

# 微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素

李华贞<sup>1,2</sup>, 刘海杰<sup>1</sup>, 宋曙辉<sup>2</sup>, 侯田莹<sup>2</sup>, 李里特<sup>1</sup>, 郑淑芳<sup>2,\*</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097)

**摘要:** 采用微酸性电解水对菠菜进行杀菌处理, 考察微酸性电解水对菠菜的杀菌效果及影响因素, 包括不同杀菌剂杀菌效果比较、浸泡时间、处理方式及与强碱性电解水预处理、超声波辅助处理联用对杀菌效果的影响, 同时对处理过程中微酸性电解水有效氯浓度(ACC)、pH 值、氧化还原电位(ORP)的变化进行分析。结果表明: 微酸性电解水(ACC 31.73mg/L、pH 5.92、ORP 836.5mV)的杀菌效果明显优于相同 ACC 的次氯酸钠溶液; 随着 ACC 的升高微酸性电解水的杀菌效果逐渐增强, 当 ACC 增至 31.37mg/L 时可使微生物数降低 1.69(lg(CFU/g)), ACC 继续升高至 67.96mg/L, 杀菌效果则无显著性增强; 分别对菠菜进行浸泡处理 1、3、5、10min, 微酸性电解水的杀菌效果无显著性差异, 随着浸泡时间的延长微酸性电解水的 ACC 及 ORP 呈显著下降趋势, pH 值无明显变化; 采用强碱性电解水预处理和超声波辅助处理, 能使微酸性电解水的杀菌效果分别提高约 0.5 (lg(CFU/g))、1.0 (lg(CFU/g)); 采用微酸性电解水浸泡处理杀菌效果优于冲洗处理。

**关键词:** 微酸性电解水; 菠菜; 杀菌

## Factors Affecting the Bactericidal Effect of Slightly Electrolyzed Oxidizing Water on Spinach Surface

LI Hua-zhen<sup>1,2</sup>, LIU Hai-jie<sup>1</sup>, SONG Shu-hui<sup>2</sup>, HOU Tian-ying<sup>2</sup>,

LI Li-te<sup>1</sup>, ZHENG Shu-fang<sup>2,\*</sup>

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Vegetable Research Center, Beijing 100097, China)

**Abstract:** In this study, slightly electrolyzed oxidizing water (SEOW) was used to treat fresh spinach. The bactericidal effect of SEOW and its factors were explored through the comparison among different antiseptics. Meanwhile, the effects of soaking time, treatment mode and pretreatment of strong alkali electrolyzed water on bactericidal activity were investigated. Moreover, the changes in available chlorine of concentration (ACC), pH and oxidation-reduction potential (ORP) during the treatment process were also analyzed. The results showed that the bactericidal effect of SEOW with ACC 31.73 mg/L, pH 5.92 and ORP 836.5 mV was obviously higher than sodium hypochlorite solution with the same concentration of ACC. In addition, increasing ACC could gradually improve the bactericidal effect of SEOW. The number of microorganisms on spinach surface was decreased by 1.69 (lg(CFU/g)) when the concentration of ACC was increased to 31.37 mg/L; however, no obviously enhanced bactericidal effect was observed when the concentration of ACC was increased to 67.96 mg/L. Similarly, the bactericidal effect of SEOW did not reveal a significant difference among the soaking times of 1, 3, 5 min and 10 min, respectively. But both ACC and ORP exhibited a significant declination during the extension of soaking time although the pH still remained stable. Furthermore, the pretreatment of strong alkali electrolyzed water and ultrasonic-assisted treatment could result in the enhancement of sterilization rate by 0.5 (lg(CFU/g)) and 1.0 (lg(CFU/g)), respectively. Therefore, better bactericidal effect was observed for fresh spinach by soaking in SEOW than flushing with SEOW.

