

研究论文

# 氧化电位水的稳定性和杀菌机理

任占冬<sup>1</sup>, 朱玉婵<sup>2</sup>, 张智勇<sup>1</sup>, 张 奇<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 武汉工业学院化学与环境工程系, 湖北 武汉 430023; <sup>2</sup> 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; <sup>3</sup> 武汉丽辉新技术有限公司, 湖北 武汉 430023)

**摘要:** 考察了保存方式、搅拌和温度对氧化电位水 (EOW) 稳定性的影响。结果表明, 三者对 EOW 的 pH 值和氧化还原电位 (ORP) 影响均不大, 但对有效氯值 (ACC) 影响很大。在敞口见光的保存方式下, 有效氯值呈现出有规律的衰减; 闭口见光保存时有效氯减少变慢, 闭口避光时有效氯保存最为稳定。搅拌 ( $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 会使有效氯减少速率常数  $k$  值增加 5 倍。温度升高对有效氯减少影响很大, 当温度为  $50^\circ\text{C}$  时, 5 min 内有效氯值下降 46.09%, 其反应活化能为  $76.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。另外, 通过测试不同有效氯值的 EOW 杀菌能力, 发现有效氯值对 EOW 杀菌能力影响很大, 当有效氯值大于  $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 杀菌效率可达 99%; 当有效氯值为  $20.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 杀菌效率为 92.73%; 而当有效氯值为  $6.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 杀菌效率仅为 83.30%。所以保持 EOW 的稳定性有利于 EOW 的杀菌作用。

**关键词:** 氧化电位水; 稳定性; 杀菌机理; 保存方式

中图分类号: O 064

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2008) 06-1515-07

## Stability and sterilization mechanism of electrolyzed oxidizing water

REN Zhandong<sup>1</sup>, ZHU Yuchan<sup>2</sup>, ZHANG Zhiyong<sup>1</sup>, ZHANG Qi<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Department of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Polytechnic University,

Wuhan 430023, Hubei, China; <sup>2</sup> Department of Physics, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China;

<sup>3</sup> Wuhan Lihui New Technology Company, Wuhan 430023, Hubei, China)

**Abstract:** The influences of temperature, stirring and preservation state on the stability of electrolyzed oxidizing water (EOW) were investigated. Temperature, stirring and preservation state had prominent effect on the available chlorine content (ACC) of EOW, while they had no effect on the value of pH and reductant-oxidant potential (ORP). In open and lighted conditions, ACC decreased regularly. In closed and lighted conditions, ACC decreased slowly. In closed and dark conditions, ACC almost did not change. Stirring ( $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) makes ACC decrease quickly and the rate constant "k" increased by five times. When temperature was  $50^\circ\text{C}$ , ACC decreased by 46.09% in five minutes and the reaction activation energy was  $76.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . By studying the sterilizing effect of EOW with different ACC, it was found that ACC also had remarkable influence on the sterilizing effect. When ACC was more than  $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , the ratio of sterilization reached more than 99%; when ACC was  $20.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , the ratio of sterilization was 92.73%; when ACC was  $6.82 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , the ratio of sterilization was only 83.30%. To improve the sterilizing effect of EOW, the stability of EOW should be enhanced to keep a upper value of ACC.

**Key words:** electrolyzed oxidizing water; stability; sterilizing mechanism; preservation state

2007-10-15 收到收稿, 2007-12-24 收到修改稿。

联系人及第一作者: 任占冬 (1978—), 男, 硕士研究生, 讲师。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60736042); 国家高技术研究发展计划项目 (2003AA311090); 湖北省自然科学基金项目 (2007ABA279)。

Received date: 2007-10-15.

Corresponding author: REN Zhandong. E-mail: renzhandong@163.com

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (60736042), High-tech Research and Development Program of China (2003AA311090), and the Natural Science Foundation of Hubei Province (2007ABA279).

