

生物操纵技术控制原水藻类的应用研究

贾柏樱¹, 马 华²

(1. 天津市自来水集团有限公司 原水分公司, 天津 300380; 2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 在预沉池中采用放养鲢鱼的生物操纵技术可高效、稳定地控制藻类数量, 并对原水浊度、氨氮起到稳定作用, 在高藻期还可降低原水 COD_{Mn} 、总磷浓度等。采用生物除藻技术, 再联合常规处理工艺除藻, 可以使藻类得到较彻底的去除。特别是对于以蓝藻为优势种的夏季原水, 该联合技术的效果更为明显。

关键词: 给水处理; 藻类; 生物操纵; 预沉池; 鲢鱼

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0011-05

Biological Control Technology for Removal of Algae in Source Water

JIA Bai-ying¹, MA Hua²

(1. Source Water Company, Tianjin Waterworks Group Co. Ltd., Tianjin 300380, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Biological control technology, breeding silver carp in pre-sedimentation tank, can control the quantity of algae effectively, keep the turbidity and ammonia nitrogen of source water steady, and reduce oxygen consumption and phosphorus concentration of source water at high algae period. The combination of biological control technology and conventional water treatment process can remove the algae in source water completely. Especially for source water in summer, whose dominant species is blue-green algae, the combination technology has more obvious control effect.

Key words: water treatment; algae; biological control; pre-sedimentation tank; silver carp

近年来,由于水源水富营养状况的日益严重,藻类问题已成为国内外水处理领域的研究重点和热点^[1,2]。鲢鱼作为一种植食性鱼类被认为是控制藻类具有发展潜力的工具。国内有将鲢鱼用于湖泊和水库富营养化控制的实例,并取得了较好的效果。但是直接将鲢鱼除藻技术引入自来水厂原水藻类预处理还未见报道^[3]。在天津某水厂预沉池进行的生物操纵技术除藻试验研究就是利用鲢鱼来控制原水藻类数量,运行几年来,在高藻期鲢鱼的除藻效果明显,这为水厂采用生物操纵技术去除藻类提供了依据。

1 水厂概况

天津某水厂采用预沉/混凝沉淀/过滤/氯消毒

常规处理工艺,其中,预沉池的水流方式如图1所示。

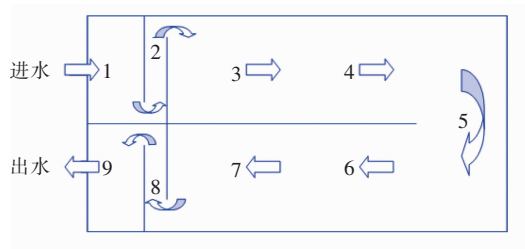


图1 预沉池取样点设置

Fig. 1 Pre-sedimentation tank sample point

在整个工艺流程中,预沉池起沉淀、稳定水质和调节水量的作用。预沉池长为210 m,宽为86 m。原水首先进入预沉池,停留时间为3 d。

2 生产性试验的藻类分析

2.1 预沉池鲢鱼的放养

向预沉池投放鲢鱼约9 000尾,单尾质量为150 g左右。投放鲢鱼后,在对原水藻类进行研究的过程中,共检出藻类7门43属68种,其中蓝藻门为7属11种,绿藻门为21属36种,硅藻门为7属10种,裸藻门为5属8种,隐藻门、甲藻门、黄藻门均为1属1种。

2.2 预沉池沿程藻类数量变化

在生产性试验的第一年,高藻期来临之前藻类数量一直沿程增加,生物操纵技术措施没有显示出控藻效果。到了7月底高藻期来临,原水藻类数量增加到 $5\,000 \times 10^4$ 个/L以上,这时生物操纵技术措施开始显示出控藻效果(见图2)。特别是进入8月份之后,虽然原水藻类数量高达 $5\,000 \times 10^4$ 个/L,但进入预沉池之后藻类数量沿程减少。在整个高藻期,预沉池均表现出较好的控藻效果。

