

衡水湖富营养化特征分析及水质改善对策

丁二峰,李 曼,张爽娜,张新潮

(河北省衡水水文水资源勘测局,河北 衡水 053000)

摘要 通过千顷洼流域污染调查,分析衡水湖水体营养盐的主要来源,从营养物质、水量交换和浮游植物三个方面对该水体的富营养化特征进行讨论,提出水体富营养化的改善对策,为衡水湖综合治理提供科学依据。

关键词 衡水湖;富营养化特征;水质改善对策

中图分类号 X524 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)S1-0079-04

衡水湖原称“千顷洼”,是衡水市唯一一座大型平原水库,集调节气候、科学研究、生态旅游、电厂工业用水源为一体。目前,衡水湖规划计划和开发利用的相关研究较多^[1-3],而对其水环境现状尤其是富营养化特征和水质改善途径方面的研究相对少得多^[4-5]。作为南水北调工程规划中的一个调蓄水源地,应对衡水湖水体的富营养化给予足够重视。

笔者对衡水湖的富营养化特征进行分析并提出水质改善措施。

1 基本情况

衡水湖位于河北省衡水市境内,地理位置在东经 115°30′~115°40′,北纬 37°33′~37°40′之间,南靠冀州市,北临衡水市,湖泊总面积 75.0 km²。中隔堤将整个湖泊分为东、西两个湖区(图 1)。东湖又被一条人工堤分为大库和冀州小库两部分,总设计库容 1.23 亿 m³,大库面积 32.4 km²,小库面积 10.1 km²;西湖面积 32.5 km²,设计库容 0.65 亿 m³,目前未蓄水,主要被农作物和部分养殖场、乡镇企业所占用。

衡水湖自然保护区是华北平原第一个内陆湿地自然保护区,2002 年被纳入联合国教科文组织中国人与生物圈保护网络,2003 年被国务院批准成为国家级自然保护区,2004 年被水利部批准为国家级水利风景区。近些年来,衡水湖的水环境问题日益严峻,受到有关部门密切关注。几乎每年的 7、8 月份,随着水温的升高,水质急剧恶化,大量浮游生物迅速繁殖,生长区占据近 2/3 湖面,并逐渐由浅水区向深水区发展。DO 降低,COD 增加,富营养化程度加

剧。尤其遇到闷热天气,大量生长香蒲区域的水变成灰白色,散发刺鼻臭味,鱼类死亡,水体发生明显污染,严重威胁着水资源的正常使用^[6]。

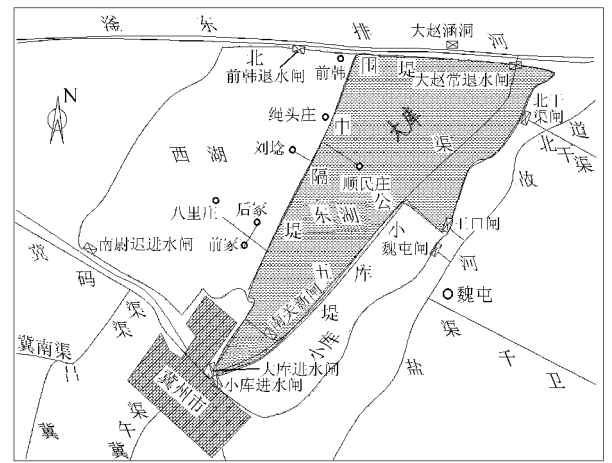


图 1 衡水湖示意图

2 主要污染源

衡水湖的营养物质主要源于引水沿线输入、湖区周边排污、养殖产业污染等,现从污染物的产生及输入途径入手,将污染源归纳为以下几个方面。

2.1 通过调水进入湖区的污染

衡水湖地处暖温带大陆性、半湿润半干旱季风气候区,多年干旱指数为 2.36~2.76,气候干燥,自然水源补给严重不足,跨流域调水是衡水湖水资源的唯一保障方式。“引黄济冀”已开展十余年,引水路线经过几次调整优化,但沿线上仍存在多点污染源:①引水途经枣强县城和“皮毛之乡”大营镇,城内生活污水及皮毛洗染废水直接或间接排入引水渠道,

