

## 酸性电解水冰衣对单冻虾仁品质的影响

杨琰瑜<sup>1</sup> 张 宾<sup>1\*</sup> 汪恩蕾<sup>1</sup> 陈贝贝<sup>1</sup> 励建荣<sup>2</sup> 陈 静<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 浙江海洋学院 食品与医药学院 浙江舟山 316000

<sup>2</sup> 渤海大学 化学化工与食品安全学院 辽宁锦州 121013)

**摘要** 以单冻南美白对虾虾仁为研究对象,重点评价酸性电解水镀冰衣对于虾仁的抑菌效果以及对单冻虾仁贮藏品质的影响。结果表明:1) -18℃冻藏下,酸性电解水冰衣可显著降低单冻虾仁中的细菌总数和金黄色葡萄球菌含量。2) 经 80 d 冻藏后,传统蒸馏水镀冰衣的生、熟虾仁 TVBN 含量分别为 18.96 mg/100 g 和 13.86 mg/100 g,而酸性电解水镀冰衣的生、熟虾仁 TVBN 含量仅为 11.25 mg/100 g 和 8.52 mg/100 g,保鲜效果显著。3) 酸性电解水冰衣对单冻虾仁的明度、质构特性及挥发性风味物质均未产生显著性影响。4) 酸性电解水冰衣通过缓慢释放的有效氯,协同其高氧化-还原作用,可有效延缓虾仁中微生物生长,进而减少微生物产生的酶类对肌肉纤维的分解作用。本研究结果为单冻虾仁产品新型镀冰衣技术的研发提供一定的理论依据和技术支持。

**关键词** 电解水冰衣; 单冻虾仁; 抑菌效果; 品质特性

文章编号 1009-7848(2014)06-0162-07

南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)学名凡纳滨对虾,其肉质鲜嫩且营养价值高,因而深受国内外市场的欢迎。南美白对虾的加工主要以单冻去头虾仁、单冻蒸煮虾等形式为主,生产多集中在浙江、山东及福建等地。新鲜和质量上乘的冷冻虾仁为无色透明,粒型完好,手感饱满并富有弹性,保质期一般为 6 个月。深度冷冻保藏(-23~-12℃)可使虾肉中 90%以上水分冻结,酶活性和微生物生长几乎完全受到抑制,从而使其得以长期保藏<sup>[1]</sup>。在冻藏时溶质浓缩及冰晶的形成,会造成虾肉持水性、胶凝性及外观色泽等产生劣变<sup>[2]</sup>。此外,冻虾仁生产季节性很强,大多在夏秋收获季节,经突击加工成镀冰衣冻虾仁,贮存于冷库中。由于产品加工及贮藏技术相对滞后,所以使虾类及其冷冻产品品质随贮藏时间的延长而逐步降低。

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)具有耐热、耐低温和耐盐特性,是 1 种引起人类和动物

化脓感染的重要致病菌。单冻虾仁在加工过程中,以金黄色葡萄球菌为代表的致病菌可通过多种途径污染产品,如虾仁各生产环节加工人员、销售人员带菌,有 20%~30%葡萄球菌肠毒素食物中毒由此引起<sup>[3]</sup>;虾仁在加工前本身带菌或在加工过程中贮藏不当,受到污染产生肠毒素;虾仁产品包装问题,运输过程受到污染等。单冻虾仁中金黄色葡萄球菌的有效控制,对于降低国际技术性贸易壁垒,提高产品市场竞争力,具有重要现实意义。

电解水(Electrolyzed Water)是 1 种新兴杀菌消毒剂,指含电解质的水通过特定电解槽电解后,取得的具有氧化能力的酸或碱性水。电解水杀菌技术首先由日本研发成功,并被指定为食品杀菌剂,其用于杀灭金黄色葡萄球菌,效果十分明显<sup>[4]</sup>。目前,国内外关于电解水的应用研究,绝大多数均集中在酸性较低(pH<2.7)的电解水方面,而较低 pH 对于食品(尤其水产品)品质、包装运输材料腐蚀性大,且强酸性电解水制造成本高,受外界有机物影响较大,其中有效氯极不稳定等原因,极大地限制了其应用<sup>[5]</sup>。关于电解水在单冻虾仁产品中保鲜、抑菌的应用研究还未见报道。本文以南美白对虾虾仁为研究对象,采用酸性电解水进行镀冰衣处理,探讨不同酸性电解水冰衣对冷冻虾仁的保鲜、抑菌、质构及挥发性风味特性的影响,以期达

