

紫外线和氯组合方式对大肠杆菌灭活效果的影响研究

郭美婷, 胡洪营

(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 系统地比较了紫外线和氯不同的组合方式对大肠杆菌的灭活效果。结果表明, 紫外线和氯联合顺序消毒在一定程度上提高了消毒效果, 但不同的组合方式以及两者不同的剂量对灭活效果都有影响。紫外线和氯先后作用的消毒效果优于紫外线和氯同时消毒。先氯后紫外线消毒时, 加较高浓度的氯且短时间接触即可达到较好的消毒效果; 先紫外线后氯消毒时, 氯剂量越大则灭活率越高, 若氯浓度相同而接触时间不同, 则灭活效果差别不大。

关键词: 紫外线; 氯; 消毒; 组合方式; 灭活效果

中图分类号: TU991.25 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)17-0080-04

Influence of Different Combination Modes of UV and Chlorine on Inactivation Effect of Escherichia Coli

GUO Mei-ting, HU Hong-ying

(Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing
100084, China)

Abstract: The inactivation effect of *E. coli* with different combination modes of UV and chlorine was compared. The result shows that the combination of UV and chlorine can improve the inactivation effect. However, different combination modes and different doses of UV and chlorine affect the inactivation effect. Simultaneous disinfection with UV and chlorine has lower effect than sequential disinfection. During disinfection with chlorine followed by UV, addition of high-concentration chlorine with short contact time has better disinfection efficiency. During disinfection with UV followed by chlorine, high chlorine dose has high inactivation rate. When the chlorine concentration is the same and the contact time is different, the difference of inactivation effect is not significant.

Key words: UV; chlorine; disinfection; combination mode; inactivation effect

由于氯消毒副产物的不断检出^[1]、氯在储备运输时的安全性以及水质标准的不断修订和严格化^[2], 用于水和废水消毒的氯取代工艺的研究日渐增多。紫外线消毒因具有灭菌广谱、消毒副产物少、操作简单等特点而逐渐受到人们的关注^[3~5], 但该技术存在没有持续消毒能力的问题。单独的消毒方式都存在各自的缺点, 所以如何利用各自的优势达到较好的消毒效果成为值得研究的问题。一般常采

用的方法是将不同的消毒方式组合, 研究人员已经发现臭氧协同氯、氯胺或者二氧化氯协同氯及氯协同金属离子对难灭活微生物都取得了较好的灭活效果^[6]。而对紫外线和氯联合消毒的效果及机理的研究还较少。

笔者通过分析并研究紫外线与氯不同的组合方式对消毒效果的影响, 将氯消毒与紫外线消毒相结合, 既减小了氯消毒的生态风险性, 又弥补了紫外线

消毒无持续消毒能力的不足,保证了水质的安全性。

1 材料与方法

1.1 试验菌种及水样

大肠杆菌的菌株编号为 1.3373,购于中国科学院环境微生物所。

在 -80℃ 冰箱中保存的冰冻菌种融化后接种 50 μL 于 50 mL 营养肉汤培养基中,于 37℃、150 r/min 下振荡培养 16 h,10 000 r/min 的转速下离心 10 min,弃去上清液,用灭菌生理盐水冲洗 2 次,将沉淀溶于 100 mL 灭菌生理盐水中得到菌悬液。根据试验要求配制初始浓度约为 10^7 CFU/mL 的菌悬液作为试验水样。

1.2 紫外线照射试验

测定试验水样在 254 nm 处的吸光度,计算设计紫外线剂量下所需的照射时间。取 15 mL 试验水样于直径为 60 mm 的培养皿中,放入转子,将培养皿置于紫外平行光束仪正下方磁力搅拌,按照计算结果使水样接受特定时间的紫外线照射。

1.3 氯消毒试验

氯消毒剂采用次氯酸钠(分析纯)溶液,使用时将其稀释到有效氯含量为 7.5 g/L,并置于棕色试剂瓶中在 4℃ 下避光保存,试验前测定实际有效氯含量后立即使用。反应到设计的消毒时间后用过量亚硫酸钠进行脱氯。试验所选氯浓度为 1 mg/L 和 10 mg/L,接触时间分别为 10 min 和 30 min。

1.4 细菌计数方法

选用 0.45 μm 孔径的滤膜用真空过滤系统过滤 10 mL 经消毒的水样,将滤后滤膜置于品红亚硫酸钠培养基上,将平板倒置于 37℃ 培养箱中培养 24 h,计菌落数。每个样品做 3 个平行样。

