

赵冬寒, 赵楠, 梁美佳, 等. 不同贮藏温度下三文鱼鱼片生物胺和品质的变化 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 350–355. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090147

ZHAO Donghan, ZHAO Nan, LIANG Meijia, et al. Change of Biogenic Amines and Quality of Salmon Fillets during Different Storage Temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 350–355. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090147

· 贮运保鲜 ·

不同贮藏温度下三文鱼鱼片生物胺和品质的变化

赵冬寒¹, 赵楠^{1,2}, 梁美佳¹, 王慧森¹, 高文娇¹, 刘清秋¹, 李颖畅^{1,*}

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术

国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013;

2.大连工业大学, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁大连 116034)

摘要: 为了有效控制三文鱼的品质及质量安全, 本文研究了 25、4、0 °C 和 -20 °C 贮藏温度下三文鱼鱼片生物胺和品质变化。将三文鱼鱼片分别贮藏于 25、4、0 °C 和 -20 °C, 测定生物胺含量, 菌落总数、TBA、pH 及感官评分等鲜度指标。结果表明: 三文鱼鱼片中主要生物胺为苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺, 贮藏初期三文鱼鱼片中 5 种生物胺均处于较低水平; 随着贮藏时间的延长, 25、4 和 0 °C 贮藏下生物胺含量具有明显增加趋势, 25 °C 贮藏末期 5 种生物胺含量分别增加了 5.6、32.65、15.81、7.22 倍和 54.12 倍; 精胺和亚精胺在贮藏期间变化不明显; -20 °C 贮藏期间生物胺含量无明显变化, 始终维持在较低水平。25、4 和 0 °C 贮藏下三文鱼鱼片的微生物及硫代巴比妥酸值呈现明显上升趋势, 温度越高上升越快; 感官评分呈下降趋势, 且温度越低下降越慢; -20 °C 贮藏下各指标均优于 25、4 和 0 °C 贮藏下三文鱼鱼片的新鲜度指标。温度对三文鱼鱼片在贮藏期间的生物胺变化影响明显, 低温能够有效控制三文鱼中生物胺的产生并减缓品质劣化。

关键词: 不同贮藏温度, 三文鱼鱼片, 生物胺, 品质

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)11-0350-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090147

本文网刊:



Change of Biogenic Amines and Quality of Salmon Fillets during Different Storage Temperature

ZHAO Donghan¹, ZHAO Nan^{1,2}, LIANG Meijia¹, WANG Huisen¹, GAO Wenjiao¹,
LIU Qingqiu¹, LI Yingchang^{1,*}

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University, National and Local Joint Engineering Research Center for Storage, Processing and Safety Control Technology of Fresh Agricultural Products, Jinzhou 121013, China;

2.Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: In order to ensure the quality and safety of salmon, changes of biogenic amines and quality of salmon slices were studied in this paper at 25, 4, 0 °C and -20 °C. The salmon slices were stored at 25, 4, 0 °C and -20 °C, respectively, and the biogenic amine content, total viable count, TBA, pH and sensory score were determined. The results showed that the main biogenic amine in salmon slices were phenethylamine, putrescine, cadaverine, tyramine and histamine, and the five biogenic amine in salmon slices were all at low levels at the beginning of storage. As storage time increased, the contents of biogenic amines increased significantly at 25, 4 and 0 °C. At 25 °C, the contents of biogenic amines increased 5.6, 32.65, 15.81, 7.22 times and 54.12 times at the end of storage, respectively. Spermine and spermidine did not change significantly during storage. During -20 °C storage, there was no significant change in biogenic amine content, which remained at a low

收稿日期: 2021-09-10

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2019YFD0901702)。

作者简介: 赵冬寒 (2001-), 女, 本科, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: zhaodong12131213@163.com。

* 通信作者: 李颖畅 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏, E-mail: liyingchangsy@126.com。

level all the time. At 25, 4 and 0 °C, the microbial and thiobarbituric acid values of salmon slices showed a significant increase trend, and the higher the temperature, the faster the increase. Sensory score showed a downward trend, and the lower the temperature, the slower the decrease. The freshness indexes of salmon slices stored at -20 °C were better than those stored at 25, 4 and 0 °C. Temperature has a significant effect on the changes of biogenic amines in salmon slices during storage, and low temperature storage can effectively control the production of biogenic amines in salmon fillets and slow down the deterioration of quality.