## 引 言

氧化电位水 (electrolyzed oxidizing water, EOW) 是一种低 pH 值 (<2.7)、高氧化还原电位 (ORP>1100 mV)、低有效氯浓度 (ACC) 且对环境无污染的新型杀菌剂<sup>[1]</sup>。EOW 的研究始于日本<sup>[2]</sup>, 具有杀菌广谱、迅速、强力、持续等特点。利用 EOW 可以在短时间内杀灭大肠杆菌<sup>[3]</sup>、*Listeria monocytogenes*<sup>[4]</sup>、枯草杆菌<sup>[5]</sup>、沙门氏菌<sup>[6]</sup>、乙型肝炎、艾滋病毒<sup>[7]</sup>、*Klebsiella pneumoniae* 杆菌<sup>[8]</sup>、金黄色葡萄球菌<sup>[9]</sup>等。EOW 最早用于医院消毒, 包括内镜、胃镜等医疗器械消毒, 手消毒, 病房空气消毒, 阴道炎抗菌, 治疗口腔溃疡等。近年来, 国外广泛开展 EOW 对水果、蔬菜、肉类等消毒的研究, 还有对家禽消毒和农产品生长促进作用等方面的研究, 取得很多进展<sup>[10-19]</sup>, 但国内对此研究甚少。此外, 电位水还常用在电子工业的清洗, 如液晶材料和产品<sup>[20]</sup>等。

对于 EOW 的杀菌机理, 主要存在两种猜测: 一种是物理因素学说<sup>[3]</sup>, 包括氧化还原电位 (ORP)、电子活动度、电传导因素学说, 其中以 ORP 因素最为突出; 一种是化学因素学说<sup>[21-23]</sup>, 即以有效氯含量因素为主。对于 EOW 的稳定性, 国外学者近年来开始研究<sup>[24-25]</sup>, 而国内对 EOW 稳定性的研究还是空白。前期, 本文作者已经对 EOW 制备工艺进行了详细的研究<sup>[26]</sup>, 考察了电解质浓度、电流密度、电解时间、电极材料和离子膜类型等因素对 EOW 性能的影响。本文对 EOW 稳定性的影响因素及其对杀菌效果的影响及杀菌机理进行了初步研究。

## 1 材料和方法

## 1.1 实验试剂与仪器

二亚硝基二氨铂 (Pt 含量 >59%), 纯钛板 (TA2), 均相阳离子交换膜, 铂电极, 氨水, 氨基磺酸, 电镀添加剂 A, HF, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, NaCl, KCl, NaOH, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KI, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>, 可溶性淀粉, 营养琼脂, 无水乙醇, 胰蛋白胨, 酵母膏, 以上试剂均为分析纯。

恒电流电压仪 (深圳市兆信电子仪器设备厂), ORP 指示计 (杭州东星仪器设备厂), pH S-3C 数字酸度计 (杭州东星仪器设备厂), 不锈钢双层立

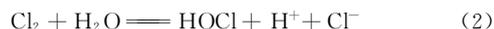
式电热蒸汽压力消毒器 (上海三申医疗器械有限公司), 生化培养箱 (广东韶关科力公司), 双层空气恒温振荡器 (哈尔滨市东明医疗仪器厂), 电热恒温鼓风干燥箱 (上海精宏试验设备有限公司), 隔水式电热恒温培养箱 (上海跃进医疗器械厂), 标准型洁净工作台 (苏州净化设备有限公司), 微型旋涡混合仪 (上海沪西分析仪器厂有限公司)。

## 1.2 检测方法

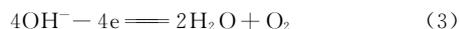
pH 值: pH 酸度计测定; ORP 值: ORP 电位测定仪进行测定; 有效氯: 碘量法滴定。

## 1.3 实验原理及过程

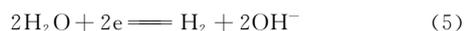
EOW 生成原理是阳极主要发生析氯反应



阳极还会发生析氧反应



阴极反应为析氢反应



如图 1 所示, 电解过程是在自制电解槽中, 阳极采用自制镀铂钛电极, 阴极采用钛板, 有效面积均为 1 cm<sup>2</sup>。中间用均相阳离子交换膜将电解槽分成阳极区和阴极区, 体积均为 50 ml。电解过程中, 添加 0.08% (质量) NaCl 溶液作为电解质, 电流密度为 10 A·dm<sup>-2</sup>, 电极间距为 2 cm, 电解时间为 10~30 min。电解结束后, 在阳极区得到酸性氧化电位水。

