

# Analysis of Water Environmental Quality and Monitoring Management in the Great Lakes Basin of East Africa

Xiong Chen<sup>1</sup>, Tao Zheng<sup>2,3</sup>, Shuang Chen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>China University of Geosciences, Beijing

<sup>2</sup>Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu

<sup>3</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: \*schens@niglas.ac.cn

Received: Apr. 20<sup>th</sup>, 2018; accepted: May 2<sup>nd</sup>, 2018; published: May 9<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

With one quarter of the world's freshwater reserves in the three great lakes of East Africa, the rapid growth of the population, urbanization and uncontrolled sewage discharge have caused water environmental problems to become increasingly prominent. In this paper, while thoroughly reviewing the previous research of the water environment of Lake Tanganyika, Lake Victoria, and Malawi/Nyanza, the basic characteristics of the regional water quality were analyzed and summarized based on the monitoring data of the northern district of Lake Tanganyika and the rivers entering the lake: first, the pH and dissolved oxygen of the water body are high; second, the urban rivers are seriously contaminated by domestic waste water discharge; third, the water quality of the lake is good. It also pointed out that water environment monitoring and management has the following problems: lack of networked water quality monitoring in cross-boundary lakes, weak monitoring capabilities in terms of personnel and technology, and need for the monitoring and management institutions and mechanisms to be improved. It is proposed to introduce the river basin water environment monitoring technology in China to the great lakes region to help establish a water environment monitoring, early warning and management system and promote the development of the Green Silk Road.

## Keywords

East Africa Great Lakes Basins, Lake Tanganyika, Water Environment Monitoring, The Belt and Road

---

# 东非大湖流域水环境质量与监测管理问题探析

陈雄<sup>1</sup>, 郑涛<sup>2,3</sup>, 陈爽<sup>2\*</sup>

作者简介: 陈雄(1970-), 男, 北京市人, 硕士研究生学历, 主要从事气候变化国际合作方面研究。

\*通讯作者。

<sup>1</sup>中国地质大学(北京), 北京

<sup>2</sup>中国科学院南京地理与湖泊研究所流域地理学重点实验室, 江苏 南京

<sup>3</sup>中国科学院大学, 北京

Email: \*schens@niglas.ac.cn

收稿日期: 2018年4月20日; 录用日期: 2018年5月2日; 发布日期: 2018年5月9日

## 摘要

东非三个超级大湖淡水贮量占全球四分之一, 区域快速增长的人口、城市化和不受控制的污水排放导致水环境问题日渐凸显。本文在全面回顾坦噶尼喀湖、维多利亚湖、马拉维湖水环境研究成果的同时, 对坦噶尼喀湖北部湖区及入湖河流实地调查数据进行了分析, 结果表明: 1) 区域水体呈现pH值和溶解氧偏高的基本特征; 2) 城市河流受生活污染严重; 3) 湖泊水体水质优良。并指出大湖区水环境监测管理存在如下问题: 跨界湖泊水质联网监测困难、水环境监测人员和技术力量极其薄弱、监测管理机构和机制有待完善。建议将国内流域水环境监测技术引入当地, 协助建立水环境监测预警和管理体系, 促进绿色丝绸之路发展。

## 关键词

东非大湖流域, 坦噶尼喀湖, 水环境监测, 一带一路

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水资源是人类社会健康发展的根本, 良好的水质保障农业、养殖、工业和城镇发展, 也是淡水生态系统及其生态服务功能发挥的基础。自工业革命以来, 水污染问题逐渐由区域性发展为全球性问题, 无论是发达国家还是发展中国家, 都不同程度面临水体富营养化、重金属污染、酸雨等水环境问题。全球 50%的人口受到水污染困扰, 81%的淡水生态系统的生物多样性下降, 改善水质对于减贫、疾病控制和区域可持续发展具有重要作用[1]。非洲是全球人口和城市化增长最快的大陆, 整体处于经济转型和工业化前期, 不受控制的工业和家庭污水排放, 已经引起了地下水和地表水污染相关的巨大挑战(UN-Water), 但是贫困和数据极度缺乏使得水环境相关研究的深度和广度受限。

