

文章编号: 1674-5566(2018)04-0616-08

DOI:10.12024/jsou.20171002159

酸性电解水通过抑制总菌及特定腐败菌保鲜南美白对虾的研究

赵 莉¹, 张布克¹, 刘红平¹, 张昭寰¹, 刘海泉^{1,2,3}, 潘迎捷^{1,2,3}, 赵 勇^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室, 上海 201306)

摘 要: 酸性电解水是一种新型的非热加工技术, 广泛应用于水产品的防腐保鲜。为进一步研究其保鲜作用机理, 以南美白对虾作为研究对象, 从微生物控制的角度出发, 重点探究酸性电解水技术对虾中细菌总数及特定腐败菌的抑制作用, 并分析其与虾肉品质之间的相关性, 以揭示电解水技术可能的防腐保鲜机理。结果表明, 酸性电解水处理能够显著降低南美白对虾中细菌总数和特定腐败菌的数量(假单胞菌属和希瓦氏菌属, $P < 0.05$), 并在随后 4°C 冷藏过程中持续抑制总菌和特定腐败菌的生长繁殖。此外, 酸性电解水处理能有效延缓虾肉冷藏过程中 pH、挥发性盐基氮(TVB-N)值、色差值 3 种品质指标的变化。根据相关性分析可得, 贮藏过程中虾肉品质与虾中微生物变化存在明显的相关性, 酸性电解水可通过抑制总菌以及特定腐败菌的生长来延缓虾肉品质的下降, 从而达到防腐保鲜的效果。本研究的实验结果为进一步阐明酸性电解水的防腐保鲜机理提供理论基础。

关键词: 酸性电解水; 南美白对虾; 总菌; 特定腐败菌; 相关性分析

中图分类号: TS 201.3 **文献标志码:** A

南美白对虾是亚洲地区重要的水产品, 因其味道鲜美、营养丰富, 深受广大消费者的青睐^[1]。然而, 由于虾肉中水分含量较高、营养物质丰富, 极易受到微生物的污染, 导致虾肉腐败变质、货架期缩短, 从而造成巨大的经济损失^[2]。在引起南美白对虾腐败变质的各种微生物因素中, 微生物的总数(TVCs)和特定腐败菌(Specific spoilage organisms, SSO)的繁殖, 被视为最主要的因素之一。研究表明, 假单胞菌属(*Pseudomonas* spp.)和希瓦氏菌属(*Shewanella* spp.)是南美白对虾在冷藏过程中最为重要的特定腐败菌^[3-5]。假单胞菌能在冷藏环境下大量生长繁殖, 通过产生胞外蛋白水解酶、脂肪水解酶使南美白对虾腐败变质^[6]。而希瓦氏菌在蛋白含量丰富的水产品中较为常见, 能将氧化三甲胺还原为三甲胺, 并产生氨类及 H₂S 等腐臭味气体^[7]。这些微生物因素严重影响着南美白对虾的质量安全, 制约着南

美白对虾行业的发展。

酸性电解水(Acidic electrolyzed water technology, AEW)是一种新型的杀菌保鲜技术, 相较于其他杀菌剂, 其不仅对食品的色泽、风味及质构影响较小, 而且具有安全无污染等特色^[8-10]。近年来, 该技术广泛应用于各类水产品的贮藏保鲜。LIN 等^[11]的研究表明, 酸性电解水及电解水冰技术对南美白对虾具有十分卓越的防腐保鲜效果。WANG 等^[12]进一步分析了酸性电解水对虾中内源性组织蛋白酶的作用, 证明其能有效地抑制多酚氧化酶的活性。SUN 等^[13]则针对多酚氧化酶的微观结构, 阐释了酸性电解水通过破坏多酚氧化酶而减缓南美白对虾褐变的机理。现阶段, 关于酸性电解水对南美白对虾防腐保鲜机理的研究, 大多聚焦于其对内源性组织蛋白酶的抑制作用, 但从控制细菌总数、抑制特定腐败菌生长的角度揭示电解水潜在防腐保鲜机理的研

收稿日期: 2017-10-30 修回日期: 2017-12-22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571917, 31671779); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字 2015 第 4-8 号, 2016 第 1-1 号); 上海市教委曙光计划(15SG48); 上海市科技兴农推广项目(沪农科推字 2017 第 4-4 号)

作者简介: 赵 莉(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全。E-mail: 13127856691@163.com

