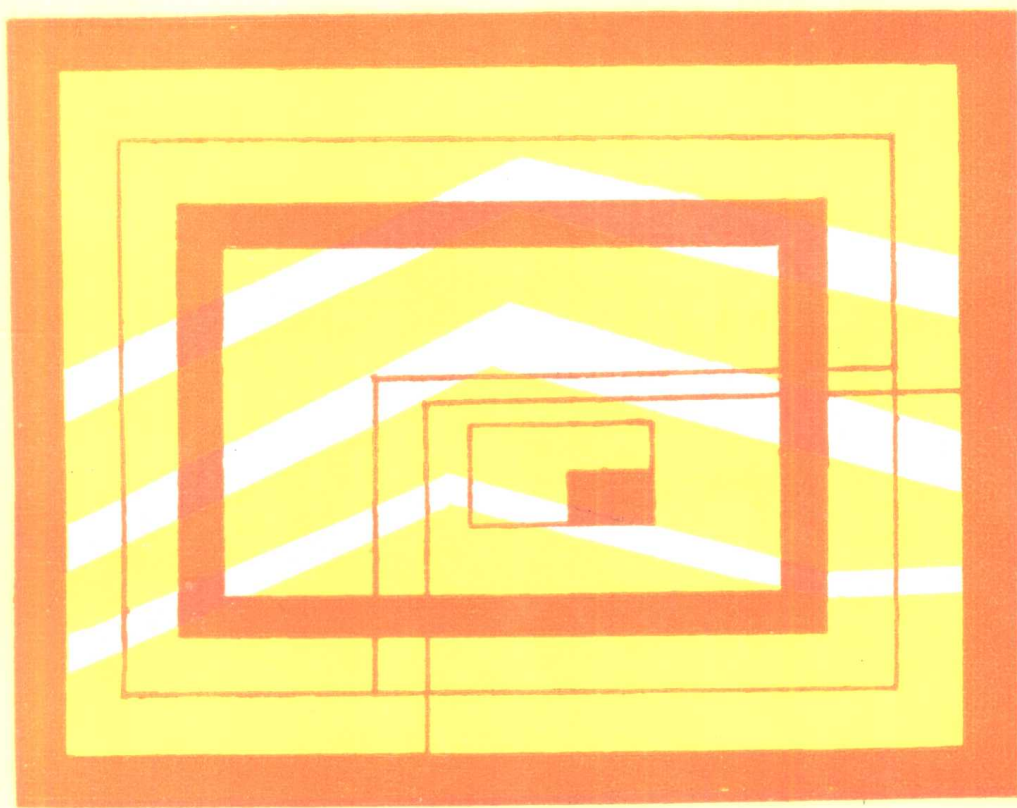


湖泊水库环境 调查研究

(1980—1985)

金相灿 主编



中國環境科學出版社

内 容 简 介

该书是对我国1980~1985年湖泊富营养化调查研究成果和经验的总结,基本上反映了我国在该领域的研究水平。全书收集论文22篇,主要包括杭州西湖、山东东四湖、江西鄱阳湖、武汉东湖、安徽巢湖、湖北洪湖、天津于桥水库、长春南湖、江西甘棠湖、南京玄武湖、云南滇池、内蒙达赉湖、西藏羊卓雍湖、新疆博斯腾湖等湖泊水库水质调查及富营养化的防治对策,基本上覆盖了全国范围。

可供从事环境保护、湖泊水库、水产养殖等部门的科研、监测及管理人员阅读。

中国湖泊水库环境调查研究

(1980~1985)

金相灿 主编

责任编辑 张维平

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

三河县艺苑印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1990年8月 第 一 版 开本 787×1092 1/16

1990年8月 第一次印刷 印张 13 3/8 插页 1

印数 1—2 500 字数 310千字

ISBN 7-80010-643-8/X·337

定价: 6.40元

主 编 金相灿

编 委 (按姓氏笔划为序)

王 云 朱 萱 宋 福 金鹿每 张静芳

苏 睿 徐锐贤 黄昌筑 章宗涉 舒金华

前 言

我国开展湖泊水库的环境调查研究起步较晚, 50年代开始, 有关单位曾在某些湖泊进行过有关湖泊水库的环境问题的调查, 但真正开展由于人类活动而引起水体富营养化的环境问题的调查研究, 是在70年代以后。1978年辽宁大学、辽宁省监测站对辽宁大伙房水库进行了调查, 探讨了水库营养类型划分标准。80年代, 湖北省环保所等单位进行了武汉东湖的调查, 杭州市环保所等单位协作, 开展了西湖富营养化的调查研究和评价。在此期间, 中国环境科学研究院和有关的环保科研监测单位与高等院校协作, 先后进行了江苏太湖、河北白洋淀、重庆万寿湖、北京长河、官厅水库等湖泊水系的富营养化的专题调查。接着, 一些科研、监测部门和高校对云南滇池、安徽巢湖等展开富营养化的调查。之后, 中国环境科学研究院对北京密云水库的水质和富营养化状况进行了研究。随着我国现代化工业的迅速发展, 农业技术的进步, 农用化学肥料和城镇人口不断增加, 使污染湖泊水体的因素日益增多, 大量的营养物质不断流入湖泊, 致使一些地区湖泊的富营养化日趋严重。在党和政府的重视下, 在环境科学工作者的努力下, 我国湖泊富营养化的调查研究进展较快, 涉及内容广泛, 取得了可喜的成果, 积累了大量宝贵的调查资料, 为我国后来的富营养化调查研究取得了经验、奠定了基础。《中国湖泊富营养化调查研究》正是1980~1985年期间的调查研究成果和经验总结。

