

酸性电解水冰对南美白对虾杀菌保鲜效果的研究

赵爱静¹, 王萌¹, 赵飞¹, 孙江萍¹, 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), 上海 201306)

摘要: 为探究酸性电解水冰(AEW ice)对水产品的杀菌保鲜效果, 本文以夏季鲜活南美白对虾为研究对象, 对其冰藏过程中感官、物理、化学及微生物菌落多样性的变化进行了研究。结果表明, 在南美白对虾冰藏过程中, 相较于传统自来水冰(TW ice), AEW ice 对其感官评分不会产生不利影响; AEW ice 能够显著降低色差值的变化($p < 0.05$); AEW ice 可以减缓冰藏过程中 pH 值的变化, 尤其贮藏至第 8 d, pH 值受到明显抑制($p < 0.05$); AEW ice 在一定程度上抑制了硫代巴比妥酸(TBA)的生成。此外, PCR-DGGE 结果显示 AEW ice 处理组 DGGE 图谱条带数和微生物菌落多样性指数(H') 低于 TW ice 处理组, 表明 AEW ice 有效减少了微生物菌落多样性。因此, AEW ice 作为一种新型高效杀菌保鲜技术, 具有潜在的应用前景, 可替代传统 TW ice 应用于水产品贮藏保鲜, 以保证其食用品质并延长货架期。

关键词: 酸性电解水冰; 色差; pH; 硫代巴比妥酸; PCR-DGGE

文章编号: 1673-9078(2016)3-126-131

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.021

Application of Acidic Electrolyzed Water Ice in Sterilization and Preservation of Shrimp

ZHAO Ai-jing¹, WANG Meng¹, ZHAO Fei¹, SUN Jiang-ping¹, PAN Ying-jie^{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 Product on Storage and Preservation (Shanghai), Ministry of Agriculture Shanghai 201306, China)

Abstract: To investigate the effect of acidic electrolyzed water (AEW) ice on preserving the quality of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) obtained in summer, the changes in sensory index, physical-chemical properties and microbial diversity were examined during storage. The results showed that compared with traditional tap water (TW) ice, AEW ice treatment had no negative effects on the sensory scores of shrimp. It was also found that AEW ice significantly ($p < 0.05$) delayed the changes in color difference and pH of shrimp after a 8-day storage. The formation of thiobarbituric acid (TBA) was also inhibited by the treatment with AEW ice. PCR-DGGE demonstrated that the bands of DGGE profile and Shannon index H' of bacterial diversity were greatly decreased after the AEW ice treatment, indicating that AEW ice had a stronger effect on reducing the diversity of microbial communities in shrimp. Therefore, AEW ice treatment can serve as a novel and effective sterilization method, for improving the quality and shelf life of aquatic products in food industry, instead of TW ice.

Key words: acidic electrolyzed water ice; color difference; pH; TBA; PCR-DGGE

南美白对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 学名凡纳对虾, 俗称白对虾, 因其壳薄体肥, 肉质鲜美, 营养丰

收稿日期: 2015-04-29

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31271870); 上海市科委计划项目(14DZ1205100, 14320502100); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字 2014 第 3-5 号、2015 第 4-8 号); 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心(11DZ2280300)

作者简介: 赵爱静(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全风险评估

通讯作者: 赵勇(1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全风险评估

富而深受人们喜爱, 是目前世界上三大养殖对虾中单产量最高的虾种^[1]。然而, 南美白对虾属易腐食品, 在捕捞、运输、加工及贮藏过程中极易受细菌侵袭而腐败变质, 导致其货架期缩短, 严重影响了产品的销售和流通, 并且这样一系列不友好的变化在夏季更容易发生。因此, 发展一项新型杀菌保鲜技术以保证其品质安全迫在眉睫。

目前, 自来水冰(Tap water ice, TW ice)是一种常用于保持食品新鲜度的理想手段, 因其可以提供较低的温度和较高的湿度而被广泛的应用于水果、蔬菜,

