

DOI:10.3969/j.issn.1000-7083.2012.05.011

臭氧与氯对水蚤卵的孵化效应研究

谭琳, 官辰, 汪安泰*, 蒋伟

(深圳大学生命科学学院, 广东深圳 518060)

摘要:水蚤是多种人体寄生虫的中间宿主, 自来水厂常用臭氧和氯灭杀水蚤。本文研究了臭氧和氯以及氯在不同 pH 值水体中抑制水蚤卵孵化的效应浓度。结果表明:①各臭氧处理组(1~6 mg/L)中水蚤卵的孵化率(89.52%~97.85%)明显高于对照组(76.19%), 臭氧对水蚤卵无灭活作用;②氯处理组(1~5 mg/L)中水蚤卵的孵化率为 66.67%~96.00%, 其中 80% 样品高于实验组的孵化率(78%), 氯对水蚤卵无灭活作用;③在偏酸或偏碱的水体环境(pH5~6, pH9), 随氯浓度增加, 对其孵化率有极显著的抑制作用;④臭氧与氯对水蚤成体的灭活率达 90% 以上。经分析认为, 自来水厂水池中的水蚤来源于原水以及炭滤池、砂滤池水内死水蚤受精卵的孵化, 是净水厂反复发生水蚤的主要原因。提出利用臭氧或氯有效控制水蚤发生的处理技术。本研究在净水处理工艺中控制水蚤孳生方面具有实际应用价值与指导意义。

关键词: 臭氧; 氯; 水蚤; 卵; 孵化率; 饮用水

中图分类号: Q959.223; TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7083(2012)05-0746-05

Study on Incubation Effects of Copepoda Eggs Treated by Ozone and Chloride

TAN Lin, GONG Chen, WANG An-tai*, JIANG Wei

(Department of Life Science, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong Province 518060, China)

Abstract: Copepoda were the intermediate host of a variety of human parasites, and waterworks commonly use ozone and chloride to eliminate them. This article explored the concentration effects on incubation of copepoda eggs, which were produced by ozone and chlorine in different pH value in water. The results indicated that: ①The hatching rate of copepoda eggs in experimental groups (89.52%~97.85%) treated by ozone (1~6 mg/L) was significantly higher than that of control groups (76.19%), which showed that ozone had no significant inhibitory effects on the hatch of copepoda eggs; ②The hatching rate of copepoda eggs in experimental groups treated by chlorine (1~5 mg/L) was 66.67%~96.00%, 80% of which was higher than that of the control group (78%). It showed that chlorine had no significant inhibitory effects on the hatch of copepoda eggs; ③In partial acid or alkali water environment, the hatching rate was significantly decreased with the increasing concentration of chlorine; ④The inactivation rate of ozone and chlorine to copepoda adults exceeded 90%. Through analysis, that the copepoda eggs hatched after passing through carbon filters or sand filters of water purification was the main reason for repeated occurrence of the copepoda existing. Consequently, a twice-a-week technology (fortnightly) based on ozone and chlorine to control the copepoda existing was advised.

Key words: ozone; chloride; copepoda; egg; hatching rate; drinking water

经济生产活动产生了大量工业污水, 污染了淡水资源。随城市人口密度增高, 生活污水排放量大幅增加, 淡水资源富营养化过程加快。保护与治理饮用水水源是城市市政工程极为重要的课题, 其中微生物风险更是饮用水水质标准的关注热点(陆坤明, 2010)。供水水源富营养化转变趋势, 其水中的水蚤丰度逐年提高, 给自来水厂的净水处理工艺增

加了难度(崔福义等, 2002; 张贵刚, 韩博平, 2010)。水蚤是人体寄生线虫、绦虫等的中间宿主。清除水蚤是净水处理工艺质量指标之一。在国内外水厂的常规水处理工艺中, 其臭氧-生物活性炭工艺及氯消毒试剂的应用与发展, 饮用水安全指数大幅上升。但依然发现, 南方有些水厂出厂水中发现水蚤等小型浮游生物。哈尔滨某自来水公司管网水中出现剑水

