

孙兴滨, 崔福义, 张金松, 等. 几种常见氧化剂对水中摇蚊幼虫氧化杀灭效能的试验研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(7): 930 - 935

SUN Xingbin, CUI Fuyi, ZHANGJinsong, et al. Experimental study on the inactivation effects of alternative oxidants on the Chironomid larvae [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(7): 930 - 935

几种常见氧化剂对水中摇蚊幼虫氧化杀灭效能的试验研究

孙兴滨^{1,*}, 崔福义¹, 张金松², 郭召海³, 徐 峰¹, 刘丽君²

1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090
2. 深圳水务集团水技术研究所, 深圳 518001
3. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085

收稿日期: 2004-10-25 修回日期: 2005-03-18 录用日期: 2005-03-28

摘要:进行了几种水处理氧化剂——氯气、二氧化氯、臭氧对水体中摇蚊幼虫灭活效果的试验研究,并对原水中摇蚊幼虫经二氧化氯预氧化、混凝沉淀后的灭活效果进行了考察。结果表明,二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活效果受水体 pH 值、有机物含量和藻类含量影响较小,与其它 2 种氧化剂相比,二氧化氯对原水中摇蚊幼虫具有更好的灭活作用;混凝烧杯实验证实,原水中的摇蚊幼虫经混凝沉淀后,与矾花沉降,不会对沉后的水产生影响;并且二氧化氯投加量 1.0 mg L^{-1} 时,摇蚊幼虫在 24 h 内死亡,投加量 2.0 mg L^{-1} 时,死亡时间为 6 h;采用预投二氧化氯的水处理工艺可以起到控制摇蚊幼虫在沉淀池中孳生的作用。

关键词:摇蚊幼虫; 氧化剂; 二氧化氯; 预氧化

文章编号: 0253-2468(2005)07-0930-06 中图分类号: TU991.25 文献标识码: A

Experimental study on the inactivation effects of alternative oxidants on the Chironomid larvae

SUN Xingbin^{1,*}, CUI Fuyi¹, ZHANGJinsong², GUO Zhaohai³, XU Feng¹, LIU Lijun²

1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090
2. Water Research Institute, Shenzhen Water Group, Shenzhen 518001
3. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

Received 25 October 2004; received in revised form 18 March 2005; accepted 28 March 2005

Abstract: The inactivation effects of several oxidants, including chlorine, chlorine dioxide and ozone on the Chironomid larvae in source water were investigated. In addition, inactivation effect was also evaluated after pre-oxidation by chlorine dioxide, followed by coagulation and sedimentation for raw water. It was founded that chlorine dioxide possessed better inactivation effect than other two oxidants. And the organic matter concentration, pH value and algae concentration had little influence on the inactivation effect. The coagulation beaker test demonstrated that Chironomid larvae in the raw water could be deposited with floccules followed by coagulation and sedimentation process, and had no influences on sedimentation water. The Chironomid larvae would die within 24 h with the chlorine dioxide dose of 1.0 mg L^{-1} , and within 6 h with the dose of 2.0 mg L^{-1} . The excessive propagation of Chironomid larvae could be controlled effectively in sedimentation tank by chlorine dioxide pre-oxidation.

Keywords: Chironomid larvae; oxidant; chlorine dioxide; pre-oxidation

摇蚊幼虫是水体中分布范围广的一类水生昆虫,他们的一些种类对水质的变化,如营养盐、重金属、pH 和溶解氧等极为敏感,另有些种类则适应有

机污染、重金属类毒物污染。利用其种类敏感和耐污染特性,反映水质的变化和污染程度等特点,可以将其作为水体污染的主要指示生物^[1,2]。国外多采用摇

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 503780262);国家高技术研究发展计划(863)项目(No. 2002AA601120);高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(No. 20030213036)

作者简介:孙兴滨(1970—),男,博士研究生,E-mail: sunxingbin1025@163.com; * 通讯作者(责任作者)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 503780262); High Technology Research and Development Programme (863) of China (No. 2002AA601120); Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (No. 20030213036)

Biography: SUN Xingbin (1970—), male, Ph. D. candidate, E-mail: sunxingbin1025@163.com; * **Corresponding author**

