

鲈鱼低温冻藏过程中脂肪氧化特性

王 钰, 倪继龙, 李敏杰, 张思宇, 董凯璇, 沈春蕾, 张 宾, 水珊珊*
(浙江海洋大学食品与药学院, 浙江 舟山 316022)

摘 要: 鲈鱼组氨酸含量较高, 在低温贮藏中品质易发生劣变, 影响其食用安全性。以 -18°C 冻藏的鲈鱼为研究对象, 在贮藏0、10、20、40、60、80、100 d后分别取样, 测定鲈鱼风味、过氧化值、酸价、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值和脂肪酸成分的变化, 研究低温冻藏过程中鲈鱼脂肪氧化规律。结果表明: 冻藏初期, 鲈鱼中风味物质以氮氧化合物为主, 随着冻藏时间的逐渐延长, 各挥发性风味物质响应强度逐渐增强; 鲈鱼的酸价和过氧化值呈现先上升后下降再上升的趋势; 鲈鱼的TBARs值呈现明显的上升趋势, 且贮藏时间越长, 增加速率越快; 鲈鱼的饱和脂肪酸含量随着冻藏时间的延长而增加, 而不饱和脂肪酸含量呈下降趋势, 脂肪氧化程度增强。

关键词: 鲈鱼; 低温冻藏; 风味; 脂肪酸; 脂肪氧化

Oxidation Characteristics of Lipids in Mackerel during Cryopreservation

WANG Yu, NI Jilong, LI Minjie, ZHANG Siyu, DONG Kaixuan, SHEN Chunlei, ZHANG Bin, SHUI Shanshan*
(College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Mackerel has high histidine content, thereby suffering from quality deterioration during frozen storage and consequently affecting its safety for human consumption. To investigate the oxidation characteristics of lipids during its frozen storage, mackerel were frozen at -18°C and evaluated for flavor, acid value (AV), peroxide value (POV), thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) value and fatty acid composition (FAC) after 0, 10, 20, 40, 60, 80 and 100 days. The results showed that nitrogen oxides were the main flavor substances in mackerel at the early stage of frozen storage. The intensity of volatile flavor substances was gradually enhanced with increasing freezing time. Both the AV and POV rose, then decreased and finally increased again. The TBARs value showed a significant upward trend; the longer the storage period, the higher the growth rate. FAC analysis demonstrated that the content of saturated fatty acids increased with prolonging frozen storage time, while the content of unsaturated fatty acids showed a decreasing trend; the degree of lipid oxidation increased.

Keywords: mackerel; cryopreservation; flavor; fatty acid; lipid oxidation

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-137

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 06-0063-06

引文格式:

王钰, 倪继龙, 李敏杰, 等. 鲈鱼低温冻藏过程中脂肪氧化特性[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 63-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-137. <http://www.rlyj.net.cn>

WANG Yu, NI Jilong, LI Minjie, et al. Oxidation characteristics of lipids in mackerel during cryopreservation[J]. Meat Research, 2021, 35(6): 63-68. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-137. <http://www.rlyj.net.cn>

鲈鱼 (*Pneumatophorus japonicus*) 又名白腹鲳、日本鲳, 属鲳科、鲳形目、鲳属, 属青皮红肉多脂鱼,

是一种主要活动在近海沿岸中上层的洄游鱼类。鲈鱼在我国主要分布在南海、东海及黄海等海域, 在我国的中

收稿日期: 2021-05-17

基金项目: 浙江省自然科学基金杰出青年基金项目 (LR21C200001); 舟山市科技计划项目浙江海洋大学专项 (2021C21006)

第一作者简介: 王钰 (1997—) (ORCID: 0000-0003-2528-986X), 男, 本科生, 研究方向为食品科学与工程。

E-mail: wangyu123@zjou.edu.cn

*通信作者简介: 水珊珊 (1989—) (ORCID: 0000-0003-1095-7749), 女, 讲师, 博士, 研究方向为水产品加工及贮藏。

E-mail: shuiss@zjou.edu.cn

上层经济鱼类中,属于较为重要的一类。鲈鱼富含多种营养物质,如对人体有益的不饱和脂肪酸二十二碳六烯酸、二十碳五烯酸等以及其他必需的营养素,具有很高的营养价值,在预防心脑血管硬化、神经衰弱、肠道疾病等方面具有良好的功效^[1],因此深受消费者喜爱。然而由于鲈鱼肉组氨酸含量较高,容易发生品质劣变,捕捞出水后,若不及时进行低温保鲜,将会影响鱼肉的食用安全性^[2]。

