

藻类及其胞外分泌物对净水工艺的影响

王娜,葛飞,吴秀珍,朱润良,朱门君

(湘潭大学环境科学与工程系,湖南湘潭411105)

摘要:以原水中常见蓝绿藻及其胞外分泌物的基本性质为基础,概述了目前净水工艺除藻的一般方法和原理,以及藻类及其胞外分泌物对净水工艺的影响,指出应特别关注胞外分泌物在净水处理中对消毒副产物的贡献及去除方法,采用组合工艺优化处理效果。

关键词:藻,胞外分泌物,净水工艺,消毒副产物

中图分类号: TU991.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2010)02-0019-06

由富营养化引起的水华对饮用水安全构成严重危害。我国25%的饮用水源是湖泊水或水库水,1/2以上湖泊处于富营养化状态^[1]。2007年5月,太湖蓝藻爆发,造成无锡当地200万人长达8d的生活饮用水无法正常饮用^[2-3]。一方面,藻类是水中总有机碳(TOC)的重要来源^[4],饮用水中消毒副产物(Disinfection by-product, DBPs)的前体物^[5];另一方面,藻类电动电位 ξ 电位约在-40 mV左右,具有较高的稳定性,降低混凝效果,导致水中有机物浓度增加^[6-7];此外,某些藻类能分泌藻毒素以及异嗅异味物质,如2-甲基异茨醇和土腥素等^[8],严重影响供水水质。藻类形态结构与组成复杂,本文以藻类及其胞外分泌物基本性质为基础,概述了不同净水工艺除藻的一般方法和原理,以及藻类及其胞外分泌物对净水工艺的影响,以期在水处理中选择合适的预氧化剂和增加深度处理,减少藻类前体物浓度,达到控制DBPs生成量和提高出水水质的目的。

1 藻类及其胞外分泌物的基本性质

1.1 藻的分类及其基本性质

目前已知藻类有3万种左右,淡水优势藻种为蓝藻和绿藻,它们营浮游、固着或附生生活,少数种类为寄生或共生^[9]。蓝藻中单细胞的微囊藻属(*Microcystis*)群体的鱼腥藻属(*Anabaena*)及颤藻属(*Oscillatoria*)与

绿藻中单细胞的小球藻属(*Chlorella*)群体的栅藻属(*Scenedesmus*)、多细胞成丝状的水绵属(*Spirogyra*)和刚毛藻属(*Cladophora*)等都是淡水中常见藻类^[10-14]。藻类的生长在不同的环境因子(主要包括光照、温度以及N/P等)作用下,可分为停滞期、指数生长期、稳定期和衰亡期4个阶段,对净水工艺构成不同的影响^[15]。

1.2 胞外分泌物的组成及其基本性质

胞外分泌物主要指藻细胞表面分泌的胞外有机物(Extracellular organic matters, EOM),是藻类的代谢产物。EOM主要由多聚糖类物质组成,碳水化合物和羧基化合物占60%~80%以上。Huang等^[16]通过大量研究发现这些复杂的胞外多糖基本上都由常见的单糖单位组成。EOM以不同形式粘附在藻细胞表面,增强藻细胞表面的电负性^[17]。EOM的成分和释放浓度与藻细胞的种类、生长期有关。Hoyer等^[18]实验发现集胞藻在生长期释放出质量浓度1.8 mg·L⁻¹的EOM,而小球藻的释放质量浓度则达到81 mg·L⁻¹。大部分藻类在指数生长期EOM的释放速率高于稳定期^[19]。在生长后期,随着藻细胞的衰老,粘附于藻细胞壁上的EOM脱落,释放到水中。使用气相色谱-电子轰击离子源-质谱法(GC-EI-MS)和高效阴离子交换色谱(HPAEC)等方法从鱼腥藻、微囊藻和颤藻等蓝藻的EOM中检

收稿日期 2009-05-05

基金项目 湖南省教育厅优秀青年项目(07B077),国家自然科学基金(20877065),湘潭大学博士科研启动项目;

