

电商物流过程中温度波动对鲶鱼片冷藏品质的变化

王雪莉^{1,2}, 张婉^{1,2}, 徐云强², 汪兰², 丁安子², 石柳², 吴文锦², 陈胜², 孙卫青^{1*}, 熊光权^{2*}

(1. 长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434025) (2. 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 该研究测定了实际电商物流和模拟物流过程中鱼片产品的温度变化, 并探究了不同终止温度对冷冻鲶鱼片冷藏品质影响。经过实际电商物流中不同运输距离鲶鱼片的温度变化模拟电商物流不同带冰量、包装材料和温度环境下鲶鱼片的温度变化, 发现冷冻鱼片的物流终止的温度在 0~8℃ 之间。实验设定了 3 个电商物流终止温度 (0、4、8℃), 模拟鲶鱼片继续冷藏的过程。结果表明, 随贮藏时间的延长, 鲶鱼片的汁液损失率、*b**值、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)、菌落总数均显著上升, 而 pH 值和色泽无显著影响。另外, 电商物流终止温度为 0℃ 的鲶鱼片在冷藏过程中, 嫩度、三甲胺含量、TBA、TVB-N、*K* 值最低, 其次是终止温度为 4℃ 的鲶鱼片, 而终止温度为 8℃ 时冷藏超过 6 d, 菌落总数为 7.12 lg CFU/g 超出鲜鱼的最高安全限量值, 不推荐食用。电商物流结束时终止温度对后期产品冷藏品质影响较大, 终止温度越低, 后期冷藏时品质劣变越慢。

关键词: 电商物流; 终止温度; 鲶鱼; 冷藏; 品质特性

文章编号: 1673-9078(2023)08-124-132

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0855

Effect of Temperature Fluctuation in the Process of E-commerce Logistics on the Quality of Cold Stored Ictalurus Catfish Fillets

WANG Xueli^{1,2}, ZHANG Wan^{1,2}, XU Yunqiang², WANG Lan², DING Anzi², SHI Liu², WU Wenjin², CHEN Sheng²,
SUN Weiqing^{1*}, XIONG Guangquan^{2*}

(1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China) (2. Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: In this study, the temperature changes of catfish fillets in the processes of actual e-commerce logistics and simulated logistics were measured, and the effects of different termination temperatures on the quality of pre-frozen catfish fillets during cold storage were investigated. By simulating the temperature changes of catfish fillets in the actual e-commerce logistics with different transportation distances involving different ice amounts, packaging materials and environmental temperatures, it was found that the termination temperature of frozen catfish fillets in the logistics was between 0℃ and 8℃. Three e-commerce termination temperatures (0, 4, 8℃) were set in the experiment to simulate the continuous refrigeration of catfish fillets. The results showed that with the extension of storage time, drip loss, *b** value, trimethylamine content, thiobarbituric acid (TBA) content, total volatile base nitrogen (TVB-N) content, freshness (*K* value) and total viable count of catfish fillets increased significantly, with the pH value and color being affected insignificantly. In addition, when the termination

引文格式:

王雪莉, 张婉, 徐云强, 等. 电商物流过程中温度波动对鲶鱼片冷藏品质的变化[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 124-132

WANG Xueli, ZHANG Wan, XU Yunqiang, et al. Effect of temperature fluctuation in the process of E-commerce logistics on the quality of cold stored ictalurus catfish fillets [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 124-132

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助项目 (CARS-46); 湖北省青年拔尖人才培养计划项目 (TPP); 湖北省农业科技创新中心重大科技研发专项 (2020-620-000-002-03)

作者简介: 王雪莉 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工, E-mail: sherrydeyx@163.com

通讯作者: 孙卫青 (1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 畜禽水产加工与质量控制, E-mail: sunweiqing@yangtzeu.edu.cn; 共同通讯作者: 熊光权 (1965-), 男, 本科, 研究员, 研究方向: 水产品加工, E-mail: xionguangquan@163.com

temperature of cold stored catfish fillets was 0 °C, the tenderness, trimethylamine content, TBA content, TVB-N value and K value were the lowest, followed by the catfish fillets with the termination temperature at 4 °C, whereas, the total number of bacteria reached 7.12 lg CFU/g (which exceeded the maximum safety limit value of fresh fish, indicating the fish was not suitable for intake), when the cold storage was longer than 6 days and had a termination temperature of 8 °C. The termination temperature at the end of e-commerce logistics would influence greatly the quality of refrigerated products in the later period. The lower the termination temperature is, the slower the deterioration of quality in the later refrigeration period would be.

Key words: e-commerce logistics; termination temperature; catfish; cold storage; quality characteristics

斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 是一种重要的淡水养殖鱼类, 具有适应性广、生长快、产量高、营养丰富、肉质鲜嫩和价格低廉等诸多优势^[1,2]。鮰鱼富含维生素、不饱和脂肪酸和必需氨基酸, 且胆固醇含量低, 结缔组织含量低, 易于消化, 适合所有年龄段的人群^[3,4]。

电子商务已成为中国网民的主要购物方式, 生鲜水产品也成为新的网购产品^[5], 但生鲜水产品由于特有的生理特性容易发生腐败。而且在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, 降低了鱼类产品的营养价值、外观品质, 影响新鲜度甚至消费者的健康, 延缓了水产品产业的发展进程^[6]。

温度是影响肉制品保鲜的重要环境因素, 环境温度的变化容易引起肉制品在冷链物流中的变质^[7]。因此研究者们为生鲜农产品提供便捷、高效的电商物流运输展开了一系列的研究。蓝蔚青等^[8]通过模拟大目金枪鱼在不同条件下的低温流通过程, 发现随着流通时间的延长, 温度波动越大, 大目金枪鱼品质劣变越严重。王硕等^[9]研究在模拟冷链物流过程中三文鱼肉腐败变质时水分性质及肌肉结构的变化, 发现物流期间温度变化越大, 三文鱼品质劣变越迅速, 并且贮藏及销售过程中始终处于 0 °C 的鱼肉品质更好。