Key words: different storage temperatures; salmon slices; biological amines; quality

三文鱼(Atlantic Salmon), 又名大马哈鱼、鲑鱼, 属鲑形目、鲑属, 主要分布在大西洋与太平洋、北冰洋交界区域^[1]。三文鱼肉质细腻鲜美, 富含各种维生素、矿物质和丰富的多不饱和脂肪酸, 且蛋白质含量远高于其他鱼类, 能有效降低血脂和胆固醇, 预防心血管疾病, 防止老年痴呆和预防视力减退^[2]。

在运输、贮藏及销售过程中三文鱼鱼肉中脂质氧化、微生物大量滋生导致鱼体腐败, 产生大量生物胺(Biogenic amine, BA), 严重影响三文鱼的品质及食用安全^[3]。生物胺是一类具有生物活性的、低分子量含氮有机化合物的总称, 热稳定性较强, 广泛存在于蛋白质含量丰富的食物中^[4]。但当人体摄入的生物胺含量过多, 或者同时摄取多种生物胺时, 会引起头痛、恶心、血压变化、呼吸紊乱和过敏反应, 严重的甚至危及生命的安全^[5-6]。常见的三文鱼贮藏方式有微冻和冰鲜等, 贮藏温度明显影响三文鱼中生物胺含量和品质, 因此探讨不同贮藏温度对三文鱼中生物胺含量及其品质的影响极其重要^[7-8]。

目前对三文鱼的研究主要集中在食品添加剂对三文鱼品质的控制上, 对不同贮藏温度下三文鱼生物胺的变化规律鲜见报道, 本文通过测定 25、4、0 和 -20 °C 贮藏下三文鱼中生物胺含量变化, 菌落总数、TBA、pH 及感官评分等鲜度指标的变化, 探究贮藏温度对三文鱼的生物胺及品质的影响, 为贮藏和销售过程中三文鱼的品质控制提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

三文鱼(冰鲜) 锦州市林西路水产市场福清空运海鲜; 三氯乙酸 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 氢氧化钠、碳酸氢钠、氯化钠、氨水、丙酮 分析纯, 天津市天力化学试剂有限公司; 甘油 北京酷来搏科技有限公司; 硫代巴比妥酸 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 丹磺酰氯(>99%) 上海源叶生物科技有限公司; 乙腈、甲醇 色谱纯, 美国 Fisher Chemical 公司; 平板计数琼脂 上海吉至生化科技有限公司。

安捷伦-1260 液相色谱仪 美国 Agilent 公司; SW-CJ-2FD 洁净工作台 苏州苏信环境科技有限公司; Multifuge X1R 冷冻高速离心机 美国 Thermo 公司; FJ200-S 均质机 抚州金时速仪器设备有限公司; PHSJ-3F 实验室 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司; KQ5200E 超声波清洗器 昆山市超声仪

器有限公司; Milli-Q 超纯水系统 美国 Millipore 公司; TU-1810 紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; LDZX-50FBS 立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂; LRH-150 生化培养箱 上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 三文鱼(冰鲜)购于辽宁省锦州市林西路水产市场福清空运海鲜, 运送至实验室并于冰温下将三文鱼切成 5 cm×3 cm×2 cm 的鱼片, 分成 4 组分别装入蒸煮袋密封, 置于 25 °C 贮藏 72 h, 每 12 h 测定一次; 4 °C 贮藏 18 d, 每 3 d 测定一次; 0 °C 贮藏 18 d, 每 3 d 测定一次; -20 °C 贮藏 54 d, 每 9 d 测定一次, 所有指标测定至少取 3 个平行样品。

1.2.2 生物胺的测定 参考韩笑^[9]的方法进行测定。取 10 g 三文鱼肉加入 20 mL 5% 三氯乙酸后均质, 超声 30 min 后离心(8000 r/min)15 min 获得上清液, 并用 5% 三氯乙酸定容至 50 mL。向 0.5 mL 的提取液中加入 100 μL 饱和碳酸氢钠溶液、50 μL 2 mol/L 氢氧化钠、0.3 mL 10 mg/mL 丹磺酰氯(Dns-Cl)进行衍生化。将其置于 60 °C 水浴中 30 min 后加入 100 μL 25% 的氨水。生物胺含量的测定采用高效液相色谱仪, 以乙腈和超纯水做为流动相, 流速: 1.0 mL/min、柱温: 35 °C、进样量: 10 μL、DAD 检测波长: 254 nm。

1.2.3 pH 的测定 参考 GB 5009.237-2016^[10]的方法并稍作修改。向 5 g 三文鱼样品中加入 45 mL 的蒸馏水, 均质后过滤, 测定其 pH。