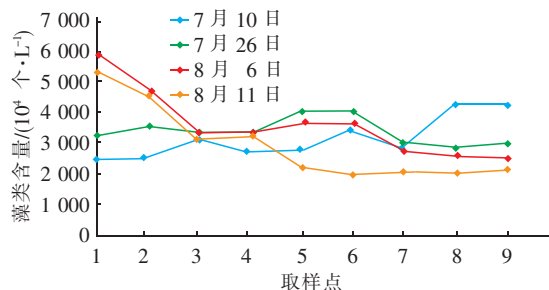


图2 预沉池沿程除藻效果

Fig. 2 Effect of algal removal in pre-sedimentation tank

2.3 预沉池进出水藻类数量变化

预沉池进出水藻类数量随时间的变化见图3。

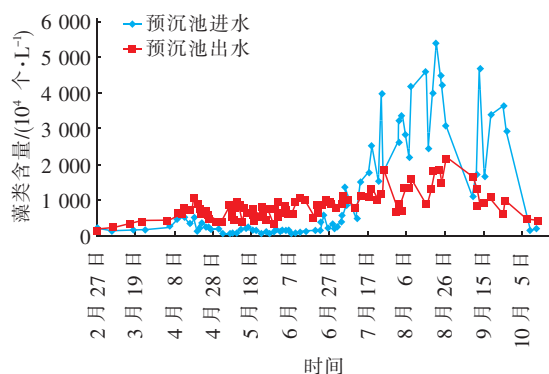


图3 预沉池进出水藻类数量变化

Fig. 3 Variation of algae quantity in influent and effluent of pre-sedimentation tank

在7月13日以前预沉池出水藻类数量高于进

水,预沉池对藻类无去除效果;在7月13日之后出水藻类数量低于进水藻类数量,且这一趋势一直持续至9月底,其间原水藻类数量波动幅度较大,最高达 $5\,933 \times 10^4$ 个/L,但是预沉池出水藻类数量始终维持在 $2\,000 \times 10^4$ 个/L以下。

3 预沉池生物除藻对水质指标的影响

3.1 原水水温

原水水温总体上变化平稳(见图4),在7月3日—9月20日都维持在25℃以上,而这段时间也是原水藻类数量较高和蓝藻生长最为旺盛的时期,原水中蓝藻为优势种。

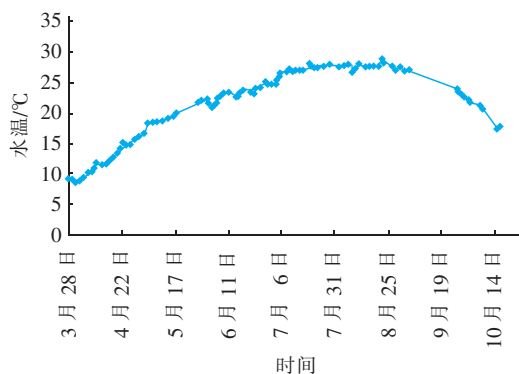


图4 原水水温的历时变化

Fig. 4 Variation of source water temperature with time

3.2 浊度

预沉池出水浊度变化相对原水要平稳得多(如图5所示),结合图3可知,原水浊度的变化趋势和藻类数量的变化走势相似。原水浊度在7月和8月较高,变化幅度较大,而预沉池出水浊度稳定在7 NTU以下,表明预沉池对原水浊度起到了一个稳定的作用。

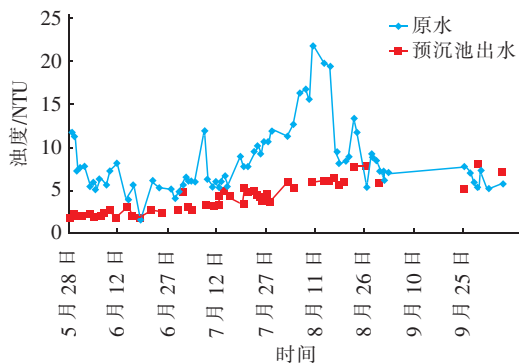


图5 原水和预沉池出水浊度变化

Fig. 5 Variation of turbidity of source water and effluent of pre-sedimentation tank

3.3 pH 值

预沉池出水 pH 值总体上要高于原水(见图6),这主要由藻类的生长所导致。pH 值的变化主要由碳酸盐平衡引起,预沉池出水 pH 值的小幅上升可能是由于藻类的生长对二氧化碳的消耗大于水生生物的呼吸作用,从而减小了水中氢离子浓度。

