

# 淡水水体中蓝藻水华研究进展

高政权, 孟春晓<sup>△</sup> (山东理工大学生命科学院, 山东淄博 255049)

**摘要** 综述目前国内大型浅水湖泊蓝藻水华成因研究现状, 分析蓝藻水华形成的一般机理, 重点阐明蓝藻水华治理的关键技术研究及其重要生态和环境意义。

**关键词** 蓝藻; 水华; 治理; 环境

**中图分类号** X524 **文献标识码** A **文章编号** 0517 - 6611 (2009) 16 - 07597 - 02

## Progress in Cyanobacteria Water Bloom in Fresh Water

GAO Zheng-quan et al (School of Life Sciences, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049)

**Abstract** The study summarized the research situation of formation cause of cyanobacteria water bloom, and analyses general mechanisms of cyanobacteria water bloom formation. Finally, key technology research and its important ecological and environmental significance for cyanobacteria water bloom control were discussed.

**Key words** Canobacteria; Water bloom; Rehabilitation; Environment

蓝藻又称蓝绿藻, 是所有藻类生物中最简单、最原始的一种。蓝藻在长期进化中形成了极强的生态竞争优势, 在适宜环境条件下即可获得最大生长率, 并以指数级迅速增长, 从而使产毒菌株密度增加, 获得竞争优势, 形成种类少而数量大的蓝藻水华。由于环境污染日趋加重, 许多水体富营养化而导致蓝藻水华的暴发, 成为我国目前及今后相当长一段时期内的重大水环境问题。我国五大淡水湖中的太湖和巢湖相继暴发大规模水华, 加上以前报道的滇池、南京玄武湖、淮河、海河等水华事件, 不难看出, 水体富营养化引起的蓝藻水华已极大地影响到人们生活的多个方面。20世纪90年代以来, 国内淡水水体营养状态日益严重, 长江、黄河、松花江等主要河流以及鄱阳湖、太湖、巢湖、武汉东湖、昆明滇池、上海淀山湖等集合淡水湖在调查中发现有大量藻类生长, 形成严重的蓝藻水华<sup>[1]</sup>。有资料表明, 我国有66%以上的湖泊和水库处于富营养化水平<sup>[2]</sup>。2007年4月中国科学院长江水利委员会发布的《长江保护与发展报告》称, 2003年三峡库区蓄水至135 m后, 12条长江一级支流, 在回水区不同程度地出现水华现象, 并且近几年有加剧的趋势。湖泊富营养化依然是我国目前以及今后相当长一段时期内的重大水环境问题。研究蓝藻水华的形成机制, 对于科学预测湖泊中蓝藻水华的产生及采取相应措施减少其带来的影响具有重要的生态和环境意义<sup>[3]</sup>。

## 1 水华的成因

富营养化的水体在适宜的条件下, 水体中藻类, 主要是蓝藻短时间大量繁殖并聚集的生态异常现象称为水华, 也称湖靛。底泥腐殖质较多的水体, 因富含P、N等营养元素, 当N、P比值大于7时, 只要外部条件适宜, 浮游植物特别是蓝藻就会迅速繁殖生长, 甚至在水面聚合成数厘米厚的蓝绿色的藻浆, 即水华。浮游植物对N、P的吸收速率遵循米氏方程。蓝藻水华的生成离不开合适的光照、气温、水文、气象等因素。蓝藻的繁殖习性是喜高温、连续阴雨、闷热、弱风的气

候条件, 在该条件下会大量繁殖, 在数量上占绝对优势, 完全抑制了其他藻类的生长。影响蓝藻水华形成的环境因素包括物理因素(水温、光照、营养盐、气候等)、化学因素(氮、磷浓度等)、生物因素(蓝藻本身的生理生态特征在形成优势种群中的作用)等<sup>[3]</sup>。赵孟绪等探讨了2003年广东汤溪水库蓝藻水华提前发生的原因, 结果表明, 水温与蓝藻、微囊藻的丰度具有显著相关性, 较高的水温是蓝藻水华发生重要条件之一; 在具备充分氮磷营养盐和合适水温条件下, 汛期反常的水体稳定性导致了汤溪水库蓝藻水华的提前发生<sup>[4]</sup>。

