

# 微酸性电解水对罗非鱼片保鲜效果的研究

岑剑伟<sup>1,2</sup>, 于福田<sup>2,3</sup>, 杨贤庆<sup>1,2\*</sup>, 李来好<sup>2</sup>, 黄卉<sup>2</sup>, 魏涯<sup>2</sup>, 赵永强<sup>2</sup>, 林织<sup>1</sup>

1(广东顺欣海洋渔业集团有限公司, 广东 阳江, 529800) 2(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东省渔业生态环境重点开放实验室, 广东 广州, 510300) 3(上海海洋大学 食品学院, 上海, 201306)

**摘要** 为探讨微酸性电解水在罗非鱼加工应用的前景, 开展微酸性电解水对罗非鱼片的保鲜效果研究。将罗非鱼片浸泡在有效氯浓度为 $(31.39 \pm 1.48)$  mg/L 的微酸性电解水 10 min 后沥干装入聚乙烯保鲜袋, 置于 4 ℃ 下贮藏, 以感官评定、挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值、 $k$  值、菌落总数与 pH 等作为评价指标, 测定罗非鱼片冷藏过程中的品质变化。结果表明, 在贮藏期间, 对照组样品 TVB-N 值 2~3 d 超过 20 mg/100 g, 而实验组样品第 6 天刚超过 20 mg/100 g, 对照组样品  $k$  值 2~3 d 超过 60%, 而实验组样品 5~6 d 超过 60%, 对照组样品菌落总数 2~3 d 超过 6 lg CFU/g, 而实验组样品第 6 天刚超 6 lg CFU/g, 实验组样品 pH 增加始终较对照组样品慢, 而实验组样品感官评分始终高于对照组样品。采用微酸性电解水处理后的罗非鱼片, 对比对照组货架期延长 2~3 d。为微酸性电解水在水产品保鲜技术上应用提供技术参考和依据。

**关键词** 罗非鱼片; 微酸性电解水; 微生物; 理化; 感官品质

鲜度对水产品的品质有着至关重要的作用。然而, 由于微生物、化学和物理的因素的影响, 水产品品质迅速劣变, 导致其货架期较短, 造成流通销售环节的品质控制难度较大<sup>[1-2]</sup>。因此, 为满足消费者对食品安全和优质水产品日益增长的需求, 开发出新的和有效的保鲜和前处理工艺一直是水产品加工的热门领域。冷藏是水产品最常用的保鲜方法之一, 用其来防止鲜肉因微生物生长、化学和生化反应而变质, 降低微生物活性, 延长肉质保质期<sup>[3]</sup>。为了提高水产品的安全性和品质, 水产品在冷藏前需要开展必要的前处理, 以延长产品的货架期。

近年来, 为了控制水产品冷藏过程中微生物影响和延长产品的保鲜期, 人们进行了各种杀菌技术和杀菌工艺研究<sup>[4-6]</sup>。其中, 水产品冷藏前通常使用洗涤水和几种化学消毒剂处理, 如氯溶液<sup>[4]</sup>。但是过量使用化学消毒剂, 会加速了水产品品质的劣变, 消毒剂的残留可能对人体健康产生不良影响, 更会导致一系列环境问题<sup>[7]</sup>。因此, 近年来水产品加工消毒方法主要集中于氯消毒剂的替代技术研究<sup>[8-9]</sup>。

微酸性电解水是公认的氯替代消毒剂之一, 其 pH 为 5.0~6.5, 含有大约 95% 的次氯酸<sup>[10]</sup>。它是由稀盐酸在无膜电解室中电解而成的, 与其他消毒剂相比, 微酸性电解水不仅拥有高效杀菌性能, 而且还有安全、环保、低成本和易制取等优点, 是一种绿色环保, 安全可靠的消毒剂。多项研究表明, 微酸性电解水可作为一种消毒剂, 用来降低水产品的微生物数量, 延长水产品的货架期<sup>[11-12]</sup>。虽然国内外对微酸性电解水单独或与其他化合物联合应用的研究较多, 但多集中在减少致病微生物方面, 然而, 对微酸性电解水对水产品处理后, 实际对贮藏过程的理化性质和感官特性的影响研究较少。因此, 本研究以罗非鱼片为研究对象旨在评价微酸性电解水对罗非鱼片在贮藏过程中的微生物、理化(pH、总挥发性碱性氮、 $k$  值)和感官品质的影响, 为微酸性电解水的推广应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

