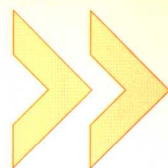




SANXIA
KUQU FUYINGYANGHUA
YANJIU



三峡库区 富营养化研究

邓春光 主编

中国环境科学出版社

三峡库区富营养化研究

邓春光 主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

三峡库区富营养化研究/邓春光主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2007.5

ISBN 978-7-80209-565-6

I. 三… II. 邓… III. 三峡—富营养化—研究
IV. X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 057269 号

责任编辑 孟亚莉
责任校对 扣志红
封面设计 龙文视觉·陈莹

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2007 年 5 月第一版
印 次 2007 年 5 月第一次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13
字 数 256 千字
定 价 32.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

编 委 会

顾 问：龙腾锐 李锦秀 钟成华 杨三明

主 编：邓春光

编 委：邓春光 幸治国 尹真真 李锦秀

钟成华 李永健 胡 霞 黄 程

序 言

三峡库区二期蓄水后,库区内河流水情发生了根本性的转变,尽管多数河流仍保持狭长的河流态势,但回水段的流速明显减小,成为名副其实的人工湖泊。库周次级河流受干流水位顶托的影响,回水段流速变缓,水中央带的泥沙大量沉积,水色变清,减少了光能的吸收损失,为库区水体富营养化的发生、发展提供了有利的环境条件。三峡水库自 2003 年 6 月开始 139 m 蓄水后,库区次级河流回水段每年都出现了藻类异常增长的“水华”现象。

针对三峡库区蓄水后出现的局部富营养化现象,国家给予了高度重视。中国科学院、中国环境科学研究院,以及库区内相关科研院所和国内部分高校对库区富营养化现象展开了不同层次的研究。重庆市环境科学研究院自 2001 年至 2006 年先后承担了科技部“十五”攻关项目“三峡库区次级河流回水区段富营养化限制条件研究”和“三峡库区次级河流回水区段富营养化发展趋势研究”。研究表明,影响水体中藻类生长的主要因素有水温、光照、营养盐浓度和水流速。当三峡水库蓄水运行后,库区次级河流回水段发生富营养化的时间主要是在每年的 4~9 月春、夏之交,盛夏和夏、秋之交的非暴雨时段。

国内对我国湖泊富营养化的形成机理已开展了 20 多年的研究,但对三峡库区这样大型的河道型水库富营养化研究工作还处于刚刚起步阶段,许多问题需要我们继续深入地进行探讨,在本书阐述的内容中,也仅仅是近 6 年对三峡库区富营养化研究的一些初期结论,对三峡库区整体富营养化的发生机理难免存在论述不全之处,限于编者的学识与水平,书中疏漏和不当之处在所难免,敬请广大读者与同仁批评指正。

编 者

2007 年 3 月

目 录

绪 论	1
一、富营养化定义	1
二、富营养化危害	1
(一) 散发出腥臭异味	1
(二) 降低水体的透明度	1
(三) 影响水体的溶解氧	1
(四) 向水体释放有毒物质	2
(五) 对水生生态的影响	2
(六) 影响水产养殖	2
(七) 影响旅游和航运	2
三、富营养化防治技术概况	3
(一) 控制氮、磷等营养物的流入	3
(二) 物理方法治理	3
(三) 化学方法防治	3
(四) 生物防治	3
(五) 生态防治	3
(六) 综合防治	4
四、当前国内外研究概况	4

第一篇 三峡库区水质及富营养化现状

第一章 三峡库区自然环境概况	7
一、地理位置	7
二、地形地貌特征	7
三、土壤类型	8
四、库区气候特征	8
五、三峡库区生物资源	8
六、三峡库区水系概况	9

