

衡水湖水体污染特征分析及治理措施研究

尹俊岭¹, 崔希东¹, 乔光建², 张学知¹

(1. 衡水水文水资源勘测局, 河北 衡水 053000 2. 邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要 通过对衡水湖周边水质情况调查, 进行了湖区不同区域、不同水深的水质分析和水体富营养化评价, 阐明衡水湖水污染分布情况以及和一般湖泊的不同之处, 最后提出衡水湖生态修复措施和保护建议。

关键词 水质评价; 污染特征分析; 生态修复措施; 衡水湖

中图分类号: X524; X171 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2008)S1-0040-04

衡水湖自然保护区成立于 2000 年, 面积 18 787 hm², 由草甸、水域、林地、滩涂等多种生态环境组成, 是多种候鸟南北迁徙的路线汇集地和众多珍惜鸟类在华北地区最理想的栖息地。衡水湖是华北内陆具有典型代表性的湿地环境, 也是目前华北平原上最大的淡水湖之一。由于衡水湖供水水源的复杂性与特殊性, 水源完全由人为调度来满足衡水湖生态环境需求, 导致水量调节以及水体自净作用不同于一般的湖泊。分析衡水湖水环境变化规律与水质影响因素, 加强对衡水湖水环境影响因素的研究, 是保证衡水湖水环境良性循环的重要措施。

1 衡水湖形成及水资源现状

衡水湖位于河北省衡水市的冀州与桃城区之间, 原是一片自然缓洪滞沥洼地, 是冀州、枣强、南宫、新河、广宗、威县等地沥水的归宿处, 因而被称为千顷洼。新中国成立初期, 千顷洼面积 120 km², 洼内水面时有时无。洼内有村庄 16 个, 人口 5 647 人, 耕地 4 769.8 hm²。

解放后, 由于大力发展农业的需要, 于 1958 年开始兴建“衡水湖蓄水工程”, 利用千顷洼东部面积 60 km² 蓄水灌溉。1965 年开挖的滏东排河横穿衡水湖北端, 使其面积缩小为 42.5 km², 控制流域面积缩减到 1 487 km²。与此同时流域内用水量越来越大, 致使径流减少, 入湖水量逐年下降, 不能满足灌溉用水要求。为解决衡水湖的水源, 1976 年完成了衡水湖引水枢纽工程, 将滏阳新河、滏东排河来水通过冀码渠顺利的引入衡水湖; 1977 年完成了千顷洼西洼蓄水工程(面积 32.5 km²), 用于存蓄丰水年滏

阳河流域的洪水; 1985 年卫—千引水工程竣工, 通过王口进水闸, 卫运河水可自流引入衡水湖; 1993 年为解决河北省东南部的水资源匮乏, 山东、河北两省达成引黄入冀协议, 衡水市的用水指标 1.0 亿 m³, 用水范围是衡水市滏东六县、市和衡水湖。黄河水通过卫干渠可引入衡水湖。衡水湖近十年各水源来水情况见表 1。

表 1 衡水湖历年引水蓄水情况

年份	衡水湖调水量/亿 m ³				年最高水位/m	年最大蓄水量/亿 m ³
	卫运河	黄河	冀码渠	小计		
1994	0.089	0.09	0.100	0.279	19.00	0.400
1995	0.027	0.048	0.273	0.348	19.89	0.756
1996	0	0	0.646	0.646	20.80	1.142
1997	0	0.502	0.005	0.507	20.20	0.644
1998	0.034	0.600	0	0.734	20.48	0.734
1999	0	0.503	0	0.503	20.05	0.610
2000	0	0	0.500	0.500	20.70	0.806
2001	0.201	0.350	0	0.551	20.65	0.791
2002	0	0.502	0	0.502	20.50	0.740
2003	0	0.352	0.206	0.558	20.68	1.092
2004	0	0.525	0.059	0.584	20.93	1.200
2005	0	0	0.747	0.747	20.93	1.200
2006	0	0.510	0.125*	0.635	20.94	1.204
合计	0.351	3.982	4.333			