实验原料: 购自广州海珠华润超市(广州, 广东省)。

试剂: 浓 HCl、NaCl、KI、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、可溶性淀粉、无水乙醇、高氯酸、三乙胺、乙酸、柠檬酸、NaOH、甲基红、次甲基蓝等均为分析纯, 广州化学试剂厂; PCA 平板计数琼脂培养基, 广州环凯微生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

FX-SWS20 方心牌微酸性电解水实验机, 烟台方

第一作者: 博士, 副研究员(杨贤庆研究员为通讯作者, E-mail: yxqgd@163.com)。

基金项目: 广东省“扬帆计划”引进创新创业团队专项资助(2015YT02H109); 国家现代农业(特色淡水鱼)产业技术体系专项资金资助(CARS-46); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(海水鱼)

收稿日期: 2019-05-06, 改回日期: 2019-05-30

心水处理设备有限公司;SQ510C 型立式压力蒸汽灭菌,重庆雅马拓科技有限公司;SPX-320 型生化培养箱,宁波江南仪器厂;IS128 实验室 pH 计,上海仪迈仪器科技有限公司;MIR254 低温恒温培养箱,日本 Sanyo 公司;Ultra Turrax T25D 型均质机,德国 IKA 工业设备公司;HWS24 型电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;SW-CJ-1FD 超净工作台,苏州净化设备有限公司;JJ500 型电子天平,常熟市双杰测试仪器厂;BCD-171CH 华凌牌冷冻箱,博西华家用电器有限公司;1100 高效液相色谱仪(配有二极管阵列检测器),美国安捷伦公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品准备

鲜活罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*),重(500 ± 100)g,在 1 h 内从超市被运到实验室。将罗非鱼剖片、剥皮和修剪,罗非鱼鱼片切成 12 cm × 8 cm × 3 cm,随机分为 2 组,即微酸性电解水处理组和对照组,对样品进行微生物、pH、*k* 值、TVB-N 值和感官分析。

1.3.2 微酸性电解水的制备

本研究采用无隔膜微酸性电解水装置电解 3% HCl 溶液,制备 pH 值为 6.05 ± 0.19,氧化还原电位(ORP)为(900.63 ± 14.3) mV,有效氯浓度(ACC)为(31.39 ± 1.48) mg/L 的微酸性电解水。采用双标 pH/ORP 测定仪测定微酸性电解水的 pH 值和 ORP 值,碘量法测定其有效氯浓度<sup>[13]</sup>。

1.3.3 样品处理

将处理组罗非鱼鱼片样品在微酸性电解水中浸泡 10 min,对照组鱼片浸泡在无菌蒸馏水中 10 min,

将处理后的样品用聚乙烯袋包装,在冰箱中 4 ℃ 保存。在贮藏过程中,每天从各组中随机抽取 3 袋样品,待测。将处理后即刻采集的样品视为第 0 天样品,实验进行 3 次重复。

1.3.4 微生物总数的测定

菌落总数的测定参考 GB 4789.2—2016 食品微生物学检验—菌落总数测定<sup>[14]</sup>,并适当修改<sup>[15]</sup>。

1.3.5 pH 的测定

称取碎鱼肉 10.00 g,加入 10 mL 的 0.15 mol/L KCl 溶液,用均质器 13 000 r/min 均质 30 s,采用数字式 pH 计测其 pH。每组做 3 个平行<sup>[16-17]</sup>。

1.3.6 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

TVB-N 的测定参考 GB5009.228—2016 食品中挥发性盐基氮的测定<sup>[18]</sup>。采用半微量定氮法,含量用 mg/100 g 表示。每组做 3 个平行。

1.3.7 *k* 值的测定

ATP 及其分解产物(ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx)的测定采用反相高效液相色谱法<sup>[19]</sup>。用保留时间和标准样品对化合物进行了鉴定。*k* 值以 HxR 和 Hx 之和除以 ATP 及其降解产物之和的百分比计算<sup>[20]</sup>,如公式(1)所示:

$$k/\% = \frac{HxR + Hx}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)} \times 100 \quad (1)$$

1.3.8 感官评定

感官评定参考文献<sup>[21]</sup>并略加改动,对鱼片的色泽,组织形态,气味和肌肉弹性 4 方面进行评定,具体评分规则见表 1。每片鱼片经 6 名受评估训练的人员进行感官打分,鱼片的综合分值 16 ~ 20 分为新鲜,9 ~ 15 分为品质良好,8 分以下为品质发生明显劣变。

