



电解水预处理对冷藏大黄鱼品质变化的影响

黄莉^{1,2}, 石林凡^{1,2}, 任中阳^{1,2}, 翁武银^{1,2*}, 刘智禹³

(1. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021;

2. 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 福建 厦门 361021;

3. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361006)

摘要: 为探究电解水预处理对冷藏大黄鱼品质变化的影响, 实验利用有效氯浓度分别为 50、100 和 200 mg/L 的电解水和 1% NaCl 溶液浸泡处理新鲜大黄鱼, 考察其在 4 °C 冷藏过程中的菌落总数、挥发性盐基氮 (TVB-N) 值、ATP 关联化合物含量、pH 值、硬度、色泽、滋味和气味的变化。结果显示, 伴随冷藏时间的延长, 对照组鱼肉的菌落总数、TVB-N 值、HxR 含量、Hx 含量、K 值和 pH 值逐渐增加, 而电解水处理抑制了这些品质指标的增加, 抑制效果与有效氯浓度成正比。在同一冷藏时间下, 鱼肉的黄度 b^* 值随有效氯浓度的增加而增加。贮藏过程中, 对照组鱼肉的苦味、苦味回味和丰富性逐渐增加, 鲜味、咸味和甜味逐渐降低, 而电解水处理组鱼肉的苦味回味和咸味均高于对照组。有效氯浓度为 200 mg/L 的电解水预处理能减少鱼肉在冷藏 4~10 d 期间的挥发性气味, 但在冷藏 16 d 后反而高于对照组。研究表明, 电解水处理能有效延缓冷藏大黄鱼的品质变化, 但当电解水的有效氯浓度较高时会导致鱼肉色泽变黄和腐败后的挥发性气味增加。研究结果为电解水在大黄鱼保鲜中的应用及其有效氯浓度的选择提供了理论参考。

关键词: 大黄鱼; 电解水; 抑菌作用; 滋味; 气味

中图分类号: S 983

文献标志码: A

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 色泽金黄诱人、肉质细嫩鲜美, 深受消费者的青睐, 已成为我国重要的海水养殖鱼类^[1]。2020 年我国大黄鱼总产量为 25.40 万 t, 其中福建宁德年产量占 80.52%^[2]。由于大黄鱼捕捞出水后会立即死亡, 因此主要以冰鲜的形式进行市场流通^[3]。但冰鲜不能抑制鱼肉中微生物的生长繁殖和内源酶的活性, 产品货架期较短^[4]。有研究报道, 经 PP/LDPE 或 LDPE/LDPE 商业包装后的冷藏大黄鱼货架期通常为 4 d 左右^[5], 极大地限制了冰鲜大黄鱼的流通和销售。因此, 采取有效的措施延长冷藏大黄鱼货架期具有重要的研究意义。

电解水是 NaCl 溶液通过电解制备的氧化电位水, 具有高效、广谱的杀菌作用, 在发达国家已被认定为合格食品添加剂^[6]。近年来电解水在鱼类冷藏保鲜中的应用受到了广泛关注。Kim 等^[7]研究发现电解水冰贮藏能有效抑制秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 中好氧菌和嗜冷菌的生长, 减少鱼肉中挥发性盐基氮 (TVB-N) 和碱性化合物的形成和积累。Jung 等^[8]利用电解水冰贮藏尖吻黄盖鲷 (*Pleuronectes herzensteini*), 可以有效减少鱼肉中微生物的生长, 延长货架期 1~2 d。Chen 等^[9]研究表明, 电解水浸泡前处理能延缓 4 °C 冷藏龙头鱼 (*Harpadon nehereus*) 的品质下降。然而, 关

收稿日期: 2021-12-05 修回日期: 2022-03-31

资助项目: 国家重点研发计划 (2021YFD2100200, 2021YFD2100202); 福建省自然科学基金 (2019J02013); 福建省海洋经济发展专项 (FJHJF-L-2021-3)

第一作者: 黄莉 (照片), 从事水产品加工与贮藏研究, E-mail: 1670899402@qq.com

通信作者: 翁武银, 从事水产品加工与综合利用研究, E-mail: wwwmail@jmu.edu.cn



于电解水在大黄鱼冷藏保鲜中的应用, 尤其是电解水处理对大黄鱼在贮藏过程中的风味变化未见报道。

因此, 本研究考察了电解水浸泡处理对大黄鱼在 4 °C 贮藏过程中微生物、化学和物理指标, 以及鱼肉的滋味和气味的影响, 结果将为电解水在大黄鱼保鲜中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜大黄鱼购于福建宁德, 平均体长 (36.36±1.17) cm, 平均体质量 (616.00±27.25) g。

硼酸、高氯酸 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂, 广东环凯生物科技有限公司; ATP 及其关联物标准品 (纯度 ≥98%), 大连美伦生物技术有限公司; 磷酸氢二钾、磷酸二氢钾 (色谱纯), 上海麦克林生化科技有限公司; 甲醇 (色谱纯), 美国 TEDIA 公司。

1.2 仪器与设备

纳米催化自由基发生器, 波鹰科技 (厦门) 有限公司; FE20K pH 计, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; PC II 便携式余氯测定仪, 美国 HACH 公司; YC-300L 冷藏柜, 中科美菱低温科技有限责任公司; Waters 1525 高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; WSC-S 测色色差计, 上海精密科学仪器有限公司; PEN3.5 电子鼻, 德国 Airsense 公司; TS-5000Z 电子舌系统, 日本 Insent 公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 实验方法

电解水制备 电解水的制备参照 Zheng 等^[10]的方法, 将 1% NaCl 溶液通过纳米催化自由基发生器制备成电解水, 并用 1% NaCl 溶液将有效氯浓度调整为 50、100 和 200 mg/L, 用 2 mol/L 的盐酸溶液将电解水的 pH 值调至 6.0。电解水制备后立即使用。

样品预处理 大黄鱼经去内脏、冲洗后, 在室温下以 1:5 的质量体积比, 分别用 1% NaCl 溶液和有效氯浓度为 50、100 和 200 mg/L 的电解水浸泡 10 min, 记为 C、E₅₀、E₁₀₀ 和 E₂₀₀。样品取出沥干 5 min 后装入食品包装袋中排气密封, 置于 4 °C 冰箱冷藏 16 d。期间从各处理组随机取样, 供以下实验使用。

菌落总数测定 菌落总数测定参考 Li 等^[11]的方法。每组大黄鱼样品取 10 g 带皮的背部肌肉, 与 90 mL 无菌生理盐水混合, 利用均质器均质拍打 2 min。获得的原液用无菌生理盐水梯度稀释, 取合适浓度的稀释液与平板计数琼脂混匀, 通过平板浇注法倒入培养皿, 在 30 °C 下培养 48 h 后计数。