目前, 针对电商物流过程的温度波动以及淡水鱼贮藏过程中品质变化的研究较少, 本文以斑点叉尾鮰为研究对象, 探究电商物流过程中的温度波动以及不同终止温度 (0、4、8 °C) 对鮰鱼片冷藏品质的影响, 期望获得在电商物流结束后冷藏时鮰鱼片的品质劣变情况和可食用期限。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料: 斑点叉尾鮰, 鲜活, 尾重 (1.5±0.25) kg, 购买于湖北省武汉市白沙洲农副产品大市场。

主要试剂: 平板计数琼脂, 青岛海博生物技术有限公司; 甲苯, 天津市广成化学试剂有限公司; 苦味酸, 山东西亚化学工业有限公司; 甲醇 (液相级纯),

腺苷三磷酸 (ATP), 腺苷酸 (AMP), 德国 Sigma 公司; 腺苷二磷酸 (ADP), 肌苷酸 (IMP), 次黄嘌呤核苷 (HxR), 次黄嘌呤 (Hx), 上海源叶科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

比色计 CR-400 色度计, 日本 Konica Minolta 公司; 海豪多功能全自动交流直流两用增氧机, 南通海豪科技有限公司; 梅特勒 LE427 pH 计, 梅特勒托利多 (上海) 有限公司; 722N 可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; Sigma 3K15 离心机, 德国 Sigma 公司; TA.XTplus 物性测定仪, 英国 Stable Micro System 公司; 核磁共振分析仪, 苏州纽迈分析仪器股份有限公司; 月旭 Ultimate AQ-C18 色谱柱, 月旭科技 (上海) 股份有限公司; 赛默飞高效液相色谱仪 UltiMate 3000, 美国 Thermo Fisher 公司; SPX-150B5H-II 生化培养箱, 上海新苗医疗器械制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

购买的斑点叉尾鮰在 16~20 °C 条件下增氧机供氧暂养 24 h, 在低温环境中将鱼击晕、宰杀、去头、去尾、放血和去内脏, 采用冰水进行清洗。然后取背部肉, 分割成 50 g 左右的鱼片, 用聚乙烯袋真空包装, 包装好的鮰鱼片放入 -40 °C 冰箱冻藏 24 h 后, 样品分为三组分别放入隔热的白色聚苯乙烯泡沫盒中。保温用的冰袋在 -18 °C 冰箱冻藏超过 24 h。

1.3.2 物流中鮰鱼片的温度变化

1.3.2.1 电商物流中不同运输距离鮰鱼片温度变化

将冷冻鮰鱼片分为三组和冰袋按照 1:1 (m/m) 放入隔热的白色聚苯乙烯泡沫盒中 (内径 42.5 cm×26.5 cm×21.5 cm), 温度记录仪的探头附在包装鱼片上放入隔热箱中央, 根据冷链物流技术和管理规范放入隔热箱内^[10,11], 然后装入瓦楞纸箱中打包, 用顺丰速运将打包好的鮰鱼片分别从武汉运输到宜昌 (300 km), 绍兴 (600 km) 和佛山 (800 km), 期间温度记录仪每隔 10 min 记录样品温度。当鮰鱼片运输到目的地后, 将温度计取出, 并停止记录。

1.3.2.2 模拟电商物流在不同带冰量、包装材料和温度环境下鲷鱼片的温度变化

不同带冰量采用白色聚苯乙烯泡沫盒,冻藏的鲷鱼片和冰袋 1:1 (m/m) 和 1:2 (m/m) 打包,放入 25 °C 恒温箱中。不同包装材料采用白色聚苯乙烯泡沫盒,保温箱和铝箔贴合无纺布保温袋,冻藏的鲷鱼片和冰袋 1:1 (m/m) 打包,放入 25 °C 恒温箱中。不同温度环境采用白色聚苯乙烯泡沫盒,冻藏的鲷鱼片和冰袋 1:1 (m/m) 打包,打包好的鲷鱼片分别放在实验室内角落、实验室外阳台和 37 °C 恒温箱中。每隔 10 min 利用温度记录仪对环境温度和样品温度进行监测,当样品温度到达 8 °C 时停止温度计记录并读取数据。

1.3.3 理化指标

将冻藏的鲷鱼片放入隔热的白色聚苯乙烯泡沫盒在实验室中模拟电商物流过程,环境温度约为 25 °C,待其 24 h 后到达终止温度再放回 4 °C 冰箱中分别冷藏 0、2、4、6 d,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。

1.3.3.1 汁液损失率的测定

汁液损失率表示解冻后鱼的汁液和水分损失。其计算为冷冻储存前和解冻后鱼的质量差。

$$X = \frac{W_1 - W_2 - W_3}{W_1 - W_3} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

X——汁液流失率, %;

W_1 ——解冻前鱼片和袋子的总质量, g;

W_2 ——解冻后鱼片的质量, g;

W_3 ——真空袋的质量, g。

1.3.3.2 pH 的测定

pH 值的测定参考黄涵等^[3],用便携式 pH 计测量鱼肉的 pH 值。

1.3.3.3 色泽的测定

使用色度计测量样品的色泽。样品在测试台上平放,将比色计探头紧密附着到样品上进行测量,每个样品测定三次。

1.3.3.4 嫩度的测定

嫩度的测定参考 Utrera 等^[12]的方法,将鱼肉切成 2 cm×2 cm×2 cm 的鱼块,置于装有手术刀片质构探头下进行嫩度的测定分析。测定参数设置:力臂 25 kg,测前速度 5 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s,测试距离 5 mm,每组样品平行测定 6 次。

1.3.3.5 水分分布的测定

将 10 g 样品放入直径为 25 mm 的核磁管,而后将核磁管插入分析仪中。Multi-slicespin Echo 序列质子密度成像实验具体参数如下: Slices 3, Slice Width 3 mm,

