

蓝藻水华

——湖面上的“绿油漆”

撰文·供图 周起超 郑凌凌

在我国，许多水体已经或曾经出现过不同程度的水华，如太湖、巢湖、滇池及高州水库等的蓝藻水华，汉江、嘉陵江出口段等河流的硅藻水华，三峡库区部分库湾与支流、云南漫湾水库等的甲藻水华，池塘养殖中常见的隐藻水华，以及河南延津县养殖池塘中的绿藻水华、裸藻水华等，2008年奥运会前的青岛（海洋）浒苔事件则是由绿藻（石莼科）引起的。

2013年10月滇池水华

生活中，您是否看到过湖面上铺了一层厚厚的绿油漆？这实际上是水体浮游植物（藻类）大量繁殖铺在水面上形成了水华的结果。如果发生在海洋，则叫赤潮。水华，或藻类水华，是淡水中的一种自然生态现象，常发生于富营养化水体，表现出的是对环境的负面效应。

“河里的水都变作血了。河里的鱼死了，河也腥臭了，埃及人就不能吃这河里的水了”，这段出于《圣经·出埃及记》的描述，可能是世界上关于水华最早的文献记载。我国关于水华的最早文献记录可能是明代《嘉靖山东通志》所描述的“（西晋）晋武帝太康五年（公元284年）夏六月，任城鲁国

池水皆赤如血”。当然，这些早期记录的准确性有待考证。



为什么会发生水华？ ——藻类太多了

具体而言，水华是指在富营养化水体中，一些具有浮力或运动能力的浮游植物过度生长，从而使其生物量显著高于一般水体的平均值（浮游植物叶绿素a浓度达到10微

克/升, 或藻类细胞数每升达到 2×10^7 个细胞), 并在合适的水文气象条件下大量聚集于水体表面, 最后形成肉眼可见的藻类聚集体, 进而导致水质下降等一系列严重的水环境问题。水华不仅影响水生生态系统的群落结构, 降低生物多样性, 还影响到渔业生产、生态景观等。有些水华藻类还能释放出毒素、异味物质等次生代谢产物危及饮用水安全与人类健康, 因而该环境问题已逐步受到重视。如2007年无锡水(污染)危机事件发生后, 政府与公众均已将之提高到一个关乎民生的新高度。

水华的形成、优势维持乃至消退是几个方面综合作用的结果, 如物理因子光照、温度、风速与水动力等, 化学因子营养盐、重金属、pH等, 生物因子浮游动物、鱼类、微生物等, 以及浮游藻类自身的因素。当然, 不同时空等条件下影响水华的主导因子可能会有所不同。

水华的优势类群常为蓝藻(称为蓝藻水华), 淡水水体中较为常见的水华蓝藻主要有微囊藻、束丝藻、鱼腥藻、颤藻、胶刺藻、鞘丝藻等, 微囊藻是我国及世界水华的优势类群。接下来我们就来认识一下常引起水华的元凶——蓝藻以及蓝藻下属的微囊藻。



蓝藻

——最早的光合放氧生物

蓝藻, 又称蓝细菌或蓝绿藻。它们可能是地球上最早进行光合作用并释放出氧气的光能自养型原核生物, 其进化史可追溯至35或27亿年前。据保守估计, 世界范围内的蓝藻总生物量达 3×10^{14} 克碳或 10^{15} 克湿重生物量。蓝藻有单细胞、丝状或非丝状群体等。蓝藻的繁殖多为细胞分裂, 丝状藻类常用藻丝断裂形成段殖体来成长为新的个体, 有的种类则以孢子的形式进行繁殖。有些丝状蓝藻如念珠藻、鱼腥藻、束丝藻等,



