

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027612

引用格式:吴怡,蓝蔚青,刘嘉莉,等.微酸性电解水结合迷迭香提取物对冷藏鲈鱼片品质变化的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(4):47-55. WU Yi, LAN Weiqing, LIU Jiali, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water combined rosemary extract on the quality change of sea bass fillets (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4):47-55.

微酸性电解水结合迷迭香提取物对冷藏鲈鱼片品质变化的影响

吴怡¹, 蓝蔚青^{1,2*}, 刘嘉莉¹, 官缘¹, 张溪¹, 谢晶^{1,2*}

1(上海海洋大学 食品学院, 上海, 201306) 2(上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海, 201306)

摘要 为研究微酸性电解水结合迷迭香提取物(rosemary extract, RE)处理对鲈鱼片冷藏期间品质变化影响。将新鲜鲈鱼片随机分为4组,分别使用微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW) [$\text{pH} = 6.35 \pm 0.04$, 氧化还原电位 $= (861.60 \pm 12.35) \text{ mV}$, 有效氯浓度 $= (30.00 \pm 1.54) \text{ mg/L}$], 5.0 g/L RE、SAEW联合RE (SAEW处理5 min结合5.0 g/L RE浸渍5 min)处理10 min,以无菌水处理10 min为对照组(control, CK)。将4组样品处理后沥干,装入无菌聚乙烯保鲜袋中,置于4℃冷藏。每隔2 d进行微生物[菌落总数(total viable count, TVC)、嗜冷菌数(psychrophilic bacteria count, PBC)]、理化指标[pH值、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值、质构分析]与感官评定等指标测定,并结合持水力(water holding capacity, WHC)、低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)与核磁共振成像(magnetic resonance image, MRI)技术综合评价其作用影响。结果表明,与CK组相比,SAEW处理对微生物生长有显著抑制效果,RE处理能降低样品的脂肪氧化速率。而SAEW+RE联合处理,能明显抑制样品贮藏期间的TVC、PBC、pH与TVB-N值的增长,减缓TBA值的升高,保持其良好的感官品质。结合WHC、LF-NMR与MRI分析结果得出,SAEW+RE结合处理能有效改善鲈鱼片的保水性能。综合各项指标得出,与CK组相比,SAEW+RE处理可使鲈鱼片的冷藏货架期延长6 d。

关键词 微酸性电解水;迷迭香提取物;鲈鱼;冷藏;品质变化

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)又名赛花、四肋鱼等,广泛分布于我国渤海、黄海等沿海地区,属重要的水产养殖经济鱼类。因其肉质细嫩,味道鲜美,富含营养物质等特点而深受消费者的青睐^[1]。近年来,我国的鲈鱼养殖年产量呈快速增长趋势。然而,鲈鱼同其他水产品一样,易受腐败微生物、蛋白质变性和自溶酶等因素影响,在贮运过程中极易腐败^[2]。传统活鱼流通方式已难满足目前消费市场的需求,因此有必要寻求一种新的保鲜措施来保持产品品质,延长其货架期。

微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)作为一种新型非热杀菌技术,其主要是通过将稀盐酸溶液在无隔膜的电解装置中进行电解获得,且具有绿色安全、高效经济、制备方便的特点^[3]。由于其pH值接近中性,且具有较低的有效氯浓度(available chlorine concentration, ACC),因此不会对食品品质产生不良影响。现有研究表明,SAEW具有强而

有效的抑菌效果,能抑制部分内源酶活性^[4]。目前,SAEW技术在国内外食品保鲜领域得到广泛关注^[3]。其中,于福田^[5]研究得出SAEW可有效抑制罗非鱼冷藏期间的微生物生长,将货架期延长2~3 d。迷迭香提取物(rosemary extract, RE)是从迷迭香叶中提取出的天然抗氧化剂,含有鼠尾草酸、鼠尾草醇、迷迭香酸等成分。在目前已发现的众多天然抗氧化剂中,RE具有显著优势,如广谱、高效、安全和耐高温等,在我国被列入GB 2760—2014允许使用的食品抗氧化剂名单中^[6-7]。RE可通过螯合金属离子来阻碍自由基反应,减缓脂质氧化^[8]。同时,其还能有效抑制常见污染菌的生长,延缓产品腐败,改善其质构特性,且在弱酸性与中性条件时抑菌效果较强^[9],因此与SAEW结合使用时不会影响其抗氧化性能。其中,KENAR等^[10]采用10 g/L的RE水溶液对沙丁鱼浸渍处理,结果得出其能有效抑制样品冷藏期间的硫代

第一作者:本科生(蓝蔚青高级工程师和谢晶教授为共同通信作者, E-mail: wqlan@shou.edu.cn; jxie@shou.edu.cn)

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-47-G26);“十三五”国家重点研发计划重点专项(2019YFD0901602);上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心能力提升项目(19DZ2284000)

收稿日期:2021-04-07, 改回日期:2021-04-29

巴比妥酸值(thiobarbituric acid, TBA)、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、过氧化值(peroxide value, PV)、游离脂肪酸(free fatty acid, FFA)与微生物等指标升高,延长货架期。FERNÁNDEZ-LÓPEZ 等^[11]研究各天然提取物在瑞典式牛肉丸中的抗氧化活性时发现 RE 最为有效。现有研究表明,当 SAEW 与抗氧化生物保鲜剂联合处理时,将能发挥“栅栏”效应,使抑菌与抗氧化作用充分结合,对食品有明显保鲜效果^[12]。

目前,关于 SAEW 与生物保鲜剂结合用于水产品保鲜的研究还较少。因此,本文拟将 SAEW 与 RE 相结合处理鲈鱼片,通过分析其冷藏期间的微生物(菌落总数、嗜冷菌数)、理化指标(pH 值、TVB-N 值、TBA 值、质构分析)等指标,结合感官评价,并由持水力、低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)与核磁成像(magnetic resonance image, MRI)技术综合评价其对冷藏鲈鱼片品质变化影响,以期 SAEW 与生物保鲜剂相结合用于水产品保鲜提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鲈鱼购于上海市临港农工商超市,样品体重为(500±20)g,体长为(28.0±2.0)cm,由泡沫箱增氧保持鲜活状态,并在 30 min 内运至实验室。

RE[食品级,提取物含量(22±4)%],贵州红星发展都匀绿友有限责任公司;平板计数琼脂,青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;硫代硫酸钠、三氯乙酸、2-巯代巴比妥酸、氧化镁、氯化钠、盐酸等所有试剂均为国产分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

