

文章编号: 2095-3666(2012)01-0054-07

氧化电解水在食品工业中的消毒研究进展

钱蓓蕾, 黄萱运, 惠芸华, 沈晓盛*

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 氧化电解水是一种具低 pH、高氧化还原电位以及含一定有效氯的新型机能水。具有广谱抑菌活性并在食品生产中进行消毒杀菌。为了加强氧化电解水在食品业中应用的重视程度,更好地了解电解水在食品生产中的消毒效果,本文就电解水的发生装置、生成原理和食品生产中的消毒效果进行综述。

关键词: 氧化电解水;食品;抑菌活性

中图分类号: S-1 **文献标识码:** A

电解水是一种新型机能水,主要通过电解水生成装置电解含电解质的水获得。因其生成方式的不同可分为强酸性电解水、弱酸性电解水、强碱性电解水及弱碱性电解水。其中,强酸性电解水具有强酸性和高氧化还原电位,作为杀菌剂应用时杀菌效果显著,并且具有广谱抑菌活性、高效、操作简便、安全无害、环境友好的特点^[1],因此电解水也被称为 21 世纪的魔水。

强酸性电解水最初于 20 世纪 80 年代后半期,其他电解水于 90 年代开始出现,而所有这些都是由日本自行研制开发的。电解水的最初用途是医疗器材及手指清洗消毒,接着其用途又延伸到了内窥镜的清洗消毒中,鉴于“对人体健康无害的特点”,2002 年强酸性电解水(pH < 2.7)和微酸性电解水(pH 5 ~ 6.5)又以次氯酸水的名字被指定为食品添加剂,而弱酸性电解水(pH 2.7 ~ 5)也在食品添加剂的批准申请中获得了日本食品安全委员会的审议通过。由于电解水具备以上这些优点,所以在其它领域的应用研究也得到广泛的开展,在医疗、农业、食品业、以及环

境卫生等领域均得到广泛应用,并迅速发展至美国、韩国、欧洲等国家。为了加强电解水在食品应用中的重视程度,更好地了解电解水在食品生产过程中的消毒效果,本文就电解水的发生装置、生成原理和食品生产中的应用作如下综述。

1 电解水的发生装置类型

电解水的发生装置分两类,一类是连续性装置,另一类是间歇式的装置。连续性发生装置一般是敞开式的,可对流动水和循环水进行连续电解,生成水不分酸性和碱性,属于酸碱中和的电解水,通常用于鱼池等消毒。间歇式装置一般又称为封闭氏装置,发生器中间有一层隔膜相隔,不能对流动水以及循环水进行电解,生成的水分为酸性水和碱性水两类,其中,酸性水的杀菌功能极为明显,本文着重介绍第二种电解水发生器生成的酸性电解水的应用效果。

2 电解水的发生原理

电解水通过盐稀释液进入由膜分开的阴阳

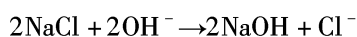
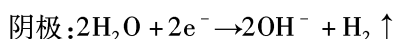
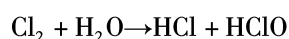
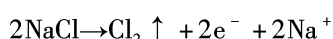
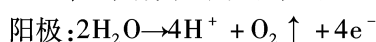
收稿日期: 2012-01-17 修回日期: 2012-03-09

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助(2007T05)

作者简介: 钱蓓蕾(1959-),女,助理研究员,主要从事食品安全研究。E-mail: qianbl1959@hotmail.com

通讯作者: 沈晓盛, E-mail: foodsmc98@126.com

两个电极的电解池而产生。在盐稀释液中的负极交换电子如氯离子、氢氧化物运动到阳极从而失去电子并产生氧气、氯气、次氯酸离子、次氯酸、盐酸。同时正极交换电子如氢、钠离子运动到阴极从而得到电子并产生氢气、氢氧化钠。酸性和碱性的两种水同时产生。阳极产生氧化电解水,具有低 pH 值(2.3~2.7)、高氧化还原能力(ORP > 1000 mV)、高浓度溶解氧并含有自由氯(浓度取决于氧化电解水机器的设置)。阴极产生还原电解水,具有高 pH 值(10.0~11.5)、高浓度溶解氢、低氧化还原能力(ORP 为 -800~-900 mV)。具体化学反应如下:



其中阳极产生的酸性电解水中含有大量的次氯酸(HClO),是杀菌消毒的主要成分,同时,其他氧化剂或自由基,如 O_3 、 H_2O_2 、 HO_2 、HO 和 [O] 等可能在杀菌过程中也起到了作用,其机制很复杂,目前还未见更深入的研究报道。

3 电解水的应用

最近,许多研究已经证明氧化电解水对原材料以及食品接触表面材料中的食源性致病菌具有强烈的抗菌活性。且在食品工业中取代氯水等消毒剂用于消毒杀菌的现象已经受到很大的重视。据报道,氧化电解水已经用于新鲜蔬菜^[2,3-8]、水果、禽肉^[9,10]、蛋类^[11]、切菜砧板^[12]以及食品加工表面材料^[13-15]等的细菌污染的消毒杀菌,并且均取得了良好的效果。我国对电解水的应用相对日本、台湾以及欧美等国家滞后,最初主要是用于医疗器材消毒^[16],随后也有大量报道应用在食品生产中的消毒杀菌,如豆芽生产过程消毒^[17,18]、食用菌生产^[19]、葡萄的消毒杀菌^[20]、成品豆腐的杀菌^[21]、采收草莓杀菌^[22]等。这些实例说明电解水在我国食品生产过程中也得到了应用。以下主要介绍电解水在食品领域的一些具体案例。

3.1 电解水对新鲜蔬菜的消毒效果

新鲜蔬菜常常含有大量的微生物,包括人类

病原体^[23]。人们通常使用净水清洗来减少部分细菌的污染,但研究表明此方法清洗生蔬食品对减少食品表面细菌种群的作用是有限的^[24-26]。因此生食或半生食新鲜蔬菜对健康仍具有潜在的危险,容易引起食物细菌性中毒。近年来,一些研究表明用电解水清洗新鲜蔬菜可有效地减少细菌的污染。Koseki 等^[3]报道用电解生成的碱性水清洗莴苣 1min 后,再用酸性水清洗 1min 可以减少存活的好氧微生物(10^2 CFU/g)且不会破坏莴苣的表面结构。Park 等^[4]也报道用氧化电解水清洗莴苣叶 3min 可以明显($P < 0.05$)减少接种的大肠杆菌(*Escherichia coli* O157:H7) $10^{2.41}$ CFU/g 和单核细胞增生李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes*) $10^{2.65}$ CFU/g,并且清洗后的莴苣贮藏 2 周后不会引起质量上的大的变化。此外,以冰形式存在的氧化电解水也具有杀菌活性。把莴苣储存在氧化电解水形成的冰中并保持温度在 $2\text{ }^\circ\text{C} \sim 3\text{ }^\circ\text{C}$ 下 24 h 后,莴苣上的需氧细菌数量减少了 $10^{1.5}$ CFU/g^[6,27],由此说明氧化电解水不论是常态还是以冰的形式存在下都对新鲜蔬菜具有良好的杀菌消毒效果。

最近,确认还原电解水和氧化电解水减少细菌污染的联合作用效果的研究已经开始进行。尽管还原电解水作为一种独立的清洗或清洁方法的实际应用还没有开发出来,但研究已经发现还原电解水可以作为预先清洗剂,同时与氧化电解水联合使用用于促进蔬菜中细菌含量减少的方法是可行的^[20]。用略微加热($50\text{ }^\circ\text{C}$)的还原电解水清洗接种过大肠杆菌 O157:H7 和沙门氏菌(*Salmonella enteritidis*)的莴苣 5 min,再用冷却($4\text{ }^\circ\text{C}$)的氧化电解水冲洗 1 min,可以使莴苣上大肠杆菌 O157:H7 和沙门氏菌含量降低 $10^3 \sim 10^4$ CFU/g。研究还发现延长还原电解水的预处理时间比延长用氧化电解水清洗时间可以产生更强的杀菌效果。同时有报道称氧化和还原电解水的联合处理对莴苣的外观没有负面影响。除莴苣以外,确定氧化电解水减少新鲜黄瓜和紫花苜蓿豆芽细菌污染效果的研究也正在进行。用氧化电解水(有效氯:30 ppm)处理 10 min^[7]后,每个黄瓜上自然生长的所有需氧嗜温性细菌含量降低了 $10^1 \sim 10^4$ CFU。细菌含量的减少明显($P < 0.05$)大于用含量为 5 ppm 臭氧的水处理所达到的效果(每个黄瓜降低 $10^1 \sim 10^{0.7}$ CFU)。黄

