

酸性电解水在鱼类预制菜原料清洗环节时的效果评估

许浩^{1,2}, 焦文娟¹, 赵甜甜¹, 张业辉¹, 肖性龙^{2*}, 张晓元^{3,4*}, 张友胜^{1*}

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(3. 韶关市华工高新技术产业研究院, 广东韶关 512000) (4. 华南理工大学工业技术研究院, 广东广州 510640)

摘要: 该研究利用不同种类的电解水代替普通水对罗非鱼原料进行清洗, 研究酸性电解水对鱼体表面微生物、腥味物质及贮藏过程中色差、质构、脂质氧化和蛋白氧化程度的影响。结果表明, 利用酸性、弱酸性和中性电解水代替普通水进行原料清洗 3~10 min 后, 鱼体表面微生物由 $34.55 \times 10^3 \sim 24.21 \times 10^3$ CFU/g 减少到 $1.78 \times 10^3 \sim 0.86 \times 10^3$ 、 $9.21 \times 10^3 \sim 2.21 \times 10^3$ 和 $12.52 \times 10^3 \sim 5.12 \times 10^3$ CFU/g; 鱼体腥味物质 GSM (Geosmin, GSM) 由 714.15 μ g/L 减少到 412.78~198.86 μ g/L、519.21~312.21 μ g/L、612.12~385.12 μ g/L; 鱼体腥味物质 2-MIB (2-Methylisobomeol, 2-MIB) 由 334.55~224.21 ng/L 减少到 251.78~101.21、279.21~128.21、312.52~205.12 ng/L。在 0~4 $^{\circ}$ C 贮藏条件下, 所有样品总色差 ΔE 值和样品的硬度、弹性和咀嚼性之间不存在明显差异 ($P > 0.05$)。但经过 8 d 储藏后, 3 种电解水处理可使样品挥发性盐基氮 (Total Volatile Base-Nitrogen, TVB-N) 由 40.11 mg·N/100 g 减少到 28.77、32.54、32.22 mg·N/100 g; 硫代巴比妥酸反应物 (Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TBARS) 含量由 0.43 mg/100 g 减少到 0.35、0.41、0.38 mg/100 g; 蛋白羰基值由 1.63 nmol/mg 减少到 1.35、1.41 和 1.48 nmol/mg, 巯基值由 6.83 nmol/mg 增加至 7.35、7.11、7.05 nmol/mg。该研究表明使用电解水清洗可有效抑制鱼体脂质氧化和蛋白氧化程度, 为利用电解水延长鱼类预制菜储藏期提供了理论依据。

关键词: 酸性电解水; 鱼类预制菜; 清洗; 效果; 评估

文章编号: 1673-9078(2023)02-55-62

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.1154

Evaluation of the Effect of Acidic Electrolyzed Water in the Cleaning Process of Raw Ingredients in Pre-prepared Fish Dishes

XU Hao^{1,2}, JIAO Wenjuan¹, ZHAO Tiantian¹, ZHANG Yehui¹, XIAO Xinglong^{2*}, ZHANG Xiaoyuan^{3,4*}, ZHANG Yousheng^{1*}

(1. Sericulture & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510610, China)

(2. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(3. Research Institute of ShaoguanHuagong High-tech Industry, Shaoguan 512000, China)

(4. Industrial Technology Research Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Different types of electrolyzed water were used instead of ordinary water to wash raw tilapia, and the effects of acidic electrolyzed water on microorganisms on the fish surface, substances producing fishy odor, color difference, texture, and degree of lipid and protein oxidation during storage were examined. After washing the raw ingredients with acidic, weakly acidic, and neutral electrolyzed water

引文格式:

许浩, 焦文娟, 赵甜甜, 等. 酸性电解水在鱼类预制菜原料清洗环节时的效果评估[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 55-62

XU Hao, JIAO Wenjuan, ZHAO Tiantian, et al. Evaluation of the effect of acidic electrolyzed water in the cleaning process of raw ingredients in pre-prepared fish dishes [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 55-62

收稿日期: 2022-09-13

基金项目: 广东省省级农业科技创新及推广项目 (2022KJ101); 广东省科技计划项目 (200729176271266); 广州市科技计划项目 (202206010079); 广东省农产品加工重点实验室开放课题资助项目 (202111); 汕头市濠江区农村科技特派员项目 (774)

作者简介: 许浩 (1998-), 男, 硕士研究生, 专业: 食品工程, E-mail: xuhaoscut@163.com

通讯作者: 肖性龙 (1977-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: fexxl@scut.edu.cn; 共同通讯作者: 张晓元 (1964-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工, E-mail: xyzh@scut.edu.cn; 张友胜 (1965-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品加工, E-mail: youshengzhang@263.net