通信作者: 赵 勇, E-mail: yzhao@shou.edu.cn

究,还相对较少。

因此,本研究以南美白对虾作为研究对象,从微生物控制的角度出发,重点探究酸性电解水技术对虾中细菌总数及特定腐败菌(假单胞菌属和希瓦氏菌属)的抑制作用,并研究酸性电解水处理之后,虾中细菌总数及特定腐败菌的存活情况,分析其与虾肉品质之间的相关性,以期初步解释酸性电解水防腐保鲜的机理,为酸性电解水在食品保鲜领域的应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

活的南美白对虾,购自上海市古棕路市场,实验选取规格相同的个体[平均 (10 ± 2) g/个]。试剂包括:假单胞菌 cfc 选择性培养基(青岛海博生物技术有限公司),假单胞菌 cfc 选择性培养基添加剂(青岛海博生物技术有限公司),铁琼脂 IA(青岛海博生物技术有限公司),胰蛋白胨大豆琼脂培养基 TSA(上海市疾病预防控制中心)。配制 0.85% 生理盐水所用 NaCl 为分析纯。

1.2 仪器与设备

仪器包括:FW ~200 型强酸性电解水制备仪(可同时生产酸性电解水和碱性电解水),日本 AMANO 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 酸性电解水的制备

酸性电解水的制备参照文献[14]的方法,将 0.15% 的 NaCl 溶液倒入强酸性电解水制备仪中电离 15 min,获得 2 L 酸性电解水和 2 L 碱性电解水,酸性电解水 pH、氧化还原电位(ORP)由 pH/ORP 测得,有效氯成分(ACC)由有效氯测定仪测得,其指标 $\text{pH} = 2.35 \pm 0.01$, $\text{ORP} = (1\ 172.40 \pm 0.46)$ mV, $\text{ACC} = (72 \pm 1)$ mg/L。

1.3.2 贮藏实验

南美白对虾随机分为两组,处理组用酸性电解水浸泡处理 5 min,虾与酸性电解水的质量体积比为 1:9,无菌自来水组作为对照,处理后将虾放入无菌袋 4 °C 保存 7 d。

1.3.3 微生物计数

处理组与对照组的虾样在冷藏 7 d 过程中,每 12 小时进行一次取样,并进行微生物计数。分别取体质量约为 10 g 的虾置于无菌均质袋中,加入 90 mL 无菌生理盐水,拍打 2 min(速度为 7

次/s)以获得 10 倍稀释的虾匀浆。然后以 10 倍梯度将获得的虾匀浆进行稀释,从 2 ~ 3 个适宜梯度中取 100 μL 稀释液涂布于 TSA 固体培养基中进行总菌数量计数;从 2 ~ 3 个适宜梯度中取 100 μL 稀释液涂布于假单胞菌 cfc 选择性培养基中进行假单胞菌数量计数;取 1 000 μL 倾倒入铁琼脂培养基中进行希瓦氏菌数量计数。每组样品各设置 3 组平行试验。

1.3.4 虾肉品质指标测定

利用 pH 计测定南美白对虾在贮藏过程中 pH 的变化情况。随机取样加入装有 90 mL 0.85% 无菌生理盐水的无菌均质袋中,均质 2 min。于室温 $[(20 \pm 2)$ °C]下静置 30 min,测定虾肉 pH,每次测定 3 个平行;虾肉中挥发性盐基总氮含量测定参照文献[15]的方法,由全自动凯氏定氮仪(意大利 VELP)测得;色差指标 L^* , a^* , b^* 通过色差仪测定虾第二腹节所得,每组实验 6 次平行,结果取平均值。总体色差 $\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2}$ 。

1.3.5 数据处理

数据结果均以平均值 \pm 标准偏差表示,采用 SPSS 19.0 软件对获得的数据进行显著性检验,相关性分析。并用 origin 8.5 作图。

2 结果

2.1 酸性电解水处理对南美白对虾中总菌、假单胞菌以及希瓦氏菌的杀灭情况

图 1 为经酸性电解水或自来水浸泡处理后,南美白对虾中菌落总数、假单胞菌及希瓦氏菌的变化情况。由图 1 可知,经酸性电解水浸泡处理 5 min 后,虾中总菌数量由 5.84 lg(CFU/g) 减少至 4.97 lg(CFU/g),而自来水对照组中总菌数量无明显变化[5.73 lg(CFU/g)];假单胞菌数量由 4.92 lg(CFU/g) 降至 3.86 lg(CFU/g),对照组降至 4.83 lg(CFU/g);希瓦氏菌的数量由 4.07 lg(CFU/g) 降至 2.6 lg(CFU/g),对照组降为 3.64 lg(CFU/g)。以上结果表明,酸性电解水处理能够显著地降低南美白对虾中细菌总数($P < 0.05$),并对两种特定腐败菌起到明显的杀灭作用($P < 0.05$)。