尤其是水产品等食品的保鲜^[2]。在虾的保鲜过程中, TW ice 可以有效地减缓细菌生长但是却不能使其失活, 当虾暴露在环境中, 细菌会迅速繁殖, 引起虾的腐败。酸性电解水冰 (Acidic electrolyzed water ice, AEW ice) 作为一种新型高效杀菌保鲜技术, 引起越来越多的关注。本研究中所用到的 AEW ice, 是指将制备好的酸性电解水转移至 -20 °C 下冷冻 24 h 制成冰, 再将冰敲为 2.0 cm×1.5 cm×1.0 cm 左右的碎冰块^[2,3]。AEW ice 不仅具有 TW ice 的优势, 而且还可以利用其较高的氧化还原电位、较低的 pH 值和较高的有效氯浓度有效的杀菌, 具有无污染、无残留, 对人体安全, 制取方便、价格低廉等优点。近年来, 有关电解水冰的研究主要涉及食品保鲜和微生物杀灭等方面。Kim 等^[4]研究表明电解水冰可有效减缓秋刀鱼 (Pacific saury) 贮藏过程中 TVBN、TBA 等的生成, 显著抑制秋刀鱼贮藏过程中需氧微生物和嗜冷菌的生长; Koseki 和 Feliciano 等^[5,6]研究分别表明 AEW ice 可有效杀灭和抑制生菜表面的需氧微生物、单增李斯特菌和大肠杆菌及鱼片中的大肠杆菌和假单胞菌; Phuvasate 等^[7]研究报道电解水冰在鱼皮贮藏期间, 能够使其表面的产组胺微生物失活。以上研究表明, 电解水冰可以有效地杀灭常见食源性致病菌, 并延长食品的货架期。同样, 本实验组研究表明 AEW ice 对冬季南美白对虾杀菌保鲜效果良好^[2,3]。众所周知, 夏季温度较高, 各种微生物异常活跃, 水产品极易发生腐败。然而, AEW ice 用于夏季南美白对虾保鲜的研究未见报道。因此, 本文以夏季鲜活南美白对虾为研究对象, 探讨 AEW ice 和 TW ice 对其冷藏过程中感官、物理、化学、微生物指标的影响, 以期对 AEW ice 杀菌保鲜机理提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 AEW ice 的制备

酸性电解水的制备方法参照 Wang 等^[8]的方法, 其制备装置图如图 1 所示^[9], 运用二槽隔膜 (离子交换膜, 阴离子如 Cl⁻、OH⁻, 阳离子如 Na⁺、H⁺ 等均可通过) 式电解水制备仪电解 0.15% NaCl 溶液 15 min, 在阳极获得酸性电解水 (2Cl⁻ → Cl₂ + 2e⁻; Cl₂ + H₂O → HCl + HClO; 2H₂O → 4H⁺ + O₂ + 4e⁻), 在阴极获得碱性电解水 (2H₂O + 2e⁻ → H₂ + 2OH⁻)^[9,10]。在二槽隔膜式电解槽中电解一定浓度的氯化钠溶液而产生酸性电解水, 主要是由于电解液中 Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度远大于因水弱电解产生的 H⁺ 和 OH⁻ 浓度, 在电场作用下 Cl⁻、

OH⁻ 向阳极移动, 生成较多的 Cl₂, 而 Cl₂ 进一步反应生成较多的 HCl 和 HClO, 导致阳极附近 H⁺ 浓度大于移入的 OH⁻ 浓度, 从而在阳极获得的溶液总体呈酸性。

将制备好的酸性电解水置于密封塑料袋内, 于 -20 °C 下冷冻 24 h 制冰, 再将获得的大块 AEW ice 砸碎为小块, 碎块尺寸约为 2.0 cm × 1.5 cm × 1.0 cm^[2,3]。制备的 AEW ice 相关理化性质 pH、氧化还原电位 (Oxidation-Reduction Potential, ORP) 和有效氯浓度 (Available Chlorine Concentration, ACC) 分别为 2.38 ± 0.01、1153.2 ± 1.5 mV 和 44 ± 1 mg/L。

