

不同电商物流终止温度对鲢鱼冻藏品质变化的影响

章蔚^{1,2}, 徐云强³, 周俊鹏^{1,2}, 汪兰², 石柳², 熊光权², 王军¹

(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, 武汉 430064; 3.安琪酵母股份有限公司, 湖北 宜昌 443003)

摘要: **目的** 研究不同电商物流终止温度下的鱼肉贮藏品质, 从而推进农产品电商的发展。**方法** 将鲢鱼宰杀后进行真空包装, 并快速将其冷冻, 当中心温度稳定在 -18°C 后取出, 进行电商物流模拟, 待其到达不同电商物流终止温度($0, 4, 8^{\circ}\text{C}$)后, 放入 -18°C 中冻藏5个月, 每月测定其理化指标(pH值、色泽、汁液损失率、剪切力、三甲胺含量、硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)含量、挥发性盐基氮(Total volatile base nitrogen, TVB-N)含量、新鲜度(K值))和蛋白质特性(盐溶性蛋白含量、巯基含量、羰基含量、表面疏水性)。**结果** 将鲢鱼冻藏5个月后, 3组鲢鱼片的汁液损失率、剪切力、羰基含量、表面疏水性、三甲胺含量、TBA值、TVB-N值、K值均显著上升($P<0.05$), 盐溶性蛋白含量、巯基含量显著下降($P<0.05$)。在冻藏过程中, 三甲胺含量、TBA、TVB-N、K值的增长速率为 $v_{8^{\circ}\text{C}}>v_{4^{\circ}\text{C}}>v_{0^{\circ}\text{C}}$ 。**结论** 电商物流终止温度分别为 $0, 4, 8^{\circ}\text{C}$ 的鲢鱼片在冻藏5个月后, 持水性下降, 肉质变硬, 蛋白变性程度升高, 新鲜度下降, 加工品质大大降低, 但均保持在二级鲜度以上, 仍具有加工食用价值。此外, 0°C 的电商物流终止温度更有利于抑制鲢鱼片在冻藏过程中的品质劣变, 4°C 次之, 8°C 最差。

关键词: 电商物流; 终止温度; 鲢鱼; 冻藏

中图分类号: TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)17-0055-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.008

Effects of E-commerce Logistics Termination Temperature on the Quality of Frozen Channel Catfish

ZHANG Wei^{1,2}, XU Yun-qiang³, ZHOU Jun-peng², WANG Lan², SHI Liu²,
XIONG Guang-quan², WANG Jun¹

(1.School of Food and Biological Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2.Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Wuhan 430064, China;

3.Angel Yeast Co., Ltd., Yichang 443003, China)

ABSTRACT: The objective of this study is to investigate the storage quality of fish at different e-commerce logistics termination temperatures, thus to promote the development of agricultural e-commerce. The channel catfish was slaughtered, vacuum sealed and quickly frozen. When the core temperature of frozen fillets was stabilized at -18°C , samples were then used for e-commerce logistics simulation, until different e-commerce logistics termination temperatures ($0, 4, 8^{\circ}\text{C}$) were obtained for in parallel comparison. Afterwards, these samples were re-frozen at -18°C for 5 months. The

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0400601); 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-46)

作者简介: 章蔚(1996—), 女, 湖北工业大学硕士生, 主攻水产品加工。

通信作者: 王军(1979—), 女, 博士, 湖北工业大学教授, 主要研究方向为生物医药。

physicochemical properties (pH, color, water loss rate, shear force, trimethylamine content, TBA value, TVB-N value and *K* value) and protein properties (protein solubility, total sulfhydryl group content, carbonyl group content and surface hydrophobicity) of channel catfish meat were measured each month at different termination temperatures. After 5-month frozen storage, the water loss rate, shear force, carbonyl group content, surface hydrophobicity, trimethylamine content, TBA value, TVB-N value and *K* value of three groups of catfish fillets all increased significantly ($P<0.05$), while the protein solubility and total sulfhydryl group significantly decreased ($P<0.05$). Besides, during frozen storage, the increasing rates of trimethylamine content, TBA, TVB-N and *K* value of samples followed this order: $8\text{ }^{\circ}\text{C}>4\text{ }^{\circ}\text{C}>0\text{ }^{\circ}\text{C}$. After frozen storage for 5 months, reduced water retention, hardened meat, increased degree of protein denaturation, decreased freshness and processing quality of catfish fillets are observed at different e-commerce logistics termination temperatures of 0, 4, 8 $^{\circ}\text{C}$, but the fillets could maintain second-grade freshness and are still edible. Besides, the e-commerce logistics termination temperature of 0 $^{\circ}\text{C}$ is the best to delay the quality deterioration of channel catfish fillets during frozen storage, with 4 $^{\circ}\text{C}$ worse and 8 $^{\circ}\text{C}$ the worst.

KEY WORDS: e-commerce logistics; termination temperature; channel catfish; frozen storage

斑点叉尾鲷 (*Ictalurus Punetaus*) 又名沟鲶、钳鱼, 为鲶科, 真鲷属水产鱼类, 原产于美国, 我国于 1984 年由湖北省首次引进。2019 年, 我国的鲶鱼年产量已达到 29.7 万 t, 是目前我国养殖的主要淡水产品之一^[1]。斑点叉尾鲷是大型的淡水鱼类, 最大个体可达 35 kg, 含肉率高, 蛋白质和维生素含量丰富, 肉质细嫩, 味道鲜美, 深受世界各地消费者的喜爱^[2]。

在淡水鱼的加工消费过程中, 运输保鲜条件是影响产品品质的关键因素。水产品主要依靠冷链运输, 随着社会的发展和人民生活水平的提高, 人们对水产品的消费量和消费种类日益增多, 对其品质要求也越来越高。近年来, 农产品电商物流凭借高品质、高保鲜度、高运输速度等优点逐渐进入人们的视野, 越来越多的水产品开始通过电商物流的形式运输^[3]。作为一种新型的运输模式, 农产品电商物流运输仍存在电商人才匮乏、配送网络不完善、信息不对称和标准化程度低等诸多问题^[4-5]。此外, 由于水产品运输过程中受到运输距离、环境温度、包装材料、带冰量等因素的影响, 大大降低了鱼类产品的食用品质、商品价值, 延缓了水产品产业的发展进程。

目前, 生鲜淡水鱼在流通运输过程中品质变化的问题已引起学者的广泛关注, 成为水产品保鲜领域的热点之一。黄文博等^[6]通过研究发现, 在常规生鲜运输过程中, 较大的温度波动会导致鱼肉品质劣变。谢雅雯等^[7]模拟生鲜运输过程时发现, 带冰运输过程中鱼体的温度大约为 7.2 $^{\circ}\text{C}$, 但随着运输时间的延长, 环境温度会逐渐上升, 导致鱼肉品质劣变。目前, 针对电商物流过后淡水鱼贮藏品质的研究数量较少, 文中以美国斑点叉尾鲷为研究对象, 研究电商物流过程中不同终止温度 (0, 4, 8 $^{\circ}\text{C}$) 对鲶鱼片冻藏品质和贮藏期的影响, 以期获得鲶鱼片在电商物流后期贮藏时的品质劣变情况, 为农产品电商的发展提供基础依据。