收稿日期: 2011-12-01 接受日期: 2012-05-19

基金项目: “水污染控制与治理” 国家重大科技专项(2009ZX07423-003, 2009ZX07101-011-03); 深圳大学实验室开放基金项目

作者简介: 谭琳, 女, 本科生, 研究方向: 动物学, E-mail: 676555011@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wang118@szu.edu.cn

蚤等多起饮用水事故(刘丽君等,2010),这些现象表明自来水厂现有常规净水工艺仍存在巨大漏洞。供水网管出现水蚤,威胁着人类的健康安全与生活质量(Vasquez,2000)。

净水处理工艺中,清除水蚤的常用方法有臭氧、二氧化氯、液氯及氯氨等氧化剂(Bernhardt & Lusse, 1989)。本文实验模拟净水的臭氧与氯处理水蚤的方法,在此基础上分别加大臭氧或氯的投放量,探究水蚤及其受精卵对这两种氧化剂的耐受性,以期确定现有净水处理工艺在控制水蚤孳生方面的有效程度,为改进净水处理工艺提供重要数据。

1 材料与方法

1.1 水蚤的采集与培养

实验用水蚤(封3,图版:A)以舌状叶镖水蚤 *Phyllodiatomus tunguidus* 与镰钩明镖水蚤 *Heliodiatomus falxus* 为优势种,使用孔径为 113 μm (13#)的浮游生物网采集于入水厂的原水。水蚤暂养于实验室水族箱(5 L),每日投喂酵母(0.1 g/L),小型充气泵充气 3 min。

1.2 臭氧处理水蚤受精卵

实验组用臭氧发生器(CF-G-3-101G,青岛国林实业有限责任公司)制备的臭氧和水蚤培养液(取 84.0 mg 碳酸氢钠、7.5 mg 氯化钾、20.3 mg 氯化镁、147.0 mg 氯化钙,依次溶于 1 L 高纯水),配制臭氧浓度分别为 1~6 mg/L 的 6 组实验溶液(表 1)。每组实验溶液为 800 mL,倒入 1000 mL 烧杯后投放挂卵水蚤,处理 40 min。对照组溶液中不含臭氧,其他条件同实验组。

1.3 氯处理水蚤受精卵

实验组用盐酸(HCl)、磷酸氢二钠(Na_2HPO_4)及水蚤培养液配制 pH 值分别为 5.0~9.0 的 5 组溶液,其 pH 值用 pH 计(便携式多参数水质分析仪,美国奥力龙 5-star)测定。每组按氯浓度含量梯度(1~5 mg/L)分别设置 5 个小组(表 2),各小组溶液中的氯浓度含量由次氯酸钠(NaClO)分别调配。每小组实验液各 800 mL,置于 1000 mL 烧杯后立即投放水蚤,处理 40 min。对照组溶液中不含氯,其他条件同实验组。

1.4 水蚤卵被臭氧与氯处理后的孵化培养与观察

所有实验组水蚤经臭氧和氯处理后,在 Olympus SZX16 体视显微镜下仔细将完整卵囊从水蚤死体上分离出来(封3,图版:B),每组分别挑取具 14

个受精卵的水蚤卵囊 10 个,分别移入装有上述水蚤培养液的 6 孔细胞培养板,每隔 2 h 检测其孵化情况,至 16 h,显微镜下计数卵的孵化数与未孵化数(封3,图版:C~G)。每组实验重复 3 次。当水蚤无节幼体脱离卵膜时,本文定义为水蚤卵已孵化(封3,图版:G)。

