

# 高压静电场联合食盐腌制对鮰鱼冷藏品质的影响

高天麒<sup>1,2</sup>, 夏雨婷<sup>1,2</sup>, 吴伟伦<sup>1,2</sup>, 王江添琦<sup>2</sup>, 汪超<sup>1</sup>, 汪兰<sup>2</sup>, 石柳<sup>2</sup>, 熊光权<sup>2</sup>

(1.湖北工业大学 生物工程与食品学院, 武汉 430068; 2.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 武汉 430064)

**摘要:** **目的** 对比高压静电场 (High voltage electrostatic field, HVEF)、食盐处理, 以及食盐与 HVEF 联合处理对鮰鱼冷藏 (4 °C) 品质的影响, 以期对鮰鱼片保鲜提供新方法。**方法** 将鱼肉样品分别进行腌制处理 (盐处理组)、HVEF 处理 (电处理组) 和联合处理 (盐+电处理组), 以未进行任何处理的鱼肉为对照组, 研究不同处理方式对鮰鱼冷藏过程中菌落总数、pH 值、白度、微观结构、剪切力、离心失水率、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA) 值及总挥发性盐基氮 (Total volatile basic nitrogen, TVB-N) 值的影响。**结果** 随着冷藏时间的延长, 鮰鱼肉的菌落总数、离心失水率、TBA 值、TVB-N 值整体呈上升趋势。在贮藏第 7 天时对照组样品已腐败, 其菌落总数达到 7.3 lg(CFU/g), 超过最高安全限度, 最高安全限度为 7 lg(CFU/g), 而处理组样品的菌落总数均小于 5.5 lg(CFU/g)。与贮藏第 7 天时的盐处理组相比, 高压静电场处理组样品的剪切力、白度、TBA 值、TVB-N 值相对较高。在贮藏第 7 天时, 联合处理组样品的菌落总数、离心失水率、TBA 值、TVB-N 值均低于其他处理组, 并显示出较紧密的肌纤维结构, 品质更好。**结论** HVEF 处理联合食盐腌制能有效延缓斑点叉尾鮰在冷藏期间的品质劣变进程, 为 HVEF 在保持预调理淡水鱼品质中的应用提供了理论基础。

**关键词:** 斑点叉尾鮰; 高压静电场; 食盐腌制; 冷藏; 品质特性

**中图分类号:** TS254.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)07-0138-11

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.07.016

## Effect of High Voltage Electrostatic Field Combined with Salt Treatment on Cold Storage Quality of Channel Catfish

GAO Tian-qi<sup>1,2</sup>, XIA Yu-ting<sup>1,2</sup>, WU Wei-lun<sup>1,2</sup>, WANG Jiang-tian-qi<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>,  
WANG Lan<sup>2</sup>, SHI Liu<sup>2</sup>, XIONG Guang-quan<sup>2</sup>

(1. College of Bioengineering and Food Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2. Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China, Institute for Products Processing and Nuclear-Agriculture Technology, Wuhan 430064, China)

**ABSTRACT:** The work aims to compare the effects of high voltage electrostatic field, the salt treatment and the combined treatment of salt and HVEF on the cold storage (4 °C) quality of channel catfish in order to provide a new method for the preservation of channel catfish fillets. Fish samples were treated with salt (salt treatment group), HVEF (electric treatment group) and the combined method (salt + electric treatment group). With the fish samples not treated as the con-

收稿日期: 2022-09-16

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-46); 湖北省青年拔尖人才培养计划; 湖北省农业科技创新中心重大科技研发专项 (2020-620-000-002-03); 湖北省自然科学基金杰青项目 (2022CFA095)

作者简介: 高天麒 (1997—), 男, 硕士生, 主攻水产品加工。

通信作者: 熊光权 (1965—), 男, 研究员, 主要研究方向为水产品保鲜与加工。

trol group, the effects of different treatments on the total bacterial count, pH value, whiteness, microstructure, shear force, centrifugal water loss rate, thiobarbituric acid (TBA) and total volatile base nitrogen (TVB-N) were studied. The total bacterial count, centrifugal water loss rate, TBA value and TVB-N value of channel catfish increased with the extension of cold storage time. On the 7<sup>th</sup> day of storage, the control group samples were rotten, and the total bacterial count reached 7.3 lg(CFU/g), which exceeded the maximum safety limit (7 lg(CFU/g)), while the total bacterial count of each treated group was less than 5.5 lg(CFU/g). Compared with the salt treatment group on the 7<sup>th</sup> day, the electric treatment group showed relatively high shear force, whiteness, TBA value and TVB-N value. On the 7<sup>th</sup> day, the total bacterial count, centrifugal water loss rate, TBA value and TVB-N value of the combined treatment group were lower than those of other treatment groups, and the samples in the combined treatment group showed tighter muscle fiber structure and better quality. In summary, HVEF combined with salt can effectively alleviate the quality deterioration of channel catfish during cold storage, which provides a theoretical basis for the application of HVEF in maintaining the quality of preconditioned freshwater fish.

**KEY WORDS:** channel catfish; high voltage electrostatic field; salt treatment; cold storage; quality characteristics

斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 又称美洲鲇、沟鲇, 原产于北美洲, 是一种淡水经济鱼类。鲢鱼主要以鲜销、加工鱼片为主<sup>[1-2]</sup>。由于鲢鱼的水分含量较高、蛋白质较丰富<sup>[3-4]</sup>, 在冷藏过程中极易受到微生物的侵染, 从而导致其品质劣变<sup>[5]</sup>。为了延长鲢鱼的贮藏期, 改良现有的保鲜技术成为肉品科学领域的一大热点。

腌制是鱼肉保鲜常用的方法之一。在腌制过程中, 食盐渗透进入鱼体内, 其组织细胞的渗透压升高, 水分活度降低, 从而有效地抑制了鱼肉中微生物的生长及酶类的活性, 延长了鱼肉的保鲜期<sup>[6-7]</sup>。近年来, 关于食盐浓度对鱼肉品质影响的研究较多。陈小雷等<sup>[8]</sup>研究发现, 鲢鱼在不同加盐量(盐分别占鱼肉质量的3%、5%、7%、9%)下腌制时, 随着加盐量的提高, 鱼肉中的氨基态氮和含盐量不断增加, 含水量不断降低, 并确定含盐量为5%时鱼肉的品质最佳。也有学者发现, 高浓度(>6%)食盐腌制可能会影响鱼的品质, 如增加鱼肉的硬度、产生亚硝酸盐等<sup>[9]</sup>。吴燕燕等<sup>[10]</sup>研究发现, 大黄鱼在重度腌制(含盐量≥9%)时, 鱼肉的pH值显著降低, 硬度和咀嚼性显著增加。由此可见, 应选择适当的食盐腌制浓度, 在不破坏鱼肉品质的同时, 延长鲢鱼的贮藏期。

高压静电场(High voltage electrostatic field, HVEF, >2.5 kV)作为一种新兴的非热食品保鲜技术<sup>[11-13]</sup>, 主要用于肉品的解冻、冷冻<sup>[14-15]</sup>、保鲜<sup>[16-17]</sup>等方面。HVEF的保鲜机理主要表现在改变食品中生物酶的活力, 以及抑制微生物的生长和繁殖, 进而达到保鲜效果<sup>[18]</sup>。Ko等<sup>[19]</sup>研究发现, HVEF处理可以保持罗非鱼肉中肌动球蛋白Ca<sup>2+</sup>-ATPase的活性, 延长鱼肉的贮存期。Bai等<sup>[20]</sup>研究发现, HVEF处理能显著抑制马鲛鱼鱼肉中微生物的生长, 延长其贮藏期。然而, HVEF在鱼类腌制中的应用鲜有报道。