* 2005 年冀码渠为引岳城水库水量。

通过近 10 年衡水湖水源供给情况可以看出, 1996 年以前衡水湖的来水以冀码渠为主, 1996 年以后以黄河水为主。在衡水湖诸多水源中, 滏东排河、滏阳新河是流经衡水市的过境河, 卫运河是衡水市也是河北省与山东省的界河, 黄河水是从距衡水湖几百里的山东省聊城境内调来的。由此可见, 伴随着社会经济的发展, 在当地水资源不能满足要求的

作者简介: 尹俊岭(1958—), 男, 河北饶阳人, 高级工程师, 主要从事水文水资源分析与评价等方面的工作。E-mail: Hsj-yjl@163.com

情况下 ,开始外流域调水 ,距离由近及远。

跨流域跨行政区调水 ,调水线路长、成本高 ,衡水湖的用途由农业灌溉改为向工业供水。因该市地下水超采严重 ,部分工业企业改用地表水 ,由于工业企业有能力支付调水费用 ,可以从外流域调水 ,衡水湖才有水可蓄 ,湿地得以保存。

2 衡水湖水环境质量评价

衡水湖供水水源主要通过卫运河、冀码渠调水 ,补充水源不同和流经路线的不同 ,都将对入湖水质产生影响。补水季节和周期不同 ,使湖泊水体自净作用以及水体中各种物质的转换不同于一般的天然湖泊。根据地面水环境质量标准^[1] ,对衡水湖水体不同部位和不同深度的水质评价 ,分析其变化规律 ,为制定和保护衡水湖水环境提供参考依据。

2.1 衡水湖周边水质状况

洼内、冀县两断面分别设在衡水湖周边大赵闸、南关闸附近 ,根据 2003 年监测资料进行分析 ,污染最严重的时段集中在 2~7 月。主要污染物及最大超标倍数为高锰酸盐指数(1.8 倍)、硫化物(7.8 倍) ,超标率分别为 100%、43%、29%。

湖内站主要污染物为 COD_{Mn}、TP、硫化物 ,究其原因 ,除受衡水湖自身有机污染影响外 ,人为影响也较大。尤其近几年旅游开发力度加大 ,湖内人为活动频繁 ,从而使水体水质受到影响。

冀县站主要受总磷和硫化物的影响 ,几个污染较重的月份均为总磷或硫化物严重超标 ,如 4 月份总磷超标达 42.0 倍 ,致使水体为严重污染。

2.2 湖内不同水域水质状况

衡水湖水域宽广 ,湖内有大片香蒲、芦苇等植物群落生长 ,为摸清不同水域水质状况 ,2005 年 4 月、6 月、7 月和 8 月 ,分别选取深水区、荷花区、芦苇区、香蒲区、沉水植物区 5 个有代表性的水域设临时监测断面 ,对水质进行分析化验 ,监测项目有水温、pH 值、氯化物、硫酸盐、溶解氧、硝酸盐氮、高锰酸盐指数、氰化物、砷化物、挥发酚、六价铬、总汞、镉、铅、铜、溶解性铁、硫化物、氟化物、总磷等 19 项 ,采用综合污染指数法进行评价 ,评价结果见表 2。

由表 2 可见 ,2005 年 7 月芦苇区、香蒲区上、下层水质监测资料 ,表层为中污染 ,且下层水质分别为中污染和重污染 ,下层污染明显重于上层 ,主要影响因素为硫化物、总磷浓度升高 ,而溶解氧浓度降低 ,分析原因为植物大量腐烂所致。从监测数据可以看出 ,中、下层总磷浓度明显高于上层 ,分析原因为上层水中的溶解性无机磷首先为浮游植物吸收所致。

表 2 衡水湖不同区域水质评价结果

区域	监测时间				主要 污染物
	4 月 10 日	6 月 7 日	7 月 13 日	8 月 18 日	
荷花区	轻污染	轻污染	中污染	轻污染	高锰酸盐指数、硫化物
芦苇区	轻污染	轻污染	中污染	轻污染	高锰酸盐指数、硫化物
蒲草区	中污染	轻污染	中污染	轻污染	高锰酸盐指数、硫化物、氟化物
沉水植物区	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	高锰酸盐指数、硫化物、氟化物
深水区	轻污染	轻污染	轻污染	轻污染	高锰酸盐指数、硫化物

