

文章编号:1672-058X(2011)05-0539-04

论现代除藻技术*

刘洁¹, 王毓丹², 陈建², 钟成华¹

(1. 重庆工商大学环境与生物工程学院, 重庆 400067; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

摘要:介绍了由水体富营养化引起“水华”的发生特点及“水华”的危害;阐述了现代藻类去除的物理、化学和生物方法,系统地分析了各种方法的原理,适用条件,去除效果等;探讨了未来藻类去除方法的发展趋势。

关键词: 水体富营养化;水华危害;除藻技术

中图分类号: X143

文献标志码: A

1 水华的发生特点及危害

蓝藻在富含氮、磷等无机营养物、水温常年介于 15~30℃ 之间、pH 值介于 6~9 之间的水体中常年存在。水华常常发生在夏末或初秋,常发生在富营养化水体中。最佳的光照度因藻种而异。此外,一些蓝藻(如铜绿微囊藻)能够随光照调节其浮力。这一特性使蓝藻可在不同温度梯度的水中游移,并可吸收水温较低的深层水中的营养。对于不同的水域,由于区域地理特性、自然气候条件、水生生态系统和污染特性等诸多差异,尽管会出现不同的富营养化表现症状,也即出现不同的优势藻类种群,并连带出现各种不同类型的水生生物种类的失衡,但富营养化发生所需的必备条件基本上是一样的,最主要的影响因素为^[1]: ① TP, TN 等营养盐相对比较充足;② 浅缓的水流流态;③ 适宜的光照条件。当其三方面条件都比较适宜时,水体才会发生富营养化,从而出现某种优势藻类“疯”长现象。其中水流流态主要指以流速、水深为要素的水流结构。富营养化的防治过程,实质上就是通过调节诱发富营养化发生的主要控制性条件,遏止富营养化发生。

藻类通常是指一群在水中以浮游方式生活、能进行光合作用的自养型微生物,个体大小一般在 2~200 μm,其种类繁多,均含叶绿素,在显微镜下观察是带绿色的有规则的小个体或群落^[2]。水华的危害主要表现在: ① “水华”爆发时^[3],大面积水面被蓝-绿藻覆盖,从而导致水体透明度降低,阳光难以穿透水层,影响水中水生植物的光合作用,还可能造成水域上层溶解氧的过饱和状态及底层溶解氧缺乏,这对水生动物正常的生长和繁殖会产生一定的影响。严重时会使鱼类等水生动物因缺氧而窒息死亡,从而使水质腐败,散发恶臭。② 藻类在代谢过程中或藻体破裂后会释放藻毒素^[4],其中影响范围最广、毒性最强的是蓝藻门藻类。蓝藻门所产生的藻毒素中毒性最大的又属微囊藻毒素(MC)。总的来说,50%~75%的水华中含有毒素,且常常不止一种。同一种藻类中,也会有产毒的和不产毒的藻株同时存在。在发生水华的水体中,由于藻毒素的浓度可随时间、空间变化,因此水华的全面毒性是不确定的。微囊藻毒素是一类具有生物活性的环状七肽化合物,一般结构为环,相对分子质量约为 1 000。MC 的产生不仅破坏了水生生态系统的平衡,而且因其可特异地作用于肝脏,引起肝脏的损伤,被认为是除肝炎病毒和黄曲霉毒素以外的环境中致原发性肝癌的重要原因。最近研究显示,MC 还具有胚胎毒性、免疫功能损害等危害作用。③ 许多藻类及其代谢产物是消毒副产物的前体物,在氯消毒过程中,会生成“三致”物质,致使饮用水安全性下降。如果水厂出水藻类

收稿日期:2011-04-05;修回日期:2011-04-20.

* 基金项目:重庆市科技攻关计划项目(CSTC,2009,AD7204);城镇生活污水人工湿地处理技术研究(重庆市科学技术委员会项目).

作者简介:刘洁(1987-),女,重庆市人,硕士研究生,从事水污染研究.

通信作者:钟成华(1960-),男,四川乐山人,教授,从事水污染防治理论与技术研究.