表 1 罗非鱼片感官评定标准表  
Table 1 Criteria of sensory evaluation for tilapia fillets

指标	好(5分)	较好(4分)	一般(3分)	较差(2分)	差(1分)
色泽	颜色鲜艳,肌肉切面有光泽	颜色正常,肌肉切面有光泽	颜色稍暗淡,切面稍有光泽	颜色较暗淡,肌肉切面无光泽	颜色暗淡,肌肉切面无光泽
组织形态	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	肌肉组织紧密,纹理较清晰	肌肉组织不紧密,但不松散	肌肉组织不紧密,局部松散	肌肉组织不紧密,松散
气味	生鱼肉固有的腥味	固有腥味稍淡	固有腥味较淡,略带异味	固有腥味消失,异味明显	完全无腥味,有轻微臭味
肌肉弹性	坚实富有弹性,手指压后凹陷即消失	坚实有弹性,手指压后凹陷较快消失	较有弹性,手指压后凹陷消失较慢	稍有弹性,手指压后凹陷消失很慢	无弹性,手指压后凹陷不消失

1.3.9 统计分析

实验数据利用 Microsoft Excel 2016 软件整理,方差及显著性利用 SPSS 20 软件分析,显著性水平设置为  $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 贮藏期间罗非鱼鱼片菌落总数的变化

罗非鱼片的菌落总数的变化结果如图 1 所示。

由图可知对照组罗非鱼片的初始菌落总数为 4.25 lg CFU/g,经微酸性电解水处理后,罗非鱼片的初始菌落总数为(3.42 ± 0.02) lg CFU/g,说明微酸性电解水具有较好杀菌效果。在贮藏期间,两组样品的菌落总数均随保存时间的延长而明显增加,但速度不同,对照组样品的菌落总数保持快速增长,而微酸性电解水处理组样品 0 ~ 3 d 菌落总数增加速度较为缓慢,后期增加速度逐渐增加。对照组的罗非鱼片样品

在第3~4天的菌落总数超过 $6.00 \lg \text{CFU/g}$ ,这被认为是鱼肉的菌落总数不能接受的限度<sup>[22]</sup>,而经微酸性电解水处理的罗非鱼片样品菌落总数在第6天刚刚超过 $6.00 \lg \text{CFU/g}$ 。

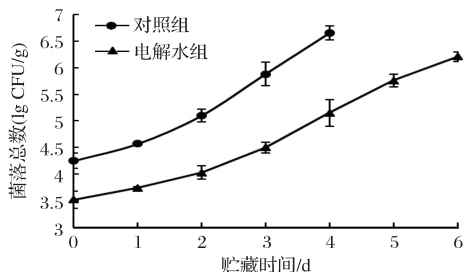


图1 罗非鱼鱼片在4 °C贮藏过程中菌落总数的变化

Fig. 1 Total viable count changes of tilapia fillets during storage at 4 °C

## 2.2 贮藏期间罗非鱼鱼片 pH 的变化

罗非鱼片在4 °C下冷藏过程中的pH为5.4~6.42,结果如图2所示,所有样品的初始pH都较低,在5.4~5.5,反映了罗非鱼鱼片品质较好。罗非鱼鱼片的pH随贮藏时间的延长而增加,pH的升高与食品变质有一定的关系,这是因为鱼肉受微生物作用,鱼肉蛋白质随着贮藏时间延长而逐渐降解以及碱性菌的繁殖产生了氨化合物以及三甲胺等碱性物质<sup>[23]</sup>;样品的pH呈上升趋势,说明样品随时间延长逐渐恶变,电解水处理组样品pH在0~3 d增大速度较慢,后期变化速度逐渐变快,而对照组样品pH一直以较高的速度增加。表明微酸性电解水对腐败微生物具有抑制作用,减缓了pH的升高,延缓了碱性氨化合物的生成。