总磷是植物生长的营养元素 ,水中总磷含量偏高 ,就可能导致藻类的大量繁殖 ,最终促成水体富营养化。对比历年湖心分层水质资料 ,底层水质均劣于表层或中层 ,说明底泥污染对衡水湖水水质影响较大。

2.3 水体富营养评价^[2]

以透明度、高锰酸盐指数、总磷、总氮、叶绿素几项指标评价水库水体富营养化状态。评价采用百分制 ,首先根据监测点项目的实测平均值 ,对照评价标准 ,求得各单项的评分值 ,然后计算水体的总分值。

根据评价标准和评价方法 ,对衡水湖水体富营养化状态进行评价。水库富营养化评分与分类方法参考《全国水资源综合评价技术细则》的标准 ,见表 3。

表 3 湖泊水库富营养化控制指标^[3]

营养程度	评分值	$\rho(\text{Chla})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	透明度/m
贫营养	10	0.5	1.0	20	0.15	10.0
	20	1.0	4.0	50	0.40	5.0
中营养	30	2.0	10	100	1.0	3.0
	40	4.0	25	300	2.0	1.5
	50	10.0	50	500	4.0	1.0
富营养	60	26.0	100	1000	8.0	0.50
	70	64.0	200	2000	10.0	0.40
	80	160.0	600	6000	25.0	0.30
	90	400.0	900	9000	40.0	0.20
	100	1000.0	1300	16000	60.0	0.12

对富营养化评价 ,通常所使用的理化指标主要有营养物质浓度、藻类所含叶绿素、水体的透明度等。虽然判别标准很多 ,评价指标各有不同 ,但总磷和总氮营养物质浓度是最基本的两个指标。通过对衡水湖 2005 年水库水体富营养化评价(受资料限制 ,评价时段没有叶绿素资料) ,富营养化程度为富营养状态 ,只有 6 月份为中营养状态。衡水湖富营养化评价成果见表 4。

2.4 水质评价结果

衡水湖主要污染物为 COD_{Mn}、TP、硫化物 ,其原因除受衡水湖自身有机污染影响外 ,人为影响也较大。

表 4 衡水湖富营养化评价成果

时间	透明度/m	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	评价 分值	评价 结果
2005-04	0.9	14.70	0.03	2.75	52.5	富营养
2005-06	0.8	8.86	0.04	1.20	47.5	中营养
2005-07	0.7	11.50	0.06	1.98	51.8	富营养
2005-08	0.9	12.90	0.04	2.13	51.0	富营养

芦苇区、香蒲区水质较差,植物腐败是主要原因。湖水底层水质劣于表层或中层,说明底泥污染对衡水湖水质影响较大,主要原因是植物大量腐烂沉底所致。

年内水质变化趋势是:7月份是衡水湖水质最差月份,由于水温升高,植物腐烂加剧,水量减少等原因,造成溶解氧降低,总磷、硫化物等物质浓度升高。

3 水生植物对衡水湖水质生态修复作用分析^[4-5]

大型水生植物长期生活在一种低氧、弱光的环境中,其根、茎、叶具有完整的通气组织,保证器官和组织对 O_2 的需要;植物表皮有厚角质层,栅栏组织发达,根、茎、叶表皮细胞排列紧密,增强自身的耐污性和抵抗力,可以抵抗因污染而引起的同化功能下降和水分过分蒸腾等不利影响,如香蒲等。大型水生植物与水体环境相适应的特殊形态结构,使其在水质调控和水生态系统维护方面发挥着重要作用,如作为初级生产者,可通过光合作用将光能转化为有机能,向周围的环境释放 O_2 ,短期储存 N、P、K 等水体中的营养物质,作为水域环境的组成要素,发挥着净化水质、抑制低等藻类生长和促进水中反硝化菌、氨化菌等根茎微生物代谢等多种生态功能。