东非是整个非洲城市化程度最低、同时也是城市化速度最快的区域, 且是全球生物多样性热点区域。近年来随着人口和经济增长速度加快, 水环境压力日益加大, 如坦桑尼亚 GDP 在 2002~2016 年间的平均增速高达 6.2%, 2000 年以来人口平均增速保持在 3.1%; 肯尼亚近十年间的 GDP 平均增速也稳定在 5.2%, 2000 年以来人口增速保持在 2.7%左右。东非地区肯尼亚、坦桑尼亚等国家自古就是海上丝绸之路向西延伸的目的地, 是我国“一带一路”倡议联系的重要地区, 与我国具有密切的经济和贸易往来, 也是我国援建的坦(桑尼亚)赞(比亚)铁路、蒙(巴莎)内(罗毕)高速铁路等重大基础设施建设和布局的地区。本文基于实地调查和文献资料对生态环境敏感的东非大湖地区水环境质量进行初步分析, 旨在填补该地区严重缺乏的水环境数据, 为我国及国际社会开展水环境改善援助项目和基础设施投资建设的环境影响评价等提供依据, 并探讨该地区现有水质监测管理存在的问题。

## 2. 东非大湖分布及水环境状况

### 2.1. 东非大湖概况

东非大湖地区是世界上热带湖泊最大的集聚地(图 1), 包括维多利亚湖(Lake Victoria)、坦噶尼喀湖(Lake Tanganyika)和马拉维湖(Malawi, 亦称尼亚萨湖, Nyasa), 拥有地球表面淡水供应资源总量的四分之一[2]。

维多利亚湖是非洲最大、世界第二大淡水湖, 总面积 68,800 平方公里, 平均水深 40 米, 最大水深约 84 米。有多条入湖河流, 其中最大和最为重要的是卡盖拉河(Kagera River)和卡唐加河(Katonga River)。唯一出湖河流为位于北岸的维多利亚尼罗河(Victoria Nile)。维多利亚湖区是非洲人口最稠密的地区之一, 周围三个国家坦桑尼亚、乌干达和肯尼亚分别管辖该湖区面积的 49%、45%和 6%, 资源开发利用方式主要是渔业、农业及城市用水和水上运输[3]。

马拉维湖位于东非大裂谷的南端, 总面积 28,800 平方公里, 平均宽度 60 公里, 平均水深 292 米, 最大水深 700 米, 是非洲第三大、世界第四深淡水湖[4]。与湖区相连的国家有马拉维(Malawi)、坦桑尼亚(Tanzania)和莫桑比克(Mozambique)。其中, 湖区大部分面积位于马拉维境内, 只有东部和北部一小部分属于坦桑尼亚和莫桑比克[5]。

坦噶尼喀湖也是裂谷型湖, 为世界第二深淡水湖, 最大水深 1470 米, 总面积 32,900 平方公里, 平均长度 677 公里, 平均宽度 50 公里, 平均水深 570 米。主要入湖河流有马拉加拉西河(Malagarasi River)、鲁济济河(Ruzizi River)等, 唯一出湖河流卢库加河(Lukuga River)向西流入刚果河(Congo River)。坦噶尼喀湖为环湖 4 个国家坦桑尼亚、布隆迪、民主刚果和赞比亚共同拥有, 其中在坦桑尼亚部分约占全湖水域的 46% [6] [7]。

### 2.2. 湖泊水环境状况及研究进展

鉴于东非大湖区水资源的重要性, 国际社会和当地政府部门共同组织了若干针对湖泊环境和生态系统的科学研究计划, 1990~2000 年前后较多, 主要面向湖泊中鱼类多样性和独特的进化特征, 同时设立水污染控制专题, 对湖泊水体营养盐、重金属等参数开展了监测分析, 但是针对入湖河流的水质分析缺口较大, 仅限于少数几条河流, 且不具系统性。

对维多利亚湖的水环境监测研究较早。早在 1950 年代引进尼罗河鲈鱼后其水质和污染问题就得到关注, 1990 年代后期, 在世界银行资助下启动了 LVEMP 项目(Lake Victoria Environmental Management Project), 指出水体能见度降低、富营养化、缺氧区形成、沉积物污染、外来物种入侵(如水葫芦)、以及来自农业面源和大气沉降的营养盐输入等水环境问题。