1 实验

1.1 材料与试剂

原料: 斑点叉尾鲷, 质量约为 1.5 kg, 购于湖北省武汉市白沙洲农副产品大市场。

主要试剂: 腺苷三磷酸 (Adenosine-5'- triphosphate, ATP) 及其衍生物标准品、甲醇、三羟甲基甲烷 (Trihydroxy methyl-aminomethane, Tris), 美国 Sigma 公司; 考马斯亮蓝、牛血清蛋白, 美国 Bio-Rad 公司; 二硝基苯胍 (Dinitrophenylhydrazine, DNPH)、乙二胺四乙酸 (Ethylene diaminetetraacetic acid, EDTA)、5,5'-二硫代 (2-硝基苯甲酸) (5,5'-dithio bis-(2-nitrobenzoic acid), DTNB), 购于瑞士 Fluka 公司。其余试剂均购于中国医药集团有限公司。

1.2 仪器设备

主要的仪器与设备: RC-4 温度记录仪, 江苏精创电气有限公司; LE2002E 电子分析天平, Mettler Toledo 国际有限公司; CR-400 色彩色差仪, 日本 Konica Minolta 有限公司; LE427 pH 计, Mettler Toledo 国际有限公司; 722N 可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; 3K15 高速离心机, 德国 Sigma 公司; TA.XTplus 物性测定仪, 英国 Stable Micro System 公司; Ultimate AQ-C18 色谱柱, 月旭科技股份有限公司; UltiMate3000 高效液相色谱仪, 美国 Thermo Fisher 公司; FJ-300S 速分散均质机, 上海越磁科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

将鲜活斑点叉尾鲷在 16~20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下供氧静养 24 h, 并剔除静养期间死亡的鱼, 然后在低于 10 $^{\circ}\text{C}$

的冷库中击头宰杀, 取鱼背部肌肉, 切成 50 g 左右的鱼块, 装入聚乙烯袋中真空包装。将包装好的样品先放入 -40 °C 冰箱中冻藏 24 h, 然后转移至 -18 °C 冰箱中, 待其中心温度稳定后取出, 放入隔热的白色聚苯乙烯泡沫盒中模拟电商物流过程, 待其到达终止温度后再放回 -18 °C 冰箱中分别冻藏 1, 2, 3, 4, 5 个月, 然后取出进行指标测定。根据前期实验结果, 将终止温度分别确定为 0, 4, 8 °C。

1.3.2 理化指标

1.3.2.1 pH 值

将探头插入标准缓冲液中校正完毕后, 使用便携式 pH 计直接刺入样品内进行 pH 值的测定。

1.3.2.2 色差

使用色度计直接测定鱼肉的亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*)。

1.3.2.3 汁液损失率

汁液损失率的测定参考 Mortensen^[8]法。称取初始鱼肉和真空袋的总质量, 然后将其冷冻贮藏不同时间, 并在泡沫盒中达到终止温度, 取出并用滤纸擦干其表面水分, 分别称取鱼肉质量和真空袋质量。按式 (1) 进行计算:

$$\text{汁液损失率} = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1 - m_3} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为初始鱼肉和真空袋的总质量 (g); m_2 为冷冻贮藏后的鱼肉质量 (g); m_3 为冷冻贮藏后的真空袋质量 (g)。

1.3.2.4 剪切力

使用 A/CKB 探头进行剪切力的测定。测试前速度为 5 mm/s, 测试中速度为 1 mm/s, 测试后速度为 5 mm/s, 触发力为 0.05 N, 测试距离为 10 mm。

1.3.2.5 三甲胺含量

三甲胺含量的测定参考李丰^[9]的方法, 并加以修改。取 20 g 绞碎后的鱼肉样品于波塞三角瓶中, 加入 70 mL 水和 10 mL 0.2 g/mL 的三氯乙酸, 摇匀后过滤。取上述滤液 5 mL, 加入 0.1 g/mL 的甲醇溶液 1 mL, 甲苯 1 mL, 碳酸钾溶液 3 mL, 盖塞剧烈振摇 3 min。静置 20 min 后, 吸出下面水层, 加入无水硫酸钠 0.5 g 进行脱水后, 取 5 mL 于试管中并加入 0.0002 g/mL 苦味酸甲苯溶液 5 mL, 待反应结束后测定吸光值 A_{410} , 并根据标准曲线计算三甲胺含量。

1.3.2.6 硫代巴比妥酸含量

硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA) 含量参考石钢鹏等^[10]的方法进行测定。

1.3.2.7 挥发性盐基氮含量

挥发性盐基氮 (Total volatile base nitrogen, TVB-N) 含量参考 GB 5009.228—2016^[11]进行测定。

1.3.2.8 鱼类鲜度指标

鱼类鲜度指标 (K 值) 参考 SCT 3048—2014^[12]进行测定。 K 值按式 (2) 进行计算:

$$K = \frac{b_{\text{HxR}} + b_{\text{Hx}}}{b_{\text{ATP}} + b_{\text{ADP}} + b_{\text{AMP}} + b_{\text{IMP}} + b_{\text{HxR}} + b_{\text{Hx}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: b_{ATP} , b_{ADP} , b_{AMP} , b_{IMP} , b_{HxR} , b_{Hx} 分别表示二磷酸腺苷、一磷酸腺苷、肌苷酸、肌苷、次黄嘌呤的质量摩尔浓度 ($\mu\text{mol/g}$)。

1.3.3 蛋白质特性指标

1.3.3.1 盐溶性蛋白的提取和浓度测定

盐溶性蛋白浓度的测定参考 Poowakanjana 等^[13]的方法, 并加以修改。将待测鱼肉绞碎成泥, 按体积比 1:4 分别加入含 0.1 mol/L NaCl, 1 mmol/L EGTA, 2 mmol/L MgCl_2 , 10 mmol/L H_2PO_4 , pH 值为 7.0 的分离缓冲溶液, 置于高速均质机下均质 (6000 r/min) 约 30 s, 然后离心 15 min (4 °C, 4000 r/min)。离心结束后, 收集沉淀重复上述步骤 2 次, 然后按体积比 1:4 加入 0.1 mol/L NaCl 溶液, 均质离心 2 次。最终收集的沉淀物为肌原纤维蛋白, 然后用双缩脲法对其浓度进行测定。