低温冻藏可以抑制微生物及相关酶类的活性,被广泛应用于鱼类贮藏技术中,能够有效维持鱼的鲜度、营养和风味^[3]。但是在贮藏过程中,鱼肉中的水分转化为冰晶,导致鱼体的部分结构组织被破坏,且鱼死亡后线粒体缺氧,能量减少,细胞凋亡后引起蛋白质降解,使肉质结构软化,鱼肉品质下降^[4]。郑平安等^[5]研究不同贮藏温度下鲈鱼品质的变化,证明在低温冻藏条件下鲈鱼鲜度的降低速率能够有效被减缓。王标^[6]研究发现,随着贮藏时间的延长,鲈鱼鱼糜的丙二醛含量呈现上升趋势,且贮藏温度越高,丙二醛含量上升速率越快。侯温甫等^[7]研究发现,无论是一20℃直接冻结还是一80℃低温速冻,鲈鱼的肌动球蛋白盐溶性、巯基含量及Ca²⁺-ATPase活性均会随着贮藏时间的延长而下降。吴琼静等^[8]利用高通量测序技术对不同冻藏时期鲈鱼表面微生物群落变化进行研究,结果显示,不同冻藏时期鲈鱼的菌群组成存在较大差异,且随着冻藏时间的延长,微生物种类、菌群丰度与多样性均降低。陈晓楠等^[9]研究低温冻藏过程中鲈鱼肌肉蛋白质品质变化,结果显示,贮藏前期蛋白质品质会出现轻微劣变,后期其品质会出现大幅度下降。目前针对鱼类在冻藏过程中的蛋白质品质变化已有大量研究,且鲈鱼贮藏过程中的蛋白质氧化特性和微生物变化也有涉及^[10],但对鲈鱼贮藏过程中脂肪氧化特性的研究报道较少。

本研究以鲈鱼为研究对象,针对低温冻藏环境,分别测定挥发性风味物质、过氧化值、酸价、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARS)值及脂肪酸成分,综合评价鲈鱼低温冻藏过程中的脂肪氧化特性,以期对冻藏时间对鲈鱼脂肪氧化程度及其品质的影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻鲈鱼,长(20±2)cm,质量(250±20)g,采购于舟山市定海区丰茂菜场。

乙酸乙酯、甘氨酸、乙二胺四乙酸、十二烷基硫酸钠、二硝基苯甲酸钠、氯化钠、乙醇、溴酚蓝、磷酸缓冲液、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、无水乙醚、酚酞、氢

氧化钾、邻苯二甲酸氢钾、碘化钾、硫代硫酸钠、三氯甲烷、冰乙酸 国药集团化学试剂有限公司;考马斯亮蓝R250染色液 武汉谷歌生物有限公司;TBARS检测试剂盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

MDF-U53V超低温冰箱 日本Sanyo公司;Direct-Q3U超纯水制备机 法国Millipore公司;751UVGD紫外-可见分光光度计 上海第三分析仪器厂;DHP-9052电热恒温培养箱 上海一恒科学仪器有限公司;SoxtecTM2045脂肪测定仪 瑞典Foss公司;TG16-WS台式高速离心机 湖南湘仪聚能仪器企业店;VORTEX-5漩涡混合器 厦门市宝能科技有限公司;HH420、HH600数显恒温水浴箱 绍兴市上虞道墟余诺仪器商行;GC112A/112N气相色谱仪 上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 实验样本处理

鲈鱼采购后立即冰鲜贮存运回实验室进行后续处理。除内脏后去掉鳞、鳃及鱼头、鱼尾。无菌条件下剖去鱼骨后切成均匀鱼肉块,蒸馏水快速冲洗后用纱布擦干表面水分,装入封口袋编号,保证每袋质量均匀。于超低温冰箱(一80℃)中冻藏3h后放入另一18℃冰箱贮存100d,分别于冻藏0、10、20、40、60、80、100d取出鲈鱼样品流水解冻后进行后续指标测定。