瓜先用还原电解水清洗 5min 后,再用氧化电解水清洗 5 min 后每个黄瓜上细菌的减少量增加到至少 10^2 CFU。Kim 等^[5]发现用氧化电解水和超声波联合处理紫花苜蓿豆芽的杀菌效果比用氧化电解水提高了 80%。由此可见,氧化电解水与其它物质或媒介(还原电解水、超声波等)的联合作用对于增加杀菌效果具有很大的潜力。

3.2 电解水对水果的消毒效果

由桃褐腐病菌(*Monilinia fructicola*)引起的褐色腐烂是对有核水果最具破坏性的疾病之一^[28]。报道称用氧化电解水处理新鲜接种过桃褐腐病菌的桃子,能够降低褐色腐烂的发生率和严重程度^[29]。在氧化电解水中清洗桃子 5 min,不但大大降低褐色腐烂的发生率和严重程度,而且不会在水果上形成由氯引起的有毒伤害。桃子用氧化电解水处理后,可以在 2 °C 和 50% 相对湿度的条件下保存 8 d 不会产生褐色腐烂。对氧化电解水作为消毒剂减少草莓上细菌污染的研究发现:用氧化电解水(含 32 ppm 有效氯)消毒 10 min 后,每个草莓表面上的需氧嗜温性细菌的含量降低了 $10^{1.6}$ CFU^[7]。氧化电解水的处理也降低了大肠杆菌和真菌的含量,每个草莓上的大肠杆菌含量至少降低了 10^1 CFU,真菌含量降低了 $10^{1.7}$ CFU。由此说明氧化电解水对水果的清洗消毒是有一定效果的,同时比起使用普通含氯消毒剂更为安全。

3.3 电解水对蛋类的消毒效果

鸡蛋表面常常会携带有来自母鸡粪便和污染环境中的病原体,如沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌^[30]。Russell 等^[28]使用静电喷涂系统研究氧化电解水减少鸡蛋表面细菌污染的杀菌效果发现:氧化电解水可以有效除去鸡蛋上的致病菌(沙门氏菌、金黄色葡萄球菌和单核细胞增生李斯特氏菌)。然而,在使用氧化电解水作为杀菌剂时,静电喷涂系统会导致 85% ~ 90% 的有效氯损失,大大降低氧化电解水的杀菌效果^[32]。Park 等^[11]研究氧化电解水消除鸡蛋上沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌的杀菌效果时发现:用氯含量分别是 16 ppm、41 ppm、77 ppm 的氧化电解水清洗接种过沙门氏菌的鸡蛋(每个鸡蛋接种 $10^{5.61}$ CFU) 5 min 后,每个鸡蛋上

的细菌含量分别降低了 $10^{2.75}$ 、 $10^{3.50}$ 、 $10^{4.00}$ CFU。用相同氯含量的氧化电解水处理后,观察到单核细胞增生李斯特氏菌(每个鸡蛋接种量为 $10^{7.03}$ CFU)有相似的结果,即每个鸡蛋分别降低 $10^{2.90}$ 、 $10^{3.50}$ 、 $10^{4.00}$ CFU。同时,先用还原电解水处理 1 min,再用氧化电解水(含有效氯 77 ppm)处理 1 min 使每个鸡蛋的沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌含量分别降低了 $10^{3.66}$ 和 $10^{4.39}$ CFU。而氧化和还原电解水的联合清洗达到的沙门氏菌($10^{3.81}$ CFU/鸡蛋)和单核细胞增生李斯特氏菌($10^{4.01}$ CFU/鸡蛋)的减少量等于用含氯 200 ppm 的氯水清洗 1 min 达到的细菌减少量。由此可见,氧化和还原电解水的联合杀菌作用比单独使用氧化电解水更好。