2 结果与讨论

2.1 先氯后紫外线消毒

工程应用中期望用较少的氯和紫外线照射剂量达到较好的消毒效果,因此选择 4 个不同的氯浓度和接触时间,分别为 1 mg/L、10 min, 1 mg/L、30 min, 10 mg/L、10 min, 10 mg/L、30 min。其中目前常规氯消毒剂量为 10 mg/L、10 min;紫外线剂量取 5、15 和 25 mJ/cm^2 三个值。先进行一定剂量的氯消毒后再进行紫外线消毒,对大肠杆菌的灭活情况如图 1 所示。

从图 1 可以看出,先加氯再进行紫外线照射后,灭活率均高于单独加相同剂量的氯或紫外线照射。

以紫外线剂量为 5 mJ/cm^2 为例,单独紫外线照射的灭活率为 3.81-lg,单独加氯剂量为 1 mg/L、10 min, 1 mg/L、30 min, 10 mg/L、10 min 和 10 mg/L、30 min 时的灭活率分别为 0.83-lg, 2.45-lg, 4.01-lg, 4.77-lg, 先加氯再进行 5 mJ/cm^2 的紫外线照射后灭活率分别为 4.41-lg, 4.51-lg, 6.61-lg 和 5.68-lg。总体来说,随着紫外线剂量的增加而氯浓度相同时,接触时间短的消毒效果反而提高得快。

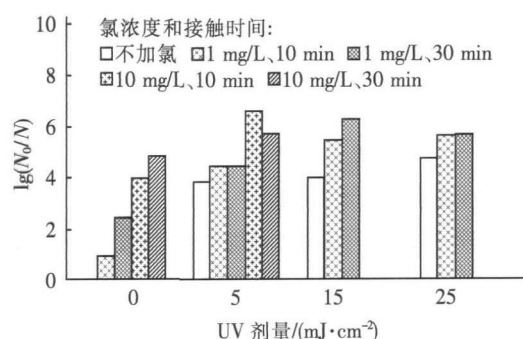


图 1 先氯后紫外线消毒对大肠杆菌的灭活效果

($T = 20^\circ\text{C}$)

Fig 1 Effect of Cl_2 followed by UV on inactivation of *E. coli* ($T = 20^\circ\text{C}$)

由于氯本身具有杀菌能力,先添加氯除了灭活一部分菌外,对存活的菌也造成一定的损伤,破坏了其细胞膜等组织^[6],使其更加敏感于外部的刺激,比如紫外线的照射;而紫外线主要作用于微生物的 DNA^[7],不同的作用位点使得在添加氯后进行紫外线照射提高了灭活率。而高浓度的氯对微生物的破坏作用较强,能杀灭更多的菌,同时对菌的损伤程度也较深。所以对于预氯化的紫外线和氯联合消毒模式,先添加较高浓度的氯,短接触时间即可实现较好的消毒效果。

2.2 先紫外线后氯消毒

在紫外线照射后再添加一定量的氯,研究其对大肠杆菌的灭活情况,结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,经紫外线照射后再添加氯,灭活率较单独紫外线照射的有所提高。添加的氯剂量越大,灭活率越高;添加相同浓度的氯但接触时间不同时,其灭活率相差较小。对于紫外线剂量为 5 mJ/cm^2 的水样来说,紫外线单独照射后灭活率为 3.81-lg,加氯剂量为 1 mg/L、10 min, 1 mg/L、30 min, 10 mg/L、10 min 和 10 mg/L、30 min 的灭活率分别为 4.13-lg, 4.46-lg, 7.00-lg 和 7.15-lg;灭活率分别提高了 0.32-lg, 0.65-lg, 3.19-lg 和 3.34-lg。

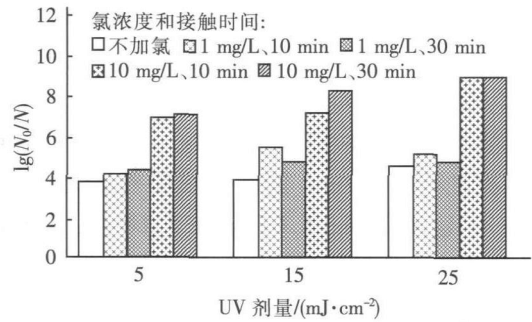


图 2 先紫外线后氯消毒对大肠杆菌灭活率的影响
($T=20$)

Fig 2 Effect of UV followed by Cl_2 on inactivation of *E. coli* ($T=20$)

2.3 紫外线和氯同时消毒

在紫外线照射的同时添加浓度为 1 mg/L 或 10 mg/L 的氯,紫外线照射结束时即添加亚硫酸钠终止氯反应,从而研究紫外线和氯同时作用对大肠杆菌的灭活情况,结果如图 3 所示。

