

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241230003

引用格式: 艾明艳, 田明威, 雷跃磊, 等. 低温等离子体活性水对冷鲜鳊鱼片品质变化的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 39–45.

AI MY, TIAN MW, LEI YL, *et al.* Effects of low-temperature plasma-activated water on the quality changes of cold fresh *Siniperca chuatsi* slices [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 39–45. (in Chinese with English abstract).

低温等离子体活性水对冷鲜鳊鱼片品质变化的影响

艾明艳, 田明威, 雷跃磊, 卢素芳*

(武汉市农业科学院水产研究所, 武汉 430000)

摘要: **目的** 研究不同处理时间(5、10、15 min)的低温等离子体活性水(low-temperature plasma-activated water, PAW)对冷鲜鳊鱼片品质的影响。**方法** 采用0.15%的乳酸溶液作为杀菌介质的PAW浸泡冷鲜鳊鱼片5、10、15 min, 未处理组为对照组, 于4 °C下冷藏。每2 d测定样品的pH、菌落总数、总挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)、蒸煮损失率、质构与感官品质, 来评价PAW的保鲜效果。**结果** 经PAW处理后样品的菌落总数和TVB-N值得到明显抑制, pH降低, 质构特性维持较好, 样品的感官品质得到提高。PAW处理会导致冷鲜鳊鱼片蒸煮损失率上升、咀嚼性增加。**结论** 15 min处理组对冷鲜鳊鱼片的保鲜效果最好, 保持较好的贮藏品质, 可使冷鲜鳊鱼片的货架期延长4 d。

关键词: 低温等离子体活性水; 鳊鱼; 品质变化

Effects of low-temperature plasma-activated water on the quality changes of cold fresh *Siniperca chuatsi* slices

AI Ming-Yan, TIAN Ming-Wei, LEI Yue-Lei, LU Su-Fang*

(Fisheries Research Institute, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of low-temperature plasma-activated water (PAW) with varying treatment durations (5, 10, 15 minutes) on the quality of cold fresh *Siniperca chuatsi* slices. **Methods** This article used 0.15% lactic acid solution as the sterilization medium to soak cold fresh *Siniperca chuatsi* slices in PAW for 5, 10 and 15 minutes. The untreated samples served as the control group, refrigerated at 4 °C. The pH, total bacterial count, total volatile base nitrogen (TVB-N), cooking loss, texture and sensory quality of the sample were measured every 2 days to evaluate the preservation effect of PAW. **Results** The results showed that after PAW treatment, the total bacterial count and TVB-N value of the sample were significantly inhibited, the pH decreased, the texture characteristics were maintained well, and the sensory quality of the sample were improved. PAW treatment could

收稿日期: 2024-12-30

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2023AFB1047)

第一作者: 艾明艳(1984—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为水产品保鲜。E-mail: 1019698554@qq.com

*通信作者: 卢素芳(1978—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为水产品营养与加工保鲜。E-mail: lusufang@wuhanagri.com

lead to an increase in cooking loss rate, and increase chewing ability of cold fresh *Siniperca chuatsi* slices.

Conclusion The 15 minutes treatment group has the best preservation effect on cold fresh *Siniperca chuatsi* slices, maintaining good storage quality and prolonging the shelf life of cold fresh *Siniperca chuatsi* slices by 4 days.

KEY WORDS: low-temperature plasma-activated water; *Siniperca chuatsi*; quality changes

0 引言

随着预制菜的蓬勃发展以及人们生活方式的改变,冷鲜鱼产品逐渐被消费者接受。由于水产品水分含量高且营养丰富,在产品货架期短且容易微生物超标等问题,这些问题限制了冷鲜鱼行业的发展。因此,需要对生鲜鱼肉进行有效的保鲜处理,以减少微生物污染并延长货架期。目前,鱼肉保鲜常用的技术主要包括低温贮藏^[1-2]、添加保鲜剂^[3-4]等技术,这些技术存在保鲜效果不佳、成本高和化学残留等问题^[5]。因此,寻找一种高效安全、价格低廉的新型保鲜方式尤为重要。