Slices Gap 2.0 mm。将得到的图像通过图像处理软件统一映射,然后采用 Jet 伪彩。

1.3.3.6 三甲胺的测定

三甲胺参考 Yi 等^[13]的方法用苦味酸法测定。

1.3.3.7 TVB-N 的测定

TVB-N 的测定参考 GB 5009.228-2016《食品中挥发性盐基氮的测定》^[14]。

1.3.3.8 TBA 的测定

TBA 含量参考石钢鹏等^[15]的方法用蒸馏法进行测定。

1.3.3.9 新鲜度 K 值的测定

新鲜度的测定采用 SCT 3048-2014,鱼类鲜度指标 K 值的测定高效液相色谱法^[16]。

1.3.3.10 菌落总数的测定

菌落总数的测定采用 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^[17]。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2010 进行计算,用 RC-4&5_Conventional (V3.2) 读取温度记录仪里面的数据,采用 SPSS 19.0 软件进行显著性差异分析,Origin 9.0 和 GraphPad Prism 5 软件作图,试验结果用平均数±标准差表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 电商物流中鲷鱼片温度变化

2.1.1 实际电商物流中不同运输距离鲷鱼片温度变化曲线

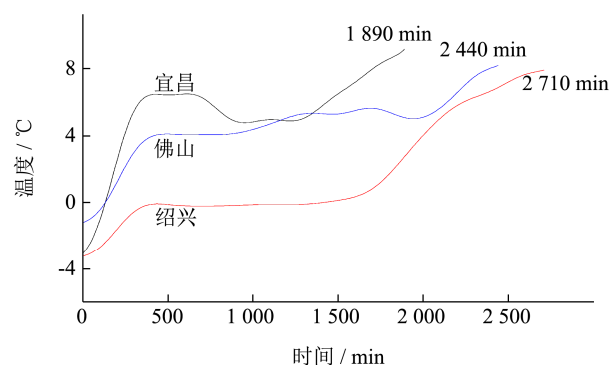


图1 实际电商物流武汉到宜昌、绍兴和佛山的温度变化
Fig.1 Temperature changes of actual e-commerce logistics from Wuhan to Yichang, Shaoxing and Foshan

如图1,测定了鲷鱼片从武汉到宜昌、绍兴和佛山期间产品的温度变化,总用时长分别为 1 890、2 710 和 2 440 min。在第一阶段,鲷鱼片温度急剧上升,第二阶段从 255 min 开始分别在 4、6 和 0 °C 左右保持相对稳定,

期间温度波动,可能是与外界环境温度变化有关。第三阶段鲮鱼片分别在从 1 120、1 370 和 1 750 min 温度上升,较第二阶段上升速率低,可能因为冰袋全部融化。

从实际电商物流鲮鱼片温度变化曲线可以看出,运输过程中,鲮鱼片的温度变化曲线可以分为上升、平缓 and 上升三个阶段,这一结论与 East 等^[18]报道的保温盒暴露于约 29 °C 的恒定外部温度下温度曲线相似,运输距离同运输时间有关,运输距离越远,所需时间越长。三组样品中第三阶段保持相对平衡的温度和保持时间有差别,因为热交换原理,可能同外界环境温度变化密切相关。

2.1.2 模拟电商物流不同带冰量、包装材料和不同环境温度下鲮鱼片温度变化

模拟电商物流鲮鱼片温度变化,当温度上升到 8 °C 左右停止记录。如图 2a 所示,模拟电商物流温度变化与图 1 实际电商物流温度变化趋势基本一致。T1、T2 达到终点分别用时 2 370、3 560 min。结果表明,2 倍带冰量的鲮鱼片温度升至 8 °C 的时间更长。

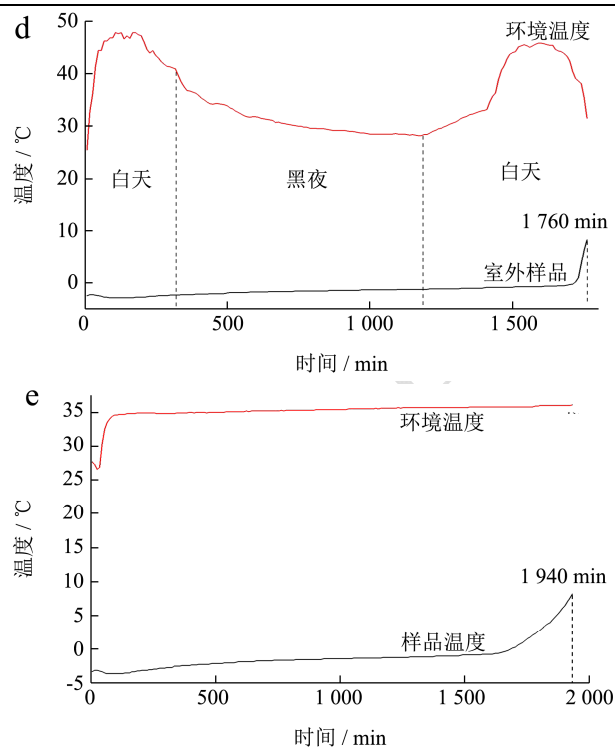
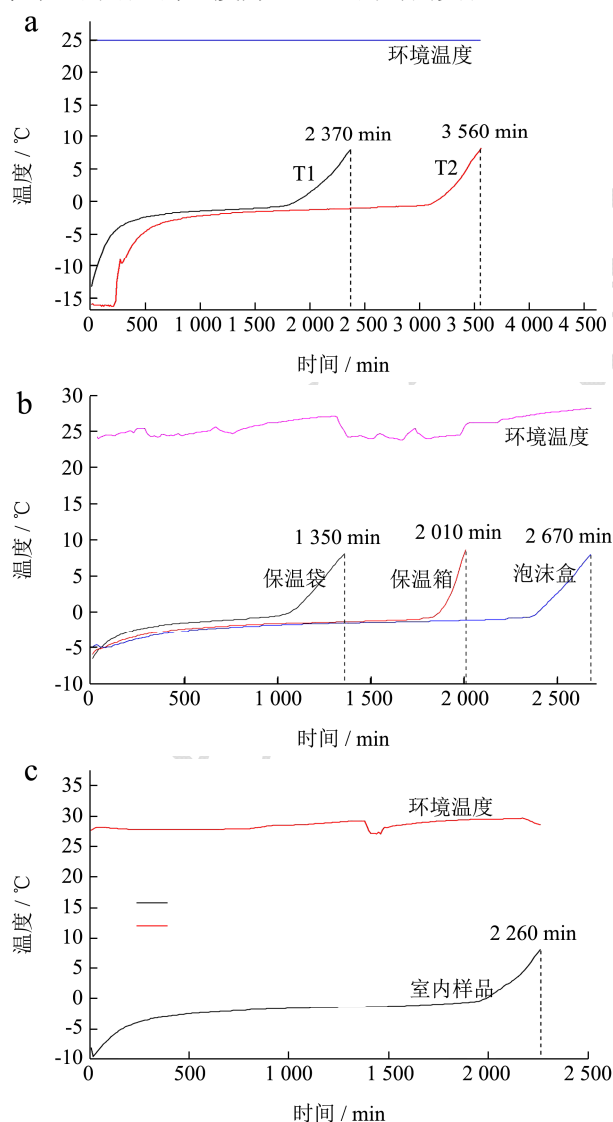