文中实验以斑点叉尾鲷为研究对象, 通过比较不同贮藏方式下斑点叉尾鲷的菌落总数、白度、pH值、

组织结构、保水性、剪切力、硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)含量、挥发性盐基氮(Total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量的变化, 研究冷藏期间HVEF联合食盐腌制处理鲢鱼片的品质变化规律, 旨在为HVEF处理预调理鱼肉提供技术支持。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料: 鲜活斑点叉尾鲷, 每尾的质量为(3±0.2) kg, 购于湖北省武汉市白沙洲水产品批发市场。主要试剂: 无水乙醇、乙醇(体积分数为95%)、氧化镁、甲基红、次甲基蓝、溴甲酚绿、硼酸、无水碳酸钠、盐酸、液体石蜡、醋酸、硫代巴比妥酸、氯化钠, 国药集团化学试剂有限公司; PCA平板计数琼脂培养基, 广东环凯微生物科技有限公司。以上药品均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: DL-CJ-2NDII洁净工作台, 北京科誉兴业科技发展有限公司; LRH-250生化培养箱, 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司; DH-9070电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; 722N可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; FG2刺入式pH计, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; YYW-2应变控制式无侧限压力仪, 南京土壤仪器厂有限公司; 实验室自制高压静电场装置; TA.XT2i/50质构仪, 英国Stable Micro Systems公司; CR-400色彩色差仪, 美能达(中国)投资有限公司; K9860全自动凯氏定氮仪, 山东海能科学仪器有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 样品前处理

将鲜活斑点叉尾鲷敲晕、宰杀、去头、去尾、去

内脏、去皮后,用去离子水洗净鲶鱼肉,取鲶鱼背部肌肉切块,切成尺寸约为2 cm×4 cm×4 cm、质量为(30±2) g的鱼片,置于冰箱(4℃)中备用。

### 1.3.2 食盐浓度条件优化

原料预处理:将鱼肉切成尺寸2 cm×3 cm×3 cm、质量约20 g的鱼片。准备平行处理样品3份。

腌渍:采用湿腌法,分别将鱼片放入食盐水中(食盐占鱼肉实际质量的0%、2%、4%、6%、8%)中,在室温(20℃)下湿腌30 min,料液比(m/V)为1:4。准备平行处理样品3份。

漂洗:使用自来水冲洗2 min,洗去表面多余的腌渍料,并沥干,置于冰箱(4℃)中备用。准备平行处理样品3份。

### 1.3.3 HVEF 处理条件

实验室所用高压静电场装置由实验室自主研发装配(如图1所示),将腌制好的鱼肉放在圆形水分仪称量盘(铝箔,半径90 mm,高8 mm)上,置于放电板正下方。HVEF处理条件由实验室前期试验确定<sup>[21]</sup>:放电板间距为7 cm,固定电场强度为30 kV<sup>[22-24]</sup>,放电时间为20 min。在4℃环境下完成放电。将处理好的鱼肉置于4℃环境中贮藏7 d,在贮藏0、1、3、5、7 d时测定各组指标。

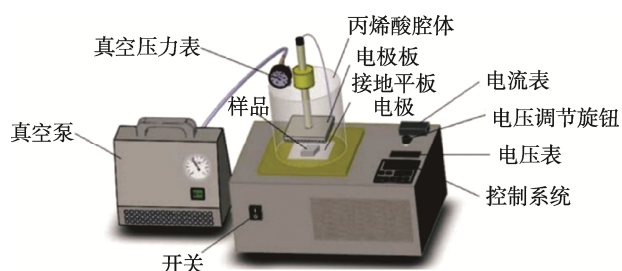


图1 高压静电场实验装置<sup>[21]</sup>  
Fig.1 HVEF experimental device<sup>[21]</sup>

### 1.3.4 腌制处理条件

感官评定参考曹琳等<sup>[25]</sup>的方法,并稍作改动。由10名经过训练的感官评测员采用10分制评分法分别对鲶鱼片的气味、质地、滋味、色泽4项指标进行感官评定,各部分所占比重一样,计算平均分,确定

最佳的食盐用量。参照GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》中的直接沉淀滴定法测定鱼肉中食盐的含量。

### 1.3.5 食盐含量的测定

采用GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》中腌制品的直接滴定法测定食盐的含量。

### 1.3.6 菌落总数的测定

参照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》<sup>[26]</sup>中的方法测定样品的菌落总数。

### 1.3.7 pH值的测定

不同方式处理后的鲶鱼片在经过一段时间贮藏后,将刺入式pH计探头插入鱼肉中,测定鲶鱼的pH值。

### 1.3.8 白度的测定

鲶鱼片经过不同处理后,取3块一定尺寸(约2 cm×2 cm×2 cm)的鱼背脊肉,用全自动日本食品色差计CR-400测定鲶鱼肉块的颜色。测量完成后记录 $L^*$ (明亮度)、 $a^*$ (红绿偏差)和 $b^*$ (黄蓝偏差),并做10个平行实验。白度的计算如式(1)所示。

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

### 1.3.9 组织切片观察

用刀片将鱼切成尺寸为3 mm×3 mm×6 mm的鱼片。用甲醛固定切片48 h后,用流水冲洗12 h,并用不同浓度梯度的乙醇溶液进行脱水,在二甲苯中澄清透明后,然后将肌肉浸蜡包埋切片,二甲苯梯度乙醇脱蜡,水洗后用苏木素-伊红(H&E)染色,用中性塑胶封片,并在显微镜下进行观察、拍照。

### 1.3.10 剪切力的测定

将尺寸为1 cm×2 cm×2 cm的鱼片置于质构仪MORS BLADE探头下做剪切力分析。测试条件:测前速度为5 mm/s,测试速度为1 mm/s,测后速度为5 mm/s,测试距离为25 mm,触发力为20 N,触发类型为Auto。

表1 鲶鱼感官评分标准  
Tab.1 Sensory evaluation standard of channel catfish

| 项目 | 1~3分           | 4~6分              | 7~10分          |
|----|----------------|-------------------|----------------|
| 气味 | 鱼香味不明显,鱼腥味较浓   | 鱼香较弱,稍有鱼腥味        | 鱼香浓郁,有鱼固有的鲜香味  |
| 质地 | 质地不均匀,鱼肉粗糙     | 质地较均匀,形态较完整,鱼肉稍粗糙 | 质地均匀,形态完整,鱼肉较嫩 |
| 滋味 | 无明显的鱼鲜味,过咸或者过淡 | 鱼鲜味稍淡,稍咸或者稍淡      | 正常的鱼鲜味,咸淡适宜    |
| 色泽 | 色泽暗淡不均         | 色泽较暗淡,鱼肉偏黄        | 色泽光亮,鱼肉嫩白      |

1.3.11 离心失水率的测定

参照任丽琨等<sup>[27]</sup>的方法并加以改动,先将鱼肉切成质量 5 g 左右的块,记质量为  $m$ ;再用纱布包裹,记质量为  $m_1$ ;然后用滤纸包裹,放入 50 mL 离心管中。离心条件:在 3 000 r/min 下离心 10 min;离心温度为 20 ℃。离心后取下滤纸,记质量为  $m_2$ ,按式(2)计算离心失水率(%)。

$$\text{离心失水率}=\frac{m_1-m_2}{m}\times100\%$$

(2)

