



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20230082

胶原蛋白-茶多酚-肉桂精油涂膜对调理黑鱼鱼片品质的影响

张容, 白利荣, 霍栓, 李璐, 袁志宁, 郑捷
(天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 以黑鱼为原料制备调理黑鱼鱼片, 研究蒸馏水(CK组)、5%胶原蛋白(C1组)、5%胶原蛋白+0.4%茶多酚(C2组)、5%胶原蛋白+1.5%肉桂精油(C3组)和5%胶原蛋白+0.4%茶多酚+1.5%肉桂精油(C4组)涂膜处理对其在冷藏过程中品质的影响。结果表明: 在4℃密封冷藏条件下, 涂膜处理可以有效延缓调理黑鱼鱼片冷藏过程中菌落总数、挥发性盐基氮含量和硫代巴比妥酸值的增加, 维持调理黑鱼鱼片的 L^* 值、硬度和弹性等, 抑制肌原纤维蛋白含量、总巯基含量和 Ca^{2+} -ATPase活性的降低。CK组鱼片的菌落总数在冷藏9d时达到了 1.70×10^6 CFU/g, 而C4组鱼片的菌落总数在冷藏15d时为 1.91×10^6 CFU/g, 说明5%胶原蛋白+0.4%茶多酚+1.5%肉桂精油涂膜处理可以延长调理黑鱼鱼片保质期6~7d。这为调理黑鱼鱼片以及其他水产品的保藏提供了参考。

关键词: 胶原蛋白; 茶多酚; 肉桂精油; 调理黑鱼

中图分类号: S983; TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2024)02-0025-09

Effect of Collagen, Tea Polyphenols and Cinnamon Essential Oil Coating on Quality of Prepared Snakehead Fish Fillets

ZHANG Rong, BAI Lirong, HUO Shuan, LI Lu, YUAN Zhining, ZHENG Jie

(College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In our present study, the prepared snakehead fish fillets were prepared with the use of snakehead fish as raw material. The effects of coating treatments, including distilled water (Group CK), 5% collagen (Group C1), 5% collagen+0.4% tea polyphenols (Group C2), 5% collagen+1.5% cinnamon essential oil (Group C3), and 5% collagen+0.4% tea polyphenols+1.5% cinnamon essential oil (Group C4), on the quality of the prepared snakehead fish fillets during refrigeration were studied. The results showed that coating treatments could effectively delay the increase in the total bacterial count, volatile base nitrogen content, and thiobarbituric acid value of prepared snakehead fish fillets under the condition of sealed refrigeration at 4℃, maintain its L^* value, hardness and springiness, and inhibit the decrease of myofibrillar protein content, total sulfhydryl content and Ca^{2+} -ATPase activity. The total bacterial count of fish fillets of the Group CK reached 1.70×10^6 CFU/g when refrigerating 9 d, while that of Group C4 was 1.91×10^6 CFU/g when refrigerating 15 d, indicating 5% collagen+0.4% tea polyphenols+1.5% cinnamon essential oil treatment could extend shelf life of prepared snakehead fish fillets for 6-7 days. The results have provided a reference for the preservation of prepared snakehead fish fillets and other aquatic products.

Key words: collagen; tea polyphenols; cinnamon essential oil; prepared snakehead fish

引文格式:

张容, 白利荣, 霍栓, 等. 胶原蛋白-茶多酚-肉桂精油涂膜对调理黑鱼鱼片品质的影响[J]. 天津科技大学学报, 2024, 39(2): 16-24.

收稿日期: 2023-04-01; 修回日期: 2023-07-30

作者简介: 张容(1998—), 女, 湖南人, 硕士研究生; 通信作者: 郑捷, 正高级实验师, jane@tust.edu.cn

ZHANG R, BAI L R, HUO S, et al. Effect of collagen, tea polyphenols and cinnamon essential oil coating on quality of prepared snakehead fish fillets[J]. Journal of Tianjin university of science & technology, 2024, 39 (2) : 16-24.

黑鱼 (*Channa argus*), 学名乌鳢, 因外形似蛇, 故又名蛇头鱼, 是我国重要的养殖鱼类, 其年产量高达 51 万吨^[1]。黑鱼肉质细嫩、刺少、营养丰富, 因而深受国内外消费者的喜爱^[2]。目前, 市场上的黑鱼以鲜活售卖为主, 部分被加工成冷鲜鱼片或冷冻鱼片进行销售。随着消费者开始追求“懒人生活”, 对方便、安全、美味的食品需求越来越大, 调理水产品成为水产品加工的新风向。然而, 在内源酶和腐败微生物的作用下, 调理水产品在进行加工、运输和贮藏过程中极易腐败变质。因此, 采取一种高效的保鲜技术维持调理水产品的质量并延长其保质期是近年来国内外科研人员的研究重点之一。

胶原蛋白是脊椎动物的主要结构蛋白, 占蛋白质总量的 25% ~ 30%。胶原蛋白在以前主要来源于牛、羊和猪等的副产品, 如皮、骨头等, 然而宗教饮食习惯、口蹄疫以及其他传染性疾病预防了这类胶原蛋白的使用。因此, 来源于鱼类产品的胶原蛋白引起了研究人员的关注^[3-5]。由于单一胶原蛋白涂膜或涂层的抗菌和抗氧化性能较差, 因而通常在其中添加一些天然防腐剂, 如精油、溶菌酶和聚赖氨酸等, 以改善其整体性能^[6-7]。研究^[8]表明, 胶原蛋白-溶菌酶涂膜能显著抑制细菌的生长, 降低鲜三文鱼鱼片的总挥发性盐基氮 (TVB-N), 提高鲜三文鱼鱼片的货架期。

肉桂精油是从肉桂的叶、茎和树皮中提取的芳香油状液体, 其主要成分为肉桂醛 (约 98%), 其次为 α -水芹烯、芳樟醇和肉桂醇等。肉桂精油已被证明对细菌有抑制效果, 包括单核细胞增生李斯特氏菌、金黄色葡萄球菌和鼠伤寒沙门氏菌等^[9-11]。肉桂精油已被用于各类食品中以延长其保质期, 如鲤鱼^[12]、碎羊肉^[13]和辣椒^[14]等。

茶多酚是从茶叶中提取的一种多酚类化合物, 其主要成分为黄酮类、花色苷类、黄酮醇类、花白素类、酚酸及缩酚酸类, 其中黄酮类 (主要是儿茶素类化合物) 占茶多酚总量的 60% ~ 80%。由于其高抗氧化能力和防腐性能, 茶多酚常被用于医药和食品包装等各个领域^[15]。Wang 等^[16]的研究表明, 茶多酚能够有效抑制冷藏鲈鱼鱼片中的脂质氧化和微生物生长。