## 2 水华的危害

蓝藻水华被认为是影响水质的重要因素, 它会产生微囊藻毒素, 为代表的有毒代谢物, 严重危害人类身体健康和生命安全。1996年在巴西, 由于人群使用了含藻类毒素污染的水作肾透析液, 造成126人出现急性或亚急性肝中毒, 导致60个患者由于肝功能严重损伤而死亡<sup>[5]</sup>。水华是藻类在合适环境条件下形成的过度繁殖和聚集现象, 因而在种类组成、发生时间及水平分布上具有一定的规律性。蓝藻水华出现时, 水面被厚厚的蓝绿色湖靛所覆盖, 甚至在岸边大量堆积。藻体大量死亡分解的过程中, 不但散发恶臭, 破坏景观, 同时大量消耗水中的溶解氧, 使鱼类窒息死亡。随着富营养化的加剧, 藻类水华发生的频率和幅度增加, 水华对水环境的危害和生物安全日益引起广泛的关注。在水华发生时, 其现象表现为某些藻类, 尤其是单细胞的蓝藻疯长。水华是湖泊富营养化的典型表征之一。蓝藻水华的形成影响了水生态系统的健康发展。蓝藻大量生长改变了水体的理化环境, 透明度降低, 水体散发腥臭味, 溶解氧减少, 造成鱼虾等水生物的死亡。当水体中的营养盐被蓝藻耗尽时, 蓝藻大量死亡, 尽管是死亡的蓝藻, 其在被细菌分解过程中还是会产生并释放蓝藻毒素, 最终导致生态系统的迅速崩溃, 蓝藻水华也给水产养殖业、供水及旅游业甚至人类的饮用水安全带来极大的危害<sup>[6]</sup>, 太湖、玄武湖、巢湖、滇池等大型湖泊都曾深受蓝藻水华暴发所引发的污染之苦<sup>[7-9]</sup>。

目前人们最为关注的焦点是蓝藻毒素所带来的危害。在淡水水体中引起蓝藻水华和产生藻毒素的藻类主要有蓝藻门的微囊藻属、鱼腥藻属、念珠藻属、束丝藻属和颤藻属等, 其中的微囊藻毒素是一组由水体中蓝绿藻(如微囊藻、鱼腥藻、颤藻及念珠藻)产生的具有亲肝特性的环状多肽毒

**基金项目** 国家自然科学基金(40706050; 40706048); 国家支撑项目(11200602); 中央级公益性研究所专项资金(2060402/2); 山东理工大学自然科学基金(4040-306017); 山东理工大学博士启动基金项目(4041-405016, 4041-405017)。

**作者简介** 高政权(1972-), 男, 湖南安乡人, 博士, 副教授, 从事藻类生理学研究。\*通讯作者。

**收稿日期** 2009-00-

素<sup>[10-11]</sup>,对人畜危害极大。有关饮用水中微囊藻毒素的分析和监测也成为水华研究的一个重要领域<sup>[12]</sup>。另外,由于蓝藻水华暴发引起的水体严重缺氧和蓝藻毒素的产生对水产养殖业也有很大影响<sup>[13-14]</sup>,水华暴发常使大批水生生物死亡,引起巨大生态破坏和经济损失。如果人畜的饮用水源中蓝藻大量繁殖,或养殖池被有毒蓝藻所污染,其中的鱼虾贝类等可通过食物链积累蓝藻毒素,进而危害人类健康。

### 3 水华的治理

研究表明,目前对蓝藻水华的治理方法大致可以分为物理法、化学法、生物法等<sup>[15-16]</sup>。物理法主要采取引水或换水(适用于水量小的水体)、过滤(膜过滤)吸附(活性炭吸附)、曝气(补充氧气)等措施;物理化学法主要采取混凝沉淀(含有大量悬浮物和藻类的水体处理)、加药气浮等措施,但都存在费时、费钱及操作困难等一系列缺陷,且不能从根本上解决水体富营养化问题。