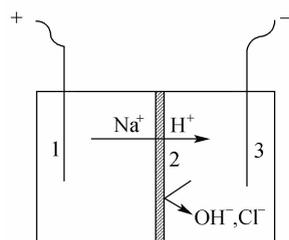


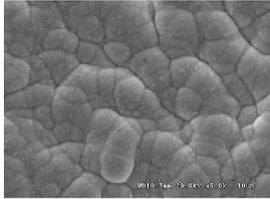
图 1 酸性氧化电位水制备过程

Fig. 1 Preparation of electrolyzed oxidizing water  
1—anode; 2—cation exchange membrane; 3—cathode

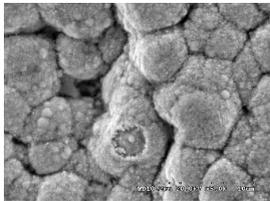
## 1.4 电极制备与表征

以二亚硝基二氨铂为主盐, 以氨基磺酸和电镀添加剂 A 为添加剂, 用氨水调节 pH 值配制电镀溶液。阳极采用铂电极, 阴极采用预处理过的钛板, 有效面积 1 cm<sup>2</sup>。在电流为 10 mA, 温度为 85℃ 下电镀 30 min。然后将其取出, 放在真空马

弗炉里,在 300℃ 下煅烧 30 min;再在氧气氛中,升温至 450℃,煅烧 1 h,得到钛基镀铂电极。其煅烧前后表面 SEM 如图 2,从中可以看出,煅烧后电极表面突起和裂纹加深,由此产生电极催化活性面积增多,使其更有利于电解。



(a)



(b)

图 2 高温煅烧前后电极表面 SEM

Fig. 2 SEM of electrode surface before (a) and after (b) high-temperature calcination

将煅烧前后电极性能进行对比,结果如表 1。可以看出经过煅烧后电解产生 EOW 的有效氯值明显增加,说明煅烧后的电极析氯活性更大一些。煅烧前后 pH 值和 ORP 值相差不大。

表 1 电极煅烧对 EOW 的影响

Table 1 Effect of electrode calcination on capability of EOW

Calcination	pH	ORP/mV	ACC/mg · L <sup>-1</sup>
before	2.03	1090	30.62
after	2.08	1110	69.99

## 1.5 酸性氧化电位水杀菌实验操作

1.5.1 菌种 细菌为第六代枯草杆菌黑色变种芽孢(ATCC)。

1.5.2 中和剂 A: 磷酸盐缓冲液(PBS, 0.03 mol · L<sup>-1</sup>, pH7.2), 高压灭菌, 4℃ 保存。B: 0.5% (质量) Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 高压灭菌。

1.5.3 菌悬液的制备 按照卫生部消毒技术规范,将枯草杆菌黑色变种芽孢配制成 7.26 × 10<sup>7</sup> cfu · ml<sup>-1</sup> 的芽孢悬液。

1.5.4 菌悬液定量杀菌实验 杀菌实验采用定量悬浮实验法、平板计数法。其操作过程如下: 在无菌条件下取制好的枯草杆菌菌悬液 0.1 ml 加入灭

菌后的离心管中,分别向其中加入电位水 0.9 ml, 振荡均匀。30 min 后,取 0.05 ml,加入中和剂 0.45 ml 终止杀菌,之后进行 10 的倍数稀释,用移液枪取后,用平板计数法计活菌数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 保存方式对 EOW 性能的影响

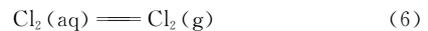
首先,考察了不同保存方式(敞口见光、闭口见光、闭口避光)对 EOW 稳定性的影响。

表 2 不同保存方式对 EOW 的 ACC 值影响

Table 2 Effect of different preservation states on ACC of EOW

t/min	ACC/mg · L <sup>-1</sup>		
	Open, light	Close, light	Close, dark
0	27.19	27.19	27.19
90	12.41	20.30	27.13
150	8.384	14.20	26.86
210	5.521	9.200	25.90
270	2.897	7.800	25.97

从表 2 发现在见光的情况下,无论敞开还是封闭保存, EOW 中有效氯含量都会减少,其中敞口系统减少得更快。为了说明在敞开系统中有效氯减少的机理,对整个体系动力学进行了研究。首先做如下假设:(1)有效氯的损失主要来源于 EOW 中溶解的氯气蒸发,其反应为



(2) EOW 是浓度很低的含氯溶液,其中溶解的氯气应符合亨利定律;(3)设定  $r$  为 EOW 中溶解的氯气浓度 ( $C_{ct}$ ) 和总有效氯 ( $C_t$ ) 的比值,其在任何时间下均为常量;(4)氯气的界面质量转移系数  $k_m$  是常数;(5)设定空气中氯气含量为零,即氯气分压  $p_a=0$ 。