收稿日期: 2013-06-24

基金项目: 十二五国家科技支撑计划(2012BAD29B06); 国际重大合作项目(2012DFA30600); 国家自然科学基金项目(31201452); 浙江省公益性项目(2012C33081; 2012C22063)

作者简介: 杨琰瑜,男,1992 年出生,本科

通讯作者: 张宾

到有效保障冷冻虾仁品质的目的,为该技术在冷冻水产品贮藏保鲜过程中的进一步应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

鲜活南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*),购于舟山市南珍水产品市场。金黄色葡萄球菌 (ATCC 25925, *Staphylococcus aureus*), 来自中国普通微生物菌种保藏管理中心。Baird-Parker 平板、营养琼脂等培养基,青岛拓普生物工程有限公司;氯化钠、磷酸盐类等,国药集团化学试剂有限公司。试验所用试剂均为国产分析纯。

FX-SASAL 电解水生成器,烟台方心水处理设备有限公司;HS-1300 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;HWS-270 智能恒温恒湿箱,常州越科有限公司;MDF-U53V 超低温冰箱,日本 SANYO 公司;TMS-PRO 物性分析仪,美国 FTC 公司;PEN3 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;DC-P3 全自动色差计,上海过望化工有限公司。

### 1.2 试验与方法

1.2.1 酸性电解水的制备 配制 0.15% NaCl 溶液,在电解水生成器中电解。调节电流与电压,电解制备不同 pH 的酸性电解水 (Acidic Electrolyzed Water, AEW):1) pH 4.5, 氧化-还原电位 1 025 mV,有效氯 38.6 mg/L;2) pH 6.0, 氧化还原电位 1 056 mV,有效氯 34.2 mg/L。试验所用酸性电解水,制备后立即使用。

1.2.2 南美白对虾虾仁的预处理 将鲜活南美白对虾于适量冰水混合物中浸没 10 min,取出后依次进行清洗、去头、去尾、去壳,得鲜虾仁。整个预处理过程在低温(0~4℃)下快速完成,且注意保持虾体完整。将制备的鲜虾仁置于沸水中,100℃维持 2.0 min,取出,冷却至室温,用纱布拭去表面的水分后,备用。

1.2.3 南美白对虾虾仁镀冰衣 将生(熟)虾仁置于含  $10^3$  cfu/mL 金黄色葡萄球菌溶液中 1~2 s,取出沥干置于空气中 4 h(增菌),将染菌生(熟)虾仁于超低温冰箱中-55℃冷冻 4 h,快速取出后立即浸没于不同 pH 的 AEW 中 3~5 s(4℃),将镀冰衣后的生(熟)虾仁分别装入塑料封口袋中,贮藏

于-18℃冰箱中。

试验处理分组:1)单冻生虾仁处理组:蒸馏水镀冰衣组(空白)、pH 4.5 AEW 镀冰衣组(AEW 4.5)、pH 6.0 AEW 镀冰衣组(AEW 6.0)。2)单冻熟虾仁处理组:蒸馏水镀冰衣组(空白)、pH 4.5 AEW 镀冰衣组(AEW 4.5)、pH 6.0 AEW 镀冰衣组(AEW 6.0)。

### 1.2.4 测定项目与方法

1) 微生物指标:细菌总数的测定参照 GB 4789.2-2010 方法,金黄色葡萄球菌的测定参照 GB 4789.10-2010 方法。

2) TVBN 含量:半微量凯氏定氮法<sup>[6]</sup>。称取 10.0 g 虾肉加入 100 mL 0.6 mol/L 高氯酸,4℃均质 1 min,滤纸过滤。吸取滤液 5 mL,加入 1 滴酚酞、2 滴硅油、5 mL 0.8 mol/L NaOH,混合液注入半微量定氮反应室中,蒸汽加热 6 min,用 0.01 mol/L HCl 溶液滴定硼酸吸收液至蓝紫色。计算样品中 TVBN 含量(mg/100g)。

3) 虾仁明度:以虾仁腹部第 2 节为测试点,室温下用 DC-P3 全自动测色色差计测定样品表面亮度,记录明度值( $L^*$ 值)。仪器采用标准白板校正。

4) 虾仁质构:采用二次挤压质构分析法(TPA)测定虾仁的质构。测定参数:①测定部位:腹部第 2 节肌肉;②P/50 平底柱形探头,直径 50 mm;③测试速度 1.0 mm/s,样品压缩形变量 30%。