1.5 数据整理

使用 Microsoft office Excel 软件分析臭氧浓度、氯浓度和水质 pH 值与水蚤孵化率之间关系,并绘制相应折线图;使用 PASW Statistics 18 软件调用 ANOVA 程序,对水蚤卵孵化率进行以氯浓度和水质 pH 值为因素的单因素方差分析和有交互作用双因素方差分析,检验 2 因素对水蚤孵化率的主效应及其间交互作用的显著性,显著与极显著水平分别设置为 0.05、0.01,列出方差分析表,分析前用 Levene 检验数据方差齐性。

2 结果

2.1 臭氧对水蚤卵孵化率的影响

实验发现,臭氧对水蚤卵的孵化不仅没有抑制作用,反而具有促进其孵化的作用(图 1)。本实验使用 1~6 mg/L 的臭氧分别处理水蚤 40 min,发现成体死亡率超过 90%。将挂在死水蚤上的受精卵进行 16 h 培养,其孵化率均超过正常条件下(对照组)的孵化率(表 1),实验组水蚤卵孵化率均高于对照组,当臭氧浓度分别为 1 mg/L、4 mg/L 与 6 mg/L 时,水蚤卵的孵化率均高于 96%。表 1 数据经 Levene 检验与校正模型检验表明使用模型的方差分析具有统计学意义。将数据进行统计处理,发现臭氧因素对水蚤卵孵化率的影响未达到显著水平($P > 0.05$),即水蚤卵孵化率不因臭氧浓度的升高而降低。方差分析表明,臭氧的处理浓度与水蚤卵的孵化率无明显线性关系, $R^2 = 0.0785$ (图 1)。

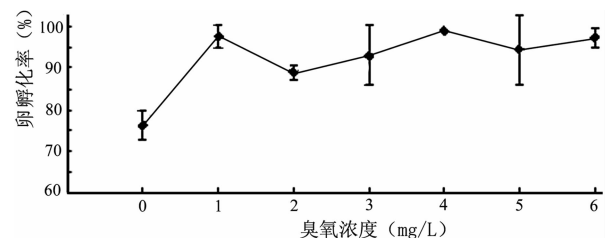


图 1 臭氧对水蚤卵孵化率效应的比较
Fig. 1 Effect comparison of ozone on copepoda eggs hatching rate between experimental groups and control group

2.2 氯对水蚤卵孵化率的影响

实验使用 1~5 mg/L 的氯浓度,同时设置水体 pH5~9,分别处理水蚤 40 min,其水蚤成体死亡率超过 90%。将挂在死水蚤上的受精卵进行 16 h 培养,当氯浓度为 1 mg/L、水体 pH6 时,其受精卵孵化率高达 96.33%。由表 2 可见,水体 pH7~8,氯浓度增加与水蚤卵孵化率无明显的线性关系。将表 2 数据经 Levene 检验与校正模型检验表明使用模型的

方差分析具有统计学意义。单因素方差分析显示,氯和水体 pH 值对水蚤卵孵化率的影响都达到极显著水平($P < 0.0001$),有交互作用的双因素方差分析显示,氯和水体 pH 值两者交互作用达到极显著水平($P < 0.0001$),即在偏酸或偏碱的水体环境(pH5~6,pH9),随氯浓度增加,对其孵化率有极显著的抑制作用(表 2)。

表 1 6 种浓度臭氧分别处理水蚤 40 min 后对其卵孵化率的影响

Table 1 Influence of ozone on hatching rate of copepoda eggs treated by 6 different concentration of ozone for 40 mins

实验设置			试验 1		试验 2		试验 3		统计结果		
组别	卵囊数	卵数	臭氧 (mg/L)	孵化数	孵化率 (%)	孵化数	孵化率 (%)	孵化数	孵化率 (%)	平均孵化数 Mean ± S. D. (n=3)	平均孵化率 Mean ± S. D. (n=3)
1	10	140	1	140	100.00	134	95.71	137	97.85	137.00 ± 3.00	97.85 ± 2.15
2	10	140	2	126	90.00	128	91.43	122	87.14	125.33 ± 3.06	89.52 ± 2.18
3	10	140	3	139	99.29	119	85.00	132	94.29	130.00 ± 10.15	92.86 ± 7.25
4	10	140	4	138	98.57	137	97.85	139	99.29	138.00 ± 1.00	98.57 ± 0.72
5	10	140	5	140	100.00	136	97.14	121	86.43	132.33 ± 10.02	94.52 ± 7.15
6	10	140	6	133	95.00	140	100.00	136	97.14	136.33 ± 3.51	97.38 ± 2.51
对照	10	140	0	112	80.00	106	75.71	102	72.86	106.67 ± 5.03	76.19 ± 3.59