3.4 电解水对食用家禽的消毒效果

已经有报导称家禽能够感染单核细胞增生李斯特氏菌,并且作为一种潜在的传播媒介把病原体传给人类^[33]。食用家禽经常被人类病原体污染,比如沙门氏菌和产气肠杆菌等。同时,已经有报导称未煮熟的家禽产品是食源性疾病的元凶^[34]。对产气肠杆菌在屠宰过程中污染鸡体的研究发现在鸡皮和暴露的鸡体表面存在产气肠杆菌^[35,36]。

用氯水、磷酸钠或者热水冲洗食用家禽产品以减少躯体表面的细菌污染,是鲜肉和食用肉类生产工业中最普遍使用的方法,并且已经证明这些方法可以有效降低鲜肉和家禽表面的包括大肠杆菌、沙门氏菌和单核细胞增生李斯特氏菌在内的食源性病原菌^[37-43]。但这些方法需要配制化学溶液或昂贵的操作成本,不但花费大量的费用,而且还容易对人体造成伤害。

评价氧化电解水降低家禽产气肠杆菌和沙门氏菌污染效果的研究已经进行。Park 等^[9]研究了氧化电解水降低家禽产气肠杆菌活性的效率。结果表明:在 23 °C 用去离子水清洗接种过产气肠杆菌($10^{5.05}$ CFU/g)的鸡翅 10 min,病原体含量降低了 $10^{1.14}$ CFU/g。然而,氧化电解水(有效氯:50 ppm)与氯水(有效氯:50 ppm)效率相同时,产气肠杆菌含量分别降低了 $10^{2.96}$ CFU/g 和 $10^{2.78}$ CFU/g。氧化电解水或氯水清洗后,没有产气肠杆菌存活的细胞恢复活性。Fabrizio 等^[44]研究氧化电解水降低家禽沙门氏菌效果发

现:冷藏后用氧化电解水(pH 2.6,有效氯:20~50 ppm,氧化电位:1150 mV)在4℃处理45 min后冷藏可以减少家禽表面的沙门氏菌。氧化电解水处理后烤鸡体上的沙门氏菌含量降低了 $10^{0.83}$ CFU/mL,在4℃冷藏7天后几乎没有发现细菌存在。Kim等^[10]在模拟的加工环境下评估了氧化电解水和还原电解水预防和消除粪便中污染物以及杀死家禽躯体上产气肠杆菌的效力。他们发现还原电解水可以替代磷酸三钠用于预防和清除粘附在家禽躯体上的粪便。在氧化电解水中浸泡鸡体可以明显降低含量约 $10^{2.33}$ CFU/g的产气肠杆菌。总体而言,氧化电解水、还原电解水可以替代一些传统的消毒制剂,它们在对家禽消毒的应用中作用举足轻重。

3.5 电解水对海产品加工的消毒效果

由于存在表皮和鳃里的细菌的生长导致腐败变质,所以新鲜海产品通常只有一段很短的保鲜期。在冰中保存新鲜鱼类是最广泛采用的保持鱼质量和延缓腐败变质的方法。但是,在冰中保藏鱼类并不能完全抑制细菌生长,特别是在冷藏温度时仍能生长的耐冷菌。收获后的杀菌处理可以减少细菌污染,延长鱼类保鲜期。

已经有报道称氧化电解水能够降低鱼类的细菌污染。Mahmoud等^[45]研究氧化电解水降低鲤鱼(整条,新鲜的,切成片的)体上细菌总量的效果时发现:在25℃去离子水中浸泡整条鲤鱼15 min只能降低鱼皮上细菌总量 $10^{0.6}$ CFU/cm²。然而在相同条件下在氧化电解水(pH 2.22,有效氯:40 ppm,氧化电位:1137 mV)中处理时,细菌总量减少 $10^{2.6}$ CFU/cm²。对鲤鱼片的处理也有相似的结果。即氧化电解水处理降低了鱼片上微生物总量 $10^{1.9}$ CFU/cm²,而去离子水处理只降低了 $10^{0.3}$ CFU/cm²。这些结果表明氧化电解水可用于降低鱼类细菌含量,延长产品保鲜期。Huang等^[46]对氧化电解水减少罗非鱼和零售柜台上细菌含量做了研究。报道称氧化电解水处理造成的细菌减少量比用水浸泡1 min的情况下多 $10^{0.7}$ CFU/cm²。氧化电解水处理5 min和10 min分别使罗非鱼中的副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)含量降低了 $10^{1.5}$ CFU/cm²和 $10^{2.6}$ CFU/cm²。此外,氧化电解水也可以有效的对市场的零售柜台进行杀菌。可见,氧化电解水

