

液氯对摇蚊幼虫的毒效试验及影响因素

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)

摘要: 针对摇蚊幼虫(红虫)在沉淀池中大量孳生这一难题, 以蒸馏水为试验水样, 研究了液氯对摇蚊不同龄期幼虫的毒性效果(24h), 并考察了 pH 值、有机物含量、氨氮以及藻类含量等因素对毒性效果的影响。结果表明: 随龄期增长摇蚊幼虫对液氯的耐受性不断增强, 液氯对 4 龄摇蚊幼虫的 24h 半致死浓度(LC₅₀)为 3.39 mg/L; 低 pH 值、高藻类含量有助于提高液氯对摇蚊幼虫的毒性效果; 在水质中性条件下, 有机物含量提高使摇蚊幼虫的死亡率降低, 在不同氨氮浓度下, 液氯对摇蚊幼虫的毒性效果差别较大。生产原水和沉淀池水的对比试验表明: 在不同投加量下, 原水中 4 龄摇蚊幼虫接触 24h 死亡率均高于沉淀池水中摇蚊幼虫死亡率。

关键词: 摇蚊幼虫; 液氯; 毒效

中图分类号: X52, TU991.25 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)05-0095-05

Toxicity and Influencing Factors of Liquid Chlorine on Chironomid Larvae

SUN Xing-bin¹, CUI Fu-yi¹, ZHANG Jin-song², GUO Zhao-hai³, XU Feng¹, LIU Li-jun²

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

Abstract: The excessive propagation of Chironomid larvae (red worm) in the sedimentation tanks is a difficult problem for the normal function of waterworks. The toxic effect of liquid chlorine on the different instar larvae of Chironomid was studied using distilled water as test sample. Furthermore, the effect of pH value, organic matter content, ammonia nitrogen, and algae content on toxicity of liquid chlorine was observed. The results show that the tolerance of Chironomid larvae to liquid chlorine is strengthened with the increase in instar. The 24h semi-lethal concentration (LC₅₀) of liquid chlorine to the 4th instar larvae of Chironomid is 3.39 mg/L. Low pH value and high algae content are helpful to improve the toxic effect of liquid chlorine to Chironomid larvae. In neutral water body, the increase in organic matter content results in the decrease in the death rate of Chironomid larvae. The toxicity of liquid chlorine differs greatly in different concentrations of ammonia nitrogen. The death rate of the 4th instar larvae of Chironomid in raw water is higher by contrast with that in sedimentation tanks water for 24h disposal with various amount of liquid chlorine.

Key words: Chironomid larvae; liquid chlorine; toxicity

摇蚊幼虫是水体污染的主要指示生物^[1,2], 国外多将其作为污染物质急性和慢性毒性测试生物^[3-5]。天然水体污染程度加重, 直接导致摇蚊幼虫在水体中占优势地位^[6], 摇蚊幼虫在水库、湖泊类水源水中大量孳生, 使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]。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。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^[9], 在饮用水中投加杀虫剂的方法对人体存在潜在威胁。摇蚊幼虫在水处理工艺中的大规模暴发期, 采用液氯浸泡沉淀池, 来杀灭沉淀池中孳生的摇蚊幼虫, 是经济有效的防治方法, 但目前尚缺乏系统的理论研究^[10]。本文进行了液氯对摇蚊幼虫的毒效试验, 并对影响毒性效果的主要因素进行了考察, 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。

收稿日期: 2004-10-28; 修订日期: 2005-02-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(503780262); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601120); 高等学校博士学科点专项科研基金(20030213036)

作者简介: 孙兴滨, (1970~), 男, 博士研究生, 主要从事水污染控制研究, E-mail: sunxingbin1025@163.com

1 材料与方法

1.1 试验虫体

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^[4]。刚孵化 1 龄幼虫经 3 次蜕皮变为 4 龄幼虫,每蜕皮 1 次,相应增加 1 个龄期,并且体色变深,从无色、淡红色、鲜红色变成深红色。试验中依据摇蚊幼虫体色判断其龄期。