表 2 氯在不同 pH 环境下对水蚤卵孵化的影响

Table 2 Effect of chloride on copepoda eggs' hatching at different pH value

实验设置				试验 1		试验 2		试验 3		统计结果		
组别	卵囊个数	卵个数	pH	氯浓度 (mg/L)	孵化数	孵化率 (%)	孵化数	孵化率 (%)	孵化数	孵化率 (%)	平均孵化数 Mean ± S. D. (n=3)	平均孵化率 Mean ± S. D. (n=3)
1	10	140	5	1	132	94.29	126	90.00	127	90.71	128.33 ± 3.21	91.67 ± 2.89
	10	140		2	138	98.57	133	95.00	134	95.71	135.00 ± 2.65	96.00 ± 1.73
	10	140		3	136	97.14	137	97.86	126	90.00	133.00 ± 6.08	95.00 ± 4.36
	10	140		4	125	89.29	120	85.71	133	95.00	126.00 ± 6.56	90.00 ± 5.00
	10	140		5	132	94.29	91	65.00	104	74.29	109.00 ± 20.95	78.33 ± 15.28
2	10	140	6	1	139	99.28	126	90.00	140	100.00	135.00 ± 7.81	96.33 ± 5.51
	10	140		2	126	90.00	133	95.00	137	97.86	132.00 ± 5.57	94.33 ± 4.04
	10	140		3	127	90.71	125	89.29	129	92.14	127.00 ± 2.00	90.67 ± 1.15
	10	140		4	111	79.29	119	85.00	116	82.86	115.33 ± 4.04	82.33 ± 2.52
	10	140		5	112	80.00	105	75.00	98	70.00	105.00 ± 7.00	75.00 ± 5.00
3	10	140	7	1	126	90.00	115	82.14	112	80.00	117.67 ± 7.37	84.00 ± 5.29
	10	140		2	113	80.71	114	81.43	129	92.14	118.67 ± 8.96	84.67 ± 6.43
	10	140		3	127	90.71	119	85.00	110	78.57	118.67 ± 8.50	84.67 ± 4.51
	10	140		4	126	90.00	116	82.86	124	88.57	122.00 ± 5.29	87.00 ± 4.36
	10	140		5	131	93.57	129	92.14	118	84.29	126.00 ± 7.00	90.00 ± 4.36
4	10	140	8	1	120	85.71	121	86.43	112	80.00	117.67 ± 4.93	84.00 ± 3.61
	10	140		2	108	77.14	111	79.29	113	80.71	110.67 ± 2.52	79.00 ± 1.00
	10	140		3	124	88.57	122	87.14	126	90.00	127.33 ± 7.57	88.33 ± 1.15
	10	140		4	114	81.43	110	78.57	115	82.14	113.00 ± 2.65	80.67 ± 1.15
	10	140		5	112	80.00	109	77.86	111	79.29	110.67 ± 1.53	79.00 ± 1.00
5	10	140	9	1	128	91.43	139	99.28	130	92.86	132.33 ± 5.86	94.33 ± 4.04
	10	140		2	126	90.00	136	97.14	98	70.00	120.00 ± 19.70	85.67 ± 14.01
	10	140		3	111	94.29	115	82.14	116	82.86	114.00 ± 2.65	81.33 ± 1.15
	10	140		4	84	98.57	105	75.00	91	65.00	93.33 ± 10.69	66.67 ± 7.64
	10	140		5	110	97.14	90	64.29	115	82.14	105.00 ± 13.23	75.00 ± 8.89
对照	10	140	7	0	115	89.29	108	77.14	105	75.00	109.33 ± 5.13	78.00 ± 3.61