去除不彻底的话又会使管网中的水产生絮凝而影响水质。④藻类的出现使得投药量增加,藻类使水体pH值升高,此外藻类形成的浊度,其组成大多为有机质,具有较高的稳定性,比重小,难于下沉,且藻类自身常粘附在滤料表面,使过滤周期缩短^[3]。

2 藻类的去除技术

2.1 物理技术

(1) 微滤机除藻。通常微滤机除藻主要用于处理低浊高藻的湖泊水。微滤的原理是一种简单的过滤方法,它采用滤网过滤掉水中直径大于滤网孔径的浮游生物和藻类。一项试验表明滤网对藻类的去除率为50%~57.5%,效果优于混凝沉淀,但对浊度、色度、 COD_{Mn} 去除率都低,远不及混凝沉淀^[5]。因此,微滤机适合处理水中个体较大的浮游动物和藻类。

(2) 过滤法除藻。过滤法除藻是利用滤池直接对含藻水进行处理。滤池的工作原理是应用陶粒、矿石等粒状滤料对污水进行快速过滤从而达到截留水中悬浮固体和部分细菌、微生物等的目的。因此滤池也可用于含藻水的处理。但是对于浊度较高的含藻水,浊度的去除率较低。

(3) 气浮除藻。气浮法的原理是在通过一定的方法在水中形成微小的气泡,在气泡上升的过程中,附着在藻细胞上,增加藻细胞的浮力,使其上升至水面,在水面形成富集的藻细胞,再用刮板将其收集处理。由于气浮法是利用气泡来托起藻细胞的,因此对藻密度较小、絮凝体不容易沉淀的藻类有很好的去除效果。气浮法的主要问题在于浮渣难于处理。

(4) 机械清除法除藻。根据气象资料,在水体的下风向设置固定的或者水上移动的机械设施对藻类进行去除,在机械设施下设置橡胶或不透水尼龙制成的漂浮式围栏,使水流按风向进入围栏内,从而得到富集藻类的水体,再用水泵将富藻水抽起来集中处理。

(5) 遮光技术除藻。主要原理是通过在湖面覆盖部分光线,减少藻类的光合作用,从而抑制藻类的生长。通常选用的材料是塑料制浮板^[6]。

(6) 紫外光照射除藻。用特定波长的紫外光对含藻水进行照射,杀死藻细胞,或抑制藻细胞的生长,从而达到控藻的目的。对于藻含量很高而浊度比较低的湖泊水效果较好。

(7) 黏土除藻。一般来说,黏土是由许多种矿物质及杂质所组成,矿物包括高岭土、伊利石、绿泥石及滑石等;杂质包括石英、各种铁矿、数种重金属、钙及镁的碳酸盐和硫酸盐及有机质等。黏土具有来源充足、天然无毒、使用方便、耗资少等特点^[6]。在原水中投加泥土,增加了水中的浊度,使藻类絮体密度增加,加快藻类的沉淀速度。用此方法一般过滤情况良好,但黏土的加入增加了出水的排泥量。

2.2 化学方法

2.2.1 除藻剂除藻

这类技术是利用化学药剂对藻类进行杀除。化学法的主要优点是操作简便,一次性使用成本低,见效快,效果好。缺点是:①不能长期使用同一种药,否则微生物会产生抗药性。②加入的化学除藻剂可能对环境造成新的污染。化学除藻剂大致可分为氧化型和非氧化型两大类^[7]。

(1) 氧化型杀生(藻)剂。氧化型杀生(藻)剂主要为卤素(主要是Cl和Br,其次是I,罕用F)及其化合物和 O_3 ,还有高锰酸钾,过氧化氢等。其中过氧化氢具有一个独特的优势,即它本身的氧化产物为水,不会向水体增加任何副产物。氧化性能及杀生效果: $\text{O}_3 > \text{ClO}_2 > \text{氯氨} > \text{HClO} > \text{HBrO}$ 。

① 氯除藻:其机理是破坏生物的酶系统。

② 臭氧除藻:在臭氧的强氧化作用下,有大量藻细胞的物理形态被破坏,细胞质外泄,甚至整个藻体被完全分解,从而达到去除藻类的效果。对于藻类外泄的藻毒素及臭味等,臭氧的强氧化能力也能将其氧化,从而达到去除的效果。

③ 高锰酸钾除藻:其对于藻类的去除作用主要为氧化作用,原理和臭氧相似,同时对于藻细胞也有一定的助凝作用。但是由于高锰酸钾有颜色,投加过量后会增加水的色度,浊度也会增加。

