

酸性氧化电位水制备和杀菌机理的研究进展

王文清, 陈红梅, 张选明, 朱玉婵, 任占冬

(武汉工业学院化学与环境工程系, 湖北 武汉 430023)

摘要: 综述了酸性氧化电位水的杀菌特性、杀菌机理、安全性和应用研究进展及制备工艺, 指出电极材料研究是目前进一步研究的重点, 是提高酸性氧化电位水制备效率的关键因素, 应通过对酸性氧化电位水具体组分的测定来加强杀菌机理的研究。

关键词: 酸性氧化电位水; 制备工艺; 杀菌机理

中图分类号: R991.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2008)11-0024-05

Progress in preparation and sterilizing mechanism of electrolyzed oxidizing water

WANG Wen-qing, CHEN Hong-mei, ZHANG Xuan-ming, ZHU Yu-chan, REN Zhan-dong

(Department of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: The research advances in the sterilization characteristics, killing mechanism, safety, applications of electrolyzed oxidizing water (EOW) and its preparation technology are recommended. It is pointed out that the electrode material which is an important factor to enhance the electrolytic efficiency should be emphasized in the further EOW's study, the sterilizing mechanism should be investigated through the analysis of the compositions of EOW.

Key words: electrolyzed oxidizing water; preparation technology; sterilizing mechanism

酸性氧化电位水是一种低 pH(2.7 以下)、高氧化还原电位值(ORP > 1 100 mV)、具有一定有效氯含量(质量浓度 50 ~ 80 mg/L)特殊功能的水, 其无色透明, 无明显刺激和异味, 外观似自来水。酸性氧化电位水诞生于 20 世纪 80 年代后半期, 最初起源于日本, 用于杀灭耐甲氧四林的金黄色葡萄球菌(MRSA)。经过多年的研究和实践, 证实它具有杀菌广谱、迅速、使用方便、成本低、对人体无毒副作用、无残留等优点, 现在日本、韩国、美国、欧洲等国家得到了广泛应用。1995 年酸性氧化电位水引进我国, 其开发和利用已获卫生部卫生许可, 符合我国资源节约型和环境友好型产业政策要求。

1 杀菌特性和安全性

酸性氧化电位水具有杀菌广谱, 可以在短时间内杀灭 *Pseudomonas aeruginosa*^[1-2]、*Staphylococcus aureus*^[2-3]、*S. epidermidis*、*E. coli* O157:H7^[4-7]、*Salmonella Enteritidis*^[7]、*Salmonella Typhimurium*^[8]、*Bacillus cereus*^[2,9-10]、*Listeria monocytogenes*^[2,6,8]、*Mycobacterium tuberculosis*^[11]、*Campylobacter jejuni*^[12]、

Enterobacter aerogenes^[3]、*Vibrio parahaemolyticus*^[13-14] 等多种细菌, 而且至今为止尚未出现过发现耐性菌的报告, 并且从作用原理上可以判断, 出现耐性菌的机率微乎其微。另外, 酸性氧化电位水还可以杀灭血液的病原体, 如 *hepatitis B virus* (HBV)、*hepatitis C virus* (HCV)、*human immunodeficiency virus* (HIV)。

酸性氧化电位水很安全, 在急性毒性和亚急性毒性等各种实验中已经得到了确认对人体无害^[15], 急性经口 LD₅₀ 大于 21 500 mg/(kg·bw), 属实际无毒物, 是一种安全的消毒剂^[16]。这是因为虽然它具有很强的酸性, 但其与盐酸和硫酸不同, 没有腐蚀性, 它一接触皮肤就会放出电子, 致使 ORP 值下降, pH 恢复到中性。酸性氧化电位水在日本已经被指定为食品杀菌剂, 说明其是十分安全的。酸性氧化电位水对环境没有污染, 时间延长、振荡和搅拌都会使 pH 上升, ORP 值下降和有效氯的损失, 或当接触空气、光线、有机物, 或利用蒸馏水和去离子水的稀释, 或者加热到 50℃ 以上时, 它就变成普通水。由于酸性氧化电位水的杀菌特性和安全性, 其目前应用研究范围很广, 如表 1 所示。

收稿日期: 2008-08-06; 修回日期: 2008-09-22

作者简介: 王文清(1973-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为应用化学; 任占冬(1978-), 硕士, 讲师, 研究方向为应用化学, 通讯联系人, renzhandong@163.com。