TVB-N 值测定 TVB-N 值采用微量扩散法进行测定^[12]。将 10 g 去皮鱼肉用 5% 三氯乙酸充分碾碎, 浸提 15 min 后过滤, 收集的滤液定容至 50 mL。取 1 mL 鱼肉浸提液置于微量扩散皿外室一侧, 另一侧加 1 mL 饱和碳酸钾溶液, 皿内室加 1 mL 1% 硼酸溶液作为吸收液, 密封后置于 37 °C 保温箱中反应 45 min。反应结束后, 用 0.01 mol/L 盐酸溶液滴定硼酸溶液。TVB-N 值按以下公式计算:

$$\text{TVB-N 值 (mg/100 g)} = \frac{(V_1 - V_2) \times C \times 14}{m \times (1/50)} \times 100$$

式中, V_1 、 V_2 为样品组和空白组滴定所用的盐酸体积, mL; C 为盐酸浓度, mol/L; m 为样品的质量, g。

ATP 关联化合物含量测定 ATP 及其相关化合物的测定参考 Yu 等^[13]的方法。5 g 绞碎的鱼肉利用 20 mL 预冷的高氯酸溶液 (5%, V/V) 冰浴研磨, 离心 (4 °C, 4 500 ×g, 10 min), 获得的上清液用 1 mol/L KOH 溶液将 pH 值调至 6.5, 过 0.22 μm 滤膜后利用高效液相色谱仪进行分析。流动相 A 为 95% 磷酸钾缓冲液 (pH 7.5), 流动相 B 为 5% 甲醇; 流速为 1 mL/min, 梯度洗脱; 检测波长为 254 nm; 柱温 30 °C。K 值:

$$K \text{ 值} (\%) = \frac{\text{HxR} + \text{Hx}}{\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}} \times 100$$

pH 值测定 样品的 pH 值采用 Hui 等^[14]的方法测定。将 10 g 鱼肉与 90 mL 煮沸后冷却的生理盐水均质, 浸渍 30 min 后过滤, 测定滤液的 pH 值。

硬度测定 参考 Lin 等^[15]所描述的方法, 用质构仪测定大黄鱼肌肉在室温下的硬度。鱼肉切成 2.0 cm × 2.0 cm × 1.5 cm, 使用 P/36R 探头, 测试速度为 1.0 mm/s, 触发力为 5 g。

色泽测定 用 WSC-S 色差计测定大黄鱼肌肉的色泽变化, 测量结果表示为 L^* (亮/暗)、 a^* (红/绿) 和 b^* (黄/蓝) 值。每个样品重复测量 15 次。

电子舌测定 根据 Zhang 等^[16] 的研究, 采用电子舌检测大黄鱼样品的滋味变化。将 50 g 绞碎的鱼肉样品与 200 mL 蒸馏水混合斩拌 1 min, 并在室温下搅拌浸提 30 min, 过滤后取上清液利用电子舌进行测定。

电子鼻测定 参考 Zhu 等^[17] 的方法, 使用电子鼻测定大黄鱼的挥发性气味。将 6 g 绞碎的鱼肉样本放入 40 mL 密封的顶空瓶, 在室温下平衡 1 h 后测定。测定条件: 载气为洁净的空气, 流速 400 mL/min, 传感器清洗时间 200 s, 传感器归零时间 10 s, 连接样品时间 5 s, 样品采样时间间隔 1 s, 采集持续 150 s。

1.4 数据分析

使用 SPSS 17.0 和 Origin 9.1 软件进行统计学分析和作图。采用 ANOVA 方差分析和 Duncan 氏多范围检验测试组间差异的显著性, 显著性水平设定为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 菌落总数

冷藏过程中, 经有效氯浓度为 50 mg/L 电解水处理的大黄鱼 (E₅₀ 组) 包括菌落总数等各项品质指标的变化与 C 组无显著差异 ($P>0.05$), 因此 E₅₀ 组的数据在本研究中均未给出。C、E₁₀₀ 和 E₂₀₀ 处理组样品的初始菌落总数分别为 2.30、1.85 和 1.83 lg(CFU/g) (图 1)。随着贮藏时间的延长, 菌落总数均逐渐增加, 但电解水处理组的菌落总数显著低于 C 组 ($P<0.05$), 并呈现一定的剂量依赖关系, 表明电解水浸泡可以杀死大黄鱼体部分微生物。

2.2 TVB-N 值

C 组大黄鱼在 0 d 时 TVB-N 值为 9.55 mg/100 g, 在贮藏第 2 天时显著增加至 11.74 mg/100 g。在贮藏

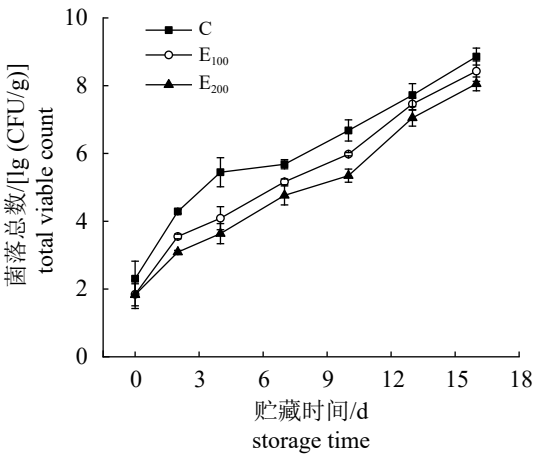


图 1 大黄鱼在 4 °C 贮藏过程中菌落总数的变化
C. 1% NaCl 溶液处理组; E₁₀₀. 有效氯浓度为 100 mg/L 的电解水处理组; E₂₀₀. 有效氯浓度为 200 mg/L 的电解水处理组; 下同

Fig. 1 Changes in total viable count of *L. crocea* stored at 4 °C

C. 1% NaCl solution treatment; E₁₀₀. electrolyzed water treatment with an available chlorine concentration of 100 mg/L; E₂₀₀. electrolyzed water treatment with an available chlorine concentration of 200 mg/L; the same below

藏 2~4 d, C 组鱼肉的 TVB-N 值没有出现显著增加 ($P>0.05$), 而经过 4 d 贮藏后 TVB-N 值随冷藏时间的延长而显著增加 ($P<0.05$) (表 1)。贮藏 0 d 时, 大黄鱼经过有效氯浓度为 100、200 mg/L 的电解水浸泡处理后, 鱼肉中的 TVB-N 值没有发生显著变化 ($P>0.05$)。在冷藏过程中, 电解水处理组大黄鱼的 TVB-N 值变化趋势与 C 组一致, 但电解水处理组大黄鱼的 TVB-N 值显著低于 C 组 ($P<0.05$), 且电解水中的有效氯浓度越高, 鱼肉的 TVB-N 值就越低 (表 1)。