一些学者研究了胶原蛋白涂膜对鱼类产品贮藏品质的影响, 以期提高其货架期^[8,17]。茶多酚和肉桂精油的添加可能改善胶原蛋白复合涂膜的阻隔性和

抑菌保鲜效果。因此, 本研究通过制备调理黑鱼鱼片, 研究了 4 组不同的胶原蛋白涂膜液对调理黑鱼鱼片冷藏期品质的影响, 为胶原蛋白复合涂膜在调理黑鱼鱼片以及其他水产品冷藏保鲜中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

黑鱼购于天津金元宝农贸市场; 聚赖氨酸、乳酸链球菌素、茶多酚 (含量 $\geq 80\%$) 等均为食品级, 河南万邦化工科技有限公司; 鱼鳞胶原蛋白 (纯度为 97%), 西安聚生原生物科技有限公司; 肉桂精油 (纯度为 95%), 青岛川百汇香料萃取有限公司。

平板计数琼脂, 北京路桥技术股份有限公司; 氯化钠、氧化镁, 分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司; 三氯乙酸, 分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司; 硫代巴比妥酸 (TBA), 分析纯, 上海迈坤化工有限公司; 氯仿, 分析纯, 天津渤化化学试剂有限公司。

FA2204B 型电子天平, 上海佑科仪器仪表有限公司; SHP-160DA 型生化培养箱, 天津津立仪器设备有限公司; K9840 型自动凯式定氮仪, 山东海能科学仪器有限公司; Alpha-1502 型紫外-可见分光光度计, 上海谱元仪器有限公司; TA.XY. plus 型质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; MicroMR-25 型低场核磁分析仪 (LF-NMR), 苏州纽迈分析仪器股份有限公司; IS50 型傅里叶变换红外光谱仪 (FTIR), 美国 Thermo Fisher 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 调理黑鱼鱼片的制备

新鲜黑鱼 (质量为 1.5 ~ 2.0 kg) 从市场购买并运回实验室后立即宰杀, 刮掉鱼鳞, 去除内脏、头、尾和鱼骨, 将血水清洗干净后取两侧肌肉, 切成薄片 (3 cm \times 3 cm \times 1 cm)。切片后的鱼肉放入腌制液 (含有食盐 3.00%、焦磷酸钠 0.12%、三聚磷酸钠 0.12%、六偏磷酸钠 0.06%、聚赖氨酸 0.40% 和乳酸链球菌素 0.30%, 以上均以鱼肉质量计) 中腌制 30 min ($m : V = 1 : 2, 4^\circ\text{C}$), 沥干备用。

1.2.2 样品涂膜处理

将胶原蛋白 (5 g) 溶于蒸馏水 (100 mL) 中, 得到 5% 胶原溶液, 将 0.4% 茶多酚和 1.5% 肉桂精油分别加入胶原蛋白溶液并使其充分混合, 同时加入 1% 甘

油作为增塑剂,分组涂膜:蒸馏水(CK组)、5%胶原蛋白(C1组)、5%胶原蛋白+0.4%茶多酚(C2组)、5%胶原蛋白+1.5%肉桂精油(C3组)、5%胶原蛋白+0.4%茶多酚+1.5%肉桂精油(C4组)。将调理黑鱼鱼片置于涂膜液中浸渍10 min,在无菌台上沥干水分,用聚乙烯袋密封包装后置于4℃条件下冷藏,每隔3 d进行微生物指标、理化性质的测定和感官评价。

1.2.3 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[18]进行测定。

1.2.4 TVB-N 和 TBA 的测定

根据 Wang 等^[19]的方法,使用自动凯氏氮测定仪测定样品中的总挥发性盐基氮(TVB-N)。根据 Alirezalu 等^[20]的方法测定 TBA。

1.2.5 色泽的测定

使用色差仪测定样品的 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿度)和 b^* 值(黄蓝度),每组样品测量3次,取平均值。

1.2.6 质构的测定

参考陈澄^[21]的方法略有修改,使用质构仪测定调理黑鱼鱼片的质构特性,包括硬度、弹性、咀嚼性和回复性。将鱼片切成 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的均匀小块,置于 P/100 探头正下方,按照以下参数进行测定:测前速度、测定速度和测后速度分别为 3 mm/s、1 mm/s 和 3 mm/s,两次测试间隔时间为 5 s,压缩度为 50%,触发力为 5.0 g。每组样品测量3次,取平均值。

1.2.7 水分分布

参考 Wan 等^[22]的方法使用低场核磁分析仪(LF-NMR)测定调理黑鱼鱼片冷藏期的水分分布情况。

1.2.8 感官评价

由本实验室6名经过专业培训的专业人员,分别从调理黑鱼鱼片的色泽、气味、滋味和组织形态进行评分,评分不高于4分时表明鱼片已腐败变质。具体评分标准见表1。

表1 调理黑鱼鱼片感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation standard for prepared snakehead fish fillets

评价指标	感官评分/分			
	0~4	>4~6	>6~8	>8~10
色泽	色泽暗淡,无光泽	色泽较暗淡,略有光泽	色泽略暗淡,有光泽	色泽明亮,有光泽
气味	有酸败、腥臭味	鱼香味较淡,有轻微酸败味	鱼香味稍淡	有鱼香味
滋味	滋味差	滋味一般	滋味较好	鱼肉特有的滋味
组织形态	肌肉组织松散,表面发黏	肌肉组织松散,纹理模糊	肌肉组织较紧密,纹理较清晰	肌肉组织紧密完整,纹理清晰

1.2.9 肌原纤维蛋白的提取及其相关指标的测定

参考 Sun 等^[23]的方法略有修改。向绞碎鱼肉中加入质量体积比为 1:4 的 0.02 mol/L 磷酸盐缓冲液(含 0.1 mol/L 氯化钠、0.2 mol/L 磷酸二氢钠、0.2 mol/L 磷酸氢二钠, pH 7.0),使用均质机 8 500 r/min 均质 2 min,整个均质过程在冰浴中进行。均质后的匀浆在 4℃、8 000 r/min 的条件下离心 15 min,弃去上清液,沉淀按照以上步骤重复提取 3 次后,用 4 倍体积 0.1 mol/L 氯化钠溶液洗涤,然后用 4 层纱布过滤,滤液即为肌原纤维蛋白溶液。采用双缩脲法测定肌原纤维蛋白的含量。

参考 Yang 等^[24]的方法,采用 DTNB 法〔5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)法〕测定肌原纤维蛋白总巯基含量。

分别参考文献[25]和文献[26]的方法测定肌原纤维蛋白的 Ca^{2+} -ATPase 活性和表面疏水性。

使用傅里叶变换红外光谱仪测定肌原纤维蛋白的透光率曲线,通过 OMNIC 软件和 PeakFit 4.12 软件处理数据,分析肌原纤维蛋白二级结构相对含量的

变化。

1.3 数据处理

上述实验均重复测定 3 次,数据均以“平均值 ± 标准偏差”表示。采用 IBM SPSS Statistics 26 软件分析差异显著性,不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 调理黑鱼鱼片冷藏过程中菌落总数的变化