表1 酸性氧化电位水的应用^[17-21]

领域	具体应用
医疗	手消毒、内窥镜消毒、病房空气消毒、血液透析机、清洗口腔、治疗口腔溃疡、阴道炎、特异性皮炎、擦伤、切伤、压疮、烧伤、术创、坏疽等
农业	碱性土壤改良、减农药栽培(水稻、水果、蔬菜)、温室大棚管理
食品	大豆、大米、蔬菜、草莓、葡萄、梨、土豆、番茄、猪肉、胡萝卜、甜椒、菠菜、茼蒿、芫荽叶、香肠、火腿、鸡蛋、牛奶
水产	鱼、水产品器械
畜产	大幅度提高牲畜的自身免疫和抗病毒能力
其他	空气消毒、草坪消毒

2 制备研究进展

2.1 制备原理

EOW 制备通常是在特制的离子膜电解槽中, 添加一定浓度的食盐水(质量浓度小于 1.0 g/L), 在一定电流密度下进行电解。这样在阳极侧得到酸性氧化电位水, 其主要成分为氯气、次氯酸、次氯酸根、盐酸、溶解氧和臭氧等。其原理是: 阳极主要发生析氯反应、析氧反应。另外, 在阴极侧产生碱性电位水, 其 pH 大于 11.0, ORP 值小于 -900 mV, 其主要成分为氢气和稀氢氧化钠溶液, 具有很强的清洗作用。其阴极反应主要是析氢反应, 反应原理如图 1 所示。

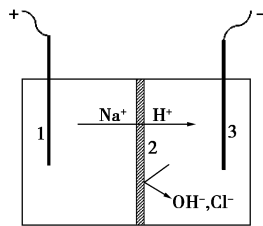
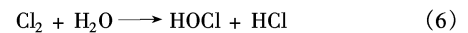
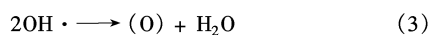
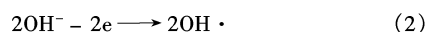
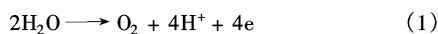
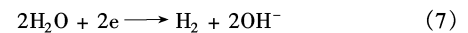


图1 酸性氧化电位水制备过程

阳极反应:



阴极反应:



2.2 制备工艺研究

目前对 EOW 制备工艺的研究报道较少, 2003 年 Hsu^[22]首次探讨了流速、盐浓度和温度对 EOW 制备的影响; 同期笔者所在课题组在国内率先开展酸性氧化电位水制备工艺的研究^[22-25], 详细地研究了电解质浓度、电解质种类、电流密度、电解时间、电极间距、离子膜种类和电解方式等对酸性氧化电位水制备的影响。近年来, 国内庄琳懿^[21]、黄少丽^[26]、杨敏^[27]和董铁有^[28]等也对酸性氧化电位水制备影响因素进行了研究, 下面从电极材料、离子隔膜和工艺优化 3 个方面来介绍。

2.2.1 电极材料的研究

对电极材料的研究主要集中于阳极材料的研制。研究表明, 钛铱合金电极比纯钛电极延长了极板的使用寿命, 能大大改善极板的腐蚀、极化和结垢问题, 提高电解效率^[26]。钛基涂钉铱(高铱含量) DSA 阳极电解效率较高, 其产生有效氯质量浓度为 24.7 ~ 37.6 mg/L, 而铂电极产生有效氯质量浓度仅为 3 mg/L^[27]。此外, 网状电极电解制备 EOW 的 pH 几乎都低于平板电极, 而 ORP 值则比较接近, 总氧化物量大都低于平板电极, 单位能耗仅为平板电极的 44%^[21]。这是由于网状电极的结构更有利于气泡的逸散, 从而使电极活性面积保持不变, 消除气泡效应。笔者所在课题组也对电极材料进行了详细研究, 开发出析氯电位低、又具有一定析氧电位的新型二元氧化物阳极材料, 该阳极材料电解产生有效氯质量浓度为 40 ~ 100 mg/L, 而铂电极电解产生有效氯质量浓度仅为 10 mg/L, 所以大大提高电解效率, 降低能耗。另外, 笔者所在课题组也对电镀铂电极进行了改性修饰, 改性后的铂电极的有效氯含量提高了 1 倍; 此外也对阴极电极材料进行了研究, 发现利用纯钛电极代替铂电极和氧化物电极不会影响

(上接第 23 页)

- [34] Lei J, Sreekanth P M, Smirniotis P G, et al. Manganese oxide/titania materials for removal of NO_x and elemental mercury from flue gas[J]. Energy Fuels, 2008, 10. 1021/ef700533q.
- [35] Lee S S, Lee Y, Keener T C, et al. Novel sorbents for mercury emissions control from coal-fired power plants[J]. Journal of the Chinese Institute

of Chemical Engineers, 2008, 39: 137 - 142.