对海产品的消毒效果优于一般的水或去离子水,并对海产品相关的设备具有消毒作用。

3.6 电解水对食品表面材料的消毒效果

食品加工台和厨房切菜板是食物准备过程中潜在的交叉污染源^[47]。几项研究已经报导氧化电解水可以用作杀菌剂来减少食品加工和接触的表面的细菌污染。Venkitanarayanan等^[12]研究发现在23℃用氧化电解水(pH 2.5, chlorine: 80 ppm, ORP: 1165 mV)浸泡接种过大肠杆菌O157:H7的塑料切板10 min,能减少细菌含量 $10^{5.1}$ CFU/100cm²,而用去离子水浸泡,细菌仅减少 $10^{0.9}$ CFU/100cm²。在35℃用氧化电解水浸泡20 min或在45℃浸泡10 min,能使切板上的大肠杆菌O157:H7全部失活。研究还发现在23℃用氧化电解水处理20 min,接种到切板上的单核细胞增生李斯特氏菌含量降低了 $10^{4.8}$ CFU/100cm²。大肠杆菌和单核细胞增生李斯特氏菌在浸泡切板的去离子水中都恢复了活性,但在氧化电解水中却没有。这些结果表明,用氧化电解水浸泡切板可以有效降低食源性病原体的活性,阻止在食物准备过程中交叉污染。

氧化电解水降低玻璃、不锈钢、上釉和未上釉瓷砖以及透明陶瓷表面细菌污染的效果也已经得到结果。这些接种过产气肠杆菌和金黄色葡萄球菌的材料,在氧化电解水中静置处理5 min后,产气肠杆菌含量约降低了2.2~2.4 Log CFU/cm²,金黄色葡萄球菌约降低了 $10^{1.7}$ ~ $10^{1.9}$ CFU/cm²。而用普通水处理后两种菌总共仅降低约 $10^{0.1}$ ~ $10^{0.3}$ CFU/cm²^[14]。此外,还报道氧化电解水能有效除去不锈钢表面的单核细胞增生李斯特氏菌^[48]。氧化电解水中处理5 min降低了不锈钢表面的粘附细胞含量约 10^9 。Ayebah等^[15]也称氧化电解水中处理30~120 s致使不锈钢表面生物膜上的单核细胞增生李斯特氏菌活细胞降低了约 $10^{4.3}$ ~ $10^{5.2}$ CFU/10 cm²。研究者还证明还原电解水处理后用氧化电解水处理比单独用氧化电解水处理致使的单核细胞增生李斯特氏菌减少量多 $10^{0.3}$ ~ $10^{1.2}$ CFU/10 cm²。这些结果表明对表面材料的消毒效果还原电解水和氧化电解水的联合作用优于氧化电解水,同时氧化电解水优于普通水。

Liu等^[13]做了相似的研究氧化电解水在洁

净表面的抗单核细胞增生李斯特氏菌活性。把单核细胞增生李斯特氏菌接种到不锈钢、瓷砖以及切成小块($5 \times 5 \text{ cm}^2$)的地砖表面上,室温下在氧化电解水(pH 2.5, chlorine:50 ppm, ORP:1150 mV)中浸泡5 min。结果表明氧化电解水可以有效降低结晶表面单核细胞增生李斯特氏菌的含量,在不锈钢、瓷砖、地砖上的细菌分别降低了约 $10^{3.73}$, $10^{4.24}$, $10^{5.12}$ CFU/chip。但是当食物残渣粘附在表面时就不能有效去除细菌,如当蟹肉粘附在表面上时,细菌仅减少了 $10^{2.33}$, $10^{2.33}$, $10^{1.52}$ CFU/块。这些结果说明氧化电解水可以用作杀菌剂来减少食品加工过程接触面的单核细胞增生李斯特氏菌污染,但是氧化电解水的效率会因有机物的存在而降低。