该书主要包括了我国杭州西湖、山东南四湖、江西鄱阳湖、武汉东湖、安徽巢湖、湖北洪湖、天津于桥水库、长春南湖、江西甘棠湖、南京玄武湖、云南滇池的主要研究成果, 介绍了杭州西湖、长春南湖、江西甘棠湖、南京玄武湖、安徽巢湖的富营养化的防治对策, 而且, 还收入了我国边远地区的湖泊水质调查, 如内蒙达赉湖、西藏羊卓雍湖、新疆博斯腾湖, 并提供了众多湖泊的调查数据, 是我们今后开展湖泊富营养化研究的一个很好的借鉴和参考。

由于80年代初, 是我国湖泊富营养化调查研究的初始阶段, 因此, 有些工作还有待于进一步深入研究。本书内容涉及广泛, 由于编者水平有限, 书中会有许多错误和不当之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

1989年11月

目 录

关于湖泊水库富营养化问题·····	刘鸿亮 金相灿 (1)
于桥水库富营养化预测·····	朱 莹 鲁纪行 边金钟 (12)
南四湖水体污染与防治·····	冯正志 王天祥 (20)
达赉湖环境水质调查研究·····	哈 伦 赵利新等 (29)
新疆博斯腾湖水质研究综述及展望·····	黄运祥 张国安等 (34)
西藏羊卓雍湖水质调查研究·····	施为光 陈西平 (42)
杭州西湖富营养物质的来源及其防治对策·····	金鹿年 (53)
杭州西湖环境质量研究·····	西湖环境质量研究协作组 (61)
玄武湖环境调查和防治对策·····	徐 实 (67)
南湖富营养化及其治理途径研究·····	徐锐贤等 (78)
鄱阳湖水体污染调查及评价研究·····	张海星 (95)
甘棠湖富营养化问题及综合治理研究 ·····	《甘棠湖课题组》 (105)
滇池的环境调查研究·····	张静芳等 (120)
中国2000年主要湖泊水质污染预测研究·····	舒金华 顾丁锡 (139)
西湖养鱼与水质关系·····	李梅姿 (158)
武汉东湖藻类水华的现存量、化学成分和“资源量”·····	沈国华 章宗涉 (162)
巢湖的合理开发及其生态环境保护综合对策研究·····	李大新 (170)
围垦对洪湖生态环境的影响及其水生生物资源的保护与利用·····	张家玉 (176)
湖泊的氮磷平衡和富营养化·····	金相灿 曹洪法 徐南妮 (184)
中小型湖泊的富营养化与渔业养殖的关系·····	郭孟朴 (194)
从一个实例剖析湖泊地方排放标准的编制·····	黄昌筑 付秀玲 (201)
湖泊富营养化的控制和管理·····	金相灿 宋 福 (205)

关于湖泊水库富营养化问题

刘鸿亮 金相灿

(中国环境科学研究院, 北京)

一、湖泊富营养化的定义

湖泊富营养化是指湖泊等水体接纳过量的氮、磷等营养性物质,使藻类以及其它水生生物异常繁殖,水体透明度和溶解氧变化,造成湖泊水质恶化,加速湖泊老化,从而使湖泊生态系统和水功能受到阻碍和破坏。严重的甚至发生“水华”,给水资源的利用,如饮用水、工农业供水、水产养殖、旅游以及水上运输等带来巨大损失。

通常,湖泊可分为贫营养湖和富营养湖两类,当然两者之间还有不同程度的过渡类型。从自然状况来看,位于山区的湖泊多属于贫营养性湖泊,这是由于山区湖泊水体较深,营养性物质来源较少,水生生物的种类和数量相对贫乏,溶解氧充足,透明度大,水质比较好,如云南洱海、新疆天池,其最大透明度可达15m以上或见底,水质也很好。而位于平原地区的湖泊很容易发展为富营养性湖泊,这是由于平原湖泊流域,土地肥沃,富含氮、磷等营养性物质,经河流或流域地表径流冲刷搬运,在湖泊水体中累积起来,造成湖泊中水生生物过度繁殖,透明度下降,溶解氧不足,尤其在深水层,甚至出现缺氧层,水质严重恶化。

然而,由于目前人类的频繁活动,对湖泊水体的营养状态产生了影响。因此,山区湖泊未必都属于贫营养状态,只是山区湖泊受人类的活动相对少,而平原湖泊则相对多而已。

实际上,湖泊富营养化是一种在湖泊自然演变中的自然过程,也就是说,它在自然条件下也存在。在湖泊学的意义上,湖泊有其发生、发展及其消亡的过程,这就是地理学范畴内所谓的湖泊富营养化。具体地说,湖泊及其流域,随着时间的推移,它们的地理学,生物学以及物理、化学诸方面的特性也发生变化,流入湖泊的物质也随之发生变化,湖泊中的营养性物质如氮、磷、碳等也必然逐渐累积,一般的趋势是从水深,营养物质少的贫营养湖,向水浅、营养物质多的富营养湖演变。不过,在自然状态下,这种进程非常缓慢,往往是以地质年代来计算。图1显示了湖泊自然富营养化过程。