对坦噶尼喀湖的多项研究认为该湖属于贫营养湖, 具有水体永久分层、表层水体营养盐含量低的特征[8] [9], 营养盐和重金属没有对湖泊生态系统造成显著影响, 但近年也有研究[10]指出, 受流域输入和大气沉降影响, 湖水中金属汞污染增加。外源性污染输入已导致河流入湖口和城市附近的湖湾地区浊度增加、水体营养盐浓度上升[9]。在流域层面, 主要针对马拉加拉西(Malagarasi)河流湿地开展过水体理化指标及微生物指标检测, 指出营养盐、浊度和肠道致病微生物指标偏高[11] [12]。目前还没有对于该湖的系统性常规监测, 综合已有研究, 坦噶尼喀湖及其流域的水环境质量面临的问题与挑战包括: 1) 不合理土地利用及农业开发强度提高导致入湖泥沙、营养盐和农用化学品增加; 2) 城乡生活垃圾处置不当、牲畜增多导致水源污染和水源性疾病增多; 3) 城市污染及废水处理设施不足导致城市附近湖区的富营养化; 4) 采矿废物随意排放污染人类、牲畜和野生动物饮用水源及水生生态系统; 5) 水中天然氟含量偏高影响人畜饮用水的适宜性; 6) 人口增长。

对马拉维湖的综合性研究成果大多源于 SADC/GEF 项目, 虽然该项目的目标是探明马拉维湖营养盐对藻类生长动力学的影响, 并最终揭示对鱼类种群动态变化的影响[13] [14] [15], 但指出了入湖河流携带的营养盐及沉积物的影响。金矿等开采、缺乏污水处理设施造成的粪便排放污染、化肥和其它农用化学品使用等是水污染的主要原因。

这些在 2000 年前后完成的项目,为区域水环境基本状况及变化研究提供背景信息,但不能代替系统性监测,而且由于研究目的及采用指标和方法各有不同,数据结果的可比性不强。最近一项研究对处于坦噶尼喀湖和马拉维湖之间的 Rukwa 湖流域地表和地下水质的基本问题进行了诊断[16],发现地表和地下水质的物理指标、细菌类指标较差,化学类指标较好,除了区域地质环境外,采矿、农业生产和城市生活对水质影响明显。该结果对于大湖区域水质及监测参数情况有一定的代表性。

### 3. 坦噶尼喀湖北部湖区及入湖河流水质特征

#### 3.1. 研究区及监测站点位置

坦噶尼喀湖北部湖区指 Rusizi 河入湖口至 Malagarasi 河入湖口之间的区域,范围为 3°20'~5°15'S, 29°05'~29°50'E。北部湖区沿岸自西向东包括三个城市地区,即刚果(金)所属的乌维拉(Uvira)、布隆迪所属的布琼布拉(Bujumbura)和坦桑尼亚所属的基戈马(Kigoma)。湖区北端的布琼布拉是布隆迪首都,也是北部湖区沿岸人口最稠密的地区,其主要产业包括纺织业、啤酒、肥皂和电池制造业等。东岸的基戈马作为横贯东部非洲的中央铁路终点,也是沿湖地区进出口物资中转地,每年有大量物资经基戈马港运往沿湖国家[17]。为了解北部湖区及流域水环境状况,在湖心、主要入湖河流及城市入湖河流上布置 33 个监测点,2011~2014 年间采集水样分析获得溶解氧、悬浮颗粒、营养盐等指标数据,并以所监测水体为单元对数据进行了平均(表 1),研究区及监测点分布见图 1。

**Table 1.** Changes of basic water quality parameters in Lake Tanganyika and related rivers  
**表 1.** 坦噶尼喀湖北部湖区及入湖河流水体基本水质参数值的变化