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^[11]。

1.2 试验材料

以蒸馏水为试验水样,氢氧化钠和盐酸溶液调节水样所需要的酸碱度,用氯化铵调节试验水样所需要的氨氮含量,有机物由腐殖酸配制而成根据需要提供,斜生栅藻由中国科学院生态环境研究中心提供,培养液采用修改后的克氏培养液及少量土壤渗液^[12],培养条件为:温度 25~28℃,光暗比 12h:12h,光强为 3 000lx 左右,每天定时摇动 3 次。液氯用次氯酸钠配制,碘量法测定有效氯浓度。

1.3 试验方法

浸液法测定液氯对摇蚊幼虫的毒效,试验在 1 000 mL 烧杯中进行,以蒸馏水为试验水样,摇蚊幼虫的密度为 15 个/L,试验温度控制在 25℃,每个试验组设置 3 个平行样,并设空白对照,24h 后观察死亡率。不同水体中液氯毒效试验以深圳某水厂的生产原水和沉淀池水为试验水样,以浸液法测定液氯对 4 龄期摇蚊幼虫的毒效。

1.4 数据处理

由于摇蚊幼虫存在自然死亡,试验中死亡率采用 Abbott 公式加以校正,液氯对摇蚊幼虫的 24h 半致死浓度(LC_{50})采用寇氏法计算^[13]。

2 结果与讨论

2.1 液氯对不同龄期摇蚊幼虫的毒效

在液氯投加量 0 mg/L ~ 16 mg/L 之间设定不同的浓度梯度,测定液氯对不同龄期摇蚊幼虫的毒效,试验结果如图 1。

从图 1 可以看出,不同龄期摇蚊幼虫对液氯的耐受性存在显著差异,且随着龄期增长耐受性不断增强。与 3 龄幼虫相比,4 龄幼虫对液氯的耐受性增幅不大,投加量 8 mg/L,24h 死亡率为 95.5%,3 龄幼虫的死亡率为 100%;与 1、2 龄幼虫相比,3 龄期幼虫的耐受性增幅较大,投加量 4 mg/L,3 龄幼虫死亡率为 66.7%,1、2 龄幼虫死亡率分别为 100%和

84.5%;在较低的投加量下(2 mg/L),1、2 龄幼虫仍可达到 71.1%和 51.1%的死亡率。张彤等的研究表明,摇蚊幼虫对有毒物质的耐受性随龄期增加而不断增强,1 龄幼虫是其最敏感阶段,而 4 龄幼虫耐受性最强,主要原因可能与随龄期增加幼虫表皮增厚有关^[14]。本试验也证实了这一结论。

液氯对 4 龄期摇蚊幼虫的 24h 半致死浓度(LC_{50})为 3.39 mg/L。

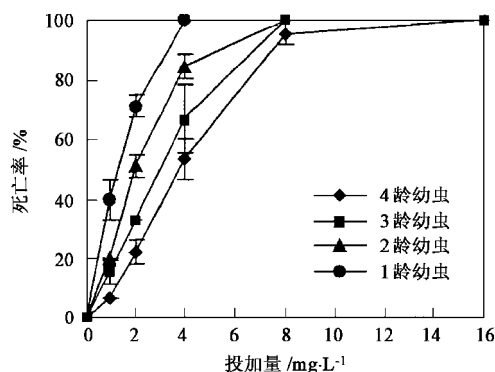


图 1 液氯对不同龄期摇蚊幼虫的毒性效果

Fig.1 Toxic effect of liquid chlorine to the different instar larvae of Chironomid

2.2 影响液氯毒效的主要因素

以蒸馏水为底质,分别对液氯投量 4 mg/L 和 8 mg/L 条件下,影响摇蚊幼虫死亡率的主要因素进行了考察,接触时间为 24h,以耐受性最强的第 4 龄期摇蚊幼虫为试验对象。

