

太湖水域氮、磷环境容量评价

邓小琴

(漳州职业技术学院,福建 漳州 363000)

摘要:最近 20 年来,太湖水质不断恶化,富营养问题日益严重。有效治理太湖当前污染的前提,是查明太湖的污染因子、途径及环境容量。本次研究从生态地质的角度,以太湖水体中水生植物的组成、生态效应分析为依据、以东太湖输出Ⅲ类水为目标,估算太湖水体的 N、P 环境容量,对太湖水体环境容量问题作初步的尝试和探索。

关键词:水生植物;环境容量;水质;太湖;江苏

中图分类号:P343.3

文献标识码:A

文章编号:1674-3636(2008)03-0249-05

0 引言

根据多年的水质监测资料,影响太湖水质质量、导致富营养化加剧的主要化学组分是氮和磷,其中总氮的超标率为 41.7%,总磷为 40%,而重金属和有毒有害组分的含量,如铅、汞、六价铬、氰化物等均优于Ⅲ类水的标准,对太湖水质尚未构成危害。因此,入湖氮、磷的控制是治理太湖污染,也是防止水华爆发、BOD 持续增高的关键。

1 生物在太湖流域氮、磷净化功能中的地位

太湖水域生态系统内部的物质、能量循环过程可通过植物、鱼类和微生物三者构成的食物链清晰地反映出来。其中植物,包括高等植物和浮游藻类是食物链中最基础的一环,也是水中氮、磷等营养物主要的摄取、吸收者。尽管植物和其他生物的代谢产物、死亡残体分解后,氮、磷会重新释放到水中或淀积在湖泊底泥中,但仍有机会再次被植物摄取、利用。除此之外,植物体能够削减水能,使湖水流速变缓,有利于外来泥沙(包括推移质和悬移质)和内源固形物(生物残体和化学沉淀物)的沉积。浮叶植物、挺水植物和沉水植物还能够有效减弱水面风力造成的水下环流(朗缪尔环流),抑制底泥搅动,可避免湖底氮、磷的释放造成的水体内源污染。所以,在高等植物密集区常形成接近静水的湖水环境和良

好的水质条件,并为微生物和鱼类提供了栖居、繁衍的理想条件。总之,植物群落的存在有赖于水体的物理、化学条件,又必然会在不断繁衍发展过程中改造着周围物理、化学条件,使之成为水域生态系统中最具活力、最积极的要素。

不同植物在太湖流域氮、磷净化功能中的地位有很大差别。原因在于,藻类和高等植物无论在个体、种群还是群落水平上,都表现出不同的生态学特点。

①高等水生植物虽然对生境中无机营养盐分的吸收速度较慢,可一旦吸收,就能够长期贮存,其群落的层片结构比较完善,利于对水体和底泥中养分的充分利用。因此,高等植物对 N、P 污染物具有较强的净化功能,使水体保持高透明度和高溶解氧含量的清水状态。

②浮游藻类对养分的需求量较大,但营养物质的保存能力较差,吸收的营养物质大部分都通过死体分解以无机营养物质的形式归还到环境库中,并且在此过程中消耗大量溶解氧。因此,如果 N、P 污染物使浮游藻类大量繁殖,非但不能降低水体中 N、P 污染物的浓度,反而会造成水体透明度下降和溶解氧含量的降低,使水质进一步恶化。

③浮游植物和高等植物间具有竞争排斥性。在某一水域,当浮游植物和高等植物任何一者占优势

收稿日期:2007-07-14;编辑:蒋艳

作者简介:邓小琴(1966—),女,福建连城人,高级工程师,长期从事地质环境研究。

时,都能使生境条件向着有利于自身而不利于对方的方向发展。

④浮游植物更具侵略性。只要有适宜的生境,浮游植物就能够入侵,一旦入侵,就能够通过大量繁殖而迅速加以占据。例如,在光照相对充足的无遮蔽水面,如果外界输入的 N、P 营养物质超过高等水生植物的吸收能力,“剩余”养分就可促进浮游藻类的大量繁殖;即使在高等水生植物分布区,当夏季的高温强光照使水草光合作用减弱,对 N、P 净化功能降低时,浮游植物也会迅速以斑块形式入侵。