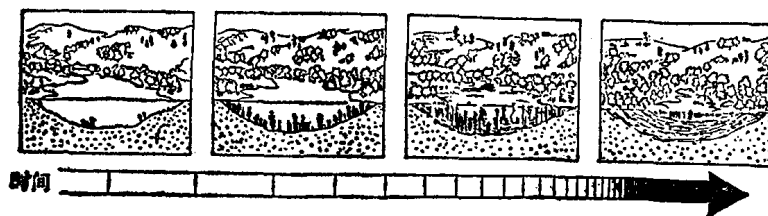


图1 湖泊自然富营养化过程

然而,人类活动一旦影响到这种进程,其变化速度就会急剧加快。特别是城市和工

农业污水的流入，必将大大地加速湖泊富营养化的进程，如图2所示。很显然，这两种过程存在较大的差异，所以目前有人把前者称为自然富营养化，后者为人为富营养化。



图2 人类活动对湖泊演变的影响

另外，与国外发达国家相比，我国湖泊的富营养化具有明显的特征，具体表现在：（1）湖泊水体中氮、磷浓度普遍较高，有时甚至出现湖泊初级生产力反而受到抑制，产量不高；（2）水体透明度与叶绿素a的相关关系在相当部分湖泊中不甚明显。这是由于我国许多湖泊流域水土流失严重，致使水中悬浮泥沙量较大，干扰了透明度和叶绿素a之间的相关关系；（3）湖泊氮磷内负荷大，尤其是城市湖泊如杭州西湖，长春南湖以及南京玄武湖等，底泥中的氮、磷对湖泊富营养化有着十分重要的作用。因此在判断我国湖泊富营养化程度时，必须首先着眼于营养性物质和湖泊生产力之间的系统分析，简单地搬用国外的公式和模式，势必产生较大的偏差，这一点应引起我们足够的重视。

二、湖泊的富营养化

（一）我国湖泊富营养化的现状及趋势

近年来由于我国城市和工业的发展，以及农业大量施用化肥，加上植被破坏造成的水土流失冲刷入湖，使湖泊富营养化问题发展很快，情况日趋严重，如不及时控制，后患无穷。

根据我国1978~1980年对34个主要湖泊、水库的调查资料，以及根据国内外评价湖泊富营养化的经验制订的指标，34个湖泊的评价是：贫一中营养水平的7个，占20.6%；中营养水平的有8个，占23.5%；中一富营养水平的有11个，占32.3%；富营养水平的有5个，占14.7%；重富营养水平的有3个，占8.8%，如表1所表。

表1 我国34个湖泊营养状态的分类统计表

湖泊营养类型	贫一中营养	中营养	中一富营养	富营养	重富营养
湖泊数(个)	7	8	11	5	8
占评价数的比例(%)	20.6	23.5	32.3	14.7	8.8
湖泊面积(km ²)	5870.8	89125.	9434.1	66.95	7.31
占评价面积比例(%)	24.1	36.7	38.8	0.27	0.03

从上表可以看出，我国绝大多数湖泊在70年代底和80年代初，还处于贫一中营养或中一富营养状态，占调查面积的99.7%，已经达到富营养和重富营养的湖泊面积只占调查面积的0.3%，说明当时我国湖泊富营养化危害只是少数地区较为严重。但是，这些富营养和重富营养的湖泊在国民经济中的地位却十分重要，这是由于它们往往地处文化、经济中心——城市，如杭州西湖、武汉东湖都是我国著名风景城市的内湖。特别值得重视的

是近几年来,我国湖泊富营养化的趋势发展很快,34个湖泊的调查仅隔4年,它们当中的一些湖泊的营养状态就发生了急剧的变化。如北京密云水库已从贫营养向中一富营养过渡,于桥水库已从中营养向富营养过渡,巢湖已出现了重富营养,出现了严重持续的“水华”,并涉及该湖相当宽广的水体。从发展趋势来看,情况是严重的,如不从现在抓起则后患无穷。

(二) 湖泊富营养化的危害

湖泊富营养化是我国许多湖泊水库的重大环境问题,它已对这些水体的水资源产生了严重的障碍,在有的湖泊酿成了公害,造成了环境和经济上的重大损失。在我国湖泊水库环境中,富营养化的危害有如下表现:

1. 湖泊水库水质恶化

由于富营养化,湖泊水库水质逐渐恶化,具体表现在:

- (1) 水体中蓝藻和绿藻大量繁殖,浮游植物个体数剧增。
- (2) 水中悬浮物量(浮游生物、细菌等)增加。
- (3) 产生有粪味的有机物质。
- (4) 水体pH上升。
- (5) 深层溶解氧降低,如果一旦出现溶解氧为零,底部沉积物附近形成还原状态,会引起一系列严重后果。如有机物无机化不完全,发生甲烷气体,硝酸盐还原,脱氮反应发生,硫酸盐还原形成 H_2S 气体,底泥中铁、锰溶出,在底泥附近形成硫化铁,底质中的磷溶出等,从而影响湖泊水质。
- (6) 形成“水华”,在富营养化比较严重的湖泊,会频发“水华”,在我国五大淡水湖之一——巢湖,几乎每年都形成以铜绿微囊藻为主的“水华”,尤如水面上流动的绿漆,涉及巢湖水域面积之半,被风吹到沿岸水域后,有时会形成数公分之厚的“水华”层,腐败分解后,发出恶臭,严重地破坏了该湖的水功能以及周围环境。

2. 影响水厂的供水

湖泊富营养化最大的危害之一是影响水厂的供水系统和自来水水质,作为自来水水源的湖泊,由于藻类的繁殖,造成自来水厂过滤池的堵塞和过滤效率降低。于桥水库就因此产生水厂过滤系统障碍,处理费用大增的后果。巢湖四水厂由于藻类太多,引起供水具有强烈的腥膻气味,沏茶煮物发臭,引起许多市民的抗议。

