



臭氧-活性炭工艺去除饮用水中摇蚊幼虫的运行参数

孙兴滨^{1,2}, 王数涛², 崔福义², 韩金柱¹

(¹ 东北林业大学环境科学系, 黑龙江 哈尔滨 150040; 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: 研究了臭氧-活性炭工艺去除饮用水中摇蚊幼虫的运行参数。结果表明, 臭氧氧化在 1.0 mg/L 投加量下对滤后水中低龄期摇蚊幼虫可以达到 100% 的杀灭率, 臭氧-活性炭工艺协同作用能够进一步提高去除效果, 在空床停留时间 (EBCT) 11~13.5 min 条件下, 仅需要 0.7 mg/L 臭氧投加量能够完全去除经臭氧氧化后活性降低的摇蚊幼虫。

关键词: 摇蚊幼虫; 臭氧-活性炭工艺; 去除; 运行参数

中图分类号: TU 991.25 文献标识码: A 文章编号: 1000-6613 (2009) 10-1876-04

Operation parameter of O₃-GAC process removing Chironomid larvae from drinking water

SUN Xingbin^{1,2}, WANG Shutao², CUI Fuyi², HAN Jinzhu¹

(¹ Department of Environmental Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; ² School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China)

Abstract: The operation parameter of ozone-granular activated carbon (O₃-GAC) process for removing young Chironomid larvae from drinking water was studied. The results indicated that complete inactivation of young Chironomid larvae in filtrated water could be performed under the condition of 1.0mg/L of ozone with 11 min disposal. The removal efficiency of the Chironomid larvae can be further advanced O₃-GAC combined process. The Chironomid larvae with low activity could be entirely eliminated in ozone-GAC process with the ozone dosage of 0.7mg/L at the condition of the Empty Bed Contact Time (EBCT) from 11min to 13.5min.

Key words: Chironomid larvae; ozone-GAC process; removal; operation parameter

摇蚊幼虫是水体污染的主要指示生物^[1], 可作为污染物质急性和慢性毒性测试生物^[2]。天然水体污染程度加重, 直接导致摇蚊幼虫在水库、湖泊水源水中大量孳生, 使营浮游生活的第 1 龄期幼虫出现在城市净水工艺中^[3]。尽管目前并没有证实摇蚊幼虫会威胁到公众健康^[4], 但是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, 引起人们对水质信心的下降。

国内外许多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^[5]。国外用除虫菊酯、苏云金杆菌灭活摇蚊幼虫^[6], 但会造成二次污染, 国

内一些自来水公司采用喷雾驱蚊方法、化学药剂浸泡等措施应急^[7]。臭氧-活性炭水处理技术是一种先进的饮用水深度净化工艺^[8], 该工艺一般设在砂滤之后, 由于混凝沉淀和过滤能够去除相当一部分消耗臭氧的物质, 所以可以利用臭氧的强氧化性, 来

收稿日期: 2009-03-03; 修改稿日期: 2009-04-14。

基金项目: 国家自然科学基金 (503780262)、黑龙江省自然科学基金 (E200812) 及中国博士后基金 (20070420882) 资助项目。

第一作者简介: 孙兴滨 (1970—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为水污染控制原理与技术。联系人: 孙兴滨。电话 0451-82192616; E-mail sunxingbin1025@163.com。

灭活滤后水中存留的低龄摇蚊幼虫，同时发挥活性炭的吸附、截留作用，去除已死亡或活性降低的摇蚊幼虫。在小试确定臭氧比液氯对摇蚊幼虫具有更加显著灭活效果的基础上，本文作者采用臭氧-活性炭工艺对深圳某水厂的滤后水进行深度处理，研究了臭氧-活性炭工艺对摇蚊幼虫的去除效果，提出了合适的运行参数，并探讨了该工艺对水致突变活性和氯化消毒副产物的控制能力，为水处理工艺中摇蚊幼虫污染问题的解决提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验水质

试验在深圳某水厂进行，该水厂采用常规的预氯化、混凝沉淀、过滤、加氯消毒工艺，在摇蚊幼虫的大规模暴发期，水厂滤后水中常可发现低龄期摇蚊幼虫。试验用水取自水厂的石英砂滤池后出水，水质情况见表 1。

表 1 试验用滤后水水质情况

水温/℃	pH 值	浊度/NTU	COD _{Mn} /mg · L ⁻¹	藻类/个 · L ⁻¹
24~26	7.0~7.3	0.13~0.20	1.01~1.22	2.78 × 10 ⁵