在以上假设基础上,可以得到

$$-V \frac{dC_t}{dt} = -V \frac{dC_{ct}}{rdt} = \frac{1}{r} k_m A (p_t - p_a) = \frac{1}{r} k_m A p_t \quad (7)$$

其中,  $p_t$  为某一时间下界面上氯气的实际压力;  $A$  为界面面积;  $r$  为  $C_{ct}/C_t$ 。因为表面的氯气浓度和溶液中氯气的浓度符合亨利定律,所以  $p_t = x_t K$  ( $x_t$  为氯气的摩尔分数)。将此式带入式(7),可得

$$-\frac{dC_t}{dt} = \frac{k_m A a K}{V} C_t = k' C_t \quad (8)$$

其中,  $a$  为  $C_{ct}$  与  $x_t$  之间的转化系数,  $x_t = a C_{ct} = ar C_t$ ,  $k' = \frac{k_m A a K}{V}$  为常数。

如上所述, 在敞口见光的情况下有效氯减少可以用式 (8) 来表示, 常数  $k'$  可以通过实验求得。在温度 25℃ 时初始有效氯浓度为 27.19 mg · L<sup>-1</sup> 下, 考察了有效氯浓度随时间的变化, 结果如图 3。对图中数据进行指数拟合, 得到拟合函数为  $-\frac{dC_t}{dt} = 0.00802 C_t$  ( $R^2 = 0.9936$ ), 所以此时  $k = 0.00802$ 。

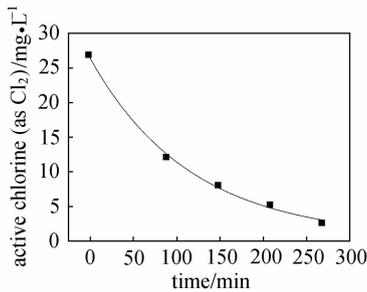


图 3 在敞口情况下 EOW 有效氯浓度随时间的变化  
Fig. 3 Active chlorine profile of EOW with different temperature under open condition

当保存方式改为闭口见光时, 由于  $p_a$  不为零, 所以有效氯含量随时间的变化不能用式 (8) 表示。但由式 (7) 可以看出, 其有效氯减少的速度要明显低于敞口见光保存, 其随时间变化见表 2。另外, 考察了在闭口的条件下见光与不见光两种保存方式对 EOW 的影响, 结果如表 2, 从中可以看出避光情况下有效氯减少速度要小得多。此外, 无论是何种保存方式, 对 EOW 的 pH 值和 ORP 值影响都比较小 (表 3)。但综合比较, 还是闭口避光的情况下, pH 值和 ORP 值变化最小。因此在闭口避光的条件下, EOW 稳定性最好。

表 3 不同保存方式对 EOW 的 pH 值和 ORP 值影响  
Table 3 Effect of different preservation states on pH and ORP of EOW

$t$ /min	Open, light		Close, light		Close, dark	
	pH	ORP/mV	pH	ORP/mV	pH	ORP/mV
0	2.47	1109	2.47	1109	2.47	1109
90	2.54	1066	2.46	1094	2.43	1106
150	2.50	1064	2.43	1088	2.46	1106
210	2.56	1045	2.40	1079	2.45	1106
270	2.58	1020	2.38	1063	2.46	1107

## 2.2 搅拌对 EOW 性能的影响

考察了搅拌对 EOW 性能的影响。将制备出的酸性氧化电位水分别放置到两个敞口烧杯中, 体积

相同。在一个烧杯中进行磁力搅拌 (100 r · min<sup>-1</sup>); 另外一个烧杯采用静置放置。在不同搅拌时间下测得 EOW 的 pH 值和 ORP 值, 结果如表 4, 可以看出在短时间内, 搅拌对 EOW 的 pH 值、ORP 值影响不大, 和静置放置时相近。

表 4 搅拌对 EOW 的 pH 值和 ORP 值影响  
Table 4 Effect of stir on pH and ORP of EOW

$t$ /min	Stir		Still	
	pH	ORP/mV	pH	ORP/mV
0	1.50	1170	1.50	1170
5	1.50	1163	1.52	1159
10	1.48	1163	1.48	1149
20	1.50	1158	1.56	1137
30	1.50	1156	1.56	1123