根据衡水湖水源和水环境特点,要保证衡水湖水环境良性循环,可采取生态修复的生物措施。

3.1 植物对污水的吸收利用、吸附和富集作用

植物在污水中吸收大量的无机氮、磷等营养物质,供其生长发育。污水中氨氮作为植物生长过程中不可缺少的营养物质被植物直接摄取,合成植物蛋白质和有机氮,再通过植物的收割从废水中去除,污水中其余的大部分氮通过系统中微生物的降解而除去,最后氮在系统中的残留并不明显;污水中无机磷在植物吸收及同化作用下可转化为植物的 ATP、DNA、PNA 等有机成分,然后通过植物的收割而从系统中去除。生根植物直接从砂土中去除氮磷等营养物质,而浮水植物则在水中去除营养物质。

植物还能吸附、富集一些有毒有害物质,如重金属铅、镉、汞、砷等,其吸收积累能力为:沉水植物>漂浮植物>挺水植物,不同部位浓缩作用也不同,一般为根>茎>叶,各器官的累积系数随污水浓度的上升而下降。垂直流人工湿地处理低浓度重金属污水的试验表明,风车草能吸收富集水体中 30% 的铜和锰,对锌、镉、铅的富集也在 5%~15%;荠菜根际附着大量的细菌后,能加速硒的富集和挥发,高粱也能利用根际细菌加速硝酸盐、钾和磷酸盐的富集。大多数植物都可以吸收重金属和有机物,并且积累在植物组织内。重金属在一般植物中的积累量为 $0.1\sim 100\mu\text{g/g}$,但也有些特殊植物超量积累重金属。植物对污水中重金属的去除作用还表现在植物的产氧作用使根区含氧量增加,促进了污水重金属的氧化和沉降。宽叶香蒲、芦苇、狗牙根等是人工湿地对铅、锌、铜和锡的超积累优势物,污水中汞和硒可通过植物吸收到体内再转化为气态物质释放到大气中去。

3.2 植物的输氧作用

湿地环境对很多生物来说是一种严酷的逆境,最严重的情况是湿地土壤缺氧。缺氧条件下,生物不能进行正常的有氧呼吸,还原态的某些元素和有机物的浓度可达到有毒的水平。人工湿地中污染物所需的氧主要来自于大气的自然复氧和植物输氧,植物能将经过光合作用产生的氧气通过气道输送到根区,在植物根区的还原态介质中形成氧化态的微环境。这样使得根区有氧区域和缺氧区域共同存在,为根区的好氧、兼性和厌氧微生物提供各自适宜的小生境,使不同的微生物各得其所,发挥相辅相成的作用。

3.3 植物根系分泌作用

植物向土壤环境中释放大量的分泌物,如糖类、醇类、氨基酸等,其数量约占年光合作用产量的 10%~20%。细根的迅速腐解也向土壤中补充了有机碳,这些物质为微生物的生长提供了丰富的营养,促进了微生物的生长,植物的存在使系统中的微生物如硝化细菌、反硝化细菌、磷细菌、纤维素分解菌的数量显著增加。微生物是系统中有机物分解的主要“执行者”,把有机物作为丰富的能源,将其转化为营养物质和能源。因此,植物的存在间接加快了有机物的分解速度,植物根系释放到土壤中的酶可以直接降解有机化合物。

芦苇、香蒲等水生植物有发达的通气组织,向植物根际输送氧气,在植物根区形成特殊的好氧厌氧

环境,适应各种微生物的生长,间接促进污水中各种污染物的降解。研究表明,有植物的湿地系统,细菌数量显著高于无植物系统,且植物根部的细菌比介质处高1~2个数量级。植物的根系分泌物还可以促进某些磷、氮细菌的生长,促进氮、磷的释放及转化,从而间接的提高净化率。