**Key words:** slightly electrolyzed oxidizing water; spinach; sterilization

中图分类号: TS201.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)17-0095-05

菠菜(*Spinacia oleracea*)又叫波斯菜、赤根菜, 属于耐寒性绿叶类蔬菜。是我国早春供应的主要蔬菜之

一。菠菜茎叶柔软滑嫩、味美色鲜, 富含维生素、蛋白质、矿物质、膳食纤维<sup>[1]</sup>。菠菜生长期短, 播后 1

收稿日期: 2010-12-21

作者简介: 李华贞(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: lihuazhen87@163.com

\* 通信作者: 郑淑芳(1963—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为农产品保鲜。E-mail: zhengnerv@gmail.com

个月便可开始采收,可做到排开播种,分期收获,均衡上市,是我国南北各地春、秋、冬3季的重要蔬菜之一,在火锅等餐饮业消费量巨大。

生鲜蔬菜的表面附着许多微生物,这些微生物会加速蔬菜的鲜度下降、品质劣变,另一方面病原微生物的生长繁殖,直接影响生鲜蔬菜的食用安全性,危害人体健康。为保持蔬菜的鲜度及安全性,通常在食用前对其进行杀菌处理。目前,适用于生鲜蔬菜的常规杀菌方法有紫外线杀菌、臭氧杀菌、氯系列杀菌剂杀菌等。紫外线的灭菌效果受障碍物、温度、湿度、照射强度等因素影响很大,杀灭一般细菌繁殖体、细菌芽孢、病毒真菌孢子均需要较大的照射剂量,当湿度大于70%,温度小于16℃时,杀菌效果降低<sup>[2]</sup>;臭氧在水中溶解度小,分解速度快,极不稳定,若用于果蔬清洗,要配合高压装置才能使臭氧有效地溶解于水中,实际应用有一定的难度;氯系杀菌剂如漂白粉、二氧化氯、次氯酸钠等,碱性条件下,ClO<sub>2</sub>易与有机物反应生成有害氯化物,对人体产生危害,其应用日逾受到限制<sup>[3]</sup>。上述各种杀菌方法都有其各自的局限性,因此需要一种安全有效的杀菌剂以广泛应用于生鲜蔬菜的杀菌。

电解水又称氧化还原电位水和电解离子水,是在特殊的装置中电解食盐或稀盐酸得到的具有特殊功能的酸性电解水和碱性电解水的总称。通常根据pH值和有效氯浓度(ACC)的不同酸性电解水又分为强酸性电解水(pH≤2.7, ACC 20~60mg/L)和微酸性电解水(pH 5.0~6.5, ACC 10~30mg/L,以下简称微酸水)。酸性电解水具有杀菌能力强、范围广、无污染、无残留、安全、可靠、对人体无毒无害、不刺激皮肤、制取方便、价格低廉等特点。另外,2002年日本将强酸性电解水和微酸性电解水又以次氯酸水的名字被指定成为食品添加剂(杀菌剂),而弱酸性电解水(pH 2.7~5.0)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<sup>[4]</sup>。因此,酸性电解水近年来倍受关注,并在生鲜果蔬杀菌方面也有了一定的研究进展。Park等<sup>[5]</sup>、康维民等<sup>[6]</sup>、Bari等<sup>[7]</sup>、朱叶等<sup>[8]</sup>、Park等<sup>[9]</sup>分别用酸性电解水对生菜叶片、豆芽、番茄、成品豆腐、大葱和番茄进行杀菌处理,结果均表明强酸性电解水具有较好的杀菌效果。微酸性电解水pH值为5.0~6.5,接近中性,腐蚀性较小,其中的有效氯主要为HClO,不易挥发,易贮存。Park等<sup>[10]</sup>研究表明,低浓度有效氯的微酸性或中性电解水可有效抑制微生物活性。Abadias等<sup>[11]</sup>、Guentzel等<sup>[12]</sup>对微酸性电解水应用于鲜切蔬菜的杀菌有一定研究,结果表明微酸性水能有效抑制或杀灭鲜切果蔬表面的病原性微生物,且抑制效果高于强酸性电解水。

本实验选用菠菜作为杀菌对象,采用微酸水进行不同处理,研究微酸水对杀灭菠菜表面微生物的效果及影

响因素,并进一步探究更为有效的杀菌处理方法,为其在食品工业中的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

新鲜菠菜购于中国农业大学附近菜市场。

实验室自制的微酸水发生器:CE-7001型赛爱酸性电解水发生器 广州赛爱环境保护技术开发有限公司; Thermo 510M-01型多功能参数测定仪 美国Thermo Scientific公司; KQ-100E型超声波清洗器 江苏昆山超声仪器有限公司; 无菌操作台 北京京鹏净化设备有限责任公司; HPS-250型恒温培养箱 哈尔滨市东明医疗仪器厂。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 处理液制备及指标测定

微酸水制备:采用实验室自制的无隔膜微酸水发生器,以HCl为电解质,电解不同浓度的稀盐酸溶液,制备所需的不同ACC的微酸水备用。制备后1h内使用,根据需要的电解水指标调节仪器的电压、电流及电解时间。