④ 二氧化氯除藻:二氧化氯氧化除藻机理在于藻类叶绿素中的吡咯环与苯环非常相似,二氧化氯对苯环具有一定的亲和性,能使苯环发生变化并无臭无味^[8]。

(2) 非氧化型杀生剂。非氧化型杀生剂主要有无机金属化合物及重金属制剂、有机金属化合物及重金

属制剂、铜剂、汞剂、锡剂、铬酸盐、有机硫系、有机氯系(有机卤系)、季磷盐、异噻唑啉酮、五氯苯酚盐、戊二醛、羟胺类和季铵盐类等^[6]。

2.2.2 混凝除藻

藻细胞表面电荷为负电荷,而在藻类去除中,电性中和是起决定作用的,所以应采用阳离子混凝剂^[3]。使藻类的 ζ 电位 $=0$,从而使藻类脱稳。所以混凝剂的投加量对混凝效果也有影响,当投加过量后,藻细胞表面的负电荷在中和后,又重新带上正电荷而变稳定,重新稳定的藻细胞非常难于脱稳。投加混凝剂可同时去除浊度和藻类。藻类代谢产生的有机物对絮凝和过滤也有影响。其原因是有机物中的酸性物质与混凝剂(铁盐或铝盐)的水解产物发生反应,生成的表面络合物附着在絮体颗粒表面,阻碍了颗粒相互碰撞,因此必须增加混凝剂的投量,补偿由于表面络合物的形成对颗粒脱稳和絮凝造成的影响^[9]。

2.2.3 强化混凝法除藻

常用的混凝剂有铝盐类(聚硅硫酸铝、聚合氯化铝、硫酸铝等)和铁盐类(聚硅硫酸铁、聚硅氯化铁等)。由于藻类细胞分泌可溶性有机物,胞外有机物主要由含氮物质和戊糖胶类物质组成,由藻类分泌的糖酸和糖醛酸能和混凝剂中的铁盐和铝盐形成络合物而不利于脱稳。因此常规的混凝沉淀法除藻效率低,需对其加以强化,以提高除藻效率。强化混凝不但可以使除藻率提高到90%以上,同时也可去除水中各类有机物。但也有人认为,强化混凝沉淀法只能有效提高藻类在滤池中的去除率,并不能有效提高其在沉淀池中的去除率^[5]。

2.2.4 投加粉末活性炭(PAC)预处理除藻^[10]

这是一种预处理方式,也就是在混凝之前的一个处理过程,主要是利用粉末活性炭的吸附作用,先对水体中的有机物和无机杂质进行吸附,使水体在混凝的时候能有较好的藻类去除率。同时,应用粉末活性炭进行预处理还可以去除臭味,这种方法可以作为应急处理措施。

2.3 生物方法

(1) 利用植物间相互抑制作用抑制藻类。通常是利用植物间对生长因子的竞争、生态系统食物链摄取的食物网、或者生物的相生相克关系来控制藻类的生长,从而减少水华。通常可以分为两种。

① 水生动物控制法^[11]:通过放养鲢鱼、鳙鱼、螺丝等滤食性水生生物直接吞噬藻类的方法,减少藻类的数量。这些滤食性水生生物不禁可以吞食大量藻类,还可以吞噬浮游动物。

② 水生植物控制法:通过水葫芦、荷花、菖蒲、芦苇、莲、慈姑、水葱等大型的水生植物对富营养化水体中的营养物质,特别是氮和磷的吸收作用,减少了藻类的生长所需的营养物质,从而抑制了藻类的生长。方法还可以彻底改变水体富营养化的状态,只是植物生长所需的时间较长,所以这种转换过程较慢。

植物在其生长发育过程中,通过排出体外的代谢产物(化学物质)而对另一种植物包括微生物产生促进或抑制作用,这种现象称为植物化感作用^[3]。这类植物主要有两方面的作用:一是能够在其生长中吸收水体中的营养物质,减少水体中的营养物质;二是这些植物能够分泌抑制藻类生长的化感物质,从而起到修复富营养化水体的作用。而且,这些化感物质是水生植物生长过程中产生的物质,一般能够在环境中降解,不会对生态系统造成威胁,生态安全性好。

(2) 以藻制藻。通常选择水网藻,隶属绿藻门,体长可达2 m,鲜黄绿色,由于其生长繁殖快、吸收肥料能力强等特点而与藻类水华生长竞争水体的营养(氮磷),从而抑制藻类水华的发生。研究表明,水网藻对水体氨氮、总氮和总磷的去除率均在70%以上^[10]。

(3) 微生物絮凝剂除藻。微生物絮凝剂是由微生物自身产生的具有絮凝功能的一种高分子有机物,主要有3种类型:用微生物细胞体微生物细胞壁提取物、微生物细胞的代谢产物作为絮凝剂。利用微生物本身或产生的多肽、酯类、糖蛋白、黏多糖、纤维素和核酸等作絮凝剂,可以对包括藻类在内的大多数微生物产生絮凝作用,并且对环境无二次污染^[12]。

