



＞ 生命之源 庄大立 / 摄

守护生命之源

——关注水体富营养化

□ 文 / 陈宗定 许春雪

第一作者简介 陈宗定，助理研究员，主要从事地质分析标准化研究工作。

水是人类赖以生存和发展必不可少的重要物质资源之一，是经济发展、社会进步的生命线，是实现可持续发展的重要物质基础。然而随着世界人口增加，工农业生产迅猛发展，生活和生产用水与日俱增，一些地区水生态损害、水环境污染等问题突出。例如，近年来水体富营养化现象在湖泊、河流、水库等地表水中日趋严重，影响和损害着人类健康，已成为当今世界的一个突出性难题。

何为水体富营养化

公认的水体富营养化定义为：湖泊、河口、海湾等缓流水体富含丰富的氮、磷等营养物质，引起水体中浮游生物与藻类迅速繁殖，导致水体含氧量和透明度下降，水生生物大量死亡的现象。由于浮游生物大量繁殖，水体往往呈现绿色、蓝色、红色、棕色等，这种现象在江河湖泊水中叫作“水华”。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

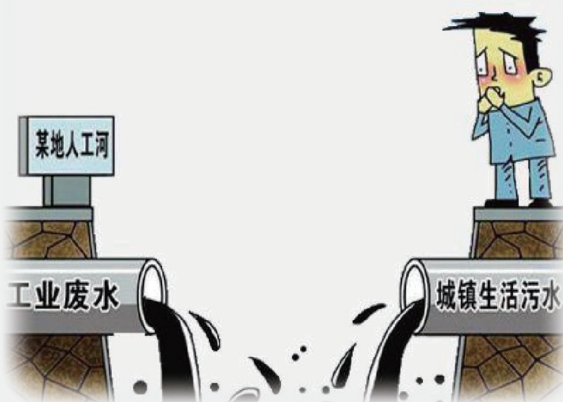
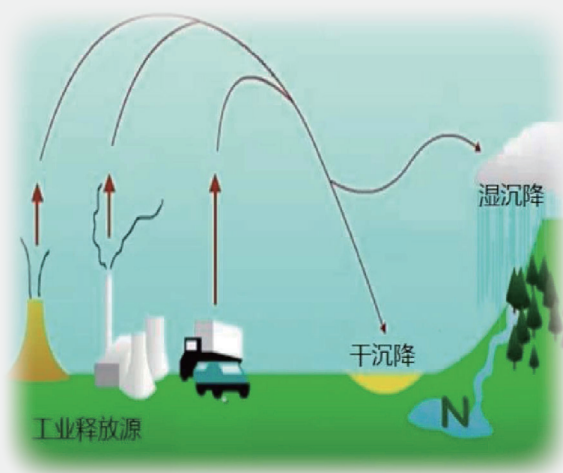
＞ 守护生命之源

20 世纪以来,伴随工业化和城市化进程的加快,人类活动对水环境的压力及影响日益加深,水体富营养化问题已成为全球性水环境污染问题。联合国环境规划署的调查研究表明,全球范围内 30% ~ 40% 的湖泊和水库均遭受了不同程度的富营养化影响。我国湖泊富营养化近年来呈现迅猛发展的趋势,如 2007 年 5 月 28 日晚,国内五大淡水湖之一的太湖暴发了严重的蓝藻水华,污染了饮用水水质,引起社会广泛关注;安徽巢湖的水体中蓝藻占全年总藻类生物量的 50% 左右,严重影响了巢湖对合肥市饮用水水源供给,制约了经济发展。

富营养化会影响水体的水质,造成水体透明度降低,使得阳光难以穿透水层,从而影响水中植物的光合作用,造成水中溶解氧的过饱和状态,导致鱼类大量死亡。同时,由于水体富营养化,水体表面生长着以蓝藻、绿藻为优势物种的大量水藻,形成一层“绿色浮渣”,致使底层堆积的有机物质在厌氧条件下分解、产生的有害气体和一些浮游生物产生的生物毒素也会伤害鱼类。因富营养化水中含有硝酸盐和亚硝酸盐,人畜长期饮用这些物质含量超标的水会中毒致病。例如,20 世纪中后期长江中下游地区开始大规模工农业生产、基建等人类经济社会活动,直接或间接导致了湖泊中污染物的聚集,湖泊水质急剧富营养化、藻类大量繁殖导致水生动植物迅速减少,湖滨带生态系统结构遭到破坏,生物多样性丧失。