instead of ordinary water for 3~10 min, microorganisms of the fish surface decreased from $34.55 \times 10^3 \sim 24.21 \times 10^3$ CFU/g to $1.78 \times 10^3 \sim 0.86 \times 10^3$ CFU/g, $9.21 \times 10^3 \sim 2.21 \times 10^3$ CFU/g, and $12.52 \times 10^3 \sim 5.12 \times 10^3$ CFU/g, respectively. The concentration of geosmin (GSM) - a substance producing fishy odor - decreased from 714.15 $\mu\text{g/L}$ to 412.78~198.86, 519.21~312.21, and 612.12~385.12 $\mu\text{g/L}$, respectively. The concentration of 2-MIB, another substance producing fishy odor, decreased from 334.55~224.21 ng/L to 251.78~101.21, 279.21~128.21, and 312.52~205.12 ng/L, respectively. Under storage at 0~4 $^{\circ}\text{C}$, there were no significant changes in the total color difference (ΔE) value, firmness, elasticity, and chewiness of all samples ($P > 0.05$). However, after 8 days of storage, the total volatile base-nitrogen (TVB-N) content decreased from 40.11 mg N/100 g to 28.77, 32.54, and 32.22 mg N/100 g, respectively, in samples treated with the three types of electrolytic water. The content of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) decreased from 0.43 mg/100 g to 0.35, 0.41, and 0.38 mg/100 g, respectively, while the protein carbonyl value decreased from 1.63 nmol/mg to 1.35, 1.41, and 1.48 nmol/mg, respectively. Conversely, the thiol value increased from 6.83 nmol/mg to 7.35, 7.11, and 7.05 nmol/mg, respectively. Therefore, washing with electrolyzed water can effectively inhibit the degree of lipid and protein oxidation in fish. These findings provide a theoretical basis for the use of electrolyzed water to extend the storage period of pre-prepared fish dishes.

Key words: acidic electrolyzed water; pre-prepared fish dishes; washing; effects; evaluation

原料清洗是预制菜加工中的一个重要环节,在鱼类预制菜的制作工序中(包括杀鱼、去鳞、去内脏等),不管是手工作坊还是规模化生产,一般均是通过大量普通水多次冲洗,以去除鱼肉部位附着的非食用部位。清洗环节存在用水量、原料营养损失、初始微生物减菌杀菌效果差、感官品质下降以及污水难以处理等问题,继而可能造成产品微生物含量高、货架期短、安全性难以保障等后续问题^[1,2]。寻找成本低、用量少、安全适用的新型清洗溶液成为鱼类预制菜加工过程中的一个重要技术需求。

电解水通常是指含盐的水经过电解之后所得到的产物,又称氧化还原电位水^[3,4]。根据制备方法以及 pH 值、有效氯浓度(Available Chlorine Concentration, ACC)、氧化还原电位(Oxidation Reduction Potential, ORP)等指标的不同,电解水可以分为酸性电解水和碱性电解水两大类,其中酸性电解水又可细分为强酸性电解水(pH 值 <2.7)、弱酸性电解水($2.7 < \text{pH}$ 值 <5.0),中性电解水或者微酸性电解水($5.0 < \text{pH}$ 值 <6.5)三类。酸性电解水原是日本研发的一种新型抗菌消毒剂,由于生产过程中未添加任何有害化学物质,对环境和使用者的健康几乎无不良影响而受到研究人员的关注。近年来的研究表明,酸性电解水对引起水产品腐败的微生物如大肠杆菌 O157:H7^[5]、副溶血性弧菌^[6]、单核增生李斯特菌^[7]等腐败菌以及对诱导水产品色泽劣变、肉质软化、气味酸败的酶类(如多酚氧化酶^[8]、溶酶体组织蛋白酶^[9]和脂肪酶^[10]等)有明显的抑制作用,保鲜效果良好。

自 20 世纪 90 年代酸性电解水引入我国之后,国内不少学者对此进行了系列研究。徐钰君等^[11]用不同酸性电解水制成酸性电解水冰后对河鲈鱼进行了 8 d 冰藏实验,结果表明电解水冰可以抑制贮藏期间河鲈鱼微生物的生长和色差值的变化,可减缓河鲈鱼贮藏

过程中 pH, TBARS 和 TVB-N 含量的提高,具有阻止河鲈鱼在贮藏过程中品质劣化的潜力。孙文烁等^[12]利用人工污染鱼干的方法,研究了电解水对鱼干上有可能出现 5 种真菌毒素的消除效果,结果表明,电解水包括酸性电解水和碱性电解水均有明显消除鱼干上附着的 5 种真菌毒素作用,可以减少由真菌毒素导致的鱼干食品安全问题。

就现有研究而言,鲜见专门针对水产品加工过程中的清洗环节应用酸性电解水代替普通水的研究报道。因此,本实验以罗非鱼为原料,在不改变相关生产工艺的前提下,利用酸性电解水代替普通水对鱼类进行清洗,研究清洗过程中酸性电解水对原料初始微生物的减除效果、去腥作用以及对贮藏过程中原料品质、感官和相关理化性质的变化,为筛选新型鱼类清洗剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

原材料:新鲜罗非鱼从广州联华超市购买,鱼的质量为 $1\ 000 \text{ g} \pm 50 \text{ g}$ 。

主要试剂:土臭素(Geosmin, GSM)和 2-甲基异茨醇(2-Methylisobomeol, 2-MIB),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;蛋白质羰基(-CO)和总巯基(-SH)测试盒,上海江莱生物科技有限公司;各类微生物培养基,广东省微生物研究所;其他实验试剂均由天津市科密欧化学试剂有限公司提供。

主要仪器与设备:KH SAEW-1500 电解水生成器,山东康辉水处理设备有限公司;pHS-3DW 微机型酸度计,杭州齐威仪器有限公司;Agilent 6890N/5975B 气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦科技有限公司;DVB/CAR/PDMS 固相微萃取纤维头,美国 Supelco 公

