农业面源污染综合防治现状及生态农业发展探讨[J].湖北植保,2019(1):7-10.
- [18] 张乐群,吴敏,万育生.南水北调中线水源地丹江口水库水质安全保障对策研究[J].中国水利,2018(1):44-47.
- [19] 雷沛,张洪,单保庆,等.丹江口库区及上游COD和氨氮工业污染源解析.长江流域资源与环境,2014,23(2):243-251.
- [20] 汉强,于兴修,王伟,刘航.丹江口库区典型小流域农业非点源污染物输出特征[J].土壤通报,2016,47(2):456-460.
- [18] 钱力,李剑芳.大别山连片特困地区扶贫绩效评价研究:基于安徽省12个县的调研[J].长春大学学报,2018,28(7):7-12.
- [19] 张放,肖田,饶述军.依托资源,准确定位,科学规划,彰显特色,再创辉煌,对传统农业产区南充市发展水果产业的调查与思考[J].中国果业信息,2014,31(10):1-19.
- [20] 王建宏.南充嘉陵:打出脱贫攻坚“组合拳”[J].当代县域经济,2017,17(6):54-55.
- [21] 王莲芬,许树柏.层次分析法[M].北京:北京大学出版社,2008.
- [22] 郭佩霞.民族地区扶贫效益评价体系的构建[J].西南民族大学学报:人文社科版,2009,30(9):52-55.
- [23] 龚淑玲.基于ARMA和GM模型宁夏农民收入增长预测[J].统计与经济,2016,33(4):19-20.
- [24] 詹敏,廖志高,徐玖平.线性无量纲化方法比较研究[J].统计与信息论坛,2016,31(12):17-22.

(上接第 198 页)