同时,随着水体富营养化的发展,在湖泊底层将会出现缺氧层,致使底质中铁、锰等溶出释放到水中,引起饮用水水质下降,洗涤物变色。这种富含铁的自来水往往会散发出一种令人不快的气味,同时还会在水管内形成水锈,产生所谓“红水”。使自来水完全丧失其功能。

3. 影响湖泊水产养殖

由于藻类的大量繁殖,引起水中缺氧,鱼类等水生生动面临被窒息死亡的威胁。如

1986年9月云南滇池因水葫芦等水生植物大量生长,覆盖水面,挤压养鱼网箱,造成鱼类因缺氧而大量死亡,损失严重。南京玄武湖也曾发生过藻类疯长,鱼类因缺氧而大量死亡的事故。同时据一些资料表明,在富营养化湖泊中,水生生物的群落、种群结构会发生变化,一些耐污种的个体数猛增,而相反一些非耐污种数量减少甚至消失。对鱼类等经济水产种类也类似,往往一些优质种减少或消失,而低质种、劣质种相反增加,使得水产养殖业经济效益大幅度下降。

4. 对旅游业的影响

湖泊一旦发生富营养化,因藻类大量繁殖水体透明度下降,湖水混浊,臭味弥漫,大煞风景,使湖泊的旅游观光的价值大减,甚至丧失此功能。

(三)湖泊富营养化的控制因子

湖泊富营养化是一个极为复杂的生态过程,根据目前各国研究的结果表明,影响湖泊富营养化的因子众多,如营养性物质磷、氮、碳等,湖泊的形态特征,地理位置及气象气候等,在人为富营养化湖泊中,人类的活动也是一个非常重要的影响因子。其相互关联的内在关系如图3所示。

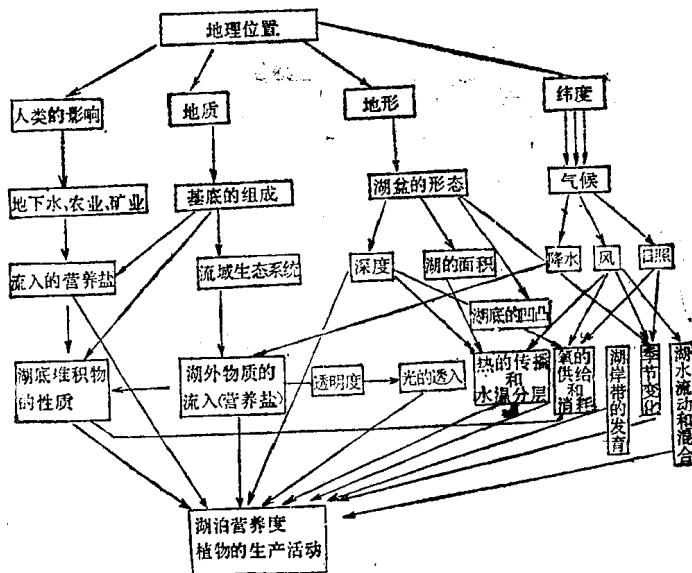


图3 湖泊富营养化的主要控制因子示意图

1. 限制性营养物质

所谓富营养化实质上是指水体初级生产力异常增大的现象,支配这种初级生产力的营养性物质,很显然是富营养化的极为重要的指标,也是主要控制因子。表2列出了代表初级生产力的主要藻类中所测得的元素组成平均值范围(Healeg)。磷是藻类细胞中的必需元素,它是构成核酸、脂肪、蛋白质的成分,在能量代谢中起着重要的作用。从表2中可以看出,藻类所需的氮和碳量比磷更多,铁镁对藻类也是不可缺少的。可见,藻类要大量繁殖,它们所需的营养性物质是很多的,但是它们并非都是藻类生产力的指

标和主要控制因子。根据Odum提出的Liebig最少律 (law of minimum), 限制藻类生产量的物质是磷, 氮及碳。作为藻类增殖的限制性物质, 上述三者哪一个可能性最大, 哪一个是最有效的指标, 这个问题曾经在本世纪70年代初期进行过大辩论。有人主张碳是主要限制性因子。但是根据Powers和Shapiro等所进行的现场试验表明, 碳添加到湖泊中去, 并不能促进藻类的生产量, 只是发现, 湖泊中添加CO₂时, 藻类的种群

表2 藻类的元素组成

元素	干燥重量 (μg/g)		原子数比
	平均	范围	
H	65	29~100	8140000
C	430	175~650	4460000
O	275	205~330	2120000
N	55	10~140	487000
Si	54	0~230	237000
K	17.3	1~75	55000
P	11	0.5~33	43800
Na	6.1	0.4~47	32500
Mg	5.6	0.5~75	28700
Ca	8.7	0.0~80	27500
S	5.9	1.5~16	23800
Fe	5.9	0.2~34	13800
Zn	0.28	0.005~1.0	540
B	0.03	0.001~0.25	350
Cu	0.10	0.006~0.3	200
Mn	0.06	0.02~0.24	138
Co	0.06	0.0001~0.2	125
Mo	0.0008	0.0002~0.001	1

结构发生变化, 即由蓝藻类向绿藻类转变。相反CO₂不足时, 由绿藻向蓝藻演替, 而藻类生产量没有大的变化。因此, 即使湖水中碳源不足时, 它也不能成为藻类生长的限制因子。另外