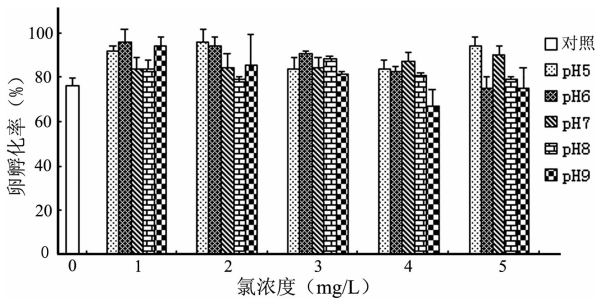


图2 pH值与氯对水蚤卵孵化率的效应比较

Fig. 2 Effect comparison of different concentration of chloride on copepoda eggs' hatching at various pH value

本实验对照组水蚤卵孵化率为 $78.00\% \pm 3.61\%$ 。实验组中,只有偏酸或偏碱环境中的 20% 样品孵化率略低于对照组,剩下的均高于对照组,表明氯对水蚤卵无灭活作用(表 2)。

3 讨论与结论

3.1 净水处理工艺流程内水蚤长期孳生的原因

水体富营养化导致水蚤等浮游动物在饮用水源中大量孳生(崔福义等,2002)。在不同温度及日照长短等环境因子作用下,水体中水蚤数量会有较大波动,一般表现为水蚤数量季节性地爆发(陈峰,李少菁,1991;望甜等,2009)。水源内高密度水蚤数量增加了自来水厂净水处理的工作压力。水蚤普遍存在滞育现象,在其繁殖高峰或数量高峰的夏天,温度过高的水环境不适于水蚤产下正常卵,大量的滞育卵会在水厂较适宜的环境下孵化(姜晓东等,2004)。净水工艺内的常规滤料的粒径为 $0.5\text{ mm} \sim 1.2\text{ mm}$,水蚤的幼体称为无节幼体,体型小,体长 $0.1\text{ mm} \sim 0.9\text{ mm}$,大多数无节幼体能穿过滤料,在净水流程中孳生(苏洪涛等,2009)。自来水厂常通过两个步骤对水蚤类浮游动物进行灭杀:一是使用氧化剂对其进行直接灭活,二是通过氧化剂降低其活性而后协同滤料对其进行混凝、沉淀与过滤进而去除(张敏等,2009)。有报道称各种氧化剂能够稳定有效灭杀水厂水体中的大部分水蚤成体,有些灭杀率甚至达到 100% (Bernhardt & Lusse,1989)。然而,在水处理各工艺流程中仍存在一定丰度的水蚤,为其在给水处理系统中的二次繁殖带来机会(徐林林等,2007)。本实验所用水蚤是广东地区淡水中常见种(沈嘉瑞,1979;张贵刚,韩博平,2010),有一定的代表性。本实验结果显示,常规的氧化剂(臭氧、氯)能有效杀灭水蚤及其无节幼体,并首次发现臭氧和氯对水蚤卵无灭活作用,水蚤卵或刚孵化的无节幼体可以穿