1.3.12 TBA 值的测定

参考 Salih 等<sup>[28]</sup>的方法测定样品的 TBA 值。

1.3.13 TVB-N 值的测定

参考 GB 5009.228—2016 中的半微量定氮法<sup>[29]</sup>测定鱼片的 TVB-N 值。

1.4 数据处理

所有实验均重复 3 次,所得数据均采用 Microsoft Excel 2019、IBM SPSS、Graph Pad Prism 8 软件进行统计处理及绘图。

2 结果与分析

2.1 鲮鱼片食盐浓度条件筛选

采用感官评定方法确定不同食盐浓度对腌制鲮鱼片的色泽、气味、滋味和质地等的影响,能够直接反应食品的品质,是决定消费者购买力的综合指标<sup>[21]</sup>。其中,采用不同浓度盐溶液(0%~8%)腌制鱼肉后,鱼肉的含盐量分别为 0.1%、0.5%、0.6%、0.8%、1.0%。由表 2 可知,当含盐量为 0%~4% 时,随着食盐含量的增加,鱼片的气味、质地、滋味及色泽评分均呈增大的趋势;当含盐量为 4%~8% 时,随着加盐量的提高,鱼片的感官评分均下降。结合感官评价和鱼肉含盐量综合考虑,当含盐量为 4% 时鱼肉的平均分最高(6.68 分),品质最佳。这可能是因为适宜浓度的食盐不仅能减少苦味、鱼腥味,还可以增加一些鱼肉特有的风味<sup>[30]</sup>。

2.2 在冷藏期间鲮鱼菌落总数的变化

鱼肉腐败变质的主要原因是微生物的大量繁殖<sup>[31]</sup>。

如图 2 所示,在冷藏期间各组肉样的菌落总数均呈持续增长趋势。在贮藏前 3 天,盐+电处理组样品的菌落总数增长缓慢。在贮藏第 7 天时,盐处理组、电处理组和盐+电处理组样品的菌落总数均显著低于( $P<0.05$ )对照组的 7.37 lg(CFU/g)。此时,对照组样品的菌落总数已超过国际微生物规格委员会规定的食品微生物最高安全限值 7 lg(CFU/g)<sup>[32]</sup>,表明鱼肉已不可食用,并且除盐+电处理组外,各组菌落总数值均已超过 5 lg(CFU/g),表明肉已经开始腐败,不符合动物性水产制品国标规定<sup>[33]</sup>。Gallart 等<sup>[34]</sup>研究表明,含盐量为 4% 时能显著抑制微生物的生长。陈建荣<sup>[35]</sup>在高压静电场对鱼的保鲜研究中指出,高压静电场能有效减缓鱼肉中微生物的生长,延长鱼肉的货架期。这与笔者的研究结果一致。在贮藏终点,高压静电场与食盐腌制联合作用的抑菌效果明显优于单独的高压静电场或食盐处理( $P<0.05$ )。这可能是因 HVEF 通过改变细胞膜的电势,扰乱了细胞的正常代谢,从而促进了食盐的腌制效果,起到了更好的抑菌作用<sup>[36]</sup>。结果表明,HVEF 联合食盐腌制有一定的协同作用。

2.3 鲮鱼冷藏期间 pH 值的变化

pH 值可作为判断鱼肉新鲜度的指标之一。如图 3 所示,随着贮藏时间的延长,不同处理组的 pH 值均呈先下降后上升趋势,前期下降是因为鱼死后体内糖原经无氧糖酵解后产生乳酸,以及 ATP 分解产生磷酸等酸类物质。后期由于微生物的作用导致鱼肉腐败,蛋白质分解成含氮物质,导致样品的 pH 值上升<sup>[37]</sup>。在贮藏 0~3 d 期间,各组样品的 pH 值都不同程度地下降,其中盐处理组样品的下降幅度最大。这可能因为食盐导致鱼肉中的蛋白质降解,产生的游离氨基酸及多肽降低了鱼肉的 pH 值<sup>[11]</sup>。从贮藏第 3 天开始,盐+电处理组样品 pH 值的上升幅度相对于单一处理组样品更小,可解释为高压静电场联合盐处理对鱼肉保鲜具有协同作用。在贮藏第 7 天时,盐+电处理组样品的 pH 值显著低于其他 3 个组( $P<0.05$ )。张进伟等<sup>[38]</sup>研究发现,与未加工的鱼肉相比,腌制后卵形鲳鲹的 pH 值显著降低。有研究表明<sup>[37]</sup>,高压静电场与食盐联合处理能够显著减少鲮鱼中胺类物质的

表 2 不同盐浓度鲮鱼感官评定结果  
Tab.2 Sensory evaluation results of channel catfish treated by different concentrations of salt

| 指标  | 0%                     | 2%                      | 4%                     | 6%                      | 8%                     |
|-----|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 气味  | 6.05±0.15 <sup>a</sup> | 6.33±0.29 <sup>b</sup>  | 6.67±0.30 <sup>b</sup> | 6.50±0.01 <sup>bc</sup> | 6.17±0.29 <sup>b</sup> |
| 质地  | 5.85±0.29 <sup>a</sup> | 5.80±0.26 <sup>a</sup>  | 6.50±0.53 <sup>a</sup> | 6.17±0.20 <sup>a</sup>  | 5.83±0.02 <sup>a</sup> |
| 滋味  | 5.16±0.30 <sup>a</sup> | 5.72±0.22 <sup>ab</sup> | 7.20±0.28 <sup>c</sup> | 6.83±0.28 <sup>c</sup>  | 6.00±0.54 <sup>b</sup> |
| 色泽  | 6.10±0.01 <sup>a</sup> | 6.22±0.33 <sup>a</sup>  | 6.34±0.30 <sup>a</sup> | 6.30±0.02 <sup>a</sup>  | 6.00±0.61 <sup>a</sup> |
| 平均分 | 5.79±0.15 <sup>a</sup> | 6.01±0.26 <sup>ab</sup> | 6.68±0.30 <sup>c</sup> | 6.45±0.12 <sup>c</sup>  | 6.00±0.3 <sup>ab</sup> |

注:同行中不同小写字母代表不同处理组存在显著差异( $P<0.05$ )。

生成,从而有效保持鱼肉的品质。由于不同淡水鱼的pH值存在较大差异,因此需要结合其他指标共同评价鲶鱼的新鲜度。

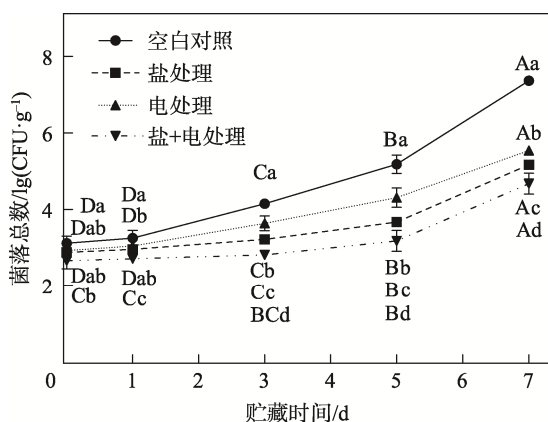


图2 鲶鱼贮藏过程中菌落总数的变化

Fig.2 Changes in total bacterial count of channel catfish during storage

注:在同一贮藏时间不同处理组之间,不同小写字母代表存在显著差异( $P<0.05$ );在同一处理组,不同贮藏时间,不同大写字母代表存在显著差异( $P<0.05$ )。下同。