低温等离子体(atmospheric cold plasma, ACP)是一种新型的冷杀菌技术,处理过程中不会产生升温,具有高效的抗菌特性,且作用后无残留^[6]。ACP 产生杀菌作用的机制主要包括紫外线(ultraviolet, UV)、pH、电场、高速电子和活性氧(reactive oxygen species, ROS)、活性氮(reactive nitrogen species, RNS)等杀菌物质的作用^[7-8]。在 ACP 中,原子、分子和自由基等粒子具有高度活性。当这些活性物质与微生物细胞表面接触时,它们会对细胞膜、蛋白质等生物大分子造成损伤,导致细胞死亡^[9]。杀菌机制的多种效应协同作用能产生更好的保鲜效果,充满活性物质的密闭环境(包装、容器等),能实现多种效应的协同作用^[10]。利用水来作为杀菌介质可以起到密闭环境的效果,减少活性物质扩散到空气中。低温等离子体活性水(low-temperature plasma-activated water, PAW)是用 ACP 处理不同性质水的统称^[11]。由于 PAW 的 pH 低,并以 ROS、RNS 为其主要活性成分,其对细菌、酵母、霉菌和病毒等微生物具有很强的杀灭效果^[12]。ZHAO 等^[13]使用 PAW 研究了新鲜牛肉的细菌失活,结果表明,在处理 24 h 时,细菌减少了大约 3.1 log CFU/g,这延长了保质期约 4~6 d; LIAO 等^[14]将介质阻挡放电(dielectric barrier discharge, DBD)活化的 PAW 冰用于虾的保鲜,8 d 内虾的菌落总数均维持在 6 log CFU/g 以下,总挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值维持在 20 mg/100 g 以下,贮藏时间延长了 4~8 d。

乳酸具有很强的防腐保鲜作用,能够迅速改变微生物细胞膜的内外电势,增加细胞膜通透性,导致内容物流出,从而起到抑菌作用。乳酸能够参与人体正常的代谢,在达到杀菌目的的同时不对人体产生危害^[15]。当乳酸浓度 0.09% 时对致病菌才能起到一定的抑制作用^[16],因此本研究拟选取冷鲜鳊鱼片为研究对象,以 0.15% 的乳酸

溶液作为杀菌介质,研究不同处理时间(5、10、15 min)的 PAW 对冷鲜鳊鱼片品质的影响,以期为鳊鱼冷藏保鲜技术的提高及其他水产品的保鲜技术研究提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鳊鱼,购于盒马生鲜超市。

平板计数琼脂(plate count agar, PCA)、氢氧化钠、氯化钠、高氯酸、硼酸(分析纯)、亚甲基蓝、甲基红(指示剂)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

BSA124S 型分析天平(精度 0.1 mg, 德国生命科学集团 Sartorius AG); CPS-I 型高压电场低温 PAW 体冷杀菌试验系统(南京屹润 PAW 科技有限公司); Color Meter ZE-2000 色差计(日本尼康公司); H-2050R 台式高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司); TA-XTPlus 食品物性测试仪(英国 Stable Microsystems 公司); PHS-2F pH 计(上海仪电科学仪器有限公司); K9804 凯式定氮仪(海能未来技术集团股份有限公司); XHF-D 拍击式均质器(宁波新芝生物科技股份有限公司); GI80DS 立式自动压力蒸汽灭菌锅(厦门致微仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 PAW 的制备

将 0.15% 乳酸溶液用 ACP 射流处理 90 s 后,降温至室温,得到 PAW。

1.3.2 样品的制备

选择体重 500~600 g 的鳊鱼,去除鱼鳞、内脏、鱼腮后取背部鱼皮下的肉,用无菌水清洗干净,然后随机分成 4 份,分别装入无菌采样袋,加入 PAW 进行浸泡,料液比为 1:5 (m:V),分别浸泡处理 5、10、15 min,以未经 ACP 射流处理的乳酸溶液作为对照组。浸泡完成后,将 PAW 倒出,置于 4 °C 下贮藏。

1.3.3 pH 的测定

参考 ZOU 等^[17]的方法,取 5 g 鱼肉样品,加入 50 mL 去离子水打碎均质成匀浆,随后用滤纸将沉淀的肉组织过滤掉,取滤液用 pH 计在室温下进行测量。

1.3.4 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物

物学检验 菌落总数测定》进行测定。

1.3.5 TVB-N 值的测定

参照 GB 5009.228—2022《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的微量扩散法, 每个条件平行 3 次, 取平均值。

1.3.6 蒸煮损失率的测定

使用滤纸擦干样品表面的水分, 称质量 m_1 , 沸水煮制 10 min, 取出样品用滤纸擦干表面水分并记录质量 m_2 ^[18]。蒸煮损失率计算如公式(1):

$$\text{蒸煮损失率}/\%=(m_1-m_2)/m_1\times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为蒸煮前质量, g; m_2 为蒸煮后质量, g。

1.3.7 质构的测定

参考张子一^[19]测定鱼肉质构的方法, 取鳊鱼片侧线之间的中间白肌, 切成 1 cm×1 cm×0.5 cm 的小块。利用 TA-XTPlus 食物物性测试仪, 使用探头 P/36R 测试。测试条件为: 测试前速率 5 mm/s, 测试中速率 1 mm/s, 测试后速率 5 mm/s, 压缩程度为 50%。样品测试于室温下进行, 每组测定 6 个样品。