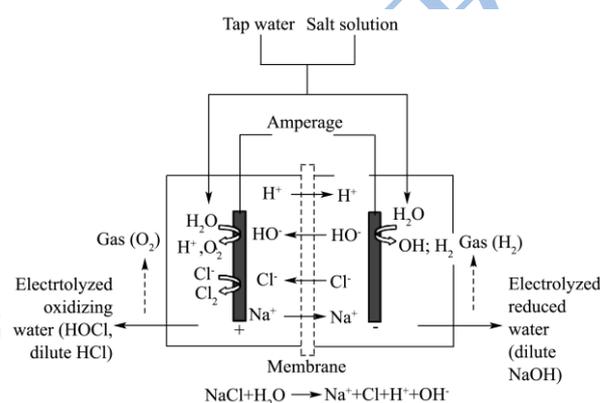


图 1 电解水制备原理图

Fig.1 Schematics of electrolyzed water generator and produced compounds

1.1.2 南美白对虾的处理

活的南美白对虾, 购于上海市某水产品养殖场 (7 月中旬), 挑选大小均匀的对虾 (10 ± 1 g) 用于试验。AEW ice 和 TW ice 分别铺在一个无菌的不锈钢托盘上 (两格)。将南美白对虾随机分为两批放至 AEW ice 和 TW ice 上, 并在上方覆盖一层冰, 以确保对虾样本被冰完全覆盖^[2,3], 于空调室温 (20 ± 2 °C) 下贮藏 8 天。每 8 h 换一次冰, 每天随机取样进行各项指标测定。对照组为新鲜无处理的虾样, 所有测定均做三个平行。

1.2 仪器设备

FW-200 型酸性电解水生成器 (日本 AMANO 公司); pH/ORP 测定仪 (梅特勒-托利多仪器上海有限公司), RC-3F 型高浓度有效氯测定仪 (测量范围: 0~300 mg/L, 分辨率: 1 mg/L, 日本); 色差仪 (Chroma Meter CR400); BagMixer 400VW 型拍打式均质器 (法国 Interscience 公司); 酶标仪 (美国 BioTek 公司); 离心机、PCR 扩增仪 (德国 Eppendorf 公司); DGGE 电泳仪、凝胶成像仪分析系统 (美国 BioRad 公司)。

1.3 南美白对虾贮藏过程中感官品质评定

1.3.1 感官评定

感官评分标准参照文献^[11],并稍作修改(见表1)。感官评定时挑选本学院在校研究生6名,感官评定前对他们进行适当的培训,以便使他们了解有关食品感

官特性评价方面的知识并熟悉虾感官评定的方法。将四项评分项目分值的25%相加,作为综合感官评定得分,总分值在8~10分为新鲜度一级,6~8分为新鲜度二级,5~6分为新鲜度三级,5分以下为腐败级别。

表1 虾感官评分表

Table 1 Sensory evaluation of shrimp

感官得分	8~10	6~8	5~6	3~5	0~3
色泽	色泽正常,呈淡青色,外壳有光泽	色泽正常,外壳稍有光泽	色泽稍有变化,外壳无光泽	色泽变化较大(变红或变黑),外壳无光泽	色泽发生明显变化(完全变黑),外壳无光泽
气味	气味正常,无异味,具虾固有鲜味	气味正常,具虾固有鲜味,略有氨味或氯味	虾固有气味减弱,有氨味或氯味	虾固有气味消失,氨味或氯味明显	虾固有气味消失,有强烈的氨味或氯味
外观	虾头与虾体连接紧密,外壳坚固	虾头与虾体连接较紧密,外壳轻微松散	虾头与虾体连接松弛,外壳松散	虾头与虾体轻微脱落,外壳松散	虾头与虾体脱落,外壳脱落
肌肉组织	肉质紧密,富有弹性	肉质较紧密,富有弹性	肉质不紧密,弹性较好	肉质不紧密,弹性差	肉质不紧密,弹性无

1.3.2 色差的测定

色差值通过色差仪测定虾头获得。色差值为六次测定的平均值表示。 ΔE 的计算公式为:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