Shindler利用小湖群进行了氮和磷的添加试验, 发现在氮不足时, 出现了具有固氮能力的蓝藻类, 而相反磷的添加, 藻类量随之明显增加。OECD采用统计方法, 比较了湖泊中叶绿素a和磷以及氮的相关关系, 也获得了磷比氮对于藻类生长更重要的结论。可见, 认为磷是限制藻类增殖的最重要因子, 这一观念是可以理解的。

根据AGP的测定, 大多数湖泊是磷限制性的, 但是也存在氮限制性的湖泊, 并且富营养化程度越高, 这种比率也越大。当然过渡性的类型也是存在的。因此不能简单地只把我们的注意力放在磷上, 以免造成不必要的失误。

2. 温度和照度

(1) 温度 浮游蓝藻类一般都是喜温性的。图4表示了温度对*M. aeruginosa*和*M. flosaquae*的比增殖速度的影响, 在20℃以下和40℃以上, 其值较小, 但是在25℃以上其速度急剧上升, 可见温度对湖泊藻类的生长是一个重要环境因子。

(2) 照度 光照是藻类生长必不可少的条件。从图5中可以十分明显地看出来。我国幅员辽阔, 湖泊分布的范围宽广, 照度和温度条件变异范围很大, 因此在调查研究湖泊富营养化时, 温度和照度是不可缺少的。

3. 湖泊形态

不同湖泊形态直接影响着湖泊光、温条件, 营养性物质的输入, 传输和混合。在深水湖泊中, 光照可达到的深度会受到一定的限制, 湖泊可能分层, 溶解氧和营养性物质的混合也会受到影响, 不利于藻类的大量繁殖。在浅水湖泊中, 情况则就不同, 光照、温度能

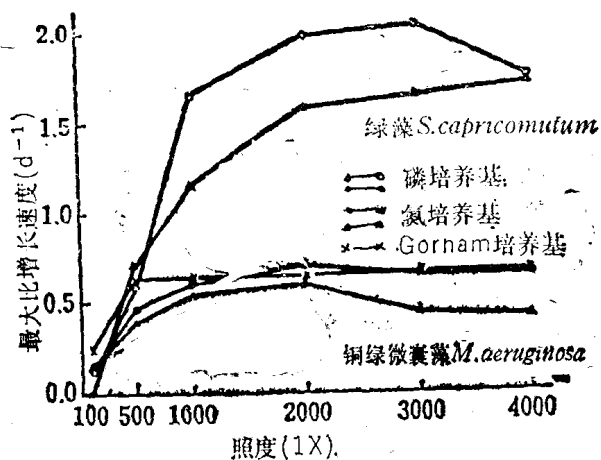


图 5 照度对藻类最大比增殖速度的影响

到达整个水体，混合作用比较充分，氮磷输入后，容易引起藻类大量生长，形成水体富营养化。我国东部平原湖泊，富营养化比较普遍和严重，这与湖泊的形态有一定的内在联系。

4. 溶解氧和pH

溶解氧是藻类繁殖的一个重要条件，也是藻代谢过程中的重要能源物质。但是各种藻类对溶解氧的要求不同，如蓝藻类的 *Microcystis* 能耐低溶解氧条件，也就是说在低溶解氧条件下，容易繁殖，这就是在嫌氧性富营养湖泊中，夏季很容易发生水花的原因。

pH对湖泊的初级生产力有相当显著的影响，有的藻类如蓝藻在高pH条件下，可以很好地生长。这一点对防止湖泊富营养化是十分不利的。我们的研究发现，一般藻类生长茂盛的水域，水体pH比较高，这主要由于藻类光合作用吸收水中的CO₂，放出O₂之故。这种pH的增高又促进了一些水华藻类如 *Microcystis* 等的生长。相反，正如前面所述的，高pH不利于底质中磷，铁、锰等物质的溶出，从这一角度来看，pH的升高又有有利的一面存在。

三、湖泊富营养化的防治对策

根据我国的国情和经济实力提出切实可行的、有效的防治对策，这是湖泊环境管理的关键。目前我国许多湖泊管理中正在推行的“以防为主，综合治理”的方针是有效的，可行的。

(一) 控制营养物质污染源

要防止湖泊富营养化，最基本的是要控制污染物即营养物质的负荷量。对于由于人类活动引起富营养化发展的湖泊，如果能完全控制人为污染物排放，接纳湖泊的水质可以显著地得到恢复，然而对于地处肥沃平原的湖泊，它们流域面积大，自然营养物比例高，对于此类湖泊，要控制富营养化，改善水质则是相当困难的。如我国五大淡水湖之一的巢湖就是一例。因此在研究富营养化控制时，首先应对入湖营养物质的来源作出分析。图6表示了营养物质的来源。