图2 模拟电商物流不同带冰量(a)、包装材料(b)和温度环境(室内环境(c)、室外环境(d)和环境温度为 37 °C(e))下鲮鱼片温度变化曲线

Fig.2 Simulates the temperature change of catfish slices in e-commerce logistics with different ice content (a), packaging material (b) and temperature environment (indoor environment (c), outdoor environment (d) and environmental temperature of 37 °C (e))

注: T1 表示鲮鱼:冰袋=1:1 (m/m), T2 表示鲮鱼:冰袋=1:2 (m/m)。

如图 2b 所示,环境温度为 (26±2.2) °C,三种包装材料鲮鱼片的温度也与实际电商物流温度变化趋势基本一致。保温袋、泡沫箱和保温箱中的冰袋分别在 830、1 760 和 2 220 min 时完全融化,样品温度从 0 °C 开始上升,升至 8 °C 左右时所需时间:泡沫保温箱 (2 670 min)>保温箱(2 010 min)>保温袋(1 350 min)。

如图 2c 所示,当室内温度在 (28.5±1.4) °C 时,鲮鱼片的温度在 1 800 min 时从 0 °C 开始上升,第 2 260 min 上升到 8 °C。如图 2d 所示,室外温度为 (38.6±7.2) °C,环境温度昼夜温差较大,鲮鱼片温度在 340 到 1 390 min 之间,温度在-1.3 °C 左右保持相对稳定,1 760 min 上升到 8.4 °C。如图 2e 所示,在 37 °C 温度条件下,环境温度为 (31.3±4.8) °C,在 1 490 min 鲮鱼片温度从-1.4 °C 上升,在第 1 940 min 到达终点。与其他条件相比,在室内环境温度下,鲮鱼片温度升至 8 °C 所需时间更长。

根据实验,2 倍带冰量的鲮鱼片,用泡沫保温箱

包装，在室内温度 28.5 ℃时，到达 8 ℃的时间更长，保证鲶鱼片的品质。

2.2 理化指标

2.2.1 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间色泽的影响

色度的结果如表 1 所示，在冷藏期间，0、4 和 8 ℃组的色度无显著性变化，但 a^* 、 b^* 值有略微的下降和

升高， a^* 值下降可能是由于冷藏过程中血红蛋白氧化和棕色血红蛋白的积累，以及汁液流失造成血红蛋白的丧失^[19]。 b^* 值升高可能是正常生物体内氧化和抗氧化之间保持着动态平衡，然而鱼体死后体内的抗氧化剂被快速消耗，造成大量的自由基积累，促使脂质氧化的发生^[20]，而脂肪氧化产生羰基化合物与游离氨基酸或者肽发生非酶促褐变使 b^* 值升高。

表 1 电商物流过程中不同终止温度 4 ℃储藏期间鲶鱼片色泽变化

Table 1 The color of catfish slices during storage at different end temperature 4 ℃

色泽	温度/℃	时间/d			
		0	2	4	6
L	0	56.51±3.20 ^{Aa}	58.57±1.54 ^{Aa}	59.43±1.58 ^{Aa}	58.39±2.14 ^{Aa}
	4	60.74±2.28 ^{Aa}	61.38±1.38 ^{Aa}	57.46±3.36 ^{Aa}	60.56±3.88 ^{Aa}
	8	59.24±2.46 ^{Aa}	58.29±2.18 ^{Aa}	59.35±2.32 ^{Aa}	57.33±1.89 ^{Aa}
a^*	0	1.63±0.38 ^{Aa}	1.45±0.64 ^{Aa}	1.04±0.47 ^{Aa}	1.08±0.62 ^{Ba}
	4	1.39±0.60 ^{Aa}	1.35±0.45 ^{Aa}	0.92±0.06 ^{Aa}	0.30±0.07 ^{Aa}
	8	1.55±0.07 ^{Aa}	0.70±0.04 ^{Aa}	0.67±0.08 ^{Aa}	0.56±0.04 ^{Aa}
b^*	0	3.07±0.64 ^{Aa}	3.71±0.75 ^{ABa}	3.36±0.89 ^{Aa}	4.22±0.79 ^{Aa}
	4	3.67±0.14 ^{Aa}	4.30±0.79 ^{Ba}	4.44±0.25 ^{Aa}	5.08±0.25 ^{Aa}
	8	2.92±0.54 ^{Aa}	2.24±0.34 ^{Aa}	2.52±0.35 ^{Aa}	2.67±0.32 ^{Aa}