- [36] Sandhya E. Gas-phase mercury adsorption rate studies[J]. American Chemical Society, 2007, 2: 852 - 857.
- [37] Li R J, Zhou J S, Hu C X, et al. Application of novel sorbents for mercury vapor removal from simulated flue gases[J]. Chinese Society of Electrical Engineering, 2007, 2: 48 - 53. ■

EOW 性质和电解效率。杨敏^[27]还对比电极面积进行了研究,当比电极面积小于 $1/12 \text{ cm}^{-1}$ 时,有效氯和活性氧的产量都较低,而且电耗较大,这是因为比电极面积的减小增大了系统的欧姆电阻,所以电压增大,有效电解面积减小,降低了电解效率,较佳的比电极面积是 $1/4 \text{ cm}^{-1}$ 。

2.2.2 离子隔膜的选择

对离子隔膜的研究表明,聚四氟离子膜比聚乙烯离子膜通透性高,短时间电解即可达到电解水指标,性能相对稳定^[26]。阴离子膜电解效果较好于阳离子膜,体现在电耗有所降低,且活性氧的产量也有较大幅度的提升^[27]。笔者所在课题组也对阴、阳离子膜的电解效果进行了对比,实验发现均相阴离子交换膜电解槽的性能要好于均相阳离子交换膜电解槽,在相同时间下,采用均相阴离子交换膜电解得到 EOW 的 pH 要低,ORP 值和 ACC 值均高于均相阳离子交换膜电解得到的 EOW。这说明均相阴离子膜电解槽的电解效率更高一些。这是因为采用阴离子交换膜可以有效地减少阳极区电解产生过量的 H^+ 通过离子膜反渗透到阴极区,所以其产生 EOW 的 pH 较低。同时 Cl^- 又可以通过阴离子膜,在电场作用下移动到阳极区,使得阳极区 Cl^- 浓度增大,从而使电解产生的 Cl_2 增多,使 EOW 中的 Cl_2 和 HClO 含量增大,所以其 ACC 值和 ORP 值增加,从而提高了电解效率。

2.2.3 电解工艺的优化

研究表明,随着电解质浓度和电流密度的增加、电解时间的延长、电极间距的减小,有利于得到 pH 更低、ORP 值更高、有效氯含量更大的酸性氧化电位水。这是因为增加反应物的浓度不但可以加快反应速度,也能提高生成物的产量;另外电解质浓度与电流效率成正比,因为 Cl^- 浓度提高,就可以降低析氯电位,减少能耗。但不能单纯地提高 NaCl 溶液的浓度,Hsu^[29] 研究表明,用质量浓度为 $1.72 \sim 9.84 \text{ g/L}$ 的 NaCl 溶液进行电解,酸性氧化电位水中残留了 $49\% \sim 77\%$ 的 Cl^- ,造成原料的浪费并导致出水的高盐度,从而可能造成后续的环境问题。另外,随着电流密度增加,根据法拉第定律,所得的理论产量就越多,即 H^+ 、 Cl_2 、 O_2 的量越多,则酸性氧化电位水的 pH 越低,ORP 值越高,总氧化物和溶解氧的含量越高。但随着电流密度的增加,会出现明显的发热现象,水温大幅度升高,这说明在电解过程中有相当一部分能耗用于产热,并且产生的热量不能及时散出。

此外,随着极间距的减小,离子迁移和传质速度变快,使得溶液的电阻变小,电流密度升高,因而得到 EOW 的 pH 降低,ORP 值升高,总氧化物产量也增加。因此电解体系的极间距应尽量减小,以提高电流效率和有效氯的产量,降低槽电压,减少能耗,也有利于减小电解装置的体积。但当极间距过小时,可能使流过极板间的水量不足,会导致气泡浓度过高,容易形成气泡效应,减少了电极活性面积,影响了离子迁移,反而使电阻增大,增加能耗^[21,27]。最后,在制备 EOW 的同时,还产生了同样体积的碱性电解水,如何减少碱性水的排放量,或者将产生的碱性水回流利用也是目前制备工艺研究中的重要问题。

