

紫外线强度及剂量对大肠杆菌光复活的影响

孙 雯^{1,2}, 张永吉², 周玲玲², 李圭白³, 吕 谋¹

(1 青岛理工大学 环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033 2 同济大学 环境科学与工程
学院, 上海 200092 3 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 以水中大肠杆菌为研究对象, 考察了不同紫外线强度及剂量对大肠杆菌的灭活效果以及对其光复活的影响。结果表明: 大肠杆菌的灭活率随着紫外线剂量的增加而增加, 而相同剂量下高强度的紫外线对大肠杆菌的灭活效果要好于低强度的, 且高紫外线强度有利于控制大肠杆菌的光复活程度。当紫外线强度为 $0.153 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、紫外线剂量为 $60 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时, 其对大肠杆菌的灭活率高达 5 个对数级。高剂量紫外线照射下大肠杆菌发生光复活的能力明显弱于低剂量下的, 紫外线剂量为 $120 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时的大肠杆菌光复活率较 $5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时的低了 3 个对数级。

关键词: 紫外线; 大肠杆菌; 灭活; 光复活

中图分类号: TU991 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2011)05-0057-03

Influence of UV Intensity and Dose on *Escherichia coli* Photoreactivation

SUN Wen^{1,2}, ZHANG Yongji², ZHOU Lingling², LI Guibai³, LV Mou¹

(1 School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033 China; 2 College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092 China; 3 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090 China)

Abstract The inactivation efficiency of *Escherichia coli* (*E. coli*) in water by different UV intensities and doses and their influence on its photoreactivation were investigated. The results indicate that the inactivation rate of *E. coli* is increased with increasing UV dose, and the inactivation efficiency of *E. coli* by higher UV intensity is better than that by lower intensity UV under the same UV dose. The higher UV intensity is helpful for controlling the photoreactivation degree of *E. coli*. The inactivation rate of *E. coli* is up to 5 log at the UV intensity of $0.153 \text{ mW}/\text{cm}^2$ and the UV dose of $60 \text{ mJ}/\text{cm}^2$. The photoreactivation capacity of *E. coli* with higher dose UV radiation is weaker than that with lower dose UV radiation. For example, Compared with UV dose of $5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, the photoreactivation rate at $120 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ is reduced by 3 log.

Key words ultraviolet; *Escherichia coli*; inactivation; photoreactivation

紫外线消毒由于不投加化学药剂、杀菌快速广谱且不产生消毒副产物等优点而日益受到人们的关注^[1-3]。水处理中实际使用的是紫外线的 UV-C 部分, 在该波段中 260 nm 附近已被证实杀菌效率最高, 其可使水中各种细菌、病毒、水藻以及其他病原体中的 DNA 组织结构受到光化学破坏、失去复制能

力, 从而导致细胞死亡, 即使能够发生复制, 产生的也只是不能被复制的变异细胞, 从而达到灭活效应。但是经过紫外线照射后部分微生物会在可见光的照射下发生光复活现象, 不同程度地降低了紫外线对微生物的灭活效率, 进而降低了饮用水的安全性。有文献指出紫外线的消毒效果取决于紫外线的波

长、辐射强度和辐射时间^[4],笔者以大肠杆菌为研究对象,考察了紫外线强度、剂量及可见光强度对紫外线消毒和大肠杆菌光复活的影响。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验装置采用国际紫外线协会推荐的标准设计——准平行光束仪(见图 1)。紫外灯管安装在一个封闭的圆柱体内,在筒体的底部中央开口,下端接一段长为 37.7 cm、外径为 10.8 cm 的圆管,紫外灯管功率为 75 W、额定电压为 220 V。紫外线强度的大小通过调节垂直圆筒的长度实现,试验采用 3 个紫外线强度(0.038、0.076、0.153 mW/cm²),紫外线强度用 UV-B 紫外辐照计测定。

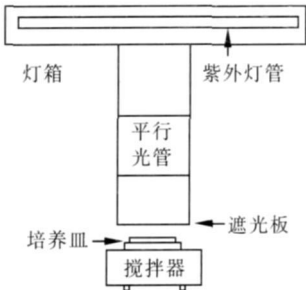


图 1 准平行光束仪装置

Fig 1 Schematic diagram of test device

1.2 试验水样

大肠杆菌菌体(*E. coli* 1.3373)由中科院微生物所提供。用营养肉汤培养 24 h 后,在 6 000 r/min 下离心 10 min 后弃去上清液,将沉淀物重新溶解于一定量的无菌生理盐水中备用。