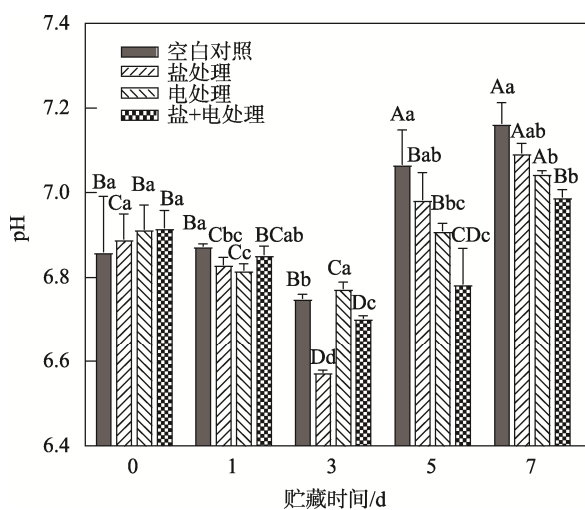


图3 鲶鱼贮藏过程中pH值的变化

Fig.3 Changes in pH value of channel catfish during storage

## 2.4 鲶鱼冷藏期间白度的变化

鱼肉的色泽能够直观地反映其新鲜程度,从而影响着消费者的购买欲<sup>[39]</sup>。如图4所示,随着贮藏期的延长,空白组和盐处理组鱼肉的白度值呈先上升后下降的趋势;盐+电处理组样品在前3天其白度值呈下降趋势,在第5天时其白度值升高。这可能是因为微生物的繁殖及蛋白质的分解,降低了鱼肉的保水性,水分流出表面,增强了对光的反射<sup>[40]</sup>,这与菌落总数的结果一致。在贮藏第7天时,盐处理组和盐+电处理组样品的白度值下降。这可能是因为脂肪氧化,色素降解产生了沉淀<sup>[41]</sup>。在贮藏过程中,盐处理组样品的白度值升高。

这可能是因为腌制后鱼片暗色肉中部的分肌红蛋白在一定盐浓度作用下开环降解成胆绿素<sup>[42]</sup>。在贮藏第7天时,盐+电处理组和电处理组样品的白度值显著低于空白组的白度值( $P<0.05$ ),这与王逸鑫等<sup>[43]</sup>采用超声辅助食盐腌制不同时间(5~90 min)能延缓青鱼色泽劣变的研究结果类似。说明HVEF对维持鱼肉良好色泽有一定作用,而添加食盐腌制后会导致鱼肉的白度值显著降低( $P<0.05$ ),两者联合处理鱼肉,对鱼肉的保鲜有一定协同作用。

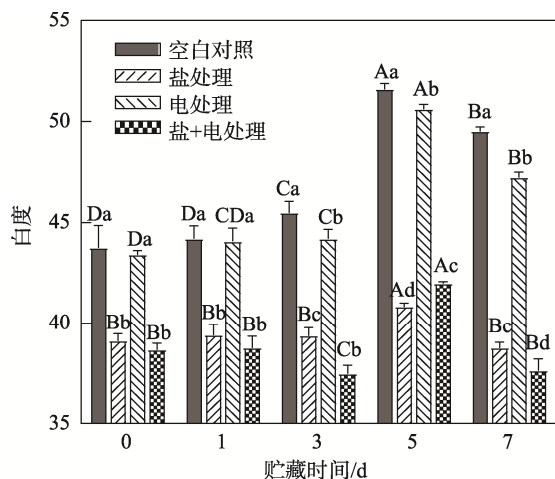


图4 鲶鱼贮藏过程中白度的变化

Fig.4 Changes in whiteness of channel catfish during storage

## 2.5 鲶鱼冷藏期间微观结构的变化

在贮藏期间,不同处理方式下鲶鱼横切面和纵切面的变化情况如图5—6所示。在贮藏初期,经过盐处理的样品细胞间隙明显大于空白组。因为鱼肉经过腌制处理后,其组织内部的渗透压发生了改变,细胞水分流失,导致细胞间隙增大,同时改变了肌球蛋白的二级结构<sup>[44]</sup>。盐+电处理组相对于盐处理组,样品的细胞间隙增加,说明HVEF促进了食盐腌制的效果,导致鱼片中的肌肉收缩。在贮藏第5天时,空白组鱼片中的肌纤维出现了不规则的多边形,且出现明显收缩现象。这主要是由于在贮藏过程中鱼肉受到微生物和酶的作用,使其肌原纤维发生膨胀、收缩、破裂<sup>[45]</sup>。经过7 d的贮藏,空白组鱼片的肌纤维内部间隙明显增大,细胞分散,并出现了空泡化现象,而盐处理组、电处理组及盐+电处理组样品的肌肉组织呈现较完整的细胞形状和更少的分离现象,纤维结构保持相对完整。在贮藏末期,盐处理组相对于盐+电处理组,样品的组织结构更加松散。这可能是因为HVEF处理影响了细胞内各种酶活性,从而维持了组织结构和状态,使联合处理组样品的组织结构较为紧密,网格结构更为有序。结果表明,盐处理、电处理和盐+电处理能有效延缓肌纤维分离及细胞破裂进程。

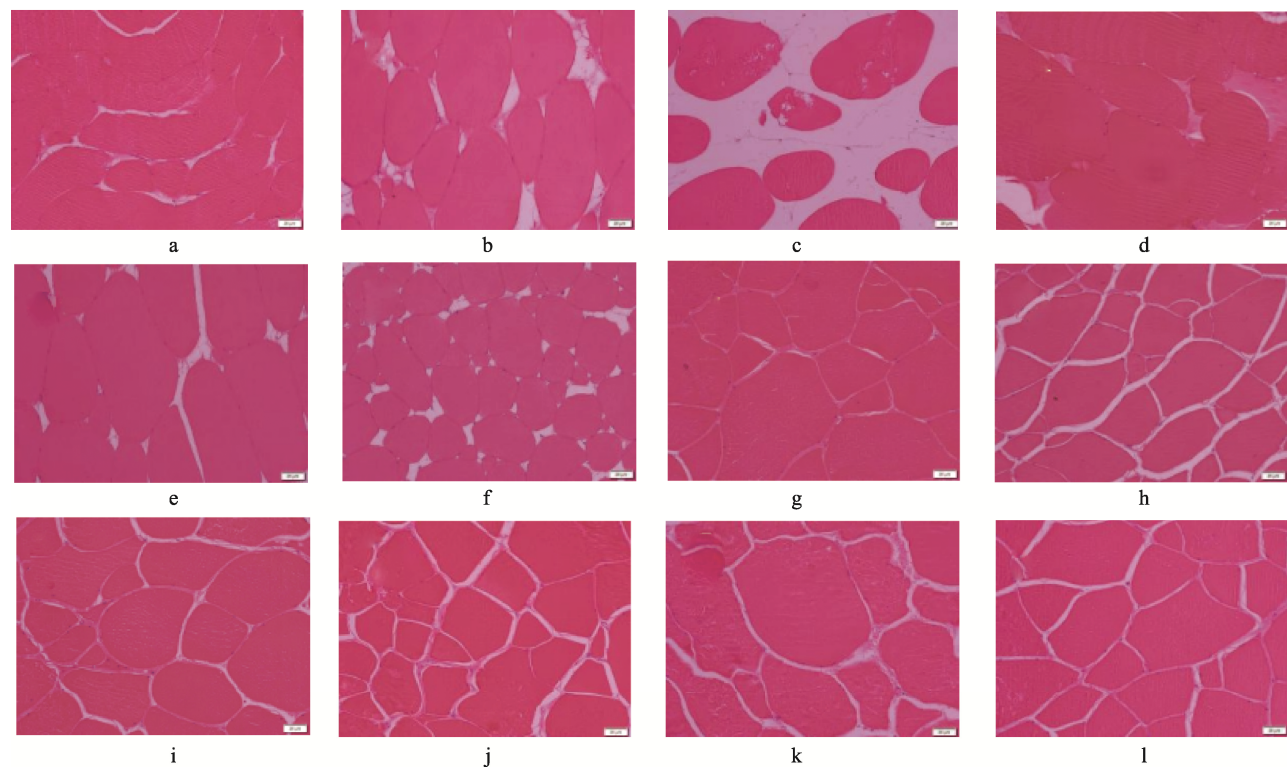


图 5 贮藏过程中鲶鱼微观结构的变化（横切）

Fig.5 Changes in microstructure of channel catfish during storage (transection)