1.3.3.2 总巯基含量

总巯基含量的测定参考陈敦喜^[14]的方法, 并加以修改。首先取 1 mL 蛋白溶液, 并加入 9 mL 含 0.01 mol/L EDTA, 0.6 mol/L KCl, pH 值为 7 的 Tris-HCl 缓冲液。将其置于 25 °C 下反应 0.5 h 后, 从中取 4 mL, 并加入 0.4 mL 含 0.2 mol/L Tris-HCl, pH 值为 8 的 0.001 g/mL DTNB 缓冲液, 涡旋均匀后水浴 25 min (40 °C)。反应结束后测定吸光值 A_{420} 。按式 (3) 进行计算:

$$\text{总巯基含量} = \frac{A_{420} \times D_1}{\varepsilon_1 \times C_1} \quad (3)$$

式中: A_{420} 为吸光值; D_1 为稀释倍数; ε_1 为摩尔消光系数, 取 13.6 L/(mmol·cm); C_1 为蛋白的质量浓度 (mg/mL)。

1.3.3.3 羰基含量

羰基含量的测定参考陈敦喜^[14]的方法, 并加以修改。取蛋白溶液 0.5 mL, 加入 2 mL 10 mmol/L DNPH 溶液, 将其置于 25 °C 下避光反应 1 h 后加入 2.5 mL 0.2 g/mL 的三氯乙酸, 离心 3 min (4 °C, 12 000 r/min) 取沉淀。加入 2 mL 乙酸乙酯/乙醇溶液 (体积比为 1:1), 重复洗涤 3 次后取沉淀。加入 6 mL 6 mol/L 的盐酸胍溶液于 25 °C 下反应 10 min, 然后离心 3 min (4 °C, 12 000 r/min) 取上清液, 测定吸光值 A_{370} 。按式 (4) 进行计算:

$$\text{羰基含量} = \frac{A_{370} \times D_2}{\varepsilon_2 \times C_2} \quad (4)$$

式中: A_{370} 为吸光值; D_2 为稀释倍数; ε_2 为摩尔消光系数, 取 22 L/(mmol·cm); C_2 为蛋白的质量浓度 (mg/mL)。

1.3.3.4 表面疏水性

使用荧光光谱法对表面疏水性进行测定。将蛋白的质量浓度分别稀释至 0.001, 0.002, 0.003, 0.005 g/mL,

并取上述蛋白溶液各 2 mL, 然后加入 8 mmol/L ANS 溶液 10 μ L, 涡旋混匀后采用荧光光谱仪测定波长为 470 nm 处的荧光强度。相关参数: 激发波长 385 nm, 扫描范围为 400~700 nm, 扫描速度为 500 nm/min, 激发狭缝和发射狭缝宽均为 3 nm, 响应时间为 0.1 s。

1.4 数据处理

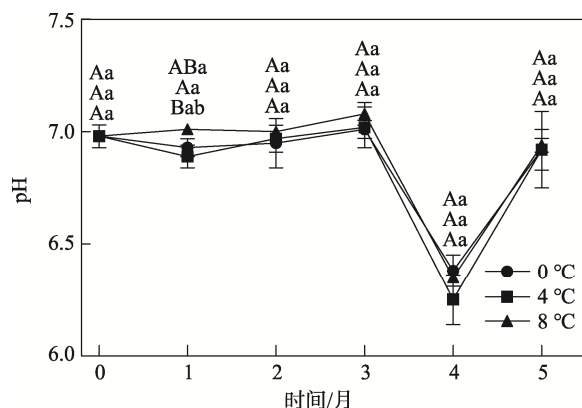
pH 值、剪切力均重复测定 6 次, 其余指标重复测定 3 次, 取其平均值。用 RC-4&5_Conventional (V3.2) 对温度记录仪中的数据进行读取。显著性分析 ($P < 0.05$) 及相关性分析 (Pearson 法) 采用 SPSS, 图片绘制采用 GraphPad Prism 5.0。

2 结果与分析

2.1 理化指标

2.1.1 pH 值

不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲶鱼片 pH 值的影响见图 1。新鲜鲶鱼的 pH 值为 6.98, 冻藏 4 个月后, 终止温度为 0, 4, 8 $^{\circ}$ C 的鲶鱼片 pH 值分别显著下降至 6.38, 6.25 和 6.35; 冻藏 5 个月后, 终止温度为 0, 4, 8 $^{\circ}$ C 的鲶鱼片 pH 值又分别显著上升至 6.92, 6.92 和 6.94。在 5 个月的冻藏过程中, 3 组鲶鱼片的 pH 值在前 3 个月冻藏期中基本不变, 后 2 个月先发生显著下降, 然后又显著上升。宰杀后的鱼体在低温环境中生化反应缓慢, 但随着冻藏时间的延长, 鱼体内的 ATP 分解产生磷酸, 同时乳酸可通过无氧糖酵解途径积累, 导致 pH 值下降^[2]。随着冻藏时间进一步延长, 由于蛋白质的变性, 一些碱性物质



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲶鱼片 pH 值的影响

Fig.1 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the pH value of frozen channel catfish

游离出来, 因此 pH 值上升。由此可见, 不同终止温度对鲶鱼片冻藏 5 个月内的 pH 值无显著影响。

2.1.2 色差

不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲶鱼片色泽的影响见表 1。在 5 个月的冻藏过程中, 随着时间的延长, 3 组鲶鱼片的 L^* 值和 a^* 值变化趋势基本一致, 均呈先升高后降低的趋势; b^* 值均显著上升。Shi 等^[15]研究发现, 随着冻藏时间的延长, 鱼肉的白度呈先上升后下降的趋势, 与文中实验的结果基本一致。冻藏后会加速汁液的流失, 水分在光的反射作用下使得 L^* 值和 a^* 值升高, 白度值也会随之上升。随着冻藏时间的进一步延长, 蛋白和脂肪严重氧化, L^* 值下降,

表 1 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲶冻藏过程中色泽的影响
Tab.1 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the color of frozen channel catfish