5) 虾仁风味:采用电子鼻气味识别法测定虾仁风味。称取虾肉(5.0 ± 0.2)g,剪碎转入采集瓶后密封。测定参数:①平衡温度 25℃,时间 20 min;②采样间隔 1.0 s,测定时间 60 s,清洗时间 60 s;③传感器室流量 300 mL/min,样品流量 300 mL/min。

1.2.5 数据分析 数据处理及作图采用 Origin 8.1、SPSS 13.0 统计分析软件,结果为平均值±标准偏差。

## 2 结果与讨论

### 2.1 AEW 对单冻虾仁中微生物的抑制作用

单冻虾仁镀冰衣的后处理技术是为了防止虾仁低温贮运过程中,肌肉表面出现干燥、油脂外溢等干耗甚至油烧现象。传统自来水镀冰衣可防止

虾体脂类和色素的氧化,由于其附着力较弱,易出现裂缝而脱落,因此无法长期有效地防止虾仁遭受腐败及致病微生物侵染与繁殖。蒸馏水(空白)、AEW冰衣对单冻生、熟虾仁贮藏过程中微生物的影响情况,如表1所示。采用蒸馏水对单冻生、熟虾仁镀冰衣后,虾体中细菌总数在0~20 d内基本无显著性变化,主要由于低温作用钝化了部分微生物的生长与繁殖;而随着贮藏时间的延长(20~80 d),部分细菌适应了低温条件,且在解冻虾仁中恢复了一定的繁殖能力,致使细菌总数增加( $P<0.05$ );同样,蒸馏水镀冰衣也无法有效降低生、熟虾仁中金黄色葡萄球菌含量,经过40 d贮藏期后,数量显著性增加( $P<0.05$ )。采用pH 4.5、pH 6.0 AEW对虾仁镀冰衣后,在0~80 d贮藏期内,虾体中细菌总数、金黄色葡萄球菌含量均显著

性降低( $P<0.05$ ),说明AEW对单冻生、熟虾仁具有良好的杀(抑)菌效果。

研究发现,酸性电解水溶液在外界环境中,由于光照、氧气及加热等作用下,易出现分解进而转变为普通水,因此如果直接应用,其实际杀菌作用时间相对较短<sup>[7]</sup>。此外,有研究发现AEW碎冰同样能表现出良好杀菌活性,如对大肠杆菌、摩氏摩根菌等杀灭效果显著,同时还可防止红肉鱼中组胺的形成与蓄积<sup>[8]</sup>。本研究中将AEW制备成单冻虾仁的外包冰衣,通过AEW冰中缓慢释放的 $\text{ClO}^-$ 、 $\text{ClO}_2^-$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 及 $[\text{O}]$ 等活性物质,可有效抑制细菌的胞质酶活性,并损坏细菌外层细胞膜进而导致细菌的死亡<sup>[9]</sup>,在较长贮藏时间内对虾仁表现出良好的抑菌活性。

表1 AEW冰衣对单冻生、熟虾仁的杀菌效果

Table 1 Bactericidal activity of AEW coating ice on the frozen fresh and cooking shrimp

测定指标	贮藏 时间/d	单冻生虾仁组			单冻熟虾仁组		
		空白	AEW 4.5	AEW 6.0	空白	AEW 4.5	AEW 6.0
细菌总数/ $10^4\text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}$	0	1.40 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.24 <sup>c</sup>	1.40 ± 0.24 <sup>c</sup>	0.82 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.82 ± 0.11 <sup>d</sup>
	10	1.31 ± 0.37 <sup>a</sup>	0.76 ± 0.31 <sup>b</sup>	1.13 ± 0.30 <sup>d</sup>	0.88 ± 0.30 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.19 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.33 <sup>ab</sup>
	20	1.62 ± 0.19 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.01 ± 0.19 <sup>ab</sup>	1.24 ± 0.26 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.17 <sup>a</sup>
	40	1.90 ± 0.38 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.22 <sup>ab</sup>	0.92 ± 0.26 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.50 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.11 <sup>bc</sup>
	80	2.34 ± 0.27 <sup>d</sup>	0.84 ± 0.27 <sup>b</sup>	1.05 ± 0.10 <sup>bc</sup>	1.48 ± 0.25 <sup>c</sup>	0.48 ± 0.17 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.26 <sup>c</sup>
金黄色 葡萄球菌/ $10^2\text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}$	0	3.55 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.55 ± 0.14 <sup>c</sup>	3.55 ± 0.14 <sup>d</sup>	2.95 ± 0.17 <sup>ab</sup>	2.95 ± 0.17 <sup>b</sup>	2.95 ± 0.17 <sup>c</sup>
	10	3.64 ± 0.22 <sup>ab</sup>	1.63 ± 0.22 <sup>b</sup>	2.34 ± 0.37 <sup>c</sup>	2.89 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.22 <sup>a</sup>	1.78 ± 0.28 <sup>b</sup>
	20	3.81 ± 0.19 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.89 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.08 ± 0.22 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.15 <sup>a</sup>
	40	4.20 ± 0.37 <sup>c</sup>	0.79 ± 0.30 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.31 <sup>a</sup>	3.36 ± 0.26 <sup>c</sup>	0.82 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.22 <sup>a</sup>
	80	4.86 ± 0.33 <sup>d</sup>	0.95 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.26 <sup>a</sup>	3.67 ± 0.18 <sup>d</sup>	0.80 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.29 ± 0.31 <sup>a</sup>