注：A~B 表示在相同储藏时间下数据差异显著；a 表示在相同终止温度下数据差异显著，显著性水平 $P<0.05$ 。

2.2.2 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间 pH 值的影响

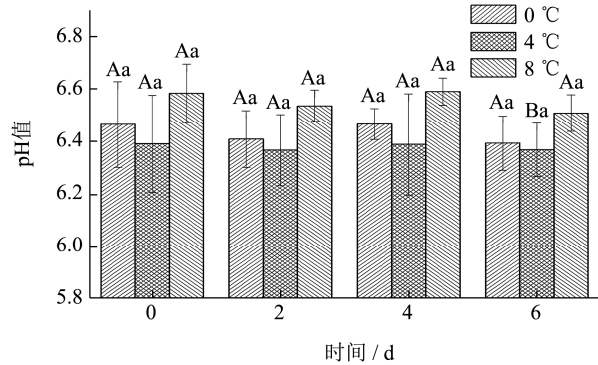


图 3 电商物流过程中不同终止温度 4 ℃储藏期间鲶鱼片 pH 变化

Fig.3 The pH of catfish slices during storage at different end temperature 4 ℃

注：A~B 表示在相同储藏时间下数据差异显著；a 表示在相同终止温度下数据差异显著，下同。

图 3 表示模拟电商物流结束后不同终止温度后期 4 ℃储藏期间鲶鱼片 pH 值的变化，不同终止温度鲶鱼样品的 pH 值在储藏期间均无显著性差异。在模拟运输过程中鲶鱼片的 pH 值发生波动，pH 值降低可能是因为蛋白质变性^[19]、微生物代谢生成有机酸^[21]和肌肉无氧糖酵解产生乳酸等原因^[22]。pH 值的升高可能是鱼肉中的酶或者腐败菌的作用下，使得鱼肉中一些

含氮化合物分解产生胺类等挥发性碱性化合物^[21]。

2.2.3 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间汁液损失率的影响

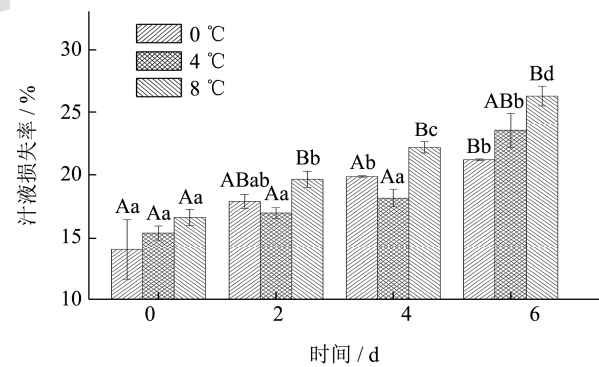


图 4 电商物流过程中不同终止温度 4 ℃储藏期间鲶鱼片汁液损失率的变化

Fig.4 The drip loss of catfish slices during storage at different end temperature 4 ℃

电商物流过程中不同终止温度对 4 ℃储藏期间鲶鱼片汁液损失率的影响见图 4。图中显示了鲶鱼片的汁液损失随着储存时间的延长而增加。0、4 和 8 ℃组的汁液损失分别由第 0 天的 14.05%、15.40%和 16.64%上升至第 6 天的 21.24%、23.57%和 26.35%。8 ℃组的汁液损失率显著增加，鱼片温度升高，肌肉微结构的变化和肌肉液粘度的降低会导致更高的汁液损

失^[23]。储藏期间三组有较显著变化,第6天时微生物数量激增,对蛋白质、糖类等的分解作用增大,对鱼肉组织的破坏的程度变大^[24],导致汁液损失率增加。

2.2.4 不同终止温度对鲮鱼片冷藏期间嫩度的影响

从图 5a 和 5b 可以看出,3 组样品在储藏期间有显著性差异,最大剪切力和韧性在储藏期间整体降低。这种现象主要受两个因素的影响:冰晶的形成和蛋白质的变性^[25]。可能是多种内源性蛋白酶的协同作用对肌原纤维蛋白的水解。还有可能是模拟运输过程中的温度波动会导致鱼肉发生重结晶现象冰晶结合蛋白质中的水分,导致蛋白质结合系统的破坏和削弱,冰晶长大导致肌肉纤维断裂,蛋白质结构发生变化,降低了鱼肉肌原纤维蛋白盐溶性和亲水性。

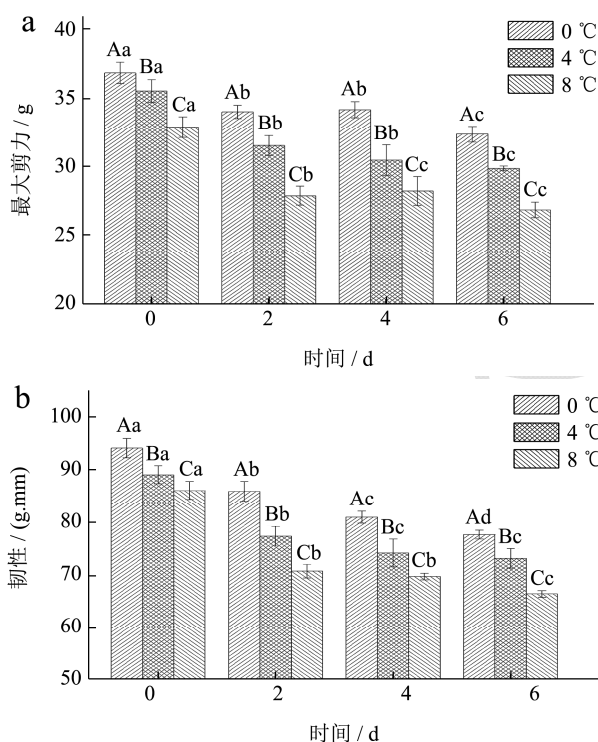


图5 电商物流过程中不同终止温度4 °C储藏期间鲮鱼片剪切力(a)和韧性(b)的变化

Fig.5 The Shear force(a) and toughness(b) of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.5 不同终止温度对鲮鱼片冷藏期间水分分布的影响

电商物流结束后不同终止温度后期4 °C储藏期间鲮鱼片水分分布的变化如图 6 所示,从图中可以看出,在储藏前期,样品伪彩图中绿色部分分布较为均匀,但是随着储藏时间的延长,样品伪彩图出现了红色,黄色和绿色,表明样品内水分分布不均匀,并且样品内水分由内部向外部转移。水分向外转移的原因可能是由于肌肉中对水分具有束缚能力的肌原纤维蛋白质