强碱性电解水制备:采用CE-7001型赛爱酸性电解水发生器,以一定浓度的NaCl溶液为电解质,电解一定时间,其中阴极得到的电解水即为强碱性电解水。电解质的浓度及电解时间依据所需电解水的指标调整。

次氯酸钠溶液:将高浓度的次氯酸钠溶液按比例稀释至所需浓度。制备后1h内使用。

处理液各指标的测定:pH值及ORP使用Thermo 510M-01型多功能参数测定仪测定,ACC采用碘量法测定<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.2 原料预处理

对照组:挑选新鲜、无腐烂的菠菜,沿距根部1cm处切除根部,测定菠菜表面的微生物总数;自来水组:自来水冲洗约30s除去菠菜表面的泥污,沥干备用,同时测定其表面微生物总数。

#### 1.2.3 微酸水浸泡处理

取50g自来水预处理后的菠菜置于洁净的容器中(容器大小要足以使菠菜完全展开),将微酸水倒入容器中,料液比为1:10(m/V)(保证处理液能完全浸没物料)。浸泡5min,浸泡过程中不断翻动菠菜,使物料与杀菌剂充分接触,浸泡结束后将菠菜取出沥干流水,置于无菌操作台中晾干,待测。

#### 1.2.4 不同浸泡时间对微酸水ACC、ORP及pH值影响的测定

将自来水预处理的菠菜在微酸水中分别浸泡1、3、5、7、10min后,取出菠菜,分别测定此时微酸水的ACC、ORP及pH值。

### 1.2.5 强碱性电解水预处理

取 50g 自来水预处理后的菠菜, 置于强碱性电解水中浸泡 2min, 料液比为 1:10(m/V)。浸泡过程中不断翻动物料使处理液与其充分接触, 处理后沥干物料表面水分, 再用微酸水浸泡处理, 处理结束后将菠菜取出沥干流水, 置于无菌操作台中晾干, 待测。

### 1.2.6 超声波辅助处理

取 50g 自来水预处理后的菠菜置于洁净的超声波清洗器中, 倒入微酸水后进行超声波处理, 料液比为 1:10(m/V)。处理结束后将菠菜取出沥干流水, 置于无菌操作台中晾干, 待测。

### 1.2.7 冲洗处理

取 50g 自来水预处理后的菠菜, 用盛于洁净容器中的微酸水进行冲洗处理。流速控制在 1L/min, 分别冲洗 1、2、3、4 min, 冲洗过程中保证水流均匀, 并不断翻动菠菜, 以使微酸水与菠菜各个部分充分接触, 冲洗后沥干菠菜表面的流水, 置于无菌操作台中晾干, 待测。

### 1.2.8 微生物总数检测

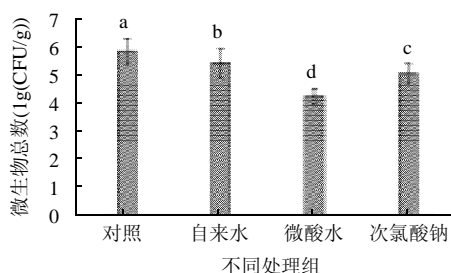
依据 GB/T 5009—96《食品卫生检验方法》, 对不同的处理组进行微生物菌落总数的测定。

### 1.3 数据分析

每组处理 3 个平行, 结果取其均值, 并采用 SPSS 软件进行显著性差异分析、Origin 软件进行图形处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杀菌剂对菠菜表面杀菌效果的比较



采用 Duncan's 方差分析, 标注字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

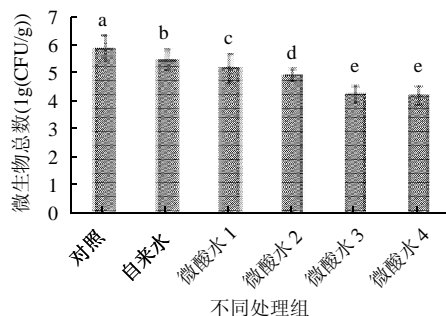
图 1 不同杀菌剂对菠菜表面的杀菌效果

Fig. 1 Bactericidal effects of different antiseptics on spinach surface

由图 1 可知, 微酸水(ACC 31.37mg/L、ORP 836.2mV、pH 5.92)浸泡处理菠菜 5min, 可使菠菜表面的微生物总数降低 1.63(lg(CFU/g)); 在相同的处理条件下, ACC 为 32.95mg/L 的次氯酸钠溶液可降低 0.8(lg(CFU/g)), 与微酸水相比存在显著性差异。这是因为微酸水的有效氯成分以 HClO 为主, HClO 具有较强的氧化性及穿透细胞膜的能力, 能有效地破坏微生物的细胞结构、杀灭微生物; 而次氯酸钠溶液中的有效氯成分主要为  $\text{ClO}^-$ , 研