注:细菌总数、金黄色葡萄球菌两组数据中,同一列(0~80 d)中不同字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。

## 2.2 单冻虾仁贮藏过程中TVBN含量变化

TVBN与动物性食品的腐败程度之间有着明确对应关系,它是评定动物性食品新鲜度的重要化学指标。AEW冰衣对单冻生、熟虾仁TVBN含量影响如图1所示。结果表明,单冻生、熟虾仁在0~20 d贮藏期内,AEW镀冰衣与蒸馏水镀冰衣对虾仁的保鲜作用无显著性差别( $P>0.05$ )。经40 d贮藏后,蒸馏水镀冰衣的生、熟虾肉中TVBN含量分别为13.65 mg/100 g和10.15 mg/100 g,80 d后

分别为18.96 mg/100 g和13.86 mg/100 g,其增长速度相对较快。pH 4.5 AEW镀冰衣的生、熟虾仁中,TVBN含量变化较缓慢,80 d后含量分别为11.25 mg/100 g和8.52 mg/100 g。此外,pH 6.0 AEW镀冰衣对生、熟虾仁的保鲜作用较pH 4.5 AEW弱些,该变化趋势也符合虾仁中细菌总数的测定结果,主要是由于弱酸性的AEW杀菌活性相对较弱造成的<sup>[5]</sup>。

周然等<sup>[10]</sup>采用pH 6.1,有效氯21 mg/L,氧化-

还原电位 947.6 mV 的酸性电解水浸没河豚鱼, 结果发现该处理可显著降低鱼肉中 TVBN 含量, 从而有效延长了河豚鱼的货架期。谢军等<sup>[11]</sup>比较了酸性电解水 (pH 2.7、pH 4.2) 和常见有机酸 (乳酸、乙酸) 对虾的杀菌效果, 发现酸性电解水的 (振荡浸泡) 杀菌效果显著优于有机酸, 且对虾感官品质

几乎无影响。本研究中, 将酸性电解水从溶液状态转变成成为外包冰衣固态形式并应用于冷冻虾仁的保鲜贮藏, 可极大地延长酸性电解水的有效杀菌作用时间, 进而显著延缓了虾仁肌肉中 TVBN 含量升高。