2 太湖水域生态系统的环境容量评价

2.1 环境容量概念的提出

环境容量概念最早由日本学者西村肇、中田喜三郎和关野幸于 1968 年提出,其初衷是建立污染物浓度与环境自净能力之间的平衡关系,以实现了对污染物的总量控制,所给出的表达式为

$$Q = k \cdot c \quad (1)$$

式(1)中, Q 为污染物控制总量; c 为环境中污染物浓度; k 为环境容量。

之后,我国学者钟佐燊、田春声等人认为,环境容量是指针对某一规定标准,某环境单元所容许容纳污染物的最大数量。环境的自净能力越强,容量就越大,所能容纳的污染物越多。另外,环境容量还与所拟定的环境标准有关,在相同的条件下,拟定的标准严格、环境容量小,反之亦然。

由上述介绍方法可以看出,环境容量是强调系统的整体性而构建的集中参数系统描述方法。在这一点上,它与污染总量控制的思路是一致的。

2.2 太湖水域生态系统环境容量的计算

太湖水域生态系统是一分布参数系统。在水流的作用下,污染物从入湖一端到出湖河口,会呈现由多污带到中污带和寡污带的分带现象,不同年份各分带的范围大小,所处位置也会有所变动。虽然在定性分析和整体描述时,可忽略其内部结构的细节,认为太湖的水质状况取决于污染负荷的输入,水体的自净能力以及输出溶质的数量这三个方面,并常用各年份水质监测网点的水质平均值表征太湖整体水质年际的水平差异,但落实到具体的保护目标时,时空结构则不能回避。由于太湖存在水质分带现象而不是个混合均匀的水体,这说明建立在集中参数

系统概念基础上的环境容量,用于具有明显分布参数系统特征的污染控制问题时是有前提的,环境容量的计算必然是针对某一特定时期、特定目标和特定约束条件而展开的,不存在普适性的计算结果。

本次研究将目标锁定在东太湖,相关的约束为①东太湖及太浦河水应保持在Ⅲ类水的状态;②太湖东岸一线的水体应处于水草丰茂,水质透明的状态,不能出现水华大规模频发的趋势。基于上述前提,太湖水域生态系统可以近似地概化为一个由输入、输通、输出组成的集中参数系统。利用溶质平衡原理建立外源负荷、湖体截流固定量(能力)及溶质输出量之间的定量关系,即

$$\Delta S = T_{\text{入湖}} - T_{\text{出湖}} - T_{\text{湖固}} \quad (2)$$

式(2)中, ΔS 为当年与前一年全太湖全氮或全磷总量的变化量(t); $T_{\text{入湖}}$ 为当年入湖的全氮或全磷的总量(t); $T_{\text{出湖}}$ 为当年出湖的全氮或全磷的总量(t); $T_{\text{湖固}}$ 为当年全太湖截流固定的全氮或全磷的总量(t)。式(2)中, ΔS 可根据 $\Delta S = V_{\text{湖水}} \times \Delta c_{\text{湖水}}$ 计算得出,其中 $V_{\text{湖水}}$ 为太湖水体总体积,在假定诸年出入湖水量均衡的条件下, $V_{\text{湖水}}$ 为一定值,约为 $44.3 \times 10^8 \text{ m}^3$; $\Delta c_{\text{湖水}}$ 为当年与前一年相比,湖水全氮或全磷的年均浓度的差值,不同的年份的 $\Delta c_{\text{湖水}}$ 可由图 1 的曲线内插获得。 $T_{\text{入湖}}$ 利用中科院提供的数据。 $T_{\text{出湖}}$ 根据 $T_{\text{出湖}} = Q_{\text{出湖}} \times c_{\text{出湖}}$ 一式计算得出,其中 $Q_{\text{出湖}}$ 为出湖总水量,包括河流年排出量和年人工引水量之和, $c_{\text{出湖}}$ 为出湖水全氮或全磷的年均浓度,本次计算采用太湖输出终端——东太湖的资料(表 1)。

