

文章编号: 1004-8227(2004) 03-0277-05

武汉东湖富营养化现状分析及治理对策

甘义群¹, 郭永龙²

(1. 中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 随着人口的增长和经济的快速发展, 东湖的水环境污染日益严重, 尤其以富营养化的危害最大。采用营养状态指数法, 对武汉东湖十个湖区进行了富营养化评价, 得出富营养化的水体占到整个面积的 62.21%, 中营养的水体占到 37.79%。磷是东湖富营养化的主控因素, 在明确水体中磷富集的主要原因是点源污染的前提下, 分析了东湖现有治理措施和存在的问题, 建议东湖富营养化的治理要因湖区而宜, 在彻底控制点源污染的同时, 结合生态建设, 用人工湿地的方法控制面源污染, 并对富营养化严重的湖区, 采取底泥疏浚工程削减内源营养盐。在东湖富营养化治理的同时, 必须加强对东湖的管理, 健全环境立法, 强化环境监督, 将东湖污染的控制纳入法制化轨道。

关键词: 东湖; 富营养化; 磷; 治理

文献标识码: A

东湖位于武汉市武昌东北部, 地处东经 114°09' ~ 114°39', 北纬 30°22' ~ 30°41', 是长江中下游一个浅水型内陆湖泊^[1]。东湖流域汇水面积约 117 km², 在水位为 19.65 m (黄海高程) 时, 湖面的面积约为 33 km², 总湖容积约 7 250 × 10⁴ m³, 平均水深约为 2.18 m, 最大水深为 4.66 m¹。东湖由十个湖区组成(见表 1), 由于各湖区所处地理位置的不同、湖边开发程度的迥异、人口分布的不均衡等因素, 十个湖区水体富营养化程度有很大的不同, 并且同一湖区内富营养化程度也存在一定差异。本文根据最近一年的监测数据, 首先对东湖各湖区水体富营养化的现状进行评析, 然后在此基础上, 结合东湖现有的治理措施和存在的问题, 提出了东湖富营养化的防治对策。

1 东湖富营养化现状分析

1.1 东湖各湖区富营养化评价

1.1.1 评价方法及资料来源 目前, 湖泊富营养化评价采用较多的有营养物浓度评价、生物指标评价和综合评价三种方法, 前两种方法偏重从某一方面进行富营养化评价, 评价的结果往往比较片面, 而综合评价则是采用多指标进行评价, 能够比较全面地反映出水体的营养状况。综合评价主要有特征法、

参数法和营养状态指数法^[1]。本文采用营养状态指数法对东湖富营养化进行评价。选取 Chla、TP、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N 五个项目作为评价指标。

评价数据采用东湖 2001 年 4 月至 2002 年 2 月, 枯、平、丰三个水期的监测结果, 其中十个湖区的五项评价指标监测值的平均值见表 1。由于菱角湖与大湖完全分开, 这里不做评价, 而郭郑湖被堤坝分割为两片, 一片靠近水果湖, 一片靠近磨山, 故将其分为“郭郑湖—水”和“郭郑湖—磨”两片水域进行评价, 小潭湖位于东湖的北面, 牛巢湖又称团湖。

表 1 东湖十湖区水质评价监测数据
Tab. 1 Water Quality Monitoring Data of Ten Sections in Lake Donghu

湖区名	Chla (μg/L)	TP (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
郭郑湖—水	50.23	0.22	7.94	8.47	1.84
郭郑湖—磨	28.16	0.08	5.67	6.03	0.50
汤菱湖	8.19	0.049	3.49	2.74	0.31
庙湖	42.47	0.52	9.75	12.49	5.63
后湖	12.07	0.05	5.15	2.36	0.67
筲箕湖	18.57	0.13	5.43	4.98	0.49
小潭湖	5.26	0.068	5.35	2.20	0.34
牛巢湖	12.46	0.06	5.37	2.84	0.33
水果湖	83.86	0.54	11.08	12.55	6.29
喻家湖	59.61	0.17	11.30	8.42	3.30

收稿日期: 2003-06-24; 修回日期: 2003-08-25

基金资助: 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划资助。

作者简介: 甘义群 (1977~), 男, 安徽省太湖人, 在读博士研究生, 主要从事环境工程研究。

¹ 李琳, 东湖水体富营养化状态分区评价, 武汉东湖环境管理和富营养化控制研讨会论文集, 2002, 42~53.