1.3.2 挥发性风味分析

参照Huang Lin^[11]、Sharmilan^[12]等方法,根据肌肉中挥发性风味物质的特征,采用电子鼻的形式进行取样分析。取充分搅碎后的鱼肉4~6g密封于采样瓶中,清洗时间80s、进样时间10s、校零时间10s、测定时间80s、气体流速300mL/min、采样间隔时间1.0s。测定过程中将针头插入瓶中,在每个样品上取10~15个点的数,采样完成后利用软件WinMuster进行数据处理。

电子鼻技术通过一定数量的气体传感器来模拟人类嗅觉,每个传感器都有自身对于不同气体的敏感度(表1),通过传感器所得到的曲线来表征样品的挥发性风味成分。

表1 PEN3便携式电子鼻传感器性能

Table 1 Performance descriptions of PEN3 portable electronic nose sensors

阵列序号	传感器名称	性能描述	检测气体成分	检测限/(mL/m ³)
1	W1C	对芳香和苯类成分敏感	甲苯	10
2	W5S	对氮氧化物极其敏感	二氧化氮	1
3	W3C	对芳香成分敏感	苯	10
4	W6S	对氢化物灵敏	氢气	100
5	W5C	烷烃芳香成分灵敏	丙烷	1
6	W1S	对甲烷灵敏	甲烷	100
7	W1W	对无机硫化物灵敏	硫化氢	1
8	W2S	对乙醇灵敏	一氧化碳	100
9	W2W	对有机硫化物灵敏	硫化氢	1
10	W3S	对长链烷烃灵敏	甲烷	10

1.3.3 酸价测定

参照赵东豪等^[13]的容量分析法。

1.3.4 过氧化值测定

参照GB/T 5009.37—2003《食用植物油卫生标准的分析方法》。

1.3.5 TBARs值测定

参照TBARs检测试剂盒说明书中方法。

1.3.6 脂肪酸成分分析

色谱条件: GC112A/112N气相色谱仪、DB-Wax毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、柱温220℃、进样器温度250℃、检测器温度280℃、进样量1 μL、分流比1:50、氢火焰离子化检测器^[14]。

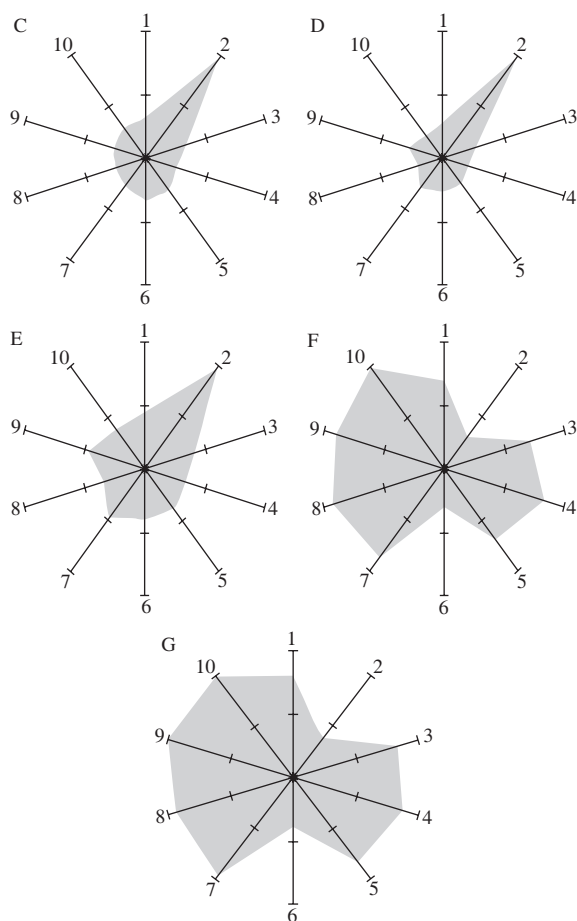
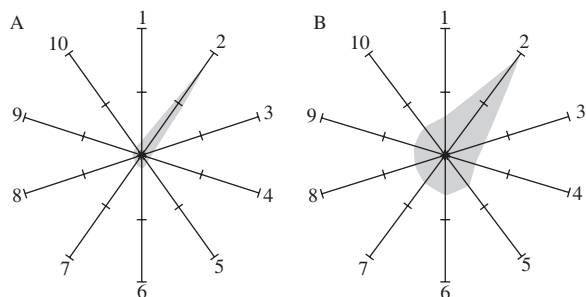
1.4 数据处理