的功能丧失,随着储藏时间的延长,鲮鱼片中微生物累积并破坏鱼肉的组织结构,导致鱼肉对汁液的束缚能力降低^[26,27]。

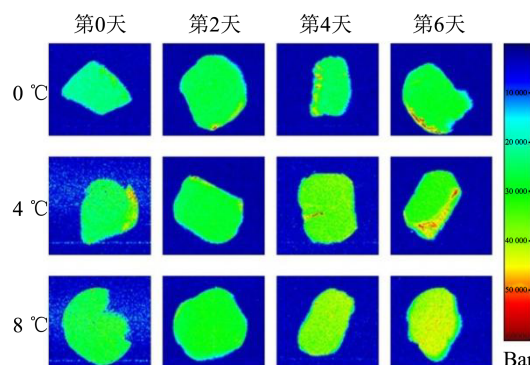


图6 电商物流过程中不同终止温度4 °C储藏期间鲮鱼片水分分布
Fig.6 The moisture distribution of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.6 不同终止温度对鲮鱼片冷藏期间三甲胺的影响

从图 7 中可以看出,3 组鲮鱼样品的三甲胺均随着储藏时间的增加而显著增多。至储藏末期(6 d),三组样品的三甲胺含量显著升高,分别为 3.99、4.40 和 4.80 mg/100 g,这一趋势与李学英等^[28]大黄鱼冷藏过程中的鲜度变化相似,初期 TMA 含量基本为 0,温度越高,贮藏过程中的 TMA 上升速率越快。这可能是随着储藏时间的延长,在储藏后期 0、4 和 8 °C 组的微生物总量增多,其中希瓦氏菌等微生物将氧化三甲胺还原成三甲胺以及分解代谢胆碱和甜菜碱^[13],导致使不同样品三甲胺出现显著性差异。

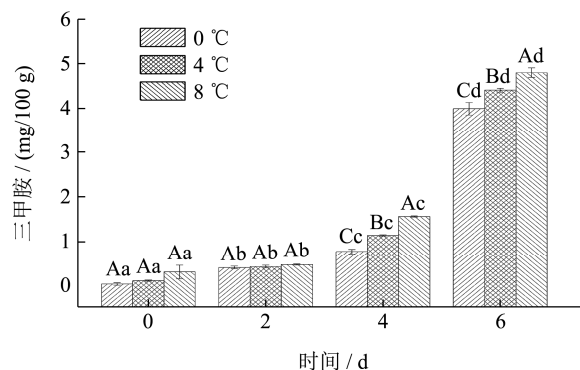


图7 电商物流过程中不同终止温度4 °C储藏期间鲮鱼片三甲胺的变化

Fig.7 The trimethylamine content of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.7 不同终止温度对鲮鱼片冷藏期间 TVB-N 的影响

从图 8 中可以看出,在储藏前期,0、4 和 8 °C 组的 TVB-N 值分别为 9.59、10.78 和 11.76 mg/100 g,3 组鲮鱼样品的 TVB-N 均随着储藏时间的增加而增多,

8℃组在储藏期间 TVB-N 值显著增加。微生物可能是主要原因,腐败菌群最初主要由好氧菌组成,逐渐被厌氧菌所取代,厌氧菌可以分解蛋白质和氨基酸,使 TVB-N 化合物上升^[29]。其次,鱼体内源酶降解非蛋白质氮化合物后,产生胺类物质,TVB-N 化合物也会累积^[30,31]。

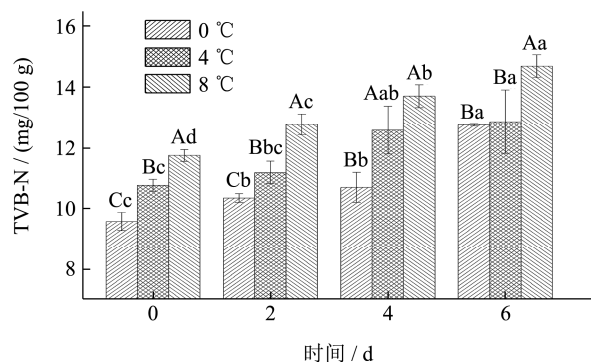


图8 电商物流过程中不同终止温度4℃储藏期间鲶鱼片 TVB-N 的变化

Fig.8 The TVB-N content of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.8 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间 TBA 的影响

从图9中可以看出,第0天到第6天,0℃和8℃组在储藏时间相同时具有显著性差异 ($P<0.05$)。3组鲶鱼样品的 TBA 均随着储藏时间的延长而显著性增加 ($P<0.05$),储藏到第6天时,0、4和8℃组的 TBA 值分别为0.19、0.22和0.26 mg/100 g。终止温度越高,导致鱼肉汁液流失越多,加速了鱼片的脂质氧化^[32]。研究发现,鲶鱼鱼片含有较多不饱和脂肪酸,易发生脂肪氧化酸败反应^[33]使 TBA 值升高。

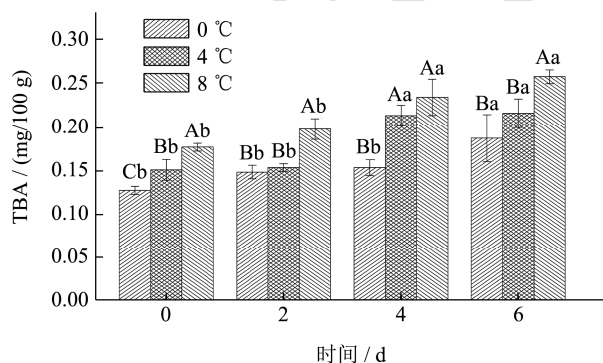


图9 电商物流过程中不同终止温度4℃储藏期间鲶鱼片 TBA 的变化

Fig.9 The TBA content of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.9 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间 K 值的影响

从图10中可以看出,3组鲶鱼样品的 K 值均随

着储藏时间的延长而升高,在第6天时,0、4和8组的 K 值分别为29.97%、30.03%和31.68%,均超过了一级鲜度限制值20%。在储藏期间,3组鲶鱼样品间均无显著性差异 ($P>0.05$),这和菌落总数趋势不一致,可能是内源性酶的作用远大于嗜冷微生物生长繁殖的作用,造成 K 值的升高^[34]。