1.1.2 评价标准 目前国内尚无统一的富营养化评价标准,根据日本相崎守弘等人修正的营养状态指数^[1],参照国内部分湖泊、水库评价标准,制订东湖水体富营养化评价标准(表2)。

表2 营养状态指数评价评分标准

Tab.2 Grading Standards of Eutrophication

评分 (TSI _M)	Index Evaluation				
	Chla ($\mu\text{g/L}$)	TP (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
0	0.10	0.003	0.96	0.44	0.009
10	0.25	0.005	1.40	0.65	0.017
20	0.64	0.010	2.04	0.96	0.035
30	1.59	0.019	2.96	1.41	0.055
40	3.98	0.035	4.32	2.08	0.102
50	10.00	0.065	6.29	3.06	0.186
60	25.12	0.120	9.15	4.51	0.342
70	63.10	0.223	13.33	6.64	0.630
80	158.50	0.413	19.40	9.78	1.150
90	398.00	0.760	28.25	14.42	2.110
100	1000.00	1.415	41.14	21.25	3.860

表中 TSI_M 为营养状态指数,当 TSI_M ≤ 30, 为贫营养, 30 < TSI_M ≤ 50, 为中营养, TSI_M > 50, 为富营养, TSI_M 数值越大, 富营养化程度越高。

1.1.3 评价结果 针对每一个湖区的评价指标, 参照营养状态指数评价评分标准, 得出东湖各湖区的富营养化评价结果, 见表3。

从评价结果我们可以看出, 富营养化的水体占到整个面积的 62.21%, 中营养的水体占到 37.79%, 而贫营养的水体则不存在。富营养化严重的水体位于人口稠密区、养殖区和湖汊处, 并且其分布在平面上很不均匀, 其程度自西向东递减。

1.2 富营养化成因分析

东湖富营养化主要表现为水体中营养元素超标, 其中又以磷为主控因素。东湖近年来磷浓度监测结果显示, 从 1996 年到 2001 年, 磷的浓度分别为 0.280 mg/L、0.109 mg/L、0.302 mg/L、0.158 mg/L、0.242 mg/L 和 0.261 mg/L, 平均超过国家地表水环境质量标准(Ⅲ类水)达 9 倍之多, 磷的来源可分为外源和内源两类。

1.2.1 外源污染 外源污染包括点源和面源两部

表3 东湖十湖区富营养化评价结果

Tab.3 Eutrophication Evaluation Result of Ten Sections in Lake Donghu

名称	水果湖	庙湖	喻家湖	郭郑湖-水	郭郑湖-磨	筲箕湖	牛巢湖	后湖	汤菱湖	小潭湖
面积(km ²)	0.18	1.74	0.44	12.9		0.94	4.74	5.58	6.12	1.02
TSI _M	82.0	80.0	76.0	74.0	62.0	60.0	52.0	50.0	48.0	48.0
类型	富营养							中营养		

分。东湖现有主要排污口 19 个, 污水总量达 $30 \times 10^4 \text{ t/a}$, 日排放量在 1 万 t 以上的有 13 个。东湖点源污染中磷的污染负荷为 87.8 t/a, 大都集中在东湖的西南部, 1997 年 12 月至 1999 年 1 月各排污口的污水流量及水质监测统计表明, 东湖西南面 10 个排污口的污水流量为 $146\ 408 \text{ m}^3/\text{d}$, TN 排放量为 558.63 t/a, TP 排放量为 50.62 t/a, COD_{Cr} 排放量为 3 167.75 t/a, BOD₅ 排放量为 1 711.0 t/a。

在面源污染中, 湖面降水的磷污染负荷为 $0.091 \text{ g/a} \cdot \text{m}^2$, 地表径流的污染负荷为 $0.116 \text{ g/a} \cdot \text{m}^2$, 养殖投饵的污染负荷为 $0.153 \text{ g/a} \cdot \text{m}^2$, 按东湖现有面积 33 km^2 估算, 由面源污染带入湖中的磷的污染负荷为 11.81 t/a。