过沙滤池和炭滤池,是净水处理工艺流程水内存在水蚤的主要原因。

3.2 利用臭氧有效控制水蚤的处理技术问题

臭氧结构不稳定,入水即快速分解,具氧化能力强、副产物少、脱色脱味的特点,在水处理系统中持续性较差。臭氧作为一种具强氧化能力的消毒剂,对细菌、病毒、霉菌、真菌具灭活作用,在国内外净水工艺中被广泛推广使用(Bernhardt & Lusse,1989)。臭氧深度处理技术对水蚤成体的灭杀是通过对其几丁质外壳的氧化作用实现的。臭氧穿入体内后,与脂蛋白和脂多糖反应,改变细胞通透性使细胞溶解死亡,同时攻击氨基酸,直接破坏水蚤体内蛋白质及供给细胞核的物质如嘌呤等(孙昕,张金松,2002)。在运用臭氧深度处理时会产生消毒副产物溴酸盐(Selcuk *et al.*, 2007)。在臭氧与水接触时间为 5 min 情况下,臭氧投加量为 5 mg/L 时,溴酸盐生成量已接近饮用水标准限定的溴酸盐最大浓度(Kozasa,1997)。再加上臭氧毒性大,过高的臭氧浓度对作业人员会造成伤害,因此臭氧浓度高于 5 mg/L 的实验探索没有应用价值,故本文实验设置臭氧浓度上限为 5 mg/L 。

自来水厂臭氧深度处理用量为 $0.5 \sim 1.5\text{ mg/L}$ (Weinberg *et al.*, 1993)。本实验证实该浓度臭氧能有效灭活水蚤,但同时发现其浓度增加 5 倍后,水蚤卵的孵化率亦无下降趋势,有 70% 以上的实验组孵化率高出对照组,对于该现象还有待进一步研究。

综上所述,臭氧很难控制因大量水蚤卵孵化,在水处理厂中引起水蚤种群二次爆发是必然结果。水蚤卵一般在数小时至数天内全部孵化,不同物种的孵化时间有差异。作者认为,在水处理工艺的实际使用中,使用臭氧处理后一周,再进行二次处理,以此灭活所有水蚤的子代,有可能有效控制水蚤的后续爆发问题。本研究尚处于实验室阶段,其实际效果有待在实践中验证。

3.3 利用氯有效控制水蚤的处理技术问题

20 世纪初至今,以氯气(Cl_2)和次氯酸钠(NaClO)为主的氯消毒剂在净水处理工艺中被普遍使用。氯对水蚤的灭杀机理是氯溶于水后迅速发生水解,生成盐酸(HCl)和次氯酸(HClO),次氯酸(HClO)因其具有强氧化性而极易穿透水蚤的体壁,与体内原生质化合,破坏水蚤的酶系统,使其丧失代谢机能而死亡(Cho *et al.*, 1992)。氯对水蚤成体的灭活效果明显(苏洪涛等,2008;Zhang *et al.*, 2009),

浓度为 2.0 mg/L 的氯能杀灭 90% 以上的原水蚤类, 但需较长时间(崔福义等, 2005)。在一定温度下, 不同的 pH 值决定次氯酸 (HClO) 和次氯酸根 (ClO^-) 的比例, 有可能会改变氯对水蚤卵的影响程度。本实验发现, 一定氯浓度条件下, pH 值偏高或偏低对水蚤卵孵化有显著抑制作用 ($P < 0.0001$)。

在浓度为 2.0 mg/L 的氯浓度下(崔福义等, 2005), 水蚤卵的孵化率均超过对照组(表 2)。水蚤的体壁由上皮细胞层、下皮细胞层、钙化层等多层结构组成, 具有良好的保护作用(张金松, 尤作亮, 2008)。迄今在饮用水中已检测出 765 种对人体有害的氯化消毒副产物, 其中致癌物质就有 20 种(李志强等, 2005), 因此不宜通过提高氯浓度去控制水蚤。现行净水处理工艺中, 氯的投放浓度为 0.8 ~ 1.2 mg/L。本实验发现, 氯浓度为 1 mg/L, 水蚤卵孵化率均达 80% 以上, 氯浓度提高 5 倍, 其孵化率亦无下降的趋势。该现象表明水蚤卵膜具备很强的抗氧化能力, 氯对其卵无灭活作用。因此作者认为在水处理工艺的实践中应同臭氧处理法一样, 尝试采用间隔一周的二次氯处理方法, 至少在 1 ~ 2 月内能有效控制水蚤的爆发。

4 参考文献

陈峰, 李少菁. 1991. 厦门港歪水蚤数量的季节变化与滞育卵的研究[J]. 海洋学报, 13(5): 721 ~ 727.