2.2 酸性电解水预处理对虾体总菌(TVCs)生长的影响

图 2 为经酸性电解水或自来水浸泡处理后,

南美白对虾在后续冷藏过程中细菌总数的变化情况。由图2可知,无论是酸性电解水的处理组还是自来水的对照组,虾中总菌数量均随贮藏时间的增加而增大。但在贮藏的每一个时间点,自来水对照组的细菌总数均高于酸性电解水处理。在货架期终点的168 h,自来水对照组的细菌总数高达7.17 lg(CFU/g),显著高于电解水处理组[6.28 lg(CFU/g), $P < 0.05$]。由此证明,相较于自来水处理,酸性电解水不仅能够降低南美白对虾中的细菌总数,而且能够持续抑制总菌的生长。

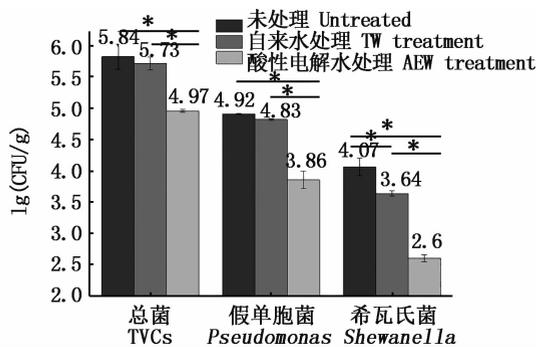


图1 酸性电解水 (AEW) 及自来水 (TW) 处理前后南美白对虾中总菌数,假单胞菌数以及希瓦氏菌菌数的变化情况

Fig. 1 Changes in total viable counts (TVCs) in genus *Pseudomonas* and *Shewanella* of shrimp after AEW or TW water treatment for 5 minutes

* 说明两组之间差异显著 ($P < 0.05$)

* indicates there was a significant difference between two groups

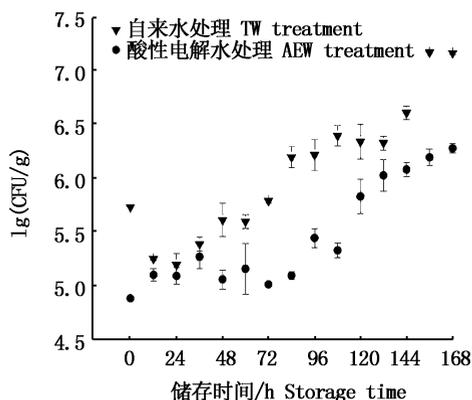


图2 酸性电解水 (AEW) 及自来水 (TW) 处理 5 min 后 4 °C 保藏的南美白对虾总菌数变化情况

Fig. 2 Changes in total viable counts (TVCs) of shrimp during 4 °C storage after AEW or TW water treatment for 5 minutes

2.3 酸性电解水预处理对南美白对虾 4 °C 冷藏过程中特定腐败菌生长的影响

图3为经酸性电解水和自来水处理后,南美白对虾在冷藏过程中假单胞菌的生长状况。由图可知,酸性电解水处理组的假单胞菌数量由初始3.86 lg(CFU/g)增加到5.48 lg(CFU/g)。自来水对照组由初始4.83 lg(CFU/g)增加到6.15 lg(CFU/g)。在冷藏48 h之后,处理组的假单胞菌数量显著 ($P < 0.05$) 低于对照组,说明酸性电解水浸泡处理能够有效地抑制腐败过程中假单胞菌的数量,有利于保持虾肉的新鲜度。

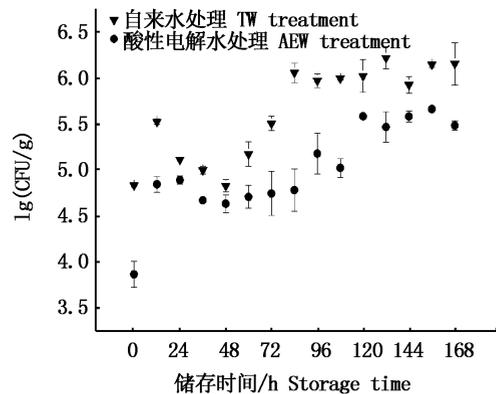


图3 酸性电解水 (AEW) 及自来水 (TW) 处理 5 min 后 4 °C 保藏的南美白对虾中假单胞菌的生长情况

Fig. 3 Changes in genus *Pseudomonas* of shrimp during 4 °C storage after AEW or TW water treatment for 5 minutes