2.3 ATP 关联化合物含量

C 组大黄鱼肌肉中的 IMP 浓度在第 0 天时为 7.98 μmol/g (表 2), 高于 Li 等^[18] 报道的冰鲜大黄鱼 (4.62 μmol/g), 低于周纷等^[19] 报道的冰鲜大黄

表 1 大黄鱼在 4 °C 贮藏过程中 TVB-N 值的变化
Tab. 1 Changes in TVB-N of *L. crocea* stored at 4 °C mg/100 g

组别 groups	贮藏时间/d storage time						
	0	2	4	7	10	13	16
C	9.55±0.39 ^{Fa}	11.74±0.10 ^{Ea}	11.85±0.39 ^{Ea}	14.98±0.39 ^{Da}	16.11±0.10 ^{Ca}	21.02±0.39 ^{Ba}	28.92±0.39 ^{Aa}
E ₁₀₀	9.12±0.39 ^{Ga}	10.40±0.10 ^{Fb}	11.00±0.10 ^{Eb}	13.78±0.10 ^{Db}	14.37±0.10 ^{Cb}	19.11±0.10 ^{Bb}	24.38±0.38 ^{Ab}
E ₂₀₀	9.49±0.38 ^{Ea}	10.01±0.67 ^{Eb}	10.72±0.10 ^{Db}	10.95±0.10 ^{Dc}	14.22±0.38 ^{Cb}	18.06±0.10 ^{Bc}	23.63±0.39 ^{Ab}

注: 同一行内不同上标大写字母代表差异显著 ($P<0.05$), 同一列内不同上标小写字母代表差异显著 ($P<0.05$), 下同
Notes: different superscripts of capital letters within a row represent significant differences ($P<0.05$), and different superscripts of lowercase letters within a column represent significant differences ($P<0.05$), the same below

鱼 (11.65 $\mu\text{mol/g}$)。在贮藏过程中, C 组大黄鱼的 IMP 含量随着冷藏时间的延长而逐渐下降, 类似的变化趋势也出现在电解水处理的大黄鱼中。E₂₀₀ 组大黄鱼肌肉中 IMP 的下降速率在贮藏前 7 天显著大于 C 组和 E₁₀₀ 组 ($P<0.05$), 而经过 7 d 贮藏后, E₂₀₀ 组大黄鱼的 IMP 下降速率变慢。经过 16 d 的贮藏后, C、E₁₀₀ 和 E₂₀₀ 组大黄鱼肌肉中 IMP 的含量分别为 3.16、4.38 和 5.14 $\mu\text{mol/g}$ 。伴随 IMP

的降解, 鱼肉中的 HxR 和 Hx 的含量均逐渐上升。在相同的贮藏时间下, 电解水处理的鱼肉中 HxR 和 Hx 含量明显低于未处理组, 并呈现有效氯浓度依赖性 (表 2)。与 ATP 最终分解产物 HxR 和 Hx 的变化趋势一致, 各处理组大黄鱼的 *K* 值均随冷藏时间的延长不断增加。在相同的贮藏时间下, 鱼肉 *K* 值随电解水有效氯浓度的增加而降低。

表 2 大黄鱼在 4 °C 贮藏过程中 ATP 关联化合物含量的变化

Tab. 2 Changes in ATP-related compounds contents of *L. crocea* stored at 4 °C

指标 index	组别 groups	贮藏时间/d storage time						
		0	2	4	7	10	13	16
IMP/($\mu\text{mol/g}$)	C	7.98 $\pm$ 0.05 ^{Aa}	7.64 $\pm$ 0.14 ^{Ba}	7.12 $\pm$ 0.06 ^{Ca}	5.96 $\pm$ 0.01 ^{Db}	4.65 $\pm$ 0.09 ^{Ec}	4.04 $\pm$ 0.10 ^{Fc}	3.16 $\pm$ 0.03 ^{Gc}
	E ₁₀₀	7.82 $\pm$ 0.11 ^{Aa}	7.73 $\pm$ 0.03 ^{Ba}	7.32 $\pm$ 0.00 ^{Ca}	6.15 $\pm$ 0.02 ^{Da}	5.64 $\pm$ 0.02 ^{Ea}	4.91 $\pm$ 0.01 ^{Fb}	4.38 $\pm$ 0.02 ^{Gb}
	E ₂₀₀	7.63 $\pm$ 0.10 ^{Aa}	6.94 $\pm$ 0.09 ^{Bb}	5.92 $\pm$ 0.34 ^{Cb}	5.31 $\pm$ 0.03 ^{Dc}	5.12 $\pm$ 0.03 ^{Db}	5.14 $\pm$ 0.03 ^{Da}	5.14 $\pm$ 0.05 ^{Da}
HxR/($\mu\text{mol/g}$)	C	0.61 $\pm$ 0.00 ^{Ga}	0.67 $\pm$ 0.00 ^{Fa}	0.82 $\pm$ 0.00 ^{Ea}	1.09 $\pm$ 0.00 ^{Da}	1.32 $\pm$ 0.00 ^{Ca}	1.44 $\pm$ 0.02 ^{Ba}	1.63 $\pm$ 0.00 ^{Aa}
	E ₁₀₀	0.23 $\pm$ 0.01 ^{Eb}	0.44 $\pm$ 0.09 ^{Db}	0.56 $\pm$ 0.00 ^{Dc}	0.96 $\pm$ 0.07 ^{Cb}	1.11 $\pm$ 0.11 ^{BCb}	1.25 $\pm$ 0.11 ^{ABa}	1.34 $\pm$ 0.02 ^{Ab}
	E ₂₀₀	0.19 $\pm$ 0.00 ^{Ec}	0.50 $\pm$ 0.01 ^{Db}	0.59 $\pm$ 0.01 ^{Cb}	0.92 $\pm$ 0.01 ^{Bb}	1.03 $\pm$ 0.00 ^{Ab}	1.03 $\pm$ 0.00 ^{Ab}	1.03 $\pm$ 0.01 ^{Ac}
Hx/($\mu\text{mol/g}$)	C	0.07 $\pm$ 0.01 ^{Ga}	0.16 $\pm$ 0.00 ^{Fa}	0.28 $\pm$ 0.00 ^{Ea}	0.40 $\pm$ 0.00 ^{Da}	0.65 $\pm$ 0.00 ^{Ca}	0.90 $\pm$ 0.03 ^{Ba}	1.20 $\pm$ 0.01 ^{Aa}
	E ₁₀₀	0.06 $\pm$ 0.00 ^{Gb}	0.09 $\pm$ 0.00 ^{Ec}	0.19 $\pm$ 0.00 ^{Eb}	0.32 $\pm$ 0.00 ^{Db}	0.53 $\pm$ 0.00 ^{Cb}	0.79 $\pm$ 0.01 ^{Bb}	1.08 $\pm$ 0.00 ^{Ab}
	E ₂₀₀	0.04 $\pm$ 0.00 ^{Gc}	0.10 $\pm$ 0.00 ^{Fb}	0.13 $\pm$ 0.01 ^{Ec}	0.22 $\pm$ 0.00 ^{Dc}	0.28 $\pm$ 0.00 ^{Cc}	0.53 $\pm$ 0.00 ^{Bc}	0.84 $\pm$ 0.00 ^{Ac}
<i>K</i> 值/% <i>K</i> value	C	7.88 $\pm$ 0.01 ^{Ga}	9.82 $\pm$ 0.16 ^{Fa}	13.45 $\pm$ 0.08 ^{Ea}	19.97 $\pm$ 0.06 ^{Da}	29.75 $\pm$ 0.46 ^{Ca}	36.68 $\pm$ 0.20 ^{Ba}	47.25 $\pm$ 0.22 ^{Aa}
	E ₁₀₀	3.55 $\pm$ 0.08 ^{Gb}	6.43 $\pm$ 1.02 ^{Fb}	9.25 $\pm$ 0.03 ^{Ec}	17.23 $\pm$ 0.74 ^{Db}	22.49 $\pm$ 0.95 ^{Cb}	29.33 $\pm$ 0.93 ^{Bb}	35.58 $\pm$ 0.25 ^{Ab}
	E ₂₀₀	2.97 $\pm$ 0.05 ^{Gc}	7.96 $\pm$ 0.03 ^{Fab}	10.75 $\pm$ 0.52 ^{Eb}	17.67 $\pm$ 0.00 ^{Db}	20.42 $\pm$ 0.08 ^{Cb}	23.26 $\pm$ 0.05 ^{Bc}	26.63 $\pm$ 0.20 ^{Ac}