第二章 三峡库区水质现状	11
一、水质评价方法.....	11
(一) 水质监测断面设置.....	11
(二) 水质评价指标及方法.....	11
二、三峡库区长江干流水质现状.....	11
三、三峡库区主要支流水质状况.....	12
第三章 三峡库区富营养化现状	14
一、监测概况及评价方法简介.....	14
(一) 监测概况.....	14
(二) 评价方法简介.....	16
二、三峡库区重要支流回水区富营养化现状调查结果.....	18
(一) 监测结果.....	18
(二) 评价结果.....	22
三、大宁河富营养化加密监测.....	24
(一) 长河段加密监测.....	24
(二) “水华”区域加密监测.....	28
四、三峡库区富营养化跟踪监测.....	32
五、三峡库区次级河流回水区富营养化现状监测结论.....	34
六、三峡库区次级河流回水区产生富营养化的原因初步分析.....	35
第二篇 三峡库区次级河流富营养化潜势预测	
第四章 三峡库区次级河流自然环境条件与营养盐负荷	37
一、三峡库区一级支流回水段水流条件.....	37
二、三峡库区一级支流回水段热量条件.....	41
三、三峡库区一级支流回水段营养盐负荷.....	45
(一) 污染负荷的主要来源.....	45
(二) 各类污染源污染负荷的计算方法.....	46
(三) 重庆库区主要支流回水段营养盐负荷计算结果.....	56
第五章 三峡重庆库区支流富营养化模型开发研究	60
一、富营养化生态动力学模型建模设想.....	60
二、富营养化生态动力学模型系统设计.....	61
(一) 气候因子子模型.....	62
(二) 水动力学子模型.....	62

(三) 水质和藻类生长动力学模型	62
三、富营养化生态动力学模型数值求解方法	66
四、富营养化生态动力学模型参数确定方法	69
(一) 受水域环境条件影响较小的模型参数	70
(二) 受水域环境条件影响比较大的模型参数	70
五、大宁河 135 m 回水段水体营养状态监测及生态动力学模型参数率定	70
(一) 大宁河 135 m 回水段水体营养状态监测概况	71
(二) 大宁河 135 m 回水段水体营养状态监测结果	71
(三) 富营养化生态动力学模型参数率定结果	73
第六章 三峡库区大宁河、小江、乌江典型支流富营养化趋势预测	76
一、大宁河、小江、乌江典型支流富营养化预测方案	76
(一) 水文条件	76
(二) 污染负荷	76
(三) 气象条件	78
(四) 富营养化组合预测方案	79
二、大宁河、小江、乌江典型支流富营养化预测结果	79
(一) 蓄水前、后水动力特征变化预测	79
(二) 蓄水后富营养化发展态势预测	84
第七章 三峡库区其他支流回水段富营养化潜势类比分析	91
一、支流富营养化潜势类比分析预测模型	91
二、支流回水区富营养化潜势类比预测结果	93
第八章 三峡库区支流河口回水段富营养化潜势研究结论	99
第三篇 三峡库区富营养化发生条件与防治措施	
第九章 三峡库区富营养化统计模型及发生限制条件	103
一、富营养化统计模型形式	103
二、三峡库区次级河流回水段富营养化统计模型的建立	104
三、三峡库区次级河流回水段富营养化统计模型的验证	110
第十章 三峡库区次级河流回水段藻类生长影响因素的量化研究	114
一、滞缓水体中藻类生长的质量平衡	114
二、三峡库区次级河流回水段藻类生长率影响因素的量化研究	115