化学法主要采取化学药剂法、电化学法、光化学降解法等措施。其中最常用的是化学药剂法,主要利用除草剂、杀藻剂以及金属盐等来控制水华藻类的繁殖,可能通过金属离子抑制藻类的正常代谢或金属离子的絮凝作用沉降藻类从而达到除藻目的,使用最广泛的当属硫酸铜(一般投加量为0.6~1.0 mg/L),其中用铁盐、铝盐作增效剂可提高硫酸铜的除藻效果,0.2~0.3 mg/L  $\text{Cu}^{2+}$ 就能控制微囊藻水华<sup>[17-18]</sup>,但大量使用硫酸铜常会引发毒害水生生物及重金属在湖泊中的积累等二次污染,因此具有一定局限性。1999年5月在滇池开展的利用化学除藻剂控制滇池蓝藻水华的试验研究<sup>[19]</sup>和2005年9月在南京玄武湖开展了化学除藻剂治理蓝藻水华的试验研究结果表明,除藻剂可能在短时间内除抑蓝藻,但不能从根本上解决湖泊富营养化问题<sup>[20]</sup>。

生物除藻是利用生态系统食物链摄取的原理来控制或抑制水华,又不能造成生态危害,人为地创造了一个生态链环。目前主要采用栽种生长快的水生高等植物(荷花、菖蒲、芦苇等)、放养水生动物(鲢、鳙)、投加光合细菌(PSB)或高效微生物复合制剂、生物栅和人工生物浮岛、生物滤构法等措施。首先,栽种某些增殖快的水生高等植物可以通过竞争作用来抑制水体中蓝藻的生长,富集氮磷等营养物质,邵林广在武汉东湖进行了水浮莲净化富营养化湖泊的试验研究<sup>[21]</sup>,何池全等研究了石菖蒲对水体的净化作用<sup>[22]</sup>,结果都比较理想。其次,可利用鲢、鳙等水生生物吞食大量藻类,使得藻类数量明显减少,以达到抑制蓝藻水华的目的。大量放养滤食浮游生物体的鲢、鳙是武汉东湖蓝藻水华消失的决定性因素<sup>[23]</sup>,对维持生态平衡、抑制蓝藻生长、缓解水体富营养化起了一定作用。Ke等在太湖梅梁湾放养鲢、鳙,成功地防治蓝藻水华<sup>[24]</sup>。北京什刹海、美国大湖区均有利用鱼类防治蓝藻水华的试验<sup>[25-26]</sup>。罗非鱼对蓝藻的抑制作用越来越受到重视,陆开宏等在宁波月湖等富营养化景观水体进行了罗非鱼控制蓝藻水华的试验,结果证明,罗非鱼放养应是控制富营养化水体蓝藻水华的理想措施之一<sup>[27]</sup>。再者,在被污染的淡水水体中投放一定量的微生物制剂,即由优势除藻菌组成的微生物复合体系,可以增加水体中的有益菌浓度,提高水体分解氮磷等营养的能力,促进水生生物生长,促进生物吸收。该方法成本低,操作

简单,是目前极具潜力的生物控藻新技术<sup>[28]</sup>。

### 4 结语

由于没有引起足够的重视,水域富营养化问题已经越来越严重,水华发生的频率与影响范围也越来越大,所引起的危害必然越来越严重。因此,国家应加大投入,加强水体富营养化对水华暴发影响和湖泊水体富营养化与污染物间相互作用、作用机理及对藻类生长影响的研究,加强合理的评价水华危害及有效治理的研究。