2.4 pH 值

随着贮藏时间的延长, C 组大黄鱼的 pH 值从 6.34 逐渐上升至 6.81 (图 2)。在贮藏期间, 电解水处理的大黄鱼肌肉中 pH 值都略低于 C 组, 表明电解水处理对延缓大黄鱼腐败变质有一定的作用。

2.5 鱼肉硬度

C 组大黄鱼的硬度在贮藏第 2 天时达到最大值, 随着贮藏时间的延长而逐渐下降 (图 3)。贮藏过程中, 经电解水浸泡处理的大黄鱼肌肉硬度也表现出类似的变化趋势。在贮藏 2 d 后, 电解水处理组鱼肉的硬度比 C 组下降的快, 但在相同贮藏时间下三组鱼肉的硬度无显著差异 ($P>0.05$)。表明电解水处理对大黄鱼肌肉硬度的影响较小。

2.6 鱼肉色泽

C 组大黄鱼经过 2 d 的贮藏, 鱼肉的亮度 L^* 值由 39.69 上升至 43.08 ($P<0.05$), 但贮藏 13 d 后开始出现一定程度的下降 (表 3)。电解水处理组大

黄鱼肌肉的 L^* 值在贮藏期间的变化趋势类似于 C 组, 但是经过电解水处理的鱼肉 L^* 值显著增加 ($P<0.05$)。在贮藏第 0 天, 电解水处理对大黄鱼的红度 a^* 值没有显著的影响。随着冷藏时间的延长,

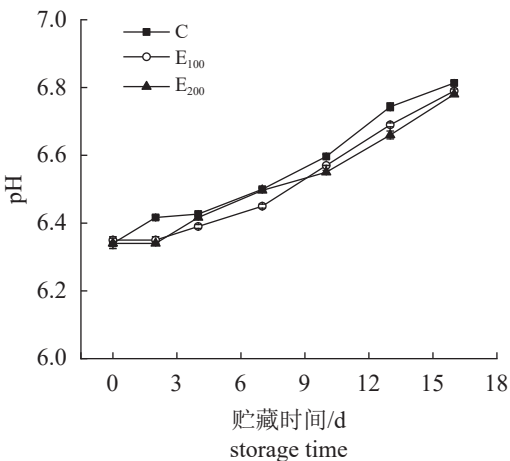


图 2 大黄鱼在 4 °C 贮藏过程中 pH 值的变化

Fig. 2 Changes in pH of *L. crocea* stored at 4 °C

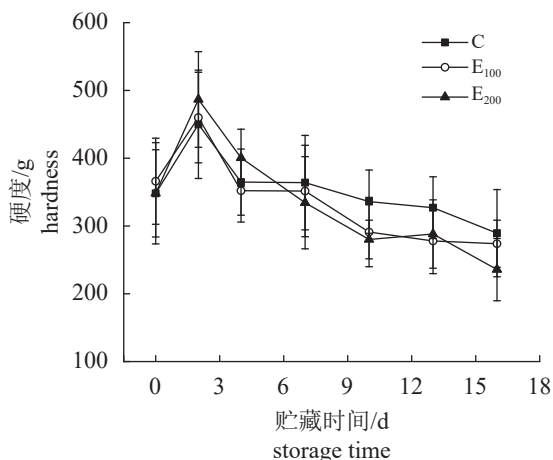


图3 大黄鱼在4 °C贮藏过程中硬度的变化

Fig. 3 Changes in hardness of *L. crocea* stored at 4 °C

三组大黄鱼肌肉的 a^* 值均在第4天开始下降,并在第10天达到最小值。另一方面,三组鱼肉的黄度 b^* 值均在贮藏第4天后开始增加,在第10天达到最大值,在贮藏后期,鱼肉的 b^* 值随电解水有效氯浓度的增加而增加。

2.7 大黄鱼滋味

利用电子舌对大黄鱼肌肉在冷藏过程中的滋味变化进行检测,其滋味主要由苦味、苦味回味、丰富性(鲜味回味)、鲜味、咸味和甜味组成,未检测到酸味、涩味和涩味回味。随着贮藏时间的延长,C组鱼肉的苦味、苦味回味和丰富性逐渐增加(图4),与鱼肉中 HxR 和 Hx 含量的变化趋势一致(表2)。另一方面,伴随贮藏时间的延长,鱼肉的鲜味、咸味和甜味逐渐下降。在贮藏过程中,电解水处理组大黄鱼的各种滋味变化趋势与C组类似,而在同一贮藏时间下,C组鱼肉中苦味回