FX-SWS100 型 SAEW 生成机,烟台方心水处理设备有限公司;H-2050R 型台式高速低温离心机、BIOBASE-EL10A 自动酶标仪,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;FE20 型 pH/ORP 计,上海而立环保科技有限公司;Kjeltec8400 型凯氏定氮仪,丹麦 FOSS 集团(中国)有限公司;TA.XT Plus 型质构仪,英国 Stable Micro System 公司;Meso MR23-060H-I 型 NMR 分析及成像系统,上海纽迈电子科技有限公司等。

1.3 实验方法

1.3.1 处理液制备

以 9.0% HCl 溶液为原料,通过 SAEW 生成机电解制得 SAEW。采用 pH/ORP 计和高浓度有效氯测

定仪测定其 pH 值、氧化还原电位(oxidative redox potential, ORP)和 ACC。其 pH 值为(6.35±0.04),ORP 为(861.60±12.35)mV,ACC 为(30.00±1.54)mg/L。通过 LINHARTOVÁ 等^[13]法结合前期预实验,用无菌蒸馏水将其配制成 5.0 g/L 的 RE 溶液。

1.3.2 原料处理

将鲜活鲈鱼放入盛满碎冰的泡沫箱中使其窒息死亡,经去头、去尾、去内脏后洗净滤干,随机分为 4 组。分别使用 SAEW、5.0 g/L RE、SAEW 联合 RE(SAEW+RE, SAEW 处理 5 min 后置于 5.0 g/L RE 溶液中浸渍处理 5 min)处理 10 min,以无菌水浸渍处理 10 min 样品为空白组(control, CK)。将处理好的样品沥干至表面无水滴,装入无菌聚乙烯保鲜袋中,置于 4℃冰箱中贮藏,每隔 2 d 测定各项指标。

1.3.3 微生物分析[菌落总数(total viable count, TVC)与嗜冷菌数(psychrophilic bacteria count, PBC)]

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》^[14],取 5 g 鲈鱼背部鱼肉置于无菌聚乙烯袋中,加入 45 mL 生理盐水后均质机拍打 2 min,以 10 倍梯度稀释,采用平板计数琼脂培养。TVC 在 30℃恒温培养 72 h;PBC 在 7℃恒温培养 240 h。取 3 个合适的稀释度进行培养,每个稀释度作 3 个平行。

1.3.4 理化指标

1.3.4.1 pH 与 TVB-N 值

参照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》^[15],准确称取剁碎的鱼样 5 g,加入 45 mL 蒸馏水并混匀,静置 30 min,利用 pH 计进行测定,平行测定 3 次;参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》^[16],采用半微量定氮法,利用 FOSS 凯氏定氮仪测定不同贮藏时期鲈鱼片的 TVB-N 值,平行测定 3 次。

1.3.4.2 TBA 值

参考 SUN 等^[17]法进行。最终混合液经冷却后测定其在 532 nm 处的吸光度值。同一处理组平行测定 3 次,计算方法如公式(1)所示:

$$TBA/[mg\ MDA \cdot (100g)^{-1}] = 7.8 \times A \quad (1)$$

式中:A 为样品在 532 nm 处的吸光度值。TBA 单位以 100g 待测物质中丙二醇(malondialdehyde, MDA)含量表示,mg MDA/100g。

1.3.4.3 质构分析(texture profile analysis, TPA)

将样品切成 2.0 cm×2.0 cm×1.5 cm 的方块。

采用质构仪的 TPA 模式分别测定鲈鱼鱼肉的硬度、咀嚼性和弹性。设定参数为:测量前探头下降速率 2 mm/s,测试速度 1.5 mm/s,返回速率 1.5 mm/s,触发力 5 g,2 次下压间隔时间 5 s。探头型号为 P/50 平底柱状探头,测试类型设置为压缩模式。每组样品平行测定 6 次。

1.3.4.4 感官分析

参照李颖畅等^[1]的方法稍作修改。由 6 名经过专业训练人员组成感官评定小组,对黏液、色泽、气味与质地 4 个方面进行综合评分。其中,3 分为最佳,0 分为不可接受,各项评分相加为最终感官分值。具体如表 1 所示。

表 1 鲈鱼片的感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of *Lateolabrax japonicas* fillets

| 评分指标 | 3 分 | 2 分 | 1 分 | 0 分 |
|------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 黏液 | 稀薄透亮 | 增多且稍显浑浊 | 浓稠并浑浊 | 稀薄且严重浑浊 |
| 色泽 | 非常明亮 | 明亮 | 稍暗淡 | 暗淡 |
| 气味 | 正常鲜味 | 鲜味变淡 | 稍有异味 | 强烈腥臭味 |
| 质地 | 坚实有弹性,手指压后凹陷立即消失 | 较有弹性,手指压后凹陷较快消失 | 稍有弹性,手指压后凹陷较慢消失 | 无弹性,手指压后凹陷不消失 |

1.3.5 水分特性

1.3.5.1 持水力

称取 3.0 g 鱼肉置于带滤纸筒的离心管中,4 ℃、8 000 r/min 离心 10 min 后称重,平行测定 3 次。计算方法如公式(2)所示:

$$\text{持水力}/\% = (1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1}) \times 100 \quad (2)$$

式中: m_1 为离心前样品质量,g; m_2 为离心后样品质量,g。

1.3.5.2 LF-NMR 与 MRI 分析

参照汪经邦等^[18]的方法稍作修改,进行鲈鱼片样品的 LF-NMR 分析。将 10 g 样品包上保鲜膜后放入直径 60 mm 磁体线圈管中,置于 32 ℃ 永磁场的射频线圈中心,用 CPMG 序列测量横向弛豫时间 T_2 。采用 MRI 测定鱼肉的质子密度图谱,采用 MR-60 核磁共振成像仪进行成像分析,得到的成像图谱由 8 次扫描重复累加而成。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析,采用 Duncan's 法进行差异分析,差异显著水平 $P < 0.05$,结果以平均值 \pm 标准偏差表示,用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 微生物指标