蚊幼虫作为污染物质的急性和慢性毒性测试生物^[3-5]。天然水体污染程度的加重,将直接导致底栖动物多样性明显降低,而适应富营养水体的摇蚊幼虫在水中却占优势地位^[6]。摇蚊幼虫在水库、湖泊类水源水中的大量孳生,导致其可以在城市净水工艺中出现^[7,8]。尽管目前并没有被证实它们的生物体会威胁到公众健康^[7],但大多数人常常把这些生物的存在和饮用水不卫生联系起来,引起他们对水质信心的下降。

英国的艾塞克斯城,美国的塔科马市、洛厄尔城,中国的广东、天津、四川、江苏、浙江等地区的城市净水工艺中都相继发生过比较严重的摇蚊幼虫污染事件^[9-11]。20世纪70年代英国曾用除虫菊酯杀灭净水工艺中出现的摇蚊幼虫,除虫菊酯当时被认为是无毒无害的杀虫剂,但90年代之后研究发现除虫菊酯对人的神经系统有一定的损伤^[9]。另外,美国一些研究人员发现苏云金杆菌对摇蚊幼虫有显著的杀灭效果^[10]。在饮用水中投加杀虫剂的方法对人体存在潜在的威胁。近年来国内一些自来水公司相继开展了一些防治实验,包括喷雾驱蚊方法、化学药剂浸泡杀灭实验等,主要集中在摇蚊幼虫大规模暴发时采用的紧急防治方法,而涉及到通过改变预氧化方式来彻底解决摇蚊幼虫在给水处理工艺中孳生的研究却未见报道,且缺乏系统的理论研究^[11]。

目前给水处理工艺绝大多数为预氯化、混凝沉淀、过滤、加氯消毒的传统工艺,该工艺难以有效地杀灭原水中的摇蚊幼虫。因此,本文对氯气、二氧化氯、臭氧对摇蚊幼虫的灭活效能和影响因素进行了试验研究,并考察了原水中摇蚊幼虫经二氧化氯预氧化、混凝沉淀后的灭活效果,为解决给水处理工艺中摇蚊幼虫污染问题提供了理论依据。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 试验过程与方法

试验分为2部分。首先以蒸馏水为试验水样,通过改变氧化剂的投加量和调节水体的pH值、有机物指标 COD_{Mn} 和藻类含量,对不同条件下各种氧化剂的灭活性能进行了考察。在此基础上,利用混凝烧杯实验,对效果比较理想的二氧化氯对实际原水中摇蚊幼虫的灭活情况进行了研究。

静态试验在1000 mL烧杯中进行,试验水样中摇蚊幼虫的密度为 $15 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ 。每一试验组设置3个平行样,每组均设空白对照;试验温度控制在 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

摇蚊幼虫的死亡标准:以玻璃棒轻压摇蚊幼虫的尾部3次后不做“8”运动^[12];用碘量法测定液氯和臭氧浓度,用连续碘量法测定二氧化氯浓度,用离子色谱法(IC)测定亚氯酸盐和氯酸盐浓度。

1.2 试验材料

试验中以氢氧化钠和盐酸溶液调节水样所需要的酸碱度,有机物由腐殖酸配制而成并根据需要投加;斜生栅藻培养液采用修改后的克氏培养液及少量土壤渗液^[13],培养条件为:温度 $25 \sim 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,光暗比12 h:12 h,光强为 3000 lx 左右,每天定时摇动3次。试验所用摇蚊幼虫接种自野外,经标准方法培养繁殖后供试验使用,试验中选择第4龄期的摇蚊幼虫为试验对象^[4]。

2 结果(Results)

2.1 不同化学氧化剂的灭活效果

以 $\text{pH}=7$ 的蒸馏水为试验水样,氧化剂投加量在 0 至 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,设5个浓度梯度,接触时间为 30 min 。试验结果如图1。由图1可以看出,在同一投加量下,3种氧化剂对摇蚊幼虫的灭活性能由高到低顺序依次为:臭氧 $>$ 二氧化氯 $>$ 氯气。在中性条件下,臭氧和二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率皆随投加量的增加呈上升趋势。接触 30 min 后,臭氧投加量为 $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,灭活率可以达到 100% ;而对于二氧化氯,只有在 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的投加量下灭活率能够达到 100% ;而液氯的投加量为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,摇蚊幼虫未见死亡。