其中, L_0 , a_0 和 b_0 是 L , a , b 色差参数于贮藏零点的测定值。

1.4 南美白对虾贮藏过程中物化指标测定

1.4.1 pH的测定

利用pH计测定南美白对虾在贮藏过程中pH值的变化情况。随机取样,加90 mL 0.85%无菌生理盐水均质2 min,然后在室温(20±2 °C)下静置30 min,测定pH值。每次测定3个平行。

1.4.2 TBA的测定

硫代巴比妥酸(TBA)值参考 Kilincceker 等^[12]测定硫代巴比妥酸的方法,利用酶标仪在532 nm下测定吸光值。TBA以丙二醛(MDA)的含量来表示,单位mg MDA/kg。每次测定3个平行。

1.5 南美白对虾贮藏过程中微生物指标测定

参考 Lin 等^[2]方法提取菌体,菌体于-80 °C保存用于提取DNA。DNA提取按照天根细菌基因组DNA提取试剂盒说明书(Tiangen Biotech Beijing Co., Ltd., China)进行操作。

利用细菌16S rDNA基因的V3区序列为靶标,扩增对虾中菌群DNA。设计V3引物扩增序列V3-2:

5'-ATTACCGCGGCTGCTGG-3'和带GC夹板的V3-3: 5'CGCCCGCCGCGCGCGGGCGGGCGGGCGGGGCACGGGGGCCTACGGGAGGCAGCAG-3'进行扩增^[13]。采用20 μL PCR反应体系: ddH₂O 8 μL,引物V3-2和V3-3各0.5 μL, Taq酶10 μL,模板DNA 1 μL。PCR扩增程序为:95 °C预变性3 min;95 °C变性1 min,55 °C退火1 min,72 °C延伸30 s,25个循环;72 °C延伸5 min。产物用1%琼脂糖凝胶电泳检测,并用凝胶成像系统拍照。用微量紫外分光光度计检测PCR产物的浓度。

将200 bp PCR产物用DGGE分离,配制采用8%聚丙烯酰胺凝胶,变性剂浓度梯度为40%~60% (100%的变性胶包含7 mol/L尿素和40%甲酰胺)。电泳缓冲液为1×TAE,在60 °C下60 V电压电泳16 h,电泳完后用染色液SYBR Green (1×TAE, 1:10000)染色,在紫外灯下用凝胶成像仪拍照,获得DGGE凝胶图。

采用 Quantity One (Bio-Rad) 软件进行多样性分析。微生物多样性指数(Shannon index)计算表达式^[14,15]如下所示:

$$H' = -\sum P_i \times \log P_i$$

其中 H' 为多样性指数(Shannon index); P_i 为第 i 条带的光密度与该泳道所有条带光密度总和的比值。

1.6 数据处理

数据结果均以平均值±标准偏差表示,采用SPSS19.0软件对获得的数据进行分析($p = 0.05$),并用origin 8.0作图。

2 结果与分析

2.1 AEW ice 对南美白对虾感官品质的影响

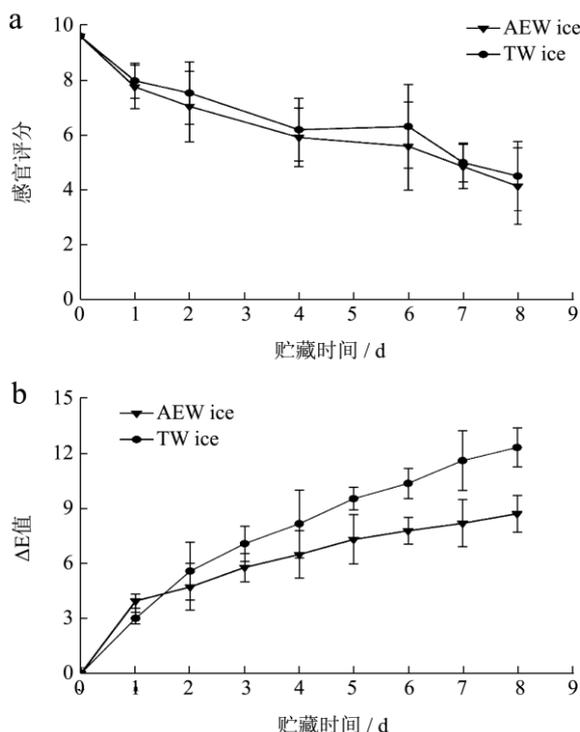


图2 AEW ice 和 TW ice 贮藏 8 d 条件下南美白对虾感官品质的变化

Fig.2 Change in sensory quality of shrimp treated with AEW ice and TW ice for 8 days

AEW ice 和 TW ice 处理的南美白对虾感官评定结果见图 2。从图 2a 中可知，随贮藏时间的延长，对虾的品质下降，所以感官评分降低。在第 6 d，经 AEW ice 和 TW ice 处理的南美白对虾感官得分分别为 5.58 和 6.30，仍处于新鲜度三级，但在第 7 d 感官得分均低于 5 分，色泽变化较大（变红或变黑），虾固有气味消失，虾头与虾体轻微脱落，外壳松散，肉质不紧密，弹性差，品质上已不可接受，说明虾体已进入腐败阶段。其中，经 AEW ice 处理的南美白对虾，其感官得分虽低于 TW ice 处理组，但两者之间差异不显著 ($p > 0.05$)，说明 AEW ice 处理对南美白对虾感官品质不会产生不利影响。

图 2b 显示了 AEW ice 和 TW ice 贮藏条件下，南美白对虾 ΔE 值变化情况。结果表明，AEW ice 处理组 ΔE 的变化范围为 0~8.67，TW ice 处理组 ΔE 变化范围为 0~12.27。无论是 AEW ice 还是 TW ice 处理，对虾 ΔE 值均呈现出了逐渐上升的趋势，主要是因为对虾体内和体表富含虾青素和血蓝蛋白，随着蛋白质分解，虾青素性质不稳定被分解氧化，从而导致虾肉褪色。此

外，多酚氧化酶 (PPO) 催化对虾体内的生化反应产生黑色素，使得对虾死后体色逐渐变深，虾体最终变黑或变红^[3]。统计分析结果显示，贮藏期内，与 TW ice 相比较，AEW ice 显著抑制对虾中 ΔE 的升高 ($p < 0.05$)，这种趋势也在其它水产品贮藏保鲜的研究中也有报道^[14,15]。与 Lin 等^[2] 在 AEW ice 对冬季南美白对虾保鲜效果上的研究相比，AEW ice 对夏季南美白对虾色差的抑制效果更明显，这可能与对虾采样季节和来源有关。Wang 等^[3] 研究表明电解水冰对 PPO 活力表现出了较为明显的抑制作用，说明 AEW ice 可通过抑制 PPO 活力显著降低 ΔE 值的变化，从而有效抑制黑变，延缓对虾的色差变化。AEW ice 是一种混合物，具有较高的 ORP、较低的 pH 值和较高的 ACC (如 HCl、HOCl、OCl⁻)，其中 HOCl 具有强氧化性和漂白性，在对虾贮藏过程中，可能起到漂白作用，抑制色差变化。综上所述，在这些因素的协同作用下，AEW ice 显著抑制了对虾贮藏过程中色差值的变化，利于南美白对虾贮藏过程中感官品质的保持。