可以看出, 东湖的外源磷输入为 99.6 t/a, 其中点源污染占 88% 以上, 是造成东湖富营养化的主要原因。地表水环境质量标准(GB3838—2002)中规定湖泊水质要达到Ⅲ类水标准, 其磷浓度为 0.025 mg/L。由迪隆(Dillon)模型计算可知, 当东湖磷浓度为 0.025 mg/L 时, 其最大容许面积负荷为 $0.44 \text{ g/a} \cdot \text{m}^2$, 水环境磷容量为 14.43 t/a。因此, 相对于东湖水质管理目标而言, 在不考虑底泥营养盐释放的前提下, 磷的外源排放总量应该削减 85.17 t/a。

1.2.2 内源污染 据统计, 东湖水量输入主要有污水排入、湖面降水、地表径流以及农田灌溉回归水等几种途径, 而水量输出则有农田灌溉抽水和水面蒸发等几种形式。据 1999 年研究报道, 东湖入湖水量为 $24\ 173 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是东湖正常容量 $7\ 250 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 3 倍多, 而年出湖水量为 $11\ 172 \times 10^4 \text{ m}^3$, 入湖水量是出湖水量的 2.2 倍。东湖目前磷的输出量为 20.1 t/a, 与磷的输入量 99.6 t/a 相比, 可知每年约有 79.5 t 的磷在湖内累积下来。

东湖底泥厚度在 0.5~1.5 m 之间。其中上层淤泥平均厚度为 0.2 m, 主要是这部分参与和湖水的物质交换过程, 使底泥中的氮、磷释放到水体, 成为较大的内源污染。据测算, 东湖底泥中沉积的氮、磷总量约为 21 823 t 和 1 469.7 t(表 4), 沉积物中磷参加湖体内的循环量是相当大的。

表4 东湖各湖区底泥累积氮磷量 (t)

Tab. 4 Accumulated Amount of Nitrogen and Phosphorus Among Sediment of Lake Donghu

湖区名	总氮	总磷
水果湖	1 208.00	92.65
郭郑湖	11 010.74	694.30
筲箕湖	61.38	16.95
汤菱湖	3 978.43	237.54
后湖	1 234.96	169.76
其他湖区	4 329.71	258.51
总计	21 823.22	1 469.71

2 东湖富营养化治理对策研究

2.1 国内外湖泊富营养化治理现状

目前国内外针对湖泊富营养化的控制技术主要分为三大类: 一是营养盐控制, 这是传统的富营养化控制措施, 对于外源性污染采取截污、污水改道、污水除磷, 对于内源性污染采取清淤挖泥、营养盐钝化、底层曝气、稀释冲刷、调节湖水氮磷比、覆盖底部沉积物及絮凝沉降等一系列措施; 二是直接除藻, 用化学药剂快速杀死藻类, 但藻类死亡所产生的二次污染及化学药品的生物富集放大对整个生态系统的负面影响较大, 一般不宜采用; 三是生物调控和生态恢复, 以浮游动物、鱼类控制浮游植物, 以水生高等植物控制水体营养盐, 同时结合环境工程和生态工程, 恢复受损的生态系统, 提高水体的自净能力^[3]。

在具体的湖泊治理中, 任何单一的措施都很难有效地控制富营养化, 有时甚至还会导致富营养化程度加剧。因此在实际工作中, 通常综合多种治理措施, 以期达到最佳效果。

2.2 东湖富营养化治理现状

东湖富营养化日趋严重, 现阶段所采取的主要对策是对城区生活污水进行截污, 已建和在建的截污工程有:

(1) 沙湖(一期) 污水处理系统: 该工程主要包括一座日处理能力 5 万 m³ 的污水处理厂和 12 km 长的污水收集管网, 主要截取东湖西南面部分污水, 自 1993 年投入运行以来, 点源污染最严重的西南区(也是富营养化最严重的区域) 日排水量减少 71.4%, TN 和 TP 的平衡浓度可分别由 3.45 mg/L 和 0.37 mg/L 降至 1.40 mg/L 和 0.14 mg/L。

(2) 武昌三厂污水处理系统: 该项目正处于建设

中, 主要包括三座污水处理厂, 即二郎庙、龙王嘴、沙湖(二期) 处理厂, 日处理能力分别为 18 万 m³、15 万 m³ 和 5 万 m³。该工程将截取东湖 19 个主要排污口中的 15 个, 截流入湖污水 24.19 万 m³/d。

如果武昌三厂全部投入使用, 将实现东湖点源污染的主体截污。从截流污水量可知, 截污工程可以截走 70.24 t/a 的磷负荷。

2.3 东湖富营养化治理措施探讨

东湖现有的主要治理措施是点源截污, 而对于面源污染和底泥中营养盐的释放没有采取有效的措施进行控制。要改善东湖的富营养化现状, 必须采取综合措施, 对外源性和内源性营养盐进行全面的控制, 同时从生态学的角度实施生态恢复措施。