水体名称	统计量	Ph	DO	EC	SS	TN	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	TP	F-	SO <sub>4</sub>
		/	(mg/L)	( $\mu$ S/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
北部湖区	最大值	9.070	/	/	/	0.294	0.008	0.194	0.018	/	/
	最小值	9.000	/	/	/	0.197	0.000	0.022	0.008	/	/
	平均值	9.042	/	/	/	0.243	0.003	0.092	0.013	/	/
	标准差	0.027	/	/	/	0.032	0.003	0.060	0.003	/	/
Malagarasi 河	最大值	8.440	8.040	502.000	/	1.020	0.316	0.294	0.151	0.298	19.455
	最小值	6.790	4.430	55.000	/	0.312	0.000	0.028	0.012	0.062	3.762
	平均值	7.583	6.697	168.524	/	0.657	0.048	0.082	0.036	0.161	5.426
	标准差	0.439	0.987	118.282	/	0.230	0.072	0.063	0.032	0.070	3.631
乡村河流	最大值	9.590	7.750	840.000	/	2.337	0.167	0.653	0.037	0.144	7.255
	最小值	7.600	6.520	66.300	/	0.337	0.000	0.047	0.017	0.039	4.954
	平均值	8.432	7.248	319.520	/	0.760	0.036	0.173	0.028	0.089	5.957
	标准差	0.662	0.466	283.511	/	0.789	0.066	0.240	0.007	0.045	0.830
城市河流	最大值	10.540	9.420	1272.000	671.000	14.270	0.565	4.299	3.579	/	/
	最小值	8.620	2.310	49.800	47.500	2.570	0.232	0.492	0.031	/	/
	平均值	9.215	6.923	348.900	403.083	5.639	0.424	1.531	0.746	/	/
	标准差	0.678	2.216	422.543	202.738	4.012	0.111	1.305	1.273	/	/

注:北部湖区水质数据于 2011 年 10 月份采集;Malagarasi 河水质数据于 2012 年 6 月份采集;代表性乡村河流 Luiche 河水质数据于 2012 年 6 月份采集,Rusizi 河流采集时间为 2014 年 7 月;代表性城市河流 Mutimbuzi、Kinyankonge、Ntahangwa、Muha、Kanyosha、Mugere 水质数据于 2014 年 7 月份采集;“/”表示该数据缺失。