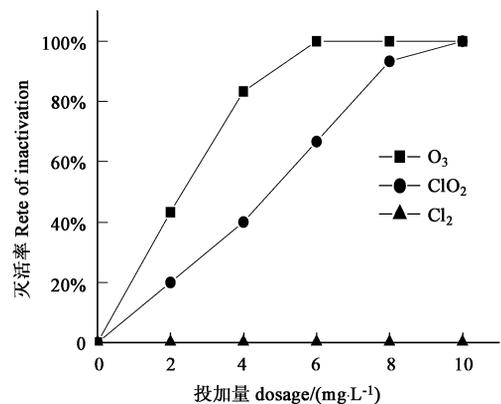


图1 不同氧化剂对蒸馏水中摇蚊幼虫的灭活效果

Fig. 1 Inactivation effects of different oxidants on the Chironomid larvae in distilled water

2.2 接触时间对氧化剂灭活效果的影响

臭氧和二氧化氯投加量为 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、液氯投加

量为 10 mg L^{-1} 时,考察了接触时间对氧化剂灭活效果的影响,试验结果如图 2. 由图 2 可以看出,延长接触时间可提高氧化剂的灭活效果. 臭氧在接触 3 h 后灭活率达到 100%; 虽然二氧化氯此时的灭活率只有 60%, 但其接触 4 h 后灭活率同样可以达到 100%; 但液氯在 10 mg L^{-1} 的投加量下,接触 24 h 灭活率才能达到 100%.

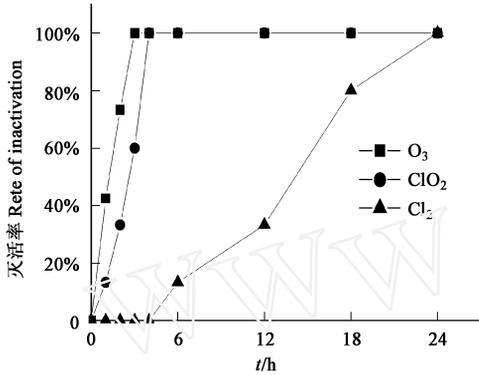


图 2 接触时间对灭活效果的影响
Fig. 2 Effects of contact time on inactivation rate

2.3 影响灭活效果的主要因素

以蒸馏水为底质,分别在二氧化氯和臭氧投量 2 mg L^{-1} 、液氯投量 10 mg L^{-1} 条件下,对影响摇蚊幼虫灭活率的主要因素进行了考察,接触时间为 4 h.

2.3.1 pH 值对氧化剂灭活效果的影响 不同 pH 值下,化学氧化剂对摇蚊幼虫的灭活效果如图 3. 由图 3 可以看出,3 种氧化剂在 pH 值较低的条件灭活效果均较好,对水体 pH 值的变化适应程度由高到低的顺序为:二氧化氯 > 臭氧 > 氯气.

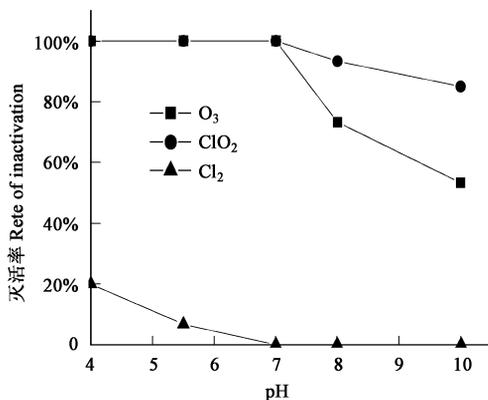


图 3 pH 值对灭活效果的影响
Fig. 3 Effects of pH value on inactivation rate

2.3.2 有机物含量对灭活效果的影响 在 pH=7 的条件下,对不同有机物含量下摇蚊幼虫灭活率变化情况进行了考察. 试验结果如图 4. 由图 4 可以看出,臭氧和二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率均随有机物含量的增加而降低. 臭氧受有机物的影响最大,当 COD_{Mn} 为 3 mg L^{-1} 时,灭活率由 100% 下降到了 0; 与之相比, COD_{Mn} 为 1 mg L^{-1} 时,二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率为 93.3%, 要好于臭氧的 46.7%; COD_{Mn} 为 2 mg L^{-1} 时,二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率为 86.7%, 而臭氧的灭活率仅为 13.3%.