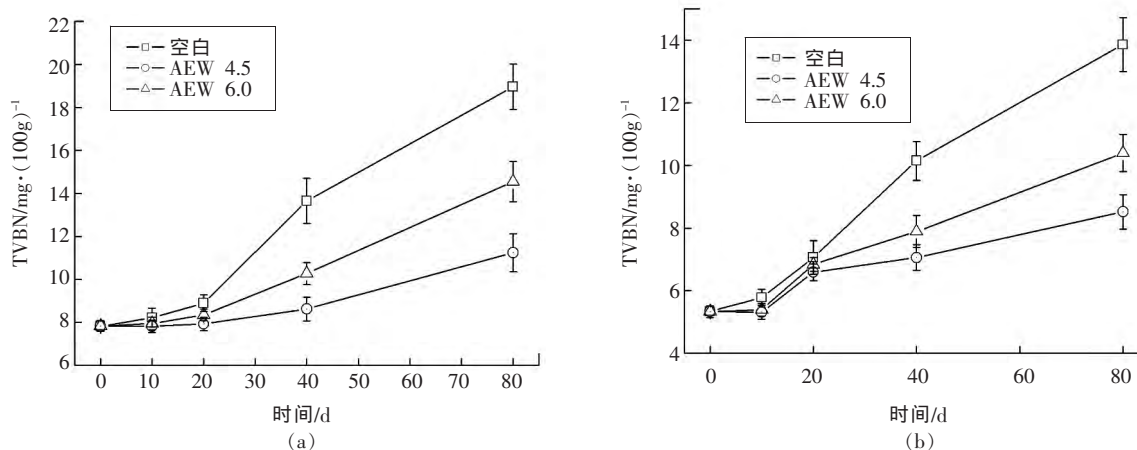


图 1 单冻生虾仁 (a) 及熟虾仁 (b) 贮藏过程中 TVBN 含量变化

Fig.1 Changes of TVBN content in the frozen fresh and cooking shrimp during storage

### 2.3 AEW 冰衣对单冻虾仁色度的影响

单冻虾仁贮藏过程中, 会出现颜色变化, 其颜色测量值往往和感官评价具有很好的相关性。明度 ( $L^*$ ) 作为各色混合的非彩色, 其值越大表示颜色越加明亮。AEW 冰衣对单冻生、熟虾仁明度的影响如表 2 所示。蒸馏水、AEW 镀冰衣的生、熟虾仁在贮藏过程中, 虾仁  $L^*$  值均出现一定的波动, 并表现出逐渐增大的趋势。虾仁  $L^*$  值升高是由于低温冻藏过程中冰晶体的生成, 导致肌肉蛋白质持水性发生改变, 使得解冻虾仁表面游离水增多 (解冻损失增大), 进而增强了对光的反射效果<sup>[1]</sup>。AEW 镀冰衣的生、熟虾仁  $L^*$  值, 在贮藏初期 (0~

20 d) 增加相对明显, 与蒸馏水镀冰衣组无显著性差异; 在 20~80 d 贮藏期内, AEW 镀冰衣虾仁  $L^*$  值变化趋势, 与蒸馏水镀冰衣组基本一致。陈韬等<sup>[12]</sup>在比较不同持水性冷却肉的品质时发现, 汁液损失率较高的冷却肉颜色较白,  $L^*$  值较大, 表明肌肉持水性的强弱与其  $L^*$  值具有一定的相关性。从总体来看, AEW 镀冰衣对虾肉的持水性表现出一定的正调节作用, 其作用机制可能与 AEW 影响虾肉蛋白质结构、肌肉结合水的状态及含量等有关 (其机制有待进一步研究)。综上所述, 相对于蒸馏水镀冰衣处理组, AEW 镀冰衣处理对冷冻生、熟虾仁的肌肉持水性基本无影响。

表 2 AEW 冰衣对单冻生、熟虾仁 (解冻后) 色度的影响

Table 2 Effect of AEW coating ice on the chroma of frozen fresh and cooking shrimp

项目	贮藏 时间/d	单冻生虾仁组			单冻熟虾仁组		
		空白	AEW 4.5	AEW 6.0	空白	AEW 4.5	AEW 6.0
$L^*$ 值	0	55.4 ± 2.5 <sup>a</sup>	55.4 ± 2.5 <sup>a</sup>	55.4 ± 2.5 <sup>a</sup>	32.5 ± 1.6 <sup>a</sup>	32.5 ± 1.6 <sup>a</sup>	32.5 ± 1.6 <sup>a</sup>
	10	57.4 ± 1.8 <sup>b</sup>	56.8 ± 2.3 <sup>b</sup>	57.8 ± 1.8 <sup>d</sup>	34.1 ± 2.0 <sup>c</sup>	33.4 ± 2.4 <sup>b</sup>	33.8 ± 1.9 <sup>b</sup>
	20	56.7 ± 3.0 <sup>a</sup>	57.1 ± 1.6 <sup>b</sup>	57.0 ± 2.2 <sup>c</sup>	33.2 ± 1.1 <sup>b</sup>	32.8 ± 1.5 <sup>a</sup>	32.0 ± 1.1 <sup>a</sup>
	40	58.0 ± 2.3 <sup>bc</sup>	57.4 ± 1.3 <sup>b</sup>	56.5 ± 2.1 <sup>b</sup>	33.4 ± 1.5 <sup>b</sup>	32.5 ± 2.2 <sup>a</sup>	33.9 ± 1.4 <sup>b</sup>
	80	58.3 ± 1.7 <sup>c</sup>	55.8 ± 1.9 <sup>a</sup>	56.7 ± 1.7 <sup>b</sup>	35.5 ± 2.3 <sup>d</sup>	32.9 ± 2.1 <sup>a</sup>	32.7 ± 1.6 <sup>a</sup>

