

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.01.009

净水厂水蚤类浮游动物的生物风险及影响因素研究

陈丽珠, 巢 猛, 何孙胃

(东莞市水务集团供水有限公司, 广东 东莞 523112)

摘 要: 针对净水厂水蚤类浮游动物带来的感官问题及潜在的生物安全风险,考察了净水厂沉淀池出水中水蚤类浮游动物死体溶出物的微生物含量和有机物浓度、超声时间和频率对水蚤类浮游动物的影响,以及不同预氧化剂投加量和排泥周期时对水蚤类浮游动物的控制效果。结果表明,净水厂沉淀池出水中水蚤类浮游动物体内携带细菌,超声破体后溶出,使水中的细菌总数增多;水蚤类浮游动物死体的溶出物导致水样中有机物浓度增大;超声处理使水蚤类浮游动物的活跃性显著降低,且随着超声时间的增加,水蚤类浮游动物活跃性下降;相同超声时间下,随着超声频率的增加,水蚤类浮游动物活跃性降低;夏季和冬季时,投加预氧化剂和缩短排泥周期都可以有效控制水蚤类浮游动物的丰度,且随着预氧化剂投加量的增加,浮游动物去除率增大,当预氧化剂投加量达到1.5 mg/L后,去除率趋于稳定,约为92%。

关键词: 净水厂; 水蚤类浮游动物; 超声; 预氧化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)01-0060-04

Biosafety Risk and Influencing Factors of Daphnia Zooplankton in Waterworks

CHEN Li-zhu, CHAO Meng, HE Sun-wei

(Dongguan Water Group Water Supply Co. Ltd., Dongguan 523112, China)

Abstract: To deal with sensory problems and potential biosafety risks caused by daphnia zooplankton in waterworks, the microorganism and organic matter content released from dead daphnia zooplankton in effluent of sedimentation tank, the effects of ultrasonic time and ultrasonic frequency on daphnia zooplankton, and the control of daphnia zooplankton by pre-oxidation and sludge discharge cycle were investigated. Bacteria carried by daphnia zooplankton in the effluent from the sedimentation tank of the waterworks were released after ultrasonic breakage, which increased the total number of bacteria in the water. The leachate from the dead daphnia zooplankton bodies led to an increase in the concentration of organic matter in the water sample. Ultrasonic treatment significantly reduced the activity of daphnia zooplankton, and the activity of daphnia zooplankton decreased with increasing ultrasonic time. At the same ultrasonic time, the activity of daphnia zooplankton decreased with the increase of the ultrasonic frequency. Both the pre-oxidation and shortening the sludge discharge cycle could effectively control the growth of daphnia zooplankton in summer and winter, and the removal efficiency of daphnia zooplankton increased with the increase of the pre-oxidant dosage. When the pre-oxidant dosage reached 1.5 mg/L, the removal efficiency tended to be stable at approximately 92%.

Key words: waterworks; daphnia zooplankton; ultrasonic; pre-oxidation

供水水源的富营养化使水中的水生生物丰度增加,增大了自来水厂的处理难度。大量水生生物

进入饮用水系统后,不仅会对管网的生物稳定性和感官指标造成影响,而且有研究发现,某些水生生物会附着致病或条件致病细菌,如果消毒不彻底,有可能引起生物安全性问题^[1]。在林涛等人^[2]的研究中提到,从伍斯特的市政管网中捕捉到的无脊椎动物个体上提取到大量细菌,如军团菌、沙门氏菌、志贺菌、耶尔森鼠疫菌等。虽然常用的饮用水消毒方法,如紫外和臭氧对细菌有较好的灭活作用,但是浮游动物携带的细菌却能在这种消毒环境下至少存活3 d,即使浮游动物死亡,其危害依然存在,它能作为细菌等微生物的载体,增大微生物在管网中二次繁殖的可能性,威胁用户的饮水安全。国外对该问题的研究开始较早,研究对象以线虫和阿米巴虫为主,国内则是近几年才开展这方面的研究工作,尚未形成系统的成果^[3]。因此,笔者考察了净水厂沉淀池出水中水蚤类浮游动物死体溶出物的微生物和有机物含量,超声时间和频率对水蚤类浮游动物的影响,以及调整预氧化剂投加量和排泥周期条件下对水蚤类浮游动物的控制效果,旨在为水厂控制水蚤类浮游动物提供参考。