1.3.8 感官评价

感官评价小组由 8 位专业评审人员组成, 对冷鲜鳊鱼片的色泽、异味、弹性与组织状态进行评价。满分 40 分, 评价方法见表 1。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory scoring standards

感官指标				评分
色泽	异味	弹性	组织状态	/分
苍白透明, 有光泽	新鲜无异味	坚实有弹性, 按压表面复原快	表面不发黏, 肌肉组织紧密, 无出水	10
鱼肉半透明, 有光泽	略微变腥, 有轻微异味	弹性较好, 按压表面后复原快	表面不发黏, 肌肉组织紧密, 稍有出水	8
淡黄, 半透明, 稍有光泽	稍有鱼腥味, 不明显	弹性一般, 按压表面复原缓慢	表面不发黏, 肌肉组织紧密, 出水较多	6
苍白, 不透明, 稍有光泽	有鱼腥味, 明显	弹性差, 按压表面后不复原	表面发黏, 肌肉组织不紧密, 出水多	4
鱼肉不透明, 无光泽	有腐败腥臭味, 不可接受	无弹性, 按压表面后不复原	表面发黏严重, 肌肉组织不紧密, 出水多	2

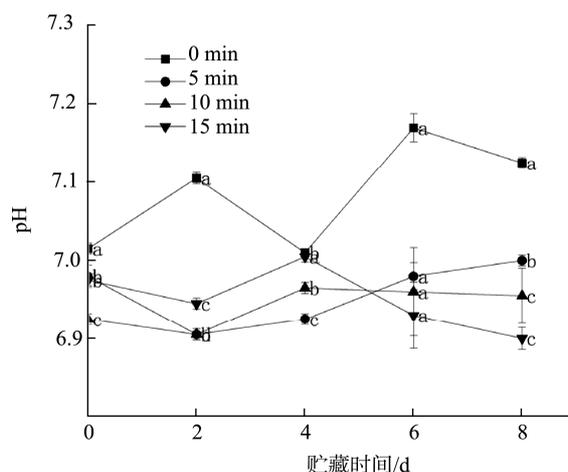
1.4 数据处理

实验数据处理及统计分析采用 Origin 2023 和 SPSS 26.0, 处理结果均以平均值±标准偏差表示, 并进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片 pH 的影响

鱼肉的 pH 与蛋白质、脂肪的分解以及微生物的生长有关, 常被用来判定水产品贮藏过程中品质的变化。如图 1 所示, 对照组初始 pH 为 7.02, 经 PAW 处理的样品 pH 显著低于对照组 ($P<0.05$)。在冷藏过程中, 处理组和对照组的样品 pH 呈现波动状态, 这可能是由 3 方面的原因造成: (1) 鱼肉所含糖原经糖酵解作用产生乳酸, 促使 pH 降低^[20]; (2) 随着大分子物质的分解, 碱性含氮化合物的积累促使样品的 pH 升高^[20]; (3) ACP 中含有的活性粒子 $\text{OH}\cdot$ 、 O_3 、 H_2O_2 等会与水发生反应造成样品的 pH 降低^[21]。在整个贮藏过程中, 处理组 pH 始终处于 6.87~7.10 之间, 各处理组之间差异不大, 对照组 pH 呈上升趋势, 处理组 pH 始终低于对照组。第 8 d 时, 处理组显著小于对照组, 且随着处理时间越长 pH 越小, 15 min 处理组 pH 最低。细菌是冷鲜鳊鱼肉腐败的主要原因^[22], 且中性 pH 条件有利于细菌生长, 所以 pH 越低越有利于冷鲜鳊鱼片的保鲜。



注: 不同小写字母表示同组不同贮藏时间之间差异显著 ($P<0.05$), 图 2~6 同。

图 1 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片 pH 的影响

Fig.1 Effects of PAW bacterial reduction treatment on the pH of cold fresh *Siniperca chuatsi*

2.2 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片菌落总数的影响

随着贮藏时间的延长, 微生物大量繁殖, 条件适宜甚至以指数倍数增长, 使鱼肉产生特殊的异味^[23], 菌落总数可以用来反映冷鲜鳊鱼片中细菌的生长情况, 是衡量食品新鲜度的一个重要指标。本研究参照 GB 2733—2015《食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品》, 菌落总数 $\leq 10^6$ CFU/g 为可食用限度。由图 2 可知, 第 0 d 时, 对照组菌落总数为 4.22 lg(CFU/g), 经 PAW 处理后分别减