微生物生长繁殖是导致鱼类腐败的主因,微生物

生长代谢可造成氨基酸与蛋白质的分解^[11],其中 7.00 lgCFU/g 被认为是水产品的可食用菌落总数上限值^[19]。

如图 1-a 所示,新鲜鲈鱼片的 TVC 与 PBC 对数值分别为 (3.60 ± 0.16) lgCFU/g 与 (2.90 ± 0.12) lgCFU/g。随着贮藏时间的延长,CK 组的 TVC 值较处理组样品上升显著 ($P < 0.05$)。贮藏第 10 天,CK 组样品的 TVC 对数值已达 (7.68 ± 0.16) lgCFU/g,而 SAEW 组和 RE 组在第 14 天才接近和超过鲜度范围,表明 SAEW 和 RE 均具有一定的抑菌活性,其通过对菌体的细胞壁、细胞膜和细胞质造成损伤,有效抑制微生物的代谢,从而发挥较强的抑菌作用^[3, 20]。在贮藏中后期,SAEW + RE 组的 TVC 值显著低于同期的 SAEW 组和 RE 组样品 ($P < 0.05$),直到第 16 天才接近鲜度限值。可见,SAEW + RE 联合处理能有效延长冷藏鲈鱼片货架期。由图 1-b 可知,样品在冷藏期间 PBC 值的变化趋势与 TVC 值基本一致,也以 SAEW + RE 组效果较好,这与 YAN 等^[12] 研究结果相似。结果表明 3 种处理方式均能抑制微生物生长,其中以 SAEW + RE 效果最佳。

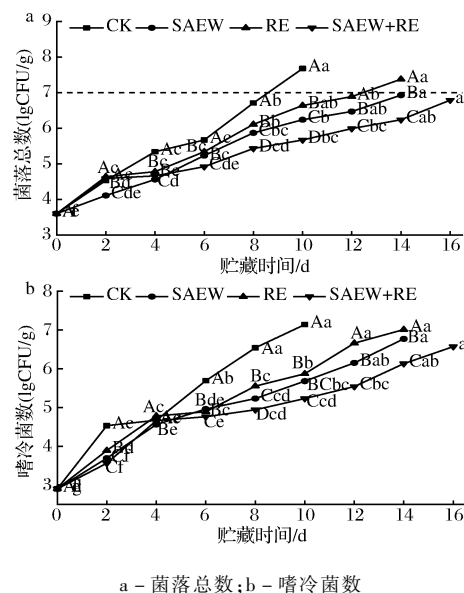


图 1 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中微生物指标变化影响
Fig. 1 Changes in microbiological index in *Lateolabrax japonicas* fillets with different treatments during refrigerated storage

注:同一贮藏时间、不同处理组大写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$); 同一处理组、不同贮藏时间小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$) (下同)

2.2 pH 值与 TVB-N 值

pH 值是评价水产品品质的重要指标之一。如图 2-a 所示,不同处理组的 pH 值在冷藏期间呈先后降后升的趋势。最初 pH 值下降可能由于鲈鱼死后,体

内糖原酵解和 ATP 分解,使乳酸、磷酸等不断累积。贮藏后期,蛋白质在碱性细菌和酶的作用下被分解成氨基酸和三甲胺等碱性物质,导致样品 pH 值相应升高^[21]。在第 4 天后,CK 组样品 pH 值增长速度快于处理组。贮藏末期(14 d)SAEW + RE 处理组样品的 pH 值显著低于 SAEW 与 RE 处理组($P < 0.05$)。可能由于 RE 中的酚类物质含有酚羟基,可游离出 H^+ ^[20],同时 SAEW 能抑制微生物生长,降低氨等碱性氮化合物的积累,延缓样品 pH 值上升,达到较好的保鲜效果。

TVB-N 是指在腐败微生物和内源酶的作用下,动物性食品中的蛋白质分解产生的氨与胺类等碱性含氮物质。参照 GB 2733—2015 的《鲜、冻动物性水产品》^[22],TVB-N 值 $< 15 \text{ mg N}/100\text{g}$ 为一级鲜度,TVB-N 值 $> 30 \text{ mg N}/100\text{g}$ 为不可食用。新鲜鲈鱼片的 TVB-N 值为 $(11.14 \pm 0.42) \text{ mg N}/100\text{g}$ (图 2-b)。贮藏初期,各组样品的 TVB-N 值增长缓慢且差异不显著($P > 0.05$)。可能由于微生物在初期未适应环境,繁殖较慢。第 8 天时,CK 组样品的 TVB-N 值迅速升至 $(20.13 \pm 0.35) \text{ mg N}/100\text{g}$,这是因为微生物代谢与酶促反应导致鱼肉中的蛋白质降解,生成大量胺类物质,导致其 TVB-N 值急剧升高^[21]。而 SAEW 组、RE 组与 SAEW + RE 组样品的 TVB-N 值仍保持在较低水平。可见,SAEW 的抑菌性^[4]和 RE 对内源酶活性的抑制作用导致非蛋白化合物的氧化脱氨基速度减慢,有效抑制细菌生长和酶活性,延缓鱼肉的腐败变质^[23]。在贮藏后期,SAEW + RE 组样品 TVB-N 值的增长速率显著低于单处理组($P < 0.05$),其中,SAEW 组和 RE 组在第 14 天时其 TVB-N 值超过腐败限值,而 SAEW + RE 组直到 16 d 才达到不可食用范围,这与微生物变化结果一致。结果表明,SAEW + RE 处理能明显延缓鲈鱼片冷藏期间 TVB-N 值的上升。

2.3 TBA 值

鱼肉中所富含的不饱和脂肪酸氧化时会产生 MDA,TBA 值可用来测定以 MDA 为代表的二级氧化产物量,是反映脂肪氧化酸败程度的常用指标^[24]。

如图 3 所示,各处理组样品的 TBA 值均保持上升趋势,其中 CK 组样品的上升幅度最大,在贮藏 10 d 时 TBA 值达 $(0.80 \pm 0.03) \text{ mg MDA}/100\text{g}$,而 SAEW 组、RE 组与 SAEW + RE 组样品的 TBA 值分别为 (0.63 ± 0.02) 、 (0.59 ± 0.01) 与 $(0.49 \pm 0.02) \text{ mg MDA}/100\text{g}$,均保持在较低水平。由此表明,SAEW 和 RE 处理能

明显延缓样品的脂肪氧化速率,该变化趋势与菌落总数一致。其中,SAEW + RE 组样品在第 1 天时的 TBA 值显著低于 SAEW 组($P < 0.05$),可能由于 RE 中的抗氧化活性物质能替代自由基与氧化的脂肪酸结合,达到抑制脂肪氧化效果。该结果与 KENAR 等^[10]结果相似。