1 材料与方法

1.1 浮游动物死体溶出物的微生物含量测定

用200目挂网富集净水厂沉淀池出水中的浮游动物,将富集后的浮游动物用无菌水冲洗到1 L烧杯中,用超声破碎仪将浮游动物破碎后,测定细菌总数和总大肠菌群,同时以未超声水样作为对照。微生物检测过程中使用的器具均经过高压灭菌处理,使用的无菌水为经过灭菌的超滤水。

1.2 浮游动物死体溶出物的有机物浓度测定

取超声破碎后水样测定DOC、UV₂₅₄、COD_{Mn}等有机物指标,同时以未超声破碎水样作为对照。DOC、UV₂₅₄分别采用岛津TOC测定仪、紫外分光光度计测定,COD_{Mn}采用酸性高锰酸钾滴定法测定。

1.3 超声时间和频率的影响试验

用200目浮游动物网截留净水厂沉淀池出水中的浮游动物,用纯水将截留在滤网表面的滤渣洗入试管中。在试管外壁投射强光,利用浮游动物的趋光性聚集浮游动物(高活跃),强光由试管正底部往上照射,便于观察试管内浮游动物的活动状态。吸取光源处的浮游动物于50 mL比色管中,用纯水定容至25 mL。将比色管放入超声清洗器中超声,在

温度为28℃条件下,考察超声时间和频率对水蚤类浮游动物的影响。

1.4 预氧化剂投加量的影响试验

用两组相同的装置平行开展试验,一组作为对照,另一组向混凝池的第一格池中投加不同浓度的次氯酸钠溶液,进水流量为5 m³/h,到沉淀池出水的接触时间为2 h,检测水蚤类浮游动物的丰度。

1.5 排泥周期的影响试验

在夏季和冬季用两组相同的装置平行开展试验,设置排泥周期分别为0.5、1、1.5、2 d,取沉淀出水检测水蚤类浮游动物的丰度。

2 结果与分析

2.1 浮游动物死体溶出物的微生物含量

Hansen等^[4]在桡足类浮游动物喂养试验中发现其粪便中含有大量的细菌,说明体内细菌会随着浮游动物的新陈代谢作用而被排出体外。Locas等^[5]研究发现,线虫在管网的压力下,会释放出细菌。本试验中含水蚤类浮游动物的水样经过超声破体后,微生物含量增加,没有经过超声处理水样的细菌总数小于100 CFU/mL(水样1、2、3分别为1、2、5 CFU/mL),破体以后细菌总数为几百到几千CFU/mL(水样1、2、3分别为360、730、4 000 CFU/mL),说明水蚤类浮游动物体内携带有细菌,经超声破体后溶出,使水中的细菌总数增多,而总大肠菌群没有变化(均为0)。Wolmarans等^[6]认为,饮用水系统中浮游动物携带的细菌数量在10~4 000 CFU/个之间,包括可引起腹泻和脑膜炎的细菌及其他致病菌或潜在致病菌,与试验获得的结果基本一致。水蚤类浮游动物体内的细菌对饮用水安全存在潜在威胁,所以在浮游动物数量暴增时要实时监测微生物指标,保障饮用水的微生物安全。

2.2 浮游动物死体溶出物的有机物浓度

经超声处理后,水样COD_{Mn}浓度为1.92 mg/L、DOC浓度为0.928 mg/L、UV₂₅₄为0.008 cm⁻¹。未经超声处理水样的相应指标分别为0.56 mg/L、0.595 mg/L、0.005 cm⁻¹。可见,相比未破体水样,经超声破体后浮游动物死体溶出水样的有机物浓度增大。DOC是水中的溶解性有机碳,包括腐殖质、木质素、烯烃类等有机物,是三卤甲烷(THMs)的有机前体物^[7];UV₂₅₄表征含有共轭碳碳双键和芳香性结构的溶解性有机物,也是指代THMs生成的重要指

标。水蚤类浮游动物死体溶出物水样的 DOC 和 UV_{254} 增大,氯化消毒过程中可能会使消毒副产物增多,因此其消毒副产物的产生应引起重视。

2.3 超声时间和频率对水蚤类浮游动物的影响

为了研究超声时间和频率对水蚤类浮游动物

的影响,从沉淀池出水中选取 36 组桡足类浮游动物,根据游动速度选取活跃性强的桡足类浮游动物进行超声处理,每组各含 20 只浮游动物。各组样品环境无差别,不同超声时间和频率对浮游动物存活状态的影响见表 1。