微生物和酶是影响水产品贮藏品质的两大重要因素。菌落总数反映了水产品贮藏过程中微生物的生长情况,因此常被用来判断水产品腐败变质的程度以及评价水产品的鲜度。调理黑鱼鱼片冷藏过程中菌落总数的变化如图 1 所示。

调理黑鱼鱼片的初始菌落总数为 1.35×10^3 CFU/g,符合鲜鱼的初始菌落总数范围 ($10^2 \sim 10^4$ CFU/g)^[27]。由图 1 可知,随着冷藏时间的增加,各组样品的菌落总数均逐渐增加。当冷藏 9 d 时,CK

组和 C1 组鱼片的菌落总数分别达到 1.70×10^6 CFU/g 和 1.23×10^6 CFU/g, 超过了鱼肉中微生物的最大可接受限值 (10^6 CFU/g), 而 C2 组、C3 组和 C4 组的菌落总数分别为 5.01×10^5 CFU/g、 1.15×10^5 CFU/g 和 2.88×10^4 CFU/g, 显著低于 CK 组和 C1 组 ($P < 0.05$)。这表明茶多酚和肉桂精油在胶原蛋白涂膜中具有较强的抑菌作用, 这与 Feng 等^[28]报道的茶多酚在胶原蛋白涂层中可抑制金鲷鱼片中微生物生长以及罗宁宁^[29]报道的含有肉桂精油的壳聚糖涂膜能够延缓贮藏期酱卤牛肉菌落总数增加的结果类似。

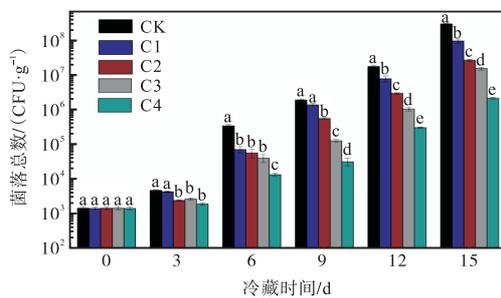


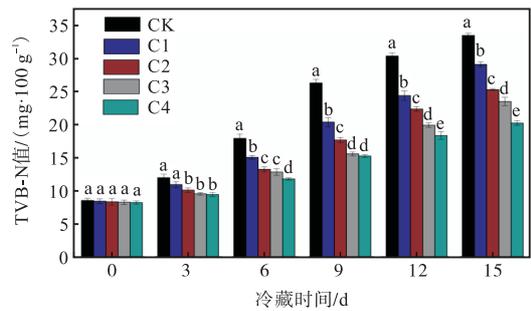
图 1 调理黑鱼鱼片冷藏过程中菌落总数的变化

Fig. 1 Changes in the total bacterial count of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

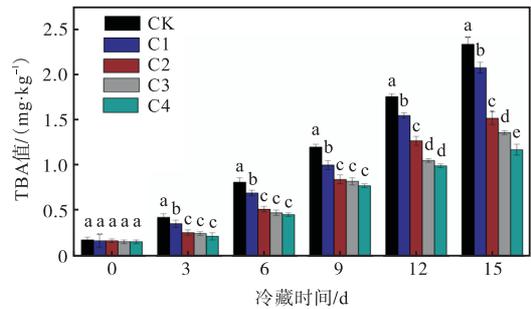
2.2 调理黑鱼鱼片冷藏过程中 TVB-N 值和 TBA 值的变化

调理黑鱼鱼片冷藏过程中 TVB-N 值和 TBA 值的变化如图 2 所示。由图 2 可知, 在冷藏过程中, 调理黑鱼鱼片的 TVB-N 值和 TBA 值均逐渐增加, 且 CK 组样品的增长速率最快。当冷藏 15 d 时, CK 组样品的 TVB-N 值和 TBA 值分别达到 33.37 mg/100 g 和 2.35 mg/kg, 经胶原蛋白涂膜处理样品的 TVB-N

值和 TBA 值均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), C2 组、C3 组和 C4 组显著低于 C1 组, 且 C4 组样品的 TVB-N 值和 TBA 值最低。这可能归因于肉桂精油的抑菌作用和茶多酚的抗氧化作用。另外, 经涂膜处理后的样品表面形成了一层薄膜, 在一定程度上隔绝了样品与氧气的接触, 抑制了脂肪的氧化^[30]。这与都津铭^[31]研究的丁香精油与茶多酚对带鱼的保鲜效果一致。



(a) TVB-N 值



(b) TBA 值

图 2 调理黑鱼鱼片冷藏过程中 TVB-N 值和 TBA 值的变化

Fig. 2 Changes in the TVB-N value and TBA value of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

2.3 调理黑鱼鱼片冷藏过程中颜色的变化

调理黑鱼鱼片冷藏过程中颜色的变化结果见表 2。

表 2 调理黑鱼鱼片冷藏过程中颜色的变化

Tab. 2 Changes in the color of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

色度	组别	数值					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
L^*	CK	48.7 ± 0.2^a	46.7 ± 0.2^a	44.8 ± 0.5^b	43.1 ± 0.5^b	41.5 ± 0.3^b	39.1 ± 0.5^c
	C1	48.7 ± 0.3^a	47.3 ± 0.5^a	45.7 ± 0.4^a	43.9 ± 0.5^{ab}	42.5 ± 0.3^a	41.6 ± 0.6^{ab}
	C2	48.6 ± 0.3^a	47.1 ± 0.7^a	46.0 ± 0.4^a	44.2 ± 0.3^a	42.9 ± 0.2^a	42.0 ± 0.3^a
	C3	48.5 ± 0.6^a	46.9 ± 0.6^a	46.0 ± 0.4^a	43.6 ± 0.6^{ab}	42.2 ± 0.7^{ab}	41.2 ± 0.2^b
	C4	48.8 ± 0.4^a	47.0 ± 0.6^a	45.9 ± 0.4^a	43.9 ± 0.4^{ab}	42.4 ± 0.6^{ab}	41.5 ± 0.4^{ab}
a^*	CK	-6.7 ± 0.3^a	-6.5 ± 0.3^a	-6.2 ± 0.1^a	-6.2 ± 0.5^a	-5.9 ± 0.6^a	-5.6 ± 0.7^a
	C1	-7.0 ± 0.2^a	-6.9 ± 0.3^a	-6.7 ± 0.3^{ab}	-6.5 ± 0.3^a	-6.0 ± 0.4^a	-5.8 ± 0.5^a
	C2	-7.1 ± 0.3^a	-6.9 ± 0.3^a	-6.9 ± 0.3^b	-6.6 ± 0.3^a	-6.2 ± 0.4^a	-6.2 ± 0.2^a
	C3	-6.8 ± 0.6^a	-6.6 ± 0.2^a	-6.4 ± 0.4^{ab}	-6.4 ± 0.6^a	-6.3 ± 0.3^a	-6.3 ± 0.3^a
	C4	-6.9 ± 0.1^a	-6.8 ± 0.4^a	-6.8 ± 0.2^b	-6.7 ± 0.1^a	-6.5 ± 0.2^a	-6.4 ± 0.4^a
b^*	CK	9.0 ± 0.2^a	8.6 ± 0.4^a	8.4 ± 0.2^b	9.7 ± 0.3^b	10.6 ± 0.2^b	11.5 ± 0.1^b
	C1	8.9 ± 0.1^a	8.5 ± 0.6^a	8.4 ± 0.2^b	10.2 ± 0.6^b	10.5 ± 0.5^{bc}	11.4 ± 0.4^b
	C2	8.7 ± 0.1^a	8.5 ± 0.4^a	8.5 ± 0.2^b	9.8 ± 0.4^b	9.9 ± 0.2^c	11.0 ± 0.3^b
	C3	9.2 ± 0.5^a	8.9 ± 0.5^a	13.7 ± 0.7^a	15.9 ± 0.3^a	17.7 ± 0.4^a	19.4 ± 0.5^a
	C4	9.4 ± 0.6^a	9.2 ± 0.2^a	14.2 ± 0.7^a	16.5 ± 0.4^a	18.4 ± 0.4^a	20.2 ± 0.6^a