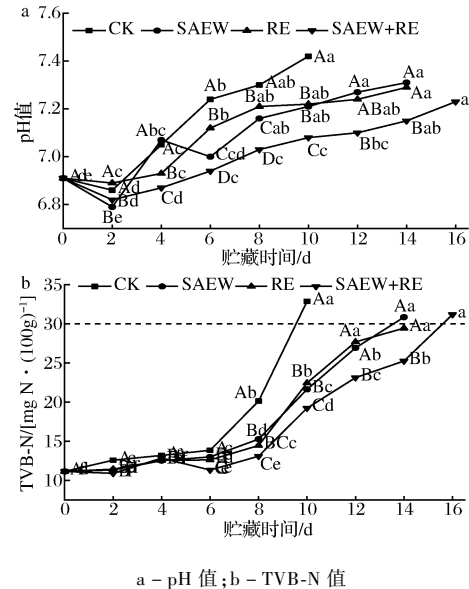


图 2 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中 pH 值、TVB-N 值变化影响

Fig. 2 Changes in pH and TVB-N value in *Lateolabrax japonicus* fillets with different treatments during refrigerated storage

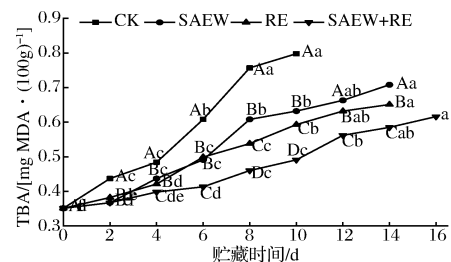


图 3 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中 TBA 值变化影响

Fig. 3 Changes in TBA value in *Lateolabrax japonicus* fillets with different treatments during refrigerated storage

2.4 TPA 值

水产品死后在微生物和内源酶的作用下,使其肌肉肉质构发生变化,引起肌肉软化、硬度下降、口感变差,继而发生腐败变质^[2]。因此,TPA 可用于表征水产品的肌肉品质变化。

如表 2 所示,各组样品在贮藏过程中的硬度、弹性和咀嚼性均呈下降趋势。水产品死后僵直期硬度会有所上升,随着微生物繁殖和肌原纤维蛋白降解,鱼肉质构发生变化。新鲜鲈鱼片样品的初始硬度、弹性与咀嚼性值分别为 $(3\ 294.01 \pm 547.27) \text{ g}$ 、

0.53 ± 0.03 与 1 174.64 ± 222.07,第 10 天时,CK 组样品的硬度、弹性与咀嚼性值分别降至(2 355.38 ± 292.25) g、0.42 ± 0.02 与 678.37 ± 42.11。与 RE 和 SAEW + RE 处理组样品相比,其降幅明显,而 SAEW 组样品的弹性与 CK 组无显著差异($P < 0.05$),冯豪杰等^[25]用 SAEW 处理暗纹东方鲀也得到类似结果。

SAEW + RE 组样品在贮藏期间的 TPA 值保持在较低水平,可能由于 SAEW 和 RE 溶液结合处理能更好抑制细菌增殖与组织蛋白酶、内源酶活性,使鱼肉的蛋白质成分维持相对稳定,较好保持其食用品质^[4, 23]。这与 YAN 等^[12]研究结果一致。

表 2 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中质构变化影响

Table 2 Changes in TPA in *Lateolabrax japonicus* fillets with different treatments during refrigerated storage

| 指标 | 贮藏时间/d | CK | SAEW | RE | SAEW + RE |
|-------|--------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 硬度值/g | 0 | 3 294.01 ± 547.27 ^{Aa} | 3 294.01 ± 547.27 ^{Aa} | 3 294.010 ± 547.27 ^{Aa} | 3 294.01 ± 547.27 ^{Aa} |
| | 2 | 3 808.36 ± 466.60 ^{Ca} | 4 268.97 ± 94.76 ^{Aa} | 4 081.710 ± 165.99 ^{Ba} | 4 225.45 ± 371.13 ^{Aa} |
| | 4 | 2 958.09 ± 631.37 ^{Db} | 3 752.70 ± 255.83 ^{Ba} | 3 269.513 ± 115.03 ^{Cab} | 3 869.11 ± 365.54 ^{Aa} |
| | 6 | 3 413.06 ± 137.88 ^{Cab} | 3 126.62 ± 297.60 ^{Db} | 3 536.630 ± 458.16 ^{Bab} | 4 151.42 ± 136.02 ^{Aa} |
| | 8 | 2 775.22 ± 161.47 ^{Db} | 2 993.16 ± 145.02 ^{Ba} | 2 841.860 ± 328.76 ^{Ca} | 3 024.25 ± 808.83 ^{Aa} |
| | 10 | 2 355.38 ± 292.25 ^{Db} | 2 619.76 ± 451.03 ^{Cab} | 2 749.530 ± 198.42 ^{Bab} | 2 938.69 ± 109.95 ^{Aa} |
| | 12 | | 1 957.24 ± 186.25 ^{Bb} | 1 871.920 ± 224.54 ^{Cb} | 2 332.24 ± 428.12 ^{Aa} |
| | 14 | | 1 655.38 ± 292.25 ^{Bb} | 1 594.320 ± 129.31 ^{Cb} | 1 868.27 ± 144.172 ^{Aa} |
| | 16 | | | | 1 678.34 ± 104.59 ^a |
| | 0 | 0.53 ± 0.03 ^{Aa} | 0.53 ± 0.03 ^{Aa} | 0.530 ± 0.03 ^{Aa} | 0.53 ± 0.03 ^{Aa} |
| | 2 | 0.51 ± 0.02 ^{Ba} | 0.56 ± 0.07 ^{Aa} | 0.520 ± 0.03 ^{Ba} | 0.51 ± 0.04 ^{Ba} |
| | 4 | 0.54 ± 0.03 ^{Aa} | 0.50 ± 0.05 ^{Ba} | 0.560 ± 0.01 ^{Aa} | 0.48 ± 0.05 ^{Ba} |
| | 6 | 0.46 ± 0.05 ^{Ba} | 0.43 ± 0.01 ^{Ca} | 0.490 ± 0.07 ^{Aa} | 0.49 ± 0.01 ^{Aa} |
| | 8 | 0.43 ± 0.08 ^{Cb} | 0.45 ± 0.07 ^{BCab} | 0.490 ± 0.01 ^{Ba} | 0.53 ± 0.06 ^{Aa} |
| | 10 | 0.42 ± 0.02 ^{Bb} | 0.45 ± 0.03 ^{Ba} | 0.450 ± 0.02 ^{Ba} | 0.51 ± 0.03 ^{Aa} |
| | 12 | | 0.47 ± 0.01 ^{Aa} | 0.460 ± 0.05 ^{Aa} | 0.49 ± 0.05 ^{Aa} |
| 弹性值 | 14 | | 0.43 ± 0.04 ^{Aa} | 0.420 ± 0.03 ^{Aa} | 0.45 ± 0.01 ^{Aa} |
| | 16 | | | | 0.41 ± 0.05 ^a |
| 咀嚼性值 | 0 | 1 174.64 ± 222.07 ^{Aa} | 1 174.64 ± 222.07 ^{Aa} | 1 174.640 ± 222.07 ^{Aa} | 1 174.64 ± 222.07 ^{Aa} |
| | 2 | 998.48 ± 203.05 ^{Db} | 1 322.48 ± 140.16 ^{Ba} | 1 197.160 ± 66.74 ^{Cab} | 1 653.48 ± 107.40 ^{Aa} |
| | 4 | 1 521.49 ± 557.64 ^{Ba} | 1 736.27 ± 134.75 ^{Aa} | 1 271.350 ± 40.15 ^{Cb} | 1 234.74 ± 189.04 ^{Cb} |
| | 6 | 1 052.96 ± 478.73 ^{Bb} | 918.27 ± 120.36 ^{Cb} | 1 385.650 ± 209.49 ^{Aa} | 1 375.34 ± 70.68 ^{Aa} |
| | 8 | 765.46 ± 10.26 ^{Cb} | 959.94 ± 59.06 ^{Ba} | 967.765 ± 145.83 ^{Aa} | 968.78 ± 367.03 ^{Aa} |
| | 10 | 678.37 ± 42.11 ^{Db} | 843.49 ± 181.03 ^{Ca} | 854.950 ± 76.81 ^{Ba} | 923.46 ± 52.01 ^{Aa} |
| | 12 | | 688.82 ± 134.38 ^{Ba} | 653.670 ± 15.77 ^{Ca} | 811.19 ± 34.39 ^{Aa} |
| | 14 | | 579.63 ± 458.23 ^{Ba} | 550.190 ± 65.71 ^{Ca} | 679.06 ± 88.97 ^{Aa} |
| | 16 | | | | 602.13 ± 112.56 ^a |