司; LDZX-50FBS 立式电热压力蒸汽灭菌器, 上海申安医疗器械厂; SW-CJ-2F 双人双面净化工作台, 苏州净化设备有限公司; LRH-150B 生化培养箱, 广东省医疗器械厂; Milipore 超纯水净化系统, 美国 Milipore 公司。

1.2 样品处理及实验方法

1.2.1 电解水的制备及性能测定

利用有隔膜的电解槽电解 0.15% 的 NaCl 溶液, 其中电解时间 1 h 和 15 min 的电解水为酸性和弱酸性电解水; 中性电解水则通过无隔膜的电解槽电解 0.15% 的 NaCl 溶液, 电解时间为 30 min。制备完毕后, 分别测定上述电解水的 pH 值、ORP 和 ACC。其中, pH 和 ORP 值直接用 pHS-3DW 微机型酸度计测定, ACC 用五步碘量法测定^[13]。实验过程中, 所用电解水的理化性质如表 1, 相关指标符合 GB28234-2020《酸性电解水卫生器卫生要求》。

表 1 酸性电解水理化性质

Table 1 Physicochemical properties of acid electrolytic water

指标	pH 值	ORP/mV	ACC/(mg/L)
酸性电解水	2.48±0.03	1 170.67±1.15	113.44±4.51
弱酸性电解水	4.51±0.15	944.00±4.32	85.15±2.11
中性电解水	6.39±0.21	885.00±4.35	73.86±2.11
普通水 (对照)	6.70±0.31	715.00±1.35	2.86±2.11

1.2.2 电解水对原料初始微生物去除效果比较

将新鲜罗非鱼运至实验室宰杀, 去鳞 (不去皮)、去鳃, 从背部切开后去内脏, 处理之后, 按重量比 1:3 (鲜鱼重:水重) 的比例, 分别用普通水和上述电解水浸泡、清洗 3、5、7 和 10 min 后, 沥干水分, 直接在鱼体表面取样进行微生物测定, 其中, 菌落总数的测定按 GB 4789.15-2016 进行, 霉菌和酵母的测定按 GB 4789.2-2016 进行^[14]。

1.2.3 电解水对原料的腥味物质去除影响

取经打碎均浆后的罗非鱼原料 2.00 g, 加 8 mL 浓度为 0.10 g/mL 的 NaCl 溶液, 匀浆后取适量加入到含有磁力搅拌子的 15 mL 顶空瓶中, 固定手柄, 将萃取头插入到样品瓶顶空部后, 推出萃取纤维, 进行 GSM 和 2-MIB 的吸附和检测^[15,16]。腥味物质 GSM 和 2-MIB 的峰面积与其浓度成正相关, 在 0.1~10 μg/L 浓度范围内成较好线性关系, GSM 和 MIB 的线性方程分别为 $Y = (2.275\ 04 \times 10^5) X + 4\ 312$, ($R^2 = 0.998$); $Y = (2.531\ 36 \times 10^5) X + 12\ 329$, ($R^2 = 0.991$)。其中 X 轴为 GSM 和 2-MIB 溶液的质量浓度 (μg/mL), Y 轴为 GSM 和 2-MIB 的峰面积。其中, GC-MS 的检测条件为: 检测器 GC-FID, J&W 122-5532 毛细管柱 (30 m×0.25 mm i.d.×0.25 μm), 进样量 1.00 μL, 流速 1 mL/min。

升温程序为 60 °C (5 min), 以 15 °C/min 的升温速率升温至 280 °C, 保留 1 min。GC 进样口温度设置为 200 °C, 离子源 200 °C, 接口温度 250 °C, 70 eV, 无分流进样模式^[15,17]。

1.2.4 电解水对罗非鱼贮藏效果比较

取 1.2.2 经过 7 min 清洗后的样品分别置于 4 °C 冰箱保存。每 2 d 随机选取背部鱼肉进行如下相关指标的测定。

(1) 色差测定将鱼肉剪下, 置于培养皿中, 制成直径约 2 cm 的圆饼形状, 用色差计直接测定得出样品的总色差值 ΔE ^[16]。 ΔE 越大说明冰藏罗非鱼肉试验过程中色泽变化越明显。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式中:

ΔE ——总色差值;

ΔL^* ——冰藏罗非鱼肉所测亮度值与初始亮度值之差;

Δa^* ——冰藏罗非鱼肉所测红度值和初始红度值之差;

Δb^* ——冰藏罗非鱼肉所测黄度值与初始黄度值之差。

(2) 质构测定用质构仪测定。具体为选取直径为 36 mm 的柱状探头挤压样品, 探头上升高度为 20 mm, 下降速度为 60 mm/min, 挤压力为 0.50 N, 挤压百分型变量为 50%, 测试后探头上升速度为 60 mm/min^[18]。

(3) 脂质氧化指标测定脂质氧化指标包括 TVB-N 和 TBARS, 其中 TVB-N 按 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定》的方法测定, TBARS 按参考文献^[19]测定。

(4) 蛋白质氧化指标的测定蛋白质氧化指标包括蛋白羰基 (-CH) 和总巯基 (-SH), 测定时按照试剂盒中的说明书进行。

1.2.5 数据处理与结果分析

所有实验数据均以 SPSS 19.0 进行数据处理, 采用 Origin Pro 9 作图; 显著性水平取 $P < 0.05$, 数据表示形式为平均值±标准差, 每组实验平行三次。