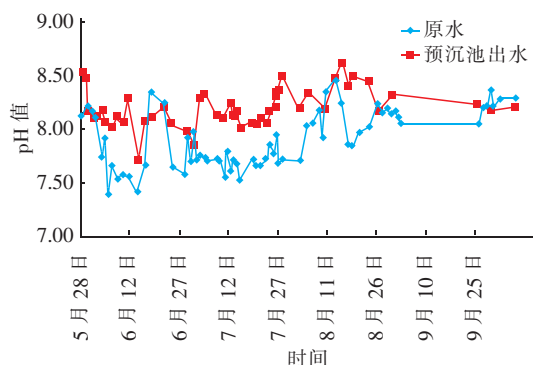


图6 原水和预沉池出水 pH 值的变化

Fig. 6 Variation of pH value of source water and pre-sedimentation tank

3.4 COD_{Mn}

原水 COD_{Mn} 浓度波动较大,进入高藻期后 COD_{Mn} 值有所上升。预沉池出水 COD_{Mn} 浓度整体上比较稳定,大部分时间不超过 4 mg/L(见图7)。在6月份预沉池出水 COD_{Mn} 值稍高于原水,而在8月份预沉池出水值则略低于原水,这主要是由于6月份绿藻的快速生长和8月份鲢鱼对蓝藻的有效滤食所导致。

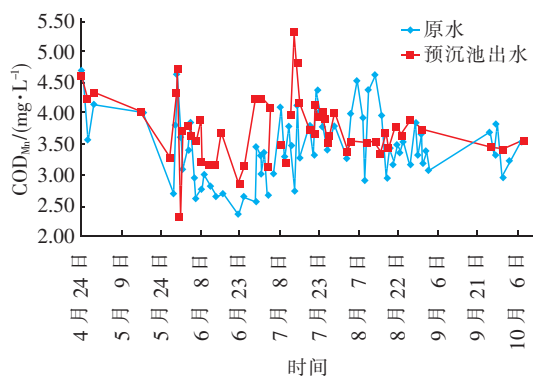


图7 原水和预沉池出水 COD_{Mn} 的变化

Fig. 7 Variation of COD_{Mn} in source water and pre-sedimentation tank effluent

3.5 总磷

原水总磷含量变化幅度较大,但是含量不高,基本维持在 0.02 ~ 0.06 mg/L 之间,预沉池出水总磷

含量整体上低于原水,而且在7月和8月降幅较大,这与这两个月藻类含量较高有关,鲢鱼对藻类的滤食将一部分磷吸收利用,同时还有一部分颗粒态磷沉降下来。

3.6 氨氮

原水氨氮含量并不高,但是波动较大,预沉池出水氨氮与原水氨氮含量表现出相近的变化规律,但是总体含量大部分时间在 0.15 mg/L 以下。

4 生物除藻对饮用水安全性的改善

4.1 微囊藻毒素

蓝藻水华可导致水源水中微囊藻毒素(MC)含量升高,对人类的健康构成潜在危害。我国的《生活饮用水卫生标准》规定 MC-LR 最高浓度为 1.0 $\mu\text{g/L}$ 。MC 的化学性质非常稳定,常规水处理工艺对其去除率较低。

7月18日、8月14日、9月11日对预沉池进出水进行了微囊藻毒素检测,结果表明,7月18日预沉池出水藻类和微囊藻浓度均高于预沉池进水,其进出水 MC-LR 浓度均小于 0.1 $\mu\text{g/L}$,MC-RR 浓度则从 0.65 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.15 $\mu\text{g/L}$;8月14日预沉池出水微囊藻浓度相对于进水有了较大幅度的下降,相应地,MC-LR、MC-RR 浓度也有所降低,分别从 0.67、0.71 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.46、0.29 $\mu\text{g/L}$,但是对 MC-LR 的去除率不及 MC-RR;9月11日预沉池进水微囊藻浓度为 239×10^4 个/L,在出水中未检出微囊藻,但是进出水 MC 浓度较高,对 MC-LR 的去除效果不明显(进出水浓度分别约为 0.92、0.90 $\mu\text{g/L}$),而对 MC-RR 的去除率则较高(浓度由 1.3 $\mu\text{g/L}$ 降至 0.18 $\mu\text{g/L}$)。