究表明  $\text{ClO}^-$  除菌效果明显低于  $\text{HClO}$ <sup>[14-15]</sup>, 故微酸水对菠菜表面的杀菌效果明显优于次氯酸钠溶液。此外, 自来水预处理的杀菌效果最差, 仅降低微生物总数约 0.42(lg(CFU/g)), 可见自来水的冲洗作用仅能除去少量的微生物。

### 2.2 不同有效氯浓度微酸水对菠菜表面杀菌效果的比较



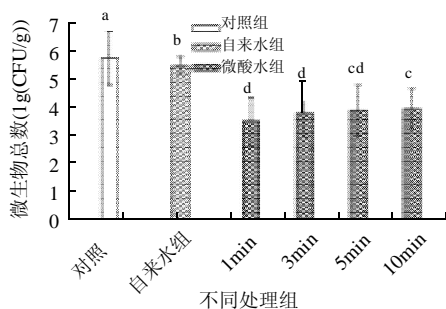
微酸水 1.ACC 7.85mg/L, pH6.06, ORP 819.6mV;  
微酸水 2.ACC 16.56mg/L, pH5.98, ORP 821.5mV;  
微酸水 3.ACC 31.37mg/L, pH5.92, ORP 836.2mV;  
微酸水 4.ACC 67.96mg/L, pH5.90, ORP 841.6mV。

图 2 不同有效氯浓度微酸水对菠菜表面的杀菌效果

Fig. 2 Bactericidal effects of SEOW with different ACC concentrations on spinach surface

由图 2 可知, ACC 为 7.85、16.56、31.37、67.96mg/L 的微酸水浸泡处理菠菜 5min, 可分别使菠菜表面的微生物总数降低 0.72、1.0、1.69、1.71(lg(CFU/g)), 即随着 ACC 由 7.85mg/L 升至 31.37mg/L, 微酸水的杀菌效果逐渐增强, 此结果与 Kim 等<sup>[16]</sup>的研究结果相一致; 当 ACC 继续由 31.37mg/L 升至 67.96mg/L 时, 杀菌效果则无显著性变化。说明微酸水 ACC 在 30mg/L 左右时可将接触到的菠菜表面的微生物杀死, 继续提高 ACC 杀菌效果则变化不明显, 故应从其他方面考虑, 使得微酸水与菠菜上的微生物充分接触, 以起到更好的杀菌效果。

### 2.3 不同浸泡时间对微酸水杀菌效果及 ACC、ORP 和 pH 值的影响



微酸水.ACC 31.37mg/L, pH 6.37, ORP 841.6mV。

图 3 不同浸泡时间微酸水对菠菜表面的杀菌效果

Fig. 3 Bactericidal effects of SEOW with different soaking times on spinach surface

由图3可知,用微酸水分别浸泡1、3、5、10min后,菠菜表面微生物数量分别降低1.92、1.96、1.87、1.70(lg(CFU/g)),随着浸泡时间的延长,微酸水的杀菌效果无显著性差异。这是由于微酸水对于大多数微生物具有高效瞬时的杀灭作用,只要微酸水与微生物充分接触就能迅速将其杀死。

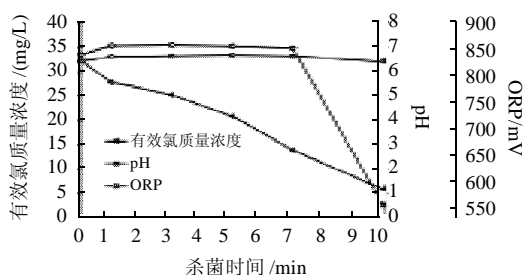
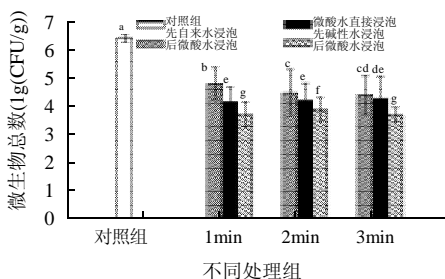