为了确定氧化电解水降低细菌活性的效力,机器表面或加工台上粘附的食物配料都要在氧化电解水处理前全部除去。还原电解水和氧化电解水都能作为清洁剂去除表面某种食物配料。报道称在最适清洗温度 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 下去除机器表面的明胶,还原电解水比温水更有效,而氧化电解水可以用于除去不锈钢零件上沉积的磷酸氢钙。

在商业上可以利用许多消毒剂给食品加工表面杀菌。其中氯气由于它的光谱杀菌能力和低成本,成为了最广泛使用的消毒剂^[49]。然而,使用氯化物作为杀菌剂的主要不足是出于安全考虑,工人必须自行稀释浓缩的化学物质。

4 展望

上述的研究已经证明氧化电解水是一种有效的消毒剂,并且可以用于替代氯气来减少原材料和加工表面的微生物污染并应用在食品生产中去。但氧化电解水电解时产生的碱性水因无明显的杀菌作用常被遗弃,造成淡水资源浪费。研究证明,作者利用海水代替淡水进行电解也可以达到相同的杀菌效果,在一定的程度上节约了淡水资源浪费的问题^[50]。然而海水里含有复杂的盐分且电解时产生的低pH,对电解设备具有一定的腐蚀性,缩短了其使用寿命。因此有望以后在电解水发生装置材料上做进一步研究,提高其抗腐蚀能力并应用实际生产中去。

参考文献:

[1] 高新昊,刘兆辉,李晓林,等.强酸性电解水的杀菌

机理与应用[J].中国农学通报,2008,24(7):393-399.

- [2] IZUMI H. Electrolyzed water as a disinfectant for fresh - cut vegetables [J]. Food Sci., 1999, 64(3): 536 - 539.
- [3] KOSEKI S, YOSHIDA K, ISOBE S, et al. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water [J]. Food Prot. 2001, 64(5): 652 - 658.
- [4] PARK C M, HUNG Y C, DOYLE M P, et al. Pathogen reduction and quality of lettuce treated with electrolyzed oxidizing and acidified chlorinated water [J]. Food Sci., 2001, 66: 1368 - 1372.
- [5] KIM C, HUNG Y C, BRACKETT R E, et al. Efficacy of electrolyzed water in inactivating *Salmonella* on alfalfa seeds and sprouts [J]. Food Prot., 2003, 66(2):208 - 214.
- [6] KOSEKI S, ISOBE S, ITOH K. Efficacy of acidic electrolyzed water ice for pathogen control on lettuce [J]. Food Prot., 2004, 67(11): 2544 - 2549.
- [7] KOSEKI S, YOSHIDA K, ISOBE S, et al. Efficacy of Acidic electrolyzed water for microbial decontamination of cucumbers and strawberries [J]. Food Prot., 2004, 67(6): 1247 - 1251.
- [8] KOSEKI S, YOSHIDA K, KAMITANI Y, et al. Effect of mild heat pre - treatment with alkaline electrolyzed water on the efficacy of acidic electrolyzed water against *E. coli* O157: H7 and *Salmonella* on lettuce [J]. Food Microbiol., 2004, 21(5): 559 - 566.
- [9] PARK H, HUNG Y C, BRACKETT R E. Antimicrobial effect of electrolyzed water for inactivating *Campylobacter jejuni* during poultry washing [J]. Int. Food Microbiol., 2002, 72(1 - 2): 77 - 83.
- [10] KIM C, HUNG Y C, RUSSELL S M. Efficacy of electrolyzed (EO) water in the prevention and removal of fecal material attachment and its microbicidal effectiveness during simulated industrial poultry processing [J]. Poult. Sci., 2005, 84(11): 1778 - 1784.
- [11] PARK C M, HUNG Y C, LIN C S, et al. Efficacy of electrolyzed water in inactivating *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on shell eggs [J]. Food Prot., 2005, 68(5):986 - 990.
- [12] VENKITANARAYANAN K S, EZAIKE G O I, HUNG Y C, et al. P. Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on plastic kitchen cutting boards by electrolyzed oxidizing water [J]. Food Prot., 1999, 62(8):857 - 860.