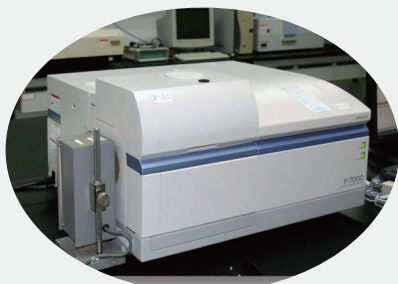
“营养”源自何处

化学因素(氮、磷、铁、钙、二氧化碳和有机质等)、物理因素(光照和温度)、生物量因素,以及三者之间的共同作用,均是引发水体富营养化的因素。水体中营养盐主要为氮、磷等营养物质。氮元素通过工业合成、矿石开采、生物固氮方式进入生态系统,通过大气沉降、生活污水、农业造成的土壤流失及化肥农药的使用,经过雨水冲刷等方式进入水体。磷元素存在于多种矿相中,由于风化侵蚀作用和人类开采被释放出来,经降水成为可溶性磷酸盐进入生态系统,通过食物链进行物质循环,随着水流进入河流湖泊中。



> 水体中氮、磷营养物质来源

污染来源可分为外源性污染和内源性污染。外源性污染包括上游来水、地表径流、沿途排水、降雨降尘等;内源性污染主要指水体自身底泥等



> 紫外可见分光光度仪



> 离子色谱仪



> 气相分子吸收光谱仪



> 流动注射仪

沉积物经厌氧分解释放进入水中。以安徽巢湖为例, 1986—1995 年间, 在流入巢湖的氮、磷营养性污染物中, 来源于地表径流、水土流失等外源污染的氮占 69.54%, 磷占 51.71%。一般认为, 外源污染是引起水体富营养化和蓝藻水华的主要原因。

营养盐——氮、磷的赋存状态及分析方法

前面提到, 沉积物的释放是水体中各营养元素及污染物的重要来源。当这些沉积物中的营养盐释放到水体中时, 改变了水中氮、磷赋存状态, 为浮游植物提供了必需的营养物质, 可能引起或者加重水体富营养化。那么沉积物中氮、磷赋存状态有哪些呢?

一般认为, 沉积物中的氮主要由有机氮和无机氮组成, 无机氮以氨盐、硝酸盐和亚硝酸盐为主。无机氮是藻类能直接吸收利用的氮形态, 当其含量过高时, 易导致水体富营养化。此外, 有机氮可通过微生物转化为无机氮进入水体中。沉积物中磷可分为总磷、无机磷、有机磷、铁铝磷、钙磷 5 种形态。就生物可利用性来讲, 有机磷和铁铝磷对水体中磷的水平影响较大, 是引起水华的风险所在。

对水体中氮、磷的研究, 离不开分析测试技术支撑。随着科学技术发展, 检测方法逐渐由传统经典化学方法向仪器化、现代化转变。目前检测水体总氮磷含量的方法主要有紫外分光光度法、气相分子吸收光谱法、离子色谱法、流动分析法, 等等。其中, 紫外分光光度法是目前我国使用最广泛的方法; 离子色谱法方便快捷, 对氮磷含量检测更加灵敏, 具有很好的选择性; 流动分析法检测的浓度范围很大,

操作简单, 仅需使用少量试剂, 成本较低, 而且可以同时检测多项指标。

富营养化治理 任重道远

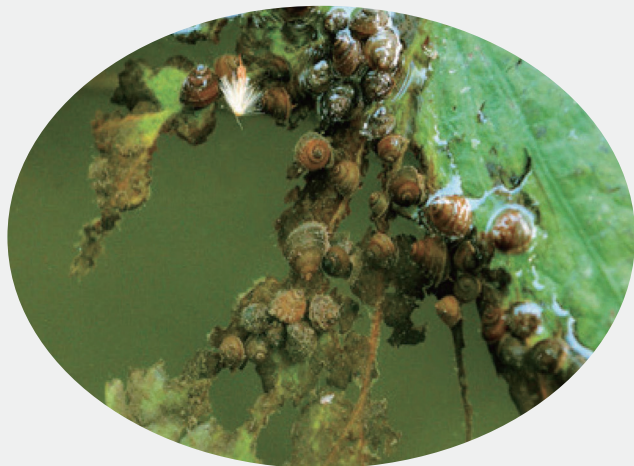
水体富营养化治理是一项系统性的工程, 如何改良水质, 控制有害藻类的繁殖是治理的重点。造成水体富营养化的原因复杂多变, 修复富营养化时要考虑所有因素, 从根本上解决富营养化问题。目前采用的主要修复技术有以下几种。