为了防止湖泊富营养化，必须对上述营养物的发生源进行控制，以减少营养物的人

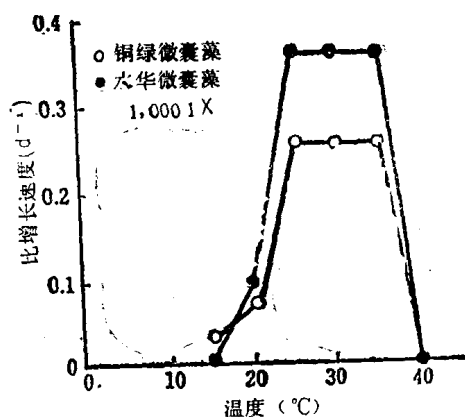


图 4 温度对藻类的比增殖速度的影响

○ 铜绿微囊藻 ● 水华微囊藻

湖量。采取湖内对策使底泥中的内负荷降低，通过某种形式去除水中的营养盐，降低水中的氮磷浓度。表3列举了各种防止对策和措施。

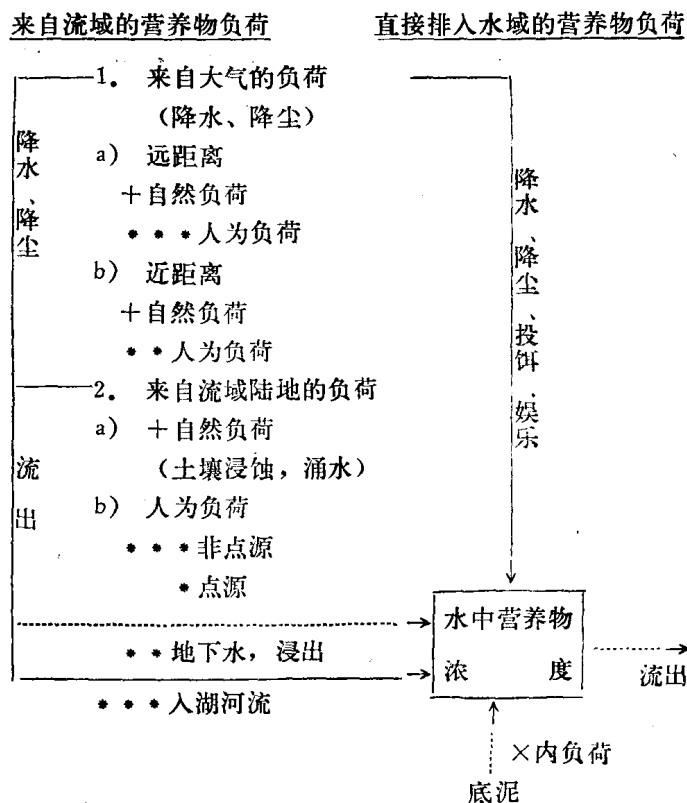


图6 影响水体营养物的各种来源

- + 自然负荷，一般不可能控制
- 容易控制
- 难于控制
- 不可能控制
- 取决于入流河水量大小，流量小时可能控制
- × 外负荷控制后，内负荷会逐渐减少

表3 防止富营养化的措施

I 发生源对策

- 1) 处理流入水（下水、排水，污染河流水）
- 2) 截流污水
- 3) 合理利用流域土地
- 4) 限制湖泊及湖周的开发利用
- 5) 规定洗涤剂、农药等制品的成分

II 湖内对策

- 1) 疏浚
- 2) 引水冲湖
- 3) 惰化营养盐类
- 4) 割取水生植物
- 5) 曝气和混合
- 6) 放养草食性鱼类
- 7) 捞去水华藻类

(二) 以防为主

对于我国尚属较好的湖泊应采取防范于未然的对策，其正确性是不言而喻的。

1. 减少氮、磷的人湖排放量

首先应该推算湖水对氮、磷的环境容量，采取总量控制。重点削减点源的污染，同时，控制住非点源污染。由于磷是产生富营养化的关键因素，因此要特别限制合成洗涤剂中磷的含量。

2. 建立湖区及其流域的良性生态平衡

建立良性生态平衡，包括建立湖泊周围的缓冲带；保护湖区周围及上游的森林植被，防止营养物质的过多流失；对湖底定期疏浚，以保持湖体内部的生态平衡。

3. 加强管理

这对于以预防为主的湖区显得尤为重要。首先应对湖区制订出水质量管理规划，确定湖水的环境目标。制订保护湖区的法规，加强对群众的宣传教育。建立湖区管理机构，切实保证预防措施的实施。

我国的一些湖泊在考虑预防措施方面有较为成功的经验，他们提出的近期预防措施如下：

(1) 在污水处理厂的出水口处建立生物净化塘，利用水生生物强化出水的氮、磷去除率。

(2) 搬迁、关闭湖区工厂。

(3) 减轻航运污染，船上应装备防止油污染的设备。

(4) 清理网箱鱼塘底泥，减少湖中氮、磷量。

(5) 在湖区划出保护带，建立生态村，逐步形成符合湖区特点的农业生态系统。

(6) 进行造林、护林，以绿化、美化湖区。

(7) 建立湖区管理机构。

(8) 对待开发项目，如休（疗）养区的选址和体育场的扩建等，均作出规划和方案，进行可行性论证。

(三) 综合治理

对于已经富营养化的湖泊，如杭州西湖、武汉东湖、长春南湖等都采取了相应的治理措施。

1. 截污工程

截污工程已成为中国许多富营养化湖泊治理的重要途径之一。例如在西湖沿岸埋设了9.1km长的污水管道，把污水引入城市总排污管，并修筑防水墙，几乎截阻全部点源和大部分面源污水。从1980年开始，在长春南湖修建了截污工程，截污量占总排污量的

74%，使湖水氮、磷含量大减。

2. 引水冲湖工程

在有条件的地方采取引水冲湖，以加速湖水交换，它对于氮、磷在底泥中的积累和释放，能起到重要的改善作用。杭州西湖引钱塘江水流入西湖，1天的引水量相当于西湖贮水量的1/33左右，这不仅可改善西湖水质，还可以用溢流的湖水冲洗下游河段。但是，由于引水工程耗资巨大，多在重点地区采用。