- [13] LIU C, DUAN J, SU Y C. Effects of electrolyzed oxidizing water on reducing *Listeria monocytogenes* contamination on seafood processing surfaces [J]. Int. Food Microbiol. , 2006,106(3): 248 – 253.
- [14] PARK H, HUNG Y C, KIM C. Effectiveness of electrolyzed water as a sanitizer for treating different surfaces [J]. Food Prot. , 2002, 65 (8): 1276 – 1280.
- [15] AYEBAH B, HUNG Y C, FRANK J F. Enhancing the bactericidal effect of electrolyzed water on *Listeria monocytogenes* biofilms formed on stainless steel [J]. Food Prot. , 2005, 68 (7): 1375 – 1380.
- [16] 章恩明, 杜林, 黄鸿志. 电解水杀菌技术及其应用 [J]. 食品与机械, 1999(3): 30 – 31.
- [17] 康维民, 肖念新, 伊藤和彦. 强酸性电解水在农业生产上的应用前景 [J]. 河北农业技术示范学院学报, 1997, 11(3): 60 – 63.
- [18] 朴松海, 李里特, 朱叶, 等. 酸性电解水处理对大豆杀菌效果的研究 [J]. 食品工业科技, 2006, 27 (12): 74 – 76.
- [19] 吴丽敏, 吴丽华, 邵忠奇, 等. 强酸性电解水在食用菌的应用研究初报 [J]. 微生物学杂志, 2002, 22 (3): 61 – 62.
- [20] 武龙, 肖卫华, 李里特, 等. 酸性电解水用于葡萄杀菌保险的试验研究 [J]. 食品科技, 2004 (9): 81 – 83.
- [21] 朱叶, 刘海杰, 李里特, 等. 酸性电解水对成品豆腐的杀菌效果及品质影响研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(8): 37 – 40.
- [22] 郝建雄, 王愈, 李里特, 等. 酸性电解水处理对草莓采后生理的影响 [J]. 温室园艺, 2006 (5): 36 – 38.
- [23] BEUCHAT L R. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce [J]. Food Prot. , 1996, 59 (2): 204 – 216.
- [24] BEUCHAT L R. Surface disinfection of raw produce [J]. Dairy Food Environ. Sanit. , 1992, 12 (1): 6 – 9.
- [25] BRACKETT R E. Shelf stability and safety of fresh produce s influenced by sanitation and disinfections [J]. Food Prot. , 1992 , 55 (10): 808 – 814.
- [26] NGUYEN – THE C, CARLIN F. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables [J]. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. , 1994, 34 (4): 371 – 401.
- [27] KOSEKI S, FUJIWARA K, ITOH K. Decontaminative effect of frozen acidic electrolyzed water on lettuce [J]. Food Prot. , 2002 , 65 (2): 411 – 414.
- [28] DE VRIES – PATERSON R M, JONES A L, CAMERON A C. Fungistatic effects of carbon dioxide in a package environment on the decay of Michigan sweet cherries by *Monilinia fructicola* [J]. Plant Dis. , 1991, 75 (9): 943 – 946.
- [29] AL – HAQ M I, SEO Y, OSHITA S, et al. Fungicidal effectiveness of electrolyzed oxidizing water on postharvest brown rot of peach [J]. Hort. Sci. , 2001, 36 (7): 1310 – 1314.
- [30] HUMPHREY T J, Contamination of egg shell and contents with *Salmonella enteritidis*: a review [J]. Int. Food Microbiol. , 1994, 21 (1 – 2): 31 – 40.
- [34] WHITE P L, BAKER A R, JAMES W O. Strategies to control *Salmonella* and *Campylobacter* in raw poultry products [J]. Rev. Sci. Tech. Int. Epiz. , 1997, 16 (2): 525 – 541.
- [35] HOOD A M, PEARSON A D, SHAHAMT M. The extent of surface contamination of retailed chickens with *Campylobacter jejuni* serogroups. Epidemiol. Infect. , 1988, 100: 17 – 25.
- [36] HUMPHREY T J, HENLEY A, LANNING U D G. The colonization of broiler chickens with *Campylobacter jejuni*: some epidemiological investigations [J]. Epidemiol. Infect. , 1993, 110: 601 – 607.
- [37] LILLARD H S. Effect on broiler carcasses and water of treating chiller water with chlorine or chlorine dioxide [J]. Poult. Sci. , 1980, 59 (8): 1761 – 1766.
- [38] THIESSEN G P, USBORNE W R, ORR H L. The efficacy of chlorine dioxide in controlling *Salmonella contamination* and its effect on product quality of chicken broiler carcasses. Poult. Sci. , 1984, 63 (4): 647 – 653.
- [39] SORRELLS K M, ENIGL D C, HATFIELD J R. Effect of pH, acidulant, time and temperature on the growth and survival of *Listeria monocytogenes* [J]. Food Prot. , 1989, 52(8), 571 – 573.
- [40] QUINTAVALLA S, CAMPANINI M. Effect of rising temperature on the heat resistance of *Listeria monocytogenes* in meat emulsion [J]. Lett. Appl. Microbiol. , 1991, 12 (5): 184 – 187.
- [41] JAMES W O, BREWER R L, PRUCHA J C, et al. Effects of chlorination of chill water on the bacteriologic profile of raw chicken carcasses and giblets [J]. Am. Vet. Med. Assoc. , 1992, 200 (1): 60 – 63.
- [42] CYGNAROWICZ M, WHITING R C, CRAIG J C.