笔者所在课题组主要从 2 个方面开展了研究:一个是在保证 EOW 杀菌特性的前提下减少碱性水的排放,即通过提高产生酸碱水比例来减少碱性水的排放;一个是使将产生的碱性水回流作为原料水使用。通过研究碱性水回流比对 EOW 制备工艺的影响表明,回流比为 $40\% \sim 60\%$ 时为最佳。另外,庄琳懿^[21]对碱性水回流研究表明,其不仅可以避免了水资源的浪费,更重要的是合适的回流比对电解效果有显著促进作用。

笔者所在课题组还开展了温度、离子膜电解槽设计(两槽、三槽)、电解质添加方式、电解质种类等因素对 EOW 制备的影响;此外还在开展碱性水利用研究、考察其在杀菌和清洗作用方面取得一定进展。

3 杀菌机理

3.1 物理杀菌学说

物理杀菌学说认为酸性氧化电位水的高 ORP 值、低 pH 超出了微生物的生存范围,从而进行杀菌。有研究表明,常用含氯消毒剂溶液的氧化电位只有 600 mV 左右,其杀菌速度慢,达到相同杀菌效果所需有效氯浓度比氧化电位水高出数倍。Kim 通过实验证明,分别将含有效氯质量浓度为 10 、 56 mg/L 的 EOW 与用化学方法模拟 EOW 的溶液做了杀灭大肠杆菌 O157:H7 的比较实验,结果证实 ORP 是使微生物失活的主要因素。Koseki^[30] 认为 ORP 不是杀菌的主要因素,因为高 ORP 的臭氧水杀菌效果不如低 ORP 值的 EOW,他认为与细菌作用的是 HOCl 产生的羟基自由基。Park 等研究结果证明,有效氯质量浓度足够大的情况下 ($> 2 \text{ mg/L}$),EOW 在 pH 介于 $2.6 \sim 7.0$ 对大肠埃希菌等杀菌效果相同。

另外,pH为2.6的盐酸比EOW杀菌能力要弱得多,而酸性使物质变性灭活需要较长的时间。用与EOW相同pH的盐酸溶液对HBsAg作用60s仍不能将其抗原性破坏,这说明EOW起主要作用的也不是它的酸性特性^[31]。Liao^[32]、Osafune^[33]认为在微生物细胞中,氧化作用会破坏细胞膜。而EOW的高氧化还原电位会破坏细胞膜,氧气与其他物质作用会使它失去电子,干扰膜平衡,使微生物的细胞膜电位发生改变,导致细胞通透性增强、细菌肿胀及细胞代谢酶的破坏,使胞内物质溢出、溶解,从而达到杀灭微生物的作用。

3.2 化学杀菌学说

化学杀菌学说是在1994年由日本科学家提出的,他们认为氧化电位水杀菌最主要因素是其复杂的化学因子,包括有效氯和活性氧:①有效氯主要包括电解直接生成的HClO、Cl₂、ClO₂、ClO⁻等。氯能损害细胞膜,致使细胞内的蛋白、RNA和DNA漏出,而且还可以穿透衣壳与病毒的核酸起作用。近年有学者研究发现^[34-35],³⁶Cl能进入微生物体内与RNA和DNA结合,使其失去正常的生化活性,致使微生物死亡。Kiura等研究发现,在EOW的作用下细菌细胞膜会出现气泡、增大并最终导致细胞膜破裂;在相同的pH和ORP下,气泡数量会随有效氯含量的提高而增加,说明其杀菌效果与有效氯含量提高有关。有实验表明^[36],氧化电位水中有效氯浓度与细菌杀灭率呈高度正相关($r = 0.95$)。在有效氯的多种成分中,Len认为分子态HOCl是杀菌作用的主要影响因素。②活性氧主要是指电解中产生的初生态原子氧O、羟基自由基OH、过氧化氢H₂O₂和臭氧O₃等活性氧成分^[37],这些活性物质具有较强的氧化性,它们能跟氨基发生特异反应,破坏细胞膜并渗透到细胞内破坏有机物的链状结构,从而使蛋白质及DNA合成受阻,使微生物致死。但氧化电位水在电解时产生的活性氧是不稳定的物质,随着时间延长,活性氧含量将迅速下降甚至完全消失。有实验检测保存了3个月的氧化电位水仍有杀菌作用,且常用的含活性氧的消毒剂如过氧化氢等的杀菌力也不及氧化电位水。