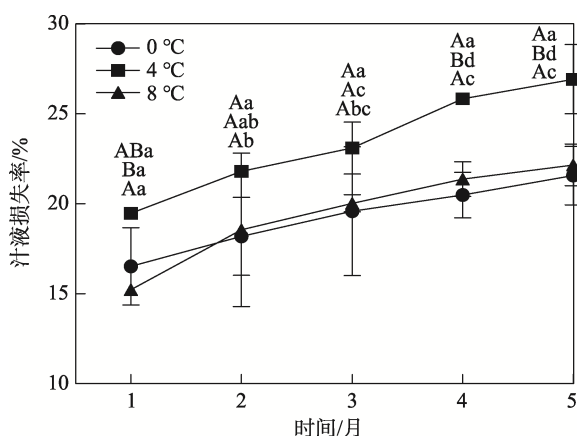
温度/ $^{\circ}$ C	色泽	冻藏时间/月					
		冻藏前	1	2	3	4	5
0	L^*	52.83 $\pm$ 1.36 ^{Aa}	56.35 $\pm$ 1.38 ^{Ab}	55.47 $\pm$ 0.94 ^{Ab}	55.21 $\pm$ 1.38 ^{Aab}	56.43 $\pm$ 0.47 ^{Ab}	54.89 $\pm$ 0.93 ^{Aab}
	a^*	-0.64 $\pm$ 0.40 ^{Aa}	1.34 $\pm$ 0.27 ^{Ab}	0.13 $\pm$ 0.27 ^{Aab}	-0.67 $\pm$ 0.47 ^{Aa}	-0.67 $\pm$ 0.18 ^{Aa}	-0.77 $\pm$ 0.02 ^{Aa}
	b^*	-1.44 $\pm$ 0.18 ^{Aa}	2.91 $\pm$ 0.83 ^{Ab}	3.19 $\pm$ 0.06 ^{Ab}	3.82 $\pm$ 0.06 ^{Ab}	3.43 $\pm$ 0.12 ^{Ab}	4.68 $\pm$ 0.34 ^{Ab}
4	L^*	52.83 $\pm$ 1.36 ^{Aa}	56.24 $\pm$ 2.53 ^{Aabc}	57.07 $\pm$ 0.98 ^{Abc}	55.09 $\pm$ 2.06 ^{Aab}	59.49 $\pm$ 0.54 ^{Ac}	57.54 $\pm$ 0.85 ^{Aab}
	a^*	-0.64 $\pm$ 0.40 ^{Aa}	1.41 $\pm$ 0.92 ^{Ab}	-0.84 $\pm$ 0.25 ^{Aa}	-0.89 $\pm$ 0.56 ^{Aa}	-0.93 $\pm$ 0.64 ^{Aa}	-1.67 $\pm$ 0.65 ^{Aa}
	b^*	-1.44 $\pm$ 0.18 ^{Aa}	2.01 $\pm$ 0.04 ^{Ab}	1.33 $\pm$ 0.25 ^{Ab}	1.62 $\pm$ 0.19 ^{Bb}	2.78 $\pm$ 0.20 ^{Ab}	3.37 $\pm$ 1.23 ^{Ac}
8	L^*	52.83 $\pm$ 1.36 ^{Aa}	54.31 $\pm$ 1.05 ^{Aa}	55.55 $\pm$ 1.57 ^{Aa}	55.21 $\pm$ 2.26 ^{Aa}	55.55 $\pm$ 3.15 ^{Aa}	55.03 $\pm$ 0.76 ^{Aa}
	a^*	-0.64 $\pm$ 0.40 ^{Aa}	0.06 $\pm$ 0.03 ^{Ab}	-1.07 $\pm$ 0.06 ^{Aab}	-1.02 $\pm$ 0.18 ^{Aab}	-0.90 $\pm$ 0.10 ^{Aab}	-1.32 $\pm$ 0.45 ^{Aa}
	b^*	-1.44 $\pm$ 0.18 ^{Aa}	2.47 $\pm$ 0.12 ^{Ab}	3.29 $\pm$ 0.65 ^{Ab}	3.28 $\pm$ 0.46 ^{Ab}	3.17 $\pm$ 0.20 ^{Ab}	3.59 $\pm$ 1.31 ^{Ab}

注: 结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示, 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著, 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

b^* 值上升^[16-17]。同时,肌红蛋白逐渐氧化为高铁肌红蛋白, a^* 值降低^[18],导致鱼肉变暗,白度下降。由此可见,不同终止温度对冻藏 5 个月内的鲷鱼片色泽无显著影响。

2.1.3 汁液损失率

不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片汁液损失率的影响见图 2。冻藏 5 个月后,终止温度为 0, 4, 8 °C 的鲷鱼片汁液损失率分别由初始的 16.53%, 19.47% 和 15.23% 上升至 21.57%, 26.93% 和 22.16%。在 5 个月的冻藏过程中,随着时间的延长,3 组鲷鱼片的汁液损失率总体均呈上升趋势。在鱼肉的冻结和解冻过程中,随着贮藏时间的增加,细胞膜和肌纤维受到破坏,蛋白变性,肌细胞收缩,导致水分不断流失^[19]。另外,在整个冻藏过程中,终止温度分别为 0 和 8 °C 的鲷鱼片汁液损失率无显著差异,但终止温度为 4 °C 的鲷鱼片汁液损失率总体上高于其他 2 组,且在冻藏初期和后期都出现显著差异,说明终止温度为 4 °C 的鲷鱼片持水性较差。



注:同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$),不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

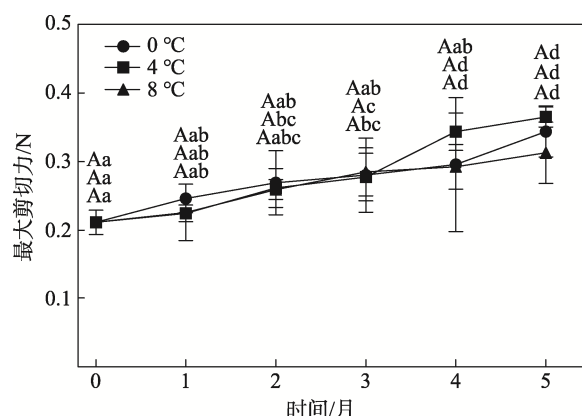
图 2 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中汁液损失率的影响

Fig.2 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the water loss rate of frozen channel catfish

2.1.4 剪切力

不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片剪切力的影响见图 3。新鲜鲷鱼的最大剪切力为 0.21 N,冻藏 5 个月后,终止温度分别为 0, 4, 8 °C 的鲷鱼片最大剪切力分别为 0.34, 0.37, 0.31 N。在 5 个月的冻藏过程中,随着时间的延长,3 组鲷鱼片的最大剪切力均显著上升,这与 Shi 等^[15]的研究结果是一致的。鱼肉在低温条件下贮藏,组织中水分逐渐冻结成冰晶,随着冻藏时间的增加,肌肉顺着肌纤维的方向缩短,从而使得横向变粗,造成冷收缩;同时冰晶不断膨胀,破坏了肌肉组织细胞,加速了冻结过程中蛋白质的变性,使得肉质硬化^[20]。由此可见,不同终止