注：a、b、c 分别为贮藏 0、3、7 d 时空白处理组的组织切片染色结果；d、e、f 为贮藏 0、3、7 d 时盐处理组的组织切片染色结果；g、h、i 为贮藏 0、3、7 d 时电处理组的组织切片染色结果；j、k、l 为贮藏 0、3、7 d 时盐+电处理组的组织切片染色结果。

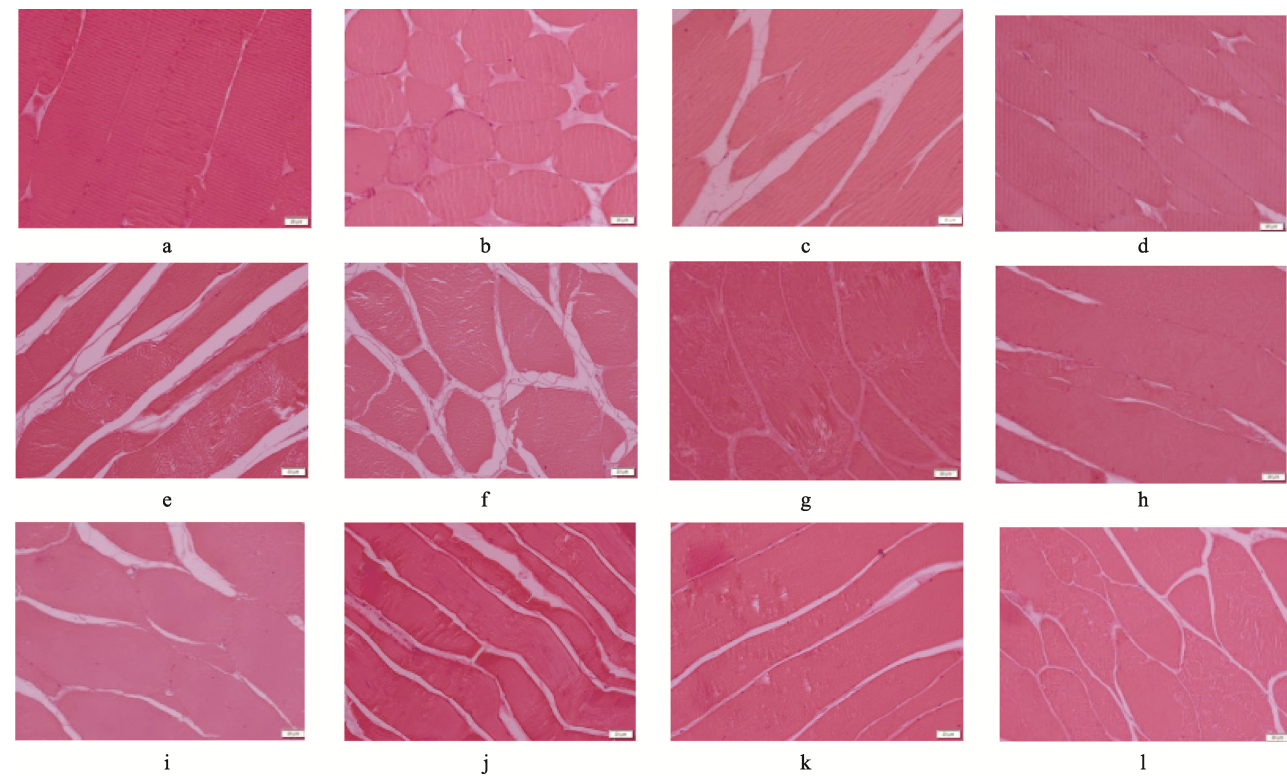


图 6 鲶鱼贮藏过程中微观结构的变化（纵切）

Fig.6 Changes in microstructure of channel catfish during storage (vertical section)

注：a、b、c 分别为贮藏 0、3、7 d 时空白处理组的组织切片染色结果；d、e、f 为贮藏 0、3、7 d 时盐处理组的组织切片染色结果；g、h、i 为贮藏 0、3、7 d 时电处理组的组织切片染色结果；j、k、l 为贮藏 0、3、7 d 时盐+电处理组的组织切片染色结果。

## 2.6 鲮鱼冷藏期间剪切力的变化

剪切力是反映鱼肉品质的重要指标之一。由图7可知,随贮藏时间的延长,鱼片的剪切力总体呈下降趋势。经过盐腌处理,鱼肉的剪切力显著低于其他处理组( $P<0.05$ )。这可能是因食盐的添加导致鱼肉中的盐溶性蛋白溶解,使得鱼肉变软<sup>[46]</sup>。在贮藏0~5 d时,剪切力的下降速度较快。这可能是因鲮鱼体内的ATP和糖原快速消耗,激活了内源组织蛋白酶,从而水解蛋白组分,增大了细胞间隙,导致细胞结构不规则。在贮藏第7天时,盐处理组和盐+电处理组样品的剪切力分别为37.37 N和40.12 N,显著低于电处理组(63.93 N)和空白处理组(53.82 N)的剪切力( $P<0.05$ ),可见腌制过程改变了鱼肉的嫩度。电处理组相对于其他组,其样品仍保持着较好的弹性。结果表明,腌制处理会使鲮鱼的剪切力下降,而HVEF处理能减缓鱼体的自溶过程,有效维持鱼肉的弹性。

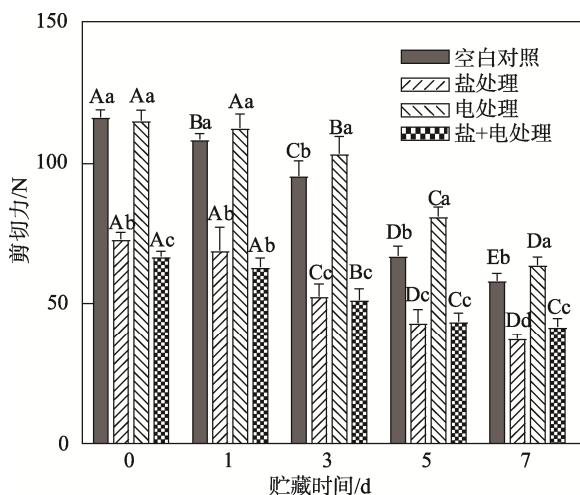


图7 鲮鱼贮藏过程中剪切力的变化  
Fig.7 Changes in shear force of channel catfish during storage

## 2.7 冷藏期间鲮鱼离心失水率的变化

鱼片中的肌肉受到外力作用时能够保持原有水分的能力被称为保水力,鱼肉蛋白中存在一种三维网状结构,水分子镶嵌其中<sup>[47]</sup>。当鱼肉出现腐败变质时,其蛋白质中的三维结构被破坏,水分流失,鱼肉的保水力下降。离心失水率是反映肉的保水性指标之一。各组样品的离心失水率变化情况如图8所示,随着贮藏期的延长,离心失水率呈升高的趋势。其中,空白组样品的离心失水率由8.77%(0 d)增至18.98%(7 d)。这是因为肌肉蛋白质的变性,促进了肌动蛋白、肌球蛋白的结合,导致肌原纤维收缩,使储存水分的网格空间结构变小。经过盐腌制处理后,鱼肉的持水性上升。这是因为湿腌过程中产生的驱动力,较低的腌制液体浓度可以提升鱼体的持水力<sup>[48]</sup>。在贮藏末期,鱼