2.2 AEW ice 对南美白对虾物化指标的影响

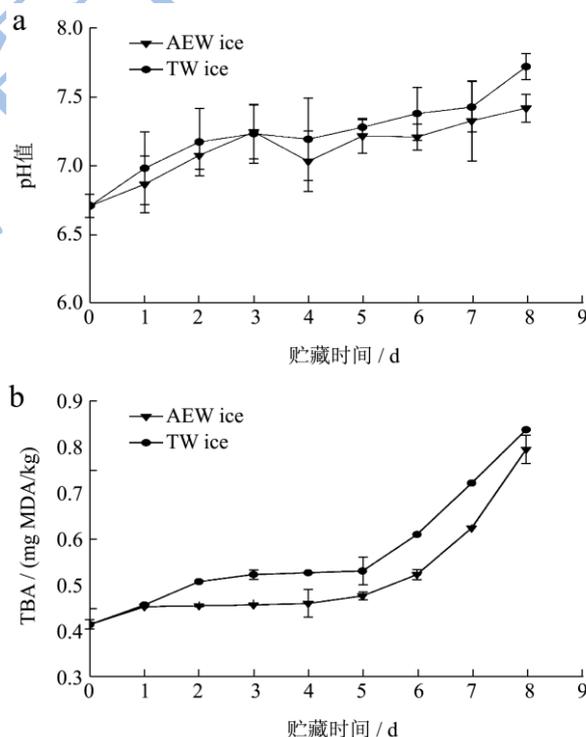


图3 AEW ice 和 TW ice 贮藏 8 d 条件下南美白对虾 pH 和 TBA 值的变化

Fig.3 Changes in pH and TBA values of shrimp treated with AEW ice and TW ice for 8 days

图 3 显示了 AEW ice 和 TW ice 贮藏条件下，南美白对虾 pH 和 TBA 值变化情况。图 3a 结果显示，AEW ice 处理组 pH 值的变化范围为 6.71~7.42，TW ice 处理组 pH

变化范围为6.71~7.72。因此，无论是AEW ice还是TW ice处理，对虾pH值总体上均呈现出了逐渐上升的趋势。对虾pH值上升主要是由于虾肉组织内的蛋白质分解为基本的碱性含氮小分子物质（如氨类化合物、三甲胺等），而这些物质主要由水产品（鱼、虾等）中碱化微生物的作用而产生的^[2]。统计分析结果显示，贮藏1-7天内，与TW ice相比较AEW ice并没有显著抑制南美白对虾中pH值的升高。然而，当贮藏时间延长至第8天，AEW ice处理组的pH值显著（ $p < 0.05$ ）低于TW ice处理组的pH。Lin和Wang等^[2,3]研究表明冬季南美白对虾贮藏过程中，pH值在总体上呈逐渐上升趋势，且贮藏至最后一天，经AEW ice处理的对虾pH值显著低于TW ice处理组pH，与本实验pH变化趋势相类似。Kim等^[4]研究报道了水产品类似的pH值变化情况，研究者运用电解水冰和自来水冰在4℃条件下贮藏保鲜秋刀鱼，在贮藏的前13 d内均未发现电解水冰显著抑制pH值的升高，但当贮藏时间达到14 d时电解水冰显示出了显著（ $p < 0.05$ ）抑制秋刀鱼pH值变化的能力。

相关研究文献表明，无菌空气包装、冰贮藏、气调包装下的管鞭虾当pH值分别达到7.56、7.64和7.55时，便认为其达到货架期终点；当对虾pH值超过7.6时，认为其达到了货架终点。本研究中，在室温20±2℃下贮藏AEW ice中8 d的所有对虾样品pH值，均未超过上述虾制品不可接受的pH终点值。然而，TW ice贮藏条件下，南美白对虾第8 d的pH值（7.72）超过了上述不可接受的值域范围。Lin等^[2]研究表明，TW ice处理组对虾贮藏最后一天的pH值（7.65）也超过了上述不可接受的值域范围。因此，本研究表明AEW ice能够抑制对虾中碱性化合物的产生，减缓pH值变化，这种现象的原因可以归结为AEW ice较强的杀菌作用^[16]。

TBA 是表征脂肪氧化程度最常用方法之一，主要

表 2 AEW ice 和 TW ice 贮藏 8 天条件下南美白对虾中微生物菌落的多样性指数 (H' , Shannon index)

Table 2 The Shannon index of bacterial diversity in shrimp treated with AEW ice and TW ice for 8 days