1.2 试验流程

试验流程如图 1 所示，臭氧接触柱高 1.5 m（水深 1.2 m），内径 110 mm；活性炭柱高 2.5 m，内径 90 mm，活性炭层厚 1000 mm，颗粒活性炭粒径为 1 mm，长度为 2~3 mm，该活性炭的碘值和亚甲基兰吸附值分别为 940 mg/g 和 195 mg/g，炭柱下面有厚度为 100 mm 的木鱼石作为承托层；臭氧发

生器以氧气为气源，臭氧通过钛板微孔扩散器进入水中。

1.3 测定项目及方法

臭氧浓度采用碘量法测定；高锰酸盐指数和藻类测定参见文献[9]；浊度采用 HACH 公司 2100P 便携式浊度仪测定；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^[10]。

2 试验结果与分析

2.1 摇蚊幼虫的生物学特性分析

摇蚊整个生长周期分为卵、幼虫、蛹和成虫等 4 个阶段。幼虫期是其主要生长阶段，初孵化的幼虫体长 0.5~0.6 mm，一般在卵块中停留 5~10 h 后再游入水中。初孵幼虫有趋光性，主要分布在水体上层，营浮游生活，此时的幼虫呈淡茶色、透明。1 龄末期幼虫利用体表分泌的黏液黏附水中的藻类等丝状物和一些颗粒物筑成筒状虫巢，初期筑的巢比较短且薄，长 5 mm 左右。幼虫在巢中不断的蠕动，使巢中不断的有水流通过，有利于取食水流中的食物以及通过体壁与水中的氧气进行交换。幼虫以各种藻类、细菌及含有机物的泥土、动植物遗骸、排泄物为食。幼虫发育期间蜕皮 3 次，对应 4 个龄期，2~4 龄幼虫不具趋光性。幼虫在生长过程中，体长并不随着蜕皮急剧增大，而是连续增长，其最大体长达 14 mm，随着生长体色加深，从初孵幼虫的无色变为高龄幼虫的深红色。

常规水处理工艺无法有效去除水厂原水中摇蚊幼虫，石英砂滤池出水中可见游动性强的初孵幼虫，因此，本研究采用孵化 2 天的 1 龄末期的摇蚊幼虫为研究对象。

2.2 臭氧灭活

在图 1 所示高位水箱中加入 1200 只孵化 2 天的第 1 龄期摇蚊幼虫，滤后水中摇蚊幼虫密度为 1 个/L 左右，在臭氧接触柱出水中每次取水样 30 L，统计摇蚊幼虫灭活率，每个臭氧投加量取样 3 次，臭氧投加量为 0~1.5 mg/L 之间，臭氧接触时间为 11 min，试验结果如图 2。从图 2 可以看出，随着臭氧投加量的增加，臭氧接触柱出水中摇蚊幼虫的灭活率增加，臭氧投加量 1.0 mg/L，灭活率为 100%。

控制不同的进水流速，使臭氧接触时间为 5.5 min、8 min、11 min、13.5 min、16 min 和 21.5 min，保持臭氧投加量分别为 0.5 mg/L 和 0.8 mg/L，测定出水中摇蚊幼虫灭活率，臭氧接触时间对摇蚊幼虫

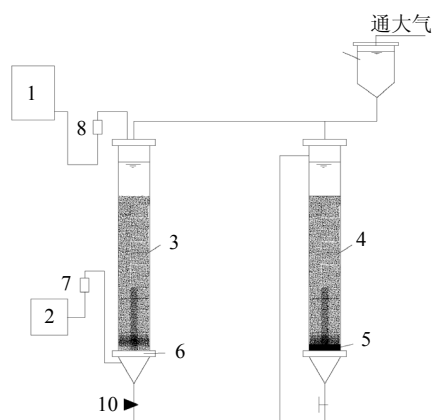


图 1 试验装置及流程图

- 1—高位水箱；2—臭氧发生器；3—臭氧接触柱；4—活性炭滤柱；
5—木鱼石垫层；6—砂芯布气漏斗；7—转子流量计（气）；
8—转子流量计（液）；9—尾气破坏器；10—螺旋止水夹