由表 2 可知,随着冷藏时间的延长,各组样品的 L^* 值均呈下降趋势。冷藏后期,CK 组样品的 L^* 值显著低于其他处理组 ($P < 0.05$),其原因可能是经涂膜处理的样品表面形成了一层薄膜,且茶多酚的抗氧化作用和肉桂精油的抗菌作用可以防止蛋白质氧化或微生物作用生成的有害物质积累,从而延缓了鱼片表面颜色发生变化^[32]。在整个冷藏期间,各组样品的 a^* 值逐渐增加,且各组之间差异不显著 ($P > 0.05$); CK 组、C1 组和 C2 组样品的 b^* 值呈先下降后上升的趋势, C3 组和 C4 组样品的 b^* 值呈逐渐上升的趋势,其原因可能是肉桂精油本身呈黄色^[33]。

2.4 调理黑鱼鱼片冷藏过程中质构的变化

调理黑鱼鱼片冷藏过程中质构特性的变化如图

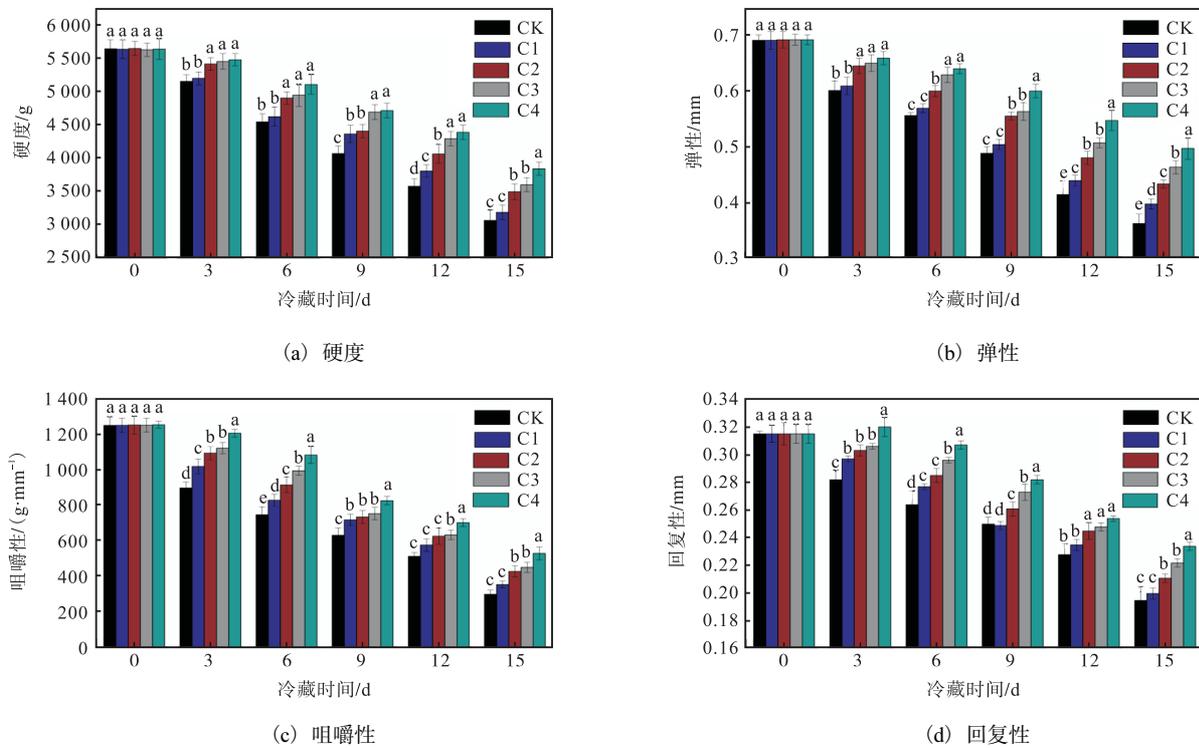


图 3 调理黑鱼鱼片冷藏过程中质构特性的变化

Fig. 3 Changes in the texture properties of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

2.5 调理黑鱼鱼片冷藏过程中水分分布的变化

调理黑鱼鱼片中结合水 (p_{T21})、不易流动水 (p_{T22}) 和自由水 (p_{T23}) 含量可通过峰面积计算得到,结果见表 3。由表 3 可知,冷藏开始时,各组样品中 p_{T22} 含量最高,其次是 p_{T21} , p_{T23} 含量最少,表明此时鱼片中的水分主要为不易流动水,结合水和自由水含量较低。在整个冷藏期内,各组样品中的 p_{T21} 和 p_{T22} 含量均呈下降趋势,而 p_{T23} 的含量呈增加趋势。这可能是由于肌原纤维蛋白发生了降解,导致肌原纤维结构遭到破坏,其内部结构之间的间隙变大,使不易流

3 所示。各组样品的硬度、弹性、咀嚼性和回复性总体上均随着冷藏时间的增加而下降。如图 3 (a) 所示,当冷藏 15 d 时,CK 组样品的硬度下降了 45.66%,而 C2 组、C3 组、C4 组样品分别下降了 38.08%、36.00% 和 31.87%,其下降速率显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。这可能是由于在微生物和内源酶的作用下,鱼肉中蛋白质的空间结构被破坏,从而使硬度下降^[34],而添加茶多酚和肉桂精油的胶原蛋白复合涂膜能够有效抑制微生物的生长和繁殖以及鱼肉中内源酶的活性,降低蛋白质空间结构被破坏的程度。这与杨华^[35]研究复合保鲜剂涂膜对三文鱼在冷藏过程中质构特性变化的结果一致。