2 结果与讨论

2.1 酸性电解水对罗非鱼浸泡式清洗时的减菌效果比较

鱼类预制菜尤其是冷冻型预制菜一般没有杀菌工艺, 原料清洗后鱼体表面微生物即为原料的初始微生物, 初始微生物的多少对于预制菜的贮藏期长短以及食用安全具有重要作用。

由表 2 可知, 罗非鱼经宰杀、放血、去内脏、去

鳞等前处理工艺后,用普通水直接清洗3~10 min,鱼体表面微生物基本保持在 $34.55 \times 10^3 \sim 24.21 \times 10^3$ CFU/g之间,而经过电解水处理,微生物总数明显减少,且清洗时间越长,减菌效果越明显,各处理之间存在明

显差异($P < 0.05$)。用酸性电解水、弱酸性电解水和中性电解水分别对鱼体清洗10 min之后,鱼体表面微生物由 34.55×10^3 CFU/g减少到 0.86×10^3 、 2.21×10^3 和 5.12×10^3 CFU/g。

表2 不同清洗时间酸性电解水对鱼表面微生物的清洗效果($\times 10^3$, CFU/g)

Table 2 Effects of cleaning time by acid electrolytic water on initial microorganisms of fish bodies

贮藏时间/d	3	5	7	10
酸性电解水	1.78±0.21 ^a	1.45±0.70 ^a	1.16±0.51 ^a	0.86±0.20 ^a
弱酸性电解水	9.21±0.11 ^b	7.32±0.59 ^b	5.21±0.19 ^b	2.21±0.11 ^b
中性电解水	12.52±0.22 ^c	10.12±0.75 ^c	7.12±0.35 ^c	5.12±0.12 ^c
普通水(对照)	34.55±0.21 ^d	30.56±0.32 ^d	26.56±0.32 ^d	24.21±0.21 ^d

注:不同小写字母表示同行数据间具有显著性差异($P < 0.05$),为组间比较,下表同。

于福田^[13]用微酸性电解水对罗非鱼片进行了杀菌研究,得到最佳杀菌工艺条件为有效氯浓度35 mg/L,浸泡时间为22 min,料液比为1:6(m/V),在此处理条件下,杀菌对数值为0.74 lgCFU/g,杀菌率为81.59%;王潇^[20]用酸性电解水对中华管鞭虾进行处理,得到酸性电解水处理虾的最佳杀菌工艺参数为pH值为3,浸泡时间13 min,料液比1:4(m/V),在此最佳工艺条件下,中华管鞭虾的杀灭对数值为1.22 lg CFU/g。本实验得到的酸性电解水对罗非鱼浸泡式清洗时的减菌效果与上述结论基本相同。

2.2 酸性电解水对罗非鱼腥味物质去除影响

罗非鱼是酸菜鱼预制菜中常见的一种主要原料,其体内含有的土腥味物质经常对产品的品质产生不良影响,尤其是在高温和密养环境下更加明显,利用加工环节去除是最理想的一种办法。罗非鱼体内的土腥味物质主要由土腥素(Geosmin, GSM)、2-甲基异茨醇(2-Methylisoborneol, 2-MIB)、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪(2-Isobutyl-3-Methoxy-Pyrazine, IBMP)、2,3,6-三氯苯甲醚(2,3,6-Trichloroanisole, TCA)、2-异丙基-3-甲氧基吡嗪(2-Isopropyl-3-Methoxy-Pyrazine, IPMP)等构成,其中又以GSM和2-MIB影响最大^[21,22]。

由图1可以看出,用普通水直接清洗罗非鱼3~10 min后,鱼体腥味物质GSM基本保持在714.15~414.21 ng/L之间,而经过电解水处理,腥味物质GSM明显减少。用酸性电解水、弱酸性电解水和中性电解水分别对鱼体清洗3~10 min之后,鱼体腥味物质GSM分别由412.78、519.21、612.12 ng/L减少到198.86、312.21、和385.12 ng/L,各处理之间存在明显差异($P < 0.05$)。腥味物质2-MIB的去除效果趋势与GSM基本一致(图1),用酸性电解水、弱酸性电解水和中性电解水对鱼体清洗3~10 min之后,鱼体腥味物质2-MIB由251.78、279.21和312.52 ng/L减少到101.21、

128.21和205.12 ng/L。由此可见,相比普通水清洗罗非鱼,电解水处理具有明显的去腥效果,酸性愈强,去除土腥味物质GSM和2-MIB的效果愈好。陈亚玲等^[23]以速冻罗非鱼柳为原材料,以感官评分为指标,同样证明了在电解水冲洗20 s后具有明显的去除土腥味效果。