2.2.1 pH 值对摇蚊幼虫死亡率的影响

不同 pH 值条件下,第 4 龄期摇蚊幼虫的死亡率如图 2。

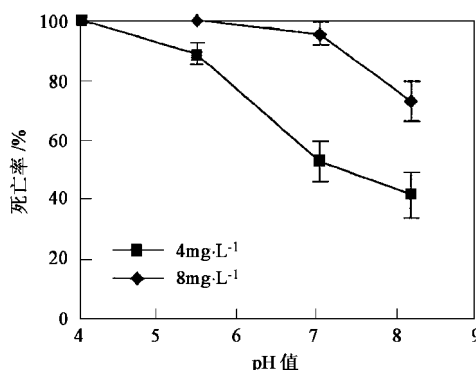


图 2 不同 pH 值条件下 4 龄摇蚊幼虫死亡率

Fig.2 Death rate of the 4th instar larvae of Chironomid at different pH value

从图 2 可以看出,随 pH 值升高摇蚊幼虫死亡

率逐渐降低,酸性条件下死亡率明显高于碱性条件。pH 值从 4.0 到 8.2,投氯量 4 mg/L 时摇蚊幼虫死亡率从 100 % 下降到 42.2 %;投氯量 8 mg/L 时摇蚊幼虫的死亡率从 100 % 下降到 73.3 %。不同的 pH 值条件下,决定了水体中 HClO 和 ClO⁻ 之间的含量比例,在液氯水溶液中 HClO 起主要氧化杀灭作用,在偏酸性环境中 HClO 的含量较高,这是摇蚊幼虫在酸性情况下死亡率较高的主要原因。

2.2.2 有机物含量对摇蚊幼虫死亡率的影响

天然原水中含有一定数量有机物,它们的存在对饮用水处理工艺的各环节都存在一定程度的影响。为此,在 pH = 7 的条件下,对不同有机物含量下摇蚊幼虫死亡率变化情况进行了考察。试验结果如图 3。

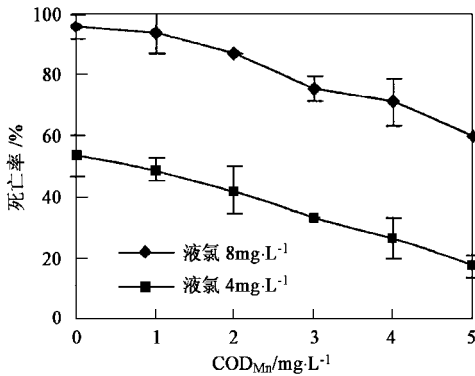


图 3 不同 COD_{Mn} 条件下 4 龄摇蚊幼虫死亡率

Fig. 3 Death rate of the 4th instar larvae of Chironomid at different COD_{Mn}

图 3 可以看出,摇蚊幼虫的死亡率均随有机物含量的增加而降低。出现此情况的原因是水体中部分还原类有机物质消耗了一部分 HClO,导致摇蚊幼虫死亡率的降低。

2.2.3 NH₄⁺-N 对摇蚊幼虫死亡率的影响

在 pH = 7 的条件下,不同 NH₄⁺-N 条件下摇蚊幼虫死亡率变化情况如图 4。

图 4 可以看出, NH₄⁺-N 浓度对摇蚊幼虫死亡率影响较大。在无液氯投加条件下,随 NH₄⁺-N 浓度提高,摇蚊幼虫死亡率增加,主要与水中 NH₃·H₂O 浓度增加有关, NH₃·H₂O 对水生生物有一定的毒性作用^[15]。在液氯投加量为 4 mg/L 和 8 mg/L, NH₄⁺-N 浓度为 0.5 mg/L 时,摇蚊幼虫死亡率有所下降,但当 NH₄⁺-N 浓度增加到 1 mg/L 之后,随 NH₄⁺-N 浓度增加,摇蚊幼虫死亡率逐渐提高,甚至超过不含 NH₄⁺-N 的情况。氯和氨在水溶液中可以形成氯胺,

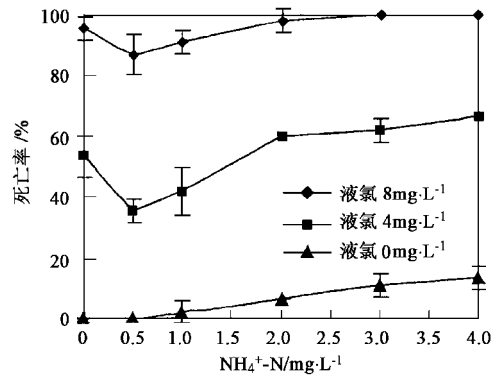
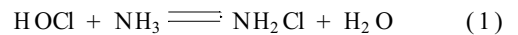