1.2.4 TBA 的测定 参考刘均等^[11]的方法进行 TBA 测定, 10 g 三文鱼样品加入 25 mL 蒸馏水中, 均质后加入 25 mL 5% 三氯乙酸混匀并过滤。向 5 mL 滤液中加入 5 mL 0.02 mol/L 的 TBA 溶液, 在 80 °C 水浴中加热 40 min, 冷却至室温后在 532 nm 波长下测吸光度, TBA 值为每千克样品中的丙二醛含量(mg MDA/kg)。

1.2.5 菌落总数的测定 参考 GB 4789.2-2016^[12]的方法测定。取 25 g 三文鱼样品加入 225 mL 生理盐水后均质, 进行 10 倍系列稀释, 取 1 mL 适宜稀释度的样液接种于平板计数培养基中, 于 30 °C 下培养 72 h 后计数。

1.2.6 感官评定 参考李婷婷等^[13]的方法进行评定, 由 5 名具有感官评定经验的人员分别从外观色泽、气味、组织状态和组织弹性 4 个方面对三文鱼进

表 1 三文鱼片感官评价标准
Table 1 Standards of sensory evaluation for salmon fillets

评分	气味	外观色泽	组织弹性	组织状态
8~10	具有三文鱼特有的鲜香味	淡橘红色, 色泽明亮, 白色条纹清晰均匀, 有明显脂肪层	肌肉有弹性	肌肉结实、饱满、紧密
6~8	鲜味降低, 鱼腥味加重	光泽稍逊	弹性稍逊, 压出凹印能很快复平	组织紧密
4~6	无鲜味, 腥味浓且带不愉快气味	无光泽	弹性差, 压后复平慢	肌肉松散
0~4	有浓烈的腥臭味	呈苍白色或灰黄色, 有浑浊液体流出	无弹性	肌纤维模糊

行评分, 其中一级鲜度分别为 8~10 分, 二级鲜度为 6~8 分(表 1); 色泽和气味各占比例为 0.3, 组织形态和组织弹性各占比例为 0.2。

1.3 数据处理

实验数据处理及统计分析采用 Origin 8.5 和 SPSS 24.0, 处理结果均以平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 生物胺的变化

生物胺的产生与水产品的贮藏环境、水产品的种类和贮藏温度有关, 不同种类的水产品在不同贮藏温度下能够产生的生物胺种类不同, 同时产生生物胺的含量也不同^[14]。由图 1 可知, 贮藏初期, 三文鱼鱼片中苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺含量都较低, 但随着贮藏时间的延长, 其含量具有明显增加的趋势, 且不同温度贮藏之间存在显著性差异($P<0.05$), 主要原因为贮藏初期三文鱼中微生物含量较低, 含有的氨基酸脱羧酶较少, 但随着贮藏时间的增加微生物快速增长, 产生大量氨基酸脱羧酶, 进而导致生物胺含量的增加^[15]。精胺和亚精胺在贮藏初期都处于较低水平, 随着贮藏时间增加, 25℃和 4℃时亚精胺含量显著增加($P<0.05$)。在 25、4、0 和 -20℃温度下, 精胺含量在整个贮藏期间均有升高但变化较不明显, 呈上下波动趋势, 这可能由于三文鱼鱼片中游离精氨酸或利用精氨酸的氨基酸脱羧酶含量相对较少, 这与 Erol 等^[16]研究结果类似。在 25℃温度下的贮藏末期, 苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺含量分别达到 32.968、103.532、142.255、60.424 mg/kg 和 71.006 mg/kg, 相对生物胺的初始值分别增加了 5.6、32.65、15.81、7.22 倍和 54.12 倍。在 4℃贮藏条件下, 5 种生物胺变化规律与 25℃条件下变化规律相似, 在贮藏的第 6 d, 三文鱼鱼片中生物胺含量开始明显增加, 至贮藏的第 18 d, 三文鱼鱼片中苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺分别达到 33.342、43.302、139.005、42.546 mg/kg 和 107.827 mg/kg, 其中组胺含量远超过美国水产品中组胺的含量限量^[17]。0℃贮藏条件下, 三文鱼鱼片中生物胺从 12 d 起开始增加, 相对生物胺初始值, 贮藏至 18 d 分别增加 3.31、6.99、7.68、2.06 和 31.69 倍, 其含量达到 19.463、22.175、69.171、17.322 mg/kg 和 41.575 mg/kg, 较 4℃贮藏的三文鱼鱼片生物胺含量明显减少。而在 -20℃贮藏的三文鱼鱼片, 整个贮藏期间生物胺含量变化程度不大, 基本维持在较低含量水平, 表明 -20℃贮藏温度下生物胺能被有效控制。Li 等^[18]