1.3 试验方法

1.3.1 紫外线消毒试验

准确量取 40 mL 大肠杆菌溶液置于直径为 9.0 cm 的培养皿中,放置到紫外灯下进行照射,同时使用磁力搅拌器进行搅拌。照射一定时间后,立刻放入一有盖盒子中避光保存,并转移至无菌室内培养大肠杆菌,同时以未辐射的样品作对照,计算大肠杆菌的灭活率。大肠杆菌数量采用品红亚硫酸钠滤膜法检测。

1.3.2 光复活试验

在直径为 9.0 cm 的培养皿中放入经紫外线照射的大肠杆菌溶液(步骤同 1.3.1 节),置于 15 W 荧光灯下 30 cm 处照射,并用电磁搅拌器搅拌,按照试验设计定时进行取样测定大肠杆菌的数量。

2 结果与讨论

2.1 紫外线对大肠杆菌的灭活效果

由试验可知,当紫外线强度不变时,大肠杆菌灭活率随紫外线剂量的增加而增加。当紫外线剂量 < 10 mJ/cm² 时,大肠杆菌灭活率的增加幅度较大;当紫外线剂量 > 10 mJ/cm² 时,紫外线对大肠杆菌的灭活率虽然继续增加,但增幅明显变小;当紫外线剂量 > 20 mJ/cm² 后,灭活率的变化趋于平缓。在相同紫外线剂量下,紫外线强度越高则对大肠杆菌的灭活率越高。当紫外线剂量较小时,紫外线强度对大肠杆菌灭活的影响不明显,如当紫外线剂量 = 5 mJ/cm² 时,紫外线强度为 0.153、0.038 mW/cm² 时的灭活率相差不到 1 个对数级;但是随着紫外线剂量的增加,高紫外线强度对大肠杆菌的灭活效果明显优于低强度的,如当紫外线剂量 > 20 mJ/cm² 时,紫外线强度为 0.153 mW/cm² 时对大肠杆菌的灭活率要比 0.038 mW/cm² 时的高近 2 个对数级。可见,紫外线强度对大肠杆菌的影响明显,故在实际紫外线消毒中应尽量提高系统的紫外线强度。

2.2 紫外线剂量对光复活的影响

当紫外线强度为 0.153 mW/cm² 时,不同紫外线剂量对大肠杆菌光复活的影响情况见图 2。

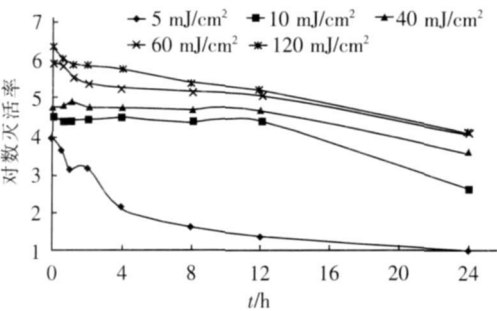


图 2 不同紫外线剂量对大肠杆菌光复活的影响

Fig 2 Influence of different UV doses on photoreactivation of *E. coli*

由图 2 可知,大肠杆菌灭活率随日照时间的延长而降低,且光复活现象随紫外线剂量的降低而越来越明显。如当紫外线剂量为 5 mJ/cm² 时,经可见光照射 4 h 后,大肠杆菌复活率为 2 个对数级;而当紫外线剂量 ≥ 10 mJ/cm² 后,当照射时间未超过 12 h 时,大肠杆菌的光复活很缓慢,12 h 以后大肠杆菌的光复活速率加快。这表明较高剂量的紫外线对大肠杆菌的光复活有一定的控制作用,其经可见光照射后的活性恢复时间较低剂量时长,这可能是因为

高剂量的紫外线照射对大肠杆菌 DNA 的损伤较严重, 在可见光照射下其恢复损伤所需的时间较长。

当紫外线强度为 $0.038\text{ mW}/\text{cm}^2$ 时, 考察紫外线剂量对大肠杆菌光复活的影响。结果表明, 大肠杆菌灭活率依旧随可见光照射时间的延长而降低, 且紫外线剂量越低则光复活现象越明显, 但是光复活程度较高紫外线强度时的低。如当紫外线剂量为 $5\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时, 日照 24 h 的复活率为 1.37 个对数级, 较 $0.153\text{ mW}/\text{cm}^2$ 时 (2.93 个对数级) 低了 1.56 个对数级。在低紫外线强度下, 光复活现象在可见光照射 2 h 时就比较明显, 且 2 h 后复活率仍有所增加, 可见低紫外线强度不能有效控制大肠杆菌的活性, 致使大肠杆菌具有较强的恢复能力, 经短时间可见光照射即可复活, 且复活现象随光照时间的延长而愈发明显。但是, 经高剂量紫外线照射的菌液在可见光照射 2 h 以后光复活速度明显降低, 如当紫外线剂量分别为 $60, 120\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时, 日照超过 2 h 后大肠杆菌的复活现象很微弱, 再次证明高紫外线剂量有利于控制大肠杆菌的光复活。