但搅拌对有效氯含量影响较大, 如图 4, 10 min 后静置放置的 EOW 有效氯含量减少 10.72%; 而搅拌的 EOW 有效氯含量减少 54.68%。30 min 后静置放置的 EOW 有效氯含量减少 29.76%; 而搅拌的 EOW 有效氯含量减少 86.82%。这是因为有效氯主要是以 Cl<sub>2</sub>、ClO<sub>2</sub>、HClO 和溶解的活性氧等形式存在, 搅拌会使溶解的 Cl<sub>2</sub>、ClO<sub>2</sub> 和活性氧挥发, 使溶液中有效氯含量减少。对图 4 的曲线进行拟合, 分别得到  $-\frac{dC_t}{dt} = 0.01257C_t$  ( $R^2 = 0.9831$ ) 和  $-\frac{dC_t}{dt} = 0.06346C_t$  ( $R^2 = 0.9729$ ),  $k$  值分别为 0.01257、0.06346。可见搅拌使  $k$  值提高了 5 倍, 大大加速了有效氯的减少。

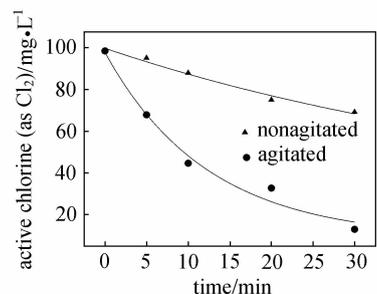


图 4 搅拌对 EOW 中 ACC 值的影响  
Fig. 4 Effect of stir on ACC of EOW

## 2.3 温度对 EOW 性能的影响

考察了不同温度下 EOW 的 pH 值、ORP 值和 ACC 值的变化, 结果如表 5, 从中可以看出, 在考察的温度范围内, 随着温度的升高, pH 值略微增加, ORP 值略微降低, 但影响均较小。ACC 值

受温度影响很大，温度在 20、30、40、50℃ 时，加热 5 min，ACC 值分别降至 81.03、78.72、75.32、44.64 mg · L<sup>-1</sup>，分别降低了 2.15%、4.94%、9.04%、46.09%。根据 Arrhenius 公式  $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ ，反应速率常数  $k$  与反应温度  $T$  有如下关系： $\lg k = \lg A - \frac{E_a}{2.303RT}$ 。以  $\lg k - \frac{1}{T}$  作图（见图 5），得到斜率为 -4008.91，所以  $E_a = 4008.91 \times R \times 2.303 = 76.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

表 5 温度对 EOW 的 pH 值和 ORP 值影响  
Table 5 Effect of temperature on pH and ORP of EOW

T/℃	pH	ORP/mV	ACC/mg · L <sup>-1</sup>
20	2.23	1141	81.03
30	2.21	1141	78.72
40	2.27	1140	75.32
50	2.35	1130	44.64

Note: Initial EOW character: pH = 2.24, ORP = 1143 mV, ACC = 82.81 mg · L<sup>-1</sup>, t = 5 min.