发现鲫鱼在 0℃和 4℃温度贮藏 36 d 后, 0℃贮藏的三文鱼鱼片中生物胺含量显著($P<0.05$)低于 4℃贮藏的三文鱼鱼片中生物胺含量。随着温度的升高, 生物胺产生速率加快, 含量显著增加, 在贮藏期终点达到较高水平。

2.2 pH 的变化

pH 由图 2 所示, 贮藏初期, 25、4、0℃贮藏下的三文鱼鱼片 pH 均呈下降趋势, -20℃下 pH 在 36 d 后下降, 这是由于鱼体死亡后会在 ATP 酶作用下及发生糖原的无氧酵解, 产生乳酸、磷酸积聚, 从而导致 pH 降低^[19]。25、4、0 和 -20℃贮藏温度下三文鱼鱼片 pH 分别在 36 h、9、6 d 和 45 d 达到最低, 分别为 6.26、6.37、6.43 和 6.29; 随着贮藏时间的延长, pH 逐渐升高, 其原因是三文鱼鱼片在贮藏后期蛋白质被微生物或酶利用分解产生氨基酸及其他碱性物质, 且随着微生物或酶的深入利用, 这些物质会产生生物胺、二甲胺及部分氨类化合物等, 从而使 pH 升高^[20]。25℃下三文鱼鱼片贮藏末期 pH 为 6.75, 较贮藏初期的 6.48 增加了 0.27, 而 4℃和 0℃的三文鱼鱼片的 pH 分别仅为 6.63 和 6.57, 均低于 25℃三文鱼的 pH, 因此说明贮藏温度越高越适宜三文鱼内微生物的生长和酶的作用。-20℃三文鱼 pH 在 45 d 的时候达到最低, 原因可能是在 36 d 时嗜冷微生物繁殖, 分解碳水化合物, 产生有机酸, 使 pH 快速下降。-20℃贮藏下的 pH 与 25、4、0℃相比 pH 下降时间极大延迟。

2.3 TBA 值的变化

硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric acid, TBA)是反映水产品及其水产制品中脂质氧化程度的一个重要指标, 其值大小与脂肪的氧化和酸败程度呈正相关。水产品中含有大量的不饱和脂肪酸, 在贮藏过程中会与氧气发生氧化作用, 从而产生小分子化合物, 例如丙二醛等, 导致水产品酸败, 品质降低^[21]。

由图 3 可知, 贮藏初期 TBA 值处于较低水平, 仅只有 0.195 mg MDA/kg, 随着贮藏时间的延长, 不同温度下 TBA 变化规律不一, 存在显著性差异($P<0.05$)。在 25℃贮藏的三文鱼鱼片 TBA 值在 24 h 内呈急速上升趋势, 在贮藏末期达到 0.71 mg MDA/kg, 增加了 3.6 倍; 在 4℃和 0℃下 TBA 值初期增长速率缓慢, 在贮藏末期三文鱼鱼片 TBA 是分别是初始值的 3.82 和 3.18 倍, 说明低温在一定程度上能抑制三文鱼中不饱和脂肪酸发生脂肪氧化, 随着贮藏的延长 TBA 呈上下波动, 这可能由于鱼肉中不饱和脂肪