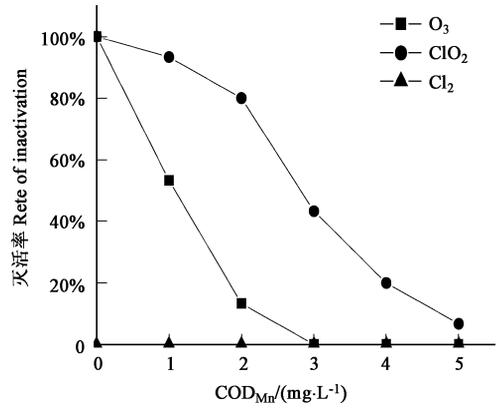


图 4 COD_{Mn} 对灭活效果的影响
Fig. 4 Effects of COD_{Mn} on inactivation rate

2.3.3 藻类含量对摇蚊幼虫灭活效果的影响 在 pH=7 的条件下,研究了藻类含量对摇蚊幼虫灭活率的影响,试验结果如图 5. 由图 5 可以看出,臭氧对摇蚊幼虫的灭活率随藻类含量的增加而降低. 藻类含量为 107 个 L^{-1} 时,灭活率已降至 60%; 藻类含量为 $2 \times 10^7 \text{ 个 L}^{-1}$ 时,灭活率仅为 46.7%. 二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率并不随藻类含量的增加而降低,灭活率始终保持在 100%. 液氯对摇蚊幼虫的灭活率随藻类含量的增加而增加,在藻类含量为 $2 \times 10^7 \text{ 个 L}^{-1}$ 时,其灭活率为 53.3%.

2.4 天然原水试验

以深圳某水厂的实际原水为试验对象,对臭氧和二氧化氯灭活摇蚊幼虫的能力进行了比较,接触时间为 30 min. 试验期间水质条件如下:水温 24 ~ 26 ; pH 值 6.5 ~ 7.0; 浊度 10 ~ 13 NTU; COD_{Mn} 为 $1.7 \sim 2.2 \text{ mg L}^{-1}$; 平均浮游藻类生物总量为 $1.5 \times 10^7 \text{ 个 L}^{-1}$. 试验结果如图 6. 从图 6 可以看出,与前述以蒸馏水为底质的灭活试验(图 1)相比,原水中臭氧的投量高于 8 mg L^{-1} 时灭活率差别不大,在投量下降到 4 mg L^{-1} 时灭活率亦显著下降,投量 2

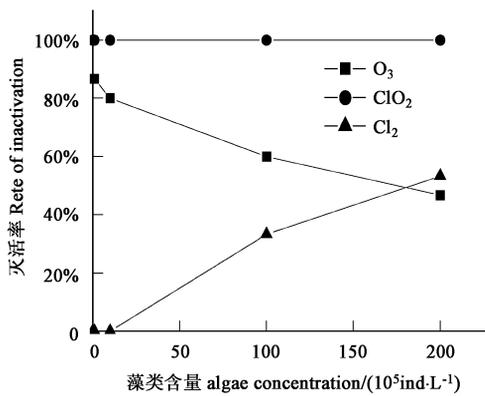


图 5 藻类含量对灭活效果的影响

Fig. 5 Effects of algae concentration on inactivation rate

mg L⁻¹时未见摇蚊幼虫死亡.与图 1 相比,不同投加量下二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活率差别不大,二氧化氯投加量 10 mg L⁻¹,接触 30 min,灭活率同样可以达到 100%,在低投加量下(小于 4 mg L⁻¹)对原水中摇蚊幼虫的杀灭效果臭氧不如二氧化氯.