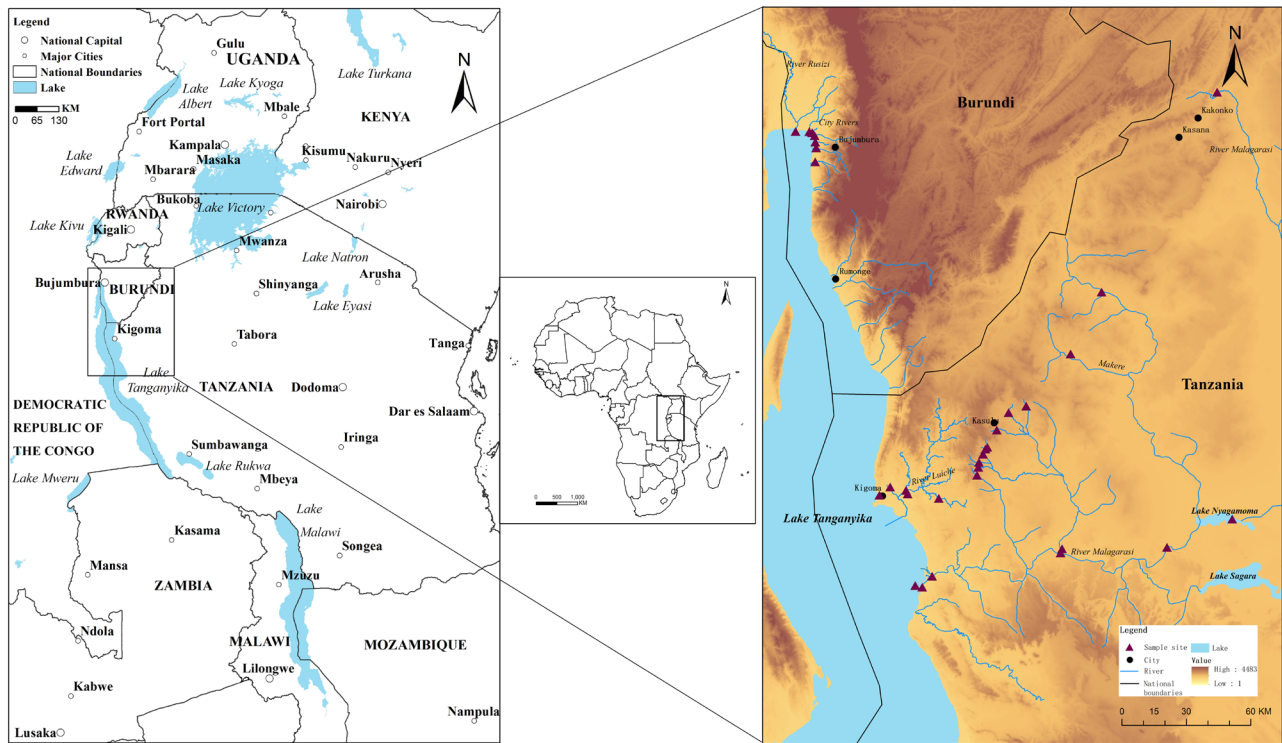


Figure 1. The location of the study area and sampling sites

图 1. 研究区位置及采样点分布示意图

### 3.2. 河湖水质基本特征

#### 1) 水体普遍呈现 pH 值和溶解氧高的特征

与国内地表水水质参数比较, 该区域水体 pH 值介于 6.79~10.54, 略高于我国长江中下游的淡水湖泊, 其中坦噶尼喀湖北部湖区与代表性乡村河流的平均 pH 值较高, 分别为 9.042 和 8.432, 代表性城市河流的平均 pH 值最高, 达到 9.215。水体的电导率(EC)与所含无机酸、碱盐的量存在一定关系, 当它们的浓度较低时, 电导率值随浓度的增大而增加, 数值与水中的阴阳离子总数有关[18]。从该区域水体电导率分析, 水体的总离子含量均较低, 特别是北部的溪流水体, 而一些停留时间较长的湖泊和缓流水体, 由于积聚了流域内的溶解性离子, 导致电导率偏高; 与 Malagarasi 河相比, 乡村河流和城市河流的电导率值也都相对较高。坦噶尼喀湖北部湖区及入湖河流的溶解氧(DO)值都达到我国地表水质量的 II 类标准[19], 较高的溶解氧含量有利于鱼类等需氧生物的繁殖生存。

#### 2) 城市河流受生活污染严重

城市河流受两岸密集的居民生活和农业活动影响, 水体悬浮物浓度高达 403.083 mg/L, 远超出我国《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》中三级标准(50 mg/L) [20]; 城市河流担当排水功能, TN、TP 含量偏高, 平均值分别为 5.639 mg/L 和 0.746 mg/L, 超出我国地表水环境质量 V 类水标准。Malagarasi 河与乡村河流的 TN、TP 含量相当我国地表水 III 类水标准, 坦噶尼喀湖北部湖区则达到 II 类水标准。城市河流平均氨氮值高达 1.531 mg/L, 已对鱼类呈现毒害作用, 对人体也有不同程度危害, 除城市河流外的其余水体氨氮含量介于 0.022~0.653 mg/L, 属于良好状态。

#### 3) 湖泊水体水质优良

坦噶尼喀湖北部湖区水体总磷所测数值多介于 0.01~0.015 mg/L 之间, 该结果与 2009 年所测总磷及 LTBP 项目 1998~1999 年连续监测[21]的平均水平接近。表层水受 Malagarasi 等入湖河流的影响, 总磷含量较深层水要

高,按我国地表水质量标准(GB3838-2002),达 I-II 类水标准,深水区总磷低于 0.01 mg/L,达 I 类水标准。在空间分布上,布琼布拉港口所测总磷含量较高,可能与港口船舶污染有关,而基戈马湾的湖心对照点总磷含量较低。总氮的规律与总磷类似,湖体中以溶解态总氮为主,而受入湖河流和城市污染影响的区域,则颗粒态总氮含量略有升高。按湖库标准,坦湖水体总氮为 I 到 II 类水,低于河道总氮的含量。

东非地区水体中天然氟化物含量偏高,其饮用水质标准中氟化物含量限值(1.5 mg/L)就高于 WHO 限值(0.5 mg/L)。但对 Malagarasi 河与乡村河流的氟化物(以 F<sup>-</sup>计)检出含量并不高,在 0.039~0.298 mg/L 之间,比坦桑尼亚东部城市地区的检出值明显要低,也低于 WHO 的饮用水限值;硫酸根离子的含量在 3.763~19.455 mg/L 间,远低于东部沿海地区,也低于 WHO 饮用水限值(250 mg/L)。所检测水样中硝酸根离子含量整体水平较低,最高值 0.565 mg/L 出现在城市河流,仍远低于我国集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值 10 mg/L,其中北部湖区水体的硝酸根离子含量低于其它水体。

比较湖泊水体、主要入湖河流 Malagarasi、农业区入湖河流 Ruzizi 与 Luiche、以及布琼布拉城市河流的水质参数,明显呈现城市河流的总氮、总磷含量高于一般河流、高于湖泊,而湖泊近岸区浓度高于湖心区,这说明入湖河流是湖泊重要的营养盐来源。