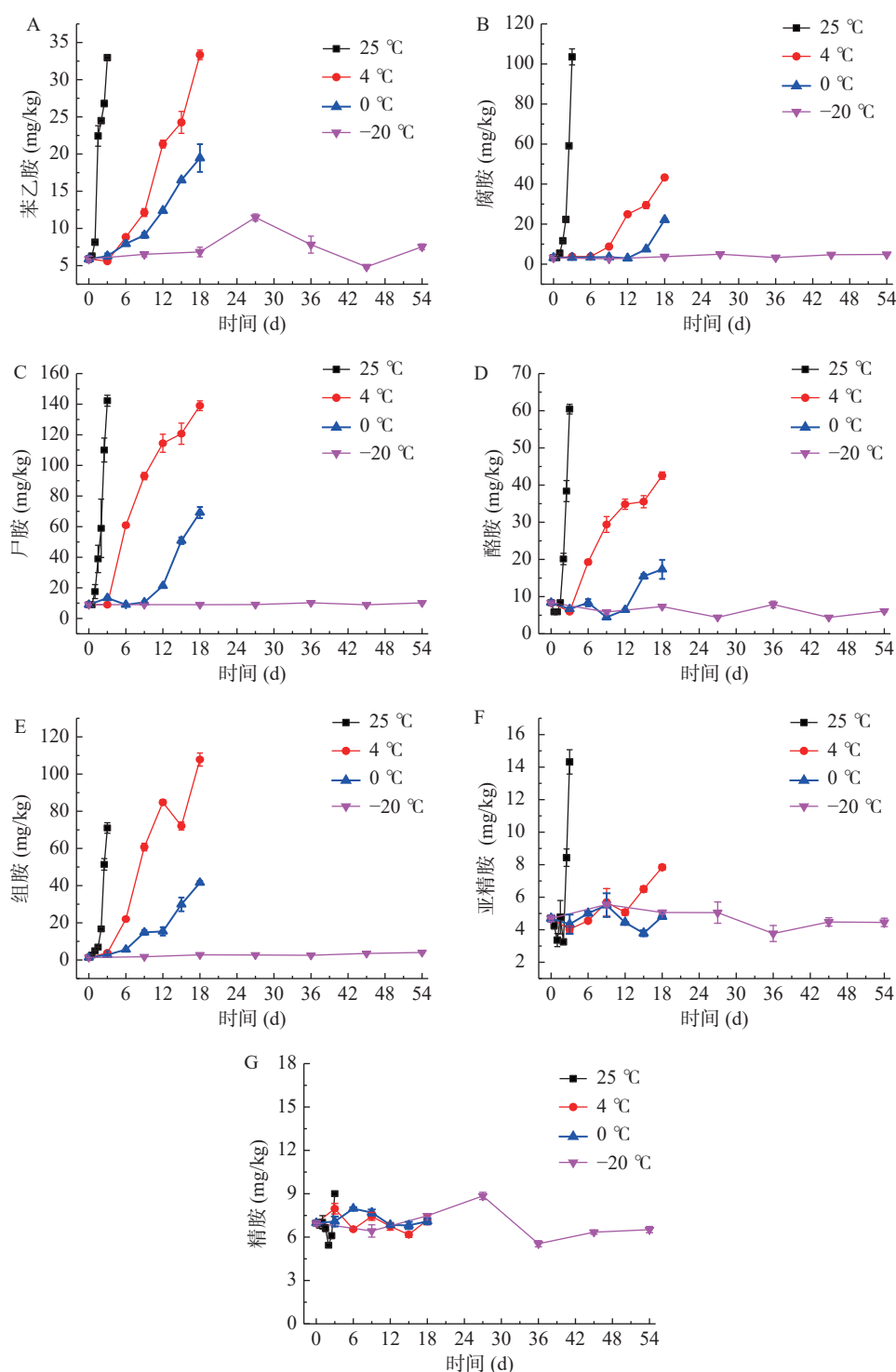


图 1 不同贮藏温度下三文鱼鱼片苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺、组胺、亚精胺和精胺的含量变化

Fig.1 Changes of Phe, Put, Cad, Tyr, His, Spd and Spm contents in salmon slices at different storage temperatures

酸的氧化产物丙二醛与蛋白质、胺类、核苷酸及醛类化合物发生化合反应,且丙二醛的不稳定性,导致其在贮藏时间过长的情况下发生降解,导致 TBA 在贮藏过程中发生下降现象^[22]。-20 °C 在整个贮藏过程中变化最小,一直处于较低水平,在第 54 d 才达到 0.27 mg MDA/kg,这可能由于低温抑制氧化酶的活性,从而抑制脂质氧化。

2.4 菌落总数的变化

三文鱼鱼片在不同温度贮藏期间的菌落总数 (Total viable count, TVC)变化如图 4 所示,贮藏初

期三文鱼鱼肉的菌落总数为 3.73 lg CFU/g,三文鱼新鲜度和品质良好^[23]。随着贮藏时间的延长,25、4、0 °C 和 -20 °C 温度下的三文鱼样品中 TVC 值呈显著增加趋势($P<0.05$)。

在 25 °C 下,三文鱼鱼片中微生物的生长速率最快,在贮藏的第 24 h 三文鱼鱼片的 TVC 即达到了 5.44 lg CFU/g,随后三文鱼鱼片内微生物增长速率变缓,在 60 h 超出了 7.00 lg CFU/g 的限量标准^[24],3 d 后三文鱼鱼肉的 TVC 达到 8.43 lg CFU/g;在 4 °C 和 0 °C 贮藏条件下,在第 15 d 时三文鱼鱼片