作者简介:丁二峰(1983—),男,河北河间人,助理工程师,主要从事水环境监测及水资源评价工作。E-mail: dingerfeng_1123@163.com

进入衡水湖。②引水途经广大农村地区,对于以农业为主而又干旱少雨的北方来说,湿润的河床内拥有大片植物资源。据初步估算,沿线河床内放养牲畜的农户有近 100 家,拥有大小牲畜 3 000 头左右^[7],取平均排污系数为:TN 1.0 g/(头·d)、TP 0.2 g/(头·d),则每年排入河床的 TN、TP 分别为 900 kg、200 kg。这些营养物质溶进土壤后会随黄河水的冲刷逐渐进入衡水湖。

2.2 网箱养鱼产生的污染

衡水湖的网箱、拦网养鱼曾广泛分布于东湖大库中南部及小库内,其中网箱养殖面积 0.24 km²、拦网养殖面积 4.27 km²。主要养殖鲤鱼、鲢鱼等杂食性品种,以人工投饵饲养。按照投放 100 kg 饲料计算,约有 13~15 kg 直接散失于水中,75~85 kg 被鱼捕食。其中用于增加鱼体重的饲料仅为 25~35 kg,而用于维持生命的为 41.6~48 kg 饲料会和未被消化的 10.4~12 kg 饲料以排泄物形式进入水体。资料表明,饵料中含氮量占总量的 4.5%,含磷量占总量的 7%,以每年投饵 400 万 kg 估算,网箱、拦网养鱼每年向湖内输入的 TN、TP 分别为 12.6 万 kg、19.6 万 kg。这些营养物质有的直接被水溶解影响水质,有的形成污泥给二次污染带来内源^[8]。

2.3 工业源污染

衡水湖东湖严禁一切形式的排污,但在小库上游的冀码渠上仍有化肥厂、化工厂等 11 处排污口^[9]。平日进水闸关闭,污水不能进入湖区,一旦上游来水,所有积存在河道内的污水会汇入小库,造成鱼类大量死亡,对库内水质影响严重。

2.4 其他污染源

衡水湖每年接待各地游客近 20 万人,部分游客随意抛弃杂物到湖中,湖中心的顺民庄、梅花岛等地居民直接将污水排入湖内,湖区周边农田里的营养盐随降雨产流汇入湖中,每年养鱼塘的清池换水及使用消毒剂等都会给水体带来营养物质,破坏湖内生态平衡,使水环境恶化。

3 水质现状

衡水湖水面广,平均水深浅(约 2.0 m),在湖流和风的作用下,水质垂向上变化不大。2007 年 8 月至 2008 年 7 月间,每月月初对衡水湖 7 处站点进行采样分析。监测表明,全湖 pH 值为 7.53~9.21,而且仅有一站两月次 pH 值低于 8.0,属偏碱性水。水质综合评价为 V 类水,达不到水环境质量标准^[10] III 类水的指标主要是 TP、TN 和 COD。尤其是南关新闸一带水域,网箱密度大,湖水流动性差,导致水体营养丰富,藻类生长旺盛,水环境恶化。

4 富营养化特征

湖泊、水库的营养化特征有多个方面,但从衡水湖的实际情况出发,仅从 TP、TN 及浮游植物群落方面来讨论其富营养化特征。

4.1 营养物质特征

4.1.1 磷含量特征

磷通常是水体中植物生长繁殖的制约因子。采用 1998~2007 年 TP 监测资料,每年双月监测,全年共监测 6 次。为计算年内变化规律,按月份计算平均值,得出 $\rho(\text{TP})$ 年内变化趋势,如图 2(a) 所示。