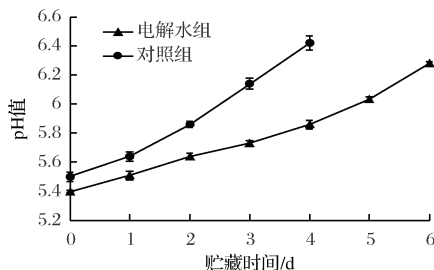


图2 罗非鱼鱼片在4 °C贮藏过程中pH的变化

Fig. 2 Changes in pH of tilapia fillets during storage at 4 °C

## 2.3 贮藏期间罗非鱼鱼片挥发性盐基氮含量的变化

挥发性盐基氮值(TVB-N)主要由氨和伯胺、仲胺和叔胺组成<sup>[24]</sup>。TVB-N是蛋白质和非蛋白质含氮化合物降解的产物,其产生主要是由于微生物的活性所致,它被认为是衡量肉类贮藏新鲜度的一个重要而敏

感的指标<sup>[25]</sup>。冷藏过程中罗非鱼片鱼肉的TVB-N值变化结果如图3所示。对照组和电解水处理组的初始TVB-N分别为 $(10.65 \pm 0.09)$ 和 $(8.76 \pm 0.1) \text{ mg/100 g}$ ;2组鱼片均随着贮藏时间的延长,TVB-N含量逐渐增加,0~2 d电解水处理的样品TVB-N值的增加速度明显慢于对照样品( $P < 0.05$ ),后期两组样品TVB-N含量变化速度均快速增加,这可能是由于电解水处理组鱼片表面前2 d还残留部分微酸性电解水,限制了微生物的生长,而随着电解水消耗分解,后期电解水处理组鱼片TVB-N值变化速度也逐渐增大。对照组样品的TVB-N值在3~4 d迅速升高到 $(23.3 \pm 2.1) \text{ mg/100 g}$ ,而电解水处理组样品TVB-N值在第6天刚刚超过 $20 \text{ mg/100 g}$ ,达到 $(21.8 \pm 1.5) \text{ mg/100 g}$ 。在贮藏过程中鱼片TVB-N值不断增加是由于附着在鱼体表面的腐败微生物不断繁殖产生的脱羧酶、脱氨酶等酶类以及鱼体内源性蛋白酶分解的肽类、氨基酸类等发生脱羧脱氨反应,生成氨和胺类等物质,另外微生物本身能产生大量胞外蛋白酶,作用于蛋白质,也能产生大量含氮物质<sup>[26]</sup>。该结果表明微酸性电解水具有高效的杀菌性能,能抑制微生物的生长<sup>[27]</sup>。研究表明,TVB-N在水产品中的不可接受限量为 $20 \text{ mg/100 g}$ ,基于这一可接受性限制,微酸性电解水可延长鱼片2~3 d的货架期。

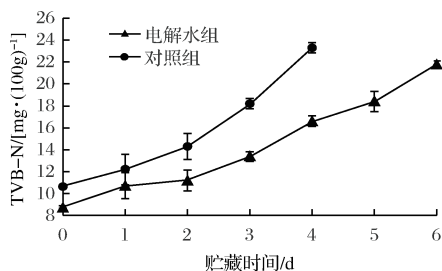


图3 罗非鱼鱼片在4 °C贮藏过程中TVB-N值的变化

Fig. 3 Changes in TVB-N values of tilapia fillets during storage at 4 °C

## 2.4 贮藏期间罗非鱼鱼片 k 值的变化

k值通常作为反映鱼肉新鲜度的一个重要指标,其大小反映鱼肉的腐败程度,因此,它已被广泛应用于评估鱼肉的的品质<sup>[28]</sup>。通常鱼肉k值<20%时,处于一级鲜度,在20%~40%时为二级鲜度,40%~60%时鱼肉已发生早期腐败,为三级鲜度,一般认为60%是鱼肉可食用的极限值,而>60%表示鱼肉已腐败不能再食用<sup>[21,29]</sup>。冷藏过程中罗非鱼片的k值变化结果如图4所示。2组鱼肉的k值在贮藏0~6 d均随时间延长而逐渐增加,电解水处理组样品k值增

加速度明显低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 特别是 0~2 d 电解水处理组样品  $k$  值变化速度较缓慢, 说明微酸性电解水在一定程度上可以抑制 ATP 降解。在 3~4 d, 对照组  $k$  值超过 60%, 而电解水处理的样品  $k$  值在第 5~6 天超过到 60%。ALASALVAR 等<sup>[30]</sup> 研究发现在贮藏 1~2 d, ATP 转化为 IMP 是一个完全自溶的过程, 而随后 IMP 分解为  $H_x$  则是由鱼类和微生物细胞内酶共同引起的。在本研究中, 电解水处理组 ATP 降解为 IMP 的减少可能是由于微酸性电解水由微生物失活所致。