肉经HVEF处理后,其离心失水率相对于空白组显著降低( $P<0.05$ )。这是因高压静电改变了食品中水的存在状态,部分自由水在食品表面形成了保护层,从而防止了水分子的流失<sup>[36]</sup>。结果表明,HVEF处理能增强鲮鱼的保水性,延缓其品质劣变进程。

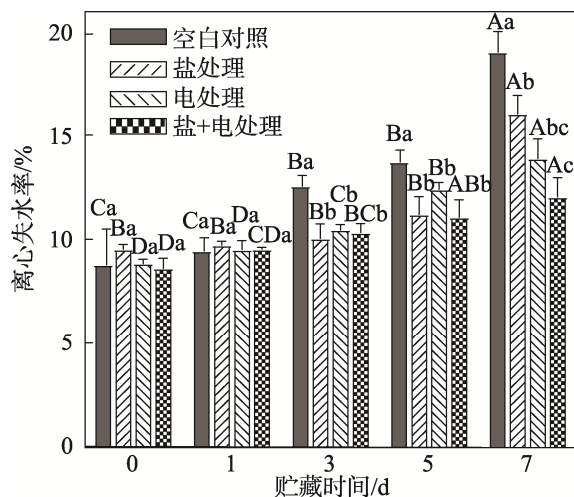


图8 鲮鱼贮藏过程中离心失水率的变化  
Fig.8 Changes in centrifugal water loss rate of channel catfish during storage

## 2.8 冷藏期间鲮鱼TBA值的变化

TBA值可反映脂肪氧化的程度,也能反映鱼肉的新鲜程度。由图9可知,鱼肉的TBA值在贮藏过程中呈上升趋势,其中空白组样品的TBA值增长速率最快。这可能是因为鲮鱼的脂肪含量较高,经过一系列氧化和水解反应后,生成了酮类和醛类物质<sup>[49]</sup>,并伴随有哈喇子味。从贮藏第1天开始,处理组样品的TBA值都显著低于空白组( $P<0.05$ ),说明食盐腌制和HVEF都能延缓脂肪氧化进程。邢云霞等<sup>[50]</sup>研究发现,采用适量浓度食盐处理能够降低草鱼的TBA值。在贮藏末期,鱼肉的TBA值依次为空白组>盐处理组>电处理组>盐+电处理组,可见HVEF联合食盐处理组鱼肉的脂肪氧化程度最低,但HVEF处理对脂质氧化的影响仍存在争议。也有研究表明,HVEF处理会加速脂质氧化<sup>[51]</sup>,这可能与更长的处理时间和较高的材料脂质含量有关。

## 2.9 冷藏期间鲮鱼TVB-N值的变化

总挥发性盐基氮(TVB-N)值可用于评价鱼肉的新鲜度。在鱼肉贮藏过程中,TVB-N的产生主要是因酶和微生物的作用,导致蛋白质分解为具有挥发性的碱性物质(如氨、胺类等)<sup>[52]</sup>。如图10所示,随着贮藏时间的延长,各组样品的TVB-N值均呈上升趋势。在贮藏第3天,盐+电处理组样品的TVB-N值显著小于其他组( $P<0.05$ ),该组样品属于一级鲜度( $\leq 13 \text{ mg}/100 \text{ g}$ )<sup>[53]</sup>;空白组鱼肉在贮藏3 d时该

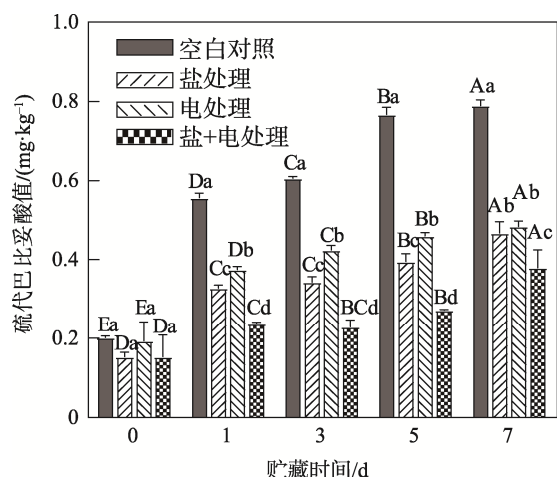


图 9 鲮鱼贮藏过程中 TBA 的变化

Fig.9 Changes in TBA of channel catfish during storage

值已超过一级鲜度指标。在贮藏第 7 天, 除盐+电处理组外, 其他组样品的 TVB-N 值均已超过二级鲜度指标 ( $\leq 20$  mg/100 g), 电处理组样品的 TVB-N 值显著高于盐处理组 ( $P<0.05$ )。说明在贮藏后期盐处理对微生物生长的抑制作用优于电处理。这表明一定浓度的食盐和 HVEF 处理能够抑制微生物的生长及内源酶的分泌, 从而抑制蛋白质的降解<sup>[54]</sup>, 减缓鱼肉中蛋白及非蛋白类物质的一系列复杂化学分解反应<sup>[55]</sup>。陈实等<sup>[56]</sup>研究表明, 采用高浓度的食盐腌制可以抑制微生物在整个贮藏过程中产生挥发性含氮物质的能力, 采用含盐量为 13% 的方法腌制青鱼能降低其 TVB-N 值。从贮藏末期的结果可以看出, 各种处理对鱼肉的腐败都有一定的抑制效果, 其中盐+电处理的效果最为明显, 说明 HVEF 联合食盐腌制能进一步延缓鲮鱼的腐败进程。

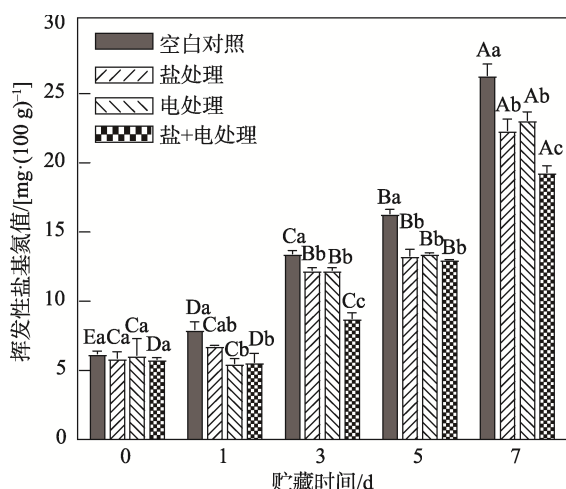


图 10 鲮鱼在贮藏过程中 TVB-N 值的变化

Fig.10 Changes in TVB-N of channel catfish during storage

### 3 结语

盐腌结合 HVEF 处理能在一定程度上延缓鱼肉品质的劣变, 抑制微生物的生长, 有效保证鲮鱼片在冷藏过程中的品质。通过感官实验可知, 与其他添加量相比, 添加 4% 的食盐湿腌能保证鲮鱼肉的品质最佳。固定 HVEF 处理条件为放电板隔距 7 cm、电场强度 30 kV。在 4 °C 下冷藏, 经盐腌和 HVEF 处理的鱼肉与对照组样品相比, 均表现出更好的嫩度, 以及更低的菌落总数、TBA 值、TVB-N 值。两者联合作用时, 鲮鱼的 TBA 值、TVB-N 值和菌落总数相对于盐处理组和电处理组都显著降低 ( $P<0.05$ )。在贮藏第 7 天, 除盐+电处理组, 其他组鱼肉的指标均已超过二级鲜度指标, 说明盐腌结合 HVEF 处理能够推迟 TVB-N 值达到限度的时间; 处理后鱼肉的剪切力相对于对照组降低, 嫩度及组织结构的稳定性得到提高, 表现出更好的色泽及更高的持水性。结果表明, 采用 HVEF 联合食盐腌制处理能延长鱼肉的货架期, 这为水产品贮藏提供了技术支持。