动水转变为自由水^[36]。C2 组、C3 组和 C4 组样品的 p_{T22} 均显著高于 C1 组和 CK 组, p_{T23} 显著低于 C1 组和 CK 组 ($P < 0.05$),且 C4 组鱼片中各水分含量的变化小于 C2 组和 C3 组,这表明 C4 组的处理方法能够有效延缓水分迁移,维持鱼片的水分状态。

2.6 调理黑鱼鱼片冷藏过程中感官评分的变化

调理黑鱼鱼片冷藏过程中感官评分的变化如图 4 所示。新鲜调理黑鱼鱼片的感官评分为 9.82 分,此时鱼肉色泽明亮,无异味,肌肉组织完整紧密且纹理清晰。随着冷藏时间的延长,调理黑鱼鱼片的感官评

分逐渐降低。当冷藏 9 d 时,CK 组和 C1 组鱼片的感官评分分别为 3.70 分和 3.88 分,鱼片已不可食用。C2 组和 C3 组样品分别在贮藏 12 d 和 15 d 时达到了可接受度的极限,而 C4 组样品在整个冷藏期间感官

评分均高于 4 分。由此可见,与胶原蛋白-茶多酚复合涂膜和胶原蛋白-肉桂精油涂膜处理相比,胶原蛋白-茶多酚-肉桂精油涂膜处理在一定程度上能够维持调理黑鱼鱼片的感官品质。

表 3 调理黑鱼鱼片冷藏过程中水分含量的变化

Tab. 3 Changes in moisture content of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

水分含量	组别	数值					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
$p_{T21}/\%$	CK	4.10 ± 0.07 ^a	4.00 ± 0.10 ^a	3.84 ± 0.05 ^{ab}	3.62 ± 0.11 ^c	3.53 ± 0.09 ^c	3.42 ± 0.04 ^c
	C1	4.11 ± 0.09 ^a	4.04 ± 0.07 ^a	3.91 ± 0.06 ^a	3.85 ± 0.10 ^{ab}	3.69 ± 0.06 ^b	3.60 ± 0.09 ^b
	C2	4.10 ± 0.08 ^a	4.05 ± 0.08 ^a	3.96 ± 0.06 ^a	3.87 ± 0.05 ^{ab}	3.77 ± 0.05 ^b	3.64 ± 0.10 ^b
	C3	4.11 ± 0.05 ^a	4.09 ± 0.12 ^a	3.97 ± 0.10 ^a	3.91 ± 0.07 ^a	3.79 ± 0.12 ^b	3.70 ± 0.06 ^b
	C4	4.09 ± 0.06 ^a	4.07 ± 0.05 ^a	4.00 ± 0.07 ^a	3.95 ± 0.09 ^a	3.91 ± 0.06 ^a	3.81 ± 0.08 ^a
$p_{T22}/\%$	CK	95.50 ± 0.10 ^b	93.35 ± 0.11 ^c	91.04 ± 0.09 ^b	89.64 ± 0.19 ^c	87.61 ± 0.22 ^c	86.54 ± 0.10 ^c
	C1	95.58 ± 0.16 ^a	93.93 ± 0.12 ^b	92.74 ± 0.13 ^a	91.48 ± 0.16 ^b	89.38 ± 0.15 ^d	87.62 ± 0.17 ^d
	C2	95.63 ± 0.13 ^a	94.01 ± 0.22 ^b	92.95 ± 0.10 ^a	91.44 ± 0.13 ^b	90.02 ± 0.16 ^c	88.43 ± 0.13 ^c
	C3	95.67 ± 0.15 ^a	94.13 ± 0.14 ^b	92.94 ± 0.11 ^a	91.48 ± 0.10 ^b	90.32 ± 0.18 ^b	88.97 ± 0.13 ^b
	C4	95.78 ± 0.20 ^a	94.39 ± 0.15 ^a	93.94 ± 0.14 ^a	92.48 ± 0.21 ^a	91.32 ± 0.19 ^a	90.59 ± 0.17 ^a
$p_{T23}/\%$	CK	0.42 ± 0.03 ^a	2.65 ± 0.02 ^a	5.12 ± 0.03 ^a	6.75 ± 0.05 ^a	8.86 ± 0.01 ^a	10.04 ± 0.04 ^a
	C1	0.32 ± 0.04 ^b	2.04 ± 0.02 ^b	3.36 ± 0.04 ^b	4.69 ± 0.02 ^b	6.94 ± 0.03 ^b	8.79 ± 0.03 ^b
	C2	0.27 ± 0.01 ^c	2.36 ± 0.01 ^c	3.09 ± 0.02 ^c	4.69 ± 0.04 ^b	6.21 ± 0.05 ^c	7.93 ± 0.03 ^c
	C3	0.23 ± 0.02 ^c	1.94 ± 0.05 ^d	3.10 ± 0.01 ^c	4.61 ± 0.04 ^c	6.00 ± 0.03 ^d	7.33 ± 0.02 ^d
	C4	0.14 ± 0.02 ^d	1.54 ± 0.03 ^e	2.16 ± 0.03 ^d	3.57 ± 0.03 ^d	4.78 ± 0.04 ^c	5.65 ± 0.01 ^c

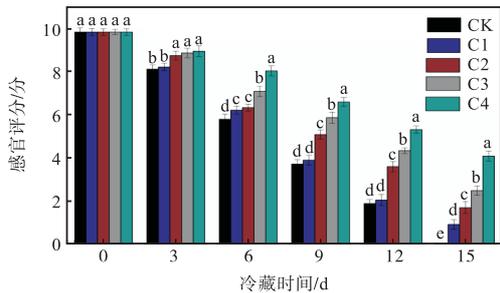


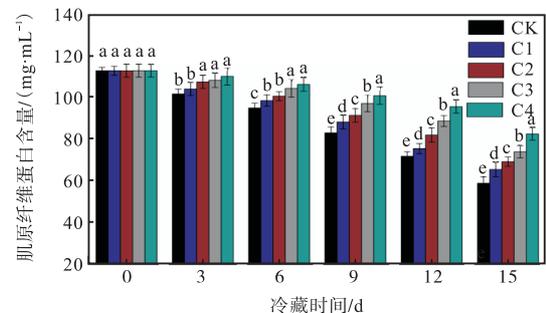
图 4 调理黑鱼鱼片冷藏过程中感官评分的变化

Fig. 4 Changes in the sensory score of prepared snakehead fish fillets during refrigeration