菌 1.78%、5.10%、11.27%，这说明 PAW 处理时间越长减菌效果越好。随着贮藏时间的延长，冷鲜鳊鱼肉中的微生物大量繁殖，菌落总数呈上升趋势。第 4 d 时，对照组菌落总数为 6.10 lg(CFU/g)，超过了可食用限度的 6 lg(CFU/g)；第 6 d 时，5 min 处理组的菌落总数为 6.11 lg(CFU/g)，超过限值；第 8 d 时，10 min 处理组的菌落总数为 6.10 lg(CFU/g)，超过限值，15 min 处理组的菌落总数为 5.61 lg(CFU/g)，接近限值。15 min 处理在整个贮藏期间显著低于对照组 ($P < 0.05$)。结果表明，PAW 能有效抑制冷鲜鳊鱼片的微生物生长，抑菌能力与 PAW 处理时间成正比，其中 15 min 处理组延长冷鲜鳊鱼片贮藏期 4 d。

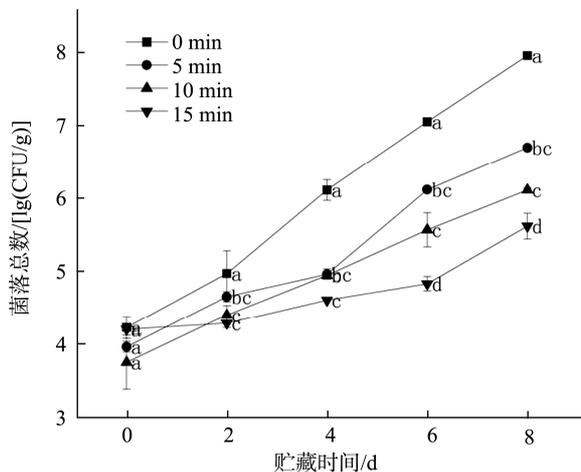


图 2 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片菌落总数的影响

Fig.2 Effects of PAW bacterial reduction treatment on the total bacterial count of cold fresh *Siniperca chuatsi*

2.3 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片 TVB-N 值的影响

从图 3 中可知，对照组初始值为 2.44 mg/100 g，大于各处理组 TVB-N 值。随着贮藏时间的延长，由于微生物的作用，冷鲜鳊鱼片中的蛋白质、核酸等发生分解并产生氨和胺类物质(如二甲胺、三甲胺、腐胺和尸胺等)，进而造成各组 TVB-N 值逐渐呈上升趋势^[10]。整个贮藏期间，处理组显著抑制了 TVB-N 值增长，5 min 处理组与 10 min 处理组差异不显著，15 min 处理组抑制 TVB-N 值能力最强 ($P < 0.05$)，上升幅度呈现对照组 > 5 min 处理组 > 10 min 处理组 > 15 min 处理组的趋势；在贮藏过程中，第 8 d 时，15 min 处理组 TVB-N 值为 20.42 mg/100 g，超过限值。各处理组的 TVB-N 值变化趋势与菌落总数的变化趋势总体上一致，这正说明随着冷鲜鳊鱼肉中细菌总数的快速增长，蛋白质被不断分解而产生大量的胺类物质，最终导致 TVB-N 值的快速上升。综上所述，经 PAW 处理能有效延缓冷鲜鳊鱼片在冷藏期间 TVB-N 值的增加，延长冷藏货架期。

2.4 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片蒸煮损失率的影响

从图 4 中可知，对照组初始蒸煮损失率为 27.84%，各处理组的蒸煮损失率均高于对照组。随着贮藏时间的延长，处理组的蒸煮损失率呈现出先上升后下降的趋势，这可能是由于 PAW 中的活性氧、活性氮促进了蛋白质氧化，导致蛋白质在加热过程中更容易因变性而使得排列紧密的肌原纤维空隙变大，造成冷鲜鳊鱼片的蒸煮损失率升高^[24-25]。处理组的蒸煮损失率在第 2 d 时上升，贮藏第 4 d 时下降，第 4 d 后各处理组随着 PAW 活性氧、活性氮作用力的减弱逐渐趋于平缓，与之相反的是对照组在第 6 d 后急剧下降。贮藏中后期蒸煮损失率 15 min 处理组 > 5 min 处理组 > 10 min 处理组 > 对照组。这说明 PAW 对于稳定冷鲜鳊鱼片冷藏期间的水分保持起着重要的作用。

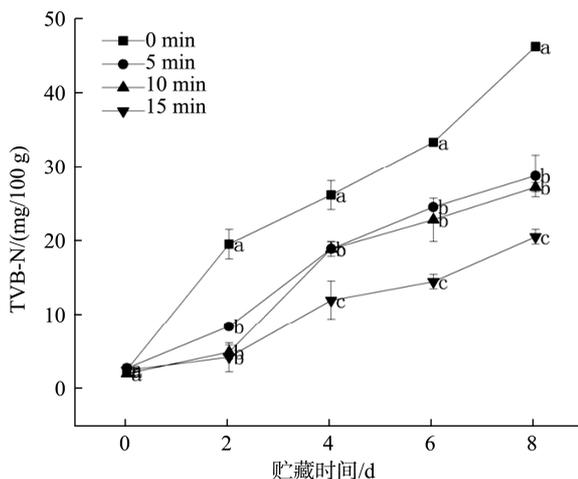


图 3 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片 TVB-N 值的影响

Fig.3 Effects of PAW bacterial reduction treatment on TVB-N value of cold fresh *Siniperca chuatsi*