### 参考文献

- [1] 沈建国,章建.微囊藻毒素的污染现状、毒性机理和检测方法[J].预防医学情报杂志,2001,17(1):10-11.
- [2] 黄漪平.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001:1-104,147-160.
- [3] 孔繁翔,高光.大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J].生态学报,2005,25(3):589-595.
- [4] 赵孟绪,韩博平.汤溪水库蓝藻水华发生的影响因子分析[J].生态学报,2005,25(7):1554-1561.
- [5] 李长征,李捍东,刘琴,等.微生物降解藻毒素[J].环境科学与技术,2006,29(8):103-105.
- [6] 王扬才,陆开宏.蓝藻水华的危害及治理动态[J].水产学杂志,2004,17(1):90-94.
- [7] 敖宗华,陶文沂,汤晓智,等.太湖蓝藻水华胰蛋白酶抑制剂和凝血酶抑制剂的测定[J].食品生物技术,2002,21(3):305-309.
- [8] 张哲海,梅卓华,孙洁梅,等.玄武湖蓝藻水华成因探讨[J].环境检测管理与技术,2006,18(2):15-18.
- [9] 胡雯,杨世植,翟武全,等.NOAA卫星监测巢湖蓝藻水华的试验分析[J].环境科学与技术,2002,25(1):16-17,39.
- [10] 徐均康,王红兵.蓝藻毒素及其检测方法研究进展[J].上海环境科学,1996,15(9):38-41.
- [11] BABICA P, BLAHA L, MARSALIK B. Exploring the natural role of microcystins a review of effects on photoautotrophic organisms[J]. J Phycol,2006,42:9-20.
- [12] 盛建武,何苗,施汉昌,等.蓝藻毒素的监测及水华爆发的应急方案[J].中国给水排水,2005,21(5):26-28.
- [13] 杨传萍.蓝藻水华对水产养殖的危害和防治措施[J].安徽农学通报,2006,12(9):132.
- [14] 乔顺风,刘恒义,刘俊强,等.养殖水体蓝藻水华的产生和防治[J].河北渔业,2003(5):34-35,38.
- [15] 于虹漫,冷云.谈蓝藻水华的危害与防治[J].北京水产,2004(1):29-30.
- [16] 聂发辉,李田,吴晓英,等.藻型富营养化水体的治理方法[J].中国给水排水,2006,22(18):11-15.
- [17] 刘霞,杜桂森.藻类植物与水体富营养化控制[J].首都师范大学学报:自然科学版,2002,23(4):56-59,1.
- [18] 兰智文,赵鸣,尹澄清.藻类水华的化学控制[J].环境科学,1992,13(1):12-15.
- [19] 和丽萍.利用化学杀藻剂控制滇池蓝藻水华研究[J].云南环境科学,2001,20(2):43-44.
- [20] 李静会,高伟,张衡,等.除藻剂应急治理玄武湖蓝藻水华实验报告[J].环境污染与防治,2007,29(1):60-62.
- [21] 邵林广.水浮莲净化富营养化湖泊试验研究[J].环境与开发,2001,16(2):28-29.
- [22] 何池全,赵魁义.石菖蒲净化富营养化水体的研究[J].南昌大学学报:理科版,1999,23(1):73-76.
- [23] 刘建康,谢平.揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J].长江流域资源与环境,1999,8(3):312-318.
- [24] KE Z X, XIE P, GUO L G, et al. In situ study on the control of toxic Microcystis blooms using phytoplanktivorous fish in the subtropical Lake Taihu of China: a large fish pen experiment[J]. Aquaculture, 2007,265:127-138.
- [25] ZHANG X, XIE P, HAO L, et al. Effects of the phytoplanktivorous silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) on plankton and the hepatotoxic microcystins in an enclosure experiment in a eutrophic lake, Lake Shichahai in Beijing[J]. Aquaculture, 2006,257:173-186.
- [26] BOYER G. Toxic cyanobacteria in the Great Lakes: more than just the Western Basin of Lake Erie[J]. J Great Lakes Res, 2006,32:1-7.
- [27] 陆开宏,金春华,王扬才.罗非鱼对蓝藻的摄食消化及对富营养化水体水华的控制[J].水产学报,2005,29(6):811-818.
- [28] 李雪梅,杨中艺,简曙光,等.有效微生物群控制富营养化湖泊蓝藻的效应[J].中山大学学报:自然科学版,2000,39(1):81-85.