湖南省环境友好催化与绿色化工工艺科技创新团队项目

作者简介:王娜(1986-),女,硕士研究生,主要从事饮用水技术研究,联系电话:13789303228, E-mail: wangna86225@163.com

联系作者:葛飞, E-mail: gefei@xtu.edu.cn

测出 20 余种有机物,如 *L*-鼠李糖、半乳糖、木糖、十四酸异丙酯、*n*-烷烃(10-21)、烯烃、2-壬烯醛和 2-甲基异茨醇等,如表 1 所示^[16]。这些有机物大都以长链或环状不饱和烃形式存在于水中,易被消毒剂氧化生成 DBPs。

2 净水工艺中一般除藻方法及原理

净水工艺主要包括预氧化处理、常规处理(混凝、气浮与过滤)、深度处理和消毒处理 4 个环节^[20]。对仅含藻类的富集液进行 DBPs 生成潜能测试表明,藻类是重要的前体物。张晓健等^[20]研究表明,藻细胞及其 EOM 贡献了约 18% 的卤乙酸前体物和 20% 的三卤甲烷前体物。因此,有必要通过预氧化、常规处理

及深度处理去除藻类及其 EOM,控制 DBPs 的生成。

2.1 预氧化处理

预氧化能氧化去除藻类及其 EOM,为后续混凝、沉淀工艺创造条件。预氧化处理中,氧化剂与构成藻细胞蛋白质的半胱氨酸 SH 基反应,钝化以 SH 基为活性点的酶。并可能破坏某些藻类的细胞壁,使细胞的膜系统被破坏(包括细胞膜和细胞内膜),细胞内含物渗出,多种细胞器形态发生变化或解体,最终细胞死亡或破裂,导致原水中有机物含量增加。预氧化主要包括氯化、臭氧化、高锰酸钾法及其联合工艺。

预氧化已被证实能有效促进水中有机物或藻类的絮凝^[21],强氧化性的 $\text{ClO}\cdot$ 进入藻细胞与酶反应,从而抑制其活性,达到杀藻或抑制藻类生长的目的。

表 1 蓝绿藻胞外分泌物中的主要有机物

Tab.1 Main organic compounds identified in cyanobacteria cultures

化学式名称	分子结构	溶解度	化学式名称	分子结构	溶解度
木糖 ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$)		117	油酸 ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$)		溶于苯、氯仿、乙醚,
糖醛酸 ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_7$)		易溶于酸	鲨烯 ($\text{C}_{30}\text{H}_{50}$)		易溶于乙醚、丙酮、石油醚
半乳糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$)		10.3	十七烷 ($\text{C}_{17}\text{H}_{36}$)		溶于乙醚,微溶于乙醇
土臭素 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}$)		1.502×10^{-2}	1-十六烯 ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}$)		溶于乙醇、乙醚、石油醚
亚油酸 ($\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$)		易溶于乙醚、石油醚、乙醇	1-十七烯 ($\text{C}_{17}\text{H}_{34}$)		溶于乙醇、乙醚、石油醚
异戊酸 ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$)		4.2	十四烷酸 ($\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$)		易溶于苯、氯仿、乙醚,溶于乙醇
2-壬烯醛 ($\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}$)			花生四烯酸 ($\text{C}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_2$)		溶于乙醇、乙醚、氯仿
<i>L</i> -鼠李糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$)		30	棕榈酸异丙酯 ($\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$)		溶于乙醇、乙醚、氯仿
2-甲基异茨醇 ($\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{O}$)		1.945×10^{-2}	十四酸异丙酯 ($\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$)		溶于乙醇、乙醚、氯仿

注:表中溶解度是指室温时 100 份溶剂中溶解溶质的质量分数;表中有有机物的性质来自《兰氏化学手册(第十五版)》,John A D 编和《有机化学手册(第二版)》,George W G 编。