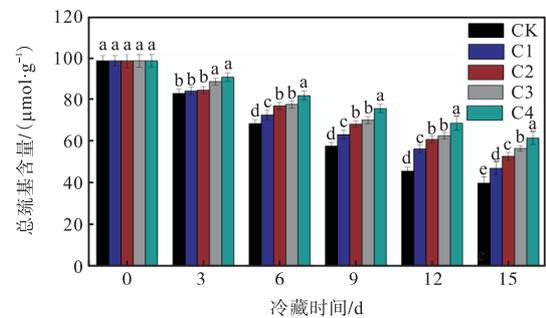
2.7 肌原纤维蛋白含量和总巯基含量的变化

冷藏过程中肌原纤维蛋白含量和总巯基含量的变化如图 5 所示。随着冷藏时间的增加,各组鱼片中的肌原纤维蛋白含量和总巯基含量均逐渐降低,主要归因于巯基氧化为二硫键和其他硫化物^[35,37-38]。这种现象与蛋白质结构的展开程度高度相关,当肌球蛋白分子的构象发生变化时,肌球蛋白分子头部的游离巯基暴露出来,暴露出来的巯基在冷藏期间更容易被氧化^[38]。冷藏 15 d 时,CK 组肌原纤维蛋白含量和总巯基含量分别降低了 47.88%和 59.74%,显著高于胶原蛋白处理组($P < 0.05$),其中 C4 组分别降低了 26.91%和 37.68%,显著低于 C2 组和 C3 组($P < 0.05$)。结果表明,复合涂膜处理能够在一定程度上降低鱼肉中蛋

白质的变性程度,减少巯基的氧化,且添加茶多酚和肉桂精油的胶原蛋白涂膜处理效果最佳。张晋^[39]对冷藏草鱼鱼片品质的研究也存在类似的结果。



(a) 肌原纤维蛋白含量



(b) 总巯基含量

图 5 冷藏过程中肌原纤维蛋白含量和总巯基含量的变化

Fig. 5 Changes in myofibrillar protein content and total sulfhydryl content during refrigeration

2.8 Ca²⁺-ATPase活性和表面疏水性的变化

冷藏过程中肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性和表面疏水性的变化如图6所示。各组样品的Ca²⁺-ATPase活性均随着冷藏时间的增加而下降,而表面疏水性逐渐增加。Ca²⁺-ATPase活性的降低可能是由巯基发生氧化导致肌球蛋白变性造成的^[40]。Ca²⁺-ATPase活性还受pH、样品处理方式和离子强度等因素的影响^[37]。表面疏水性的增加可能是冷藏初期,鱼

片中的疏水氨基酸基团位于肌原纤维蛋白内部,之后在内源酶和腐败微生物的共同作用下,鱼肉中的蛋白质氧化变性,蛋白质表面的氨基酸数量大大增加,使其表面疏水性也增加^[41]。C2组、C3组和C4组样品在整个冷藏期间具有较高的Ca²⁺-ATPase活性和较低的表面疏水性,这表明添加茶多酚和肉桂精油的胶原蛋白涂膜能够抑制巯基氧化,降低蛋白质的变性程度。

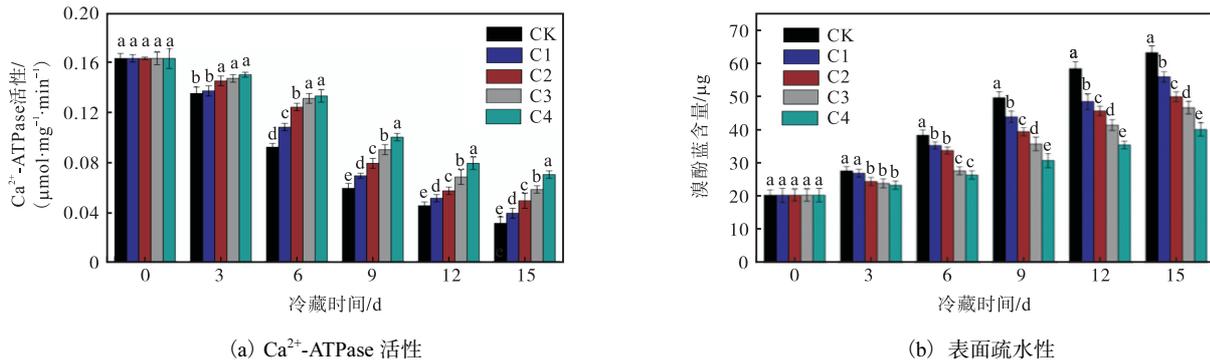


图6 冷藏过程中肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性和表面疏水性的变化

Fig. 6 Changes in Ca²⁺-ATPase activity and surface hydrophobicity of myofibrillar protein during refrigeration

2.9 肌原纤维蛋白二级结构分析

通过FTIR对酰胺I带(1600~1700 cm⁻¹)进行

分析,得到蛋白质二级结构的变化,结果见表4。

表4 冷藏过程中肌原纤维蛋白二级结构的变化

Tab. 4 Changes in secondary structure of myofibrillar protein during refrigeration

二级结构	组别	数值					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
β-折叠/%	CK	26.45 ± 0.14 ^a	25.50 ± 0.18 ^b	24.57 ± 0.24 ^d	23.39 ± 0.21 ^e	22.66 ± 0.20 ^e	22.06 ± 0.13 ^c
	C1	26.45 ± 0.15 ^a	25.72 ± 0.19 ^b	25.14 ± 0.17 ^{bc}	24.31 ± 0.16 ^d	23.00 ± 0.16 ^d	22.42 ± 0.19 ^d
	C2	26.45 ± 0.20 ^a	26.03 ± 0.13 ^a	25.37 ± 0.16 ^{ab}	24.75 ± 0.19 ^e	23.50 ± 0.20 ^c	22.91 ± 0.23 ^c
	C3	26.45 ± 0.17 ^a	26.09 ± 0.16 ^a	25.51 ± 0.20 ^a	25.17 ± 0.14 ^b	24.16 ± 0.18 ^b	23.32 ± 0.25 ^b
	C4	26.45 ± 0.21 ^a	26.20 ± 0.16 ^a	25.66 ± 0.14 ^a	25.45 ± 0.17 ^a	24.77 ± 0.28 ^a	23.82 ± 0.30 ^a
无规则卷曲/%	CK	21.12 ± 0.29 ^a	22.09 ± 0.18 ^a	22.54 ± 0.27 ^a	23.87 ± 0.21 ^a	24.56 ± 0.23 ^a	25.26 ± 0.17 ^a
	C1	21.12 ± 0.32 ^a	21.81 ± 0.15 ^b	22.41 ± 0.16 ^a	23.33 ± 0.23 ^b	24.16 ± 0.22 ^b	24.90 ± 0.10 ^b
	C2	21.12 ± 0.29 ^a	21.63 ± 0.20 ^b	22.05 ± 0.15 ^b	22.60 ± 0.30 ^c	23.37 ± 0.17 ^c	24.23 ± 0.21 ^c
	C3	21.12 ± 0.26 ^a	21.58 ± 0.25 ^b	21.95 ± 0.25 ^b	22.37 ± 0.23 ^c	23.04 ± 0.11 ^d	23.70 ± 0.22 ^d
	C4	21.12 ± 0.24 ^a	21.42 ± 0.20 ^{bc}	21.71 ± 0.25 ^{bc}	22.24 ± 0.30 ^{cd}	22.59 ± 0.14 ^c	23.21 ± 0.26 ^c
α-螺旋/%	CK	16.02 ± 0.31 ^a	14.76 ± 0.22 ^b	11.31 ± 0.27 ^d	9.44 ± 0.40 ^d	7.16 ± 0.38 ^c	5.62 ± 0.43 ^c
	C1	16.02 ± 0.30 ^a	15.01 ± 0.20 ^b	12.68 ± 0.32 ^c	10.82 ± 0.30 ^c	9.15 ± 0.39 ^d	7.58 ± 0.26 ^d
	C2	16.02 ± 0.27 ^a	15.08 ± 0.26 ^b	13.84 ± 0.37 ^b	12.07 ± 0.29 ^b	9.87 ± 0.37 ^c	8.79 ± 0.28 ^c
	C3	16.02 ± 0.29 ^a	15.73 ± 0.26 ^a	14.64 ± 0.29 ^a	12.43 ± 0.31 ^b	11.27 ± 0.44 ^b	9.59 ± 0.29 ^b
	C4	16.02 ± 0.33 ^a	16.00 ± 0.30 ^a	15.02 ± 0.31 ^a	14.29 ± 0.43 ^a	12.13 ± 0.46 ^a	11.20 ± 0.53 ^a
β-转角/%	CK	36.41 ± 0.35 ^a	37.64 ± 0.31 ^a	41.58 ± 0.46 ^a	43.29 ± 0.32 ^a	45.62 ± 0.57 ^a	47.06 ± 0.48 ^a
	C1	36.41 ± 0.39 ^a	37.46 ± 0.29 ^a	39.77 ± 0.33 ^b	41.53 ± 0.37 ^b	43.70 ± 0.38 ^b	45.09 ± 0.32 ^b
	C2	36.41 ± 0.30 ^a	37.25 ± 0.30 ^a	38.73 ± 0.34 ^c	40.58 ± 0.31 ^c	43.25 ± 0.33 ^b	44.07 ± 0.30 ^c
	C3	36.41 ± 0.42 ^a	36.60 ± 0.28 ^b	37.90 ± 0.34 ^d	40.03 ± 0.36 ^c	41.53 ± 0.37 ^c	43.39 ± 0.43 ^d
	C4	36.41 ± 0.45 ^a	36.38 ± 0.31 ^b	37.62 ± 0.39 ^d	38.03 ± 0.43 ^d	40.51 ± 0.42 ^d	41.77 ± 0.51 ^c