## 4. 现行水质监测与管理问题

### 4.1. 跨界湖泊水质联网监测困难

东非三大湖泊及其流域都是跨界存在,由于水的流动性和湖泊流域一致性,跨界水资源环境管理必须依靠所涉国家之间的协调与合作。在《东非共同体条约》等国际条约框架下,沿湖国家建立了合作组织与机构,如坦桑尼亚、肯尼亚和乌干达三国于 2003 年签订了《维多利亚湖流域可持续发展议定书》,成立了维多利亚湖流域委员会(the Lake Victoria Basin Commission) [22];坦噶尼喀湖沿湖四国布隆迪、刚果民主共和国、坦桑尼亚和赞比亚于 2008 年 12 月成立坦噶尼喀湖管理局(the Lake Tanganyika Authority)。但并不是所有跨界水体都有合作机构,如马拉维湖就没有专门的合作机构来协调沿湖国家,而分由所属国进行直接管理,这势必会导致各种冲突的发生以及流域资源开发和保护效率的降低[23]。而且,跨界流域管理组织本身往往缺乏强有力的政治支持,存在成员国互相推诿、运行经费不到位而运转失灵的问题;由于大部分用于开发和保护流域资源的资金都是来自中央政府和国际合作伙伴的项目支持,并且在项目结束后不再投入,存在资金上的限制;或由于专业和技术局限性、管理效率低而使得一些国际援助项目不得不中止。如 2008 年 UNDP/GEF 共同启动了坦噶尼喀湖环境可持续管理项目,内容包含湖泊水环境一体化监测,但整个项目在中期评估时被中止,联合水质监测规划也不得实施。最近在美国援助下,维多利亚湖沿湖三国自 2017 年开始进行联合水质监测,三国分别组织科研和技术人员同时在湖上巡测,并统一水质参数和采样、分析方法,监测所得水质数据共享,以探索一种政府协调、科学家主导的水环境监测模式。但从长远来讲提升跨界流域管理组织本身的可持续力和行动力仍是今后东非大湖区国家需要努力的[23] [24]。

### 4.2. 水质监测人员和技术力量极其薄弱

由于非洲国家经济实力普遍不强,环境基础设施缺乏,撒哈拉以南非洲国家仅有 31%左右的人口使用改善的卫生设施[25],不受控制的工业和家庭污水直接进入河湖水系,严重影响水环境质量,如维多利亚湖这样的超大型湖泊已出现大面积的富营养化和藻华爆发现象,损害湖泊生态系统健康,也为沿湖居民饮用水安全带来隐患。但是,由于对水作为一种重要资源的价值认识不够,各国政府对于水环境监测和管理的投入不足,人员和技术力量极其薄弱[24]。据笔者团队于 2016 年对坦桑尼亚政府直管的多个水质实验室的调查发现,这些实验室承担各自区域的水环境监测样品的分析测试工作,样本主要来源于饮用水源、水厂原水和出水、污水排放口,可分析测试指标包括:溶解氧(DO)、pH、电导率(EC)、浊度、氮磷营养盐等常规物理化学指标和肠道致病菌微生物指标。

但在实际操作中,除对水厂供水水质有常规监测外,水质监测部门对大范围地表水体没有系统性的常规监测计划。并且由于设备维护、技术支持、试剂供应等多方面原因,可测试指标数量、频率、质量不能得到保证。政府部门管理的整个水环境监测体系也非常不健全,开展常规监测的参数数据缺乏连续性且有较多间断,缺乏技术能力开展包括重金属、持久性有机污染物等复杂参数的检测,不能为管理层和决策者提供对水环境现状的全面、科学的判断,更无法提供高频数据掌握重要水体水质的及时变化。所以,人员、技术、设备等问题仍是东非大湖区国家水质监测能力提升的瓶颈所在,特别是化学实验室相关知识、技术和设备缺乏,普遍有待提升。