张荣等^[22]针对天津地区夏季高藻水($>10^3$ mL⁻¹)的预氯化实验表明,投氯量控制在 $0.5\sim 2.0$ mg·L⁻¹,接触时间为20 min时,除藻率可达到30%~50%。如稳定期的菱形藻数目可随投氯量增大而减少,小球藻和月牙藻等则先减少而后稳定不变,增加投氯量会增加水中DBPs浓度^[23]。

臭氧分子及其在水中产生的自由基离子·OH具有强氧化作用,增大臭氧的投加量可改善除藻效果^[24]。南非Wiggins水厂处理原水为 38.9×10^4 L⁻¹高藻水,投加 3.2 、 5.0 、 7.6 mg·L⁻¹O₃预氧化时的除藻率分别为39%、58%、90%^[25]。臭氧化与气浮、混凝联用效果更佳,研究发现同等条件下,经过臭氧化后,气浮除藻率可以从75%提高到93%^[26]。

高锰酸钾法除直接杀藻外,还通过水解产生二氧化锰吸附在藻细胞表面,增加藻细胞比重,改善其沉降性能,有利于通过后续常规处理除藻,一般投加量为 $1\sim 3$ mg·L⁻¹。黄晓东等^[27]对某市含藻水源水进行了化学预氧化试验研究表明,高锰酸钾具有很好的杀藻效果,当投加量为 0.6 mg·L⁻¹时,除藻率达到90%。高锰酸钾与其他化学氧化剂之间存在协同效应,可考虑与其它氧化剂如Cl₂或ClO₂联用^[28]。

2.2 常规处理

常规处理主要包括混凝沉淀、气浮和过滤。混凝沉淀是除藻的重要方法之一,混凝过程中,混凝剂生成絮体吸附藻细胞并与EOM一起形成不溶性的络合物。由于藻细胞及其EOM类似阴离子型或非离子型聚电解质存在于水中^[29],使用铁盐、铝盐等阳离子型聚电解质混凝剂与藻细胞吸附电中和,加重藻细胞比重,促进沉降达到去除目的,一般情况下除藻率达到70%~80%^[30]。

溶气气浮法被认为是目前最有效的除藻方法之一,在藻浓度较高时,可通过浮选生成大量气泡去除一些运动性较强、个体较大的单细胞藻类以及混凝形成的微小絮体,除藻率可达94%以上^[31-32]。气浮法比较适于低浊度、低硬度、高藻浓度的水质,同时也可以去除EOM中的挥发性有机物,如2-甲基异莰醇和土腥素等^[33]。

过滤通常应用于混凝沉淀或气浮之后,利用藻细胞形态构造特性,通过物理分离去除一些个体较大的单细胞和群体藻类。Saidam等^[34]通过对4种以不同粒径卵石为滤料的快滤池进行除藻试验研究,发现粒径 $3\sim 23$ cm的去除效果最好,除藻效率可以达到60%。慢滤池的除藻效果比快滤池好,并且在除藻

过程中,不仅存在简单的物理分离过程,还存在滤料表面形成的生物膜对藻的降解作用,对鱼腥藻等蓝藻和小球藻等绿藻去除率分别为95%和48%^[35-36]。

2.3 深度处理

深度处理技术可进一步去除水中藻类及其EOM,主要包括活性炭吸附、生物活性炭技术以及膜技术等。藻细胞表面带负电荷,容易与活性炭表面细微孔状结构结合,EOM与粉末活性炭表面的官能团如羟基自由基发生反应,达到去除效果。粉末活性炭能吸附90%以上的EOM以及水中残留的藻细胞等^[37]。生物活性炭利用活性炭的吸附及其表面生长微生物的作用降解水中残留藻类及EOM,通常与一些工艺联用,如臭氧/生物活性炭联用技术、臭氧催化氧化/生物活性炭联用技术等,对藻类的去除率可达99%以上。