味和咸味的味觉值均低于电解水处理组 ($P<0.05$)。

2.8 大黄鱼挥发性气味

采用电子鼻检测大黄鱼在贮藏过程中鱼肉挥发性气味的变化,冷藏期间,C组大黄鱼肌肉中由 W1W(对硫化物灵敏)、W2W(对有机硫化物、萜类物质灵敏)、W5S(对氮氧化合物灵敏)、W1S(对甲基类物质灵敏)和 W2S(对醇和醛酮类灵敏)传感器探头检测到的挥发性气味在第4天开始显著增加 ($P<0.05$),而 W2S 传感器的响应值在贮藏7 d后维持稳定(图5)。类似的变化趋势也在 E100 组大黄鱼的挥发性气味中观察到。200 mg/L 电解水处理的大黄鱼肌肉中 W1W、W2W 和 W5S 传感器响应值在冷藏4~10 d期间显著低于C组样品 ($P<0.05$),而经过16 d贮藏后,E200 组鱼肉中的 W1W、W2W、W5S 和 W1S 的挥发性气味浓度显著高于C和 E100 组 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 电解水预处理对冷藏大黄鱼新鲜度的影响

电解水中含有 Cl^- 、 HClO 和 ClO^- 等物质,可以破坏细菌的细胞膜,并阻止蛋白质合成,从而导致细菌死亡^[20]。因此,电解水预处理可以杀死大黄鱼体内的部分微生物,并且杀菌效果随有效氯浓度的增加而增加(图1)。在冷藏过程中,生长繁殖的腐败微生物会产生胞外蛋白酶、脱羧酶、脱氨酶等并作用于鱼肉中的蛋白质和非蛋白含氮化合物生成氨和胺类物质^[5],从而使 TVB-N 值增加,并且氨、三甲胺等碱性物质累积会导致鱼肉的 pH 值增加^[21]。因此,本研究中大黄鱼样品的

表3 大黄鱼在4 °C贮藏过程中色泽的变化

Tab. 3 Changes in color of *L. crocea* stored at 4 °C

色泽 color	组别 groups	贮藏时间/d storage time						
		0	2	4	7	10	13	16
L^*	C	39.69±2.19 ^{Cb}	43.08±0.67 ^{Ab}	43.37±0.67 ^{Aa}	43.05±0.71 ^{Aa}	43.37±0.67 ^{Aa}	41.50±0.39 ^{Ba}	42.53±0.38 ^{Ba}
	E100	43.26±1.17 ^{BCa}	44.76±0.59 ^{Aa}	43.60±0.62 ^{Ba}	42.85±0.39 ^{Bab}	43.68±0.33 ^{Ba}	41.92±0.51 ^{Ca}	41.62±1.00 ^{Cab}
	E200	42.07±1.97 ^{Ba}	44.56±1.46 ^{Aa}	43.20±0.60 ^{Aa}	42.39±1.02 ^{Bb}	42.10±0.37 ^{Bb}	41.95±0.28 ^{Ba}	40.94±0.56 ^{Cb}
a^*	C	-0.59±0.08 ^{Ba}	-0.81±0.29 ^{Bb}	0.41±0.22 ^{Aa}	-1.39±0.26 ^{Cb}	-2.75±0.30 ^{Da}	-1.44±0.19 ^{Ca}	-1.40±0.25 ^{Ca}
	E100	-0.42±0.08 ^{Ba}	-0.73±0.27 ^{Cb}	0.49±0.27 ^{Aa}	-2.49±0.25 ^{Ec}	-3.97±0.19 ^{Gb}	-2.99±0.29 ^{Fb}	-2.20±0.25 ^{Db}
	E200	0.61±0.22 ^{Aa}	-0.45±0.18 ^{Ba}	0.53±0.22 ^{Aa}	-0.48±0.15 ^{Ba}	-4.15±0.17 ^{Ec}	-3.70±0.24 ^{Dc}	-2.51±0.23 ^{Cc}
b^*	C	3.71±0.26 ^{Da}	3.46±0.53 ^{Da}	3.14±0.29 ^{Ea}	5.00±0.41 ^{Bc}	8.08±0.50 ^{Ac}	4.87±0.22 ^{Bc}	4.48±0.29 ^{Cc}
	E100	3.67±0.40 ^{Da}	3.30±0.39 ^{Ea}	3.16±0.34 ^{Ea}	6.42±0.27 ^{Cb}	9.50±0.21 ^{Ab}	6.70±0.22 ^{Bb}	6.26±0.47 ^{Cb}
	E200	3.77±0.35 ^{Ca}	3.32±0.58 ^{Da}	3.12±0.43 ^{Da}	7.18±0.33 ^{Ba}	10.42±0.22 ^{Aa}	7.62±0.22 ^{Ba}	7.25±0.33 ^{Ba}