(一) 水温对藻类生长率的影响	115
(二) 光照强度对藻类生长率的影响	117
(三) 水流速对藻类生长率的影响	120
(四) 营养盐浓度对藻类生长率的影响	122
第十一章 三峡库区地表水富营养化监测技术规范	126
一、目的	126
二、原则	126
三、适用范围	126
四、三峡库区地表水富营养化监测的基本任务	126
五、三峡库区地表水富营养化监测指标及监测频率	127
六、三峡库区地表水富营养化监测断面布设及方法	127
七、水样和浮游植物采集及水文、环境指标的现场测量	128
八、水样理化指标测定	129
九、水样中 chl _a 的测定与优势藻类鉴别	130
十、水体营养状态评价	131
(一) 水体营养状态评价基本要求	131
(二) 水体营养状态评价方法	131
(三) 营养状态分级	132
(四) 水体营养状态评价	132
第十二章 三峡库区次级河流回水段富营养化防治技术与工程措施	133
一、库区富营养化防治指标与防治的指导思想和原则	133
(一) 污染源排污控制与生态修复相结合	133
(二) 以减少或消除外源性 N、P 输入为重点	133
(三) 对集中式饮用水源地实行重点保护, 严防污染事故发生	133
(四) 走综合防治道路	134
(五) 依靠科技进步, 强化法制管理和科学管理	134
二、库区富营养化防治的污染源控制技术与工程措施	134
(一) 点污染源控制技术与工程措施	134
(二) 非点源污染控制技术与工程措施	140
三、库区富营养化防治的生态修复技术与工程措施	146
(一) 库区生态农业发展模式	146
(二) 库区农作区生态保护技术与措施	147
(三) 库区水源涵养林恢复技术与措施	148

(四) 库区次级河流两岸河滨带生态修复技术与措施	148
四、库区富营养化防治环境管理技术与措施	148
(一) 河段污染物排污总量控制技术与措施	148
(二) 河段生态工程管理技术与措施	150
(三) 河段水上污染源管理技术与措施	153
第十三章 三峡库区富营养化发生条件与防治措施研究结论	155
一、研究结论	155
二、今后工作建议	158

附 录

附录 1 梅溪河水 20℃藻类最大生长率测定试验	160
附录 2 三峡库区次级河流 N、P 半饱和浓度 K_N , K_P 求取试验	164
附录 3 Yardage pro QueSt 激光测距仪操作方法	169
附录 4 S48-1 超声波测深仪测水深原理	171
附录 5 流量跟踪器 ADV 测量流速原理	172
附录 6 ZDS-10 型自动换挡数字式照度计操作方法	173
附录 7 溶解氧 (DO) 的测定方法	174
附录 8 高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 测定方法	178
附录 9 化学需氧量 (COD_{Cr}) 测量方法	180
附录 10 总磷 (TP) 测定方法	186
附录 11 总氮 (TN) 测定方法	189
附录 12 叶绿素 a (chl _a) 的测定方法	193

绪 论

一、富营养化定义

富营养化 (Eutrophication) 是指在人类活动的影响下, 生物所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体, 导致某些特征性藻类异常增殖, 水颜色加深 (褐色或墨绿色), 水体透明度下降, 溶解氧降低, COD_{Mn} 浓度加大, 水质变坏, 鱼类及其他生物大量死亡, 水呈腥臭气味, 从而破坏了水体的生态平衡, 水体从生产力水平较高的营养状态向生产力水平低的状态转化的过程, 使得水体失去原有的价值。

二、富营养化危害

水体富营养化是湖泊、水库的主要环境问题, 被人形象地称为“生态癌”, 它的存在已经严重妨碍了这些水体作为资源的利用, 造成了环境和经济的重大损失。其危害主要表现在以下几方面。

(一) 散发出腥臭异味

在富营养状态的水体中生长着很多藻类, 其中有一些藻类能够散发出腥臭异味。藻类散发出的这种腥臭, 向湖泊四周的空气扩散, 直接影响人们的正常生活, 给人不舒适的感觉, 同时, 这种腥臭味也使水味难闻, 大大降低了水体质量。

(二) 降低水体的透明度

在富营养水体中, 生长着以蓝藻、绿藻为优势种类的大量水藻。这些水藻浮在湖水表面, 形成一层“绿色浮渣”, 使水质变得浑浊, 透明度明显降低, 富营养严重的水体透明度不到 0.2 m, 湖水感官性状大大下降。