2.3.1 彻底控制点源污染 在东湖全年磷输入量中, 人为排放造成的磷输入约为 91.9 t/a, 占总量的 92.3%。进入东湖的污水排放量现已超过 30 万 t/a, 东湖主体截污工程全面投入运营后, 只能截流 80% 左右的污水, 在不考虑底泥释放磷的前提下, 每年还有大约 15 t 的过量磷营养盐流入水体, 因此要进一步完善污水处理系统, 力争建设青山落步嘴污水处理厂, 对剩余污水实现有效截流, 同时对暂不具备集中处理的零星入湖污水采取无动力地埋式装置或其他一些因地制宜的工艺, 实现东湖点源污染的彻底控制。

由于排入东湖的生活污水中, 磷的年输入量占总输入量的 60.7%, 而现有的污水处理厂并不能很好地消减污水中的磷含量, 因此从源头控制磷的输入是十分重要的, 要做到减少生活污水中本身磷的含量, 关键是禁止使用含磷洗涤用品^[2]。

2.3.2 建立人工湿地 在东湖外源性磷输入中, 面源输入占 12%, 虽数量上远小于点源, 但其来源多, 范围广, 没有点源污染集中, 控制难度大。在东湖现有的污染治理中并没有采取十分有效的措施控制面源污染。

人工湿地系统水质净化技术是一种生态工程方法, 其基本原理是在一定的填料上种植特定的湿地植物, 从而建立起一个人工湿地生态系统, 当污水通过系统时, 其中的污染物质和营养物质被系统吸收或分解, 使水质得到净化。研究表明, 在进水浓度较低条件下, 人工湿地对 BOD₅ 的去除率可达 85%~95%, COD 的去除率可达 80% 以上, 湿地对 N、P 去除率也很高, 可分别达到 60% 和 90% 以上。而城市二级污水处理厂对 N、P 的去除率仅能达到 20%~40%^[4]。

针对东湖实际情况,综合经济和效益两方面因素,可采用潜流湿地来控制面源污染。在面源污染较集中的东湖东南面构建人工湿地,该处汇集了村民生活污水、农田灌溉渗出水以及水产养殖塘出水,最后排入东湖,为非点源污染源。

人工湿地系统不仅可以去掉污水中的许多营养成分和有害物质,而且是一个循环往复的完整生态系统,基本上不产生无用的废弃物。建立人工湿地的意义一方面在于治理东湖的水污染,更重要的是改善东湖的生态环境,恢复和增强东湖作为旅游景点的资源。

2.3.3 底泥疏浚 湖泊污染时间越长,对外源负荷削减的反应就越慢。有研究表明^[6]:长期的湖泊富营养化会使底泥中的营养物趋向饱和,而一旦底泥磷达到饱和,其在湖泊外源负荷去除后释放极缓慢,可能与其富营养化的时间相当,这意味着恢复时间会很长。有学者研究过^[5],在不考虑底泥营养物质的情况下,东湖水体通过有效的外源控制只需要3年左右的时间就能恢复。然而如果考虑底泥的影响,几十年沉积在底泥中的营养物质持续向水体中释放,然后再通过用水及生物输出,东湖水质需要35年以上才能得到恢复。因此,在东湖外源性污染通过截污工程和面源控制后,底泥中营养盐的控制就显得十分关键。

从理论上讲,清除底泥是最彻底的去除内源营养物的方法,但也是最具风险的方法。疏浚产生的搅动会促进底泥磷释放,而且耗资巨大,因此这种方法要谨慎使用。由于东湖各湖区富营养化的程度不一,可以采取有目的、重点的局部疏浚,应首先对富营养化严重、面积较小的水果湖和庙湖实施底泥疏浚工程。

在疏浚过程中,应合理确定底泥的清除量,一般不宜全部清除掉,以免将大量的底栖生物、水生植物同时清出水体,破坏现有的食物链(网);依据东湖底泥营养盐分布特征,疏浚深度以50 cm为好,厚度为20 cm的上层淤泥是疏浚的重点。疏浚时务必采用