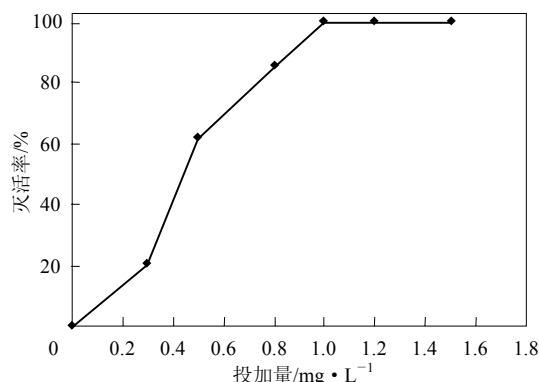


图2 臭氧投加量对摇蚊幼虫灭活率的影响曲线

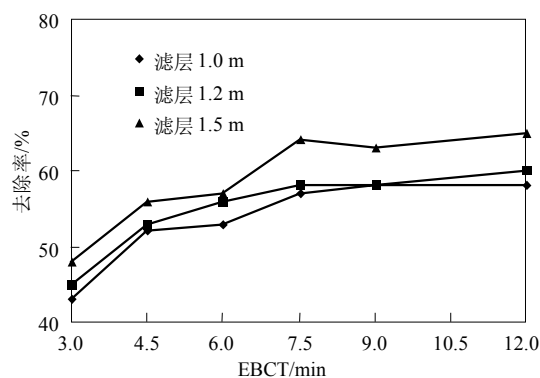


图4 EBCT对摇蚊幼虫去除率的影响曲线

灭活率的影响如图3。由图3可以看出,随着接触时间的增加,灭活率随之增加,灭活率增加到一定程度后,增加的趋势变缓,如臭氧投加量 0.8 mg/L,在臭氧接触时间增加至 16 min 时,灭活率增加到 92%,当接触时间由 16 min 增加到 21.5 min 时,灭活率仅由 92%增加到 93%,说明比较合适的臭氧接触时间为 11~16 min。

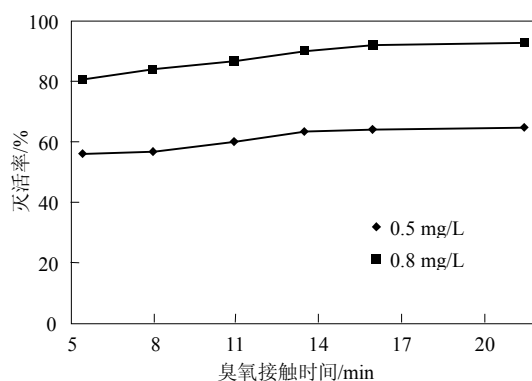


图3 臭氧接触时间对摇蚊幼虫灭活率的影响曲线

2.3 活性炭截留

在不同滤层厚度条件下,关闭臭氧发生器,调节进水流速,使其在活性炭柱中的空床停留时间(EBCT)为 3~12 min,在活性炭柱出水处挂 300 目纱网对出水中的摇蚊幼虫进行截留,每隔 8 h 监测一次,对穿透的摇蚊幼虫进行计数,统计摇蚊幼虫去除率,不同滤层厚度下,EBCT 对摇蚊幼虫去除率的影响如图4。从图4可以看出,滤后水中摇蚊幼虫的去除率随 EBCT 的延长和滤层厚度的增加而不断提高,但未经臭氧灭活的摇蚊幼虫经活性炭过滤后去除率较低,例如在滤层厚度为 1.5 m,EBCT 延长到 12 min,活性炭过滤对摇蚊幼虫的去除率仅有 65%,说明单纯活性炭过滤工艺难以完全除去滤后水中营浮游生活的 1 龄幼虫。

2.4 臭氧-活性炭工艺去除效果

在滤层厚度为 1.0 m,臭氧投加量为 0.4~0.8 mg/L 条件下,测定臭氧-活性炭工艺对摇蚊幼虫的去除效果,每个臭氧投加量取样 3 次,试验结果如表2。从表2可以看出,在低于 0.8 mg/L 臭氧投加量下,经过臭氧接触柱的摇蚊幼虫不能完全被杀灭,但在较低臭氧投加量下(EBCT 为 6 min,臭氧投加量 0.7 mg/L),却可以通过臭氧-活性炭工艺的协同作用完全去除滤后水中的摇蚊幼虫,说明虽然臭氧不能完全杀灭摇蚊幼虫,但其生命活性得到了极大的降低,可以通过活性炭滤料的截留作用而得到有效地去除。上述结果表明,在生产中并不要求将摇蚊幼虫全部灭活,应将氧化灭活与其它水处理单元有机结合,发挥协同作用,就能很好地解决摇蚊幼虫污染问题。

表2 臭氧-活性炭工艺的去除效果

O ₃ 投加量 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	O ₃ 接触时间 /min	EBCT /min	O ₃ 灭活率 /%	工艺去除率 /%
0.4	11	6	45.7	76.7
0.5	11	6	61.2	92.3
0.6	11	6	63.3	95
0.7	11	6	73.3	100
0.8	11	6	86.2	100
0.4	13.5	7.5	44.2	80.7
0.5	13.5	7.5	63.5	92.1
0.6	13.5	7.5	73.6	100
0.7	13.5	7.5	88.6	100
0.8	13.5	7.5	90.6	100