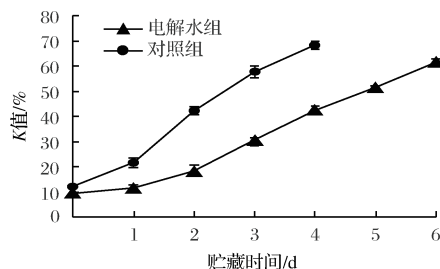


图4 罗非鱼鱼片在 4 °C 贮藏过程中  $K$  值的变化

Fig. 4 Changes in  $K$ -values of tilapia fillets during storage at 4 °C

## 2.5 贮藏期间罗非鱼鱼片感官评定的变化

感官评定在任何食品品质评价程序中都是重要的, 因为食品品质的优劣最终取决于消费者的判断。在这项研究中, 感官评定是建立在颜色、质地、气味和弹性的基础上, 可供人类食用的鱼类样本最低得分为 8 分<sup>[17]</sup>。罗非鱼片经贮藏过程中感官评定的变化结果如图 5 所示。由图 5 可知, 随着贮藏时间的增加, 对照组样品和微酸性电解水处理组样品的感官评分均显著降低 ( $P < 0.05$ ), 且前 2 d 变化缓慢, 2 d 后变化迅速。然而, 与对照样品相比, 电解水处理组鱼片得到的评分更高; 对照组样品在 3~4 d 得到“不可接受”的分数, 而电解水组样品在第 6 天感官评分仍大于 8 分。

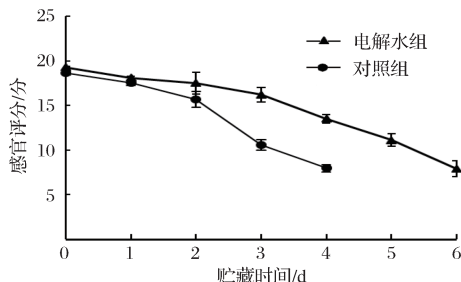


图5 罗非鱼鱼片在 4 °C 贮藏过程中感官评分的变化

Fig. 5 Sensory scores changes of tilapia fillets during storage at 4 °C

## 3 讨论

货架期是指当食品在一定的贮藏条件下, 能够保持其理想的感官、理化和微生物特性的一段时间<sup>[31]</sup>。本研究以感官评分、pH、TVB-N 值、 $k$  值及菌落总数等鲜度指标, 研究 4 °C 冷藏条件下微酸性电解水对罗非鱼片的保鲜作用, 结果表明, 采用该微酸性电解水处理后的罗非鱼片, 其冷藏货架期为 5~6 d, 而对照组鱼片冷藏货架期为 3~4 d, 鱼片经电解水处理后, 比对照组货架期延长 2~3 d, 因为贮藏条件为模拟家庭购买新鲜水产品, 通常更愿意放置在 4 °C 贮藏室, 这样鱼肉没有经过冻结, 能够保持原有的鲜味, 不用解冻即可烹饪, 所以, 2 组产品的贮藏周期都相对较短也是预料之中。周然等<sup>[32]</sup> 研究微酸性电解水对河豚鱼冷藏品质的影响, 结果表明微酸性电解水处理可减缓河豚鱼肉的肌原纤维分解, 并延缓质构品质的变化, 并且电解水能够抑制其鲜度指标的变化, 可延长冷藏条件下 (4 °C) 河豚鱼货架期时间 2 d, 延长时间达原货架期时间的一半时间。蓝蔚青等<sup>[33]</sup> 研究了酸性电解水处理带鱼, 对其冷藏条件下品质指标的影响, 结果表明, 冷藏期间相比对照组, 电解水处理组带鱼各品质指标均低于对照组, 可延长其货架期 2~3 d。上述文献结果与本文结果基本一致, 这可能是因为这些水产品表面粗糙程度基本一致, 而且它们肌肉组成基本相似, 微酸性电解水与样品接触对其进行减菌处理, 可以有效减少样品表面的微生物, 但随着少量残留减菌剂的挥发, 冷藏后期实验组样品各鲜度指标也将快速变化, 故而冷藏期间水产品货架期基本维持在 2~3 d。说明微酸性电解水对罗非鱼鱼片具有积极的保鲜效果, 冷藏前期微酸性电解水对鱼片表面微生物具有较好的抑制效果, 但是后期随着微酸性电解水的消耗和分解, 鱼片表面残留微生物还是可以快速繁殖, 因此, 在 4 °C 贮藏条件下, 微酸性电解水对罗非鱼片货架期的影响并不是特别突出, 但是微酸性电解水对罗非鱼片前处理具有较高的杀菌效果, 可以应用于鱼片的前处理, 在冰温或者冷冻条件下, 延长罗非鱼片的货架期作用更为明显, 另外, 将微酸性电解水作为冰衣包裹罗非鱼片也是一种具较好应用前景的保鲜技术。