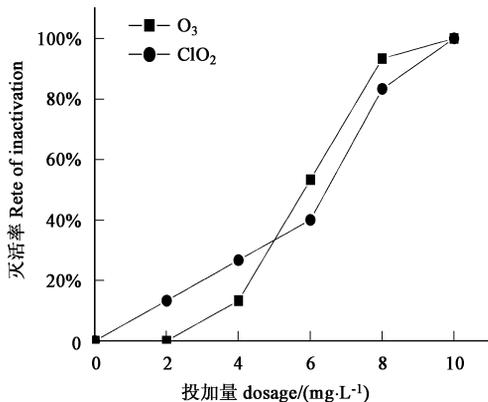


图 6 不同氧化剂对原水中摇蚊幼虫的灭活效果

Fig. 6 Inactivation effects of different oxidants on the Chironomid larvae in raw water

2.5 二氧化氯预氧化与水处理混凝沉淀工艺的协同作用

利用混凝烧杯实验考察了经二氧化氯预氧化、混凝沉淀后,原水中摇蚊幼虫的灭活率随接触时间的变化情况,二氧化氯与混凝剂同时投加,混凝剂为聚合氯化铝,投量 2 mg L⁻¹. 搅拌 16 min 后,静沉 35 min. 静沉结束后摇蚊幼虫全部随矾花沉降在容器底部,对沉后水不会产生影响,其灭活率随接触时间的变化情况如图 7 所示. 取上清液测定不同二氧化氯投加量下沉后水中亚氯酸盐和氯酸盐浓度,试验结果如图 8. 从图 7 可以看出,二氧化氯投加量低于

0.8 mg L⁻¹时摇蚊幼虫的死亡率不理想,接触 24 h 存活率仍有 13.3%;当投加量 1.0 mg L⁻¹时,接触 24 h 摇蚊幼虫的死亡率可以达到 100%;投加量 2.0 mg L⁻¹时,达到 100%死亡率的接触时间只需要 6 h. 从图 8 可以看出,二氧化氯投加量 1.0 mg L⁻¹时,沉后水中 ClO₂⁻ 或 ClO₃⁻ 的生成量分别为 0.557 mg L⁻¹和 0.115 mg L⁻¹,在试验的最大投加量(2.0 mg L⁻¹)时,ClO₂⁻ 生成量仍低于 1 mg L⁻¹.

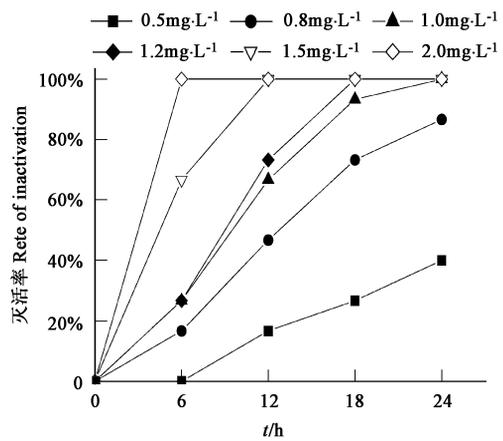


图 7 二氧化氯对原水中摇蚊幼虫的灭活效果

Fig. 7 Inactivation effects of chlorine dioxide on the Chironomid larvae in raw water

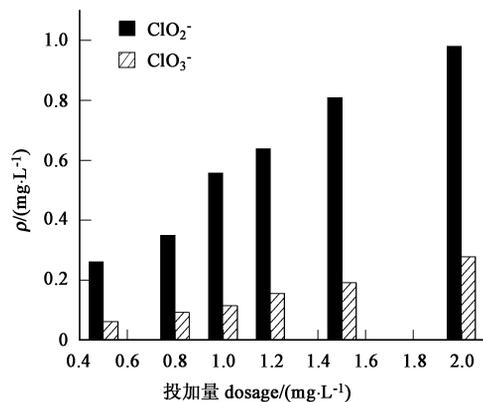


图 8 沉后水中 ClO₂⁻ 和 ClO₃⁻ 浓度

Fig. 8 The change of chlorite and chlorate in sedimentation water

3 讨论(Discussions)

3.1 藻类影响杀灭效果的特点

藻类对化学氧化剂杀灭效果的影响比较复杂(图 5),可能与各自对藻类的灭活机理以及摇蚊幼虫的食性有关. 3 种氧化剂的除藻能力由高到低依次为:臭氧 > 二氧化氯 > 氯气^[14]. 分子态臭氧对包