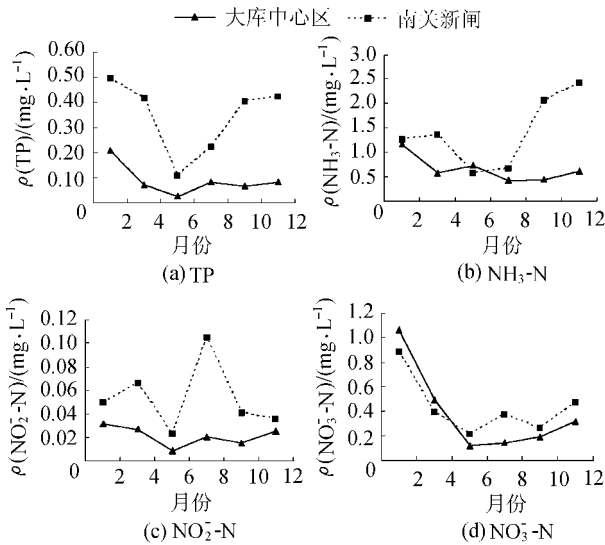


图 2 TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 变化趋势

由图 2 可见,衡水湖水体 TP 全年基本都处于超标状态,南关新闸区年均值超标 5.8 倍,大库中心区年均值超标 0.8 倍。年内变化情况为:从 2 月到 6 月逐渐降低,6 月到 8 月变化不大,8 月到 12 月逐渐增大。水体中 TP 的年内变化规律受外来引水、水温等影响较大。每年的‘引黄’工作大都在 12 月到次年 2 月展开,黄河水的引入不但影响了‘湖流’,而且水中还夹杂着大量的含磷物质,于是 TP 浓度的最大值出现在 2 月份左右。其次 TP 还受水温影响。每年的夏秋季节湖水温度较高,湖内大量藻类等浮游植物生长旺盛,促进了磷化合物转化,使水体中磷含量基本稳定。

4.1.2 氮类化合物特征

采用衡水湖 1998~2007 年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的水质资料,计算出月均值,分析‘三氮’的年内变化特征,如图 2 所示。

与磷含量特征不同的是硝酸盐氮受调水影响比较严重。调水刚结束后 $\rho(\text{NO}_3\text{-N})$ 达到最大,到 6 月份下降至最低值。之后随着温度的升高开始增加,一直到年末由于植物腐烂、库容降低而持续增加。而

$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 的变化则有一定的关联性。受水体 pH 值较高,某些生物固氮、氨化、硝化作用等共同影响,6~8 月水体中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化速率加快,其浓度平稳降低,而 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 则平稳上升。到 10 月份左右植物枯萎腐烂,释放大量含氮化合物(以铵盐为主),使水体中 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 增加到 8 月的 2~5 倍。一直到 12 月份,由于温度降低,各种生化反应速率较低,所以各类含氮化合物浓度较平稳。

4.1.3 氮磷比

氮、磷浓度的比值与藻类增殖有密切的关系。据资料显示,当湖水的 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 比值在 10~15 的范围时,藻类生长与氮磷比值成直线相关;当湖水的 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 在 12~13 时,藻类增殖速度最快^[11]。若浓度之比小于或大于此值,则藻类生长会受到一定限制。表 1 是 2003~2007 年衡水湖不同水域氮磷比情况。

表 1 衡水湖不同水域氮磷比

站点	月份	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$
大库湖心区	2	5.11	0.11	45
	4	4.74	0.02	250
	6	1.49	0.04	42
	8	1.71	0.04	39
	10	1.27	0.06	22
	12	2.18	0.03	75
南关新闸	2	4.87	0.23	21
	4	3.51	0.65	5
	6	1.11	0.09	12
	8	3.07	0.34	9
	10	4.99	0.32	16
	12	3.07	0.07	42

如果湖泊的 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP}) > 14$,则通常认为磷是限值性因素。由表 1 可知,这 5 年间大库湖心区的 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 在 22~250 之间,远超过此值,可见湖心区是磷限值性水域。而南关新闸一带水域的 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 在 5~42 之间(受高密度网箱养鱼的影响),这个范围的比值正适合藻类的繁殖,致使每年的 7、8 月份均发生大面积“水华”。