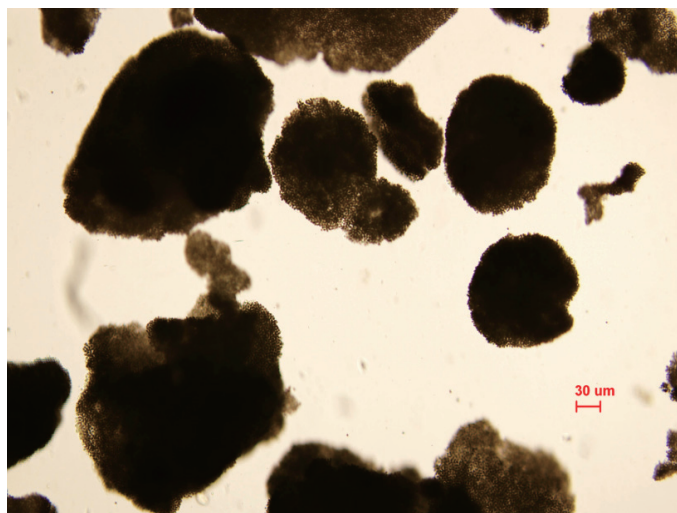
铜绿微囊藻



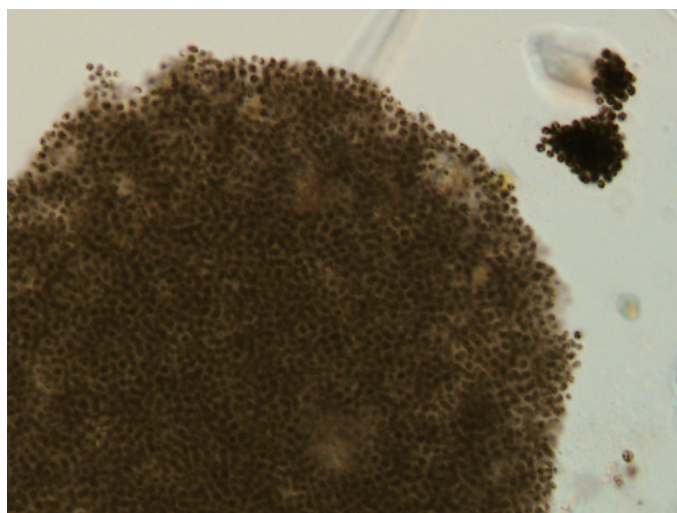
放射微囊藻



绿色微囊藻



水华微囊藻



鱼害微囊藻



惠氏微囊藻

能分化出具有固氮功能的异形胞，如蕨类植物满江红常与固氮蓝藻共生成为优良的绿肥。有些蓝藻还能生成代谢活动极低的厚壁孢子以适应不良环境。

蓝藻无色素体，其类囊体膜上的叶绿素a与类囊体膜外表面的藻胆蛋白是其光合作用捕光系统的主要成分。有些蓝藻如原绿球藻 (*Prochlorococcus*) 含叶绿素b, *Acaryochloris marina* 含叶绿素d, 蓝藻均具有C-藻蓝蛋白和别藻蓝蛋白, 有些种类还含有C-藻红蛋白和藻红蓝蛋白。 β -胡萝卜素如4-酮- β -胡萝卜素和叶黄素如叶黄素II是蓝藻有别于真核藻类的类胡萝卜素。

蓝藻门分为色球藻目、颤藻目、念珠藻目和真枝藻目等, 该门涵盖了5 000个已命名的与3 000个暂未发现或命名的种类, 我国已知的约有1 000种。许多蓝藻如微囊藻、鱼腥藻、束丝藻、颤藻、节球藻、鞘丝藻等会产生危及人类健康与饮用水安全的蓝藻毒素, 这些毒素通常被归为肝毒素、神经毒素、皮疹毒素与细胞毒素、内毒素四大类。有些蓝藻如鱼腥藻、颤藻、席藻等还会产生影响饮用水环境质量的异味物质, 如布谷叶树脂、2-甲基异茨醇等。

微囊藻

——最容易形成水华的蓝藻

微囊藻 (*Microcystis*) 是色球藻目微囊藻科的一个属, 细胞球形或椭圆形, 原生质体浅蓝绿色、亮蓝绿色或橄榄绿色。自然条件下, 微囊藻常由细胞紧密而有规律地排列成群体, 群体球形、椭圆形或不规则形, 有时群体有穿孔形成网状或窗格状团块。群体表面常覆盖有无色透明 (少数种类具有颜色) 的胶被。群体形态的微囊藻常更具宽的生态幅, 且更具生存与竞争优势。营漂浮生活的微囊藻细胞中常有伪空胞, 本属中不少种类属于水华蓝藻。基于形态学与分子标记研究, 微囊藻

主要包括三个类群,分别为小细胞尺寸类群,如鱼害微囊藻、水华微囊藻;中等细胞尺寸类群,如铜绿微囊藻、挪氏微囊藻;大细胞尺寸类群,如惠氏微囊藻。绿色微囊藻近似于铜绿微囊藻类群,但仍需进一步研究。英国科学家雷诺兹等通过四年的野外观测与室内研究,结合显微与超显微结构观察等手段研究了微囊藻的生活史,认为微囊藻的生活史周期可分为底泥表层越冬、复苏至水体、浮游生长与形成水华以及沉降四个阶段。



蓝藻水华是怎么形成的?