温度对冻藏 5 个月内的鲷鱼片剪切力无显著影响。



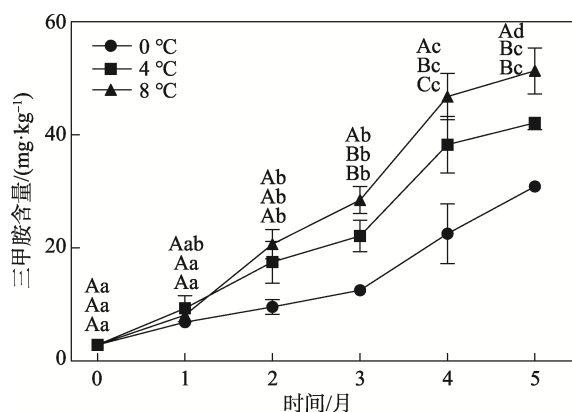
注:同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$),不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

图 3 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中剪切力的影响

Fig.3 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the shear force of frozen channel catfish

2.1.5 三甲胺含量

不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片三甲胺含量的影响见图 4。新鲜鲷鱼片的三甲胺含量为 2.92 mg/kg,冻藏 5 个月后,终止温度为 0 °C, 4 °C 和 8 °C 的鲷鱼片三甲胺含量分别为 30.91 mg/kg, 42.14 mg/kg 和 51.33 mg/kg。在 5 个月的冻藏过程中,随着时间的延长,3 组鲷鱼片的三甲胺含量均显著上升。在细菌的作用下会产生三甲胺,表现为鱼腥恶臭味,因此可用三甲胺含量来表征鱼肉的品质劣变情况。在冷冻过程中,样品中多数腐败菌在低温条件下遭到抑制,但是嗜冷微生物在冷冻条件下仍然存在较强的活性,因此在冻藏过程中鲷鱼片的三甲胺含量逐



注:同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$),不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

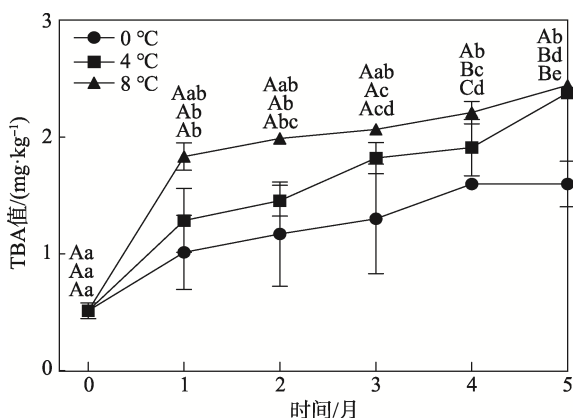
图 4 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中三甲胺含量的影响

Fig.4 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the TMA (trimethylamine) content of frozen channel catfish

渐升高,鱼肉品质劣变程度逐渐上升^[21]。此外,在整个冻藏过程中,不同终止温度的鲷鱼片三甲胺含量不同,在冻藏3个月后存在显著差异,终止温度为8℃的鲷鱼片在冻藏5个月后品质劣变最严重,终止温度为4℃的鲷鱼片次之,终止温度为0℃的鲷鱼片劣变程度最轻。

2.1.6 新鲜度

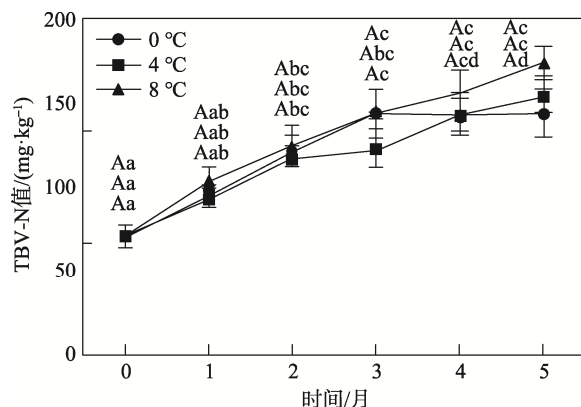
不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片新鲜度的影响见图5—7。新鲜鲷鱼片的TBA为0.5 mg/kg, TVB-N为70.91 mg/kg, K值为8.81%, 冻藏5个月后, 终止温度为0, 4, 8℃的鲷鱼片TBA分别为1.60, 2.38, 2.44 mg/kg (见图5), TVB-N分别为143.74, 154.05, 174.55 mg/kg (见图6), K值分别为17.88%, 22.01%和22.67% (见图7)。在5个月的冻藏过程中,随着时间的延长,3组鲷鱼片的TBA、TVB-N、K值均显著上升。TBA、TVB-N、K值均可以一定程度地反映肉制品的新鲜度、加工及食用价值。一般认为,冷藏过程中TBA、TVB-N、K值的升高表明肉制品品质逐渐劣变,新鲜度逐渐下降。在冻藏过程中,由于冰晶会对鱼肉的组织细胞造成影响,其完整性被破坏,一些促氧化成分被释放出来,导致氧化程度增高,这与卞瑞姣等^[22]的研究结果是一致的。同时,冻藏5个月后,终止温度为0℃的鲷鱼片TBA、TVB-N、K值均要略低于其他2组,终止温度为4℃的鲷鱼片次之,终止温度为8℃的鲷鱼片最高,说明在冻藏5个月内,电商物流终止温度为0℃的鲷鱼片最新鲜,4℃的鲷鱼片新鲜度次之,8℃的鲷鱼片新鲜度最差。这与上述三甲胺的测定结果基本一致。姜晓娜^[23]通过模拟物流过程中不同温度对金枪鱼冷藏品质的影响,同样发现,在0℃物流温度下金枪鱼的冷藏品质最佳,这与文中结果是一致的。此外,



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

图5 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中TBA的影响

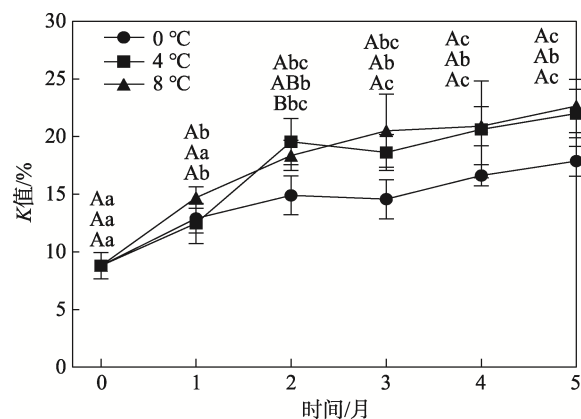
Fig.5 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the TBA of frozen channel catfish



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

图6 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中TVB-N的影响

Fig.6 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the TVB-N of frozen channel catfish



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P<0.05$)

图7 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中K值的影响

Fig.7 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the K value of frozen channel catfish

在肉制品中,当TBA小于5 mg/kg时,适宜食用,但当TBA达到8 mg/kg时,已不具食用或者加工的价值^[24]。淡水鱼的TVB-N值 ≤ 130 mg/kg为一级鲜度,TVB-N值 ≤ 200 mg/kg为二级鲜度^[25]。就肉制品的K值而言,小于20%属于一级鲜度,20%~40%为二级鲜度,60%~80%为初期腐败,不可接受^[26]。由此可见,冻藏5个月后,不同终止温度下的鲷鱼片仍处于二级鲜度以上,均具有加工及食用价值,且终止温度为0℃的鲷鱼片加工食用价值更好。