崔福义, 林涛, 马放, 等. 2002. 水源中水蚤类浮游动物的孳生与生态控制研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 34(3): 399 ~ 403.

崔福义, 张敏, 刘冬梅, 等. 2005. 氯胺灭活水中剑水蚤类浮游动物的试验研究[J]. 河南大学学报(自然科学版), 33(5): 485 ~ 489.

姜晓东, 王桂忠, 李少菁, 等. 2004. 桡足类滞育规律研究[J]. 生态学报, 24(3): 517 ~ 523.

李志强, 邵维兰, 周艳红. 2005. 管网水有机污染物成份及二氧化氯应用的优越性[J]. 环境科学与管理, 30(4): 47 ~ 48.

刘丽君, 张金松, 李小伟, 等. 2010. 生物活性碳吸附池无脊椎动物群落变化及对水质影响[J]. 给水排水, 36(4): 7 ~ 11.

陆坤明. 2010. 微污染源和城市供水臭氧生物活性炭处理工艺的

应用[J]. 净水技术, 29(4): 19 ~ 23.

沈嘉瑞. 1979. 中国动物志: 节肢动物门 甲壳纲 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社.

苏洪涛, 柯水洲, 刘丽君. 2009. 沉淀-过滤工艺对水蚤去除效能的研究[J]. 中国给水排水, 25(11): 76 ~ 82.

苏洪涛, 柯水洲, 刘丽君, 等. 2008. 氯作为水厂灭活剑水蚤药剂的可行性研究[J]. 给水排水, 34(5): 147 ~ 149.

孙昕, 张金松. 2002. 饮用水预臭氧化技术的进展[J]. 给水排水, 28(4): 7 ~ 9.

望甜, 王晓辉, 韩博平. 2009. 一座抽水水库中中华窄腹剑水蚤种群动态及其对浮游动物甲壳类群落结构的影响[J]. 湖泊科学, 21(1): 110 ~ 116.

徐林林, 崔福义, 宋安坤, 等. 2007. 净水工艺中剑水蚤的二次繁殖及控制[J]. 给水排水, 33(1): 7 ~ 9.

张贵刚, 韩博平. 2010. 中国特有种大型桡足类舌状叶镖水蚤在广东水库中的分布特征[J]. 湖泊科学, 22(3): 445 ~ 450.

张敏, 崔福义, 刘冬梅, 等. 2009. 预氧化与水处理工艺协同去除剑水蚤[J]. 环境科学, 30(12): 3568 ~ 3572.

Bernhardt H, Lusse B. 1989. Elimination of zooplankton by flocculation and filtration[J]. Aqua AQUAAA, 38(1): 23 ~ 31.

Cho KS, Hirai M, Shoda M. 1992. Enhanced removal efficiency of malodorous gases in a pilot-scale peat biofilter inoculated with thiobacillus thioparus DW44[J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 73(1): 46 ~ 50.

Kozasa H. 1997. Formation of bromate ion and its behavior in the advanced water treatment[C]. Proceedings of 13th ozone world congress (1), Kyoto, Japan: 127 ~ 132.

Selcuk H, Rizzo L, Nikolaou AN, et al. 2007. DBPs formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation[J]. Desalination, 210: 31 ~ 43.

Vasquez HP. 2000. Removal of micro-organisms by clarification and filtration processes: national report argentina[J]. Water Supply, 16(1): 213 ~ 215.

Weinberg HS, Glaze WH, Krasner SW, et al. 1993. Formation and removal of aldehydes in plants that use ozonation[J]. American Water Works Association, 85(5): 72 ~ 85.

Zhang M, Cui FY, Liu DM. 2009. The research on removing cyclops of zooplankton in raw water by purification process combined with pre-oxidations[C]. 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Beijing, China: 1 ~ 5.