图4 不同浸泡时间对微酸水ACC、pH值及ORP的影响

Fig. 4 Effects of different soaking times on ACC, pH and ORP in SEOW

由图4可知,浸泡1、3、5min后,ACC由32.24mg/L分别降低为27.88、25.27、20.19mg/L,浸泡10min后,ACC含量降至5.87mg/L;ORP在0~7min,由841.1mV变为852.5mV,变化不显著,在7~10min时,ORP急剧下降至556.4mV;pH值则无明显变化。这是由于微酸水的杀菌作用消耗一部分有效氯,同时研究表明<sup>[17]</sup>酸性电解水在敞口、有光的条件下不稳定,随着放置时间的延长ACC逐渐降低,杀菌效果减弱,因此处理时间不宜过长,一般以1~5min为宜。

## 2.4 强碱性电解水预处理对微酸水杀菌效果的影响



微酸水.ACC28.75mg/L, pH 6.78, ORP 663.4mV;  
强碱性电解水.pH11.17, ORP 846.9mV。

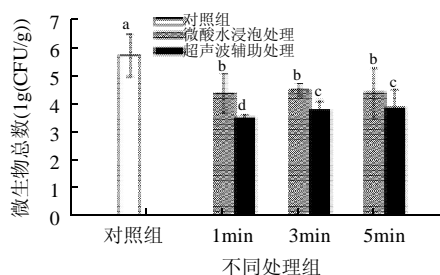
图5 强碱性电解水预处理对微酸水杀菌效果的影响

Fig.5 Effect of strong alkali electrolyzed water pre-treatment on bactericidal capability of SEOW

由图5可知,直接用微酸水浸泡菠菜1、2、3min,菠菜表面的微生物总数下降分别为2.16、2.23、2.28(lg(CFU/g));先用强碱性电解水预处理2min,再用微酸水分别浸泡1、2、3min,微生物数总数分别降低了2.56、2.75、2.56(lg(CFU/g)),较直接用微酸水浸泡杀菌效果提高了约0.5(lg(CFU/g));以先用自来水浸泡2min,再用微酸水浸泡1、2、3min作为对照,其处理

后仅能使微生物总数分别降低至1.63、1.98、2.0(lg(CFU/g))。这是由于物料表面存在有机物质,而酸性电解水的杀菌效果明显受有机物的影响<sup>[18]</sup>,强碱性电解水对油脂、蛋白质等有机物具有良好的乳化、剥离作用,用微酸水处理前,先用强碱性水去除掉有机物,可以使微酸水达到更好的除菌效果;而自来水预处理组实验结果也进一步证实了强碱性电解水预处理有助于提高微酸水的杀菌效果。

## 2.5 超声波辅助处理对微酸水杀菌效果的影响



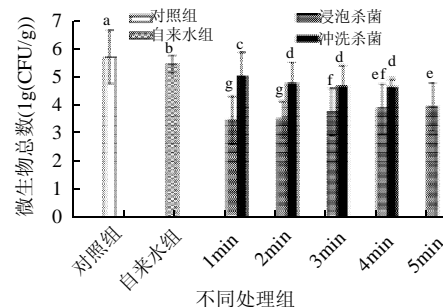
微酸水.ACC 36.59mg/L, pH 6.57, ORP 823.5mV。

图6 超声波辅助处理对微酸水杀菌效果的影响

Fig. 6 Effect of ultrasonic-assisted treatment on bactericidal capability of SEOW

由图6可知,直接用微酸水浸泡处理1、3、5min,菠菜表面的微生物总数分别降低了1.36、1.26、1.34(lg(CFU/g));用相同ACC的微酸水在超声波辅助条件下对菠菜浸泡处理1、3、5min,其表面的微生物总数分别减少2.24、1.85、1.96(lg(CFU/g)),较直接用微酸水浸泡处理的微生物总数减少量提高了约0.5~1.0(lg(CFU/g))。这可能是由于超声波的机械作用和热作用起到了一定的杀菌效果;同时超声波处理时,当声波接触到液体介质时产生冲击波,这些冲击波产生局部瞬间高温及温度变化、局部瞬间高压及压力变化,即“空化效应”。空化效应加速了微生物细胞膜电位改变和膜通透性的增加,有效破坏了微生物的细胞膜结构<sup>[19]</sup>,使得微酸水中的HClO能更加快速进入微生物细胞内部,破坏细胞结构,将其杀死,有效增强了杀菌效果。