图4为虾在4 °C冷藏过程中希瓦氏菌的生长状况。由图可知,经酸性电解水处理后,南美白对虾中希瓦氏菌的数量在2.6 lg(CFU/g)左右。自来水处理后虾中希瓦氏菌的数量在3.6 lg(CFU/g)左右。冷藏至12 h,两组虾中的希瓦氏菌含量急剧上升,分别达到4.03、4.04 lg(CFU/g),之后呈现出缓慢上升的趋势,但处理组希瓦氏菌的数量明显低于对照组。统计分析结果表明,冷藏时间在24~136 h内,酸性电解水处理后的虾中希瓦氏菌的数量显著低于对照组。随着冷藏时间的增加,处理组中希瓦氏菌的数量持续增加,直至6.31 lg(CFU/g),此时两组之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

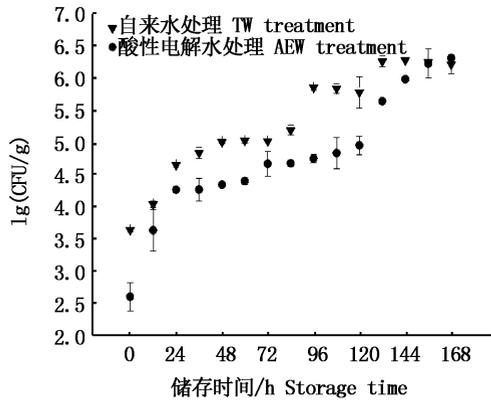


图 4 酸性电解水 (AEW) 及自来水 (TW) 处理 5 min 后 4 °C 保藏的南美白对虾中希瓦氏菌的生长情况
Fig.4 Changes in genus *Shewanella* of shrimp during 4 °C storage after AEW or TW water treatment for 5 minutes

2.4 酸性电解水预处理对虾肉品质指标的影响

图 5 为南美白对虾经酸性电解水和自来水处理后在冷藏过程中 pH 和 TVB-N 值的变化情况。由图 5(a) 可知,处理组与对照组中虾的 pH 呈上升趋势。在贮藏 96 h 内,酸性电解水预处理后的南美白对虾的 pH 显著低于自来水处理。随着贮藏时间的增加,处理组与对照组的 pH 相差不大。图 5(b) 为虾 TVB-N 值的变化情况。由图可知,在冷藏期间,两组虾的 TVB-N 值在逐渐增加。处理组的 TVB-N 值由 5.88 mg/100 g 增加到 28.16 mg/100 g,对照组由 5.82 mg/100 g 增加到 31.27 mg/100 g。并且处理组的 TVB-N 值低于对照组,尤其在储藏 48 h 后,其 TVB-N 值显著低于对照组 ($P < 0.05$)。说明随着冷藏时间的延长,两组虾的新鲜度均在逐渐降低。经酸性电解水处理过的虾的新鲜度较自来水的高。这一变化趋势与希瓦氏菌、假单胞菌及总菌的生长情况相吻合。

表 1 为南美白对虾冷藏期间色差变化指标。由表可知,电解水处理组与自来水对照组的 L^* 值均呈现下降趋势,表示虾体颜色逐渐变深。与对照组相比,酸性电解水能显著抑制 L^* 值的下降 ($P < 0.05$),说明酸性电解水处理能更好地保持虾的亮度。此实验结果与 ZHANG 等^[16] 的实验结果一致。

a^* 、 b^* 值是评价虾体色泽的另外两个重要参数。虾在前期 a^* 值为负,表示虾体颜色偏绿,随

着冷藏时间的延长, a^* 值显著增大,表明虾体表面颜色逐渐发红。冷藏过程中, b^* 值也不断增大,表示虾与新鲜样品相比颜色偏黄。统计学分析表明,两组之间 b^* 值变化无显著性差异 ($P > 0.05$),但电解水处理组的 a^* 值显著低于对照组,说明酸性电解水处理能有效地延缓虾体变红的趋势。