4.2 水量交换影响富营养化特征

水库有无水量交换直接影响其富营养化的进程。水量交换有利于营养物质的稀释、扩散和转移,能有效地改善水库的生态环境。

衡水湖为内陆封闭型汇水湿地,水体自身交换能力差,自然水源严重不足,必须依靠一年一度的调水来维持湿地现状,保证工农业用水。东湖大库设计蓄水量为 9 080 万 m^3 ,而实际年蓄水量在 3 277 万~8 860 万 m^3 之间,每年的水量变化幅度较大,所以调水对改善衡水湖的水质起着重要的作用。图 3 是 1998~2007 年东湖大库水量交换率与水体中氮类化

合物的对照图。通过对照分析,水量交换率与氮类化合物浓度有较好的相关性。水量交换率较高的年份,氮类化合物浓度也较高,而且水量交换率较高的年份,也是调水量较大的年份。这说明调来的黄河水在途中受到了明显的污染,从而导致进入衡水湖的水体中氮类化合物浓度增加。调水是解决衡水湖水源问题的唯一途径,但它所引入的营养物质不容忽视。

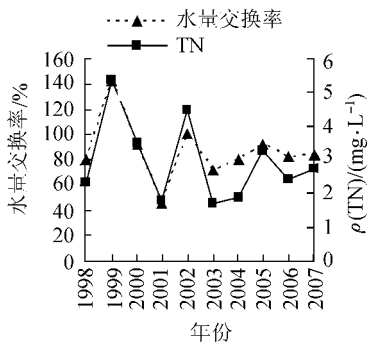


图 3 水量交换率与 $\rho(\text{TN})$ 关系

4.3 衡水湖挺水植物和浮游植物特征

4.3.1 挺水植物

有关资料显示,在引黄河水之前,湖内生长着大量天然芦苇,但引黄开始后,黄河流域的蒲草绒絮随水侵入衡水湖。蒲草地下根系较芦苇粗壮、发达,地上茎部比芦苇粗 4 倍,高 80 多厘米,芦苇面积不断被挤占,蒲草大量繁殖。蒲草通气性强,有助于水体矿化,由图 1~4 可看出,每年 6~8 月的 TP 和“三氮”浓度都会出现一个最低值,正说明了这一点。但是,蒲草在底泥中吸收了大量的营养物质,死亡后得不到有效收割利用,相反,其残骸在湖中腐烂沉积,释放出大量营养盐,反而成了水体营养物质的再生源。

4.3.2 浮游植物

浮游植物的大量繁殖是水体富营养化的又一重要特征,其种类分布、种群数量及密度均为水环境质量评价的重要指标。据调查资料,衡水湖共发现浮游植物 9 纲,52 属,429 种(详见表 2),优势种包括绿藻、蓝绿藻、硅藻。它们分别占该类植物总数的

表 2 衡水湖浮游植物组成

纲	属		种	
	数量	占总属数的百分率/%	数量	占总种数的百分率/%
绿藻	20	38.46	191	44.52
硅藻	11	21.15	111	25.87
蓝绿藻	6	11.54	69	16.08
裸藻	4	7.69	25	5.83
甲藻	3	5.77	9	2.10
金藻	3	5.77	8	1.86
黄藻	3	5.77	7	1.63
松藻	1	1.92	1	0.23
隐藻	1	1.92	8	1.86
合计	52	100	429	100

44.52%、16.08%和 25.87%^[12]。

衡水湖浮游植物的种群数量随水中营养物质及水温变化而呈季节性变化。水的营养物质含量高,温度高,光照足,促使了每年 7、8 月份浮游植物达到生长的高峰期。特别是在南关新闸附近一带水域,几乎整个湖面都被浮游植物覆盖。