特殊技术和装置,密闭和抽吸是关键,即疏浚器械头部采用类似吸尘器原理结构,以免扰动底泥,影响疏浚效果。疏浚作业最佳施工期宜为初冬至春末,此时东湖处于低水位期,湖面风浪较小,湖泊水团交换缓慢,沉积物基本处于相对静态,有利于高效施工。

2.3.4 管治结合,依法治湖 偏重治理,忽视管理是东湖污染防治面临的一个重要问题。在湖泊的保护中,管理与治理同等重要,当前东湖的管理仍比较薄弱,人为活动缺乏统一规划,形成一面治理,一面又污染的局面,因此必须强化东湖的管理,使其与治理同时并进,否则,只治理不管理,东湖富营养化的程度还会加剧。法制不健全也是造成东湖富营养化的一个重要原因。要彻底改变东湖污染现状,必须加强环境立法,同时要强化环境监督,早日将东湖水污染防治工作纳入法制化的轨道,并制定相配套的政策措施和管理办法,严格把关,在治理的同时坚决控制新污染源的产生。总之,无论采取什么样的技术措施控制富营养化、改善水质,都要进行适当规模的中试工程。不能简单依据有限的实验室结果或理论推算,提出全湖性的治理措施,应该针对东湖不同湖区的现状和功能定位,根据不同的污染来源,各自采取有效的防治措施。

参考文献:

- [1] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范(第二版)[M].北京:中国环境科学出版社,1990.286~302.
- [2] 邵林广,游映玖.武汉东湖水体富营养化现状及其控磷对策[J].武汉冶金科技大学学报,1999,22(2):139~141.
- [3] 王国祥,成小英,濮培民.湖泊藻型富营养化控制技术、理论及应用[J].湖泊科学,2002,14(3):273~282.
- [4] 许春华,周琪,宋乐平.人工湿地在农业面源污染控制方面的应用[J].重庆环境科学,2001,23(3):70~72.
- [5] 姜建国,沈韞芬.截污工程完成后武汉东湖自然净化速率探讨[J].长江流域资源与环境,2001,10(5):460~463.
- [6] Schindler D W. The evolution of phosphorus limitation in lakes[J]. Science, 1977, 195: 260~262.

EVALUATION ANALYSIS AND REMEDY STRATEGY FOR EUTROPHICATION IN WUHAN LAKE DONGHU

GAN Yi-qun¹, GUO Yong-long²

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. The Ministry of Education Key Laboratory of Coal Resource, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The water environment of Lake Donghu is polluted heavily as a result of population growth and economy development, and the problem of eutrophication is serious. Authors make the eutrophication evaluation in ten sections of Lake Donghu, and the results show that eutrophicated water are constitutes 62.21% of total water area, while the area of moderate eutrophication is 37.9%. Phosphorus is the principal factor of eutrophication in Lake Donghu, and spot pollution is the main source of the enrichment of phosphorus in water body; on the base of these, the authors analyze the current measures and existent problems of Lake Donghu. The remedy of Lake Donghu eutrophication should be different with sections. Firstly spot pollution source should be controlled thoroughly, and then the surface pollution source by artificial wetland; to the seriously eutrophicated sections, the bottom deposit should be dredged up to cut internal pollution. At the same time, the management of Lake Donghu must be strengthened, the environmental legislation enforced, and the environmental supervision intensified.

Key words: Lake Donghu; eutrophication; phosphorus; harness

《长江流域资源与环境》 再次入编《中文核心期刊要目总览》

[本刊讯] 通过学科专家评审,《长江流域资源与环境》于近期被确定为地理学类,以及环境科学、安全科学类的核心期刊,编入由北京大学出版社出版的《中文核心期刊要目总览》(2004年版)。2004年版核心期刊研究,被列为“2001年国家社会科学基金项目”。历经两年,有百余名专家和期刊工作者参加了研究,近两千名学科专家参加了核心期刊评审。这次能再次评为中文核心期刊,说明本刊在被引量、被摘量、被引量、它引量、被摘率、影响因子和国内外重要检索工具收录等方面都体现出较高的水平,同时与广大作者、读者以及各界同仁的关心、支持是分不开的。编辑部将竭尽全力,进一步提高刊物质量与水平,再上新台阶。

[又讯] 近期,《长江流域资源与环境》被列入《中国人文社会科学核心期刊要览(2004年版)》环境科学专业核心期刊,期刊综合引证值在46环境科学类期刊中排第3位。