β-转角是调理黑鱼鱼片肌原纤维蛋白的主要二级结构。由表4可知,α-螺旋和β-折叠的含量随着冷

藏时间的增加而逐渐减少,而β-转角和无规则卷曲的含量则逐渐增加,这可能与冷藏过程中肌原纤维

旋结构的部分展开有关。由于氢键断裂、疏水基团暴露以及巯基氧化,因此使蛋白质的空间结构变得松散, α -螺旋和 β -折叠转变为 β -转角和无规则卷曲。此外, α -螺旋的减少还会导致表面疏水性增加^[26]。冷藏结束时,CK组样品的 α -螺旋含量的降低程度比C2组、C3组、C4组样品的更大,这可能归因于胶原蛋白涂膜中茶多酚的抗氧化作用和肉桂精油的抗菌作用。结果表明:添加茶多酚和肉桂精油的胶原蛋白涂膜处理对冷藏过程中调理黑鱼鱼片肌原纤维蛋白的二级结构具有一定的保护作用。

3 结 语

本实验研究了4组不同的胶原蛋白涂膜处理方法对调理黑鱼鱼片冷藏品质的影响。研究表明,4℃密封冷藏条件下,CK组鱼片在冷藏9d时就已发生变质。与CK组相比,经胶原蛋白涂膜处理可以延缓调理黑鱼鱼片冷藏过程中菌落总数、TVB-N值、TBA值和表面疏水性的增加,抑制肌原纤维蛋白含量、总巯基含量和 Ca^{2+} -ATPase活性的降低。冷藏结束时,CK组鱼片的 L^* 值、硬度、弹性、咀嚼性、回复性和感官评分均显著低于其他处理组($P < 0.05$)。在整个冷藏过程中,C4组鱼片的各项指标均优于其他处理组,这表明胶原蛋白-茶多酚-肉桂精油涂膜处理能够有效改善调理黑鱼鱼片的贮藏品质,这为它在其他水产品保鲜中的应用提供了参考。

参考文献:

- [1] LIU W, ZHANG Y, CUI N, et al. Extraction and characterization of pepsin-solubilized collagen from snakehead (*Channa argus*) skin: effects of hydrogen peroxide pretreatments and pepsin hydrolysis strategies [J]. Process biochemistry, 2019, 76: 194–202.
- [2] SUN L, LÜ J, LIU Y, et al. Effects of combined carnosine and ultra-high pressure on the inhibition of fishy off-odor of snakehead fillets and the possible mechanism [J]. Food chemistry, 2022, 395: 133615.
- [3] ESPINALES C, ROMERO-PEÑA M, CALDERÓN G, et al. Collagen, protein hydrolysates and chitin from by-products of fish and shellfish: an overview [J]. Heliyon, 2023, 9(4): e14937.
- [4] JIANG Y, LAN W, SAMEEN D E, et al. Preparation and characterization of grass carp collagen-chitosan-lemon essential oil composite films for application as food packaging [J]. International journal of biological macromolecules, 2020, 160: 340–351.
- [5] XIONG Y, KAMBOJ M, AJLOUNI S, et al. Incorporation of salmon bone gelatine with chitosan, gallic acid and clove oil as edible coating for the cold storage of fresh salmon fillet [J]. Food control, 2021, 125: 107994.
- [6] HASSAN B, CHATHA S A S, HUSSAIN A I, et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: a review [J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 109: 1095–1107.
- [7] RANGARAJ V M, RAMBABU K, BANAT F, et al. Natural antioxidants-based edible active food packaging: an overview of current advancements [J]. Food bioscience, 2021, 43: 101251.
- [8] WANG Z, HU S, GAO Y, et al. Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation [J]. LWT-Food science and technology, 2017, 75: 59–64.
- [9] HUANG Z, JIA S, ZHANG L, et al. Inhibitory effects and membrane damage caused to fish spoilage bacteria by cinnamon bark (*Cinnamomum tamala*) oil [J]. LWT-Food science and technology, 2019, 112: 108195.
- [10] AMANI F, AZADI A, REZAEI A, et al. Preparation of soluble complex carriers from *Aloe vera* mucilage/gelatin for cinnamon essential oil: characterization and antibacterial activity [J]. Journal of food engineering, 2022, 334: 111160.
- [11] CAO T L, SONG K B. Development of bioactive Bombacaceae gum films containing cinnamon leaf essential oil and their application in packaging of fresh salmon fillets [J]. LWT-Food science and technology, 2020, 131: 109647.
- [12] ZHANG Y, LI D, LV J, et al. Effect of cinnamon essential oil on bacterial diversity and shelf-life in vacuum-packaged common carp (*Cyprinus carpio*) during refrigerated storage [J]. International journal of food microbiology, 2017, 249: 1–8.
- [13] HUSSAIN Z, LI X, ZHANG D, et al. Influence of adding cinnamon bark oil on meat quality of ground lamb during storage at 4℃ [J]. Meat science, 2021, 171: 108269.
- [14] BASAGLIA R R, PIZATO S, SANTIAGO N G, et al. Effect of edible chitosan and cinnamon essential oil coatings on the shelf life of minimally processed