2.3 紫外线强度对光复活的影响

固定紫外线剂量为 $40\text{ mJ}/\text{cm}^2$, 考察紫外线强度分别为 0.153 和 $0.038\text{ mW}/\text{cm}^2$ 时的大肠杆菌光复活情况, 结果见图 3。

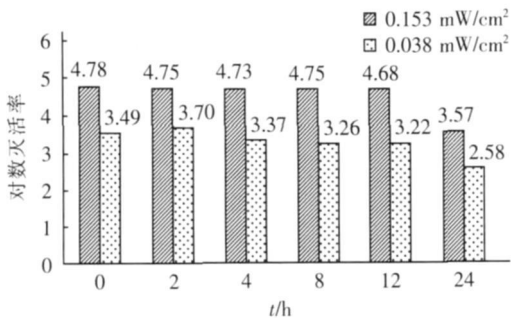


图 3 不同紫外线强度对大肠杆菌光复活的影响

Fig. 3 Influence of different UV intensities on photoreactivation of *E. coli*

由图 3 可知, 经强度为 $0.153\text{ mW}/\text{cm}^2$ 的紫外线照射后, 大肠杆菌在可见光照射的 12 h 内几乎无复活现象, 随着可见光照射时间的延长, 复活的大肠杆菌数量逐渐增加, 在照射 24 h 后大肠杆菌的复活率为 1.21 个对数级; 而经强度为 $0.038\text{ mW}/\text{cm}^2$ 的紫外线照射后, 大肠杆菌光复活现象在可见光照射 4 h 时就开始趋于明显, 照射 24 h 后复活率达到 0.91 个对数级, 尽管从复活率角度看, 经高强度紫外

线照射后大肠杆菌的复活率较高 (高了 0.3 个对数级), 但由于试验是对大肠杆菌灭活率的对数进行比较, 所以整体来说, 高强度紫外线的灭活效果明显优于低强度的 (前者为 4.54 个对数级, 后者为 3.27 个对数级)。可见在相同紫外线剂量下, 高强度紫外线对大肠杆菌光复活的控制作用较强。

2.4 可见光强度对光复活的影响

试验还考察了紫外线强度为 $0.153\text{ mW}/\text{cm}^2$ 、紫外线剂量为 $60\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时, 可见光强度对大肠杆菌光复活的影响情况。结果表明, 日照 2 h 时, 经高强度可见光照射后大肠杆菌的光复活率为 0.5 个对数级、经低强度可见光照射后大肠杆菌的光复活率为 0.36 个对数级; 而光照 24 h 时, 经高强度可见光照射后大肠杆菌的光复活率为 1.8 个对数级、经低强度可见光照射后大肠杆菌的光复活率仅为 0.58 个对数级。由此可见, 高强度可见光照射对大肠杆菌的光复活具有促进作用。

3 结论

紫外线强度及剂量的大小对大肠杆菌的灭活有一定的影响, 高强度及高剂量的紫外线照射有利于提高对大肠杆菌的灭活效果, 即当紫外线强度一定时, 其照射剂量越大则大肠杆菌的复活率越低, 而当紫外线剂量一定时, 大肠杆菌的复活率随紫外线强度的升高而降低; 经高强度紫外线照射后, 大肠杆菌发生光复活现象的时间会晚于低强度时的。高强度可见光照射对大肠杆菌光复活具有促进作用。

参考文献:

[1] 陈健, 王长生, 张国占, 等. 紫外线消毒技术在给排水中的应用 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(7): 29-31.
[2] 张永吉, 刘文君. 紫外线对自来水中微生物的灭活作用 [J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 1-4.
[3] 刘佳, 黄翔峰, 陆丽君, 等. 紫外消毒出水的微生物光复活及其控制技术 [J]. 中国给水排水, 2006, 22(15): 1-4, 8.
[4] Sakai H, Oguma K, Katayama H, et al. Effects of low or medium-pressure UV irradiation on the release of intracellular microcystin [J]. Water Res, 2007, 41(15): 3458-3464.

E-mail sunwen-sophia@163.com

收稿日期: 2010-09-13