3.4 植物对污水中藻类的抑制作用

藻类是水体中重要的有机制造者,它们死亡后,其残体留在系统中,藻类制造的有机物就很难通过收割等方式转移出系统。藻类自身吸收的氮、磷等元素又重新回到系统中,这样,藻类就缩短了氮、磷等元素的循环周期,严重地破坏了水体生态系统的平衡和稳定,直接影响污水湿地处理系统的效果。宽叶香蒲、风眼莲等植物对藻类有较好的抑制作用,能减少藻类对污水湿地处理工程的不利影响。

3.5 各类植物的协同作用

不同植物对于不同污染物的去除效果各异,如:芦苇可分解酚,香蒲能去除污水中的有机物,无机污染物,可吸收铜、钴、镍、锰及氯化烃;根部能分泌天然抗生物质,降低污水中的细菌浓度,去除病原体;捕蝇草和猪笼草叶边有消化腺,为食虫草类植物;大米草可以吸收污水中80%~90%的氮、磷;芦苇和香蒲能絮凝胶体,消除病原体;其空心茎有利于空气输送到根部,为微生物提供额外的氧。

单一植物的净化能力总是有限的,应选择各物种的合理搭配,发挥各类植物的协调作用。如芦苇通气组织较发达,具有较强的输氧能力,而茭白生长量大,具有较强的吸收氮、磷的能力,芦苇、茭白两种植物混种对污水处理的效果好于种植单一植物。

3.6 植物维持系统稳定

维持人工湿地系统稳定运行的首要条件是保证湿地系统水力传输,植物在这方面起着重要的作用。植物根及根系对介质具有穿透作用,从而在介质中形成了许多微小的气室或间隙,减小了介质的封闭性,增强了介质的疏松度,使得介质的水力传输得到加强和维持。据报道,即使较板结的土壤,在2~5年内,经过植物根系的穿透作用,其水力传输能力仍可与砂砾、碎石相当。植物的生长能加快天然土壤的水力传输,且当植物成熟时,根区系统的水容量增

大,当植物的根和根系腐烂时,剩下许多的空隙和通道,也有利于土壤的水力传输。

4 改善衡水湖水质的措施与和建议

a. 定期清除底泥。由于每年的沉积,目前湖内底泥中富含大量适宜植物生长的营养盐类物质,要定期清除底泥。清除部分底泥可有效的抑制植物,特别是藻类的过度生长。

b. 收割水生植物。当湖内植物生长到一定的时间时应予以收割,使部分氮磷等营养物质退出水循环,从而降低水中的营养盐含量,达到抑制水生植物过度生长的目的。

c. 发展高效无污染农业。合理施用氮肥磷肥,提高农作物根部吸收率,减少淋溶流失等,利用固氮肥料和大量种植豆科作物,适量使用氮化肥以减少入湖的氮磷数量,可以延缓富营养化的进程。

d. 放养水生生物。目前湖内已投放大量的草鱼等水生生物。在此基础上可考虑在植物生长密集区放养对植物食量较大的大型水生生物,即可消耗大量的水生植物,又可起到旅游观光的目的。

e. 加强水质监测力度。由于条件所限,目前衡水湖的监测资料尚不能满足水质保护需要。建议进一步加强衡水湖的水环境监测力度,有条件时建立自动监测系统,全面掌控衡水湖水环境状况,在水质保护方面能够提供迅速、准确、详细的水环境资料,从而提高各级管理部门的快速反应能力,使衡水湖真正成为人类的天堂、鸟类的福祉。

参考文献:

- [1] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].
- [2] 王晓蓉,华兆哲.环境条件变化对太湖沉积物磷释放的影响[J].环境化学,1996,15(1):15-19.
- [3] 刘建江.蘑菇湖水库水环境现状及保护对策[J].水资源保护,2005(3):19-21.
- [4] 田淑媛,王景峰,郎铁柱,等.水生维管束植物处理污水及其综合利用[J].城市环境与城市生态,2000,13(6):54-56.
- [5] 殷梅,陈桂珠.利用水生高等植物净化污水研究与探讨[J].广州环境科学,2002,17(1):6-9.

(收稿日期:2007-12-28 编辑:高渭文)