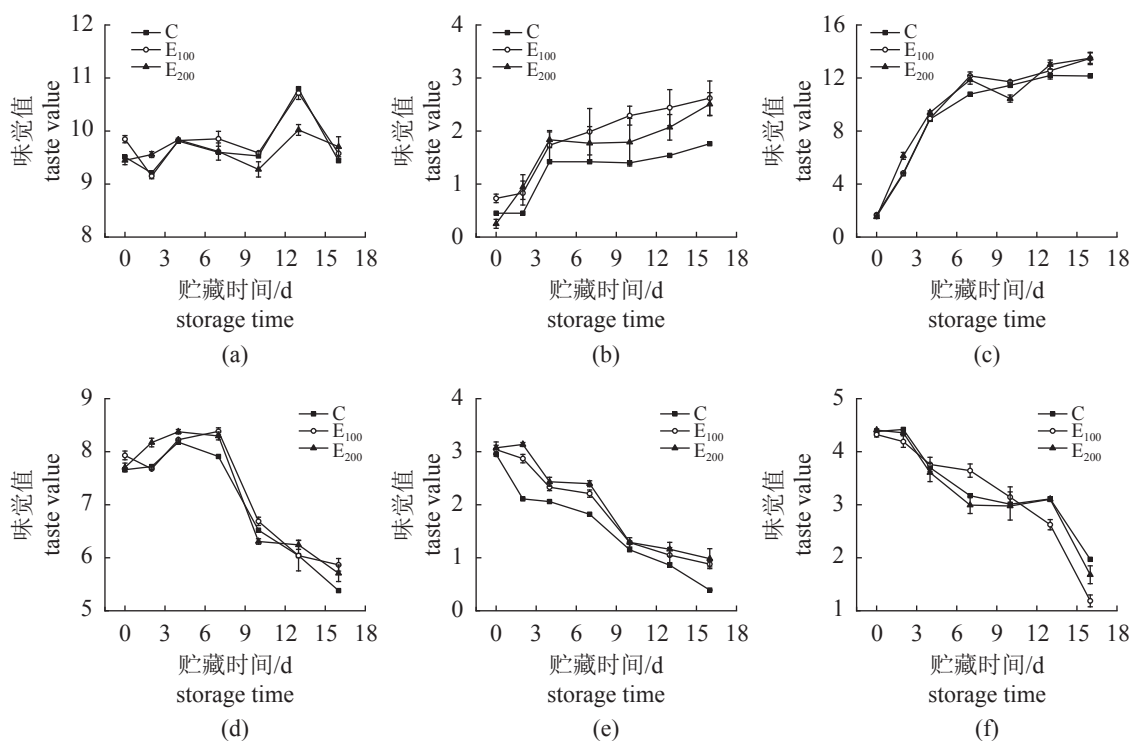


图4 在4℃贮藏过程中大黄鱼肌肉滋味的变化

(a) 苦味, (b) 苦味回味, (c) 丰富性, (d) 鲜味, (e) 咸味, (f) 甜味

Fig. 4 Changes in taste of *L. crocea* stored at 4 °C

(a) bitterness, (b) aftertaste-B, (c) richness, (d) umami, (e) saltiness, (f) sweetness

pH值变化趋势与TVB-N值一致(表1, 图2)。贮藏期间, 电解水处理组大黄鱼肌肉中的TVB-N值和pH值均低于对照组, 表明电解水处理可以延缓大黄鱼腐败变质。图1的结果显示C、E₁₀₀和E₂₀₀组大黄鱼分别在贮藏约第8、10和11天超过了菌落总数的上限6 lg(CFU/g)^[22]。然而, 即使经过16 d的冷藏, C、E₁₀₀和E₂₀₀组的TVB-N值分别只达到28.92、24.38和23.63 mg/100 g, 均未超过消费者可接受上限30 mg/100 g^[23], 这可能与鱼体间携带的微生物种群不同有关^[24]。

肌肉中的ATP在鱼类死后初期发生降解, 同时贮藏过程中IMP等鲜味化合物含量逐渐下降, 苦味物质HxR和Hx的含量会逐渐增加^[25]。鱼肉中IMP的含量可能与鱼的种类、营养成分、捕捞手段和处理方式有关^[25]。一方面, 贮藏过程中IMP的降解主要与内源酶的活性有关^[25], 而电解水中HClO、ClO⁻和Cl⁻等物质可能会加速鱼肉中溶酶体的破裂和酸性磷酸酶的释放^[20, 25], 促进IMP的降解(表2)。另一方面, 电解水抑制了腐败微生物的生长繁殖(图1), 进而减缓腐败微生物诱导引起的IMP分解生成HxR和Hx。在本研究中

发现电解水处理能有效抑制鱼肉中HxR和Hx含量的增加, 并呈有效氯浓度依赖性(表2), 与其菌落总数的变化趋势一致, 表明贮藏过程中鱼肉的HxR和Hx含量主要与微生物数量之间存在关联。

鱼肉的质构和色泽直接关系到鱼的新鲜度和消费者的接受度, 是评价鱼肉新鲜度的重要指标。大黄鱼死后进入僵硬期时肌肉收缩变硬, 在内源蛋白酶和腐败微生物的作用下, 鱼肉结缔组织遭到破坏后质构会发生下降^[26]。因此, 在冷藏实验期间观察到大黄鱼肌肉的硬度呈先上升后下降的变化趋势。然而, 在本研究中, 电解水处理对鱼肉质构的影响小于其对鱼肉色泽的影响。这可能是因为电解水中存在的HClO、ClO⁻和Cl⁻等强氧化性物质对鱼肉有一定的漂白作用^[27], 而且电解水中含有的大量自由基会促进脂肪和色素氧化^[9]。

3.2 电解水预处理对冷藏大黄鱼滋味和气味的影响

鱼类死后, 肌肉中的核苷酸会发生系列降解, IMP含量下降, 而HxR和Hx含量累积会导致鱼肉鲜味下降、苦味增加^[25]。鱼肉中的部分蛋白质被降解成小分子肽, 疏水性氨基酸残基暴露也会

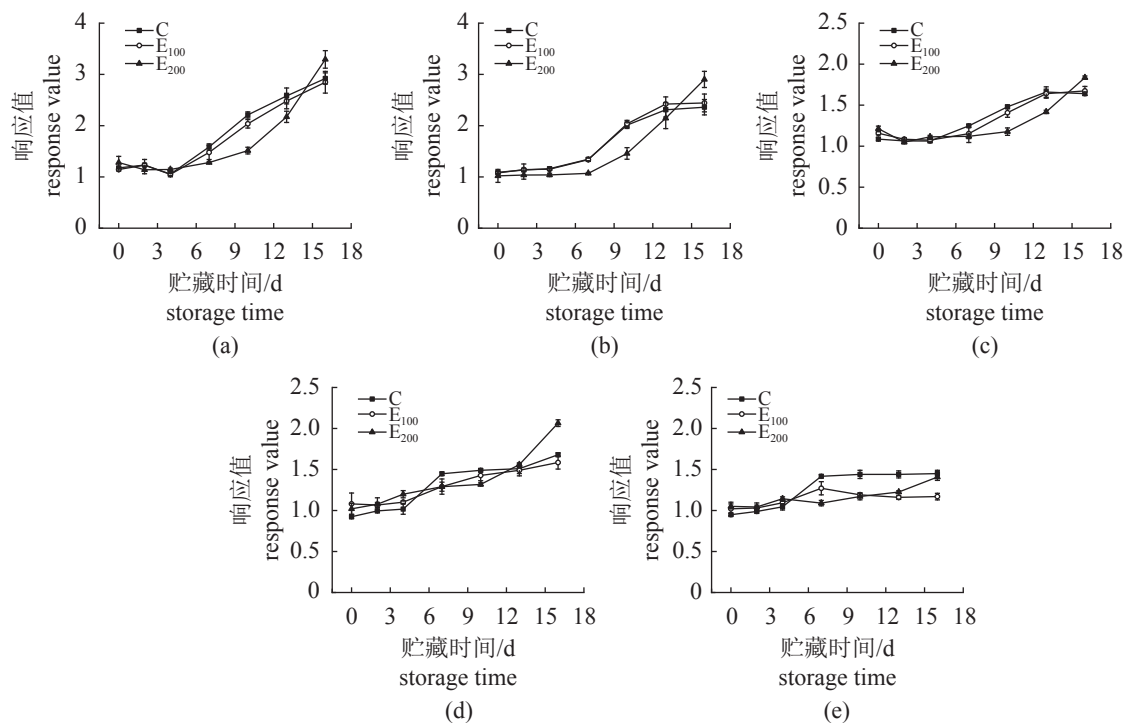


图5 大黄鱼在4℃贮藏过程中挥发性气味的变化

(a) W1W. 硫化物; (b) W2W. 有机硫化物、萜类物质; (c) W5S. 氮氧化合物; (d) W1S. 甲基类物质; (e) W2S. 醇和醛酮类物质