(三) 影响水体的溶解氧

富营养水体的表层, 藻类可以获得充足的阳光, 从空气中获得足够的二氧化碳进

行光合作用而放出氧气,因此表层水体有充足的溶解氧。但是,表层的密集藻类使阳光难以透射至水体深层,而且阳光在穿射过程中因被藻类吸收而衰减,深层水体的光合作用受到限制,使溶解氧来源减少。藻类死亡后不断向底部沉积,不断地腐烂分解,也会消耗深层水体大量的溶解氧,严重时可能使深层水体的溶解氧消耗殆尽而呈厌氧状态,使得需氧生物难以生存。这种厌氧状态,可以触发或者加速底泥积累的营养物质的释放,造成水体营养物质的高负荷,形成富营养水体的恶性循环。

(四) 向水体释放有毒物质

某些藻类能够分泌、释放有毒性的物质,有毒物质进入水体后,若被牲畜饮入体内,可引起牲畜肠胃道疾病。相关研究表明,2 000 多种蓝、绿藻中有 40 余种可产生藻毒素,主要产毒藻有微囊藻、鱼腥藻、颤藻及束丝藻。不同的藻株可能产生相同的毒素,而同一藻株也可产生多种不同的毒素,产生的毒素包括:多肽肝毒素、生物碱类神经毒素、脂多糖内毒素、叶啉类毒素等,其中又以微囊藻肝毒素(microcystin, MC)最为常见。在适宜的环境条件下,蓝、绿藻在水中容易形成水华,人若饮用也会发生消化道炎症,有害人体健康,水中蓝、绿藻毒素与肝癌的关系尤其受到关注。目前,在西方国家,富营养水体已经被禁止作为饮用水源。

(五) 对水生生态的影响

在正常情况下,水体中各种生物都处于相对平衡的状态。但是,一旦水体受到污染而呈现富营养状态时,正常的生态平衡就会被扰乱,某些种类的生物明显减少,而另外一些生物种类显著增加,物种丰富度显著减少。这种生物种类演替会导致水生生物的稳定性和多样性降低,破坏其生态平衡。

(六) 影响水产养殖

由于藻类的大量繁殖,引起水中缺氧,鱼类等水生动物面临窒息死亡的威胁。同时在富营养化的水体中,水生生物的群落、种类结构发生变化,一些耐污种的个体数猛增,相反,一些非耐污种数量减少甚至消失,一些优质鱼类等经济水产种类也会大量减少甚至消失,而低劣种类会有所增加,使得水产养殖的经济效益大幅度下降。

(七) 影响旅游和航运

水体一旦发生富营养化,藻类大量繁殖,水体透明度下降,水质浑浊,水面藻类聚集,臭味弥漫,严重影响了湖库的旅游观光,甚至丧失旅游价值。此外,富营养化水体中生长的大量浮游生物,还会堵塞航道,影响航运。

三、富营养化防治技术概况

国内外对湖泊富营养化研究的工作起步较晚,且主要集中在湖泊富营养化形成机理和评价体系方面,对富营养化防治技术是近几年才开始的。所采用的方法归纳起来主要包括内、外源的控制,生态工程技术和管理技术。

(一) 控制氮、磷等营养物的流入

通过工艺改革、产品改进,减少废水中氮、磷的含量。含磷洗涤剂改为无磷洗涤剂,农业生产上合理控制施肥量,改进施肥技术,提高作物利用率,减少流失量,投饵养殖时,做好养殖规划,兼顾经济效益和生态效益,把生态效益放在首位。

(二) 物理方法治理

池塘、水库加强水的交换,当有合适水源时可引入,以起到稀释的作用,带出氮、磷物质以及藻类;深水湖泊或水库中,设法将深层水排出,降低富营养化程度;湖泊中采用机械方法进行曝气和促进水的流动,以改善氧气状况,加强矿化作用,降低浮游植物光合作用等;一般情况下藻类密度较小,其絮体不易沉淀,采用气浮可以取得较好的除藻效果。富营养化后蓝藻类“水华”氮含量很高,可收集用于化肥、饲料,减少水体氮、磷负荷。

(三) 化学方法防治

常用的除草剂有硫酸铜、二氧化氯等。二氧化氯除草效果较好,但成本较高。化学药剂法应用较为灵活,但使水体增加了新的对鱼类健康不利的化学物质。改善养殖水体环境,增加水中溶解氧含量,可防治养殖过程中藻类的生产。