膜过滤技术被认为是最有发展潜力的深度水处理技术,主要是通过物理方法过滤去除水中藻类、颗粒状物质及EOM等有机微污染物质。对高藻水进行超滤处理试验发现,超滤膜对藻类、细菌、浊度的截留和去除能力很强,尤其是藻类及细菌的去除率几乎为100%,浊度去除率97%以上^[38]。Gijbsbertsen等^[39]的研究结果表明,孔径为 $30\ \mu\text{m}$ 的微滤膜对藻细胞的去除率 $>98\%$,破坏率 $<2\%$ 。

3 藻类及其胞外分泌物对净水工艺的影响

3.1 对预氧化处理的影响

预氧化效果受藻细胞形态、运动性及其EOM浓度的影响。EOM通常粘附于藻细胞表面,在一定条件下藻细胞的形态结构与EOM能减弱氧化剂的氧化作用^[40]。而预氯化能损害藻细胞的表面形态结构,对细胞造成严重伤害,在高剂量时导致细胞壁解体,将细胞内有机物释放到水体中,导致饮用水中DBPs增加^[41]。Vander等^[42]和Escobar等^[43]研究表明,在臭氧化过程中藻细胞酶系统受到破坏,没有完全死亡,只是萎缩和释放出大量的溶解性有机碳。Plummer等^[7]报道臭氧预氧化能导致藻细胞中EOM的释放,增加三卤甲烷前体物的含量。Chen等^[44]和Petrusevski等^[45]发现高锰酸钾法能钝化动孢子藻细胞,释放有机物,促进藻细胞聚合絮凝去除。高锰酸钾在高浓度时可能会改变细胞膜通透性,导致在没有破坏藻细胞的情况下,释放大量EOM。EOM在预氧化过程中可能被氧化生成DBPs,有报道水华鱼腥藻(10^6 mL⁻¹)在臭氧化过程中释放出 0.45 mg 氯仿 /mgTOC,其中78%来源于

EOM^[46]。Jeanine 等^[47]发现小环藻 ($2 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$) 在预氯化过程中释放出 $85 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的卤乙酸,其中 34% 来自于 EOM。

加入不同的预氧化剂除藻,相同投量的高锰酸钾比液氯的除藻率高 14%,并显著降低了滤后水的不饱和有机物和 DBPs 前体物浓度^[48]。对原水进行 GC/MS 检测发现,氯、臭氧和高锰酸钾对水中总有机物去除率分别为 19%、53%和 64%,其中预氯化后杂环多环有机物种类反而有所增加,这可能是由于氧化剂将藻类细胞破坏,并与胞内有机物发生反应生成多环杂环物质所致^[49]。因此实际净水工艺中,应选择合适的预氧化剂和确定氧化剂的最佳投加量。

藻类对预氧化的影响还表现在 pH 上。高藻期原水的 pH 较高,预氯化除藻效果不佳。而在臭氧化过程中,EOM 中的部分有机物会参与自由基的竞争,降低臭氧的作用效果^[50]。

3.2 对常规处理的影响

藻类影响混凝过程的因素有细胞形态、运动性、表面电荷和 EOM。藻类一般带负电,EOM 中酸性物质能与混凝剂水解产物发生反应,生成的表面络合物附着在絮体颗粒表面,阻碍颗粒的相互碰撞,不易形成良好的絮体,且因密度低,沉淀效果较差。EOM 的含量与藻细胞的表面积呈正相关,因此混凝剂的投加量和藻细胞表面积也存在一定的线性关系^[51],必须增加混凝剂的投量来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。Petrusevski 等^[52]研究表明,投加 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铁盐混凝剂,对球形微藻和大型韩氏冠盘藻的去除率分别为 48%和 97%,对具有鞭毛的动孢子红藻去除率仅为 5%,加大混凝剂投量后对红藻的去除率可增加至 50%。

气浮工艺除藻受到预氧化和混凝的影响,预臭氧氧化去除效果最高,预高锰酸盐和氯联合氧化次之,而预氯化则没有明显的效果^[53]。气浮能产生微气泡粘附溶解性有机物与混凝剂一起形成的不溶性络合物,提高有机物去除效果。对高藻期原水进行气浮实验发现,气浮对水中溶解性有机物的去除率为 33%,对总有机物的去除率为 45%^[54]。但是,对气浮产生的藻类残渣需要及时去除,以免加大出水中有机物的浓度,降低气浮效率。