4.2 氯化消毒副产物前质

微污染水源水中的有机物与氯消毒剂反应后会生成对人体有害的消毒副产物,饮用水中最常检出的消毒副产物是三卤甲烷和卤乙酸^[4]。通过对预沉池进出水消毒副产物前质的检测来考察生物控藻技术对其的去除效果。对8月份高藻期间预沉池进出水进行了三卤甲烷生成势(THMsFP)和卤乙酸生成势(HAAsFP)的检测,结果见图8。经预沉池处理后,三卤甲烷生成势和卤乙酸生成势均有不同程度的减少,说明生物除藻预沉池对消毒副产物前质有一定程度的去除。由于采样期间蓝藻生长占据优势,分析原因可能由于鲢鱼对藻类的滤食使预沉池出水有机物含量降低所致。

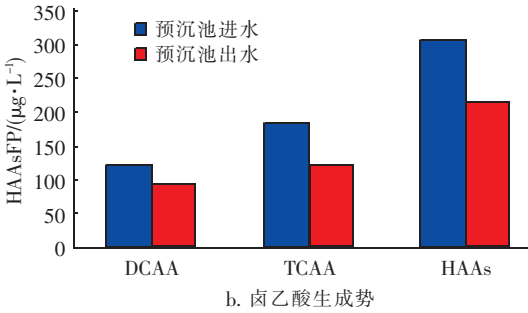
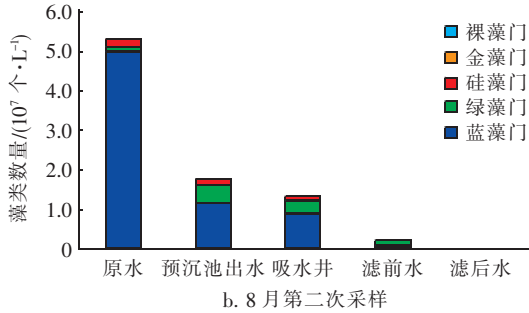
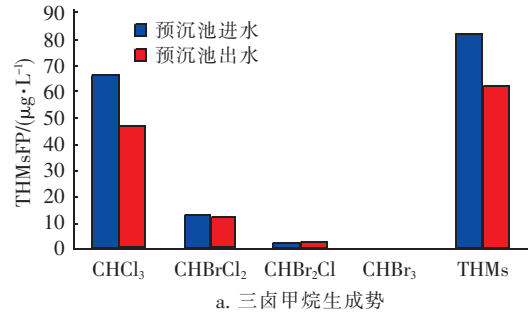


图 8 预沉池进出水三卤甲烷和卤乙酸生成势的对比
Fig. 8 THMsFP and HAAsFP of influent and effluent of pre-sedimentation tank

5 生物操纵联合常规工艺的除藻效能分析

图 9 为 7 月和 8 月的两次采样中沿程藻类数量的变化。

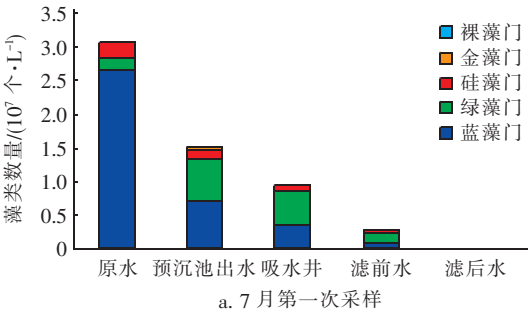


图 9 各处理单元中藻类数量的变化

Fig. 9 Change of algal quantity in different unit

从图 9 可以发现,7 月和 8 月这两次采样的藻类数量变化趋势基本相同。最为明显的是预沉池出水中蓝藻数量有了大幅度的下降,而绿藻数量则有小幅上升。

在吸水井中预加氯后各种藻类的数量均有一定程度的减少。滤前水中绿藻的比例较大,这部分藻类由一些耐氯且难以混凝沉淀去除的藻类组成。过滤作为保障饮用水卫生安全的重要措施,在对剩余藻类的去除上发挥了关键的作用。滤池的水力负荷、反冲洗方式以及反冲强度对藻类去除效率具有决定性的影响。从各单元对藻类的去除率来看,过滤对硅藻的去除率为 100%,对绿藻和蓝藻的去除率都在 96% 以上,而对金藻的去除率较低(如表 1 所示)。

预加氯在杀死部分藻类的同时,还可灭菌、降氨氮以及氧化部分有机物,并起到助凝作用^[5,6]。由于细胞壁的结构不同,预氯化对蓝藻、绿藻、隐藻、裸藻和硅藻有不同的去除效果。预加氯能有效灭活藻类,失去活性的藻类更容易在混凝沉淀单元得到去除。