3. 疏浚底泥

有些湖泊沉积大量的富含氮、磷的污染物底泥，在一定条件下，氮、磷会释放出来，即使修建了截污工程，仍会引起富营养化。所以许多城郊湖泊正在进行疏浚底泥。还有部分地区将挖出的底泥施田，即清理了湖泊，又增加了农田肥效。

4. 生物治理

在富营养化的水体中种植高等水生植物，如芦苇、水葫芦等，或养殖其它水生生物吸收水体中的氮、磷，从而去除湖泊中的氮、磷量，这种治理方法已引起国内外同行的极大关注。

(1) 利用水生植物净化富营养化湖泊 用凤眼莲去除氮、磷的实验研究表明，富营养的湖水总磷可由1.00mg/L降到0.33mg/L。经两周的实验，凤眼莲可使水中总氮从3.89mg/L降到0.8mg/L，供试水质的总氮含量呈递增趋势，表明凤眼莲对水中的氨氮也有去除作用。

芦苇、狭叶香蒲、菱等高等水生植物对水中氮磷都有富集能力。经测定，干芦苇中含氮1.176%、磷0.264%；狭叶香蒲含氮1.708%、磷0.298%；菱含氮1.666%、磷0.361%。如果定期从湖中打捞这些植物，就可以从水中除去相应数量的氮和磷。在植物生长过程中，有一部分氮、磷被消耗掉或转化为其它物质。二者相加，其数量是很大的。可见，利用高等水生植物富集氮、磷，净化水质，是治理、调节和抑制湖泊富营养化的有效途径。

(2) 水生动物的净化作用 萝卜螺对水质有净化作用，它可以直接吸收溶解的营养物及有机碎屑，又可吃掉大量藻类，使水变清，使被污染的水体得到净化。经研究表明，在30~40L水中加入40g萝卜螺时，对富营养化水体有很好的净化作用。

5. 脱氮、脱磷处理

在我国下水道普及率还不高的情况下，大量生活污水通过边沟、水渠、河道等流入湖泊，而生活污水中含有很多的氮及磷，成为封闭性水域富营养化的重要因子。因此，在防止湖泊富营养化方面，有时在不得已的情况下，也应考虑对生活污水进行脱氮、脱磷的处理。现就代表性的处理方法，介绍如下：

(1) 生物转盘法 生物转盘法是一种很容易维护的处理方法，它处理生活污水的性能，可从表4的实例中看出。

(2) 接触曝气法 接触曝气法（浸渍滤床法）与生物转盘法一样，现正在继续研究

其效率问题，它比生物转盘法优越的是BOD大致可处理到10mg/L以下。透明度也高。

表 4 生物转盘法应用的实例

测 定 项 目	流 入 水	处 理 出 水
水温(°C)	5.9	8.1
pH	7.0	6.8
透明度 (cm)	5.0	36
SS (mg/L)	75	6
COD (mg/L)	74	17
BOD (mg/L)	232	10
NH ₄ -N (mg/L)	37.1	11.8
NO ₃ -N (mg/L)	2.84	14.75
T-P (mg/L)	10.5	8.39

对氮、磷的去除能力与生物转盘法相同。

(3) 厌氧性滤床 为了减少生物转盘法和接触曝气法的电力消耗，在前处理中引进厌氧性滤床，如图 7 所示。

该法与接触曝气法相比，其电力消耗仅为它的1/3，这是非常有利的。经过厌氧性滤床处理后再经好气性处理循环，其有机物去除能力有可能大于70%以上。

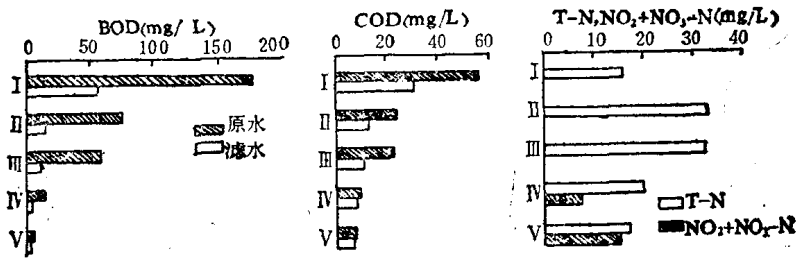


图 7 厌氧、好氧处理过程中BOD、COD及N的形态变化

图中， I——流入水； II——第一厌氧处理水； III——第二厌氧处理水；
IV——第一好氧处理水； V——第二好氧处理水

(4) 水渠净化塘 生活污水流经的水渠，若填充接触材料，则在材料表面形成大量生物膜，具有较高的净化能力。采用这种方法的条件是：①水量增大时不会因接触材料在内而妨碍排洪；②根据填充材料的种类，水深在20~30cm以下，流速为10cm/min至每分钟数米；③能除去淤积在水渠中的污泥；④水渠上的盖板能遮光；⑤按照流速、水量、水深情况，水渠填充长度在10~100m以上，如表 5 所示。

在宽度50cm，长度100m、水深2~3m的水渠中，沿长度方向填充，当流量为2m³/h时，其结果示于表 5 中。在有机负荷较低时，则N、P都能相应地去除，这是很清楚的。

(5) 土地处理法 对于生活污水，为取得脱磷效果，利用土壤净化能力是非常重要的。在土地处理中，污水浸渍性、净化力是随土壤的状态而变化的。所以，必须预先对土壤性能、状态进行充分的研究。进行土壤处理时，厌气性滤床法是一种不增加耗能的

处理方法。此法是以隔离土壤作为处理床，可使其周围不渗透水，设计修建两条壕沟，每隔数月交替使用。使其点造成适用于该处理过程，尽可能降低有机物浓度。若其设计的BOD负荷在10mg/L以下，T-N在15mg/L以下，T-P在0.3mg/L以下时，能得到良好的效果。