处理	空白	多样性指数(H' , Shannon index)					
		1 d	2 d	4 d	6 d	7 d	8 d
AEW ice	2.43±0.07	2.29±0.01	2.34±0.07	2.25±0.07	2.19±0.00	2.07±0.18*	2.06±0.19*
TW ice	2.43±0.07	2.30±0.00	2.35±0.06	2.34±0.06	2.34±0.07	2.28±0.24	2.27±0.01

注：*表示不同处理相同贮藏时间下显著性差异（ $p < 0.05$ ）。

AEW ice 对南美白对虾贮藏保鲜过程中微生物菌群多样性的影响如图 4 和表 2 所示。由图 4 可知，随着贮藏时间的延长，AEW ice 处理组微生物菌群 DGGE 条带数量整体上要少于 TW ice 处理组，直观地表明 AEW ice 能够减少对虾中微生物群落的多样性。表 2 中，通过 DGGE 条带计算获得的微生物菌落

是测定脂肪氧化分解为丙二醛的程度。AEW ice 和 TW ice 贮藏条件下，南美白对虾 TBA 值变化情况如图 3b 所示。在贮藏过程中，AEW ice 和 TW ice 处理组 TBA 含量均呈现出了逐渐上升的趋势，贮藏 8 d 后 TBA 含量分别达到 0.80 mg/kg 和 0.84 mg/kg。统计分析结果显示，贮藏 2~8 d 内，与 TW ice 相比较 AEW ice 处理并没有显著抑制南美白对虾中 TBA 含量的上升（ $p > 0.05$ ）。由于微生物产生的酶能导致贮藏过程中虾肉脂肪的氧化，因此，较 TW ice 处理，AEW ice 处理通过抑制微生物生长以阻碍虾肉中脂肪氧化，从而使虾体保持较高新鲜度和较长货架期^[4,16]。以上结果表明，AEW ice 可抑制 pH 和 TBA 值的生长，利于南美白对虾贮藏过程中新鲜度的保持。

2.3 AEW ice 对南美白对虾微生物菌落多样性的影响

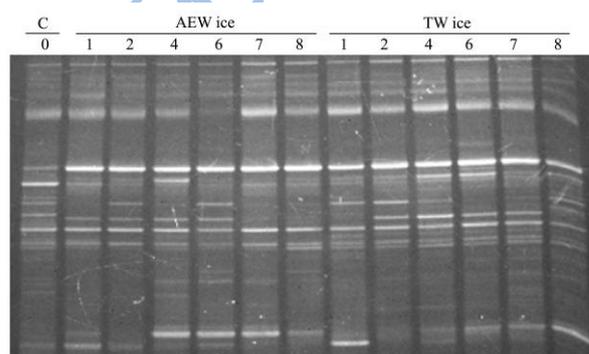


图 4 AEW ice 和 TW ice 贮藏条件下南美白对虾中微生物菌落 PCR-DGGE 图谱

Fig.4 PCR-DGGE fingerprints of microbial communities of shrimp under AEW ice and TW ice treatment

注：C-对照组；1~8：贮藏天数。

多样性指数 H' 从客观的角度进一步证明上述结论。AEW ice 处理组， H' 随着贮藏时间的延长总体上呈现减少的趋势，且最大差值可达到 0.37（空白与第 8 d 差值）。然而，TW ice 处理组 H' 并没有表现出明显的变化趋势， H' 均在 2.27 以上，且最大差值仅为 0.16（空白与第 8 d 差值），低于 AEW ice 处理组。统计分

析结果显示,与 TW ice 相比, AEW ice (第 7 d 和第 8 d) 可显著减少微生物多样性 ($p < 0.05$)。与本实验室在 AEW ice 对冬季南美白对虾杀菌效果上的研究相比, AEW ice 对夏季南美白对虾微生物的抑制效果略低,可能与对虾生长季节有关。Koseki 和 Feliciano 等^[5,6]研究表明随着电解水冰融化后释放出 Cl_2 含量的增加及融化后产生的电解水依然能够显著地 ($p < 0.05$) 降低微生物的数量。因此,本研究中南美白对虾中微生物多样性的减少主要归结为, AEW ice 释放出的 Cl_2 含量以及融化获得的 AEW 对微生物的共同作用。总的来说, AEW ice 在南美白对虾贮藏过程中具有良好的杀菌效果。