表 1 各单元对藻类的去除率

Tab. 1 Algae removal rate of each unit

%

项 目	蓝藻门	绿藻门	硅藻门	金藻门	裸藻门	总计
预沉池	73.16/77.06	-267.11/-350	33.33/49.46	-300/-100	0/0	50.39/66.91
预加氯	53.35/23.76	13.62/29.33	40.28/27.66	75/33.33	77.78/0	36.86/25.35
混凝沉淀	76.47/93.77	70.12/55.35	69.77/76.47	66.67/75	100/100	72.40/82.35
过滤	97.45/96.32	98.72/98.71	100/100	0/54.04	0/0	97.67/96.86

注: 斜杠前后分别为第一次和第二次试验的去除率。

混凝沉淀单元对藻类的去除受蓝藻含量影响较大,当水中蓝藻数量较高时,混凝沉淀对藻类的去除效果较好。过滤单元对藻类的截留较为彻底,但个体较小的金藻和易于粘附滤料的蓝藻、绿藻能够穿

透滤池。为此,可以通过调整滤池负荷、改变反冲洗方式(如水冲改为气水反冲)和增加反冲洗强度来提高滤池对这些藻类的去除率。

使用预沉池放养鲢鱼的生物除藻技术,再联合

常规处理工艺,可以使藻类得到较彻底的去除。特别是对于以蓝藻为优势种的夏季原水,该技术的效果更为明显。

6 结论

① 在预沉池中实施放养鲢鱼的除藻技术措施可控制出水藻类数量在较低水平,特别是在高温高藻期对藻类的控制非常有效。

② 鲢鱼的食性对预沉池出水藻类的组成起了重要的作用。鲢鱼在高藻期前主要滤食硅藻和绿藻,该时期预沉池出水绿藻数量高于进水的主要原因可能是鲢鱼对绿藻的滤食速度没有绿藻自身生长速度快。在高藻期蓝藻特别是群体性微囊藻占据优势时,鲢鱼对蓝藻的滤食效率要远高于其他藻类,这是预沉池出水藻类数量大幅度下降的主要原因。

③ 在预沉池中实施生物除藻技术,对原水浊度、氨氮起到了稳定的作用;在高藻期可降低原水 COD_{Mn} 、总磷和微囊藻浓度,且对MC-RR的去除效果好于MC-LR,同时可降低三卤甲烷生成势和卤乙酸生成势,改善和提高了水质安全性。

参考文献:

- [1] 李军,杨秀山,彭永臻. 微生物与水处理工程[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [2] 贾瑞宝,周善东. 城市供水藻类污染控制研究[M]. 济

南:山东大学出版社,2006.

- [3] 王占生,刘文君. 微污染源饮用水处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [4] 胡晓勇,王盼盼. 聚合氯化铝对消毒副产物前体物的混凝去除效能[J]. 中国给水排水,2016,32(17):61-64.
- [5] 杨丽琴,陶益,汪义强,等. 常规工艺对硅藻的处理效能研究[J]. 中国给水排水,2016,32(13):55-59.
- [6] 王琳,王宝贞. 饮用水深度处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.



作者简介:贾柏樱(1966—),女,天津人,本科,高级工程师,原水公司总工程师,主要从事给水处理技术研究。

E-mail:jby0603@163.com

收稿日期:2016-12-20

· 信息 ·

国家城镇建设行业产品标准正式出版发行

由主编单位——中国市政工程华北设计研究总院有限公司,根据住房城乡建设部《关于印发2014年归口工业产品行业标准制订修订计划的通知》(建标[2013]170号)要求,协同江苏天雨环保集团有限公司、南通华新环保设备工程有限公司、无锡市通用机械厂有限公司、安徽国祯环保节能科技股份有限公司、江苏兆盛环保股份有限公司、蓝深集团股份有限公司、金剑环保有限公司、金山环保集团有限公司、浙江联池水务设备股份有限公司、浙江德安科技股份有限公司、福建省鑫钻建筑工程有限公司和江苏省五环水务工程有限公司等参编单位编制修订的《重力式污泥浓缩池周边传动浓缩机》(CJ/T 507—2016)、《污泥脱水用带式压滤机》(CJ/T 508—2016)、《拦污用栅条式格栅》(CJ/T 509—2016)等3个国家城镇建设行业产品标准日前正式出版发行,实施日期为2017年6月1日。

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 工程评价与管理公司 供稿)