3 结 论

臭氧氧化在 1.0 mg/L 投加量下对滤后水中的低龄期摇蚊幼虫可以达到 100% 的杀灭率,臭氧-活性炭

工艺协同作用能够进一步提高去除效果, 在空床停留时间 11~13.5 min 条件下仅需要 0.7 mg/L 臭氧投加量能完全去除经臭氧氧化后活性降低的摇蚊幼虫。

参 考 文 献

- [1] 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 watercourse[J]. *The Science of The Total Environment*, 2003, 307 (1-3): 93 - 110.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Van Lieverloo J H M, Bosboom D W, Bakker G L, et al. Sampling and quantifying invertebrates from drinking water distribution mains[J]. *Water Research*, 2004, 38 (3): 1101 - 1112.
- [5] 周令, 张金松, 雷萍, 等. 净水工艺中红虫污染治理的研究动态[J]. 给水排水, 2003, 29(1): 25 - 28.
- [6] Alexander M K. New strategies for the control of the parthenogenetic chironomid[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1997, 13(2): 189 - 192.
- [7] 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]. 环境污染治理技术及设备, 2004, 5 (7): 1 - 4.
- [8] 于秀娟, 张熙琳, 王宝贞, 等. 臭氧-生物活性炭工艺去除水中有机微污染物[J]. 环境污染与防治, 2000, 22(4): 1 - 3.
- [9] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[J]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 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.



(上接第 1875 页)

- [2] Ruglikit C Rueng, Hang Y D. L(+)-lactic acid production from corn cobs *Rhizopus oryzae* NRRL-395[J]. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 2003, 36(6): 573-575.
- [3] Rathin Datta, Tsai Shih-Perng, Patrick Bonsignore, et al. Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 1995, 16(2-3): 221-231.
- [4] 汪多仁. L-乳酸的开发与应用进展[J]. 饮料工业, 2008, 11(2): 11-18.
- [5] 王博彦, 金其荣. 发酵有机酸生产与应用手册[M]. 北京: 轻工业出版社, 2000: 337-389.
- [6] 汪群慧. 酯化法从有机垃圾发酵液中提取乳酸的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2003.
- [7] 吕九琢, 徐亚贤, 袁光, 等. 乳酸精制新工艺——刮膜蒸发和短程蒸馏联用法[J]. 现代化工, 2001, 21(1): 44-46.
- [8] Kim Joung Yeon, Kim Yo Jin, Hong Won Hi, et al. Recovery process of lactic acid using two distillation columns[J]. *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, 2000, 5(3): 196-201.
- [9] 乔长晟, 汤凤霞, 苏建宇, 等. L-乳酸高产菌株的诱变选育[J]. 食品工业科技, 2002, 23(2): 35-38.
- [10] 白冬梅, 赵学明, 胡宗定. 应用 HPLC-反相色谱法测定米根霉乳酸发酵液中的有机酸[J]. 工业微生物, 2001, 31(1): 8-11.
- [11] 许松林, 郑强, 徐世民. 精制 L-乳酸的分子蒸馏工艺研究[J]. 高校化学工程学报, 2004, 18(2): 246-249.



· 技术信息 ·

浙江成立废弃生物质资源化及装备工程技术中心

2009 年 8 月 18 日, 废弃生物质资源化及装备工程技术中心在高新技术企业浙江丰利粉碎设备有限公司成立。该中心将开展废弃生物质资源化及成套装备技术的研发, 推进生物质废弃物利用的无害化、减量化、资源化, 提升我国废弃生物质资源化技术创新能力。

该中心依托浙江丰利粉碎设备有限公司和宁波工程学院联合组建。在粉体工程及绿色环保装备领域取得卓越成就的浙江丰利公司与在废弃生物质回收利用研发方面获得突破性进展的宁波工程学院进行强强联合, 优势互补, 可谓是珠联璧合。

据了解, 此前校企双方联合承担的“皮革废弃物用作橡塑填充材料技术开发及产业化”项目已列入浙江省 2008 年度第一批重大科技专项。该项目将通过对皮革废弃物的资源化再生利用, 使其成为橡塑制品的填充材料, 为皮革废弃物资源的循环利用开辟一条新途径。

加快生物基材料产业发展, 促进循环经济, 是国家发改委 2008~2009 年生物基材料高技术产业化专项重点支持发展的优先领域。

(吴宏富 供稿)