表 1 超声时间和频率对水蚤类浮游动物的影响

Tab.1 Effects of ultrasonic time and frequency on daphnia zooplankton

超声频率/kHz	超声时间/s					
	0	10	15	20	25	30
20	活体,很活跃	存活,活跃性低	存活,活跃性低	个别存活,不活跃	多数破碎,不活跃	破碎,无完整个体
24	活体,很活跃	存活,活跃性低	存活,活跃性低	个别存活,不活跃	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体
28	活体,很活跃	存活,活跃性低	存活,不活跃	多数破碎,不活跃	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体
32	活体,很活跃	存活,活跃性低	少数存活,活跃性低	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体
36	活体,很活跃	存活,不活跃	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体
40	活体,很活跃	少数存活,不活跃	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体	破碎,无完整个体

从表 2 可知,超声处理使浮游动物的活跃性显著降低。随着超声时间和频率的增加,浮游动物活跃性下降。在低频率(20 kHz)超声处理下,浮游动物完全破体所需要的时间为 30 s,而在高频率(40 kHz)时,浮游动物完全破体只需要 15 s。因此,可以根据需要调整超声时间和频率来控制浮游动物的活跃性。另外,不同种类的浮游动物具有不同的耐受极限,因此还需做进一步研究。

2.4 预氧化剂投加量对水蚤类浮游动物的影响

考察夏季(平均水温约为 28.3℃)和冬季(平均水温约为 10.7℃)时次氯酸钠投加量对水蚤类浮游动物的影响,结果如图 1 所示。

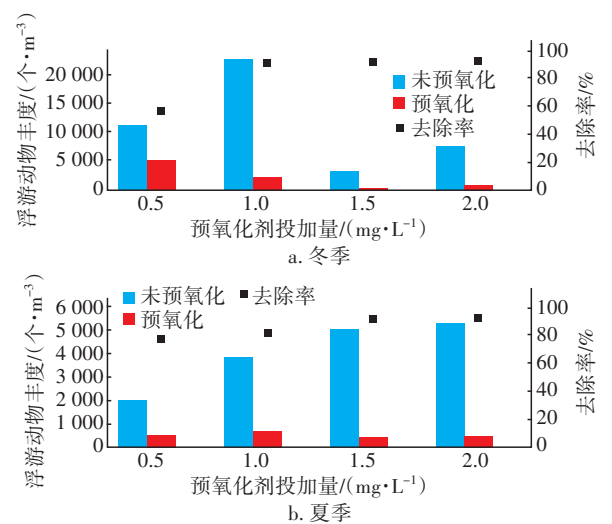


图 1 预氧化剂投加量对水蚤类浮游动物的影响

Fig.1 Effects of pre-oxidant dosages on daphnia zooplankton

由图 1 可知,无论是夏季还是冬季,次氯酸钠预氧化都可以有效控制水蚤类浮游动物的丰度。当预氧化剂投加量分别为 0.5、1.0、1.5、2.0 mg/L 时,夏季对浮游动物的去除率分别为 76.8%、83.1%、92.6% 和 92.1%,冬季对浮游动物的去除率分别为 55.8%、90.4%、92.0% 和 91.7%,说明随着预氧化剂投加量的增加,去除率有升高的趋势,当投加量达到 1.5 mg/L 后,去除率趋于稳定,约为 92%。

2.5 排泥周期对水蚤类浮游动物的影响

夏季和冬季时,排泥周期对水蚤类浮游动物的影响见图 2。

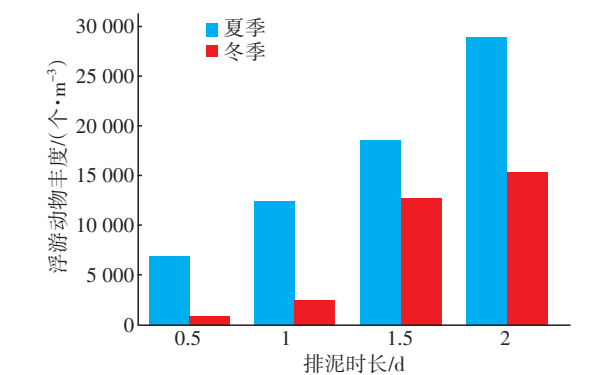


图 2 排泥周期对浮游动物的影响

Fig.2 Effect of sludge discharge cycle on zooplankton

由图 2 可知,随着排泥周期的延长,浮游动物的丰度呈上升趋势。夏季,当把排泥周期从 1 d 延长至 2 d 时,浮游动物的丰度明显增大,从 12 297 个/ m^3 上升到 28 838 个/ m^3 。冬季,当把排泥周期从 1 d 延长至 2 d 时,浮游动物的丰度从 2 412 个/ m^3 上升