Fig. 5 Changes in volatile odor of *L. crocea* stored at 4℃

(a) W1W. sulfides; (b) W2W. sulfur organic compounds and terpenes; (c) W5S. nitrogen oxides; (d) W1S. methyl; (e) W2S. alcohols, aldehydes and ketones

使苦味增加^[16]。在本研究中,随着贮藏时间的延长,大黄鱼肌肉的鲜味、咸味和甜味逐渐下降,苦味、苦味回味和丰富性逐渐增加,而在同一贮藏时间下C组鱼肉中苦味回味和咸味的味觉值均低于电解水处理组($P<0.05$)(图4)。这可能是冷藏条件下C组大黄鱼腐败严重,伴随组织汁液流失,鱼肉中部分滋味物质损失导致的。有研究表明,缺乏 Cl^- 、 PO_4^{3-} 和 K^+ 等无机离子会导致鱼肉的苦味、咸味和鲜味等滋味降低^[28]。然而,电解水中含有 Cl^- 、 HClO 、 ClO^- 等物质,在一定程度上可能会促进蛋白和脂肪发生氧化,从而导致鱼肉苦味回味增加^[29-30]。

通常,贮藏过程中大黄鱼肌肉的挥发性气味浓度增加是因为鱼肉中蛋白质、脂肪和碳水化合物等营养物质在内源酶和微生物的作用下分解,产生硫化氢、氨、小分子胺等挥发性物质^[31]。贮藏前期,有效氯浓度为200 mg/L的电解水预处理能减少鱼肉中的挥发性气味,这是因为电解水处理具有杀菌作用,从而能有效抑制冷藏鱼肉中腥味、哈喇味的产生^[29]。然而,电解水中还含有大量的自由基,一定程度上会促进鱼肉脂肪氧化酸败产生异味^[32]。在脂肪氧化的协同作用下, E_{100}

组大黄鱼的挥发性气味变化与C组无显著差异; E_{200} 组大黄鱼体内与硫化物、氮氧化合物、甲基类物质有关的挥发性气味在贮藏16 d后反而高于C组($P<0.05$)(图5)。

综上所述,电解水处理能有效减少冷藏大黄鱼肌肉中微生物的生长,延缓HxR和Hx含量的增加以及K值、TVB-N值的上升,并且保鲜效果随有效氯浓度的增加而增加。然而,当电解水的有效氯浓度较高时会促进脂肪氧化,导致鱼肌肉黄度 b^* 值增加,鱼肉腐败时硫化物等相关的挥发性气味反而增加。因此,利用电解水预处理对大黄鱼进行保鲜时还需要考虑有效氯浓度对鱼肉色泽和气味的影响。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Zhou F, Wang X C. Effect of heat extraction on water-soluble taste substances in processing products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(12): 3863-3872.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站,

- 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook-2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [3] Sun X H, Xiao L, Lan W Q, *et al.* Effects of temperature fluctuation on quality changes of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) with ice storage during logistics process[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(2): e13505.
- [4] Sampels S. The effects of storage and preservation technologies on the quality of fish products: a review[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 1206-1215.
- [5] Dong Z, Luo C, Guo Y M, *et al.* Characterization of new active packaging based on PP/LDPE composite films containing attapulgit loaded with *Allium sativum* essence oil and its application for large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillets[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019, 20: 100320.
- [6] Xuan X T, Fan Y F, Ling J G, *et al.* Preservation of squid by slightly acidic electrolyzed water ice[J]. *Food Control*, 2017, 73: 1483-1489.
- [7] 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.
- [8] Jung S, Ko B S, Jang H J, *et al.* Effects of slightly acidic electrolyzed water ice and grapefruit seed extract ice on shelf life of brown sole (*Pleuronectes herzensteini*)[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27(1): 261-267.
- [9] Chen J, Xu B, Deng S G, *et al.* Effect of combined pre-treatment with slightly acidic electrolyzed water and botanic biopreservative on quality and shelf life of Bombay duck (*Harpadon nehereus*)[J]. *Journal of Food Quality*, 2016, 39(2): 116-125.
- [10] Zheng W C, Cao W, Li B M, *et al.* Bactericidal activity of slightly acidic electrolyzed water produced by different methods analyzed with ultraviolet spectrophotometric[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2012, 8(3): 41.
- [11] Li Y, Zhuang S, Liu Y Y, *et al.* Effect of grape seed extract on quality and microbiota community of container-cultured snakehead (*Channa argus*) fillets during chilled storage[J]. *Food Microbiology*, 2020, 91: 103492.
- [12] Tantratian S, Kaephen K. Shelf-life of shucked oyster in epigallocatechin-3-gallate with slightly acidic electrolyzed water washing under refrigeration temperature[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 118: 108733.
- [13] Yu D W, Xu Y S, Regenstein J M, *et al.* The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 412-420.
- [14] Hui G H, Liu W, Feng H L, *et al.* Effects of chitosan combined with nisin treatment on storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Food Chemistry*, 2016, 203: 276-282.
- [15] Lin H M, Hung Y C, Deng S G. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets[J]. *Food Control*, 2020, 112: 107117.
- [16] Zhang J H, Cao J, Pei Z S, *et al.* Volatile flavour components and the mechanisms underlying their production in golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets subjected to different drying methods: a comparative study using an electronic nose, an electronic tongue and SDE-GC-MS[J]. *Food Research International*, 2019, 123: 217-225.
- [17] Zhu W H, Luan H W, Bu Y, *et al.* Flavor characteristics of shrimp sauces with different fermentation and storage time[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 110: 142-151.
- [18] Li T T, Li J R, Hu W Z. Changes in microbiological, physicochemical and muscle proteins of post mortem large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Food Control*, 2013, 34(2): 514-520.
- [19] 周纷, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 193-199.
- Zhou F, Zhang Y X, Zhang L, *et al.* Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 193-199 (in Chinese).
- [20] Ovissipour M, Shiroodi S G, Rasco B, *et al.* Electrolyzed water and mild-thermal processing of Atlantic sal-