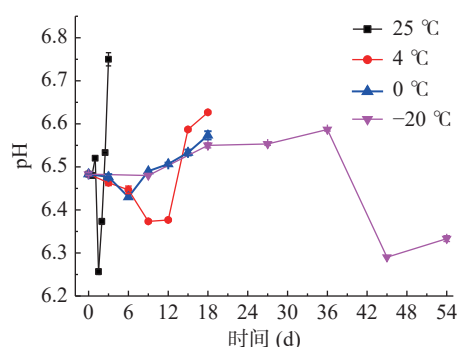


图2 不同贮藏温度下三文鱼鱼片 pH 的变化

Fig.2 Changes of pH in salmon slices at different storage temperature

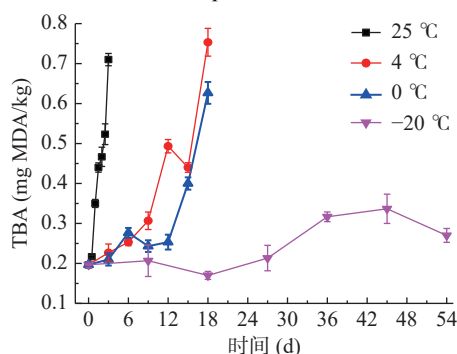


图3 不同贮藏温度下三文鱼鱼片 TBA 的变化

Fig.3 Changes of TBA in salmon slices at different storage temperature

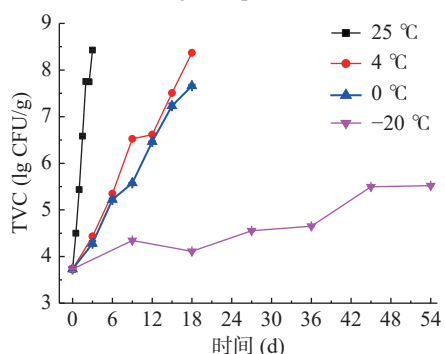


图4 不同贮藏温度下三文鱼鱼片菌落总数的变化

Fig.4 Changes of TVC in salmon slices at different storage temperature

的 TVC 分别达到 7.51 lg CFU/g 和 7.23 lg CFU/g, 超出了限量值, 在贮藏第 18 d 三文鱼鱼片的菌落总数分别达到了 8.37 lg CFU/g 和 7.66 lg CFU/g。-20 °C 贮藏的三文鱼鱼片菌落总数变化较小, 在贮藏期间略有增加, 但在整个贮藏期间均未超出限量标准。这是因为低温抑制微生物生长, 导致菌落总数降低, 与孙项丽等^[25] 研究结果一致。生物胺是通过微生物中的氨基酸脱羧酶催化特定的游离氨基酸而产生的, 不同贮藏温度下菌落总数变化与苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺含量变化成正相关, 菌落总数增加, 产生氨基酸脱羧酶, 使生物胺含量增加。

2.5 感官评价

水产品常以感官评价作为其新鲜度的测定指标之一, 评定结果见图 5, 由图 5 可以看出, 在 25 °C

下, 三文鱼鱼片在 3 d 内感官评分迅速下降, 在第 24 h 时感官综合评分即达到 6.98, 到达二级鲜度要求 6~8 的临界线, 在 36 h 时感官评分为 4.96, 到达二级鲜度以下, 说明此时三文鱼鱼片的感官品质劣化, 达到不能接受的范围。4 °C 和 0 °C 温度下三文鱼鱼片在第 9、12 d 分别达到二级鲜度以下, 为 5.57 和 4.05; 与 25 °C 在 36 h 到达二级鲜度以下, 相比 4 °C 和 0 °C 的感官评分下降缓慢, 说明一定低温能够一定维持三文鱼鱼片的感官品质。三文鱼在贮藏期间达到二级鲜度以后出现明显的灰黄色浑浊液, 弹性变差, 且具有一定的氨味, 这是由于三文鱼在贮藏后期其不饱和脂肪酸发生氧化酸败, 蛋白质及其他物质在微生物作用下分解产生了部分氨类化合物, 影响其感官品质。-20 °C 贮藏的三文鱼鱼片在贮藏期间, 综合感官评分均在 7~9 分以内, 变化较为不明显, 具有良好的感官品质, 说明在 -20 °C 贮藏的三文鱼在 54 d 内其鲜度较好, 低温能够有效维持三文鱼鱼片的感官品质。