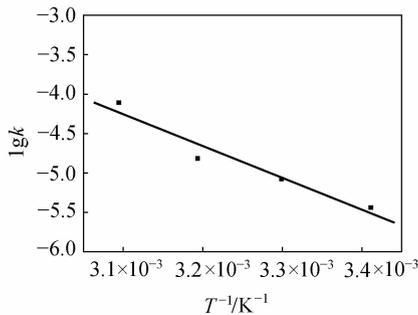


图 5 lgk-1/T 关系图

Fig. 5 lgk as function of 1/T

### 2.4 稳定性对 EOW 杀菌效果的影响

通过以上稳定性的考察，可以发现搅拌、加温和保存方式对 EOW 的 ACC 值影响最大。以枯草杆菌黑色变种芽孢为杀菌对象，考察不同 ACC 值

的 EOW 杀菌能力，从而考察 EOW 稳定性对其杀菌效果的影响，并初步探讨其杀菌机理，结果如表 6。这 5 种杀菌液具有非常相似的 pH 值和 ORP 值，且都在微生物能够生存的范围之外（pH = 3 ~ 10，ORP = -400 ~ +900 mV），但它们 ACC 值依次减小，从 72.90 mg · L<sup>-1</sup> 到 6.82 mg · L<sup>-1</sup>。从表 6 可以看出，EOW 的杀菌效果随着 ACC 值的下降呈下降的趋势。当有效氯含量大于 38 mg · L<sup>-1</sup> 时，杀菌液灭菌效率都达到 99% 以上；当有效氯含量在 20 ~ 38 mg · L<sup>-1</sup> 时，灭菌效率大于 92%；而当有效氯含量小于 20 mg · L<sup>-1</sup> 时，如 No. 5，灭菌效果较差，仅为 83.30%，比 No. 1 杀菌液杀菌后的菌液浓度相差 2 个数量级。由此可见：ACC 值对氧化电位水的杀菌影响很大。但当氧化电位水中 ACC 含量仅为 6.82 mg · L<sup>-1</sup> 时，对细菌仍有 83.30% 的杀菌率，说明 EOW 中高 ORP 值和低 pH 值对杀菌也起到一定的作用，所以氧化电位水杀菌作用是各个因素的综合结果。但 ACC 值较低时，其杀菌力较差，所以一定的 ACC 含量是保证其快速、强力杀菌的主要影响因素。另外，通过前面研究得出其稳定性的改变主要是 ACC 值的改变，为了保证氧化电位水的快速、强力的杀菌效果，必须采用一定方式使 EOW 中 ACC 值稳定，如上述闭口避光的方式，并注意低温，减少振荡。

### 3 结 论

本文考察了氧化电位水的稳定性，及其对杀菌效果的影响，并初步探讨了杀菌机理。考察了温度、搅拌和保存方式对 EOW 稳定性的影响。表明三者对 EOW 的 pH 值和 ORP 值影响均不大，而对 ACC 值影响很大。在敞口见光的情况下，ACC

表 6 不同有效氯含量 EOW 的灭菌率  
Table 6 Ratio of sterilization of EOW with different ACC

No.	pH	ORP/mV	ACC/mg · L <sup>-1</sup>	Bacteria number with different dilution multiple <sup>①</sup>			Bacteria concentration after sterilization/cfu · ml <sup>-1</sup>	Ratio of sterilization/%
				10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>		
1	2.12	1137	72.90	47	5	0	1.55 × 10 <sup>5</sup>	99.89
2	2.13	1131	54.02	69	6	0	2.28 × 10 <sup>5</sup>	99.72
3	2.13	1129	38.32	182	14	1	4.60 × 10 <sup>5</sup>	99.37
4	2.18	1115	20.57	—	157	16	5.28 × 10 <sup>6</sup>	92.73
5	2.23	1105	6.82	—	301	37	1.21 × 10 <sup>7</sup>	83.30

① Dilution multiple: multiple of initial bacteria.

Note: Initial bacteria concentration: 7.26 × 10<sup>7</sup> cfu · ml<sup>-1</sup>; sterilizing time: 30 min.

值的变化符合公式  $-\frac{dC_t}{dt} = kC_t$ , 闭口见光情况下, ACC 值减少速度变慢。搅拌会使其  $k$  值增加, 使 ACC 值减少得更快。温度的升高对 ACC 值影响也很大, 当温度高于  $50^\circ\text{C}$  时, 5 min 内 ACC 下降 46.09%, 其反应活化能为  $76.76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。所以避光、密封、低温和减少振荡有利于 EOW 的保存。通过不同 ACC 值的 EOW 杀菌能力的考察, 发现 ACC 值是 EOW 强力、快速杀菌能力的主要影响因素。