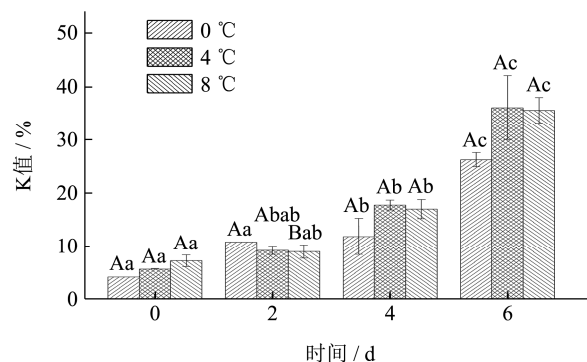


图10 电商物流过程中不同终止温度4℃储藏期间鲶鱼片 K 值的变化

Fig.10 The K value of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

2.2.10 不同终止温度对鲶鱼片冷藏期间菌落总数的影响

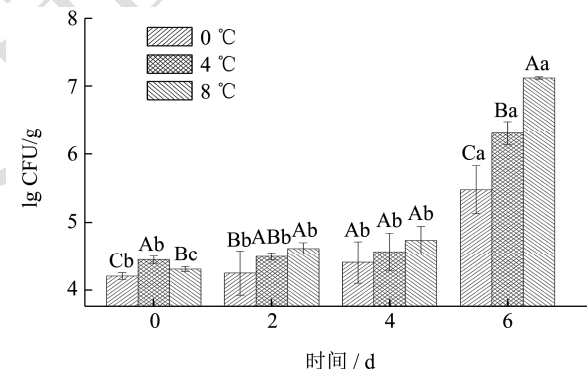


图11 电商物流过程中不同终止温度4℃储藏期间鲶鱼片菌落总数的变化

Fig.11 The total viable count of catfish slices during storage at different end temperature 4 °C

从图11中可以看出,终止温度越高,鲶鱼片菌落总数增长越快,而且冷藏过程中鲶鱼片菌落总数随着贮藏时间的延长而逐渐增加,冷藏前4 d 菌落总数增长缓慢,三组鲶鱼样品的菌落总数变化不明显,没有超出鲜鱼菌落总数的最高安全限量值 (10^7 CFU/g),可能由于鲶鱼片真空包装,袋内残留空气少,微生物很难生长。但是在第6天,三组的菌落总数急剧增加,分别增长了30.29%、42.04%和65.23%。8℃组为7.12 lg CFU/g,超出限制值,可能是鱼肉的汁液流失增加,流失汁液中主要是水溶性蛋白和肌浆蛋白,为微生物的繁殖提供了营养条件,导致微生物大量繁

殖^[24], 鱼片 TVB-N 值升高, 鱼肉劣变程度加剧。

2.2.11 双因素方差分析与指标之间相关性分析

双因素方差分析结果表明: 不同终止温度对鲶鱼片的 L 值、 a^* 值和 K 值无显著性影响 ($P>0.05$), 不同冷藏时间对鲶鱼片的色度和汁液流失率无显著性影响 ($P>0.05$), 对其他指标均有显著性影响。终止温

度越高, 冷藏时间越长, 鲶鱼片的品质劣变程度越大, 鱼片汁液流失严重, 韧性下降, 加速鱼片脂质氧化, 导致三甲胺含量升高以及菌落总数上升。不同终止温度和冷藏时间的交互作用对汁液流失率、最大剪切力、韧性、三甲胺、TBA 和菌落总数有显著性影响。不同终止温度和冷藏时间均是影响鲶鱼片品质的主要因素。

表 2 模拟电商物流的鲶鱼片不同终止温度和冷藏时间的双因素方差分析结果

Table 2 Results of two-factor analysis of variance for the different termination temperatures and cold storage times of catfish slices simulating e-commerce logistics

指标/因素	温度		冷藏时间		温度&冷藏时间	
	$F(df=2)$	P -Value	$F(df=3)$	P -Value	$F(df=6)$	P -Value
L	1.23	0.31	0.10	0.96	0.85	0.54
a^*	2.96	0.07	0.33	0.80	0.88	0.52
b^*	4.98	0.02	0.17	0.92	0.33	0.91
PH	4.40	0.02	0.36	0.78	0.03	1.00
汁液流失	36.18	5.70×10^{-8}	125.57	8.33×10^{-15}	4.03	0.01
最大剪切力	324.25	0.00	183.30	0.00	4.20	0.00
韧性	301.99	0.00	406.03	0.00	5.78	8.54×10^{-5}
三甲胺	136.94	7.48×10^{-14}	6,645.54	0.00	20.58	2.27×10^{-8}
TVB-N	57.79	1.46×10^{-8}	41.15	2.90×10^{-8}	1.40	0.27
TBA	66.55	1.62×10^{-10}	49.87	1.83×10^{-10}	2.54	0.05
K 值	0.57	0.57	44.77	1.55×10^{-9}	0.57	0.75
菌落总数	27.50	2.67×10^{-8}	173.14	0.00	7.79	1.26×10^{-5}

3 结论

电商物流运输冷冻鲶鱼片过程中, 温度波动同带冰量、包装材料, 环境温度密切相关。带冰量更高、包装材料更保温、环境温度更低时电商物流运输的冷冻鲶鱼片温度升至 8℃ 所需时间更长。运输条件不同, 导致电商物流运输结束后产品温度不同, 在 1~2 d 内收货的鲶鱼片温度在 0~8℃ 之间。

电商物流不同终止温度 (0、4、8℃) 鲶鱼片在 4℃ 冷藏过程中, 随着冷藏时间的延长, 鱼肉汁液损失率上升了 6%~10%, 鲜度下降, 加工品质显著降低。前 4 天鲶鱼片的品质较好, 第 4 天以后品质迅速降低, 储藏 6 d 时, 菌落总数为 7.12 lg CFU/g 超出鲜鱼的最高安全限量值, K 值超过了一级鲜度限制值 20%, 鲶鱼片失去食用价值, 因此, 在网上购买冷冻淡水鱼产品时, 应尽快食用, 在 4℃ 冷藏超过 4 d 后不推荐食用。另外, 电商物流终止温度为 0℃ 的鲶鱼片在冷藏过程中, 嫩度、三甲胺含量、TBA、TVB-N、 K 值最低, 其次是终止温度为 4℃ 的鲶鱼片。由此可见, 电商物流结束时终止温度对后期产品冷藏品质影响较大, 终止温度越低, 后期冷藏时品质劣变越慢。

参考文献

[1] Xia R, Hao Q, Xie Y D, et al. Effects of dietary *Saccharomyces cerevisiae* on growth, intestinal and liver health, intestinal microbiota and disease resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture Reports, 2022, 24: 101157.