注: 同一列中不同字母表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )。



## 2.4 AEW 冰衣对于单冻虾仁质构特性的影响

AEW 镀冰衣对单冻生、熟虾仁弹性、咀嚼度的影响,如表 3 所示。虾仁弹性是反映肌肉受外力作用时变形及去除后的恢复程度的指标。蒸馏水镀冰衣的生、熟虾仁,经 80 d 贮藏期后,肌肉弹性值分别从 0.87,0.71,下降至 0.69,0.51,其下降程度显著( $P<0.05$ )。pH 4.5 AEW 镀冰衣的生、熟虾仁经 80 d 贮藏后,肌肉弹性值分别下降至 0.72,0.62,其对于虾仁弹性的保持作用显著优于蒸馏水镀冰衣、pH 6.0 AEW 镀冰衣处理。

咀嚼度是模拟肌肉咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量,即所说的咬劲,其是肌肉硬度、细胞间凝聚力、肌肉弹性等综合作用的结果。蒸馏水镀

冰衣的生、熟虾仁,随着贮藏期的延长(0~80 d),虾仁肌肉咀嚼度分别由 94.1,70.4 MJ,降低到 78.9,59.8 MJ。pH 4.5 AEW、pH 6.0 AEW 镀冰衣处理,能较好的维持虾仁肌肉的咀嚼度,效果相对显著( $P<0.05$ )。周然等<sup>[10]</sup>发现 AEW 保鲜河豚鱼的作用机制,可能是通过减缓贮藏过程中鱼肉中的肌原纤维分解作用,进而避免鱼肉硬度、弹性和回复性等质构特性的变化。本研究采用 AEW 冰衣形式保鲜冷冻虾仁,其作用机制是通过冰中缓释的有效氯成分,协同其高氧化-还原作用<sup>[8]</sup>,延缓了肌肉中微生物的生长与繁殖,进而减少了微生物产生的酶类对肌肉纤维的分解,从而可有效地保持冷冻虾仁的弹性、咀嚼性等质构特性。

表 3 AEW 冰衣对单冻生、熟虾仁质构特性的影响

Table 3 Effect of AEW coating ice on the textural properties of frozen fresh and cooking shrimp

测定指标	贮藏时间/d	单冻生虾仁组			单冻熟虾仁组		
		空白	AEW 4.5	AEW 6.0	空白	AEW 4.5	AEW 6.0
弹性	0	0.87 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.87 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.71 ± 0.05 <sup>cd</sup>	0.71 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.71 ± 0.05 <sup>d</sup>
	10	0.85 ± 0.09 <sup>d</sup>	0.88 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.86 ± 0.07 <sup>cd</sup>	0.69 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.70 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.70 ± 0.07 <sup>d</sup>
	20	0.77 ± 0.10 <sup>c</sup>	0.83 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.81 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.63 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.68 ± 0.06 <sup>bc</sup>	0.66 ± 0.04 <sup>c</sup>
	40	0.69 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.76 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>b</sup>
	80	0.60 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.05 <sup>a</sup>
咀嚼性(MJ)	0	94.1 ± 2.6 <sup>c</sup>	94.1 ± 2.6 <sup>cd</sup>	94.1 ± 2.6 <sup>d</sup>	70.4 ± 3.9 <sup>c</sup>	70.4 ± 3.9 <sup>c</sup>	70.4 ± 3.9 <sup>d</sup>
	10	91.5 ± 1.9 <sup>d</sup>	93.7 ± 3.5 <sup>c</sup>	92.9 ± 1.3 <sup>c</sup>	68.9 ± 1.0 <sup>c</sup>	70.1 ± 2.4 <sup>c</sup>	70.2 ± 2.0 <sup>d</sup>
	20	86.4 ± 2.3 <sup>c</sup>	90.1 ± 1.4 <sup>bc</sup>	89.9 ± 2.6 <sup>c</sup>	65.3 ± 1.7 <sup>b</sup>	68.7 ± 1.1 <sup>b</sup>	67.8 ± 1.9 <sup>c</sup>
	40	82.8 ± 3.0 <sup>b</sup>	88.4 ± 2.2 <sup>b</sup>	87.6 ± 3.2 <sup>b</sup>	61.8 ± 2.2 <sup>a</sup>	67.2 ± 3.0 <sup>a</sup>	63.0 ± 2.1 <sup>b</sup>
	80	78.9 ± 3.6 <sup>a</sup>	82.1 ± 1.7 <sup>a</sup>	84.1 ± 2.0 <sup>a</sup>	59.8 ± 3.0 <sup>a</sup>	66.8 ± 2.4 <sup>a</sup>	61.8 ± 1.7 <sup>a</sup>