## 4 结论

微酸性电解水可有效延长罗非鱼片货架期, 冷藏期间鱼片菌落总数增加较慢, TVB-N,  $k$  值和 pH 均以

较慢的速度增加,而鱼片感官评分也相对较好,微酸性电解水可作为一种新的保鲜技术,未来具有良好的应用前景。微酸性电解水在样品预处理方面具有更加明显的效果,在保鲜方面微酸性电解水可结合其他减菌剂使用,会发挥出更好的保鲜效果。

### 参 考 文 献

- [1] 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): 1 263 – 1 271.
- [2] HOCAOĞLU A, DEMIRCI A S, GÜMÜS T, et al. Effects of gamma irradiation on chemical, microbial quality and shelf life of shrimp [J]. Radiation Physics & Chemistry, 2012, 81(12): 1 923 – 1 929.
- [3] MANSUR A R, OH D H. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage [J]. Food Microbiology, 2015, 51: 154 – 162.
- [4] TOMÁS C A, LÓPEZ – GÁLVEZ, SBODIO A, et al. Chlorine dioxide and chlorine effectiveness to prevent *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* cross-contamination on fresh-cut Red Chard [J]. Food Control, 2012, 23(2): 325 – 332.
- [5] HUANG Yaixin, CHEN Haiqiang. Effect of organic acids, hydrogen peroxide and mild heat on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on baby spinach [J]. Food Control, 2011, 22(8): 1 178 – 1 183.
- [6] ALEXANDRE E M C, BRANDÃO T R S, SILVA C L M. Assessment of the impact of hydrogen peroxide solutions on microbial loads and quality factors of red bell peppers, strawberries and watercress [J]. Food Control, 2012, 27(2): 362 – 368.
- [7] INATSU Y, BARI L, KAWASAKI S, et al. Efficacy of acidified sodium chlorite treatments in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on Chinese cabbage [J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(2): 251 – 255.
- [8] GIL M I, SELMA M V, LÓPEZ-GÁLVEZ F, et al. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions [J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 134(1): 37 – 45.
- [9] MANSUR A R, OH D H. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage [J]. Food Microbiology, 2015, 51: 154 – 162.
- [10] CUI Xiaodong, SHANG Yuchao, SHI Zhengxiang, et al. Physicochemical properties and bactericidal efficiency of neutral and acidic electrolyzed water under different storage conditions [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(4): 582 – 586.
- [11] LIAO Xinyu, XUAN Xiaoting, LI Jiao, et al. Bactericidal action of slightly acidic electrolyzed water against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* via multiple cell targets [J]. Food Control, 2017, 79:380 – 385.
- [12] YE Zhangying, WANG Shuo, CHEN Tao, et al. Inactivation mechanism of *Escherichia coli* induced by slightly acidic electrolyzed water[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 6 279.
- [13] 于福田, 岑剑伟, 李来好, 等. 罗非鱼片微酸性电解水杀菌工艺响应面法优化研究 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(1): 77 – 84.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 4789.2-2016 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [15] HERNÁNDEZ M D, LÓPEZ M B, ÁLVAREZ A, et al. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 237 – 245.
- [16] 吴燕燕, 游刚, 李来好, 等. 无磷品质改良剂对阿根廷鲈鱼冷冻变性的影响 [J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 19 – 24.
- [17] MA Haixia, CHENG Linli, LI Laihao, et al. Effect of poly-ε-lysine on vacuum packed tilapia stored at 4 °C [J]. Advanced Materials Research, 2014, 881: 751 – 756.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.228—2016 食品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [19] JOHN M R. Determination of ATP and its breakdown products in fish muscle by[J]. J Agric Food Chem, 1989, 33(3):678.
- [20] SAITO T. A new method for estimating the freshness of fish[J]. Nippon Suiscan Gakkaishi, 1959, 24(9): 749 – 750.
- [21] 赵良, 岑剑伟, 李来好, 等. 高压静电场结合冰温气调保鲜技术对罗非鱼鱼片品质的影响 [J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 91 – 97.
- [22] ROBERTS T A, VANSCHOTHORST M, SHARPE A N, et al. The international commission on microbiological specifications for foods (ICMSF): Update [J]. Food Control, 1996, 7(2): 99 – 101.
- [23] CAMPOS C A, RODR GUEZ Ó, LOSADA V, et al. Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and

- microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 103(2): 121–130.
- [24] GILL C O. Meat spoilage and evaluation of the potential storage life of fresh meat [J]. Journal of Food Protection, 1983, 46(5): 444–452.
- [25] VEBERG A, SØRHEIM O, MOAN J, et al. Measurement of lipid oxidation and porphyrins in high oxygen modified atmosphere and vacuum-packed minced turkey and pork meat by fluorescence spectra and images [J]. Meat Science, 2006, 73(3): 511–520.
- [26] 黎柳, 谢晶, 苏辉, 等. 臭氧冰与电解水冰处理延长鲳鱼的冷藏货架期[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 323–328.
- [27] LI Jibing, LIN Ting, LU Qin, et al. Changes in physicochemical properties and bactericidal efficiency of acidic electrolyzed water ice and available chlorine decay kinetics during storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(1): 43–48.
- [28] XUAN Wei, LI Jianrong, LI Xuepeng, et al. Quality changes of yellow grouper (*Epinephelus awoara*) fillets stored under vacuum packaging at 0 °C [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(8): 1 285–1 293.
- [29] EHIRA S. A biochemical study on the freshness of fish [J]. Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, 1976.
- [30] ALASALVAR C, TAYLOR K D A, ÖKSÜ Z A, et al. Comparison of freshness quality of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(9): 3 220–3 226.
- [31] 赵永强, 李娜, 李来好, 等. 鱼类鲜度评价指标及测定方法的研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(4): 456–462.
- [32] 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.
- [33] 蓝蔚青, 谢晶. 酸性电解水对冷藏带鱼保鲜效果的影响研究[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(5): 913–917.

## Study on the preservation of Tilapia fillets with slightly acidic electrolyzed water

CEN Jianwei<sup>1,2</sup>, YU Futian<sup>2,3</sup>, YANG Xianqing<sup>1,2\*</sup>, LI Laihao<sup>2</sup>,  
HUANG Hui<sup>2</sup>, WEI Ya<sup>2</sup>, ZHAO Yongqiang<sup>2</sup>, LIN Zhi<sup>1</sup>

1 (Guangdong Shun xin Ocean Fishery Group Co., Ltd., Yangjiang 529800, China)

2 (Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Guangdong Provincial Key Lab of Fishery Ecology Environment; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China) 3 (College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT** In order to explore the application prospects of slightly acidic electrolytic water in the processing of tilapia, the fresh-keeping effects on tilapia fillets was studied. The tilapia fillets were soaked in slightly acidic electrolytic water with an available chlorine concentration of  $(31.39 \pm 1.48)$  mg/L for 10 min, followed by drained into a polyethylene bag and stored at 4 °C. Sensory evaluation, total volatile base nitrogen (TVB-N) value, *k* value, total colony count and pH value were determined. The results show that during storage, the TVB-N value of the control group exceeded 20 mg/100 g on the 2nd or 3rd day, while that of the experimental group was just over 20 mg/100 g on the 6th day. In addition, the *k* value of the control group was already more than 60% on the 2nd or 3rd day, yet that of the experimental group reached 60% on the 5<sup>th</sup> or 6<sup>th</sup> day. The total number of colonies of the control group was more than 6 lg CFU/g on the 2<sup>nd</sup> or 3<sup>rd</sup> day, while that of the experimental group was on the 6th day. Moreover, the increase of pH in the experimental group was slower than that in the control group, and the sensory score of the experimental group was always higher than that of the control group. Therefore, the shelf life of tilapia fillets treated with slightly acidic electrolytic water was extended by 2 to 3 days compared with the control group, which provides a technical reference and basis for the application of slightly acidic electrolytic water in fresh-keeping of aquatic products.

**Key words** tilapia fillets; slightly acidic electrolyzed water; microbiological; physicochemical; sensory quality