由(2)式可以求出 $T_{\text{湖固}}$,即

$$T_{\text{湖固}} = T_{\text{入湖}} - T_{\text{出湖}} - \Delta S \quad (3)$$

有关各年份的 $T_{\text{湖固}}$ 的计算结果列在表 1 中。

诸年的 $T_{\text{湖固}}$ 近似代表了出湖水为Ⅲ类水前提下(表 2),吸收截流外源的负荷量,即环境容量。具体的环境容量如下:1986 年总氮的环境容量为 24 029.0t(占外源输入负荷的 85.5%),总磷的环境容量 1 811.67t(占外源输入负荷的 91.1%);1993 年总氮为 24 953.5t(占外源输入负荷的 81.1%),总磷为 1 312.95t(占外源输入负荷的 75.0%);1998 年总氮为 22 945.6t(占外源输入负荷的 58.6%),总磷为 2 477.98t(占外源输入负荷的 85.9%)。

表1 太湖水域生态系统截流量计算表

项目	年份	$T_{\text{出湖}}$ 计算				ΔS 计算		$T_{\text{湖固}}$	
		$T_{\text{入湖}}$	$V_{\text{流出湖}}$	$c_{\text{流出}}$	$T_{\text{出湖}} = V_{\text{流出湖}} \times c_{\text{流出}}$	$V_{\text{湖水}}$	$\Delta c_{\text{湖水}}$	$\Delta S = V_{\text{湖水}} \times \Delta c_{\text{湖水}}$	$T_{\text{湖固}} = T_{\text{入湖}} - T_{\text{出湖}} - \Delta S$
		t	m^3	mg/L	t	m^3	mg/L	t	t
T	1986	28 106.0		0.65	3 412.5		1.65 ~ 1.50	664.5	24 029.0
	1993	30 635.0		1.04	5 460.0		2.05 ~ 2.00	221.5	24 953.5
N	1998	39 171.3	52.5×10^8	3.31	17 377.5	44.3×10^8	2.34 ~ 2.60	-1 151.8	22 945.6
	1986	1 988.5		0.032	168.0		0.026 ~ 0.024	8.86	1 811.7
P	1993	1 751.0		0.075	393.8		0.071 ~ 0.061	44.3	1 313.0
	1998	2 886.3		0.082	430.5		0.085 ~ 0.090	-22.2	2 478.0

表2 20世纪80年代以来东太湖平均水质情况

采样时间	TN		TP		COD _{Mn}		BOD ₅	
	mg/L	所属级别	mg/L	所属级别	mg/L	所属级别	mg/L	所属级别
1980年	0.65	II	0.030	II	2.87	I	0.98	I
1990年~1991年	1.01	III	0.043	II	5.50	II	1.25	I
1993年~1994年	1.04	III	0.075	III	5.57	II	1.07	I
1997年	1.39	III	0.031	II	5.51	II	—	I