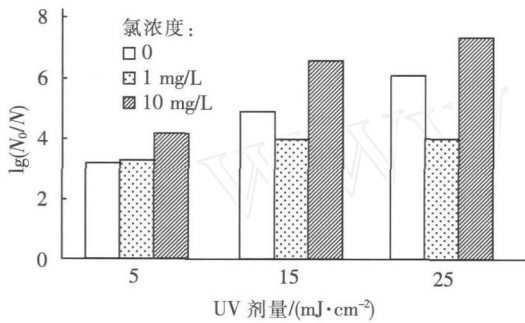


图 3 紫外线和氯同时消毒对大肠杆菌的灭活效果
($T=20$)

Fig 3 Effect of simultaneous UV and chlorine on inactivation of *E. coli* ($T=20$)

从图 3 可以看出,在紫外线照射的同时添加氯,对于低紫外线剂量来说,添加 1 mg/L 或 10 mg/L 的氯,其灭活率均有所升高;但对于较高紫外线剂量来说,添加 1 mg/L 或 10 mg/L 的氯,前者灭活率降低,后者灭活率升高。如紫外线剂量为 5 mJ/cm^2 时,不加氯、添加 1 mg/L 或 10 mg/L 的氯,其灭活率分别为 3.22- $\lg$ 、3.32- $\lg$ 和 4.19- $\lg$;而紫外线剂量为 25 mJ/cm^2 时,不加氯、添加 1 mg/L 或 10 mg/L 的氯,其灭活率分别为 6.08- $\lg$ 、4.00- $\lg$ 和 7.36- $\lg$ 。

氯的添加量为 10 mg/L 时,由于氯在紫外线照射过程中添加,可以和紫外线同时作用于微生物的不同部位,更有利于微生物的灭活,故灭活率提高。但是对于 1 mg/L 的加氯量对灭活率的影响,其随紫

外线照射剂量的不同而不同的原因还有待进一步研究。

2.4 不同组合方式的比较

对比紫外线和氯同时消毒及顺序消毒,以 5 mJ/cm^2 的紫外线,1 mg/L、10 min 的氯消毒剂量为例,二者以不同的方式进行组合,灭活效果如图 4 所示。

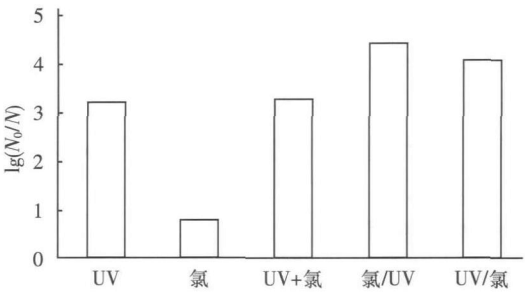


图 4 紫外线和氯不同组合方式的灭活率比较
($T=20$)

Fig 4 Comparative effect of different combination modes of UV and chlorine ($T=20$)

从图 4 可知,紫外线与氯联合消毒的方式可在一定程度上提高灭活率;其中先添加氯的组合消毒方式得到的灭活率最高。单独紫外线消毒的灭活率为 3.22- $\lg$,单独氯消毒的灭活率仅为 0.83- $\lg$;紫外线照射的同时添加氯仅使灭活率提高了 0.1- $\lg$;先氯再紫外线的消毒方式得到的灭活率高达 4.42- $\lg$,先紫外线消毒再氯消毒的灭活率次之,为 4.13- $\lg$ 。紫外线和氯同时作用时灭活率提高不多,可能是因为紫外线照射的时间较短,氯接触后未能充分反应,其消毒作用还没能充分发挥。值得注意的是,顺序消毒的灭活率均高于单独紫外线和单独氯消毒的灭活率的简单加和。根据 J. Koivunen 研究紫外线和化学消毒剂联合消毒时,提出的协同效应的评价方法^[8],即通过比较联合后的灭活率和单独灭活率之和的大小来判断是否存在协同效应,结果表明在一定程度上,紫外线和氯在消毒方面有协同作用,因此两者的组合效果大于两者的简单加和。张永吉研究了紫外线和氯联合灭活枯草芽孢杆菌的效果,也证明了两者的存在较明显的协同灭活作用^[9]。

一般要求对大肠杆菌的去除率达到 3- $\lg$,故先加氯和后加氯都可以满足要求。根据实际工程情况,后加氯较好实现,在紫外线照射后进入储水池时添加即可,同时还可以提供一定量的余氯,弥补紫外线缺少持续消毒作用的不足。在实际工程中为了节