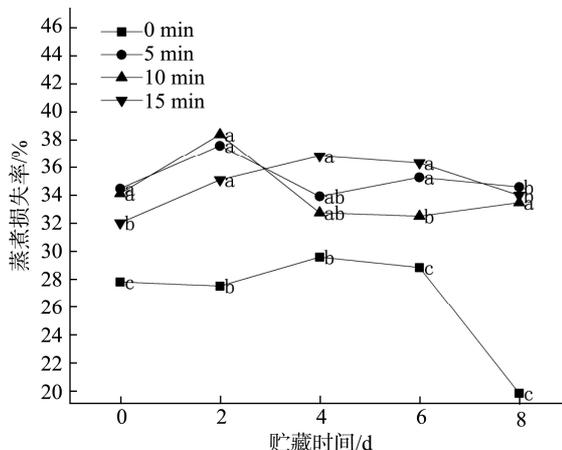


图 4 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片蒸煮损失率的影响

Fig.4 Effects of PAW bacterial reduction treatment on the cooking loss rate of cold fresh *Siniperca chuatsi*

2.5 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片质构的影响

质构数据可从多方面表现冷鲜鳊鱼片的物理性质,也是消费者接受的一个重要方面。本研究通过质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)法分析经 PAW 处理后冷鲜鳊鱼片的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性的变化,结果如图 5 所示。第 0 d 时,经 PAW 处理之后,其胶黏性、内聚性、弹性与咀嚼性相比对照组有所升高,说明 PAW 能够提高冷鲜鳊鱼片质构特性。

弹性是指鳊鱼肉变形后恢复原本形状的能力^[26];贮藏第 8 d 时,处理组的弹性显著大于对照组($P<0.05$),其中 15 min 处理组弹性 35.26 为最大值。胶黏性指半固体的鳊鱼肉破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量^[27]。胶黏性在第 6 d 时才出现显著性差异,第 8 d 时,各处理组的胶黏性显著大于对照组($P<0.05$),5 min 处理组和 10 min 处理组无显著性差异($P>0.05$),15 min 处理组胶黏性最高。内聚性是指分解鳊鱼肉内部结合所需要的能量^[28]。5 min 处理组、10 min 处理组和对照组呈现先上升后下降的趋势,在贮藏至第 6 d 时达到峰值,而 15 min 处理组的内聚性一直处于上升趋势。咀嚼性是指在咀嚼鳊鱼肉过程中所需的作用力^[29]。对照组和 10 min 处理组的咀嚼性呈先下降后上升的趋势,5 min 处理组 15 min 处理组的咀嚼性呈现波动状态,

对照组和处理组都在第 6 d 时出现最低值。综上所述,经 PAW 处理后,样品的质构数据优于对照组,说明 PAW 处理冷鲜鳊鱼片可以维持较好的物理特性,这可能是由于 PAW 可以降低酶的活性^[30],从而推迟冷鲜鳊鱼片软化速度。同时,在贮藏第 6 d 时胶黏性、弹性与咀嚼性出现最低点,而内聚性出现最高点,并开始出现显著性差异,这说明冷鲜鳊鱼片在冷藏前 6 d 是质构最佳时期,具有最好的嫩度和口感。

2.6 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片感官品质的影响

通过对鳊鱼片的色泽、气味、弹性与组织状态进行评价,直接反映了鳊鱼片的腐败情况与消费者可接受程度。不同的微生物由于其生物学特性不同,对营养物质的利用也有所差异,其选择性消耗鱼肉中的营养物质,造成鱼肉肉质腐败速度的差异。如图 6 所示,贮藏初期,鳊鱼片表面色泽鲜亮,无异味,坚实有弹性,处理组与对照组之间品质相对一致。随着贮藏时间的延长,鳊鱼片品质下降,样品表面色泽光泽度降低,逐渐产生异味,而处理组感官评分高于对照组,其中经 PAW 处理时间越长,感官评分越高,具有显著性差异($P<0.05$)。从鱼肉整体品质的变化来看,PAW 处理在保持鱼肉整体品质方面具有优势。