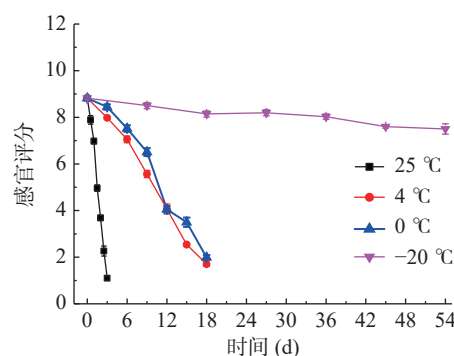


图5 不同贮藏温度下三文鱼鱼片感官评价的变化

Fig.5 Changes in sensory evaluation of salmon slices at different storage temperature

3 结论

三文鱼鱼片中的主要生物胺为苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺和组胺, 贮藏初期三文鱼鱼片中 5 种生物胺均处于较低水平, 但随着贮藏时间的延长, 其含量具有明显增加的趋势, 且贮藏温度越高, 生物胺增长速率越快, 生物胺含量就越高。在 25 °C 温度下, 贮藏末期 5 种生物胺含量分别增加了 5.60、32.65、15.81、7.22 倍和 54.12 倍, 4 °C 和 0 °C 三文鱼鱼片生物胺含量明显减少, 精胺和亚精胺在贮藏期间变化不明显。-20 °C 贮藏期间生物胺含量变化差异不明显, 基本维持在较低水平。不同贮藏温度对三文鱼鱼片的新鲜度有明显影响, 温度越低微生物和硫代巴比妥酸值上升越慢, pH 和感官评分下降越慢。在 25、4 和 0 °C 贮藏的三文鱼分别在 36 h、9 d 和 12 d 时感官评分达到二级鲜度以下, 达到不可接受的范围。-20 °C 的三文鱼鱼片在贮藏 54 d 内有较好的品质, 其保鲜指标均明显优于其他贮藏温度下的三文鱼鱼片的保鲜指标, 说明低温贮藏能够有效控制三文鱼鱼片中生物胺含量的增加和品质变化, 在三文鱼的仓储和物流中尽量采用低温。