表5 水渠净化法处理生活污水的实例

测定项目	采 水 地 点		
	0m	30m	100m
透明度(cm)	12	75	100以上
pH	7.2	7.0	7.1
COD (mg/L)	36	15	7.6
BOD (mg/L)	72	8	2
T-N (mg/L)	9	5.8	5
NO ₂ +NO ₃ -N(mg/L)	0	0.6	4.6
T-P (mg/L)	1.7	1.1	0.7
SS (mg/L)	35	4	2

土地处理法的用地若能得到保证，则可得到经济的、良好的处理水。因此法脱磷能力很高，故建议能作为解决生活污水脱磷方法而加以推广。但是，对于如何评价土壤、确保不引起地下水污染，以及对其构造、负荷量、设计条件等问题，有待于今后做更为详细的研究。

(6)氧化塘法 氧化塘法，是利用自然净化能力净化污水的方法。废水流入塘中，利用光合作用和其所生成的氧来净化废水，其特征是用细菌类和原生动物来降解有机物。本法的建设费用低，耗能少，可在没有普及下水道之前，小规模设施的简易处理中发挥作用。夏季可除去磷50~92%，冬季几乎不去除磷；夏季可除去氮80~90%，冬季可除去10%左右。这种氧化塘的处理性能，由于受温度影响大，所以应尽可能在温暖地区、小规模设施中采用。

(7)小池净化法 用小池及化粪池净化，虽然是很原始的方法。但是，这是一种利用自净能力、省能的处理方法。此法与氧化塘法在藻类生产能力相当条件下，同样可以去除氮和磷80~90%以上。然而水温低时则藻类的繁殖能力也低，其净化能力也降低。采用小池及化粪池净化时，为防止有机物及营养盐类从底泥中溶出，应一年疏浚一次底泥，使其脱水干燥。

(8)曝气塘 曝气塘与氧化池不同，用散气管进行强制式机械搅拌曝气，向整个池子供氧。水深在2~4m（比氧化池深）。其运转一般停留在3~10天之间，BOD去除率在5天以内达90%以上。曝气池污泥沉淀后不可能完全混合，由于好气性和厌气性微生物在池内共存，所以有可能脱氮。作为本法的改良，在池内添加絮凝剂，对降低磷的浓度有作用。

于桥水库富营养化预测

朱 萱 鲁纪行 边金钟

(天津市环境保护研究所, 天津)

本文基于天津市于桥水库水质和营养盐负荷定量化的研究, 采用 OECD 磷负荷模型, 对于桥水库水文条件变化, 即成为引滦入津引水工程调蓄水库后的营养状态进行了预测, 其结果为该水库的水质保护提供了科学依据。

一、于桥水库水质问题分析

位于天津市蓟县城东的于桥水库, 原是一座农用水库, 全流域面积 2060km^2 , 最大库容 4.2亿m^3 。在引滦入津工程中, 是重要的过水水库。1982年初到1983年引滦通水前, 曾对此水库上游输水及库水水质进行了全面调查。

据引滦通水前, 于桥水库1982~1983年逐月水质监测表明: 汛期因暴雨径流造成大量污染物质的输入, 使水库多项污染物含量增加, 如总固体、SS、Mn、Fe、硫化物、BOD、COD等。由于库水具有较强的自净能力, 从九月份后库水中多项污染物浓度都明显降低, 总固体的总量去除率可达80.2%, SS可达94.8%、Mn、Fe等污染物也由于化学反应、吸附、沉淀等作用而从库水中减少。但是, 以库水中氮、磷浓度为代表的营养状态问题, 却是此水库的自净作用所远不能解决的。

1976年南开大学所做的于桥水库生物学调查表明, 此水库生长着以蓝绿藻为主的大量藻类, 其中以绿藻最多、浮游植物的平均数量, 以蓝藻最多, 4~10月期间, 藻类生长量可达 $154\sim 284$ 万个/L, 坝前点7月份可达702万个/L。于桥水库的藻类数量已超过富营养化标准100万个/L, 且蓝、绿藻是富营养化湖泊的典型藻类。

据1982~1983年水质调查, 此水库的氮、磷浓度年均值已远远超过国际上所公认的发生富营养化的危险指标: 氮 0.2mg/L , 磷 0.02mg/L , 且出现种种富营养化迹象, 如库水透明度很低, 全年均值为 0.89m , 夏季小于 0.5m ; 库水中氮、磷含量明显随藻类生长和死亡发生季节性变化, 冬季藻类死亡后, 库中呈现严重的营养元素累积, 如总磷可达 0.27mg/L , 超过富营养化危险指标的13倍; 特别是夏季不但水温分层, 溶解氧也剧烈分层, 水深 3m 以下就呈现极度缺氧状态。采用美国 yellow spring 公司的“溶解氧监测仪”对水库中5个监测点的水温和溶解氧进行了现场分层监测(从表层到底层, 以 0.5m 的间隔逐次监测到库底), 结果见图1。

从图1可见, 于桥水库夏季的热分层作用十分明显, 上下水温差达 $7\sim 8^\circ\text{C}$ 。库水中的溶解氧也呈现明显的分层, 其表层由于良好的氧交换条件和藻类的光合作用, 溶解氧呈现饱和或过饱和, 在 $2\sim 3\text{m}$ 的水深处, 溶解氧大幅度下降, 3.5m 水深以下库水的溶