藻细胞的形态和运动能力在一定程度上能影响过滤的除藻效果^[55]。由于藻细胞尺寸很小,可以穿透滤池,进入给水管网影响管网水质。藻类还能分泌 EOM 等粘性物质粘附在滤料表面,缩短滤池过

滤周期。此外,过滤除藻还受过滤周期影响,在初期和中期,由于滤料对藻类、有机物的截留,会明显减少过滤出水中 EOM 及 DBPs 的含量,但是在后期,截留的有机物会逐渐脱附,藻类也会慢慢穿透滤池进入出水中,导致 DBPs 前体物浓度增加。

3.3 对深度处理的影响

藻细胞及其 EOM 对活性炭技术的影响主要体现在高藻期活性炭吸附饱和,大量 EOM 存在会导致活性炭吸附效果降低,细菌滋生。由于藻细胞运动能力和活性炭上微生物的适用性,在有机物浓度较高时,会造成一部分藻类继续增长,需要对活性炭及时进行解吸。

膜过滤技术在高藻期时极易造成膜污染,藻细胞及其 EOM 残留于膜表面,能粘附有机物微粒引起跨膜压力的增大,导致膜通量急剧降低^[56]。研究表明,超滤膜和混凝剂联用能有效降低膜污染^[57]。对含藻水进行超滤膜试验表明,在投加混凝剂后,膜通量下降明显变缓,膜运行时间较长,有机物去除效果最佳^[38]。

在实际净水工艺中,藻细胞及其 EOM 对净水工艺的影响除与藻细胞形态、EOM 成分有关外,还与净水工艺选择的工艺流程有关。避免水源水体富营养化是治理藻类的根本,对富营养化较轻的水体,控制氮磷排放,利用水体自净能力逐渐复原水质;对富营养化严重的水体,必须采取措施去除水中氮磷物质,跟踪监测水体富营养化状况及藻类动态。但是水体中污染物种类复杂多样,因此还需要考虑原水的实际情况,在净水过程中选用合适的工艺组合去除藻类及其他污染物。如对高藻期原水,可采用 Cl_2 -混凝-气浮-过滤、 Cl_2 -混凝-气浮-过滤-活性炭、 O_3 -混凝-气浮-过滤、 O_3 -混凝-气浮-过滤-活性炭、 O_3 -混凝-气浮-过滤- O_3 /生物活性炭、 $\text{KMnO}_4/\text{Cl}_2$ -混凝-气浮-过滤、 $\text{KMnO}_4/\text{Cl}_2$ -混凝-气浮-过滤- O_3 /生物活性炭一系列净水组合工艺,其中 KMnO_4 -混凝-气浮-过滤- O_3 /活性炭、 O_3 -混凝-气浮-过滤-活性炭组合工艺综合处理出水效果最佳。

4 结 语

藻类及其 EOM 是重要的 DBPs 前体物质,尤其是 EOM 绝大部分为碳水化合物和羰基化合物,含有大量的不饱和键及链状结构,随着藻类生长期的改变,EOM 浓度逐渐增大,对 DBPs 的贡献应该引起重视。

由于藻细胞及其 EOM 成分复杂,通过常规净水工艺能去除大部分藻细胞,对 EOM 的去除却有

一定难度 因此应强化预氧化处理并增加深度处理。对高藻期原水,应针对藻细胞及其 EOM 对净水各单元工艺的影响,采用适宜的组合工艺,优化处理效果。

参考文献:

- [1] 赵章元. 我国江河湖海除藻的治标与治本浅析[J].环境保护,2000,2(8):29-30.
- [2] 方爱红,黄银芝,钱瑾. 浅谈太湖蓝藻爆发的原因、危害及其预防治理[J].净水技术,2008,27(3):70-72.
- [3] 于建伟,李宗来,曹楠,等. 无锡市饮用水臭味突发事件致嗅原因及潜在问题分析[J].环境科学学报,2007,27(11):1771-1777.
- [4] 桑义敏,张广远,孔惠,等. 饮用水氯化消毒及其副产物的控制对策[J].水处理技术,2006,32(3):1-4.
- [5] Alam M Z B, Otaki M, Furumai H, et al. Direct and indirect inactivation of microcystis aeruginosa by UV-radiation[J].Water Res.,2001,35(4):1008-1014.
- [6] 王立宁,方晶云,马军,等. 化学预氧化对藻类细胞结构的影响及其强化混凝除藻[J].东南大学学报:自然科学版,2005,35(1):82-185.
- [7] Plummer J D, Edzwald J K. Effects of chlorine and ozone on algal cell properties and removal of algae by coagulation [J].J Water Supply Res T.,2002,51(6):307-318.
- [8] Zhou H, Smith D W. Advanced technologies in water and wastewater treatment[J].Can J Civ Eng.,2001,28(1):49-66.
- [9] 程真文. 巢湖藻类污染的研究和对策[J].水处理技术,2003,29(4):247-248.
- [10] 胡鸿钧,李尧英,魏印心,等. 中国淡水藻类[M].上海科学技术出版社,1980:9-411.
- [11] Ma J, Lei G Y, Fang J Y. Effect of algae species population structure on their removal by coagulation and filtration processes: a case study [J].J Water Supply Res T.,2007,56(1):41-54.
- [12] Kaur K, Bott T R, Ceng F, et al. Treatment of algal-laden water: pilot-plant experiences[J].Water Environ J.,2007,8(1):22-32.
- [13] Clasen J, Mischke U, Driks M, et al. An improved method for detecting electrophoretic mobility of algae during the destabilisation process of flocculation: flocculant demand of different species and the impact of DOC[J].J Water Supply Res T.,2000,49(2):89-101.
- [14] Phoochinda W, White D A. Removal of algae using froth flotation [J].Environ Technol.,2003,24(1):87-96.
- [15] 余国忠,栗印环,黄斌,等. 铜绿微囊藻的混凝特性与影响因素研究[J].给水排水,2005,31(2):21-25.
- [16] Huang W J, Lai C H, Cheng Y L. Evaluation of extracellular products and mutagenicity in cyanobacteria cultures separated from a eutrophic reservoir [J].Sci Total Environ.,2007,377(2-3):214-223.
- [17] Simon A C, Michael J H, Paul M R. Nanostructure of the diatom frustule as revealed by atomic force and scanning electron microscopy[J].J Phycology,2001,37(4):543-554.
- [18] Hoyer O, Lusse B, Bernhardt H. Isolation and characterisation of extracellular organic matter (EOM) from algae[J].Z Wasser Abwasser Forsch,1985,18(2):76-90.
- [19] Huang J, Hraham N, Templeton M R, et al. A comparison of the role of two blue-green algae in THM and HAA formation[J].Water Res.,2009,43(12):3009-3018.
- [20] 陈超,张晓健,朱玲侠,等. 高藻期控制消毒副产物及其前体物的优化工艺组合[J].环境科学,2007,28(12):2722-2726.
- [21] 余国忠,刘军,王占生. 藻细胞特性对净水工艺的影响研究[J].环境科学研究,2000,13(6):56-59.
- [22] 张荣,姜建伟,董佩森. 夏季高藻水的处理工艺[J].中国给水排水,2002,18(4):78-79.
- [23] 石颖,马军,李圭白. pH 值对高铁酸盐复合药剂强化除藻的影响[J].中国给水排水,2000,16(1):18-20.
- [24] 李芳,沈耀良,杨丽,等. 饮用水深度处理技术研究进展[J].净水技术,2008,27(2):32-35.
- [25] Rencken G E. Ozonation at Wiggins water purification works, Durban, South Africa[J].Ozone Sci Eng.,1994,16(3):247-261.
- [26] Montiel A, Welte B. Preozonation coupled with flotation filtration:successful removal of algae [J].Water Sci Technol.,1998,37(22):65-73.
- [27] 黄晓东,吴为中,李德生. S 市富营养化水源化学预氧化实验研究及初步评价[J].给水排水,2001,27(7):7-8.
- [28] Liang H, Yang Y, Weijia G, et al. Effect of pretreatment by permanganate/chlorine on algae fouling control for ultrafiltration (UF) membrane system[J].Desalination,2008,222(1-3):74-80.
- [29] Gale P, Pitchers R, Gray P. The effect of drinking water treatment on the spatial heterogeneity of micro-organisms: implications for assessment of treatment efficiency and health risk [J].Water Res.,2002,36(6):1640-1648.
- [30] Ma J, Liu W. Effectiveness and mechanism of potassium ferrate (VI) preoxidation for algae removal by coagulation[J].Water Res.,2002,36(4):871-878.
- [31] Takaara T, Sanm D, Konno H, et al. Cellular proteins of Microcystis aeruginosa inhibiting coagulation with polyaluminum chloride[J].Water Res.,2007,41(8):1653-1658.
- [32] 吴玉宝,石大安,谢常艳. 混凝 - 气浮除藻工艺中絮凝方式选择及参数优化[J].水处理技术,2008,34(7):43-45.
- [33] Schofield T. Dissolved air flotation in drinking water production [J].Water Sci Technol.,2001,43(8):9-18.
- [34] Saidam M Y, Ramadan S A, Butler D. Upgrading waste stabilization pond effluent by rock filters [J].Water Sci Technol.,1995,31(12):369-378.
- [35] Jun H B, Lee B D, Knappe D R U, et al. Effectiveness of coagulants and coagulant aids for the removal of filter clogging Synedra [J].J Water Supply Res T.,2001,50(3):135-148.
- [36] Gamila E, El Taweel, Gamila H A. Evaluation of roughing and slow sand filters for water treatment[J].Water air soil Pollut.,2000,120(1-2):21-28.
- [37] 唐铭,丁亮,吴强,等. 预氯化 - 粉末活性炭工艺处理藻类水的应用[J].给水排水,2005,31(9):40-43.
- [38] 赵虎. 超滤膜去除水体藻类试验研究[D].北京:北京工业大学,2008:25-59.
- [39] Gijbsbertsen-Abrahamse A J, Schmidt W, Chorus I, et al. Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration [J].J Membr Sci.,2006,276(1-2):252-259.