括细胞壁在内的细胞整体结构会产生侵袭,造成细胞解体使其数量明显降低。而二氧化氯对藻细胞结构的氧化破坏作用较弱,主要是渗透到细胞内部,氧化细胞功能器官,从而灭活藻细胞,但藻细胞数量变化不大^[15]。摇蚊幼虫喜欢捕食藻类^[8],吸附二氧化氯分子的藻细胞被摇蚊幼虫捕食后,可能作用于摇蚊幼虫体内的组织器官;另一方面,摇蚊幼虫在试验容器底部活动,吸附二氧化氯分子且已经失活的藻细胞沉积在容器底部,增加了二氧化氯分子与摇蚊幼虫体表细胞的接触机会,这两种因素导致摇蚊幼虫的死亡。这是摇蚊幼虫的灭活率并不随藻类含量的增加而降低的主要原因。液氯的杀藻效果不如二氧化氯,但试验中液氯投加量为 10 mg L^{-1} ,二氧化氯投加量为 2 mg L^{-1} ,水样中次氯酸分子远多于二氧化氯分子,中性的次氯酸分子同样可以吸附在藻细胞表面,被摇蚊幼虫捕食或接触其体表,从而加快了摇蚊幼虫的死亡时间。经液氯和二氧化氯杀灭后的摇蚊幼虫体色由红色变为绿色,解剖显微镜下可看到体表覆盖藻细胞,而臭氧杀灭的摇蚊幼虫却无此现象。

3.2 二氧化氯预氧化对摇蚊幼虫污染的控制

摇蚊幼虫属底栖生物,原水中摇蚊幼虫经混凝沉淀后可以随矾花体一起沉降,不会随沉淀池出水进入过滤工艺,其中绝大部分在沉淀池排泥时得到有效去除,其余的则可以在沉淀池中生长繁殖,并羽化为摇蚊成虫。成虫在沉淀池池壁上产卵,卵孵化成幼虫后,一些幼虫沉入池底生长,一些就随水流进入滤池,对常规的滤池有可能穿透并进入清水池,并在清水池内进行二次繁殖或直接进入管网。液氯只有在 10 mg L^{-1} 的投加量下,接触 24 h 对蒸馏水中的摇蚊幼虫能够达到 100% 的灭活率(图 2),说明正常的预氯化投加量,原水中的摇蚊幼虫可以在沉淀池中二次繁殖。二氧化氯预氧化、混凝沉淀试验结果表明,二氧化氯预氧化投加量在 1.0 mg L^{-1} 以上,经混凝沉淀后原水中的摇蚊幼虫在 24 h 内死亡(图 7),说明采用二氧化氯预氧化工艺可以避免摇蚊幼虫在沉淀池中的孳生;与液氯相比,二氧化氯作为预氧化剂在去除水中有机物、杀灭细菌和藻类等方面效果更为显著,同时二氧化氯与水中黄腐酸 FA 等 THMs 前驱物质反应几乎不产生氯仿 CHCl_3 等致突变物质^[14]。但二氧化氯的氧化过程伴随着 ClO_2^- 或 ClO_3^- 的生成,目前在评价二氧化氯作为饮用水氧化剂的安全性时主要考虑 ClO_2^- 或 ClO_3^- 的生成情况。按美

国 USEPA 规定,水中剩余 ClO_2^- 不应超过 1.0 mg L^{-1} 。图 8 结果说明,只要二氧化氯投加量控制在 2.0 mg L^{-1} 以下,就可以保证剩余 ClO_2^- 浓度低于 1.0 mg L^{-1} 。

4 结论(Conclusions)

1) 二氧化氯对摇蚊幼虫的灭活效果受水体 pH 值、有机物含量和藻类含量影响较小;与其它 2 种氧化剂相比,二氧化氯对原水中摇蚊幼虫具有更好的灭活作用。

2) 二氧化氯预氧化、混凝沉淀试验结果表明,二氧化氯投加量 1.0 mg L^{-1} 时,摇蚊幼虫在 24 h 内死亡,投加量 2.0 mg L^{-1} 时,摇蚊幼虫在 6 h 内死亡;由于摇蚊幼虫经混凝沉淀后,与矾花一同沉降,采用预投二氧化氯的水处理工艺可以起到控制摇蚊幼虫在沉淀池中孳生的作用。

通讯作者简介:孙兴滨(1970—),男,博士研究生,哈尔滨市海河路 202 号哈工大二学区哈尔滨工业大学市政环境工程学院,电话:(0451)82372469,E-mail:sunxingbin1025@163.com.