[2] Karsli B, Caglak E, Prinyawiwatkul W. Effect of high molecular weight chitosan coating on quality and shelf life of refrigerated channel catfish fillets [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 142(4): 111034.

[3] Huang H, Sun W, Xiong G, et al. Effects of HVEF treatment on microbial communities and physicochemical properties of catfish fillets during chilled storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 131: 109667.

[4] E Çağlak, Karsli B. Seasonal variation of fatty acid and amino acid compositions in the muscle tissue of zander (*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758) and the evaluation of important indexes related to human health [J]. Italian Journal of Food Science, 2016, 29(2): 266-275.

[5] Bai B, Zhao K, Li X Z. Application research of nano-storage materials in cold chain logistics of e-commerce fresh

- agricultural products [J]. Results in Physics, 2019, 13: 102049.
- [6] 刘昱.电商环境下生鲜冷链物流发展模式与建设探讨[J].中国物流与采购,2021,18:69-70.
- [7] Ren Q S, Fang K, Yang X T, et al. Ensuring the quality of meat in cold chain logistics: A comprehensive review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 119: 133-151.
- [8] 蓝蔚青,刘琳,肖蕾,等.温度波动对大目金枪鱼低温流通期间品质变化的影响[J].食品科学,2021,42(11):205-212.
- [9] 王硕,谢晶,杨凯,等.三文鱼冷链流通过程中质构、鲜度及感官品质变化规律与水分迁移相关性[J].中国食品学报,2018, 18(5):173-184.
- [10] DB 13T1177-2010,食品冷链物流技术与管理规范[S].
- [11] DB 31T388-2007,食品冷链物流技术与管理规范[S].
- [12] Utrera M, Armenteros M, Ventanas S, et al. Pre-freezing raw hams affects quality traits in cooked hams: potential influence of protein oxidation [J]. Meat Science, 2012, 92(4): 596-603.
- [13] Yi Z K, Xie J. Assessment of spoilage potential and amino acids deamination & decarboxylation activities of *Shewanella putrefaciens* in bigeye tuna (*Thunnus obesus*) [J]. LWT, 2022, 156: 113016.
- [14] 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].
- [15] 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):288-296,322.
- [16] SCT 3048-2014,鱼类鲜度指标 K 值的测定高效液相色谱法[S].
- [17] 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].
- [18] East A, Smale N, Kang S. A method for quantitative risk assessment of temperature control in insulated boxes [J]. International Journal of Refrigeration, 2009, 32(6): 1505-1513.
- [19] Li F F, Zhong Q, Kong B H, et al. Deterioration in quality of quick-frozen pork patties induced by changes in protein structure and lipid and protein oxidation during frozen storage [J]. Food Research International, 2020, 133: 1-11.
- [20] 米红波,郭鑫,李学鹏,等.鱼类血红蛋白诱导脂质氧化及其控制的研究进展[J].现代食品科技,2016,32(4):297-304.
- [21] 李贝贝.冷鲜鲟鱼肉保鲜关键技术研究[D].武汉:武汉轻工大学,2018.
- [22] Feng L F, Jiang T J, Wang Y B, et al. Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2915-2921.
- [23] Mu G, Bergsson A B, Jonsson A, et al. The effects of ambient temperature and holding time during processing on drip of saithe (*Pollachius virens*) and deepwater redfish (*Sebastes mentella*) fillets [J]. Journal of Food Engineering, 2017, 200: 40-46.
- [24] 刘欣荣.不同贮藏方式对红鳍东方鲀品质的影响研究[D].保定:河北农业大学,2020.
- [25] Subbaiah K, Majumdar R K, Choudhury J, et al. Protein degradation and instrumental textural changes in fresh Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during frozen storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 2206-2214.
- [26] Jeremiah L E, Gibson L L, Aalhus J L, et al. Assessment of palatability attributes of the major beef muscles [J]. Meat Science, 2003, 65(3): 949-958.
- [27] Monaco R D, Cavella S, Masi P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements [J]. Journal of Texture Studies, 2008, 39: 129-149.
- [28] 李学英,许钟,郭全友,等.大黄鱼冷藏过程中的鲜度变化[J].中国水产科学,2009,16(3):442-450.
- [29] Bekhit E D A, Holman B W B, Giteru S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 109: 280-302.
- [30] Zhao S M, Li N N, Li Z, et al. Shelf life of fresh chilled pork as affected by antimicrobial intervention with nisin, tea polyphenols, chitosan, and their combination [J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22(1): 1047-1063.
- [31] 蓝蔚青,巩涛硕,孙晓红,等.基于高通量分析流通方式对大目金枪鱼品质与微生物种群变化影响[J].食品科学,2019, 40(20): 178-184.
- [32] Shi L, Yin T, Wang L, et al. Effect of pre-chilling time on the physicochemical properties of Channel catfish during frozen storage [J]. International Journal of Refrigeration, 2020, 115: 56-64.
- [33] 王雅迪.冷藏淡水鱼肉保鲜技术研究[D].天津:天津科技大学,2020.
- [34] 王慧平,张欢,陈倩,等.鱼肉内源性蛋白酶对其贮藏期品质影响的研究进展[J].食品工业科技,2021,42(19):429-435.