2.2 蛋白特性

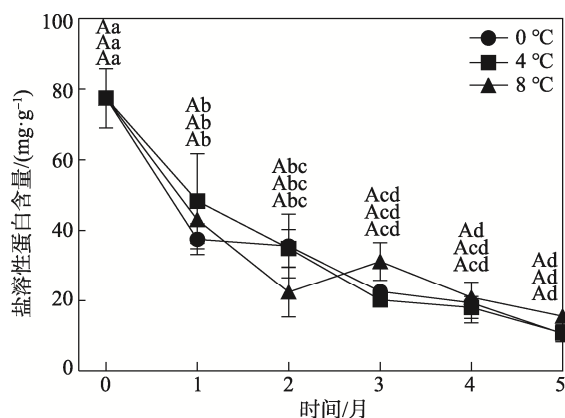
不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片盐溶性蛋白含量的影响见图8。新鲜鲷鱼片的盐溶性蛋白含量为77.51 mg/g,冻藏5个月后,终止温度分别

为 0, 4, 8 °C 的鲷鱼片盐溶性蛋白含量分别为 10.55, 10.67, 15.55 mg/g。在 5 个月的冻藏过程中, 随着时间的延长, 3 组鲷鱼片的盐溶性蛋白含量均显著下降, 且在冻藏第 1 个月的下陷速率最快。在冻藏过程中, 盐溶性蛋白含量降低的原因如下所述。

1) 在冻藏过程中, 由于结合水形成冰晶, 导致肌球蛋白分子间形成非共价键, 进而形成超大分子不溶性凝集体^[27]。

2) 二硫键导致肌球蛋白重链聚合以及盐溶性蛋白变性后, 形成的碱溶性蛋白在高离子强度下不能溶出等^[28]。另外, 不同终止温度对冻藏 5 个月内的鲷鱼片盐溶性蛋白含量无显著影响。

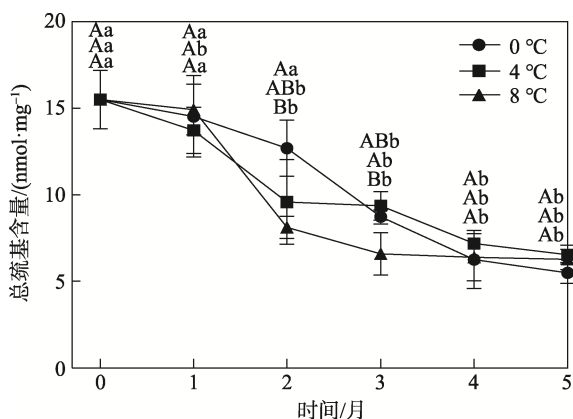
不同电商物流终止温度对冻藏过程中鲷鱼片总巯基含量、羰基含量和表面疏水性的影响见图 9—11。



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

图 8 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中蛋白溶解度的影响

Fig.8 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the protein solubility of frozen channel catfish

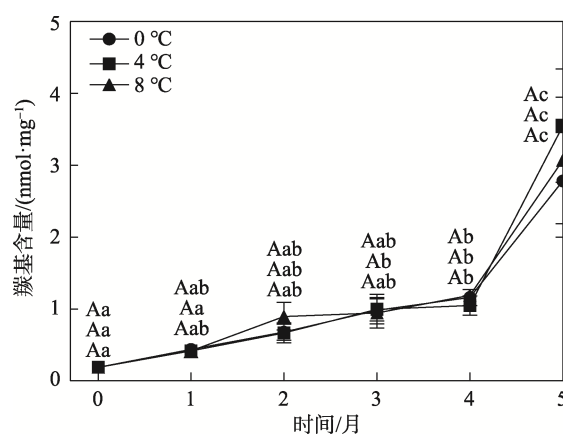


注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

图 9 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中总巯基含量的影响

Fig.9 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the total sulfhydryl group content of frozen channel catfish

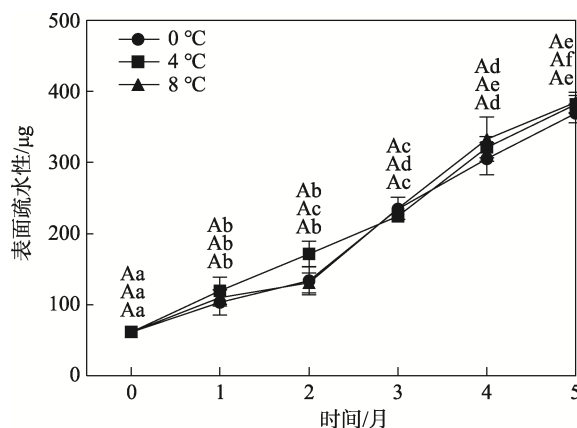
新鲜鲷鱼片的总巯基含量为 15.50 nmol/mg, 羰基含量为 0.19 nmol/mg, 表面疏水性为 62.08 μg , 冻藏 5 个月后, 终止温度为 0, 4, 8 °C 的鲷鱼片总巯基含量分别为 5.49, 6.54, 6.27 nmol/mg; 羰基含量分别为 3.33, 3.07, 3.55 nmol/mg; 表面疏水性分别为 269.23, 381.98, 384.83 μg 。在 5 个月的冻藏过程中, 随着时间的延长, 3 组鲷鱼片的总巯基含量显著下降, 羰基含量显著上升, 且在冻藏第 5 个月的上升速率最快, 表面疏水性显著上升。在冻藏过程中, 巯基含量的下降可能是因为鱼肉肌原纤维蛋白中暴露在表面的巯基被氧化成二硫键, 也可能是因为鱼肉蛋白在冻藏期间发生的聚集反应对肌原纤维蛋白总巯基含量产生影响^[29—30]。同时, 随着冻藏时间的增加, 鱼肉中羰



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

图 10 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中羰基含量的影响

Fig.10 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the carbonyl group content of frozen channel catfish



注: 同一指标的不同大写字母代表在相同贮藏时间下数据差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母代表在相同终止温度下数据差异显著 ($P < 0.05$)

图 11 不同电商物流终止温度对斑点叉尾鲷冻藏过程中表面疏水性的影响

Fig.11 Effect of e-commerce logistics termination temperature on the surface hydrophobicity of frozen channel catfish

自由基不断增加,而羟自由基与氨基酸侧链或肽链不断地发生氧化反应,造成羰基含量的增加^[30]。另外,蛋白质结构在冻藏过程中不断改变、展开,其中的疏水基团逐渐暴露,导致了表面疏水性的显著升高。这些结果都表明,鲷鱼片的蛋白质在冻藏5个月内逐渐变性,进而使得鲷鱼样品的食用性和加工性降低,但不同终止温度对冻藏5个月内的鲷鱼片蛋白特性无显著影响。