注:弹性、咀嚼性两组数据中,同一列中不同字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。

## 2.5 AEW 冰衣对单冻虾仁风味特性的影响

采用主成分分析法(Principal-Component-Analysis,PCA)和线性判别分析法(Linear Discriminant Analysis,LDA),对采集的单冻虾仁中挥发性气味信息进行分析<sup>[13]</sup>,结果如图 2 所示。对于单冻生虾仁组,采集的 pH 4.5、6.0 AEW 镀冰衣处理虾仁的挥发性气味物质(红色椭圆和绿色椭圆)较蒸馏水镀冰衣虾仁(黑色椭圆)出现一定的

波动,其原因是由于解冻虾仁中残留的 AEW 产生微量  $Cl_2$  而引起的,尤其是 pH 4.5 AEW(红色椭圆)波动更明显一些,说明 AEW 镀冰衣处理对单冻生虾仁挥发性气味有一定的影响。考虑到 AEW 冰衣解冻后,在外界光线、氧气及温度条件影响下会快速降解为普通蒸馏水<sup>[14]</sup>,或对解冻生虾仁采用少量蒸馏水快速淋洗即可完全消除风味影响,因此 AEW 在单冻生鲜水产品中具有一定的应用

价值。对于单冻熟虾仁组, pH 4.5、6.0 AEW 镀冰衣处理虾仁的挥发性气味物质(红色椭圆和绿色椭圆)较蒸馏水镀冰衣虾仁(黑色椭圆), 电子鼻采集的气味特征区域重叠严重, 表明 AEW 镀冰衣处理对于熟制虾仁的挥发性物质主成分及含量无显著性影响。综上所述, 采用新型的 AEW 镀冰衣处理

技术对单冻生、熟虾仁未产生显著的异常风味影响, 或采用简单的蒸馏水淋洗即可完全消除影响, 因此可作为传统蒸馏水镀冰衣的取代技术。此外, 其还兼有抑制虾仁微生物生长, 调节虾仁感官品质的作用。

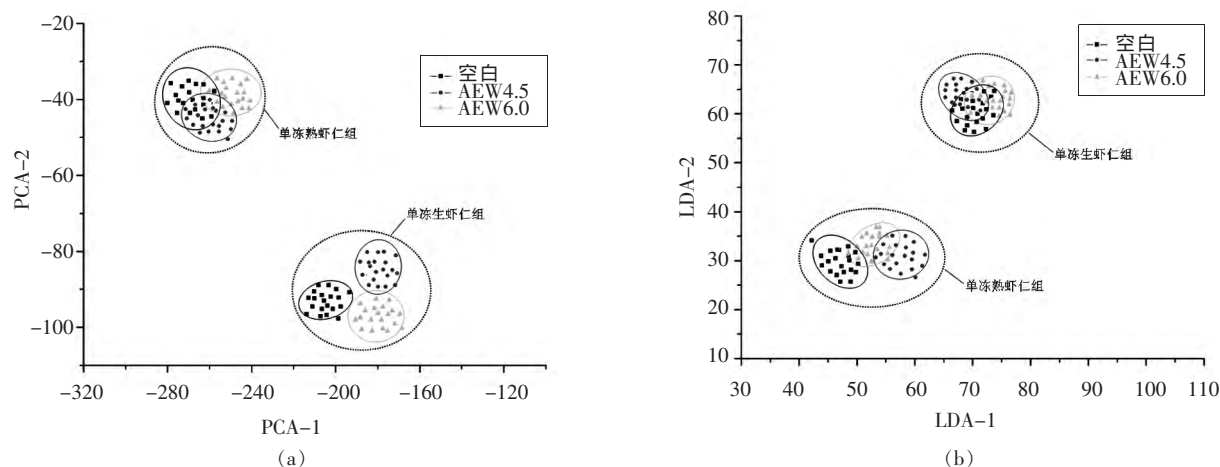


图2 AEW 冰衣对于单冻虾仁(解冻后)风味特性的影响

Fig.2 Effect of AEW coating ice on the flavor properties of frozen fresh and cooking shrimp