### 参考文献:

- [1] 姜启兴, 聂程芳, 高沛, 等. 斑点叉尾鲮鱼软罐头杀菌工艺研究[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(3): 97-102.  
JIANG Qi-xing, NIE Cheng-fang, GAO Pei, et al. Study on Sterilization Technology of Soft Canned Channel Catfish[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(3): 97-102.
- [2] MOUSA A A, RAMACHANDRAN R, OZDEMIR O, et al. Dietary Trans-Cinnamaldehyde Improves Oxidative Stress Response of Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*) Following *Edwardsiella Ictaluri* Infection[J]. Aquaculture, 2021, 532: 735985.
- [3] REFAEY M M, LI Da-peng, TIAN Xing, et al. Physiological Responses of Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*) Reared at Different Stocking Densities in a Recirculating Aquaculture System[J]. Aquaculture, 2022, 557: 738329.
- [4] 张艳凌, 许瑞红, 杨立, 等. 利用鲮鱼排开发高钙风味酱的配方研究[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 88-95.  
ZHANG Yan-ling, XU Rui-hong, YANG Li, et al. Formula of High-Calcium Flavour Sauce Using *Ictalurus Punctatus* Bone with Meat[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(6): 88-95.
- [5] 宋敏. 冻结方式和低盐腌制对鲮鱼片品质影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 1-2  
SONG Min. Effects of Freezing Methods and Lightly

- Salting on the Quality of Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*) Fillets[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 1-2.
- [6] 曾名湧. 食品保藏原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 217-222.
- ZENG Ming-yong. Principle and Technology of Food Preservation[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 217-222.
- [7] RUIZ-ALONSO S A, GIRÓN-HERNÁNDEZ L J, LÓPEZ-VARGAS J H, et al. Optimizing Salting and Smoking Conditions for the Production and Preservation of Smoked-Flavoured Tilapia Fillets[J]. LWT, 2021, 138: 110733.
- [8] 陈小雷, 胡王, 李海洋, 等. 响应面法优化封鲮鱼腌制工艺条件[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2015, 30(6): 859-867.
- CHEN Xiao-lei, HU Wang, LI Hai-yang, et al. Optimization of Salting Technology for Bream by Response Surface Method[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2015, 30(6): 859-867.
- [9] ZHANG Yue-mei, QIN Na, LUO Yong-kang, et al. Effects of Different Concentrations of Salt and Sugar on Biogenic Amines and Quality Changes of Carp (*Cyprinus Carpio*) during Chilled Storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(6): 1157-1162.
- [10] 吴燕燕, 陶文斌, 郝志明, 等. 含盐量对腌制大黄鱼鱼肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 102-109.
- WU Yan-yan, TAO Wen-bin, HAO Zhi-ming, et al. Effects of Different Salt Concentration on the Quality of Cultured Large Yellow Croaker(*Larimichthys Crocea*)[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(21): 102-109.
- [11] BARBHUIYA R I, SINGHA P, SINGH S K. A Comprehensive Review on Impact of Non-Thermal Processing on the Structural Changes of Food Components[J]. Food Research International, 2021, 149: 110647.
- [12] HUANG Y C, YANG Y H, SRIDHAR K, et al. Synergies of Modified Atmosphere Packaging and High-Voltage Electrostatic Field to Extend the Shelf-Life of Fresh-Cut Cabbage and Baby Corn[J]. LWT, 2021, 138: 110559.
- [13] 齐梦圆, 刘卿妍, 石素素, 等. 高压电场技术在食品杀菌中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 284-292.
- QI Meng-yuan, LIU Qing-yan, SHI Su-su, et al. Recent Progress in the Application of High-Voltage Electric Field Technology in Food Sterilization[J]. Food Science, 2022, 43(11): 284-292.
- [14] HE Xiang-li, JIA Guo-liang, TATSUMI E, et al. Effect of Corona Wind, Current, Electric Field and Energy Consumption on the Reduction of the Thawing Time during the High-Voltage Electrostatic-Field (HVEF) Treatment Process[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34: 135-140.
- [15] LI Da-peng, JIA Shi-liang, ZHANG Long-teng, et al. Post-Thawing Quality Changes of Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Cubes Treated by High Voltage Electrostatic Field (HVEF) during Chilled Storage[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 42: 25-32.
- [16] XANTHAKIS E, HAVET M, CHEVALLIER S, et al. Effect of Static Electric Field on Ice Crystal Size Reduction during Freezing of Pork Meat[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 115-120.
- [17] HE Xiang-li, LIU Rui, TATSUMI E, et al. Factors Affecting the Thawing Characteristics and Energy Consumption of Frozen Pork Tenderloin Meat Using High-Voltage Electrostatic Field[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 22: 110-115.
- [18] QI Meng-yuan, ZHAO Ruo-qing, LIU Qing-yan, et al. Antibacterial Activity and Mechanism of High Voltage Electrostatic Field (HVEF) Against *Staphylococcus Aureus* in Medium Plates and Food Systems[J]. Food Control, 2021, 120: 107566.
- [19] KO W C, SHI Huai-zhi, CHANG Chao-kai, et al. Effect of Adjustable Parallel High Voltage on Biochemical Indicators and Actomyosin  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase from Tilapia (*Oreochromis Niloticus*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 69: 417-423.
- [20] BAI Ya-xiang, HU Yu-cai, QU Min. Preliminary Studies on Spanish Mackerel Fresh-Keeping Method in High-Voltage Electric Field[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2015, 24(8): 732-739.
- [21] HUANG Han, SUN Wei-qing, XIONG Guang-quan, et al. Effects of HVEF Treatment on Microbial Communities and Physicochemical Properties of Catfish Fillets during Chilled Storage[J]. LWT, 2020, 131: 109667.
- [22] 李鹏, 王红提, 孙玉凤, 等. 高压静电场对不同包装冷鲜鸡肉贮藏过程中产品特性的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(11): 36-40.
- LI Peng, WANG Hong-ti, SUN Yu-feng, et al. Effects of High-Voltage Electrostatic Field Combined with Different Packaging Methods on Chicken Quality Characteristics during Cold Storage[J]. Meat Research, 2018, 32(11): 36-40.
- [23] 李侠, 钱书意, 杨方威, 等. 低压静电场下不同隔距