2.3 指标间相关性分析

在不同电商物流终止温度下冻藏5个月的鲷鱼片的各指标间的相关性分析见表2。汁液损失率、蛋

白溶解度、巯基、羰基、表面疏水性、TBA、TVB-N和K值间均互相显著相关;L*值与除pH值、a*值、蛋白溶解度、巯基外的所有指标均显著相关;b*值与除pH值、a*值、汁液损失率、蛋白溶解度、三甲胺外的所有指标均显著相关;a*值与汁液损失率、巯基、羰基、表面疏水性显著相关;pH值与所有指标均显著不相关。这些结果表明,冻藏过程中鱼肉持水性的下降、肉质变硬、鱼肉变暗以及新鲜度下降,与鱼肉中的成分尤其是蛋白质的氧化变性紧密相关。通过分析各指标间的相关性,可以为进一步研究其机理提供相关理论基础。

表2 各指标间的相关性
Tab.2 Correlation coefficients of various indicators

相关性	pH	L*	a*	b*	汁液损失率	剪切力	三甲胺
pH	1						
L*	-0.412	1					
a*	-0.049	-0.031	1				
b*	-0.209	0.690*	0.133	1			
汁液损失率	-0.226	0.545*	-0.648*	-0.253	1		
剪切力	-0.032	0.613*	-0.030	0.798*	0.681*	1	
三甲胺	-0.094	0.536*	-0.317	0.381	0.641*	0.567*	1
TBA 值	-0.027	0.581*	-0.355	0.630*	0.531*	0.730*	0.642*
TVB-N 值	-0.107	0.550*	-0.451	0.682*	0.627*	0.790*	0.615*
K 值	-0.036	0.674*	-0.465	0.632*	0.732*	0.738*	0.696*
蛋白溶解度	0.316	-0.422	0.491	-0.417	-0.700*	-0.424	-0.440
总巯基含量	-0.079	0.338	0.634*	-0.523*	-0.673*	-0.673*	-0.689*
羰基含量	-0.310	-0.511*	-0.505*	0.512*	0.552*	0.585*	0.381
表面疏水性	-0.225	0.541*	-0.505*	0.547*	0.759*	0.695*	0.688*
相关性	TBA 值	TVB-N 值	K 值	蛋白溶解度	总巯基含量	羰基含量	表面疏水性
pH							
L*							
a*							
b*							
汁液损失率							
剪切力							
三甲胺							
TBA 值	1						
TVB-N 值	0.883*	1					
K 值	0.941*	0.892*	1				
蛋白溶解度	-0.565*	-0.690*	-0.572*	1			
总巯基含量	-0.839*	-0.915*	-0.898*	0.616*	1		
羰基含量	0.652*	0.776*	0.672*	-0.549*	-0.713*	1	
表面疏水性	0.778*	0.923*	0.829*	-0.618*	-0.893*	0.852*	1

注: *表示相关性显著 ($P < 0.05$)

3 结语

不同电商物流终止温度(0, 4, 8 °C)下的鲮鱼片在冻藏5个月后, 汁液损失率、剪切力、羰基含量、表面疏水性、 b^* 值、三甲胺含量、TBA值、TVB-N值、 K 值均显著上升; 盐溶性蛋白含量、巯基含量显著下降。表明不同电商物流终止温度(0, 4, 8 °C)下的鲮鱼片在5个月的冻藏过程中, 随着冻藏时间的延长, 鱼肉持水性会下降, 肉质变硬, 蛋白变性程度升高, 新鲜度下降, 加工品质大大降低。冻藏5个月后的3组鲮鱼片的TBA值、TVB-N值和 K 值表明, 鱼肉仍保持在二级鲜度以上, 可以加工食用。另外, 不同电商物流终止温度对冻藏5个月的鲮鱼片pH值、色泽、剪切力、蛋白特性无显著影响($P>0.05$), 但电商物流终止温度为0 °C的鲮鱼片冻藏5个月后, 三甲胺含量、TBA、TVB-N、 K 值最低, 其次是电商物流终止温度为4 °C的鲮鱼片, 电商物流终止温度为8 °C的鲮鱼片的值最高。由此可见, 电商物流终止温度为0 °C的鲮鱼片在冻藏5个月后品质最佳, 电商物流终止温度为4 °C次之, 电商物流终止温度为8 °C最差。

参考文献:

- [1] 黄涵, 徐云强, 熊光权, 等. 冻融循环对鲮鱼片品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 126—132.
HUANG Han, XU Yun-qiang, XIONG Guang-quan, et al. Effect of Repeated Freezing and Thawing on the Quality of Catfish[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 126—132.
- [2] 章蔚, 石柳, 熊光权, 等. 不同预冷时间下鲮鱼能量代谢和加工品质的相关性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 55—61.
ZHANG Wei, SHI Liu, XIONG Guang-quan, et al. Correlation Analysis between Energy Metabolism and Processing Quality of Channel Catfish with Different Prechilling Durations[J]. Food Science, 2020, 41(3): 55—61.
- [3] 李晓红, 金兆国, 卢凤君. 我国淡水鱼流通组织模式评价与选择[J]. 物流科技, 2012, 35(1): 9—12.
LI Xiao-hong, JIN Zhao-guo, LU Feng-jun. Evaluation and Choice of Organization Model of Freshwater Fish Circulation in China[J]. Logistics Science and Technology, 2012, 35(1): 9—12.
- [4] 许美贤. 我国农产品电商物流存在的问题及对策研究[J]. 物流工程与管理, 2019(2): 8—9.
XU Mei-xian. Research on Problems and Countermeasures of Agricultural Products E-commerce Logistics in China[J]. Logistics Engineering and Management, 2019(2): 8—9.
- [5] 项斯琦, 朱文娟. 电商平台下农产品流通发展策略研究[J]. 物流工程与管理, 2019, 41(3): 118—119.
XIANG Si-qi, ZHU Wen-juan. Research on Development Strategy of Agricultural Products Circulation under E-commerce Platform[J]. Logistics Engineering and Management, 2019, 41(3): 118—119.
- [6] 黄文博, 谢晶, 罗超, 等. 冷链物流中温度波动对美国红鱼品质变化的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 268—274.
HUANG Wen-bo, XIE Jing, LUO Chao, et al. Effect of Temperature Fluctuation on Quality Changes of Red Drum (*Sciaenopsocellatus*) in Cold Chain Logistics[J]. Food Science, 2016, 37(18): 268—274.
- [7] 谢雅雯, 叶云花, 张露, 等. 生鲜运输过程中鲮鱼头品质的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 129—134.
XIE Ya-wen, YE Yun-hua, ZHANG Lu, et al. Quality Changes of the Bighead Carps Head during the Fresh Logistics Transportation[J]. Food and Machinery, 2019, 35(6): 129—134.
- [8] MORTENSEN M, ANDERSEN H J, ENGELSEN S B, et al. Effect of Freezing Temperature, Thawing and Cooking Rate on Water Distribution in Two Pork Qualities[J]. Meat Science, 2006, 72(1): 34—42.
- [9] 李丰. 水产品中氧化三甲胺、三甲胺、二甲胺检测方法及其鱿鱼丝中甲醛控制研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2010: 15—16.
LI Feng. Studies on the Analysis of Trimethylamine-n-oxide, Trimethylamine and Dimethylamine and Control of Formaldehyde in Shredded Squid[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2010: 15—16.
- [10] 石钢鹏, 周俊鹏, 章蔚, 等. 超高压与热烫预处理对克氏原螯虾肉冻藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 288—296.
SHI Gang-peng, ZHOU Jun-peng, ZHANG Wei, et al. Effect of Ultra-high Pressure and Blanching Pretreatment on the Quality of Frozen *Procambarus Clarkii* Meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 288—296.
- [11] GB 5009.228—2016, 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228—2016, Determination of Total Volatile Base Nitrogen in Food[S].
- [12] SCT 3048—2014, 鱼类鲜度指标 K 值的测定高效液相色谱法[S].
SCT 3048—2014, Determination of Freshnessindex K Value in Fish: HPLC[S].
- [13] POOWAKANJANA S, PARK J. Biochemical Characterisation of Alaska Pollock, Pacific Whiting, and Threadfin Bream Surimi as Affected by Comminution Conditions[J]. Food Chemistry, 2013, 138(1): 200—207.
- [14] 陈敦喜. 酸碱法制备草鱼鱼糜及其特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 13—14.
CHEN Dun-xi. Study on the Preparation and Properties