### 4.3. 水质监测管理机构、机制有待完善

东非大湖区各国的水质监测部门大多隶属于国家水务部,如坦桑尼亚的水与灌溉部(Ministry of Water and Irrigation)统一管理全国水资源利用,下辖水资源、城市供排水、水质、乡村供水4个职能司,其中水质司负责水质评估、标准和政策制订、技术研究与支持等。上世纪八十年代早期,坦桑尼亚对本国的水资源管理机构进行了改革,主要体现在水资源分散化管理。利用流域划分法,将涉及境内的主要河流(包括向东流入印度洋的 Rufiji 及其上游 Great Ruaha、与莫桑比克的界河 Ruvuma、达累斯萨拉姆市主要饮用水源 Wami 和 Ruvu、北部入海河 Pangani、向东入维多利亚湖的 Kagera、向西入坦噶尼喀湖的 Malagarasi 以及向南入尼亚萨湖的 Songwe)及其支流划分为九大流域加以管理。由于国家对水资源管理权力下放,地方政府和相关职能部门对辖区内水资源管理效率大大提高,肯尼亚和乌干达也分别在 2005 年和 2011 年将本国流域分为 6 个来进行管理[22]。与九大流域管理相匹配,坦桑尼亚水与灌溉部下属水质司在这些分散到全国的流域管理机构下设置水质分析实验室,负责流域内供水、废水及环境水体的监测。但是这种分散管理使得原本薄弱的技术力量更加分散,行业垂直管理效率下降,特别是水质数据的集中、共享管理系统没有建立起来,很难对中央和地方政府的决策形成影响,发挥作用。

在水质评价标准方面,早在 2000 年东非共同体(EAC, East African Community)所属的标准技术管理委员会(STMC, Standards Technical Management Committee)便起草了饮用水安全规定标准,随后又分别在 2012 年和 2017 年进行了第二版和第三版的修订。该标准规定了饮用水测试采样的方法和要求、水体理化指标和生物指标范围限度和放射性物质限制标准等,同时也对水源地的选址、建设和运行等工作做出规定,使其免受污染[26]。虽然该标准给予各成员国水质管理方面较大指导,如肯尼亚参照该标准制定了本国的饮用水安全管理条例[27],但由于东非共同体发布的水质监测标准较为严格(接近于 WHO 标准),不同国家的水质监测技术与条件有所差别,导致部分成员国(如坦桑尼亚)在制定本国饮用水监测标准时,安全标准会低于东非共同体的标准[28]。而且在实践中发现,饮用水标准与当地水质特征结合方面还存在进一步提升和改善的空间,对于环境水体,并没有适合当地的可参照标准。

## 5. 结论及建议

虽然目前大湖地区除城市河流外的河湖水环境质量总体尚好,但城市岸段湖区已呈现污染特征。随着非盟提出的绿色工业化战略推进,社会经济发展带来的潜在环境影响也将日益突出,东非大湖流域水环境问题应从生态系统管理出发,加强联网式水环境监测和管理体系建设。随着我国“一带一路”倡议的实施,越来越多的中国企业进入非洲,一些重要基础设施建设工程在非洲实施。与当地政府和研究机构展开合作交流,将国内流域水环境监测和分区防控技术引入当地,协助建立水环境监测、预警和管理体系,将极大提升当地水资源和环境管理能力,推动绿色丝绸之路的建设。

### 基金项目

国家国际科技合作专项“中国-联合国合作非洲水行动-非洲典型国家和流域水资源生态保护和技術合作”,负责人陈爽,批准号 2010DFA92800;中国科学院海外基地项目“东非大湖流域水环境与土地可持续利用”,负责人陈爽,批准号 SAJC201319。