省脱氯步骤,可以选择合适的氯剂量进行添加,起到辅助消毒和保持消毒效果的作用即可。

3 结论

紫外线/氯联合消毒在一定程度上可以提高消毒效果。紫外线和氯不同的联合方式以及两者不同的剂量对灭活效果都有影响。紫外线和氯先后作用的消毒效果优于紫外线和氯同时消毒。先氯后紫外线消毒时,添加较高浓度的氯且短间接接触即可达到较好的消毒效果;先紫外线后氯消毒时,氯剂量越大,灭活率越高,若氯浓度相同而接触时间不同,灭活效果差别不大;两种组合方式对大肠杆菌的灭活率均能达到 3-lg。具体的消毒方式可以根据实际需要进行选择。

参考文献:

- [1] 胡洪营,王丽莎,魏东斌. 污水消毒面临的技术挑战及其对策[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(6): 36 - 41.
- [2] USEPA. Guideline for Water Reuse[M]. Washington, D. C :USEPA, 2004.
- [3] Lazarova V, Savoye P, Janex M L. Advanced wastewater disinfection technologies: State of the art and perspectives[J]. Water Sci Technol, 1999, 40(4 - 5): 203 - 213.
- [4] Lazarova V, Janex M L, Piksdal L, *et al*. Advanced wastewater disinfection technologies: Short and long term efficiency[J]. Water Sci Technol, 1998, 38(12): 109 - 117.
- [5] Lorenzo Liberti, Michele Notamicola, Domenico Petruzzelli. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture UV disinfection: parasite removal and by-product formation[J]. Desalination, 2002, 152: 315 - 324.
- [6] Virto R, Manas P, Alvarez I, *et al*. Membrane damage and microbial inactivation by chlorine in the absence and presence of a chlorine-demanding substrate[J]. Appl Environ Microbiol, 2005, 71(9): 5022 - 5028.
- [7] 张辰,张欣,吕东明,等. 紫外线消毒的理论研究[J]. 给水排水, 2004, 30(1): 21 - 24.
- [8] Koivunen J, Heinonen-Tanski H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments[J]. Water Res, 2005, 39(8): 1519 - 1526.
- [9] 张永吉,刘文君,张琳. 氯对紫外线灭活枯草芽孢杆菌的协同作用[J]. 环境科学, 2006, 27(2): 329 - 332.
- 电话: (010) 62777823
E - mail: gnt00@mails. tsinghua. edu. cn
收稿日期: 2007 - 04 - 24
-
- (上接第 79 页)
- lakes[J]. Science, 1977, 195(1): 260 - 262.
- [2] Borgnino L, Avena M, De Pauli C. Surface properties of sediments from two Argentinean reservoirs and the rate of phosphate release[J]. Water Res, 2006, 40(14): 2659 - 2666.
- [3] Joakim Ahlgren, Lars Tranvik, Adolf Gogoll, *et al*. Sediment depth attenuation of biogenic phosphorus compounds measured by ^{31}P NMR[J]. Environ Sci Technol, 2005, 39(3): 867 - 872.
- [4] 曹海艳,冯启言. 环境因子对南四湖底泥磷释放的影响实验研究[J]. 水科学与工程, 2006, (6): 36 - 38.
- [5] 吴根福,吴雪昌. 杭州西湖底泥释磷的初步研究[J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 107 - 110.
- [6] 高丽,杨浩,周健民,等. 滇池沉积物磷内负荷及其对水体贡献的研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(5): 776 - 781.
- [7] Sergei Katsev, Iana Tsandev, Ivan L. Heurreux, *et al*. Factors controlling long-term phosphorus efflux from lake sediments: Exploratory reactive-transport modeling[J]. Chem Geol, 2006, 234(1 - 2): 127 - 147.
- [8] Jiri Kopacek, Jakub Burövec, Josef Hejzlar, *et al*. Aluminium control of phosphorus sorption by lake sediments[J]. Environ Sci Technol, 2005, 39(22): 8784 - 8789.
- [9] Eiji Komatsu, Takehiko Fukushima, Hiroaki Shiraishi. Modeling of P-dynamics and algal growth in a stratified reservoir: mechanisms of P-cycle in water and interaction between overlying water and sediment[J]. Ecological Modelling, 2006, 197(3 - 4): 331 - 339.
- 电话: 13810012336
E - mail: lei - li05@mails. tsinghua. edu. cn
通讯地址: 100084 北京市海淀区清华大学学生宿舍 15[#] 楼 514 室
收稿日期: 2007 - 05 - 17