- [40] Chang C Y, Hsieh Y H, Lin Y M, et al. The organic precursors affecting the formation of disinfection by-products with chlorine dioxide [J]. *Chemosphere*, 2001, 44(5): 1153-1158.
- [41] Lai W L, Yeh H H, Tseng I C, et al. Conventional versus advanced treatment for eutrophic source water [J]. *J Am Water Works Assoc.*, 2002, 94(12): 96-108.
- [42] Vander K D. Assimilable organic carbon as indicator of bacterial regrowth [J]. *J Am Water Works Assoc.*, 1992, 84(2): 57-65.
- [43] Escobar I C, Randall A A, Taylor J S. Bacterial growth indistribution systems: effect of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon [J]. *Environ Sci Technol.*, 2001, 35(17): 3442-3447.
- [44] Chen J J, Yeh H H. The mechanism of potassium permanganate on algae removal [J]. *Water Res.*, 2005, 39(18): 4420-4428.
- [45] Petrusovski B, Breemen V, Alaerts G. Effect of permanganate pre-treatment and coagulation with dual coagulants on algae removal in direct filtration [J]. *J Water Supply Res T.*, 1996, 45(5): 316-326.
- [46] Newcombe G, Croue J. The reactivity of ozone with well characterized NOM fractions and its effect on the destruction of MIB and geosmin [J]. *Water Res.*, 2002, 36(3): 511-518.
- [47] Plummer J D, Edzwald J K. Effect of ozone on algae as precursors for trihalomethane and haloacetic acid production [J]. *Environ Sci Technol.*, 2001, 35(18): 3661-3668.
- [48] 马军, 石颖, 陈忠林, 等. 高锰酸盐复合药剂预氧化与预氯化除藻效能对比研究 [J]. *给水排水*, 2000, 26(9): 25-27.
- [49] 任刚, 李明玉. 化学预氧化对饮用水源水藻类的控制效果 [J]. *暨南大学学报: 自然科学版*, 2008, 29(5): 478-482.
- [50] Hoyer O, Bernhardt H, Lusse B. The effect of ozonation on the impairment of flocculation by algogenic organic matter [J]. *Z Wasser Abwasser Forsch*, 1987, 20(44): 123-131.
- [51] Clasen J, Mischke U, Drikas M, et al. An improved method for detecting electrophoretic mobility of algae during the destabilisation process of flocculation: flocculant demand of different species and the impact of DOC [J]. *J Water Supply Res T.*, 2000, 49(2): 89-101.
- [52] Petrusovski B, Vlaski A, Breenham V. Influence of algal species and cultivation conditions on algal removal in direct filtration [J]. *Water Sci Technol.*, 1993, 27(11): 211-220.
- [53] Hung M T, Liu J C. Microfiltration for separation of green algae from water [J]. *Colloids Surf B*, 2006, 51(2): 157-164.
- [54] 张声, 郭振通, 张晓健, 等. 高藻条件下溶气气浮工艺的强化混凝 [J]. *净水技术*, 2008, 27(5): 33-36.
- [55] Henderson R, Parsons S A, Jefferson B. The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae [J]. *Water Res.*, 2008, 42(8-9): 1827-1845.
- [56] Margarida R T, Maria J R. Microcystins removal by nanofiltration membranes [J]. *Sep Purif Technol.*, 2005, 46(3): 192-201.
- [57] 黎雷, 高乃云, 殷娣娣, 等. 控制饮用水原水中藻类、藻毒素的水厂处理工艺 [J]. *中国给水排水*, 2008, 24(6): 20-24.