到15 189个/m³。这是因为混凝沉淀过程引起浮游动物的富集,当残余浮游动物流入沉淀池后,部分浮游动物随絮体沉淀下来。当排泥周期较长时,沉淀池的污泥沉积区为沉降下来的浮游动物提供了良好的生活场所,浮游动物得以大量繁殖,并游动到上部清水层,使沉淀池出水浮游动物密度变大。缩短排泥周期至0.5 d时,夏季浮游动物的丰度下降至6 861个/m³,冬季浮游动物的丰度下降至730个/m³,说明缩短排泥周期可以有效控制浮游动物丰度。所以在浮游动物丰度暴增时,水厂可通过缩短排泥周期、清理沉淀池来降低浮游动物丰度。

3 结论

净水厂沉淀池出水中的水蚤类浮游动物体内携带有细菌,超声破体后溶出,使水中的细菌总数增多,没有经过超声处理水样的细菌总数小于100 CFU/mL,经过破体处理后细菌总数为几百到几千CFU/mL。相比未破体水样,超声破体后水蚤类浮游动物死体溶出物水样的有机物浓度增大,COD_{Mn}增加了1.36 mg/L、DOC增加了0.333 mg/L、UV₂₅₄增加了0.003 cm⁻¹。在不同超声频率作用下,随着超声时间的增加,水蚤类浮游动物活性下降。相同超声时间下,随着超声频率的增加,水蚤类浮游动物活性降低。夏季和冬季时采用次氯酸钠进行预氧化都可以有效控制水蚤类浮游动物的丰度,且随着预氧化剂投加量的增加,浮游动物去除率升高,当次氯酸钠投加量达到1.5 mg/L以后,去除率趋于稳定,约为92%。通过缩短排泥周期可以有效控制浮游动物的丰度,因此,当浮游动物丰度暴增时,可通过缩短排泥周期、清理沉淀池来处理。

参考文献:

- [1] 朱洁,陈晨,陈洪斌,等. 生物活性炭滤池微型动物泄漏的强化过滤控制[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013,41(6):862-868.
ZHU Jie, CHEN Chen, CHEN Hongbin, *et al.* Enhanced filtration control of micro-metazoan leakage in granular active carbon filter [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2013,41(6):862-868 (in Chinese).
- [2] 林涛,曹钰,陈卫. 饮用水处理中剑水蚤携带细菌的研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013,41(4):128-132.
LIN Tao, CAO Yu, CHEN Wei. Bacteria associated with cyclops in drinking water treatment process [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science), 2013,41(4):128-132 (in Chinese).
- [3] 张群,朱洁,潘晓,等. 水厂微型动物泄漏与控制技术的研究进展[J]. 四川环境, 2012,31(4):119-123.
ZHANG Qun, ZHU Jie, PAN Xiao, *et al.* Advances on microfauna causing leakage and control technology in water plant [J]. Sichuan Environment, 2012,31(4):119-123 (in Chinese).
- [4] HANSEN B, FOTEL F L, JENSEN N J, *et al.* Bacteria associated with a marine planktonic copepod in culture. II. Degradation of fecal pellets produced on a diatom, a nanoflagellate or a dinoflagellate diet [J]. Journal of Plankton Research, 1996,18(2):275-288.
- [5] LOCAS A, BARBEAU B, GAUTHIER V. Nematodes as a source of total coliforms in a distribution system [J]. Canadian Journal of Microbiology, 2007,53(5):580-585.
- [6] WOLMARANS E, DU PREEZ H H, DE WET C M E, *et al.* Significance of bacteria associated with invertebrates in drinking water distribution networks [J]. Water Science & Technology, 2005,52(8):171-175.
- [7] YANG L Y, HUR J, LEE S, *et al.* Dynamics of dissolved organic matter during four storm events in two forest streams: source, export, and implications for harmful disinfection byproduct formation [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015,22(12):9173-9183.

作者简介:陈丽珠(1984-),女,海南万宁人,硕士,高级工程师,研究方向为水处理技术。

E-mail:lizhu311@163.com

收稿日期:2020-01-18

修回日期:2020-02-02

(编辑:任莹莹)