物理修复。主要是指运用物理学的原理修复或者优化生态系统的环境条件, 从而达到修复水体生态系统的目的。包括机械除藻、覆盖底部沉积物、营养盐纯化等。其最大优点是见效快, 修复效果较明显, 但不能从根本上解决问题, 容易出现反复污染。

化学修复。主要是通过化学手段 (例如在富营养化水体中加入石灰, 利用硝化与反硝化作用脱氮, 或利用金属盐类聚集沉淀水体中的磷, 从而降低营养盐浓度) 降低水体中氮、磷的浓度, 或者抑制藻类的大量繁殖。例如, 美国华盛顿州西部的长湖是一个富营养水体, 人们通过向湖中投加铝盐的办法来沉淀湖中的磷酸盐, 在投加铝盐后的第四年夏天, 湖水中的磷浓度下降了 50%, 湖泊水质有较明显的改善。化学修复效果最为显著, 但易造成二次污染, 修复成本高, 可作为辅助或应急控制手段。

生物修复。即通过生物本身特性修复富营养化水体，可提高水体本身自我净化、恢复能力，是近几年来研究热点。主要包括：

水生植物修复。水生高等植物不仅能够快速吸收水体和沉积物中的营养盐，控制藻类生长，而且对于稳定清水态具有重要作用。采用水生植物修复水体，不但低耗、高效、安全和持久，而且具有一定的观赏价值，是一种绿色修复技术。沉水植物通过自身吸收作用（可溶态氮磷）及分泌助凝物质，吸附沉降水中的悬浮颗粒（颗粒态氮磷），以达到去除水中氮磷的目的。例如，水葫芦、紫萍和豆瓣菜，对衣藻、蓝藻和绿藻具有显著的抑制效应。研究人员在武汉东湖采用金鱼藻覆盖治理，其中总氮和总磷含量下降了60%以上。滇池水体通过水葫芦控制性种养水体生态修复



技术，其总氮和总磷分别下降了70%和90%以上。

水生动物修复。水生动物治理技术是利用食物网或食物链的摄食关系以及生物相互促进或者抑制的关系，改变湖泊中生物种群配置，从而达到改良水质、恢复生态平衡的目的。例如，在富营养化水体中养殖滤食性鱼类可有效遏制微囊藻大量繁殖，河蚌、螺蛳等底栖软体动物可吸收水体中氮磷等营养物质，降低水体中COD（化学需氧量）值。

人工湿地。人工湿地是指利用人造填料、微生物及水生植物群落相互作用，通过过滤、吸附沉淀、离子交换、植物吸收等过程，实现对水体中有机物氮磷等营养元素的分解。人工湿地技术污水处理效率高、成本低、占地面积小，广泛应用于生活污水、工业废水等的处理。但较其他修复技术而言，人工湿地存在受气候、温度影响较大，占地面积大等问题。

国外一些研究表明，向富营养化水体中加入经培育筛选的微生物菌种可达到改良水质的目的。研究人员将CBS水体修复技术（一种投放生物菌种的典型技术）应用于“成都府南河水体修复”等工程，取得了一定成效。

总之，水体富营养化治理，要充分尊重自然规律，不能急于求成。一方面，要不断完善水体管理法律法规，增强人们的环境保护意识，做到“预防为主”；另一方面，不断完善提高水体富营养化修复技术，根据具体情况，开展相应治理工作。同时，还应号召公众参与水体管理和保护，共同解决水体富营养化问题，还大自然一片绿水青山！

本文由中国地质调查局“水样测试分析质量控制（编号：DD20190323）”项目资助。

第一作者单位 / 国家地质实验测试中心

＞ 河蚌、螺蛳——水体中的清洁者

（本文编辑：张佳楠）