(四) 生物防治

生物处理是利用微生物的作用改善水质。微生物是降解废水、废物的主力军,利用经过遗传工程改造的微生物将成为治理环境污染、保持生态平衡的最有效的方法。如硝化细菌可去氮去碳、杀灭病毒、降解农药、絮凝水体重金属及有机物残体、降解污泥等。

(五) 生态防治

生态学方法即从生态系统结构和功能进行调整,从营养环节来控制富营养化,使营养物质变为人类需要的终极产品(如鱼等水产品),而不是“水华”。利用滤食性鱼类直接吞食蓝藻可以作为一种生物防治途径。近年来对浮游动物与藻类“水华”关系

的报道很多,鱼类可以选择性地吞食浮游动物或浮游植物,而我们可以通过捕捞鱼产品来消除污染。水生高等植物和藻类在光能和营养物质上是竞争者,在湖泊种植大型水生植物,如莲藕、菖蒲等可以抑制浮游植物的生长,对改进水质感观性状有利。

(六) 综合防治

富营养化是多种原因、综合作用的结果,且污染源复杂,营养物质去除难度大,只用一种方法防治是很难奏效的。实践中通常是多种方法同时使用,既控制外源性营养物质的输入,又减少内源性物质的负荷。

四、当前国内外研究概况

水体富营养化是湖泊分类与演化的一个过程,是水体衰老的一种表现,也是世界各地的湖泊与水库普遍发生的一种现象,受到世界各国的普遍重视。水体富营养化是指藻类大面积繁殖,在光合作用下昼夜溶解氧浓度大幅度变化,造成鱼类死亡,使水体使用功能降低。河流的水华、海洋的赤潮等都是水体富营养化的表现。

早在 20 世纪 60 年代,联合国经济合作和开发组织(OECD)就组织了 18 个国家进行湖泊富营养化的系统研究。1980 年,日本环境协会和美国环境保护局(EPA)分别召开了“国际湖泊富营养化专题讨论会”。

1991—1993 年,澳大利亚新南威尔士州共发生 162 次水华,其中 84 次对水的用途造成不良影响,尤其是 1991 年底在达令河系发生了世界上有记录以来最大规模的蓝藻,绵延 1 000 km 以上。

近年来,我国汉江的水华频率有加快的趋势。1992 年 2~3 月,长达二百余公里的汉江武汉段水体颜色出现从未有过的异常黄褐色现象。分析得知,造成汉江水色变化的直接原因是藻类的大量繁殖,藻类个体密度比正常增长数百倍,其中硅藻占 95%(其中 95%为小环藻)。造成藻类剧增的主要原因是:

(1) 水文、气象因素。当时为长江涨水期,而来自北边的汉江仍为枯水期,且水位低于往年,造成长江水位高于汉江,呈现明显的顶托现象,使汉江水流变缓、泥沙下沉,水体透明度增加;武汉地区当时气候偏暖,阳光充足,促进藻类的光合作用,有利于藻类繁殖。

(2) 营养因素。汉江水体已具备了藻类生长、繁殖的营养条件。汉江枯水期的 TN 浓度(0.43 mg/L)和 TP 浓度(0.144 mg/L)都大大超过了可令藻类大量繁殖的限度(TN 浓度 >0.3 mg/L, TP 浓度 >0.02 mg/L)。由于汉江水体呈微碱性,因而引发了喜微碱性环境的硅藻大量繁殖,致使自来水管的过滤池过滤困难,自来水处理成本上升,供水水量和水压都低于正常时期,市民用水受到影响。