参考文献

- [1] 王珠珠, 王利强, 方丹丹, 等. 胶原/壳聚糖抗菌海绵衬垫对三文鱼品质变化的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 157-161. [WANG Z Z, WANG L Q, FANG D D, et al. Effect of collagen/chitosan antibacterial sponge pad on salmon quality[J]. Food and Machinery, 2019, 35(7): 157-161.]
- [2] FIDALGO L G, SIMOES M M Q, CASAL S, et al. Physico-chemical parameters, lipids stability, and volatiles profile of vacuum-packaged fresh Atlantic salmon (*Salmo salar*) loins preserved by hyperbaric storage at 10 degrees[J]. Food Research International, 2020, 127: 108740.
- [3] WANG S, XIANG W, FAN H Z, et al. Study on the mobility of water and its correlation with the spoilage process of salmon (*Salmo solar*) stored at 0 and 4 °C by low-field nuclear magnetic resonance (LF NMR¹H)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(1): 173-182.
- [4] 倪佳丹. 鲑鱼贮藏中生物胺产生机理与控制技术的探究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018. [NI J D. Study on the mechanism and control technology of biogenic amine in *Millchthys miiuy*[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.]
- [5] JING W, JIE F, LINAW, et al. Decrease of microbial community diversity, biogenic amines formation, and lipid oxidation by phloretin in Atlantic salmon fillets[J]. LWT, 2018, 101: 419-426.
- [6] JIA W, ZHANG R, SHI L, et al. Effects of spices on the formation of biogenic amines during the fermentation of dry fermented mutton sausage[J]. Food Chemistry, 2020, 321: 126732.
- [7] 张宁, 谢晶. 三文鱼的保鲜方法及研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 256-259. [ZHANG N, XIE J. Freshness preservation methods and research progress of salmon[J]. Food and Machinery, 2015, 31(3): 256-259.]
- [8] 张新林, 谢晶, 郝楷, 等. 不同低温条件下三文鱼的品质变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 316-321. [ZHANG X L, XIE J, HAO K, et al. Quality changes of salmon under different low temperature conditions[J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(17): 316-321.]
- [9] 韩笑. 贮藏过程中阿根廷鲑鱼生物胺的变化规律及控制[D]. 锦州: 渤海大学, 2019. [HAN X. Changes and control of biogenic amines in *Illex argentinus* during storage[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.]
- [10] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.237-2016 食品安全国家标准食品 pH 值的测定 [S]. 2016. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.237-2016 Food safety national standard for the determination of food pH [S]. 2016.]
- [11] 刘均, 吕杨俊, 潘俊娴, 等. 茶多酚复配壳聚糖对三文鱼货架期的影响[J]. 中国茶叶加工, 2019(4): 66-71. [LIU J, LV Y J, PAN J X, et al. Effect of tea polyphenols appended with chitosan on the shelf life of salmon[J]. China Tea Processing, 2019(4): 66-71.]
- [12] 中华人民共和国卫生部. 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]. 2016. [Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 4789.2-2016 Food safety national standard for the determination of total bacterial colony for microbiological testing of food [S]. 2016.]
- [13] 李婷婷, 丁婷, 邹朝阳, 等. 0 °C 冷藏下三文鱼片菌相变化规律及特定腐败菌的分离鉴定[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 36-41. [LI T T, DING T, ZOU Z Y, et al. Differential prevalence of spoilage bacteria in salmon fillets during refrigerated storage and identification of predominant spoilage bacterial species[J]. Modern Food Technology, 2015, 31(4): 36-41.]
- [14] OLGA Ś, ŁUKASZMR, MICHAŁ W, et al. Biogenic amines and free amino acids in traditional fermented vegetables-dietary risk evaluation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(3): 856-868.
- [15] 雷志方, 谢晶, 尹乐, 等. 温度和姜精油对金枪鱼品质影响及生物胺相关性[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 45-52. [LEI Z F, XIE J, YIN L, et al. Effect of storage temperature and ginger essential oil on quality indicators and the formation of biogenic amines in tuna as well as correlation between quality indicators and biogenic amine contents[J]. Food Science, 2017, 38(3): 45-52.]
- [16] EROL T, OCAK Ö Ö. Influence of pomegranate seed extract on the formation of biogenic amines in a cereal based fermented food: Tarhana[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(12): 1-9.
- [17] USDA(US Food and Drug Administration). Scombrototoxin (histamine) formation[S]. In Fish and fishery products hazards and controls guide, 3rd ed. Washington, DC, USA: Department of Health and Human Services, Public Health Service, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Seafood. 2002: 73-93.
- [18] LI K F, BAO Y L, LUO Y K, et al. Formation of biogenic amines in crucian carp (*Carassius auratus*) during storage in ice and at 4 °C[J]. Journal of Food Protection, 2012, 75(12): 2228-2233.
- [19] 张新林, 谢晶, 郝楷, 等. 不同低温条件下三文鱼的品质变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 316-321. [XIE X L, XIE J, HAO K et al. Effects of different cold storage conditions on quality of salmon[J]. Food Industry Technology, 2016, 37(17): 316-321.]
- [20] 丁婷, 李婷婷, 励建荣. 0 °C 冷藏三文鱼片新鲜度综合评价[J]. 中国食品学报, 2014, 14(11): 252-259. [DING T, LI T T, LI J R. Comprehensive evaluation on freshness of salmon slices at 0 °C storage[J]. Chinese Journal of Food, 2014, 14(11): 252-259.]
- [21] HUANG Z, LIU X C, JIA S L, et al. The effect of essential oils on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during chilled storage[J]. Food Control, 2018, 266: 52-59.
- [22] 王琦, 岳大鹏, 王然然, 等. 风干金鲳鱼制品加工过程中脂质氧化和挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 54-60. [WANG Q, YUE D P, WANG R R, et al. Changes of lipid-oxidation and volatile compounds of air-dried golden pomfret during processing[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(1): 54-60.]
- [23] 张永杏, 唐峰华, 郭全友, 等. 轻微加工熟制鲑鱼品质特性及腐败菌鉴定[J]. 食品科学, 2020, 41(5): 207-213. [ZHANG Y X, TANG F H, GUO Q Y, et al. Quality characteristics of lightly preserved cooked mackerel and identification of spoilage bacteria[J]. Food Science, 2020, 41(5): 207-213.]
- [24] ICMSF. Microorganisms in Foods 2. Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Specific Applications[M]. Toronto: University of Toronto Press, 1986: 181-196.
- [25] 孙项丽, 王联珠, 郭莹莹, 等. 不同储藏温度下鲈鱼组胺含量与其品质变化的关系[J]. 南方农业学报, 2020, 51(8): 2005-2012. [SUN X L, WANG L Z, GUO Y Y, et al. Histamine content and quality of mackerel under different storage temperatures[J]. Southern Agricultural Journal, 2020, 51(8): 2005-2012.]