参考文献(References):

- [1] Wang J C, Fang Z G, Ju F H, *et al.* Distribution of Chironomidae larvae and its relation to water quality [J]. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(4): 27—37 (in Chinese)
- [2] Mousavi S K, Primicerio R, Amundsen P A. Diversity and structure of Chironomidae (Diptera) communities along a gradient of heavy metal contamination in a subarctic water course [J]. The Science of The Total Environment, 2003, 307(1—3): 93—110
- [3] Crane M, Sildanchandra W, Kheir R, *et al.* Relationship between biomarker activity and developmental endpoints in *Chironomus riparius* Meigen exposed to an organophosphate insecticide [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2002, 53(3): 19—24
- [4] Watts M M, Pascoe D. Use of the freshwater macroinvertebrate *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) in the assessment of sediment toxicity [J]. Water Science and Technology, 1996, 34(7): 101—107
- [5] Osano O, Admiraal W, Klammer H J C, *et al.* Comparative toxic and genotoxic effects of chloroacetanilides, formamidines and their degradation products on *Vibrio fischeri* and *Chironomus riparius* [J]. Environmental Pollution, 2002, 119(2): 195—202
- [6] Xiong J L, Mei X G, Hu C L. Comparative study on the community structure and biodiversity of zoobenthos in lakes of different pollution states [J]. Journal of Lake Sciences, 2003, 15(2): 161—168 (in Chinese)
- [7] Van Lieverloo J H M, Bostboom D W, Bakker G L, *et al.* Sampling and quantifying invertebrates from drinking water distribution mains [J]. Water Research, 2004, 38(3): 1101—1112

- [8] Lu J H. The growth regulation and control of *Tendipes gr thammi* in tap water[J]. *China Water & Wastewater*, 2001, 17(6) :53—54 (in Chinese)
- [9] Michael K A. New strategies for the control of the parthenogenetic Chironomid [J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1997, 13(2) :189—192
- [10] Bay E C. Chironomid (Diptera:Chironomidae) larval occurrence and transport in a municipal water system[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1993, 9(4) :275—284
- [11] Cui F Y, An D, Sun X B, *et al.* The reproduction rule and control of *Chironomus* larva in water bodies[J]. *Technique and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2004, 5(7) :1—4 (in Chinese)
- [12] Song Z H, Chen T Y, Liu R B. Toxicity of tributyltin to *Chironomus* larvae[J]. *Environmental Science*, 1998, 19(2) :87—88 (in Chinese)
- [13] Hua R C. Culture and utilization of unicellular algae[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986 (in Chinese)
- [14] Zhang J S. Chlorine dioxide technique in water treatment process [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:44—46 (in Chinese)
- [15] Hu W R, Liu P Q, Pei H Y, *et al.* The characters and mechanism analysis of algae-killing with O_3 and ClO_2 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(5) : 429—434 (in Chinese)
- 中文参考文献:
- [1] 王俊才,方志刚,鞠复华等. 摇蚊幼虫分布及其与水质的关系[J]. *生态学杂志*, 2000, 19(4) :27—37
- [6] 熊金林,梅兴国,胡传林. 不同污染程度湖泊底栖动物群落结构及多样性比较[J]. *湖泊科学*, 2003, 15(2) :161—168
- [8] 卢靖华. 自来水中塞氏摇蚊幼虫的生长规律及防治对策[J]. *中国给水排水*, 2001, 17(6) :53—54
- [11] 崔福义,安 东,孙兴滨,等. 水体中摇蚊幼虫的孳生规律及其控制途径[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2004, 5(7) :1—4
- [12] 宋志慧,陈天乙,刘如冰. 三丁基锡对摇蚊幼虫的毒性作用[J]. *环境科学*, 1998, 19(2) :87—88
- [13] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用[M]. 北京:农业出版社, 1986
- [14] 张金松. 饮用水二氧化氯净化技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2002, 44—46
- [15] 胡文容,刘培启,裴海燕. O_3 和 ClO_2 杀藻作用特征与机理分析[J]. *科学通报*, 2003, 48(5) : 429—434