注:数据引自《太湖水环境演化过程与机理》,参考 GB3838-2002

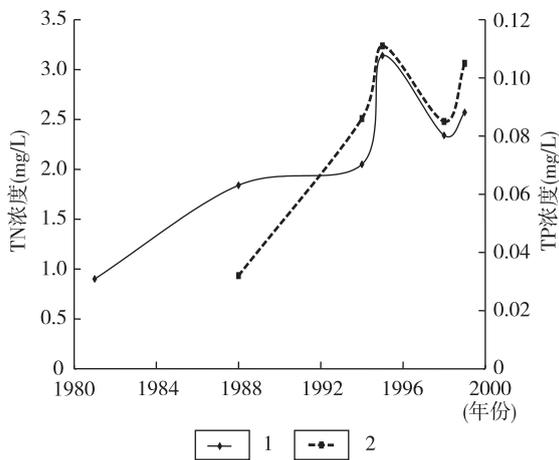


图1 太湖水体 TN、TP 指标变化
1-太湖水体 TN 变化; 2-太湖水体 TP 变化

3 太湖水域生态系统氮、磷外源负荷的总量控制

由上述的讨论可以看出,太湖水体对氮的自净能力主要与高等植物生物量有关,据此,2007年氮的环境容量可采用下式计算。

$$Q_{\text{氮环境容量}} = S_{\text{高等植物}} \times c_{\text{高等植物净化氮效率}} \quad (4)$$

式(4)中, $Q_{\text{氮环境容量}}$ 为东太湖为III类水输出条件下,太湖全氮的环境容量(t/a); $S_{\text{高等植物}}$ 为高等植物生物量(t/a); $c_{\text{高等植物净化氮效率}}$ 为高等植物净化氮的效率或每千克(湿重)高等植物体内氮含量,在东太湖为III类水输出条件下, c 可取0.41g/kg或无量纲系数0.0041。

鉴于2006年高等植物和藻类生物量及两者的比值已明显不同于2001年以前,而且藻类本身净化磷的能力远远大于高等植物。所以磷的环境容量计算应采用下式:

$$Q_{\text{磷环境容量}} = S_{\text{高等植物}} \times c_{\text{高等植物净化磷效率}} + S_{\text{藻类}} \times c_{\text{藻类净化磷效率}} \quad (5)$$

式(5)中, $Q_{\text{磷环境容量}}$ 为东太湖为Ⅲ类水输出条件下,太湖全磷的环境容量(t/a); $S_{\text{高等植物}}$ 为高等植物生物量(t/a); $S_{\text{藻类}}$ 为藻类生物量(t/a); $c_{\text{高等植物净化磷效率}}$ 为高等植物净化磷的效率,在东太湖为Ⅲ类水输出条件下,可取0.000 55或以高等植物单位湿重时的体内磷含量0.55g/kg计; $c_{\text{藻类净化磷效率}}$ 为藻类净化磷的效率,在东太湖为Ⅲ类水输出条件下,取0.009或以藻类单位湿重时的体内磷含量9g/kg计。

经遥感解译,2006年太湖水域生态系统的高等植物生物量为446.5万t,藻类生物量2 605.6t(表3、表4)。计算得出2007年全氮的环境容量为1.830 8

万t。由于没有考虑藻类死亡的固磷能力,全磷的环境容量至少为2 479t。2007年环境容量值的估算是依据两个基本事实而得到的;①最近20年间,太湖水域生态系统外源氮、磷的输入量多变,且有逐渐增大的趋势,受其影响,水质的分布和植被格局也明显改观,但是,单位生物量对氮、磷的净化能力却可保持在某一特定值域内,并表现出环境容量随生物量增减而升降的近似线性关系;②自1986年~2006年的20年间,东太湖一直保持高等植物密集状态,而未因自然和人为的干扰发生明显变化,这一特点不仅是多年来太湖整体自净功能得以发挥,东太湖水质维持稳定的关键所在,也为利用2006年的生物量近似代表2007年的生物量提供了相对的合理性。

表3 2006年太湖水域生态系统高等水生植物生物量

子系统类型	覆盖度/%	密度/(kg/m ²)	面积/km ²	生物量×10 ³ t
高等植物密集区	挺水/沉水/浮叶植物密布区	6.0	106.78	640.67
	沉水植物密布区	≥70	79.64	318.56
	挺水/沉水植物密布区		476.41	2 382.05
高等植物中等区	40~70	2.6	222.61	248.75
高等植物稀疏区	10~40	1.6	478.47	544.45
水生植物稀疏区	≤10	0.5	641.50	330.96
总计				4 465.44