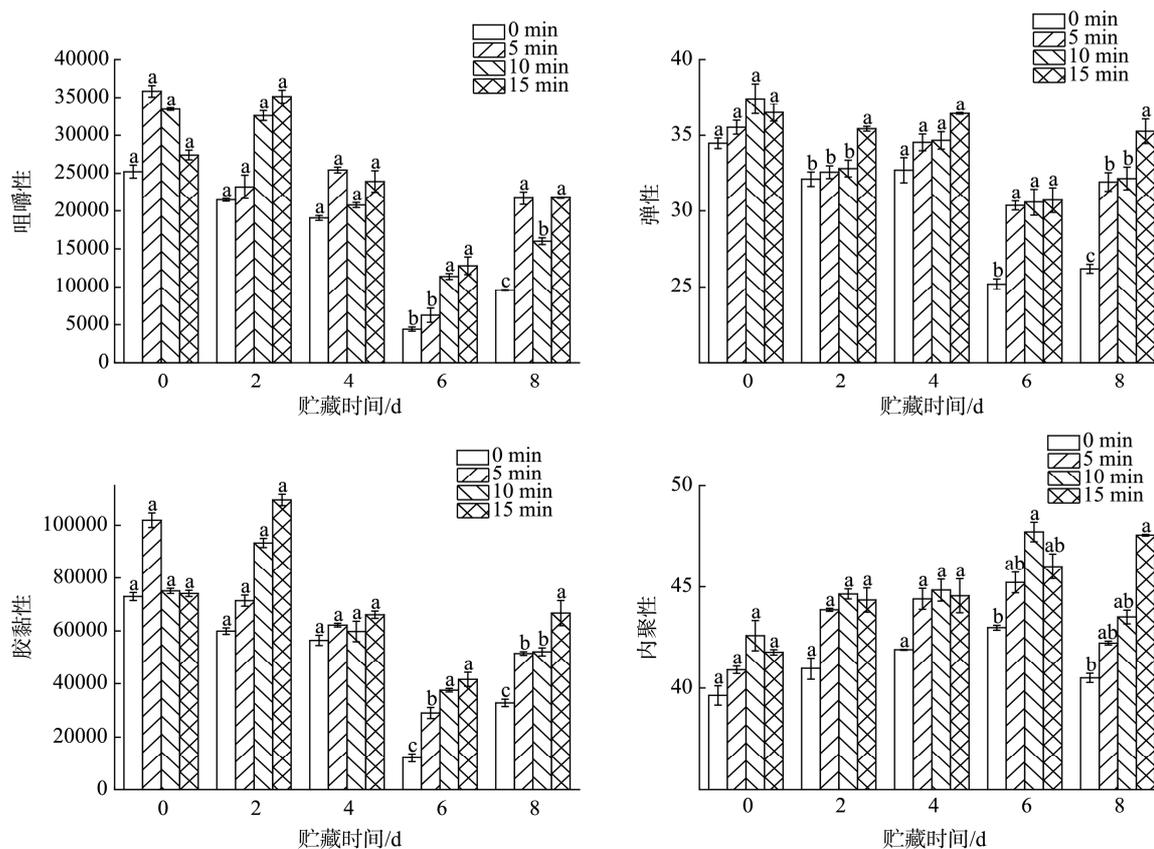


图 5 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片质构的影响

Fig.5 Effects of PAW bacterial reduction treatment on the texture of cold fresh *Siniperca chuatsi*

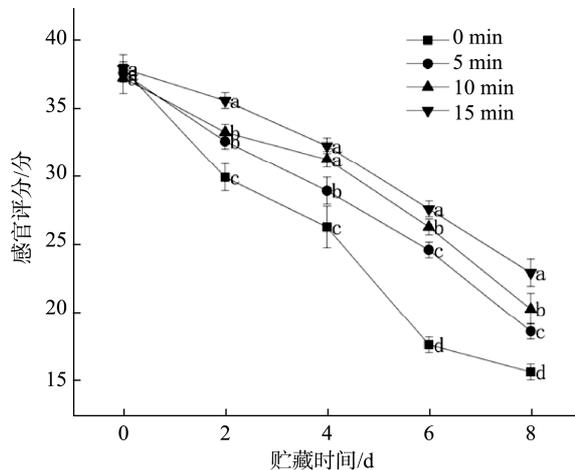


图 6 PAW 减菌处理对冷鲜鳊鱼片感官品质的影响

Fig.6 Effects of PAW bacterial reduction treatment on sensory quality of cold fresh *Siniperca chuatsi*