注:表中数值为平均值 ± 标准差;同一贮藏时间、不同处理组大写字母不同表示差异显著($P < 0.05$);同一处理组、不同贮藏时间小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)(下同)

2.5 感官评价

感官品质是衡量水产品鲜度的重要评价指标。通常可由样品体表、气味与质地变化反映其品质。如图 4 所示,随着贮藏时间的延长,各处理组的感官分值均明显下降,CK 组样品的感官分值显著低于其他处理组($P < 0.05$),处理组样品的感官品质变化速率低于 CK 组,可能由于 SAEW 和 RE 的抑菌性与抗氧化作用有关。此外,由于 SAEW 的 pH 值接近中性,不会对食品的感官品质造成不良影响^[3]。CK 组样品在贮藏第 10 天时,产生强烈异味,发生色变,感官

评分达到不可接受水平;而处理组样品稍有异味,体表光泽度较好,尤其是 SAEW + RE 组样品的气味与质地较优,说明两者对改善鱼肉感官品质可能存在协同效应。结果表明,SAEW + RE 结合处理能有效改善鲈鱼片的感官性状,延长其贮藏品质。

2.6 持水力

持水力是衡量肌肉组织持水性能的重要指标,其反映样品以物理方式截留水的能力,持水力可表征肌肉组织的受损程度^[26]。肌肉组织受损越严重,持水力越小,水产品腐败速度越快。

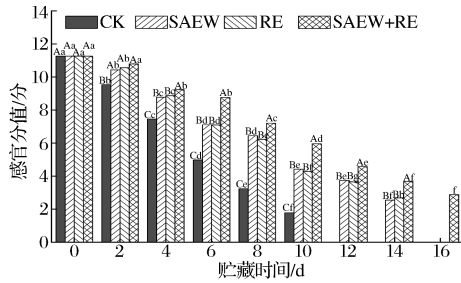


图4 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中感官分值变化影响

Fig. 4 Sensory scores of *Lateolabrax japonicas* filets with different treatments during refrigerated storage

如图5所示,新鲜鲈鱼片的持水力为 $(76.68 \pm 0.89)\%$ 。各组样品的持水力随贮藏时间的延长呈下降趋势,其中CK组降幅最明显。可能由于肌肉组织的分解反应导致鱼肉蛋白质的分解变性,使其不能与回渗的水分进行水合作用,导致鱼肉的持水性能相应减弱^[27]。CK组、SAEW组、RE组和SAEW+RE组样品在贮藏第10天时的持水力较初始值分别降低了30.63%、20.86%、19.45%和16.19%,各处理组的持水力均高于CK组。SAEW可较好保持其肌肉纤维的完整性,延缓肌肉的水分流失^[28]。RE中含有存在酚羟基结构的酚类物质,在与水、蛋白质形成氢键后使凝胶结构增强,组织间隙的汁液不易流失^[27]。其中,SAEW+RE组样品持水力在整个贮藏期间均保持最高水平,表明SAEW与RE协同处理能延缓鲈鱼片的持水力的下降,保持其良好品质。

2.7 LF-NMR 与 MRI

LF-NMR 技术主要通过分析横向弛豫时间 T_2 来反映样品中的水分状态。 T_2 图谱显示的3个峰分别代表鲈鱼肌肉中的结合水 T_{21} 、不易流动水 T_{22} 和自由水 T_{23} 3种不同水分流动状态^[29]。其中,自由水 T_{23}

存在于肌原纤维外的间隙中,其含量升高会促进微生物滋生、可溶性溶质溶解和酶的活性,是影响食品品质的重要因素^[30]。

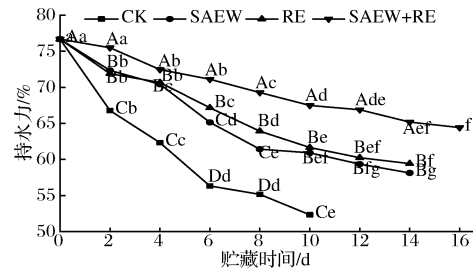


图5 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中持水力变化影响

Fig. 5 Changes in water holding capacity in *Lateolabrax japonicas* filets with different treatments during refrigerated storage