- pineapple (*Smooth cayenne*) [J]. *Food bioscience*, 2021, 41: 100966.
- [15] DAI J, SAMEEN D E, ZENG Y, et al. An overview of tea polyphenols as bioactive agents for food packaging applications[J]. *LWT-Food science and technology*, 2022, 167: 113845.
- [16] WANG R, HU X, AGYEKUMWAA A K, et al. Synergistic effect of kojic acid and tea polyphenols on bacterial inhibition and quality maintenance of refrigerated sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets[J]. *LWT-Food science and technology*, 2021, 137: 110452.
- [17] 胡嘉惠, 林益航, 吴诗寅, 等. 竹叶抗氧化物-胶原蛋白复合涂膜对鲈鱼的保鲜效果[J]. *食品工业*, 2021, 42(10): 78-83.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022: 1-4.
- [19] WANG J, WANG Q, XU L, et al. Effects of extremely low frequency pulsed electric field (ELF-PEF) on the quality and microstructure of tilapia during cold storage [J]. *LWT-Food science and technology*, 2022, 169: 113937.
- [20] ALIREZALU K, YAGHOUBI M, NEMATI Z, et al. Efficacy of stinging nettle extract in combination with ϵ -polylysine on the quality, safety, and shelf life of rainbow trout fillets[J]. *Food science and nutrition*, 2021, 9(3): 1542-1550.
- [21] 陈澄. 浸渍液组成对调理草鱼片品质及贮藏特性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [22] WAN J, CAO A, CAI L. Effects of vacuum or sous-vide cooking methods on the quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *International journal of gastronomy and food science*, 2019, 18: 100181.
- [23] SUN Q, CHEN Q, XIA X, et al. Effects of ultrasound-assisted freezing at different power levels on the structure and thermal stability of common carp (*Cyprinus carpio*) proteins[J]. *Ultrasonics sonochemistry*, 2019, 54: 311-320.
- [24] YANG H, LI Q, XU Z, et al. Preparation of three-layer flaxseed gum/chitosan/flaxseed gum composite coatings with sustained-release properties and their excellent protective effect on myofibril protein of rainbow trout [J]. *International journal of biological macromolecules*, 2021, 194: 510-520.
- [25] 张振. 壳聚糖- ϵ -聚赖氨酸-卡拉胶复合涂膜对冷藏中国对虾品质影响研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [26] ZHAO X, ZHOU Y, ZHAO L, et al. Vacuum impregnation of fish gelatin combined with grape seed extract inhibits protein oxidation and degradation of chilled tilapia fillets[J]. *Food chemistry*, 2019, 294: 316-325.
- [27] 励建荣, 李婷婷, 李学鹏. 水产品鲜度品质评价方法研究进展[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(6): 1-8.
- [28] FENG X, NG V K, MIKŠ-KRAJNİK M, et al. Effects of fish gelatin and tea polyphenol coating on the spoilage and degradation of myofibril in fish fillet during cold storage[J]. *Food and bioprocess technology*, 2017, 10(1): 89-102.
- [29] 罗宁宁. 壳聚糖-肉桂精油可食性膜的制备、性能及应用研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2016.
- [30] MOHAMED S A A, EL-SAKHAWY M, EL-SAKHAWY M A M. Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: a review[J]. *Carbohydrate polymers*, 2020, 238: 116178.
- [31] 都津铭. 具有协同抑菌作用的丁香精油/茶多酚/纳米纤维素涂膜保鲜液的制备及其对带鱼涂膜保鲜效果的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [32] 樊世芳. 罗非鱼鱼鳞胶原蛋白的提取及其包装应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [33] LU F, DING Y, YE X, et al. Cinnamon and nisin in alginate-calcium coating maintain quality of fresh northern snakehead fish fillets[J]. *LWT-Food science and technology*, 2010, 43(9): 1331-1335.
- [34] CHEN X, LIU H, LI X, et al. Effect of ultrasonic-assisted immersion freezing and quick-freezing on quality of sea bass during frozen storage[J]. *LWT-Food science and technology*, 2022, 154: 112737.
- [35] 杨华. 亚麻籽胶/壳聚糖复合保鲜涂膜的制备及其对三文鱼鱼片冷藏品质的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2021.
- [36] 张语杰. 微冻贮藏对冷鲜鸭肉品质特性的影响及其机理研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021.
- [37] 刘津延. 鱼皮胶原蛋白复合可食性抗菌涂膜对真鲷保鲜效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- [38] 郝书婷. 复合持水剂对调理黄鱼品质的影响及机理研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2021.
- [39] 张晋. 草鱼低温保藏品质变化及绿色加工技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- [40] 王美婧. 短期冷藏过程中乌鳢肌原纤维蛋白变化及其

- graph convolution network for air quality prediction[J]. Applied intelligence, 2021, 51: 3491–3505.
- [29] WANG S, LI Y, ZHANG J, et al. PM_{2.5}-GNN: a domain knowledge enhanced graph neural network for PM_{2.5} forecasting[C]//ACM. Proceedings of the 28th International Conference on Advances in Geographic Information Systems. New York: ACM, 2020: 163–166.
- [30] ZHENG Y, YI X, LI M, et al. Forecasting fine-grained air quality based on big data[C]//ACM. Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2015: 2267–2276.
- [31] ONG B T, SUGIURA K, ZETTSU K. Dynamically pre-trained deep recurrent neural networks using environmental monitoring data for predicting PM_{2.5}[J]. Neural computing and applications, 2016, 27(6): 1553–1566.
- [32] MA X, TAO Z, WANG Y, et al. Long short-term memory neural network for traffic speed prediction using remote microwave sensor data[J]. Transportation research part C: emerging technologies, 2015, 54: 187–197.
- [33] WU Y, TAN H. Short-term traffic flow forecasting with spatial-temporal correlation in a hybrid deep learning framework[EB/OL]. [2023-01-20]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.01022>.
- [34] CHUNG J, GULCEHRE C, CHO K H, et al. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling[EB/OL]. [2023-01-20]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.3555>.
- [35] HOCHREITER S, SCHMIDHUBER J. Long short-term memory[J]. Neural computation, 1997, 9(8): 1735–1780.
- [36] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need[EB/OL]. [2023-01-20]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>.

责任编辑: 郎婧

(上接第 33 页)

- 应用研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2020.
- [41] 王雅妮. 三明治型 KGM/SA/KGM 复合涂膜对三文鱼

鱼片的保鲜性能研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021.

责任编辑: 郎婧