### 3 结论

以单冻生、熟南美白对虾虾仁为研究对象, 采用传统蒸馏水镀冰衣处理为对照, 通过酸性电解水镀冰衣对冻藏虾仁抑菌效果、明度、质构及挥发性风味特性的影响研究发现: pH 4.5 和 pH 6.0 酸

性电解水对单冻虾仁的抑菌效果显著, 且对虾仁的亮度、质构及风味特性无显著性影响。新型的电解水可代替自来水用于原料虾类的清洗及镀冰衣处理, 电解水本身不产生二次污染。该技术在鲜活水产品加工与贮藏中具有一定的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] 邹明辉, 李来好, 郝淑贤, 等. 凡纳滨对虾虾仁在冻藏过程中品质变化研究[J]. 南方水产, 2010, 6(4): 37-42.
- [2] 张丽丽, 陈舜胜, 谢晶. 国产冷冻虾仁的质量评价方法建立及质量评价[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 243-247.
- [3] 徐国进, 黄和. 单冻生虾仁中金黄色葡萄球菌的风险评估[J]. 现代食品科技, 2008, 24(4): 375-377.
- [4] Issa-Zacharia A, Kamitani Y, Tiisekwa A, et al. In vitro inactivation of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella spp.* using slightly acidolyzed water[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, 110(3): 308-313.
- [5] 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.
- [6] Zhang B, Deng SG, Lin HM. Changes in the physicochemical and volatile flavor characteristics of *Scomberomorus niphonius* during chilled and frozen storage[J]. Food Science and Technology Research, 2012, 18(5): 747-754.
- [7] 庄琳懿. 酸性氧化电位水的产生条件与作用的初步研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.

- [8] Phuvasate S, Su YC. Effects of electrolyzed oxidizing water and ice treatments on reducing histamine-producing bacteria on fish skin and food contact surface[J]. *Food Control*, 2010, 21: 286-291.
- [9] Mahmoud BSM, Yamazaki K, Miyashita K, et al. Preservative effect of combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on carp fillets during convectional air-drying[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 106(3): 331-337.
- [10] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 电解水对冷藏河豚鱼肉质构及品质变化的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27 (10): 365-369.
- [11] 谢军, 孙晓红, 潘迎捷, 等. 电解水和有机酸对虾的杀菌效果及感官品质影响[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(5): 57-63.
- [12] 陈韬, 周光宏, 徐幸莲. 不同持水性冷却肉的品质比较和蛋白质的 DSC 测定[J]. *食品科学*, 2006, 6 (27): 31-34.
- [13] Poulli KI, Mousdis GA, Georgiou CA. Classification of edible and lampante virgin olive oil based on synchronous fluorescence and total luminescence spectroscopy[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, 542: 151-156.
- [14] Huang YR, Hung YC, Hsu SY, et al. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. *Food Control*, 2008, 19: 329-345.

### Effect of Acidic Electrolyzed Water Coating Ice on Quality of Frozen Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

Yang Yanyu<sup>1</sup> Zhang Bin<sup>1\*</sup> Wang Enlei<sup>1</sup> Chen Beibei<sup>1</sup> Li Jianrong<sup>2</sup> Chen Jing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Food and Medicine, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, Zhejiang

<sup>2</sup>College of Chemistry and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning)

**Abstract** The prepared acidic electrolyzed water(AEW) coating ice was investigated for its antibacterial activity and application in frozen shrimp(*Litopenaeus vannamei*). The results indicated that: 1) The AEW coating ice significantly reduced total numbers of bacteria and *Staphylococcus aureus* in frozen shrimp meat under -18 °C frozen conditions. 2) The content of TVBN in frozen fresh and cooking shrimp meat were 18.96 mg/100 g and 13.86 mg/100 g after 80 day storage, which were coated with the distilled water. While, the content in frozen fresh and cooking shrimp meat were only 11.25 mg/100 g and 8.52 mg/100 g, which were coated with the AEW ice. 3) There no significant difference was noticed in lightness, texture and volatile flavor characteristics of the frozen shrimp meat between the distilled water and AEW ice treatment. 4) The growth of microorganism and the hydrolysis of shrimp muscle protein were significantly inhibited by the slowly released effective chlorine and highly oxidation reduction action. The study can lay the foundation for developing a new method of ice coating, and further provide technological support for the product of frozen shrimp.

**Key words** AEW coating ice; frozen shrimp meat; bactericidal action; quality characteristics