5 水质改善措施

衡水湖的水质问题主要是富营养化,由于水质的原因,衡水湖作为衡水市市政用水源地一直无法启用,治理污染是一项非常紧迫的任务。

5.1 实施库区清淤,禁止网箱养鱼

现在东湖大库虽然已经全面拆除了网箱,但养殖期间过剩的饵料和鱼类的排泄物都沉积在湖底,成了水体长久的营养源,另外大量的动植物残骸沉积在湖底,也为营养盐的释放创造了条件,必须加以清除。有计划地清除特定水域的底泥对改善水质和防治藻类过度繁殖是一种行之有效的办法。

5.2 加强调水渠道沿线管理,杜绝外源污染

调水解决了衡水湖自然水源不足的问题,但同时也给水库带来了大量的污染物质、营养盐。加强调水前的勘查论证工作,调整优化引水渠道,封堵沿线排污口显得尤为重要。

5.3 合理投放野生鱼苗,配置野生植物,提升水体自净能力

通过对水生植物的种类、生长面积、密度和数量的科学测算,在植物枯萎前,尽可能对藻类、蒲草、芦苇等进行打捞收割,这样能使部分营养盐退出湖内物质循环,从而逐步降低水中和底泥中的营养盐含量。进一步研究水生植物与放养食草性鱼类的合理比例,既可增加经济效益,又在一定程度上提升了水体自净功能,减缓了湖泊衰老速度。

5.4 严格限制旅游业,取缔东湖大库的旅游活动

随着衡水湖知名度的不断提升,来旅游的游客也逐年递增,旅游业也逐渐成为当地居民一个固定的经济来源,但所带来的污染也逐步显现。随意丢弃湖边的食品、抛入湖中的生活垃圾等都对水质构

成了威胁。应严格按照《饮用水水源保护区污染防治管理规定》中的规定,限制旅游业发展水域,逐步取缔东湖大库旅游经营活动,对防治水体富营养化有重要的指导意义。

5.5 加强水质监测,健全应急预案机制

为了适时掌握衡水湖的水质变化,及时发现富营养化及污染情况,在湖内建立水质连续监测网络,对水体进行定期连续监测,定期报告水质状况,这对研究水环境变化规律,更好地开展饮用水水源地保护工作,防治突发性水污染事故都有举足轻重的作用。

参考文献：

[1] 潘增辉,刘文娟,周清,等. 层次分析法在衡水湖环境功能区划方案遴选中的应用[J]. 水资源保护,2005,21(1): 27-28.

[2] 邓晓梅,秦岩,冉圣宏,等. 衡水湖国家级自然保护区的生态旅游价值研究[J]. 北京林业大学学报,2006,5(1): 45-50.

[3] 冯蕾,白志英,王华山. 衡水湖湿地生态旅游开发研究[J]. 河北林果研究,2006,21(2): 216-218.

[4] 熊洋,张彦增,尹俊岭,等. 衡水湖水质现状评价及趋势分析[J]. 南水北调与水利科技,2007,5(3): 64-66.

[5] 刘振杰. 衡水湖湿地水环境分析及保护[J]. 湿地科学与管理,2006,2(2): 41-44.

[6] 孙焕顷,范玉贞,苑彩虹,等. 香蒲对衡水湖某些水质指标变化特征的影响[J]. 河北林业科技,2006(5): 7-8.

[7] 衡水市水务局,河北省衡水水文水资源勘测局. 衡水市水资源评价报告[R]. 衡水: 衡水市水务局,2006.

[8] 刘潇波,高殿森. 浅析淡水网箱养鱼对环境的影响及对策[J]. 重庆工业高等专科学校学报,2004,19(6): 50-51.

[9] 衡水市水务局. 衡水市城市饮用水水源保护区如何排污口整治方案[R]. 衡水: 衡水市水务局,2007.

[10] GB 3838—2002,地表水环境质量标准[S].

[11] 乔光建. 区域水资源保护探索与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2007: 132-137.

[12] 河北省衡水水文水资源勘测局. 衡水湖湿地生态保护与环境功能研究[R]. 衡水: 河北省衡水水文水资源勘测局,2006.

(收稿日期 2009-01-14 编辑 徐娟)