- 冻结-解冻对牛肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 278-285.
- LI Xia, QIAN Shu-yi, YANG Fang-wei, et al. Effects of Different Gauges under Low Voltage Electrostatic Field Assisting Thawing-Freezing on Beef Quality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(8): 278-285.
- [24] HUANG Han, XIONG Guang-quan, SHI Liu, et al. Application of HVEF treatment in bacteriostasis against *Acinetobacter radioresistens*[J]. Food Control, 124(8): 107914.
- [25] 曹琳, 曹东, 黄家秀, 等. 模糊感官评定与响应面法结合优化黄秋葵复合饮料配方[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(8): 37-41.
- CAO Lin, CAO Dong, HUANG Jia-xiu, et al. Formulation Optimization of Okra Compound Beverage by Fuzzy Sensory Evaluation Method and Response Surface Methodology[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(8): 37-41.
- [26] GB 4789.2—2016, 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. GB 4789.2-2016, National Food Safety Standard-Food Microbiological Examination — Aerobic Plate Count[S].
- [27] 任丽琨, 李婷婷, 赫彬彬, 等. 黑鱼鱼片复合保鲜剂的选择及其保鲜效果[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 210-220.
- REN Li-kun, LI Ting-ting, HE Bin-bin, et al. Selection of Compound Preservatives and Their Freshness-Keeping Effect on Snakehead[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 210-220.
- [28] SALIH A M, SMITH D M, PRICE J F, et al. Modified Extraction 2-Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Oxidation in Poultry[J]. Poultry Science, 1987, 66(9): 1483-1488.
- [29] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S]. GB 5009.228-2016, National Food Safety Standard Determination of Total Volatile Basic Nitrogen in Foods[S].
- [30] LIU Dan, QU Jia-huan, SUN Da-wen, et al. Non-Destructive Prediction of Salt Contents and Water Activity of Porcine Meat Slices by Hyperspectral Imaging in a Salting Process[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 316-323.
- [31] BLANDFORD M I, KATOULI M, GILBY B L, et al. Not all Rotten Fish Stink: Microbial Changes in Decaying Carcasses Increase Cytotoxicity and Potential Risks to Animal Scavengers[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2019, 227: 106350.
- [32] CARROLL M B, PAULSON A S. Micro-Organisms in Foods 2: Sampling for Microbiological Analysis; Principles and Specific Applications[J]. Technometrics, 1977, 19(2): 221.
- [33] GB 10136—2015, 食品安全国家标准 动物性水产品[S]. GB 10136-2015, National Food Safety Standard Aquatic Products of Animal Origin[S].
- [34] GALLART J L, BARAT J M, RUSTAD T, et al. A Comparative Study of Brine Salting of Atlantic Cod (*Gadus Morhua*) and Atlantic Salmon (*Salmo Salar*)[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(1): 261-270.
- [35] 陈建荣. 高压静电场对鱼的保鲜研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(5): 499-501.
- CHEN Jian-rong. Preliminary Studies on Fish Fresh-Keeping Effect of High Voltage Electric Field[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(5): 499-501.
- [36] 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.
- ZHAO Liang, CEN Jian-wei, LI Lai-hao, et al. Effect of High Voltage Electrostatic Field Combined with Modified Atmosphere Packaging Technology on Quality of Tilapia Fillets[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(3): 91-97.
- [37] BENJAKUL S, SUTTHIPAN N. Muscle Changes in Hard and Soft Shell Crabs during Frozen Storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(3): 723-729.
- [38] 张进伟, 胡晓, 陈胜军, 等. 腌制方式对卵形鲳鲷理化指标及其挥发性风味成分的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1066-1079.
- ZHANG Jin-wei, HU Xiao, CHEN Sheng-jun, et al. Effects of Different Curing Methods on Physicochemical Parameters and Volatile Flavor Components of *Trachinotus Ovatus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1066-1079.
- [39] WU Yi-wen, YOU Xiao-peng, SUN Wei-qing, et al. Insight into Acute Heat Stress on Meat Qualities of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) during Short-Time Transportation[J]. Aquaculture, 2021, 543: 737013.
- [40] COLSON V, FERREIRA V H B, LUCHIARI A C, et al. Loss of Light Colour Preference after Chronic Embryonic Stress in Rainbow Trout Fry: A Novel and Potential Indicator of Fish Welfare?[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2021, 239: 105335.
- [41] 刘燕, 张曼纳, 卢娜霖, 等. 不同贮藏条件下熟制裸

- 斑鱼的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 225-233.
- LIU Yan, ZHANG Man-na, LU Na-lin, et al. Quality Analysis of Cooked Naked Carp under Different Storage Conditions[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(9): 225-233.
- [42] JIA Guo-liang, SHA Kun, MENG Jin, et al. Effect of High Voltage Electrostatic Field Treatment on Thawing Characteristics and Post-Thawing Quality of Lightly Salted, Frozen Pork Tenderloin[J]. LWT, 2019, 99: 268-275.
- [43] 王逸鑫, 吴涵, 黄海源, 等. 超声波辅助腌制对青鱼腌制品品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 142-146.
- WANG Yi-xin, WU Han, HUANG Hai-yuan, et al. Effect of Ultrasonic-Assisted Pickling on the Quality of Black Carp (*Mylopharyngodon Piceus*) Pickled Products[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(22): 142-146.
- [44] 高凯日, 林琳, 陆剑锋, 等. 不同腌制处理对草鱼肉质理化性质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 21-28.
- GAO Kai-ri, LIN Lin, LU Jian-feng, et al. Effects of Different Curing Treatments on Physical and Chemical Properties of Grass Carp Meat[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 21-28.
- [45] 赵文字, 徐璐, 祁立波, 等. 鲟鱼肌肉脱脂工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 102-107.
- ZHAO Wen-yu, XU Lu, QI Li-bo, et al. Study on the Degreasing Processing Technology of Sturgeon Muscle[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 102-107.
- [46] 张芸, 章蔚, 汪兰, 等. 木糖醇部分替代食盐腌制对大口黑鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 82-86.
- ZHANG Yun, ZHANG Yu, WANG Lan, et al. Physico-chemical Changes of Prepared Weever (*Micropterus salmoides*) Using Xylitol Partly Replacing Salt during Marinated Process[J]. The Food Industry, 2020, 41(12): 82-86.
- [47] NAKAZAWA N, FUCHIYAMA Y, SHIMAMORI S, et al. Effects of Treatment at a Subzero Temperature on pH, Water Retention, and Metabolites in Spotted Mackerel (*Scomber Australasicus*) Muscle[J]. LWT, 2022, 154: 112591.
- [48] BARAT J M, RODRIGUEZ-BARONA S, ANDRES A, et al. Influence of Increasing Brine Concentration in the Cod-Salting Process[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(5): 1922-1925.
- [49] CAI qiu-xing, WU yan-yan, LI lai-hao, et al. Lipid Oxidation during Processing of Traditional Salting Fish of White Chinese Croaker(*Argyrosomus Amoyensis*)[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1073: 1844-1848.
- [50] 邢云霞, 马敏杰, 巴吐尔·阿不力克木. 食盐添加量对草鱼腌制效果的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(10): 26-31.
- XING Yun-xia, MA Min-jie, BATUER Abulikemu. Effect of Salt Addition on the Quality of Marinated Grass Carp[J]. Meat Research, 2018, 32(10): 26-31.
- [51] MOUSAKHANI-GANJEH A, HAMDAMI N, SOLTANIZADEH N. Effect of High Voltage Electrostatic Field Thawing on the Lipid Oxidation of Frozen Tuna Fish (*Thunnus Albacares*)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 42-47.
- [52] KUNG H F, LIN C S, LIU S S, et al. High Pressure Processing Extend the Shelf Life of Milkfish Flesh during Refrigerated Storage[J]. Food Control, 2022, 134: 108768.
- [53] GB 2733—2015, 食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品[S].
- GB 2733-2015, National Food Safety Standard-Fresh and Frozen Marine Products of Animal Origin[S].
- [54] 张娜. 低盐度腌腊鱼生产中几个安全指标的变化及评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 2-5
- ZHANG Na. Change on Several Safety Indicators and Evaluation during Processing of Low-Salinity Cured Fish[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010: 2-5.
- [55] 汪兰, 曾俊杰, 吴文锦, 等. 不同冻藏温度对鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 287-292.
- WANG Lan, ZENG Jun-jie, WU Wen-jin, et al. Effect of Different Frozen Storage Temperatures on Quality of Perch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 287-292.
- [56] 陈实, 柳琳, 王逸鑫, 等. 不同盐度腌制下青鱼品质变化[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(6): 1153-1163.
- CHEN Shi, LIU Lin, WANG Yi-xin, et al. Quality Change of *Mylopharyngodon Piceus* Salted at Different Brine Concentrations[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(6): 1153-1163.