EFFECT OF ALGAE AND ITS EXTRACELLULAR ORGANIC MATTER ON DRINKING WATER TREATMENT

Wang Na, Ge Fei, Wu Xiuzhen, Zhu Runliang, Zhu Menjun

(Department of Environmental Science and Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: Based on the basic characteristics of algae and its extracellular organic matter (EOM), the general removal methods of algae in drinking water treatment processes were reviewed. Meanwhile, the influence of the algae and EOM in these processes was discussed. It was pointed out that the contribution of EOM to disinfection by-products should be concerned and more efforts should be made to remove EOM. Furthermore, the removal efficiency of algae and EOM could be enhanced by combined processes.

Keywords: algae; extracellular organic matter (EOM); drinking water treatment; disinfection by-products

(上接第 18 页)

APPLICATION STATUS OF SEAWATER DESALINATION TECHNOLOGY IN ZHOUSHAN

Zhou Zhenjue, He Haifen, Yang Sheng, Ying Junhui, Hu Haiyan, Gao Peng, Deng Yibing

(College of Marine Science, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

Abstract: As a major means to solve water shortage, seawater desalination technology is gaining greater momentum and developing faster and faster and getting more and more attention from local governments. Zhoushan is a city composed of numerous wide-scattered islands with an uneven temporal and regional distribution of water resource. Presently, Zhoushan is on the process of building up a state-level demonstration base for desalination and comprehensive use of seawater and forming its own characteristics in seawater desalination industrialization and technological course so as to work as a former in seawater use of other islands through out China. Whereas, relevant technology and applied knowledge are not yet popularized among inhabitants in ZhouShan and further progress is still to be made in information exchange and resource sharing between various sectors of seawater desalination industry. what's more, we still need to intensify comprehensive utilization of seawater. The problems occurred in desalination of industrial system needs some research units to further study.

Keywords: Zhoushan; seawater desalination; demonstration base; technical route