由表3可知,第0天样品的 T_{22} 占总水分含量的96.84%,而 T_{21} 与 T_{23} 含量较少,表明新鲜鱼样中的主要水分状态为不易移动水。随着贮藏时间的延长,各处理组样品的 T_{21} 变化趋势不明显,可能由于这部分结合水不太受机械压力和微观结构的影响,能与蛋白质大分子结合牢固^[25]。各处理样品的 T_{22} 随贮藏时间逐渐降低, T_{23} 逐渐增加。这是由于鱼体在僵直过程中,酶和微生物使鱼肉的蛋白质、肌原纤维的结构受到破坏,使细胞内的不易流动水游离出来转化为自由水,以保持细胞内部水分平衡^[31]。同时,肌肉中的水分状态会影响水产品的硬度、弹性、嫩度与口感等质量指标^[32]。在第10天时,CK组的 T_{22} 含量低至67.41%, T_{23} 含量高达30.36%,水分的流动性升高,加速微生物的生长繁殖,品质随之下降。而处理组的 T_{22} 含量均保持在70%以上,且在贮藏期间 T_{23} 含量始终低于CK,表明SAEW和RE处理能抑制微生物生长代谢,保持肌肉组织结构的完整性,从而提高样品贮藏期间的保水性能。

表3 不同处理方式对鲈鱼片冷藏过程中各组分水分比例

单位: %

Table 3 Changes in percentage of T_{2i} in *Lateolabrax japonicas* filets with different treatments during refrigerated storage

| 水分含量 | 组别 | 贮藏时间/d | | | | | | | | |
|----------|-----------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| P_{21} | CK | 2.15 ^{Ad} | 2.65 ^{Ac} | 2.63 ^{Ac} | 3.15 ^{Aa} | 2.97 ^{Ab} | 2.23 ^{ABd} | — | — | — |
| | SAEW | 2.15 ^{Ac} | 2.56 ^{ABa} | 2.59 ^{Aa} | 2.57 ^{ABa} | 2.42 ^{Bb} | 2.32 ^{Ab} | 1.97 ^{Bd} | 2.34 ^{Ab} | — |
| | RE | 2.15 ^{Ab} | 2.44 ^{Bab} | 2.61 ^{Aab} | 2.89 ^{ABa} | 2.17 ^{Cb} | 2.24 ^{ABb} | 2.31 ^{Aab} | 2.41 ^{Aab} | — |
| | SAEW + RE | 2.15 ^{Ac} | 2.28 ^{Cb} | 1.98 ^{Bd} | 2.42 ^{Ca} | 2.38 ^{Bab} | 2.11 ^{Bc} | 1.86 ^{Be} | 2.13 ^{Bc} | 2.31 ^{ab} |
| P_{22} | CK | 96.84 ^{Aa} | 94.23 ^{Bb} | 90.80 ^{De} | 86.06 ^{Dd} | 78.40 ^{De} | 67.41 ^{Df} | — | — | — |
| | SAEW | 96.84 ^{Aa} | 95.13 ^{ABb} | 91.83 ^{Cc} | 88.45 ^{Bd} | 81.55 ^{Be} | 77.53 ^{Bf} | 72.76 ^{Bg} | 65.84 ^{Bh} | — |
| | RE | 96.84 ^{Aa} | 94.67 ^{Bb} | 92.46 ^{Bc} | 87.17 ^{Cd} | 80.42 ^{Ce} | 75.14 ^{Cf} | 72.65 ^{Bg} | 63.53 ^{Ch} | — |
| | SAEW + RE | 96.84 ^{Aa} | 95.57 ^{Ab} | 93.42 ^{Ac} | 89.47 ^{Ad} | 85.56 ^{Ae} | 82.16 ^{Af} | 76.31 ^{Ag} | 72.01 ^{Ah} | 68.02 ^f |
| P_{23} | CK | 1.01 ^{Af} | 3.12 ^{Ac} | 6.57 ^{Ad} | 10.79 ^{Ac} | 18.63 ^{Ab} | 30.36 ^{Aa} | — | — | — |
| | SAEW | 1.01 ^{Ah} | 2.31 ^{ABg} | 5.57 ^{Bf} | 8.99 ^{BCe} | 16.02 ^{Bd} | 20.15 ^{Ce} | 25.27 ^{Ab} | 31.82 ^{Ba} | — |
| | RE | 1.01 ^{Ah} | 2.89 ^{Ag} | 4.93 ^{Cf} | 9.94 ^{Be} | 17.41 ^{ABd} | 22.62 ^{Bc} | 25.04 ^{Ab} | 34.05 ^{Aa} | — |
| | SAEW + RE | 1.01 ^{Al} | 2.16 ^{Bh} | 4.61 ^{Cg} | 8.11 ^{Cf} | 12.07 ^{Ce} | 15.73 ^{Dd} | 21.84 ^{Bc} | 25.87 ^{Cb} | 29.67 ^a |

注: P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23} 分别为水分 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 所占比例; — 表示样品已腐败,无数据

MRI 可通过图像的亮暗反映样品的水分含量及分布;该图像采用的是 ^1H 质子密度加权伪彩图。一般而言,MRI 图像中的红色代表高质子密度区域,即该部分的水含量较高^[29]。

由图 6 可知,在贮藏过程中,不同组别样品的 MRI 图像逐渐由鲜红色转变为暗黄色,CK 组样品成像亮度的衰减程度较处理组快,表明鱼肉肌肉失水,导致鱼肉腐败。张溪等^[24] 在用 SAEW 对南美白对虾进行保鲜的研究中发现,SAEW 可减缓不易流动水转移为自由水的速率。其中,实验结果与 LF-NMR 的变化一致,表明 SAEW、RE 及 SAEW + RE 处理均能延缓细胞中水分移动及自由水生成速率,其中以 SAEW + RE 处理的作用效果最为显著,说明 SAEW + RE 能有效延长鲈鱼的贮藏期。

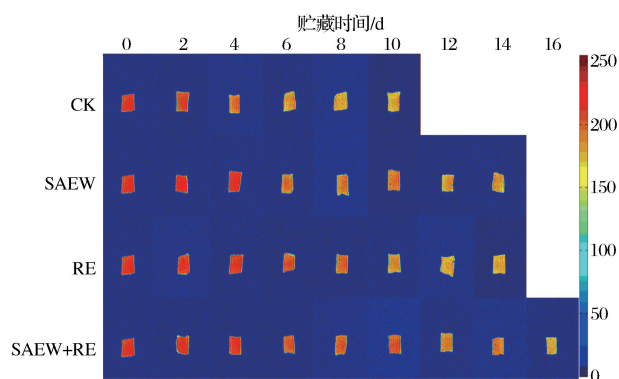


图 6 不同处理方式鲈鱼片冷藏期间的核磁共振成像图

Fig. 6 Pseudo color of ^1H -MRI of *Lateolabrax japonicus* fillets with different treatments during refrigerated storage