据统计,目前我国五大湖均出现不同程度的富营养化,地处发达地区的湖泊和水

库,富营养化现象尤为严重,如杭州西湖、武汉东湖等。特别是国内外广泛关注的云南滇池,十几年来国家投入了大量的人力、物力进行重点研究和治理,在“世博会”期间云南省和昆明市政府共投资了 50 亿元巨额资金,采取包括打通西园隧洞及疏挖草海底泥、投药杀藻等一系列措施,在昆明市已建成四座城市污水处理厂,污水处理能力达到 36.5 万 t/d,城市污水处理率已达 60%以上,滇池流域内的工业废水在 1999 年 5 月 1 日已实现达标排放。但这些工作只取得了一些短暂的效果,未能从根本上消除滇池的富营养化现象,最近科技部和云南省政府在北京宣布,将投入 5 000 万元开展“滇池水污染治理技术研究”,该项目已正式启动。可见,对已发生富营养化的水体进行恢复治理的代价是十分昂贵的。

引起水体富营养化的因素很多,主要与水域中的营养盐含量、浮游藻类的生产力和水文气象条件有关。氮和磷及其化合物是产生富营养化的主要营养物质,特别是磷,水体中增加 1 kg 磷可增长 100 kg 藻类;水中的微生物及蓝藻、绿藻等水生植物对大多数形态的氮都有一定的吸收作用,并可在缺氮的环境中通过呼吸作用直接从大气中固氮。判断水体的富营养化程度除表观指标(颜色、透明度等)外,主要是根据水体中的微生物(藻类)浓度及其变化过程。国内外研究表明,湖泊的富营养化主要都是以氮、磷负荷及与之相关的浮游藻类生产力来确定。国际上一般认为 TP 浓度为 0.02 mg/L, TN 浓度为 0.2 mg/L,是湖泊富营养化的发生浓度;大量研究表明,湖泊的氮磷比(N/P)在 10~15 时,最有利于藻类繁殖。

由于水库的水流特性与湖泊有所不同,特别是像三峡这样的巨型水库,其水量交换比一般湖泊大,目前国内外还没有定量判断水库富营养化的理论方法或经验公式。水体富营养化是湖泊分类与演化的一个过程,是水体衰老的一种表现,也是世界各地的湖泊与水库普遍发生的一种现象,受到世界各国的普遍重视。

第一篇

三峡库区水质及富营养化现状

一、地理位置

三峡库区位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带，地处长江上游，在川鄂两省的结合部，库区西起江津市，东至宜昌县，沿长江狭长分布，是长江沿江地区经济带的重要组成部分，库区面积 5.99 万 km²，人口 1 600 万，在促进长江沿江地区经济发展和我国东、西部地区经济交流中占有十分重要的位置。

二、地形地貌特征

三峡库区属川东平行岭谷区，地貌以低山、丘陵为主，低山占总面积的 59.81%，丘陵占总面积的 30%，平坝面积不足 10%。地势由南、北向长江河谷逐级降低。

大巴山耸立于东北边境，是渝陕、渝鄂界山，山脊呈西北向东南走向，海拔一般为 1 500~2 200 m，不少山峰高达 2 500~2 700 m。巫山、七曜山北段位于东部和东南部，跨巫山、奉节、云阳，东北向西南走向，海拔一般为 1 000~2 000 m，长江由西向东横切巫山，形成“三峡天险”。

南部和东南部以低山为主，间有中山，河谷深切，地势崎岖，起伏较大，受东北向地质构造限制，山脉水系发育呈东北—西南走向，岭谷相间，七曜山、武陵山、方斗山、金佛山平行排列，海拔一般为 1 000~1 500 m，广泛出露的石灰岩经流水长期侵蚀、溶蚀，岩溶地形强烈发育，洼地、盆地、槽谷、溶沟、漏斗、落水洞（天坑）、盲谷、伏流、溶洞广为分布，成为渝东南突出的地形特征。

中部和西部处于川东平行岭谷向南延伸与川中丘陵、四川盆地南缘山地的交接地带，地形以丘陵为主，间有低山和零星平坝。山脉以东北—西南向条带状分布，丘陵、台地相间平行排列，俗称“川东平行岭谷”。箕山、云雾山、巴岳山、缙云山、中梁山、铜锣山、明月山、黄草山由西向东呈“帚”状散开，条形山与宽缓的丘陵交替出现，山脊海拔 500~1 000 m，相对高度 300~600 m。