从以上可以看出,虽然有部分研究者对酸性氧化电位水杀菌机理进行了初步研究,但多是利用化学模拟的方法,或者是与其他含氯杀菌剂比较,或者是利用微观观察来说明杀菌机理。笔者所在课题组在前期对酸性氧化电位水制备工艺研究的基础上,

通过电解工艺和操作条件的控制,得到不同指数的电位水,然后检测其杀菌性能,从而推断其杀菌机理,通过考察,得出酸性氧化电位水杀菌主要是以化学因素杀菌为主,其中有效氯为主要影响因素;物理杀菌为辅,其中ORP值为主要影响因素^[38]。

4 结语

今后,对酸性氧化电位水制备工艺的研究最重要的一个方向就是阳极电极材料的研究,如何研制出使用廉价材料,具有低析氯和一定析氧电位、使用寿命长、电流效率高的新型电极是进一步研究工作的重点。另外,目前缺少对酸性氧化电位水中具体有效杀菌成分的测定分析,包括定性和定量分析。如果此方面的研究取得进展,将会有助于对酸性氧化电位水杀菌机理的分析,目前笔者所在课题组正在进行这方面的研究。

参考文献

- [1] Kiura H, Sano K, Morimatsu S, *et al.* Bactericidal activity of electrolyzed acid water from solution containing sodium chloride at low concentration, in comparison with that at high concentration[J]. *International Journal of Food Microbiology Methods*, 2002, 49: 285 - 293.
- [2] Vorobjeva N V, Vorobjeva L I, Khodjaev E Y. The bactericidal effects of electrolyzed oxidizing water on bacterial strains involved in hospital infections[J]. *Artificial Organs*, 2003, 28: 590 - 592.
- [3] Park H, Hung Y C, Kim C. Effectiveness of electrolyzed water as a sanitizer for treating different surfaces[J]. *Journal of Food Protection*, 2002, 65: 1276 - 1280.
- [4] Kim C, Hung Y C, Brachett R E. Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) and chemically modified water on different types of food-borne pathogens[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2000, 61: 199 - 207.
- [5] Kim C, Hung Y C, Brachett R E. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for inactivation of food-related pathogens[J]. *Journal of Food Protection*, 2000, 63: 19 - 24.
- [6] Park H, Hung Y C, Chung D. Effects of chlorine and pH on efficacy of electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 91: 13 - 18.
- [7] Venkitanarayanan K S, Ezeike G O, *et al.* Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella Enteritidis* and *Listeria monocytogenes*[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65: 4276 - 4279.
- [8] Fabrizio K A, Cutter C N. Stability of electrolyzed oxidizing water and its efficacy against cell suspensions of *Salmonella Typhimurium* and