3 结论

与 CK 组样品相比,SAEW + RE 联合处理可有效延缓鲈鱼片在冷藏期间的微生物、pH、TVB-N、TPA 等指标升高,减缓 TBA 值的上升,抑制其脂肪氧化,改善产品的感官品质。同时,还能减缓其贮藏期间的水分流失。其中,CK、SAEW、RE 与 SAEW + RE 组样品的冷藏货架期分别为 10、14、14 和 16 d。与 CK 相比,SAEW 与 5.0 g/L RE 联合处理使鲈鱼片的冷藏货架期延长 6 d。因此,SAEW 与 RE 结合,可充分发挥其抑菌和抗氧化作用,使 SAEW 保鲜技术在鲈鱼流通中得到有效应用,在水产品保鲜中具有一定应用前景。

参 考 文 献

[1] 李颖畅,刘明爽,李乐,等. 蓝莓叶多酚对冷藏鲈鱼品质的影响

[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2):120-125.

LI Y C, LIU M S, LI L, et al. Effect of polyphenols from blueberry leaves on weever quality during cold storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(2):120-125.

[2] NAKAZAWA N, OKAZAKI E. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood[J]. Fisheries Science, 2020, 86(2):231-244.

[3] 戚铭,罗自生,王蕾,等. 微酸性电解水在食品保鲜消毒领域的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(12):3795-3802.

QI M, LUO Z S, WANG L, et al. Application of slightly acidic electrolyzed water in food preservation and disinfection[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(12):3795-3802.

[4] HUSSAIN M S, KWON M, TANGO C N, et al. Effect of electrolyzed water on the disinfection of *Bacillus cereus* biofilms: The mechanism of enhanced resistance of sessile cells in the biofilm matrix[J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(5):860-869.

[5] 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.

YU F T. Study on sterilization and preservation of tilapia fillets using slightly acidic electrolyzed water[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.

[6] CANN Ö P, YALCIN H, ARSLAN A. Effects of chitosan coating and rosemary oil on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, W. 1792) filets[J]. Indian Journal of Animal Research, 2016 (OF). DOI: 10.18805/ijar.v0i0f.6820.

[7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2760—2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, the State Food and Drug Administration. GB 2760—2014 national standard for food safety standard for use of food additives[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2014.

[8] OJEDA-SANA A M, VAN BAREN C M, ELECHOSA M A, et al. New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components[J]. Food Control, 2013, 31(1):189-195.

[9] 孙长花, 丁娟芳, 王君, 等. 迷迭香提取液的抑菌作用及稳定性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(11):42-45.

SUN C H, DING J F, WANG J, et al. Study on antibacterial effect and stability of rosemary extract[J]. China Cordiment, 2020, 45(11):42-45.

[10] KENAR M, ÖZGÜL F, KULEY E. Effects of rosemary and sage tea extracts on the sensory, chemical and microbiological changes of vacuum-packed and refrigerated sardine (*Sardina pilchardus*) fillets[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(11):2366-2372.

[11] FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, ZHI N, ALESÓN-CARBONELL L, et al. Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: Application in beef meat balls[J]. Meat Science, 2005, 69(3):371-380.

[12] 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: 106820.

[13] LINHARTOVÁ Z, LUNDA R, DVOŘÁK P, et al. Influence of rosemary extract (*Rosmarinus officinalis*) Inolens to extend the

- shelf life of vacuum-packed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored under refrigerated conditions[J]. Aquaculture International, 2019, 27(3):833–847.
- [14] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.2—2016 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- State Food and Drug Administration, National Health and Family Planning Commission. GB 4789.2—2016 National standard for food safety: food microbiological inspection-determination of total number of colonies[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2016.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.237—2016 食品安全国家标准食品 pH 值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. GB 5009.237—2016 Food safety-determination of pH value of food of national standard[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2016.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 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]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. GB 5009.228—2016 National Standard for food safety-determination of volatile base nitrogen in food[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2016.
- [17] SUN X Y, GUO X B, JI M Y, et al. Preservative effects of fish gelatin coating enriched with CUR/ β CD emulsion on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2019, 272:643–652.
- [18] 汪经邦, 李沛韵, 谢晶, 等. 不同贮藏温度对暗纹东方鲀水分迁移、质构和色泽的影响及其货架期预测[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6):73–81.
- WANG J B, LI P Y, XIE J, et al. Effects of different temperatures on moisture migration, texture and color of *Takifugu obscurus* during storage and the prediction of shelf-life[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6):73–81.
- [19] DONG Z, XU F J, AHMED I, et al. Characterization and preservation performance of active polyethylene films containing rosemary and cinnamon essential oils for Pacific white shrimp packaging[J]. Food Control, 2018, 92:37–46.
- [20] ORTUÑO J, SERRANO R, BAÑÓN S. Incorporating rosemary diterpenes in lamb diet to improve microbial quality of meat packed in different environments[J]. Animal Science Journal, 2017, 88(9):1436–1445.
- [21] LI T T, HU W Z, LI J R, et al. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Control, 2012, 25(1):101–106.
- [22] 中华国家卫生和计划生育委员会. GB2733—2015 食品安全国家标准——鲜、冻动物性水产品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- National Health and Family Planning Commission. GB2733—2015 National standard for food safety: fresh and frozen animal aquatic products[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2015.
- [23] 武苗苗, 李晨辉, 董汝月, 等. 壳聚糖/迷迭香提取物纳米粒的制备及其对冷藏草鱼蛋白氧化的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(6):11–17.
- WU M M, LI C H, DONG R Y, et al. Preparation of chitosan/rosemary extract nanoparticles and their effects on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) protein oxidation during cold storage[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2018, 8(6):11–17.
- [24] 张溪, 蓝蔚青, 迪丽菲拉·库尔班, 等. 不同减菌预处理对鲜南美白对虾虾仁冷藏期间品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(12):158–165.
- ZHANG X, LAN W Q, KUERBAN D, et al. Effects of different sterilization pretreatments on the quality of freshly peeled shrimps (*Litopenaeus vannamei*) during refrigerated storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(12):158–165.
- [25] 冯豪杰, 蓝蔚青, 刘大勇, 等. 不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(7):210–217.
- FENG H J, LAN W Q, LIU D Y, et al. Effects of different sterilization treatments on the quality of puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage[J]. Food Science, 2020, 41(7):210–217.
- [26] 欧帅, 赵峰, 邹朝阳, 等. 不同冻结方式对大菱鲆鱼片冻藏过程中品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24):188–195.
- OU S, ZAO F, ZOU C Y, et al. Effects of different freezing methods on quality changes during the frozen storage of turbot fillets[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(24):188–195.
- [27] 张楠楠, 蓝蔚青, 黄夏, 等. 迷迭香复配液对大黄鱼冰藏品质及水分迁移的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(7):247–253.
- ZHANG N N, LAN W Q, HUANG X, et al. Effect of rosemary extract and ϵ -polylysine blend on the quality and moisture migration of large yellow croaker during ice storage[J]. Food Science, 2019, 40(7):247–253.
- [28] GHORBAN SHIROODI S, 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.
- [29] ZHU Y Y, ZHANG L, LIN Z Y, et al. Effects of cold air dehydration on icefish water dynamics and macromolecular oxidation measured by low-field nuclear magnetic resonance and magnetic resonance imaging[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(2):736–746.
- [30] QIN N, ZHANG L T, ZHANG J B, et al. Influence of lightly salting and sugaring on the quality and water distribution of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during super-chilled storage[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 215:104–112.
- [31] LI N, SHEN Y, LIU W R, et al. Low-field NMR and MRI to analyze the effect of edible coating incorporated with MAP on qualities of half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* günther) fillets during refrigerated storage[J]. Applied Sciences, 2018, 8(8):1391.
- [32] 王尊, 谢晶, 钱韻芳. 带鱼冷藏过程中品质变化与水分迁移的相关性[J]. 食品科学, 2017, 38(13):257–262.
- WANG Z, XIE J, QIAN Y F. Correlation between quality change and moisture migration of *Trichiurus haumela* during cold storage[J]. Food Science, 2017, 38(13):257–262.