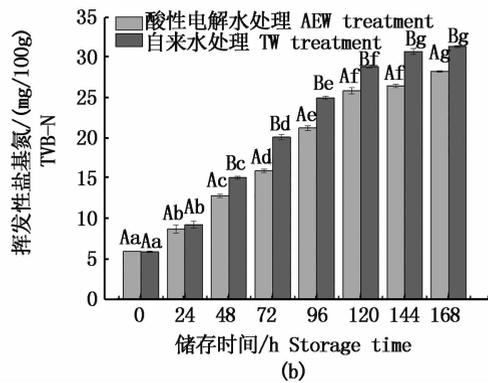
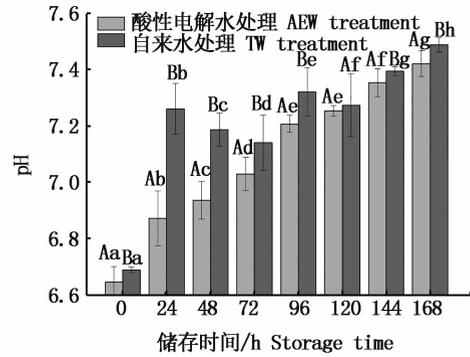


图 5 酸性电解水 (AEW) 及自来水 (TW) 处理 5 min 后 4 °C 保藏的南美白对虾 pH (a) 和 TVB-N 值 (b) 的变化
Fig.5 Changes in pH (a) and TVBN (b) values of shrimp during 4 °C storage after AEW or TW treatment for 5 minutes

相同储存时间大写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 同一处理方式小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)
Different capital letters within the same storage time indicate the significant differences ($P < 0.05$). Different lowercase letters within the same storage time indicate the significant differences ($P < 0.05$)

ΔE 值表示的是虾体总色差的大小。贮藏 48 h 之后,酸性电解水处理组虾体的 ΔE 值明显上升,显著高于对照组。贮藏 72 h 之后,处理组的色差变化速度减缓,反之对照组的虾体色差在 48 h 之后急速上升,显著高于处理组。结果表明酸性电解水处理能显著抑制对虾中色差的变化。

表1 酸性电解水(AEW)及自来水(TW)处理5 min后4℃保藏的南美白对虾色差指标的变化
Tab.1 L*, a*, b* values of the shrimp during 4℃ storage after AEW and TW treatment for 5 minutes

储藏时间/h Storage time	明暗度 L*		红绿度 a*		黄蓝度 b*		色差值 ΔE	
	酸性电解水处理 AEW treatment	自来水处理 TW treatment	酸性电解水处理 AEW treatment	自来水处理 TW treatment	酸性电解水处理 AEW treatment	自来水处理 TW treatment	酸性电解水处理 AEW treatment	自来水处理 TW treatment
	0	45.28 ± 0.13 ^{ba}	45.01 ± 0.13 ^{abA}	-0.72 ± 0.01 ^{dA}	-0.78 ± 0.01 ^{eA}	3.77 ± 0.74 ^{eA}	3.59 ± 0.74 ^{dA}	0 ^{aA}
24	48.42 ± 0.55 ^{aA}	44.85 ± 0.94 ^{abB}	-0.44 ± 0.31 ^{dA}	-0.44 ± 0.00 ^{deA}	2.64 ± 0.29 ^{fA}	5.45 ± 0.28 ^{cdB}	3.34 ± 0.02 ^{bA}	1.76 ± 0.01 ^{bB}
48	48.33 ± 0.53 ^{aA}	45.02 ± 1.25 ^{bb}	-0.43 ± 0.15 ^{dA}	-0.12 ± 0.18 ^{dA}	6.27 ± 1.47 ^{dA}	6.34 ± 0.65 ^{eA}	3.95 ± 0.03 ^{cA}	2.66 ± 0.01 ^{cB}
72	44.83 ± 1.05 ^{ba}	40.74 ± 0.21 ^{cB}	0.73 ± 0.06 ^{eA}	1.74 ± 0.83 ^{bb}	10.62 ± 0.71 ^{eA}	12.61 ± 1.84 ^{bb}	7.01 ± 0.08 ^{dA}	10.23 ± 0.15 ^{dB}
96	45.07 ± 0.92 ^{ba}	33.87 ± 2.14 ^{cB}	1.30 ± 0.10 ^{eA}	0.84 ± 0.03 ^{cB}	11.68 ± 0.02 ^{ba}	10.18 ± 0.49 ^{ba}	8.17 ± 0.21 ^{eA}	13.18 ± 0.28 ^{dB}
120	42.54 ± 0.14 ^{eA}	35.15 ± 0.83 ^{cB}	1.99 ± 0.09 ^{ba}	2.69 ± 0.16 ^{bb}	13.94 ± 0.42 ^{aA}	10.55 ± 0.03 ^{bb}	10.53 ± 0.27 ^{fA}	12.55 ± 0.09 ^{fB}
144	44.83 ± 1.27 ^{ba}	40.36 ± 0.30 ^{dB}	1.98 ± 0.02 ^{ba}	4.90 ± 0.11 ^{ab}	14.83 ± 0.83 ^{aA}	14.60 ± 3.73 ^{aA}	11.39 ± 0.11 ^{gA}	13.23 ± 0.31 ^{eB}
168	40.96 ± 0.19 ^{dA}	41.06 ± 1.94 ^{dA}	2.43 ± 0.45 ^{aA}	5.23 ± 0.09 ^{ab}	14.57 ± 0.72 ^{aA}	14.65 ± 1.95 ^{aA}	12.06 ± 0.03 ^{kA}	13.19 ± 0.25 ^{eB}