- mon (*Salmo salar*): reduction of *Listeria monocytogenes* and changes in protein structure[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2018, 276: 10-19.
- [21] Wu T T, Wu C H, Fang Z X, *et al.* Effect of chitosan microcapsules loaded with nisin on the preservation of small yellow croaker[J]. *Food Control*, 2017, 79: 317-324.
- [22] Li J, Feng H L, Liu W, *et al.* Design of a portable electronic nose system and application in *K* value prediction for large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Food Analytical Methods*, 2016, 9(10): 2943-2951.
- [23] 中华人民共和国农业部. SC/T 3101-2010 鲜大黄鱼、冻大黄鱼、鲜小黄鱼、冻小黄鱼[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 3.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. SC/T 3101-2010 Fresh and frozen large yellow croaker & fresh and frozen small yellow croaker[S]. Beijing: Agriculture Press of China, 2010: 3 (in Chinese).
- [24] Wang H, Liu X C, Zhang Y M, *et al.* Spoilage potential of three different bacteria isolated from spoiled grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 81: 10-17.
- [25] Li D P, Zhang L T, Song S J, *et al.* The role of microorganisms in the degradation of adenosine triphosphate (ATP) in chill-stored common carp (*Cyprinus carpio*) fillets[J]. *Food Chemistry*, 2017, 224: 347-352.
- [26] Viji P, Tanuja S, Ninan G, *et al.* Biochemical, textural, microbiological and sensory attributes of gutted and ungutted sutchi catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) stored in ice[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(6): 3312-3321.
- [27] 王玲. 酸性电解水处理对鲟鱼冰温贮藏品质变化的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2018.
Wang L. Effect of acidic electrolyzed water pretreatment on quality of sturgeon during ice temperature storage[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018 (in Chinese).
- [28] Zhang N L, Wang W L, Li B, *et al.* Non-volatile taste active compounds and umami evaluation in two aquacultured pufferfish (*Takifugu obscurus* and *Takifugu rubripes*)[J]. *Food Bioscience*, 2019, 32: 100468.
- [29] 岳琪琪, 刘文, 韩千慧, 等. 保鲜处理对冷鲜鲟鱼肉特征性风味成分的影响[J]. *水产学报*, 2020, 44(12): 2076-2086.
Yue Q Q, Liu W, Han Q H, *et al.* Effects of preservation treatment on the characteristic flavor composition of chilled sturgeon meat[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(12): 2076-2086 (in Chinese).
- [30] Campo M M, Nute G R, Hughes S I, *et al.* Flavour perception of oxidation in beef[J]. *Meat Science*, 2006, 72(2): 303-311.
- [31] Han F K, Huang X Y, Teye E, *et al.* Nondestructive detection of fish freshness during its preservation by combining electronic nose and electronic tongue techniques in conjunction with chemometric analysis[J]. *Analytical Methods*, 2014, 6(2): 529-536.
- [32] Hou W F, Han Q H, Gong H, *et al.* Analysis of volatile compounds in fresh sturgeon with different preservation methods using electronic nose and gas chromatography/mass spectrometry[J]. *RSC Advances*, 2019, 9(67): 39090-39099.

Effects of electrolyzed water pretreatment on quality changes of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) during chilled storage

HUANG Li ^{1,2}, SHI Linfan ^{1,2}, REN Zhongyang ^{1,2}, WENG Wuyin ^{1,2*}, LIU Zhiyu ³

(1. College of Food and Biological Engineering, JiMei University, Xiamen 361021, China;

2. Collaborative Innovation Center of Provincial and Ministerial Co-construction for

Marine Food Deep Processing, Xiamen 361021, China;

3. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361006, China)

Abstract: The annual output of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) in Fujian Province always exceeds 80% of the annual output in China. At present, *L. crocea* is mainly sold all over the country in the form of chilled storage. Therefore, it is important to prolong the shelf life of chilled *L. crocea* by taking the suitable pretreatment. Electrolyzed water has a high-efficiency and broad-spectrum bactericidal action, and its application in fish refrigeration preservation has been widely concerned. However, the effect of electrolyzed water pretreatment on the freshness, taste and odor of chilled *L. crocea* has not been reported. In order to investigate the effect of electrolyzed water pretreatment on quality changes of *L. crocea* during chilled storage, the total viable counts, total volatile basic nitrogen (TVB-N), ATP-related compounds contents, pH, hardness, color, taste and volatile odor of *L. crocea* pretreated by soaking in electrolyzed water with different available chlorine concentrations (50, 100, and 200 mg/L) and 1% NaCl solution were measured during storage at 4 °C. The results show that, the initial total viable counts of *L. crocea* decreased from 2.30 to 1.83 lg(CFU/g), when the available chlorine concentration of electrolyzed water was 200 mg/L. After 16 day storage at 4 °C, the TVB-N values of *L. crocea* muscle pretreated by electrolyzed water with the available chlorine concentration of 100 and 200 mg/L were 24.38 and 23.63 mg/100 g respectively, which were significantly lower than the control group (28.92 mg/100 g). The increases of HxR, Hx and K values in the fish muscle were retarded by electrolyzed water pretreatment, and the inhibitory effect was increased with the increase of available chlorine concentration. No significant differences were observed in the pH and hardness of fish muscle with and without electrolyzed water pretreatment. The yellowness b^* value of fish muscle was increased with the increase of available chlorine concentration under the same condition for 16 day storage. The bitterness, aftertaste-B and richness of fish muscle increased gradually with increasing storage time, while the umami, saltiness and sweetness decreased. The taste values of aftertaste-B and saltiness in fish muscle pretreated with electrolyzed water were higher than those in the control group. The volatile odors in fish muscle pretreated by electrolyzed water with the available chlorine concentration of 200 mg/L were decreased during 4-10 day storage, but were higher than those in the control group after 16 day storage at 4 °C. In conclusion, electrolyzed water pretreatment can be effective in inhibiting the microbial growth and freshness decline of *L. crocea* during chilled storage. The inhibition effect of electrolyzed water was related to its available chlorine concentration. However, after being pretreated by the electrolyzed water with high available chlorine concentration, *L. crocea* is easy to turn yellow and produce volatile odors during chilled storage. The results of present study provide a theoretical reference for the selection of electrolyzed water with suitable available chlorine concentration in the preservation of chilled *L. crocea*.

Key words: *Larimichthys crocea*; electrolyzed water; antibacterial effect; tastes; odors

Corresponding author: WENG Wuyin. E-mail: wwymail@jmu.edu.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China (2021YFD2100200, 2021YFD2100202); Natural Science Foundation of Fujian Province (2019J02013); Fujian Project of Marine Economy Development (FJHJF-L-2021-3)