## 参考文献 (References)

- [1] Organization for Economic Co-Operation and Development. Diffuse pollution, degraded waters: emerging policy solutions. Webinar: OECD, 2017.
- [2] BOOTSMA, H. A., HECKY, R. E. A Comparative introduction to the biology and limnology of the African Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 2003, 29(2): 3-18. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(03\)70535-8](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70535-8)
- [3] SCHEREN, P. A. G. M., ZANTING, H. A. and LEMMENS, A. M. C. Estimation of water pollution sources in Lake Victoria, East Africa: Application and elaboration of the rapid assessment methodology. *Journal of Environmental Management*, 2000, 58: 235-248. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0322>
- [4] GUILDFORD, S. J., HECKY, R. E., TAYLOR, W. D., et al. Nutrient enrichment experiments in tropical Great Lakes Malawi/Nyasa and Victoria. *Journal of Great Lakes Research*, 2003, 29(3): 89-106. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(03\)70541-3](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70541-3)
- [5] CHIDAMMODZI, C. L., MUHANDIKI, V. S. An indicator framework for assessing the technology aspect of Integrated Lake Basin Management for Lake Malawi Basin. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 789-801. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.021>
- [6] BRION, N., NZEYIMANA, E., GOEYENS, L., et al. Inorganic nitrogen uptake and river inputs in Northern Lake Tanganyika. *Journal of Great Lakes Research*, 2006, 32(3): 553-564. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2006\)32\[553:INUARI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[553:INUARI]2.0.CO;2)
- [7] GOURGUE, O., DELEERSNIJDER, E. and WHITE, L. Toward a generic method for studying water renewal, with application to the epilimnion of Lake Tanganyika. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2007, 74(4): 628-640. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.009>
- [8] PLISNIER, P. D., CHITAMWEBWA, D., MWAPE, L., et al. Limnological annual cycle inferred from physical-chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia*, 1999, 407: 45-58. <https://doi.org/10.1023/A:1003762119873>
- [9] CHALE, F. M. M. Trace metal concentrations in water, sediments and fish tissue from Lake Tanganyika. *The Science of the Total Environment*, 2002, 299: 115-121. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00252-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00252-8)
- [10] CONAWAY, C. H., SWARZENSKI, P. W. and COHEN, A. S. Recent paleorecords document rising mercury contamination in Lake Tanganyika. *Applied Geochemistry*, 2012, 27: 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.11.005>
- [11] MTUI, G. Y. S., NAKAMURA, Y. Physicochemical and microbiological water quality of Lake Sagara in Malagarasi wetlands. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2006, 1(2): 174-180.
- [12] NKOTAGU, H. H., ATHUMAN, C. B. The limnology of the Lake Tanganyika sub catchment. *Tanzania Journal of Science*, 2007, 33(1): 19-26.
- [13] BOOTSMA, H. A., HECKY, R. E. Nutrient cycling in Lake Malawi/Nyasa. Water quality report: Lake Malawi/Nyasa biodiversity conservation project. Southern African Development Community/Global Environmental Facility (SADC/GEF), 1999: 215-241.
- [14] BOOTSMA, H. A., JORGENSEN, S. E. Lake Malawi/Nyasa: Experience and lessons learned brief. In: NAKAMURA, M., Ed., *Managing Lake Basins: Practical approaches for sustainable use*, 2005: 259-276.
- [15] KINGDON, M. J., BOOTSMA, H. A., MWITA, J., et al. River discharge and water quality. In: BOOTSMA, H. A. and HECKY, R. E., Eds., *Water quality report, Lake Malawi/Nyasa biodiversity conservation project*, SADC/GEF, 1999: 29-69.
- [16] Williams. Real estate management. Lake Rukwa basin integrated water resources management and development plan. Atlanta: WREM, 2016.
- [17] 余成. 坦噶尼喀湖北沿湖地区土地利用对水环境的影响研究[D]: [博士学位论文]. 中国科学院大学, 2016.
- [18] 李宗杰, 宋玲玲, 田青. 武威市降水 pH 值和电导率对沙尘天气的指示意义[J]. *中国沙漠*, 2017(3): 546-553.  
LI Zongjie, SONG Lingling and TIAN Qing. The guiding significance of pH value and conductivity of rain in Wuwei city to dust weather. *Journal of Desert Research*, 2017(3): 546-553. (in Chinese)
- [19] GB3838-2002 地表水环境质量标准[S].
- [20] GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [21] CHALE, F. Studies in Tanzanian waters. <http://www.ltbp.org/FTP/PSS4.PDF>, 2018-04-10.
- [22] United Nations Economic Commission for Africa. Enhancing water resources management through inclusive green economy: The case of Lake Victoria Basin. Addis Ababa: UNECA, 2016.
- [23] African Great Lakes Information of Platform. Lake Malawi/Niassa/Nyasa. <https://www.africangreatlakesinform.org/article/lake-malawiniassanyasa>, 2018-04-10.
- [24] Pan Africa Chemistry Network. Africa's water quality: A chemical science perspective. Nairobi: PACN, 2010.
- [25] UNEP. Africa water atlas. Division of early warning and assessment (DEWA). Nairobi: UNEP, 2009.
- [26] Standards Technical Management Committee. Potable water—Specification. Arusha: STMC, 2017.
- [27] KS EAS 12: 2014 Potable water—Specification.
- [28] TZS 789: 2008 Potable water—Specification.