在自然选择及演化过程中,以水华蓝藻为代表的水华藻类发展了系列生理生态策略以适应复杂的环境条件并占据优势。我国学者孔繁翔等根据生态学基本理论与水华形成过程的原位观测,提出了蓝藻水华形成的四阶段理论,即“在四季分明、扰动剧烈的长江中下游大型浅水湖泊中,蓝藻的生长与水华的形成可分为休眠、复苏、生物量增加(生长)、上浮及聚集四个阶段”。

若以微囊藻水华为例,蓝藻水华的阶段特征可表述如下:入秋以后,水柱中的微囊藻逐渐下沉于底层的过程被称作下沉或沉降(休眠),温度降低可能是诱导其沉降的主要因素。春季,随着水温的上升,合适的光照到达水体底部,底泥表面的微囊藻可立即恢复光合作用,重新分裂开始生长,并逐渐由单细胞或小群体长为大群体,此过程即复苏。4至9月的长江中下游湖泊中,微囊藻复苏后进入水体大量增殖,该过程以微囊藻的光合作用和细胞增殖为主要生命特征,主要受光合作用所需要的物质与能量影响,这个过程即大量生长。5至10月的长江中下游湖泊中,在适当的水文气象条件下,经过大量生长并成为优势类群的微囊藻会上浮至水面,并能在风或湖流的作用下快速漂移,然后聚集于局部湖区形成表面水华,严

重影响该区域的水质与景观,即形成了灾害性水华。当然,蓝藻水华阶段性特征的时间节点并非固定不变的,可能会随环境因子的改变而有所调整且会有所交叉。

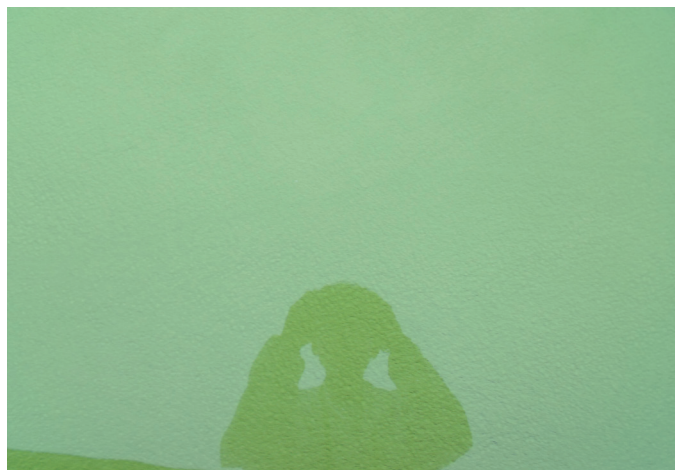
基于富营养化水体水华频发的现状及其危害性,寻找行之有效的水华控制方法已成为许多科技工作者的研究目标。目前,国内外水华控制方法主要有物理法、化学法、生物法以及部分综合方法,这些方法各有千秋亦有各自的局限性。虽然采用单一的技术手段治理复杂的水生态系统是相当困难的,但现今尚无一套科学的、系统的、成熟的通用方法可供借鉴。综上所述,虽然科学家对浮游藻类、水华发生机理及其防控策略已有了一定认识,但基于水华频发的现实,这些研究工作仍然有待进一步深入开展。

作者简介

周起超,高原湖泊流域污染过程与管理云南省重点实验室科技工作者、中国科学院南京地理与湖泊研究所博士后,2014年6月毕业于中国科学院水生生物研究所藻类生物学及应用研究中心,主要从事藻类生理生态学、湖泊生态与环境保护研究。

郑凌凌,中国科学院水生生物研究所、中国科学院野生生物种质库——淡水藻种库实验师,主要从事藻类分类学与藻类分离、纯化、保藏技术研究。

(责编 桑新华)



2010年6月太湖水华