- Steam surface pasteurization of beef frankfurters. J. Food Sci. , 1994,59(1) : 1 – 5.
- [43] LILLARD H S. Effect of trisodium phosphate on *Salmonellae attached* to chicken skin [J]. Food Prot. , 1994,57 (6) : 465 – 469.
- [44] FABRIZIO K A, SHARMA R R, DEMIRCI A, et al. Comparison of electrolyzed oxidizing water with various antimicrobial interventions to reduce *Salmonella species* on poultry [J]. Poult. Sci. , 2002,81(10) 1598 – 1605.
- [45] MAHMOUD B S M, YAMAZAKI K, MIYASHITA K, et al. Decontamination effect of electrolyzed NaCl solutions on carp [J]. Lett. Appl. Microbiol. , 2004, 39: 169 – 173.
- [46] HUNG, 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 (12) :987 – 993 .
- [47] ZHAO P, ZHAO T, DOYLE M P, et al. Development of a model for evaluation of microbial cross-contamination in the kitchen [J]. Food Prot. , 1998,61(8) :960 – 963.
- [48] KIM C, HUNG Y C, BRACKETT R E, et al. Inactivation of *Listeria monocytogenes* biofilms by electrolyzed oxidizing water [J]. Food Process. Preservation, 2001,25(2) : 91 – 100.
- [49] EIFERT J D, SANGLAY G C. Chemistry of chlorine sanitizers in food processing [J]. Dairy Food Environ. Sanit. , 2002, 22 :534 – 538.
- [50] 沈晓盛,刘长军,蔡友琼,等. 电解海水的抑菌活性及对食品加工表面材料的消毒效果[J]. 微生物学通报,2008,35(11) :1833 – 1839.

(编辑:岳冬冬/校对:周雨思)

Research Progress of Electrolyzed Oxidizing Water Application in Food Industry

QIAN Bei-lei, HUANG Xuan-yun, HUI Yun-hua, SHEN Xiao-sheng*

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Fisheries Academy of Fishery Science, Shanghai 200090, China)

Abstract: Electrolyzed oxidizing (EO) water is a new kind of function water with low pH, high redox potential and hypochlorous acid (free chlorine). It has been used in food industry widely because of its broad spectrum antibacterial activity. The generating devices and generating principle of EO water, and its disinfection effect in food industry were summarized in this paper in order to learn more about the application of EO water in food industry.

Key words: Electrolyzed oxidizing; Food; Antibacterial activity