- Listeria monocytogenes* [J]. Journal of Food Protection, 2003, 66: 1379 - 1384.
- [9] Len S V, Hung Y C, Erickson M, et al. Ultraviolet spectrophotometric characterization and bactericidal properties of electrolyzed oxidizing water as influenced by amperage and pH[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63: 1534 - 1537.
- [10] Sakashita M, Iwasawa A, Nakamura Y. Antimicrobial effects and efficacy on habitually hand-washing of strong acidic electrolyzed water: A comparative study of alcoholic antiseptics and soap and tap water[J]. Journal of Japanese Association of Infectious Diseases, 2002, 76: 373 - 377.
- [11] Iwasawa A, Nakamura Y. Antimicrobial activity of aqua oxidizing water [J]. Clinical Bacteriology, 1993, 20: 469 - 473.
- [12] Park C M, Hung Y C, Brackett R E. Antimicrobial effect of electrolyzed water for inactivating *Campylobacter jejuni* during poultry washing[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 72: 77 - 83.
- [13] Huang Y R, Hsieh H S, Lin S Y, et al. Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood[J]. Food control, 2006, 17: 987 - 993.
- [14] Kimura M, Mikami K, Hoshikawa H, et al. Effect of rearing using an electrolyzed seawater on reduction of *Vibrio parahaemolyticus* from sea urchin[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2006, 72: 1 - 5.
- [15] Sakurai Y, Nakatsu M, Sato Y, et al. Endoscope contamination from HBV- and HCV-positive patients and evaluation of a cleaning/disinfecting method using strongly acidic electrolyzed water [J]. Digestive Endoscopy, 2003, 15: 19 - 24.
- [16] 周月婵, 臧雪冰, 胡余明, 等. 强氧酸性离子水毒性试验研究 [J]. 中国热带医学, 2001, 1(2): 176 - 177.
- [17] 堀田國元, 郭永明. 酸性氧化电位水的基础、应用及发展动向 [J]. 中国护理管理, 2008(4): 7 - 11.
- [18] Huang Yuru, Hung Y C, Hsu S Y. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. Food Control, 2008, 9: 329 - 345.
- [19] Tanaka N, Fujisawa T, Daimon T, et al. The effect of electrolyzed strong acid aqueous solution on hemodialysis equipment[J]. Artificial Organs, 1999, 23: 1055 - 1062.
- [20] Walker S P, Demirci A, Graves R E, et al. CIP cleaning of a pipeline milking system using electrolyzed oxidizing water [J]. International Journal of Dairy Technology, 2005, 58: 65 - 73.
- [21] 庄琳懿. 酸性氧化电位水产生条件与作用的初步研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [22] Hsu S Y. Effect of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60: 469 - 473.
- [23] 任占冬, 易嘉玲, 张奇, 等. 酸性氧化电位水的制备 [J]. 水处理技术, 2006, 23(6): 423.
- [24] 任占冬, 朱玉婵, 张奇, 等. 氧化电位水制备工艺的考察 [J]. 中国医院药学杂志, 2007, 27(9): 1241.
- [25] 朱玉婵, 任占冬, 张奇, 等. 酸性氧化电位水制备新工艺 [J]. 现代化工, 2008, 28(8): 46 - 48.
- [26] 黄少丽. 酸性氧化电位水生成机理及应用研究 [D]. 西安: 第四军医大学, 2005.
- [27] 杨敏. 酸性氧化电位水消毒机制与制备工艺研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2006.
- [28] 董铁有, 洪妍. 连续式三槽型电解槽结构设计及强酸性离子水制备工艺参数研究 [J]. 食品科学, 2005(增刊): 19 - 22.
- [29] Hsu Shun-Yao. Effects of flow rate, temperature and salt concentration on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66: 171.
- [30] Koseki S, Yoshida K, Isobe S, et al. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water [J]. Journal of Food Protection, 2001, 64: 652 - 658.
- [31] 靳维声, 韩呈武, 张京, 等. 高氧化还原电位水对 HBsAg 抗原性破坏的试验观察 [J]. 中国消毒学杂志, 2000, 17(3): 164 - 166.
- [32] Liao L B, Chen W M, Xiao X M. The generation and inactivation mechanism of oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing water [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78: 1326 - 1332.
- [33] Osafune T, Ehara T, Ito T. Electron microscopic studies on bactericidal effects of electrolyzed acidic water on bacteria derived from kendo protective equipment [J]. Environmental Health and Preventive Medicine, 2006, 11: 206 - 214.
- [34] Kiura H, Sano K. Bactericidal activity of electrolyzed acid water from solution containing sodium chloride at low concentration, in comparison with that at high concentration [J]. J Microbiological Methods, 2002, 49(3): 285 - 293.
- [35] 侯悦. 军队卫生学 [M]. 4 版. 北京: 人民军医出版社, 1998: 89 - 97.
- [36] Len S V, Hung Y C, Erickson M, et al. Ultraviolet spectrophotometric characterization and bactericidal properties of electrolyzed oxidizing water as influenced by amperage and pH [J]. J Food Prot, 2000, 63(11): 1534 - 1537.
- [37] Feng Chuanping, Suzuki K, Zhao Shuyun, et al. Water disinfection by electro-chemical treatment [J]. Bioresource Technology, 2004, 94: 21 - 25.
- [38] 任占冬, 朱玉婵, 刘晔, 等. 酸性氧化电位水杀菌作用考察 [J]. 中国预防医学杂志, 2008, 42(8): 578 - 581. ■