3 结论与讨论

本研究以 0.15% 的乳酸溶液为杀菌介质, 采用不同处理时间(5、10、15 min)的 PAW 对冷鲜鳊鱼片进行浸泡处理后 4 °C 下冷藏, 研究了贮藏过程中 pH、菌落总数、TVB-N 值、蒸煮损失率、质构与感官指标的变化规律。得出结论: PAW 处理显著提升了冷鲜鳊鱼片的保鲜效果, 与对照组相比, 处理组在菌落总数、TVB-N 值等指标上均表现出显著优势, pH 下降, 且有效维持了鱼体的质构特性与感官品质。其中 PAW 处理 15 min 对鱼肉样品的保鲜效果最好, 减菌处理后货架期为 8 d, 菌落总数为 5.61 lg(CFU/g), TVB-N 值为 20.42 mg/100 g。按照 GB 2733—2015 的规定, 对照组和 5 min 处理组在贮藏 4 d 后腐败变质; 10 min 处理组在在贮藏 6 d 后腐败变质, 而 15 min 处理组保鲜效果最佳, 将货架期延长至 8 d。但是由于浸泡时间过长, 会导致鱼肉质构和色泽变差, 为满足消费者可接受程度, 所以浸泡时间以 15 min 为宜。另外根据质构数据和感官评分分析, 冷鲜鳊鱼片贮藏前 6 d 具有最佳食用品质。

PAW 因其高效、绿色无残留、经济的特点在肉品杀菌中得到广泛应用, 但在杀菌时 PAW 产生的活性氧和活性氮会造成冷鲜鳊鱼片的脂质氧化, 肌肉的红色度下降, 咀嚼性增加, 蒸煮损失率上升等不利影响, 可能会影响加工品质。PAW 处理冷鲜鳊鱼片的同时有必要进行保色处理和质构改良。

参考文献

- [1] DU JT, LAN WQ, XIE J. Quality characteristics and moisture migration of refrigerated bullfrog (*Lithobates catesbeiana*) under slightly acidic electrolyzed water combined with composite preservative treatment [J]. Food Bioscience, 2023, 55: 102947.
- [2] ENRÍQUEZ DC, MIRANDA JM, TRIGO M, et al. Antioxidant and

antimicrobial effect of biodegradable films containing pitaya (*Stenocereus thurberi*) extracts during the refrigerated storage of fish [J]. Antioxidants 2023, 12: 544.

- [3] LI X, TU ZC, SHA XM, et al. Effect of coating on flavor metabolism of fish under different storage temperatures [J]. Food Chemistry X, 2022, 1: 13.
- [4] BU Y, HAN ML, TAN GZ, et al. Changes in quality characteristics of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) during refrigerated storage and their correlation with color stability [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112715.
- [5] 谢海伟, 吴琳芝, 黄欲菲, 等. 食品保鲜剂研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(15): 13–17.
XIE HW, WU LZ, HUANG YF, et al. Research progress of food preservatives [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(15): 13–17.
- [6] 孟德娟. 低温等离子体处理磷酸盐溶液替代亚硝酸盐添加对烟熏香肠品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2023.
MENG DJ. Effect of cold-plasma-treated phosphate solution to substitute nitrite addition on the quality of smoked sausage [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2023.
- [7] LIAO XY, MUHAMMAD AI, CHEN SG, et al. Bacterial spore inactivation induced by cold plasma [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(16): 2562–2572.
- [8] 徐杰. 低温等离子体对金鲳鱼品质影响及其抑菌效果[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2023.
XU J. Effects of cold plasma on the quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) and its inhibition influence [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2023.
- [9] ZHANG JC, DU QJ, YANG YX, et al. Research progress and future trends of low temperature plasma application in food industry: A review [J]. Molecules, 2023, 28(12): 4714.
- [10] 史展, 王周利, 岳田利, 等. 低温等离子体杀灭食源性致病菌的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 363–370.
SHI Z, WANG ZL, YUE TL, et al. Research progress of cold plasma in killing foodborne pathogens [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 363–370.
- [11] LEE G, CHOI SW, YOO MY, et al. Effects of plasma-activated water treatment on the inactivation of microorganisms present on cherry tomatoes and in used wash solution [J]. Foods, 2023. DOI: 10.3390/foods12132461
- [12] MIZANUR R, SHARIFUL MH, RAIHANUL I, et al. Plasma-activated water for food safety and quality: A review of recent developments [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(11): 6630.
- [13] ZHAO Y, CHEN R, TIAN E, et al. Plasma-Activated water treatment of fresh beef: Bacterial inactivation and effects on quality attributes [J]. IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences, 2020. DOI: 10.1109/TRPMS.2018.2883789
- [14] LIAO X, SU Y, LIU D, et al. Application of atmospheric cold plasma-activated water (PAW) ice for preservation of shrimps (*Metapenaeus ensis*) [J]. Food Control, 2018, 94: 307–314.
- [15] 王凤婷, 靳盼盼, 刘芳, 等. 乳酸对粪肠球菌的抑菌作用及作用机制 [J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 200–206.