表4 太湖水域2006年浮游藻类生物量统计表

面积/km ²	深度/m	密度/(mg/L)	生物量/t
585.54	0.5	8.9	2 605.63

综合上述正、反两个方面的分析,笔者认为:①2007年太湖外源全氮负荷的总量控制可保持在1.83万t,外源全磷负荷的控制量为2 479t;②为保证东太湖水质全面达到Ⅲ类,必须严加保护东太湖现有高等植物密集区;③为改善全太湖的水质,提高全湖的自净功能,应尽快推广植被人工修复的技术。

参考文献:

- [1] 蔡履冰. 太湖流域水体富营养化成因及防治对策的初步研究[J]. 中国环境检测, 2003, 19(3): 52-55.
- [2] 窦鸿身, 濮培民, 张圣照, 等. 太湖开阔水域凤眼莲的放养实验[J]. 植物资源与环境, 1995, 4(1): 54-60.
- [3] 高怡, 毛新伟, 徐卫东. “引江济太”工程对太湖及周边地区的影响分析[J]. 水文, 2006, 26(1): 92-94.
- [4] 胡洪营, 门玉洁, 李锋民. 植物化感作用抑制藻类生长的研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 153-157.
- [5] 李修岭, 李伟, 李夜光, 等. 几种植物去除高度富营养化湖水中氮磷及抑藻效果的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(1): 53-57.
- [6] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

- [7] 孙自永,徐恒力.干旱区生态地质调查的理论基础
[J].湖南科技大学学报,2005,20(增刊):141-145.
- [8] 徐恒力,孙自永,马瑞.植物地境及物种地境稳定层

[J].地球科学:中国地质大学学报,2004,29(2):239-246.

Evaluation on nitrogen and phosphor volume in Taihu Lake area

DENG Xiao-qin

(Zhangzhou Vocational and Technological College, Zhangzhou 363000, Fujian)

Abstract: In recent 20 years, the water quality in Taihu Lake worsened, eutrophic problem severed, the precondition to control the pollution was to investigate the pollution gene, pollution channel and environmental volume. In light of eco-geology, and based on the water plant composition and ecological effect analyses, the author calculated N and P environmental volume in Taihu Lake area taking class three water output in east Taihu Lake as study object.

Keywords: Water plant; Environmental volume; Water quality; Taihu Lake; Jiangsu

中澳联合研究江苏干热岩地热资源

近日,国际地热协会(IGA)理事、中国能源研究会地热专业委员会主任郑克棧、澳大利亚彼特里特姆股份有限公司经理 Peter Reid 等一行 4 人来到江苏省地质调查研究院就“江苏地区干热岩地热资源开发利用”的可行性进行了研讨交流。

“干热岩(HDR)”技术主要是通过通过在钻孔中以加压的方式将水注入到 3 000m~5 000m 深度的高温岩体(通常为花岗岩)中,这些水被加热呈沸腾状态并通过裂隙从附近的另外一处钻孔中喷出地面,喷出的热水被注入到一个热交换器中将其他沸点较低的液体加热,将生成的气体驱动蒸汽涡轮机进行发电。冷却后的水可以进一步提取热能后再次注入钻孔中循环利用。

有数据表明,地壳中“干热岩”所蕴含的能量相当于全球所有石油、天然气和煤炭所蕴藏能量的 30 倍,利用干热岩发电的成本与以煤炭和天然气为燃料的火力发电站的成本大体相当,是风力发电的一半,只有太阳能发电的 1/8~1/10。目前,欧美许多发达国家正在积极开展干热岩开发试验研究工作。

鉴于干热岩地热资源开发利用的广阔前景,中国能源研究会地热专业委员会与澳大利亚彼特里特姆公司就“中国干热岩地热资源潜力研究”项目进行合作洽谈。此次专家组前来的目的是为了解江苏中高温地热资源赋存的地质条件、对江苏干热岩开发利用的可行性进行调研,以确定下一步工作靶区,开展相关的地球物理勘查和热物理参数测试等研究,进一步评价选区的潜力。据初步研究,江苏省苏北盆地 4 000m~5 000m 深度,地温达到 150℃,局部达到 170℃,显示有一定的中高温地热资源开发潜力。

(徐雪球)