注:同行大写字母不同表示显著差异($P < 0.05$),同列小写字母不同表示显著差异($P < 0.05$)

Notes: Different capital letters in the same line within the same storage time indicate the significant differences ($P < 0.05$). Different lowercase letters in the same column within the same storage time indicate the significant differences ($P < 0.05$).

2.5 冷藏过程中虾的微生物指标与品质指标之间的相关性分析

表2和表3为酸性电解水处理组与自来水对照组的南美白对虾中微生物指标与虾肉品质之间相关性分析的结果。由表可知,无论是电解水处理组还是自来水对照组,希瓦氏菌的数量与pH、TVB-N含量及色差变化之间的相关性最强,其次为假单胞菌的数量和细菌总数,均与虾肉品质

之间呈显著相关性。由此说明,在南美白对虾冷藏过程中,希瓦氏菌的生长繁殖是导致虾肉品质衰败的最主要因素,假单胞菌数和细菌总数也与虾肉品质的下降密切相关。酸性电解水处理可通过抑制南美白对虾在冷藏过程中假单胞菌、希瓦氏菌以及细菌总数的生长,进而延缓虾肉品质的下降。

表2 自来水组南美白对虾微生物指标与品质指标间相关性分析结果

Tab.2 Correlation analysis between microbiological indicators and quality evaluation indicators of shrimp treated by TW

指标 Indicators	总菌数 TVCS	假单胞菌数 Numbers of genus <i>Pseudomonas</i>	希瓦氏菌数 Numbers of genus <i>Shewanella</i>
pH	0.566	0.770*	0.912**
TVBN	0.870**	0.958**	0.960**
ΔE	0.764*	0.962**	0.887**

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关,*在0.05水平(双侧)上显著相关

Notes:** indicates significantly correlated at 0.01 level(double tail), * indicates significantly correlated at 0.05 level(double tail)

表3 酸性电解水组南美白对虾微生物指标与品质指标间相关性分析结果

Tab.3 Correlation analysis between microbiological indicators and quality evaluation indicators of shrimp treated by AEW

指标 Indicators	总菌数 TVCS	假单胞菌数 Numbers of genus <i>Pseudomonas</i>	希瓦氏菌数 Numbers of genus <i>Shewanella</i>
pH	0.921**	0.939*	0.951**
TVBN	0.929**	0.910**	0.894**
ΔE	0.929**	0.934**	0.939**

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关,*在0.05水平(双侧)上显著相关

Notes:** indicates significantly correlated at 0.01 level(double tail), * indicates significantly correlated at 0.05 level(double tail)

3 结论与讨论

目前,酸性电解水被越来越多地推广应用于各类鲜食蔬菜以及水产品的消毒保鲜,病害防治^[17]。相较于其他传统的保鲜技术,酸性电解水

操作简便,省时省力,在使用过程中既可用于清洗,又可用于杀菌。酸性电解水的杀菌作用具有强效、速效、持续、广谱的特点。据报道,酸性电解水对耐药菌[MRSA(耐甲氧西林金黄色葡萄球菌)、绿脓菌等]、肠道出血性大肠菌O-157、军团