- WANG FT, JIN PP, LIU F, *et al.* The antibacterial effect and mechanism of lactic acid on *Enterococcus faecalis* [J]. *Jiangsu Agricultural Journal*, 2018, 34(1): 200–206.
- [16] 乔支红, 程永强, 鲁战会. 乳酸对三种食源性致病菌的抑菌及杀菌作用[J]. *食品科技*, 2008, 10: 187–191.
- QIAO ZH, CHENG YQ, LU ZH. The antibacterial and bactericidal effects of lactic acid on three foodborne pathogens [J]. *Food Science and Technology*, 2008, 10: 187–191.
- [17] ZOU J, LIU X, WANG X, *et al.* Influence of gelatin-chitosan-glycerol edible coating incorporated with chlorogenic acid, gallic acid, and resveratrol on the preservation of fresh beef [J]. *Foods*, 2022, 11(23): 3813.
- [18] 苟媛媛, 艾明艳, 卢素芳, 等. 次氯酸钠水对冷鲜鳊鱼片品质的影响[J]. *食品科技*, 2024, 49(4): 163–168.
- GOU YE, AI MY, LU SF, *et al.* Effect of sodium hypochlorite water on quality of chilled mandarin fish slices [J]. *Food Science and Technology*, 2024, 49(4): 163–168.
- [19] 张子一. “臭鲈鱼”发酵过程中肌肉品质的变化规律研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- ZHANG ZY. Research of the change regularity of muscle quality during fermentation of stink bass [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021.
- [20] 夏南, 刘晓媛, 向晨曦, 等. 温度和包装方式对茶香鳊鱼片储藏品质的影响及其货架期预测[J]. *中国调味品*, 2024, 49(10): 133–139.
- XIA N, LIU XY, XIANG CX, *et al.* Effect of temperature and packaging methods on storage quality of tea flavored bighead carp fillets and prediction of their shelf life [J]. *China Condiment*, 2024, 49(10): 133–139.
- [21] QIAN J, ZHUANG H, NASIRU MM, *et al.* Action of plasma-activated lactic acid on the inactivation of inoculated *Salmonella enteritidis* and quality of beef [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 57: 102196.
- [22] 苑闪闪. 冷鲜鳊鱼的腐败规律及减菌技术研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023.
- YUAN SS. Study on the spoilage rule and sterilization technology of chilled *Siniperca chuatsi* [D]. Alar: Tarim University, 2023.
- [23] 钱韻芳, 林婷. 水产品中微生物相互作用机制研究进展[J]. *生物加工过程*, 2020, 18(2): 150–157.
- QIAN YF, LIN T. Advances in microbial community interactions in aquatic products [J]. *Chinese Journal of Bioprocess Engineering*, 2020, 18(2): 150–157.
- [24] 郑文雄, 杨榕琳, 水珊珊. 热加工对3种带鱼肌球蛋白功能特性的影响[J]. *食品科学*, 2024, 45(7): 211–217.
- ZHENG WX, YANG RL, SHUI SS. Effect of heat processing on the functional properties of myosin in three kinds of hairtail [J]. *Food Science*, 2024, 45(7): 211–217.
- [25] 陶迎梅. 蛋白质氧化修饰介导冷藏滩羊肉品质变化的机理研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
- TAO YM. The mechanism of protein oxidation mediated quality changes in lamb of Tan sheep during refrigerated storage [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021.
- [26] 慕思雨, 高旭升, 孟宇行. 非淀粉多糖提高高分支麦芽糊精黏弹特性的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(12): 250–257.
- MU SY, GAO XS, MENG YH, *et al.* Enhancement of viscoelastic properties of high-branched maltodextrin by non-starchy polysaccharides [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(12): 250–257.
- [27] 李学鹏. 中国对虾冷藏过程中品质评价及新鲜度指示蛋白研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- LI XP. Study on quality evaluation and freshness index protein of Chinese shrimp during refrigeration [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011.
- [28] 刘彩华, 邱恒恒, 朱新荣, 等. 冷藏温度对白斑狗鱼肌肉质构特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 137–143.
- LIU CH, QIU HH, ZHU XR, *et al.* Effect of different refrigeration temperature on textural properties of *Esox lucius* muscle [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(12): 137–143.
- [29] 徐文雅, 马倩云, 王佳荣. 南美白对虾热风干制过程蛋白质与品质变化关系分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(15): 40–48.
- XU WY, MA QY, WANG JR, *et al.* Study on the relationship between protein and quality changes during hot air drying of shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. *Food Science*, 2023, 44(15): 40–48.
- [30] 徐玲峰. 冷等离子体对采后蓝莓花青素累积与贮藏品质的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2024.
- XU LF. Effect of cold plasma on anthocyanin accumulation and storage quality of postharvest blueberry [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2024.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)