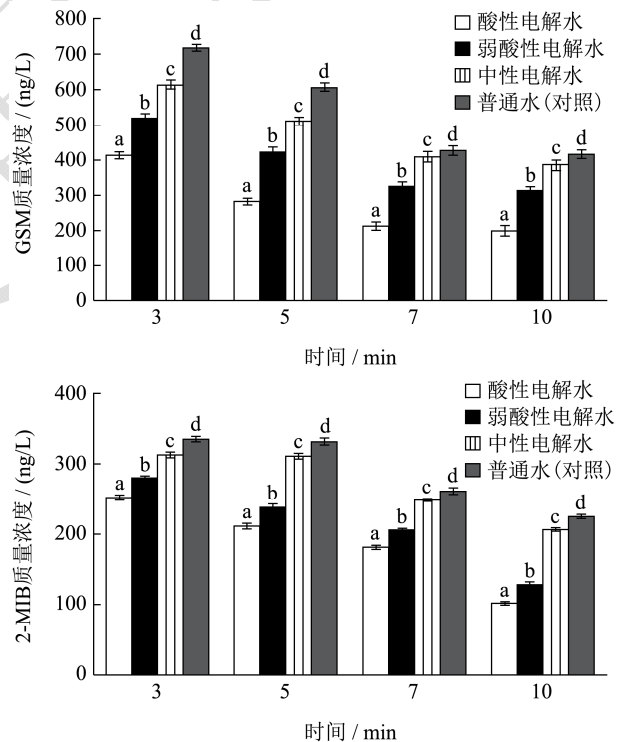


图1 电解水对罗非鱼腥味物质GSM和2-MIB的去除影响(ng/L)

Fig.1 Effect of electrolytic water on removal of GSM and 2-MIB of Tilapia (ng/L)

注:不同小写字母表示同行数据间具有显著性差异($P < 0.05$),为组间比较,下图同。

2.3 酸性电解水对罗非鱼冷藏品质的影响

2.3.1 酸性电解水处理后冷藏期间罗非鱼色差的变化

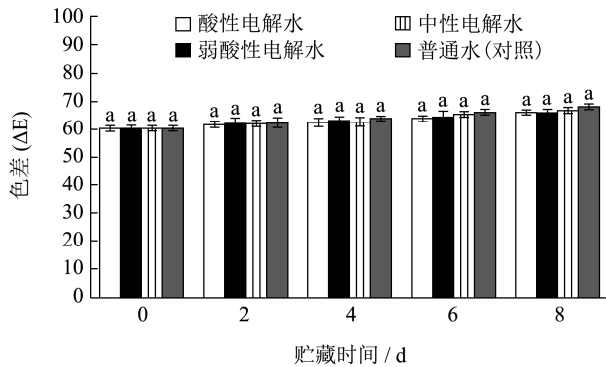


图2 不同冷藏期间罗非鱼色差的变化 (ΔE)

Fig.2 Changes of color difference of tilapia during different cold storage periods (ΔE)

当鱼肉与空气接触后,就会不断地将肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白,使鱼肉失去原有的红色色泽。由图2可以看出,冷藏期间,与对照样品一样,尽管3种处理样品的总色差ΔE值均呈现逐渐上升的趋势,但样品和对照的总色差数值之间并不存在明显差异(P<0.05)。酸性电解水处理后冷藏期间原料色差的变化,不同的研究结果并不完全相同。向思颖等^[24]报道了电解水可通过抑制蛋白分解,进而减少冷鲜草鱼色泽变化、延长鱼肉新鲜期。Miks-Krajnik等^[25]的研究显示酸性电解水中的低pH值和高ORP能够引起水产品中类胡萝卜素等发生降解,并不能有效地保持水产品的色泽,反而促进产品被漂白。其原因可能在于

一是研究所采用的酸性电解水的性质不完全一致,二是样品清洗处理时所用的时间也不完全一样,因此,利用酸性电解水对水产品进行清洗,筛选合适的酸性电解水和处理时间显得十分必要。

2.3.2 酸性电解水处理后冷藏期间罗非鱼质构的变化

食品质构是指眼睛、口中的黏膜及肌肉所感觉到的食品的性质,包括粗细、滑爽、颗粒感等,是反应食品组织结构及状态的一个物理指标。在保鲜过程中,食物受微生物、酶等综合作用导致质构特性发生变化。就冷藏贮藏的罗非鱼而言,使用普通水和电解水进行清洗之后,贮藏过程中样品的硬度、弹性和咀嚼性的变化并没有明显的差异(表3~5)。随着贮藏时间的延长,所有样品的硬度、弹性、咀嚼性均呈先上升后逐渐降低的趋势,相比于对照组,尽管电解水处理后样品的硬度、弹性和咀嚼性变化速度较缓慢,但趋势不明显,数值之间并无显著性差异(P<0.05)。不过,也有研究实验证明,酸性电解水能够影响水产品的质构变化。Zhang等^[26]和杨琰瑜等^[27]认为酸性电解水可通过抑制虾肉表面腐败菌的生长进而维持虾肉肌原纤维蛋白和胶原蛋白的稳定性;Wang等^[28]认为酸性电解水对虾肉中组织蛋白酶活性的抑制也是其保护肌肉纤维完整性的重要因素。其原因可能在于一是实验所用电解水的性质不同,二是浸泡时间不同所致。

表3 冷藏期间罗非鱼硬度的变化(N)

Table 3 Changes in Tilapia hardness during refrigeration (N)

贮藏时间/d	0	2	4	6	8
强酸性电解水	65.72±3.01 ^a	87.54±2.11 ^a	75.43±1.28 ^a	69.32±2.11 ^a	67.71±1.12 ^a
弱酸性电解水	65.87±1.11 ^a	88.53±2.01 ^a	76.31±1.27 ^a	70.21±1.16 ^a	67.21±1.34 ^a
中性电解水	66.35±1.01 ^a	86.54±1.17 ^a	75.43±0.18 ^a	69.32±1.10 ^a	67.82±1.19 ^a
普通水(对照)	65.75±1.02 ^a	87.65±2.18 ^a	76.54±1.11 ^a	70.21±1.01 ^a	66.32±1.30 ^a