菌、沙门氏菌等广泛的病原菌和食物中毒菌均显示出速效的杀菌活性^[18]。WANG 等通过研究酸性电解水对鲜切茼蒿叶的杀菌效果,证实了酸性电解水冲洗茼蒿叶能有效地抑制其在贮藏过程中需氧菌的生长^[19]。林婷等^[20]也有研究表明酸性电解水在短时间内就能完全杀灭接种于黄瓜中的副溶血性弧菌以及单增李斯特菌。除却显著地杀菌能力,酸性电解水的安全性能也是推动其在食品工业中推广与应用的一大因素。HUANG 等^[21]的研究发现,酸性电解水浸泡罗非鱼 5 min,能使罗非鱼中的副溶血性弧菌降低 2.6 lg(CFU/cm²),且浸泡液中并没有检测出致病菌。SHIROODI 等^[22]研究发现,利用酸性电解水(pH = 2.7, ORP = 1.150 mV, ACC = 60 mg/L)浸泡冷熏三文鱼片 10 min,可使鱼片上的单增李斯特菌减少 2.9 lg(CFU/g),且处理过程不会影响鱼片的感官和质构性质。日本近几年的大量实验研究也表明酸性电解水的使用是安全的,小宫山宽机等从老鼠、哺乳动物到人类志愿者进行了皮肤刺激性试验、皮肤过敏试验、口腔粘膜刺激试验、急性眼刺激试验、细胞毒性试验、染色体异常试验及微核试验等多种安全性试验,发现所观测各项指标均无显著变化^[23]。

近年来,关于酸性电解水的防腐保鲜机制的研究主要围绕抑制产品储藏过程中感官品质以及质构性质的改变来开展^[11-13]。实际上,不受控制的特定腐败菌的生长是导致食品腐败的重要因素^[24]。本文主要从微生物控制的角度,研究酸性电解水处理对南美白对虾可能的防腐保鲜机理。研究表明,酸性电解水处理能够显著降低对南美白对虾中细菌总数、假单胞菌的数量以及希瓦氏菌的数量,并在随后 4°C 冷藏过程中持续抑制总菌和特定腐败菌的生长。相关性分析结果显示,贮藏过程中南美白对虾的品质与虾中微生物变化存在明显的相关性,希瓦氏菌的生长繁殖则是导致虾肉品质衰败的最主要因素,而酸性电解水的处理不仅能够抑制希瓦氏菌、假单胞菌以及总菌的数量,而且可在贮藏过程中持续抑制其生长,从而延缓了虾肉品质的下降,达到南美白对虾防腐保鲜的效果。本研究初步解释了酸性电解水通过抑制总菌及特定腐败菌保鲜南美白对虾的机理,为酸性电解水在水产品中的进一步应用、以及南美白对虾质量安全的保障奠定了理

论基础。

参考文献:

- [1] BRAUER J M E, LEYVA J A S, ALVARADO L B, et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. European Food Research and Technology, 2003, 217 (4): 277-280.
- [2] NIRMAL N P, BENJAKUL S. Effect of catechin and ferulic acid on melanosis and quality of Pacific white shrimp subjected to prior freeze-thawing during refrigerated storage [J]. Food Control, 2010, 21(9): 1263-1271.
- [3] MCMEEKIN T A, ROSS T. Shelf life prediction: status and future possibilities [J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 33(1): 65-83.
- [4] 赵海鹏,谢晶,严文蓉. 南美白对虾冷藏过程中的细菌分离、初步鉴定及菌相分析[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 164-168.
ZHAO H P, XIE J, YAN W R. Isolation and identification of bacteria in *Penaeus vannamei* during cold storage and analysis of composition of microorganism [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(1): 164-168.
- [5] 曹荣,刘淇,殷邦忠. 对虾冷藏过程中细菌菌相变化的研究[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(1): 17-20.
CAO R, LIU Q, YIN B Z. Study on changes in microbial flora of prawns during storage [J]. Storage and Process, 2011, 11(1): 17-20.
- [6] AYRES J C. The relationship of organisms of the genus pseudomonas to the spoilage of meat, poultry and eggs [J]. Journal of Applied Microbiology, 2010, 23(3): 471-486.
- [7] GU Q Q, FU L L, WANG Y B, et al. Identification and characterization of extracellular cyclic dipeptides as quorum-sensing signal molecules from *Shewanella baltica*, the specific spoilage organism of *Pseudosciaena crocea* during 4 °C storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61 (47): 11645-11652.
- [8] KOSEKI S, YOSHIDA K, ISOBE S, et al. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water [J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(5): 652-658.
- [9] HUANG Y R, HUNG Y C, HSU S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry [J]. Food Control, 2008, 19(4): 329-345.
- [10] MAHMOUD B S M. Electrolyzed water: a new technology for food decontamination-a review [J]. Deutsche Lebensmittel-Rundschau: Zeitschrift für Lebensmittelkunde und Lebensmittelrecht, 2007, 103(5): 212-221.
- [11] LIN T, WANG J J, LI J B, et al. Use of acidic electrolyzed water ice for preserving the quality of shrimp [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61 (36): 8695-8702.
- [12] WANG M, WANG J J, SUN X H, et al. Preliminary mechanism