- of Grass Carp Surimi with Acidic and Alkaline Treatments[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 13—14.
- [15] SHI Liu, YIN Tao, WANG Lan, et al. Effect of Pre-chilling Time on the Physicochemical Properties of Channel Catfish during Frozen Storage[J]. International Journal of Refrigeration, 2020, 115(7): 56—62.
- [16] 郝淑贤, 林婉玲, 李来好, 等. 一氧化碳发色处理对罗非鱼鱼片暗色肉贮藏过程色泽影响分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 7—12.
- HAO Shu-xian, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Effect of CO Treatment on Color of Tilapia Fillets during Storage[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(5): 7—12.
- [17] TIRONI V, DE LAMBALLERIE M, LE-BAIL A. Quality changes during the Frozen Storage of Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*) Muscle after Pressure Shift Freezing and Pressure Assisted Thawing[J]. Food Chemistry, 2014, 160(11): 82—89.
- [18] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 41—45.
- SHEN Yue-xin. Aquatic Food Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 41—45.
- [19] 焦梅, 聂小华, 刘书来, 等. 鱼肉的质地及其在加工过程中的变化[J]. 食品科技, 2008(1): 93—95.
- JIAO Mei, NIE Xiao-hua, LIU Shu-lai, et al. Texture of Fish Meat and Its Changes during Process[J]. Food Science and Technology, 2008(1): 93—95.
- [20] WANG Hang, LUO Yong-kang, SHI Ce, et al. Effect of Different Thawing Methods and Multiple Freeze-thaw Cycles on the Quality of Common Carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2015, 24(2): 153—162.
- [21] 唐森, 李军生, 胡金鑫, 等. 应用三甲胺+二甲胺与氧化三甲胺摩尔比值评价冷冻鱼产品的新鲜程度[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 222—228.
- TANG Sen, LI Jun-sheng, HU Jin-xin, et al. Applications of (Trimethylamine + Dimethylamine)/ Trimethylamine Oxide Molar Ratio for Frozen Fish Freshness Evaluation[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2016, 32(1): 222—228.
- [22] 卞瑞姣, 曹荣, 刘淇, 等. 去头/内脏处理对秋刀鱼冷藏特性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 269—273.
- BIAN Rui-jiao, CAO Rong, LIU Qi, et al. Effect of Deheading and Evisceration on Shelf Life and Spoilage Characteristics of *Cololabis Saira* during Refrigerated Storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 269—273.
- [23] 姜晓娜. 模拟物流过程中黄鳍金枪鱼品质变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018: 45—50.
- JIANG Xiao-na. Study on the Quality Change of Yellowfin Tuna in Simulated Logistics Process[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2018: 45—50.
- [24] 潘锦锋, 沈慧星, 宋永令, 等. 鱼蛋白冷冻变性及其抗冻剂的研究综述[J]. 肉类研究, 2009(6): 9—15.
- PAN Jin-feng, SHEN Hui-xing, SONG Yong-ling, et al. a Review of Study on Freezing Denaturation of Fish Protein and Its Cryoprotectants[J]. Meat Research, 2009(6): 9—15.
- [25] 史策, 孙立涛, 钱建平, 等. 可见/近红外技术与感官评价信息融合预测冷藏条件下罗非鱼TVB-N的研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 268—273.
- SHI Ce, SUN Li-tao, QIAN Jian-ping, et al. TVB-N Prediction of Tilapia with Scales by Information Fusion of Near Infrared Spectrum Technology and Sensory Evaluation during Chilled Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(21): 268—273.
- [26] MASSAAGUEDA, PALACIOS DIEGO, PAREDIMARIA, et al. Postmortem Changes in Quality Indices of Ice-stored Flounder(*Paralichthys Patagonicus*)[J]. Journal of Food Biochemistry, 2010, 29(5), 570—590.
- [27] 韩洋. 冻藏过程中阿拉斯加鲑鱼品质变化研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016: 24—25.
- HAN Yang. Study on the Quality Changes of Frozen Alaska Pollock[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016: 24—25.
- [28] 林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 浸渍冻结对调理草鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 67—73.
- LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, LI Lai-hao, et al. Immersion Freezing Effect on Myofibrillar Protein Characteristics of Prepared Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idellus*) Fillets during Frozen Storage[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(3): 67—73.
- [29] CHAPLEAU N, DE LAMBALLERIE-ANTON M. Changes in Myofibrillar Proteins Interactions and Rheological Properties Induced by High-pressure Processing[J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(6): 470—476.
- [30] 邓小蓉, 雷用东, 卢士玲, 等. 蛋白质氧化对高白鲑肌浆蛋白理化特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 22—27.
- DENG Xiao-rong, LEI Yong-dong, LU Shi-ling, et al. Effect of Protein Oxidation on Biochemical Properties of *Coregonus Peled* Sarcoplasmic Proteins[J]. Food Science, 2019, 40(18): 22—27.