表4 冷藏期间罗非鱼弹性的变化(g)

Table 4 Changes in Tilapia elasticity during refrigeration (g)

贮藏时间/d	0	2	4	6	8
强酸性电解水	1.52±0.35 ^a	1.72±0.11 ^a	1.45±0.28 ^a	1.32±0.11 ^a	1.21±0.12 ^a
弱酸性电解水	1.57±0.87 ^a	1.73±0.01 ^a	1.41±0.27 ^a	1.31±0.16 ^a	1.21±0.34 ^a
中性电解水	1.54±0.22 ^a	1.69±0.17 ^a	1.43±0.18 ^a	1.32±0.10 ^a	1.22±0.19 ^a
普通水(对照)	1.55±0.21 ^a	1.68±0.18 ^a	1.44±0.11 ^a	1.33±0.01 ^a	1.22±0.35 ^a

表5 冷藏期间罗非鱼咀嚼性的变化(N.cm)

Table 5 Changes in chewability of Tilapia during refrigeration (N.cm)

贮藏时间/d	0	2	4	6	8
强酸性电解水	4.52±0.65 ^a	4.72±0.31 ^a	4.15±0.20 ^a	3.32±0.25 ^a	3.41±0.11 ^a
弱酸性电解水	4.53±0.87 ^a	4.73±0.21 ^a	4.25±0.17 ^a	3.21±0.23 ^a	3.41±0.30 ^a
中性电解水	4.54±0.35 ^a	4.74±0.71 ^a	4.33±0.18 ^a	3.32±0.19 ^a	3.42±0.11 ^a
普通水(对照)	4.55±0.17 ^a	4.75±0.28 ^a	4.44±0.11 ^a	3.21±0.31 ^a	3.52±0.30 ^a

2.3.3 酸性电解水处理后冷藏期间罗非鱼 TVB-N 的变化

TVB-N 系贮藏过程中,富含蛋白质的罗非鱼在酶和细菌的作用下分解产生氨、胺、仲胺等碱性含氮挥发性物质,可在碱性溶液中与水蒸汽一起蒸馏出来,用标准酸进行滴定。一般在低温有氧条件下,鱼类 TVB-N 的量达到 30 mg/100 g 时,即认为产品变质的标志^[18]。由表 6 可以看出,随着贮藏时间的延长,样品和对照一样 TVB-N 值均呈现增长趋势。贮藏 6 d 时,用普通水清洗的样品(对照) TVB-N 值已经达到 35.21 mg·N/100 g,属于变质产品,而用电解水处理的 3 种样品 TVB-N 含量均未超出上限可接受值。因此,电解水处理可明显抑制 TVB-N 含量上升,延长贮藏期,且酸性越强,抑制效果越好。实验结论与岑剑伟等^[29]用微酸性电解水冰在 16 d 贮藏后使罗非鱼片的 TVB-N 值保持在 20.17 mg·N/100 g,低于对照组的 27.17 mg·N/100 g,与其保鲜结论一致。

表 6 贮藏期间罗非鱼 TVB-N 的变化 (mg·N/100 g)

Table 6 Changes of TVB-N in Tilapia during storage (mg·N/100 g)

贮藏时间/d	0	2	4	6	8
强酸性电解水	12.51±1.21 ^a	15.57±0.71 ^a	25.67±1.28 ^b	26.78±0.93 ^a	28.77±0.12 ^a
弱酸性电解水	12.34±0.11 ^a	17.89±1.10 ^b	23.54±1.27 ^a	28.11±0.56 ^b	32.54±0.82 ^b
中性电解水	12.87±1.31 ^a	16.83±0.17 ^b	25.34±0.98 ^b	27.21±1.10 ^a	32.22±0.89 ^b
普通水(对照)	12.51±0.95 ^a	20.17±0.98 ^c	28.75±1.71 ^c	35.21±0.01 ^c	40.11±0.35 ^c

表 7 贮藏期间罗非鱼 TBARS 的变化 (mg/100 g)

Table 7 Changes in TBARS of Tilapia during storage (mg/100 g)

贮藏时间/d	0	2	4	6	8
强酸性电解水	0.21±0.01 ^a	0.17±0.11 ^a	0.32±0.28 ^a	0.34±0.13 ^a	0.35±0.12 ^a
弱酸性电解水	0.22±0.11 ^a	0.16±0.01 ^a	0.35±0.27 ^a	0.37±0.16 ^a	0.41±0.12 ^b
中性电解水	0.23±0.01 ^a	0.21±0.17 ^b	0.41±0.18 ^b	0.31±0.10 ^a	0.38±0.19 ^a
普通水(对照)	0.21±0.02 ^a	0.22±0.08 ^b	0.45±0.01 ^b	0.40±0.01 ^b	0.43±0.35 ^b

2.3.5 酸性电解水处理后冷藏期间罗非鱼蛋白羰基(-CH)和总巯基(-SH)的变化

作为蛋白含量丰富的水产品,蛋白羰基(-CH)和总巯基(-SH)含量变化大小经常被用来衡量蛋白氧化的程度^[30]。在贮藏过程中,鱼类预制菜品中的蛋白质分子失去原有的空间构型而引起蛋白质肽链断裂可明显增加了羰基含量^[31]。羰基浓度高,蛋白氧化程度深,羰基浓度低,蛋白氧化程度轻。