## 2.6 浸泡处理与冲洗处理对微酸水杀菌效果的比较



微酸水.ACC 30.78mg/L, pH 6.45, ORP 826.70mV。

图7 不同杀菌方法下微酸水菠菜表面的杀菌效果

Fig. 7 Bactericidal effects of different ways of SEOW treatment on spinach surface

由图7可知,用微酸水分别浸泡1~5min,菠菜表面微生物总数减少达1.79~2.26(lg(CFU/g));而采用冲洗方式对菠菜进行处理1、2、3、4min,其表面微生物总数减少量分别为0.67、0.94、1.09、1.07(lg(CFU/g)),随着冲洗时间的延长,微酸水的杀菌效果有所提高,但与浸泡处理相比,仍存在显著性差异。这可能是由于菠菜表面存在许多由保卫细胞形成的气孔,许多微生物藏匿于气孔中,冲洗处理时微酸水快速流经菠菜表面但未能进入气孔内部,因此仅能与附着在气孔外的微生物接触,不能有效杀灭存在于气孔中的微生物;而浸泡处理时,微酸水不仅能杀死气孔外的微生物,还能进入气孔内部将微生物杀灭,与冲洗方式相比较杀菌效果更为显著。

### 3 结 论

采用微酸水对菠菜进行浸泡处理,杀菌效果明显优于相同条件下、相同浓度的次氯酸钠溶液;不同ACC的微酸水杀菌效果不同,微酸水的ACC由7.85mg/L升至31.37mg/L,其杀菌效果逐渐增强,ACC由31.37mg/L继续升至67.96mg/L时,杀菌效果无显著性变化;随着浸泡时间由1min延长至10min,微酸水的杀菌效果无显著性差异;随着浸泡时间的延长,处理液中的ACC显著下降,表明微酸水是一种无有效氯残留、安全、有效的杀菌剂;采用碱性电解水和超声波辅助处理能有效提高微酸水的杀菌效果;浸泡式杀菌效果优于冲洗式杀菌,影响因素仍需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 崔彦玲. 菠菜的营养价值与食用方法[J]. 中国食物与营养, 2003(2): 56-57.
- [2] 江洁, 胡文忠. 鲜切果蔬的微生物污染及其杀菌技术[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 319-324.
- [3] 陈文韬. 杀菌剂在果蔬清洗中的应用[J]. 福建轻纺, 2003, 10(11): 65-68.
- [4] 堀田国元, 郭永明, 译. 酸性电解水的基础、应用及发展动向[J]. 中国护理管理, 2008, 8(4): 7-11.
- [5] 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]. J Food Science, 200, 66:1368-1372.

- [6] 康维民, 蔡金星, 周丽艳, 等. 酸性电解水对蔬菜杀菌效果的研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7): 22-23.
- [7] BARI M L, SABINA Y, ISOBE S, et al. Effectiveness of electrolyzed acidic water in killing *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes* on the surfaces of tomatoes[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66: 542-548.
- [8] 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.
- [9] PARK E, ALEXANDER E. The decontaminative effects of acidic electrolyzed water for *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on green onions and tomatoes with differing organic demands[J]. J Food Microbiology, 2009, 26: 386-390.
- [10] PARK H, 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.
- [11] ABADIAS M, USALL J. Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally processed vegetables [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 123: 151-158.
- [12] GUENTZEL J L, LAM K L, CALLAN M A, et al. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water[J]. J Food Microbiology, 2007, 25: 36-41.
- [13] American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater[M]. 14th ed. Washington, DC: APHA, 1975: 316-317.
- [14] KOSEKI S, FUJIWARA K, ISOBE S. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(5): 652-658.
- [15] BONDE M R, NESTER S E, KHAYAT A. Comparison of effects of acidic electrolyzed water and NaClO on *Tilletia indica* teliospore germination[J]. J Plant Disease, 1999, 83(7): 627-632.
- [16] KIM C, HUNG Y C, BRACKETT 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.
- [17] SHUN Y H, HSIAO Y K. Effects of storage conditions on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65: 465-471.
- [18] 龚泰石. 酸性电解水的制备与消毒[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(3): 283-284.
- [19] 张红雨, 李迎新, 张弥左. 超声波对高电位氧化还原水灭菌效果影响的实验研究[J]. 微生物学杂志, 2006, 26(6): 30-31.