(4) 生物控制试剂除藻。生物控制试剂主要有病毒、细菌、真菌、放线菌和原生动物等,主要通过这些生物对藻类的裂解或摄食来达到控制藻类的目的。如寄生在蓝藻个体或群体的病毒能够裂解蓝藻,而这一类的病毒主要为肌病毒科和短尾病毒科,被人们致力于控制藻类水华。而细菌、真菌和放线菌这类生物控制试剂主要是通过释放酶或胞外的抗生素作用于蓝藻,从而达到裂解藻类的目的。此外,一些原生动物种类(如变形虫、纤毛虫和鞭毛虫等)能够直接摄食蓝藻^[6]。

(5) 酶处理技术除藻。微生物作用产生的细胞外聚合物与微生物细胞一起形成一层生物膜——微生物粘泥,它起到一种屏蔽作用,使杀生试剂难以向细胞内渗透。而酶处理技术利用纤维素酶或-葡萄糖酶与 α -

淀粉酶、蛋白酶的混合酶,投加剂量 2~10 mg/L 即能有效去除粘泥。机理是: α -淀粉酶首先破坏葡萄糖分子的 α 键,使粘泥外部产生裂纹,从而使-葡萄糖酶进入其中破坏其中所含的碳水化合物,蛋白酶则破坏细胞外的蛋白质分子^[7]。

(6) 人工湿地除藻。人工湿地除藻是利用富营养化水体经过人工湿地后,水体中的营养物质被湿地植物吸收,再对植物进行收割等措施彻底去除水体中的营养物质,从而抑制了藻类的生长,还从根本上改善了水质。

(7) 生物膜法除藻。生物膜是一类生长在载体上面的薄膜,上面生长着很多细菌、真菌、原生动物和后生动物等。藻类的去除就是利用生物膜上的这些微生物对藻类进行裂解、吞噬等作用,从而杀死或抑制藻类。

3 展 望

随着我国水体富营养化情况的增多,而且情况也越来越恶劣,除去富营养化水体中的藻类,以及彻底改变水体富营养的状态是相当必要的。物理方法去除水体中藻类多是利用器械去除,投资较大,需要定期运作,不能从根本上消除富营养化;化学除藻法,多是采用化学试剂,见效快,效果也较好,但是容易产生二次污染,一次性投入较大;生物方法除藻,是利用生态理论进行除藻,不会有二次污染,也不会对环境造成危害,但是所需的时间较长。所以对于不同的水体富营养化情况,要结合实际选择合适的方法,必要时还可以几种方法结合使用。在未来的水体富营养化治理中,应加强水体的综合治理,利用生物方法从根本上去除水体富营养化,保护生态环境。

参考文献:

- [1] 李锦秀,廖文根. 富营养化综合防治调控指标探讨[J]. 水资源保护,2002(2):4-5
- [2] 田义. 给水中藻类的影响及其去除方法概述[J]. 工业安全与环保,2005,31(1):40-42
- [3] 徐大伟,施永生,柳伟,等. 除藻技术的研究进展[J]. 云南化工,2007,34(3):76-78
- [4] 赵爽,杨硕. 除藻技术及藻类的资源化研究[J]. 市政技术,2009,27(1):53-60
- [5] 张伟勤. 水中藻类污染物去除方法研究进展[J]. 公用工程设计,2008,54(4):54-57
- [6] 过龙根. 除藻与控藻技术[J]. 理论前沿,2006,34(3):34-36
- [7] 蒋道松,刘其城,章俭,等. 除藻技术新进展[J]. 常德师范学院学报:自然科学版,2000,12(1):25-31
- [8] 董军,施永生. 除藻技术的现状分析及展望[J]. 水科学与工程技术,2007(4):34-36
- [9] 彭海清,谭章荣,高乃云,等. 给水处理中藻类的去除[J]. 中国给水排水. 2002(2):29-31
- [10] 王永,杨硕,陈艳荣. 除藻技术及藻类的综合利用研究[J]. 山西建筑 2008,34(26):30-31
- [11] 朱秀芹,李灿波. 刍议现代除藻技术[J]. 黑龙江水利科技,2008,36(4):42
- [12] 王伟民. 应用水力空化技术灭杀富营养化水体中藻类的研究[D]. 江苏南京:环境保护部南京环境科学研究所,2009

On Modern Technology for Algae Removal

LIU Jie¹, WANG Yu-dan², CHEN Jian², ZHONG Cheng-hua¹

(1. School of Environment and Bioengineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2. Chongqing Municipal Environment Science Research Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: This paper introduces the characteristics of water blooms' hazard caused by the water eutrophication and the perniciousness of the water blooms, expounds the physical methods, chemical methods and biological methods for removing algae in modern times, systematically analyzes the principle, application conditions and eliminating effect of each method and discusses the development trend for algae removal in the future.

Key words: water eutrophication; water booms' hazard; technology for algae removal