由图 3 可以看出,相比普通水清洗,酸性电解水清洗罗非鱼后贮藏过程中,酸性电解水具有阻止蛋白氧化的作用。罗非鱼经普通水清洗后,冷藏 8 d,蛋白羰基的含量为 1.63 nmol/mg,而经强酸性电解水、弱酸性电解水和中性电解水清洗后,蛋白羰基的含量仅为 1.35、1.41 和 1.48 nmol/mg。Athayde 等^[32]同样报

2.3.4 酸性电解水处理后冷藏期间罗非鱼 TBARS 值的变化

鱼中脂质过氧化反应是鱼肌肉中多不饱和脂肪酸氧化降解的结果,将导致异常气味和味道产生,从而缩短水产品保质期。硫代巴比妥酸值(TBARS)是衡量脂质氧化发生程度大小的最重要的一个指标,其值反应了脂质氧化过程中产生的以丙二醛为主体的醛类物质的多少^[18]。由表 7 可以看出,第 0 天时,样品中的 TBARS 值为 0.21 mg/100 g,贮藏 8 d 后,样品的 TBARS 值达到了 0.43 mg/100 g。经强酸性电解水、弱酸性电解和中性电解水处理后的样品,8 d 时的 TBARS 值分别为 0.35、0.41、0.38 mg/100 g,显著低于对照组。因此,电解水可有效抑制脂质氧化,且酸性越强,抑制效果越好。徐钰君等^[11]用不同电解水冰对河鲈进行保鲜,3 种电解水冰处理的 TBARS 值显著低于普通水冰对照组($P<0.05$),本实验结论与其相似。

道了电解水可以阻止贮藏期间肉类蛋白质中的羰基值的增加。

蛋白质巯基则是微量鱼类制品氧化程度高低的另一指标。巯基是维持蛋白质构象的重要基团,一般而言,巯基浓度高,蛋白氧化程度低,巯基浓度低,蛋白氧化程度高^[18]。由图 3 同样可以看出,罗非鱼经普通水清洗后,冷藏 8 d,蛋白巯基的含量为 6.83 nmol/mg,而经强酸性电解水、弱酸性电解水和中性电解水清洗后,蛋白巯基的含量为 7.35、7.11 和 7.05 nmol/mg。Gao 等^[33]用不同酸性电解水处理贻贝后,经过 90 d 的贮藏其巯基值均能保持在 0.02 mmol/g 以上,而对照组的巯基值低于 0.01 mmol/g,与本实验变化趋势相似。钟强等^[4]认为酸性电解水能延缓鱼类水产品蛋白氧化的原因在于酸性电解水通过在一定程度上抑制水产品

细菌和酶的活性,可以较好地保持肌肉纤维的完整性。

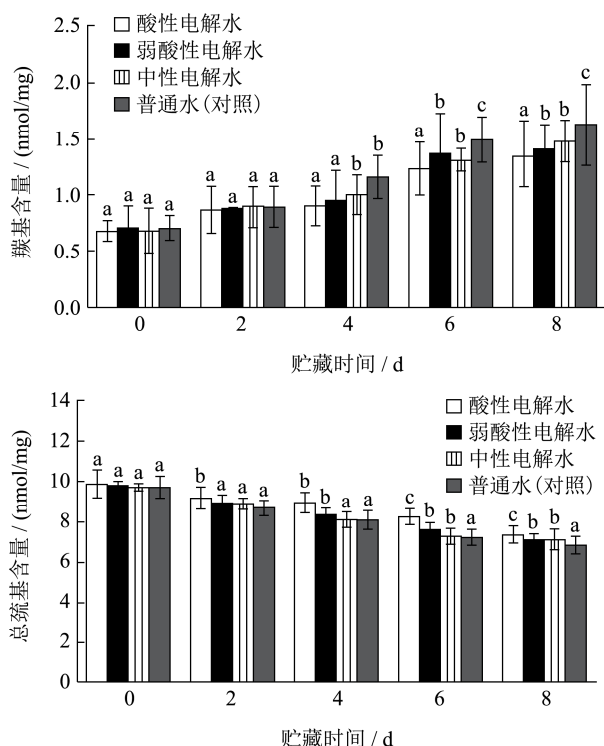


图3 贮藏期间罗非鱼蛋白羰基和总巯基的变化 (nmol/mg)

Fig.3 Changes in carbonyl and total sulfhydryl groups of Tilapia protein during storage (nmol/mg)

3 结论

应用酸性电解水代替普通水有望解决目前鱼类预制菜原料清洗环节时存在的一些实际问题,也有利于拓展酸性电解水的应用场景。本研究将酸性电解水应用到预制菜清洗环节,有利于解决目前应用普通水清洗时存在的用水量大、原料营养素损失、初始微生物减菌杀菌效果差、清洗容易引起成品感官品质下降以及污水难以处理等不足。研究表明,利用酸性电解水代替普通水对罗非鱼原料进行清洗,有利于减少罗非鱼的初始微生物、去除土腥味物质,同时有效抑制脂质氧化和蛋白氧化程度,且酸性愈强,效果愈好。酸性电解水清洗原料后并不影响冷藏过程中产品的色泽和质构。在应用酸性电解水对原料进行清洗时,应根据实际情况,选择合适的酸性电解水和合适的清洗时间,以减少技术对产品带来的负面影响。