图 4 不同 NH₄⁺-N 条件下 4 龄摇蚊幼虫死亡率

Fig. 4 Death rate of the 4th instar larvae of Chironomid at different NH₄⁺-N

氯胺是理想的水处理消毒剂,按其结构氯胺是氨分子中的氢原子被氯原子取代的产物,这些产物有 NH₂Cl、NHCl₂ 和 NCl₃。氯和氨的投加比例不同,导致生成氯胺的化学反应发生变化,在 pH = 7 的条件下,相关反应如下:

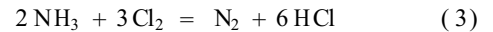
Cl₂: NH₃ ≤ 5:1 时



5:1 < Cl₂: NH₃ < 7.6:1 时



Cl₂: NH₃ ≥ 7.6:1 时



从上述反应式可以看出,在低 NH₄⁺-N 浓度下,氯和氨产物以 N₂ 为主,说明氧化 NH₄⁺-N 造成一部分 HClO 消耗,影响了杀灭效果;当 NH₄⁺-N 浓度增加到 1 mg/L 之后,水溶液中氯和氨产物主要为 NH₂Cl 或 NHCl₂, NH₂Cl 和 NHCl₂ 对摇蚊幼虫具有较强的持续氧化杀灭能力,尤其在 NH₃·H₂O 对摇蚊幼虫产生毒性作用情况下,二者的协同作用提高了摇蚊幼虫死亡率。

2.2.4 藻类含量对摇蚊幼虫灭活效果的影响

水体富营养化导致藻类等水生植物过量繁殖,如深圳某水库属典型污染源,年平均含藻量达 2 × 10⁷ 个/L,为此,试验对不同藻类含量下,液氯对摇蚊幼虫死亡率的影响进行了考察。试验结果如图 5。

从图 5 可以看出,液氯对摇蚊幼虫的灭活率随藻类含量的增加而增加,例如,当液氯投加量为 4 mg/L,藻类含量为 2 × 10⁷ 个/L 时,接触 24h,摇蚊幼虫死亡率为 73.3 %,而不含藻类时为 53.3 %。这一现象与 HClO 对藻类的灭活机理有关, HClO 为中性分子,很容易扩散到带负电的藻细胞表面,并渗

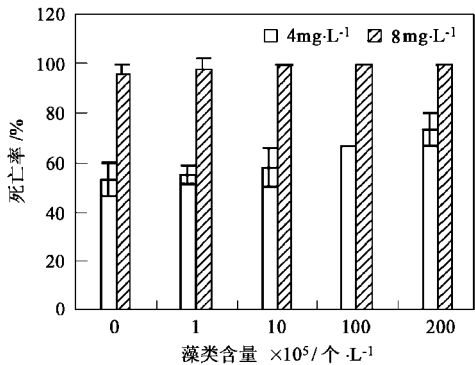


图 5 不同藻类含量下 4 龄摇蚊幼虫死亡率

Fig. 5 Death rate of the 4th instar larvae of Chironomid at different algae concentration

谢失调而死亡.藻细胞的存在,消耗了一部分 HClO 分子,但摇蚊幼虫属底栖生物,在试验容器底部活动,吸附 HClO 分子且已经失活的藻细胞沉积在容器底部,增加了 HClO 分子与摇蚊幼虫体表的接触机会,加快了摇蚊幼虫死亡速度,并使死亡数量增加.经液氯杀灭后的摇蚊幼虫体色由红色变为绿色,解剖显微镜下可观察到其体表覆盖藻细胞,并且随水样中藻类含量增加覆盖在摇蚊幼虫体表上的藻细胞数量也增多.

2.3 不同水体中液氯的毒效试验

以深圳某水厂的实际生产原水和沉淀池水为试验水样,考察了液氯对摇蚊幼虫的毒性效果,以第 4 龄期摇蚊幼虫为试验对象.试验用水水质见表 1,试验结果如图 6.