- of acidic electrolyzed water ice on improving the quality and safety of shrimp[J]. *Food Chemistry*, 2015, 176: 333-341.
- [13] SUN J P, WANG M, LIU H Q, et al. Acidic electrolysed water delays browning by destroying conformation of polyphenoloxidase[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(1): 147-153.
- [14] XIE J, SUN X H, PAN Y J, et al. Physicochemical properties and bactericidal activities of acidic electrolyzed water used or stored at different temperatures on shrimp [J]. *Food Research International*, 2012, 47(2): 331-336.
- [15] MALLE P, POUMEYROL M. A new chemical criterion for the quality control of fish; trimethylamine/total volatile basic nitrogen (%) [J]. *Journal of Food Protection*, 1989, 52(6): 419-423.
- [16] ZHANG B, MA L K, DENG S G, et al. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging[J]. *Food Control*, 2015, 51: 114-121.
- [17] 谢军, 孙晓红, 潘迎捷, 等. 酸性电解水及其在食品工业中的应用[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(2): 366-368, 373.
- XIE J, SUN X H, PAN Y J, et al. Acidic electrolyzed water and its application in the food industry [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(2): 366-368, 373.
- [18] 堀田国元, 郭永明. 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.
- KUTIAN G Y, GUO Y M. The basic, application and development trend of acidic electrolytic water[J]. *Chinese Nursing Management*, 2008, 8(4): 7-11.
- [19] WANG H, HAO F, LUO Y G. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone [J]. *Food Research International*, 2004, 37(10): 949-956.
- [20] 林婷, 王敬敬, 潘迎捷, 等. 酸性电解水对纯培养及食品中食源性致病菌杀菌效果比较研究[J]. *食品科学*, 2013, 34(15): 69-74.
- LIN T, WANG J J, PAN Y J, et al. Comparison of the bactericidal activity of acidic electrolyzed water against foodborne pathogenic bacteria in pure culture and foods[J]. *Food Science*, 2013, 34(15): 69-74.
- [21] 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(12): 987-993.
- [22] SHIROODI S G, OVISSIPOUR M, ROSS C F, et al. Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for reducing *Listeria monocytogenes*, contamination in cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Food Control*, 2016, 60: 401-407.
- [23] 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.
- GAO X H, LIU Z H, LI X L, et al. Sterilization mechanism and application of strong acidic electrolyzed water [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(7): 393-399.
- [24] CHAILLOU S, CHAULOT-TALMON A, CAEKEBEKE H, et al. Origin and ecological selection of core and food-specific bacterial communities associated with meat and seafood spoilage[J]. *The ISME Journal*, 2015, 9(5): 1105-1118.

Acidic electrolyzed water improving the quality of *Litopenaeus vannamei* by inhibiting the total bacteria and specific spoilage microorganisms

ZHAO Li¹, ZHANG Buke¹, LIU Hongping¹, ZHANG Zhaohuan¹, LIU Haiquan^{1,2,3}, PAN Yingjie^{1,2,3}, ZHAO Yong^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 3. Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Aquatic Products on Storage and Preservation, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: Acidic electrolyzed water is a new type of non thermal processing technology, which was widely used in preserving the quality of aquatic products. In order to investigate the possible preservation mechanism, this study starts from the microbial control perspective, focuses on the inhibitory effect of acidic electrolyzed water towards total number of bacteria and spoilage bacteria in shrimp, then analyzes the correlation between them and shrimp meat quality. Results showed that AEW not only has a high capability to reduce the number of total bacteria and specific spoilage bacteria (*Pseudomonas* and *Shewanella* spp, $P < 0.05$), but also sustained suppressing the growth of total bacteria and specific spoilage bacteria in the subsequent 4 °C cold storage. In addition, AEW had an obvious capability in limiting the changes of pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N) and color changes in shrimp. Correlation analysis showed that microbial indexes and quality indexes of shrimps during storage has a good consistency. Acidic electrolyzed water can preserve the quality of shrimp by inhibiting the growth of total bacteria and specific spoilage organisms. In conclusion, this paper provided theoretical basis for further exploring the mechanism of AEW on improving the quality and safety of food.

Key words: acidic electrolyzed water; *Litopenaeus vannamei*; total bacteria; specific spoilage organisms; correlation analysis