参考文献

[1] 陈胜军,孙万青,岑剑伟,等.中国水产品主要质量安全问题来源与控制研究进展[J].中国渔业质量与标准,2021,11(5): 50-55

[2] 王敏.我国水产食品安全与质量控制现状与策略[J].食品安全导刊,2021,34:31-33

[3] 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

[4] 钟强,董春晖,黄志博,等.酸性电解水保鲜机理及其在水产品中应用效果的研究进展[J].食品科学,2021,42(5):288-295

[5] Hricova D, Stephan R, Zweifel C. Electrolyzed water and its application in the food industry [J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(9): 1934-1947

[6] Chen T Y, Kuo S H, Chen S T, et al. Differential proteomics to explore the inhibitory effects of acidic, slightly acidic electrolysed water and sodium hypochlorite solution on *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 529-537

[7] 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

[8] Yan W, Zhang Y Q, Yang R J, et al. Combined effect of slightly acidic electrolyzed water and ascorbic acid to improve quality of whole chilled freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. Food Control, 2020, 108

[9] Ladrat C, Verrez-Bagnis V, Noel J, et al. *In vitro* proteolysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins of white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L): effects of cathepsins B, D and L [J]. Food Chemistry, 2003, 81(4): 517-525

[10] Hasan F, Shah A A, Hameed A. Methods for detection and characterization of lipases: A comprehensive review [J]. Biotechnology Advances, 2009, 27(6): 782-798

[11] 徐钰君,肖宇,韩军,等.不同电解水冰对河鲈的保鲜效果研究[J].食品工业科技,2021,42(6):292-296

[12] 孙文烁,靳梦瞳,武爱波,等.电解水对鱼干中真菌毒素消除效果研究[J].现代食品科技,2015,31(10):222-226

[13] 于福田.微酸性电解水对罗非鱼片杀菌和保鲜效果的研究[D].上海:上海海洋大学,2019

[14] 刘慧.微酸性电解水对草鱼冷藏期间保鲜效果影响的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2021

[15] 鲍佳丽,方旭波,陈小娥,等.巴沙鱼片脱腥工艺优化及腥味物质分析[J].食品工业科技,2022,43(6):70-76

[16] 黄卉,郑陆红,李来好,等.不同预冷温度对鲈鱼冰藏期间质构和色差的影响[J].食品工业科技,2018,39(24):302-308

[17] 刘方芳.美国大口胭脂鱼关键挥发性气味物质的分析及脱腥技术研究[D].上海:上海海洋大学,2020

[18] 王腾.超声波辅助盐渍对盐渍鲑鱼和鲑鱼干理化性质及品质的影响研究[D].广州:华南理工大学,2018

- [19] 刘丹文.腌大叶芥菜的抗氧化性能及其对猪肉糜的抗氧化作用[D].湘潭:湘潭大学,2017
- [20] 王潇.酸性电解水对中华管鞭虾保鲜效果的研究[D].杭州:浙江工商大学,2015
- [21] Elhadi S, Huck P M, Slawson R M. Determination of system losses of geosmin and MIB in bench-scale filtration apparatus [J]. Water Quality Research Journal of Canada, 2004, 39(3): 207-212
- [22] Chislock M F, Olsen B K, Choi J, et al. Contrasting patterns of 2-methylisoborneol (MIB) vs. geosmin across depth in a drinking water reservoir are mediated by cyanobacteria and actinobacteria [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(24): 32005-32014
- [23] 陈亚玲,王莉,张平.罗非鱼片去腥工艺的研究[J].肉类工业, 2020,11:21-24
- [24] 向思颖,谢君,徐芊,等.中性氧化电解水对冷鲜草鱼肉品质及质构的影响[J].食品科学,2017,38(3):239-244
- [25] Miks-Krajnik M, Feng L, Bang W S, et al. Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds [J]. Food Control, 2017, 74: 54-60
- [26] Zhang B, Ma L K, Deng S G, et al. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeusvannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2015, 51: 114-121
- [27] 杨琰瑜,张宾,汪恩蕾,等.酸性电解水冰衣对单冻虾仁品质的影响[J].中国食品学报,2014,14(6):162-168
- [28] 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
- [29] 岑剑伟,于福田,杨贤庆,等.微酸性电解水冰对罗非鱼片的保鲜效果[J].食品科学,2019,40(19):288-293
- [30] Jia N, Kong B H, Liu Q, et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage [J]. Meat Science, 2012, 91(4): 533-539
- [31] 李艳青.蛋白质氧化对鲤鱼蛋白结构和功能性的影响及其控制技术[D].哈尔滨:东北农业大学,2013
- [32] Athayde D R, Flores D, Da Silva J S, et al. Application of electrolyzed water for improving pork meat quality [J]. Food Research International, 2017, 100: 757-763
- [33] Gao Y P, Jiang H L, Lv D, et al. Shelf-life of half-shell mussel (*Mytilus edulis*) as affected by pullulan, acidic electrolyzed water, and stable chlorine dioxide combined ice-glazing during frozen storage [J]. Foods, 2021, 10(8): 1896