透到细胞内部,与蛋白质发生氧化作用,使藻细胞代

表 1 试验用水水质

Table 1 Water quality of test sample

水质项目	水温/℃	pH 值	浊度/NTU	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	藻类/ $\text{个} \cdot \text{L}^{-1}$
原水	21.0	6.5	10.5	0.32	2.98	1.5×10^7
沉淀水	20.3	7.3	3.21	0.26	2.26	5.2×10^6

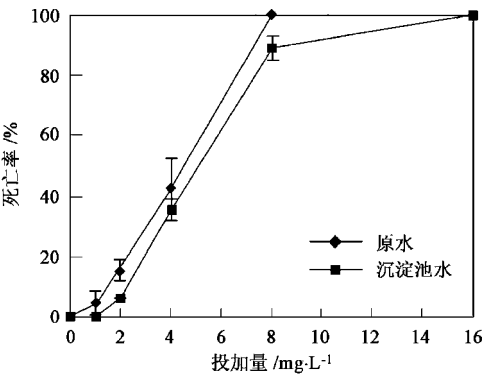


图 6 不同水体中液氯对 4 龄摇蚊幼虫的毒性效果

Fig. 6 Toxic effect of liquid chlorine to the 4th instar larvae of Chironomid in different water body

原水中有有机物、藻类等微生物以及无机物含量高于沉淀池水,液氯的额外消耗要相对高一些,这将导致液氯对摇蚊幼虫的杀灭效果不如沉淀水中投加液氯的效果.与预料结果相反,原水中液氯对第 4 龄期摇蚊幼虫的毒性效果强于沉淀水中的毒性效果,在不同投氯量下,原水中的摇蚊幼虫接触 24h 的死亡率均高于沉淀水中摇蚊幼虫的死亡率(见图 6).原因在于,与沉淀水相比,原水的 pH 值为 6.5,藻类含量 1.5×10^7 个/L(见表 1),这将有助于提高液氯对摇蚊幼虫的毒性效果,而原水的 COD_{Mn} 仅比沉淀

水高 0.72 mg/L,氨氮含量二者相差 0.06 mg/L,对摇蚊幼虫死亡率的影响有限.所以正是由于原水和沉淀水中有有机物、藻类等微生物和无机物含量的不同,对液氯的影响程度不同,使得原水中液氯对摇蚊幼虫的毒性效果要好于沉淀水中的效果.

3 结论

(1) 不同龄期摇蚊幼虫对液氯的耐受性随着龄期的增长不断提高,液氯对 4 龄幼虫的 24h 半致死浓度(LC_{50})为 3.39 mg/L;低 pH 值、高藻类含量有助于提高液氯对摇蚊幼虫的毒性效果;在水质中性条件下,有机物含量的提高使摇蚊幼虫的死亡率降低;在不同氨氮浓度下,液氯对摇蚊幼虫的毒性效果差别较大.

(2) 在不同投氯量下,原水中 4 龄摇蚊幼虫接触 24h 死亡率均高于沉淀池中摇蚊幼虫的死亡率.

(3) 针对常规的预氯化、混凝沉淀、过滤和加氯消毒工艺,在摇蚊幼虫大规模暴发期,可根据原水的水质情况,采用投氯静态浸泡方式来杀灭沉淀池中孳生的摇蚊幼虫.

参考文献:

[1] 王俊才,鞠复华.摇蚊幼虫的水生态研究进展[J].辽宁城乡环境科技,1998,18(3):83~84.
[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 watercourse [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] 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.

[7] 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.

[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.

[9] 周令, 张金松, 雷萍. 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.

[13] 苏寿氏, 叶炳辉. 现代医学昆虫学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996, 185 ~ 188.

[14] 张彤, 金洪钧. 丙烯腈、乙腈和硫氰酸钠对摇蚊幼虫的急性毒性 [J]. 污染防治技术, 1996, **9**(1): 12 ~ 14.

[15] 陈远威. 淡水养殖水化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993, 56.