Effects of slightly acidic electrolyzed water combined rosemary extract on the quality change of sea bass fillets (*Lateolabrax japonicas*) during refrigerated storage

WU Yi¹, LAN Weiqing^{1,2*}, LIU Jiali¹, GUAN Yuan¹, ZHANG Xi¹, XIE Jing^{1,2*}

1(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China) 2(Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT The aim of his study was to investigate the effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) combined with rosemary extract (RE) on the quality changes of sea bass fillets (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage. Samples were randomly divided into four groups, which were treated with SAEW [pH = 6.35 ± 0.04, ORP = (861.60 ± 12.35) mV, ACC = (30.00 ± 1.54) mg/L], 5.0 g/L RE and SAEW + RE (treated with SAEW for 5 min and immersed with 5.0 g/L RE for 5 min) for 10 min, respectively. The control group (CK) was treated with sterile water for 10 min. Then they were drained, put into PE bags and stored at 4 °C. Different parameter, such as microbial [total viable count (TVC), *psychrophilic* bacteria count (PBC)], physicochemical [pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA), texture profile analysis (TPA)] and sensory evaluation. which also combined with water holding capacity (WHC), low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) and magnetic resonance image (MRI) detection respectively at 2-days interval for the evaluation. The results showed that SAEW had a significant inhibitory effect on microbial growth and RE treatment could reduce the lipid oxidation rate of samples. After SAEW + RE treatment, the increase of TVC, PBC, pH and TVB-N value were significantly inhibited, the rise of TBA value was retard and the good sensory quality was also maintained. Combined with the results of WHC, LF-NMR and MRI analysis, slightly acidic electrolyzed water combined with 5.0 g/L rosemary extract treatment can effectively improve the WHC of *Lateolabrax japonicus* fillets. Compared with the CK group, the shelf life of *Lateolabrax japonicus* fillets could be prolonged for another 6 days by SAEW + RE.

Key words slightly acidic electrolyzed water; rosemary extract; sea bass; refrigerated storage; quality changes

(上接第 46 页)

Changes of fatty acids and health assessment index of yak ghee during storage

YANG Jing^{1,2}, LIANG Qi^{1,2*}, SONG Xuemei^{1,2}, ZHANG Yan^{1,2}

1(College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

2(Functional Dairy Product Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT To explore the fatty acid composition, functional active fatty acids and health index changes of yak ghee during storage by measuring the fatty acid status of yak ghee in Qinghai Tibet Plateau, four health indexes of atherosclerosis index (AI), thrombosis index (TI), health promoting index (HPI) and hypocholesterolemia/hypercholesterolemia ratio (HH) were used for the evaluation. Yak ghee from Haibei Tibetan Autonomous Prefecture of Qinghai province and Gannan Tibetan Autonomous Prefecture of Gansu province was stored at 4 °C for 0, 1, 2, 3, 4 and 5 months, and the fatty acids were analyzed by GC-MS. The results showed that palmitic acid, oleic acid and stearic acid were the dominant fatty acids in yak shortening during the storage period. The relative contents of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in Haibei and Gannan shortening were 5.99% - 4.62% and 7.77% - 6.60%, and the monounsaturated fatty acids (MUFA) contents were 28.61% - 26.42% and 29.51% - 26.95% respectively. Compared with fresh shortening, Odd Carbon Fatty Acids (OCFA) in Gannan shortening decreased significantly ($P < 0.05$) by 0.5%. Trans-10-C18:1, docosapentenoic acid (DPA) and conjugated linoleic acid (CLA) were detected in Haibei and Gannan ghee, and they were still at high levels at the end of the storage which were (7.13 ± 0.01)%, (0.12% ± 0.01)%, (4.04 ± 0.01)% and (8.98 ± 0.08)%, (0.10 ± 0.00)% and (6.66 ± 0.13)% respectively. With the extension of storage period, n-3 and n-6 fatty acids decreased significantly ($P < 0.05$) accompanied with AI and TI significantly ($P < 0.05$) increased, and HPI and HH significantly ($P < 0.05$) decreased. However, fresh milk fat was still at a higher level compared with buffalo and Holstein. Meanwhile, the kinds and contents of fatty acids in yak ghee showed dynamic changes. By the end of the storage period, the relative contents of multiple functional fatty acids were still higher than those in Buffalo and Holstein milk fat. According to the evaluation of health index, the index of yak ghee was higher than that in Buffalo and other ruminant milk fat after 5 months of storage.

Key words yak ghee; storage; fatty acid; health index; assessment