## References

- [1] Nakagawara S, Goto T, Nara M. Spectroscopic characterization and the pH dependence of bactericidal activity of the aqueous chlorine solution. *Analytical Sciences*, 1998, **14**: 6918
- [2] Shimizu Y, Hurusawa T. Antiviral, antibacterial, and antifungal actions of electrolyzed oxidizing water through electrolysis. *Dental. J.*, 1992, **37**: 1055
- [3] Kim C, Hung Y C, Brackett R E. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens. *Journal of Food Protection*, 2000, **63**: 19
- [4] Kim C, Hung Y C, Brackett R E, Frank J F. Inactivation of *Listeria monocytogenes* biofilms by electrolyzed oxidizing water. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2001, **25**: 91
- [5] Venkitanarayanan K S, Ezeike G O I, Hung Y C, Doyle M P. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, **65**: 4276
- [6] Kim C, Hung Y C, Brackett R E, Lin C S. Efficacy of electrolyzed oxidizing water in inactivating *Salmonella* on alfalfa seeds and sprouts. *Journal of Food Protection*, 2003, **66**: 208
- [7] Morita C, Sano K, Morimatsu S, Kiura H, Goto T, Kohno T, Hong W, Miyoshi H, Iwasawa A, Nakamura Y, Tagawa M, Yokosuka O, Saisho H, Maeda T, Katsuoka Y. Disinfection potential of electrolyzed solutions containing sodium chloride at low concentrations. *Journal of Virological Methods*, 2000, **85**: 163
- [8] Henry Bergmann, Tatiana Ioutchouk, Kristin Schops. New UV irradiation and direct electrolysis-promising methods for water disinfection. *Chem. Eng.*, 2002, **85**: 111
- [9] Suzuki T, Itakura J, Watanabe M, Ohta M. Inactivation of *Staphylococcal enterotoxin-A* with an electrolyzed anodic solution. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2002, **50**: 230
- [10] Al-Haq M I, Seo Y, Oshita S, Kawagoe Y. Fungicidal effectiveness of electrolyzed oxidizing water on postharvest brown rot of peach. *Hort Science*, 2001, **36** (7): 1310
- [11] Al-Haq M I, Seo Y, Oshita S, Kawagoe Y. Disinfection effects of electrolyzed oxidizing water on suppressing fruit rot of pear caused by *Botryosphaeria berengeriana*. *Food Research International*, 2002, **35** (7): 657
- [12] Fabrizio K A, Sharma R R, Demirci A, Cutter C N. Comparison of electrolyzed oxidizing water with various antimicrobial interventions to reduce *Salmonella* species on poultry. *Poultry Science*, 2002, **81**: 1598
- [13] Park C M, Hung Y C, Brackett R E. Antimicrobial effect of electrolyzed water for inactivating *Campylobacter jejuni* during poultry washing. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, **72**: 77
- [14] Russell S M. The effect of electrolyzed oxidative water applied using electrostatic spraying on pathogenic and indicator bacteria on the surface of eggs. *Poultry Science*, 2003, **82**: 158
- [15] Koseki S, Yoshida K, Kamitani Y, Itoh K. Influence of inoculation method, spot inoculation site, and inoculation size on the efficacy of acidic electrolyzed water against pathogens on lettuce. *Journal of Food Protection*, 2003, **66**: 2010
- [16] Sharma R R, Demirci A. Treatment of *Escherichia coli* O157: H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, **86**: 231
- [17] Okull D O, Laborde L F. Activity of electrolyzed oxidizing water against *Penicillium expansum* in suspension and on wounded apples. *Journal of Food Science*, 2004, **69**: 23
- [18] Bari M L, Sabina Y, Isobe S, Uemura T, Isshiki K. Effectiveness of electrolyzed acidic water in killing *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes* on the surfaces of tomatoes. *Journal of Food Protection*, 2003, **66**: 542
- [19] Park H, Hung Y C, Kim C. Effectiveness of electrolyzed water as a sanitizer for treating different surfaces. *Journal of Food Protection*, 2002, **65**: 1276
- [20] Sumida Nobuo. Method for producing water and water obtained; JP, 08-001160. 1996
- [21] Denyer S P, Stewart G S A B. Mechanism of action of disinfectants. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 1988, **41**: 261
- [22] Park H, Hung Y C, Chung D W. Effects of chlorine and pH on efficacy of electrolyzed water for inactivating

- Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes*. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, **91**: 13
- [23] Kiura H, Sano K, Morimatsu S. Bactericidal activity of electrolyzed acid water from solution containing sodium chloride at low concentration, in comparison with that at high concentration. *Journal of Microbiological Methods*, 2002, **49**: 285
- [24] Shun Yao Hsu, Hsiao Yuan Kao. Effects of storage conditions on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water. *Journal of Food Engineering*, 2004, **65**: 465
- [25] Len S V, Hung Y C, Chung D. Effects of storage conditions and pH on chlorine loss in electrolyzed oxidizing water. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50** (1): 209
- [26] Ren Zhandong (任占冬), Yi Jialing (易嘉玲), Zhang Qi (张奇). Preparation of electrolyzed-oxidizing water. *Technology of Water Treatment (水处理技术)*, 2006, **32** (10): 60-62