3 结论

以夏季鲜活南美白对虾为研究对象,通过比较传统 TW ice 和 AEW ice 处理,研究了南美白对虾的感官、物理、化学及微生物菌落多样性的变化情况。结果表明,在夏季南美白对虾 0~8 d 冰藏过程中,与 TW ice 相比, AEW ice 显著抑制了 ΔE 的升高 ($p < 0.05$),可以有效抑制虾头黑变现象的发生,利于对虾感官品质的保持; AEW ice 降低了对虾 pH 值的变化,减缓了碱性化合物的大量积累(如氨类化合物、三甲胺等),抑制了虾肉中 TBA 的生成,阻碍了脂肪氧化反应的发生,可以使虾体保持较高新鲜度,能够延长其货架期; AEW ice 有效减少了对虾冰藏过程中微生物菌落多样性,利于对虾新鲜度的保持及食用的安全性。总之, AEW ice 在夏季南美白对虾贮藏保鲜过程中起到了积极作用,其杀菌保鲜效果优于 TW ice,可以代替传统 TW ice 应用于水产品贮藏保鲜中,以降低水产品中微生物潜在致病风险、保障水产品食用品质及安全。

参考文献

- [1] Nirmal N P, Benjakul S. Effect of green tea extract in combination with ascorbic acid on the retardation of melanosis and quality changes of pacific white shrimp during iced storage [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8): 2941-2951
- [2] 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
- [3] 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
- [4] Kim W T, Lim Y S, Shin I S, et al. Use of electrolyzed water ice for preserving freshness of pacific saury (*Cololabis saira*)

[J]. Journal of Food Protection®, 2006, 69(9): 2199-2204

- [5] Koseki S, Isobe S, Itoh K. Efficacy of acidic electrolyzed water ice for pathogen control on lettuce [J]. Journal of Food Protection®, 2004, 67(11): 2544-2549
- [6] Feliciano L, Lee J, Lopes J A, et al. Efficacy of sanitized ice in reducing bacterial load on fish fillet and in the water collected from the melted ice [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(4): M231-M238
- [7] Phuvasate S, Su Y C. 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(3): 286-291
- [8] Wang J J, Zhang Z H, Li J B, et al. Modeling *Vibrio parahaemolyticus* inactivation by acidic electrolyzed water on cooked shrimp using response surface methodology [J]. Food Control, 2014, 36(1): 273-279
- [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] 洪妍,董铁有.三槽隔膜式强酸性水的制备[J].现代食品科技,2005,21(2):88-96
HONG Yan, DONG Tie-you. Treatment of strongly oxidized water by three-cell electrodialysis stack [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(2): 88-96
- [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
XIE Jun, SUN Xiao-hong, PAN Ying-jie, et al. The effect of electrolyzed water and organic acid on the quality of raw shrimp [J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(5): 57-63
- [12] Kilincceker O, Dogan I S, Kucukoner E. Effect of edible coatings on the quality of frozen fish fillets [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(4): 868-873
- [13] 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(1): 77-83
- [14] Jensen S, Øvreås L, Daae F L, et al. Diversity in methane enrichments from agricultural soil revealed by DGGE separation of PCR amplified 16S rDNA fragments [J]. FEMS Microbiology Ecology, 1998, 26(1): 17-26
- [15] 刘晓飞,王志中,王勇,等.早期类风湿关节炎患者肠道微生物群落的分析[J].第三军医大学学报,2012,34(23): 2411-2415
LIU Xiao-fei, WANG Zhi-zhong, WANG Yong, et al.

- Analysis of intestinal microbial community structure in patients with early rheumatoid arthritis [J]. Journal of Third Military Medical University, 2012, 34(23): 2411-2415
- [16] 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
- ZHOU Ran, LIU Yuan, XIE Jing, et al. Effects of electrolyzed water on texture and quality of obscure puffer fish (*takifugu obscurus*) during cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(10): 365-369

现代食品科技