数据使用SPSS 19.0软件进行处理,结果以平均值±标准差表示。并通过Origin 8.5软件对结果数据进行制图并分析。

2 结果与分析

2.1 鲈鱼冻藏过程中挥发性风味的变化

冻藏过程中,氨、三甲胺、硫化氢、醛和酮等挥发性物质的产生使鱼肉质量发生变化。不同预冷和贮藏时间都会对冷冻贮藏期间的鱼肉质量产生影响^[15]。由图1可知,在冻藏0~40 d的4个阶段,以2号传感器的氮氧化合物感应信号为主。以冻藏10 d为起点,其余9组传感器信号也出现增强的趋势,到冻藏80 d及冻藏100 d,2号传感器的氮氧化合物感应信号有明显降低,且4、5号传感器(氢化物、烷烃芳香成分)感应信号上升。6号传感器的甲烷类物质感应信号无明显波动,而7~10号传感器感应信号波动较大,增强明显。对比钟赛意等^[16]发现的导致鱼类气味产生变化的主要物质是无机及有机硫化物,对应7、9号传感器的感应信号可知,本研究结果与其发现一致。总体看来,鲈鱼中各种挥发性风味物质的强度与冻藏时间呈正相关。



A~G. 冻藏0、10、20、40、60、80、100 d。

图1 冻藏时间对鲈鱼电子鼻风味感应信号的影响

Fig. 1 Effect of frozen storage time on flavor signal of electronic nose for mackerel

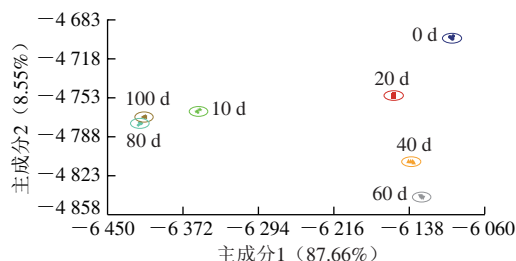


图2 冻藏时间对鲈鱼风味影响线性判别分析

Fig. 2 Linear discriminant analysis of the effect of frozen storage time on the flavor of mackerel

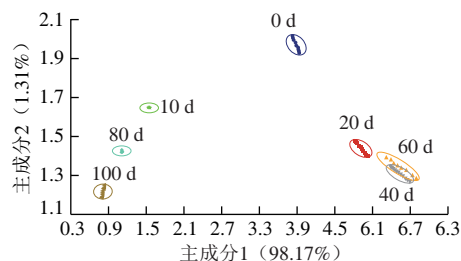


图3 冻藏时间对鲈鱼风味影响主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of the effect of frozen storage time on the flavor of mackerel

由图2~3可知,线性判别分析图和主成分分析图中主成分1的贡献率分别为87.66%和98.17%,均超过85%,因此本研究数据合理可信^[17]。从线性判别分析图可看出,冻藏0~60 d样品基本集中于右半区,冻藏80~100 d的样品位于左半区且出现重叠。从主成分分析图可看出,冻藏20、40、60 d样本较接近,而冻藏0、100 d的样本相距较远,冻藏前中期阶段,样品基本集中在右半区,冻藏80 d开始的后期阶段,样品集中在左半区,呈现区域式分布。研究表明,初始冻藏阶段,微生物含量较低,底物分解与脂肪氧化程度较低,挥发性物质产生较少^[18];后期阶段,部分嗜冷菌及其他耐低温微生物滋生,脂肪氧化程度加剧,使得挥发性物质含量也随之增加。而冻藏10 d样本分布于图的左侧,可能是鱼体经历了解僵期,此时冷冻作用较弱,有部分微生物和酶发挥作用,具体原因还有待后续实验进一步考证。综上所述,通过2类分析图所展现的鲈鱼中各种挥发性风味物质与冻藏时间的关系特征,在冻藏的最后阶段,鲈鱼发生品质劣变。

2.2 鲈鱼冻藏过程中酸价的变化

脂肪酸价用来代表脂肪酸中游离羧基团含量。在保藏时,受到微生物、酶等作用,脂肪水解成为游离脂肪酸。脂肪酸含量和脂肪质量有很大的相关性,在一般条件下,脂肪含量越高,精炼程度越高,对应的酸价越低。

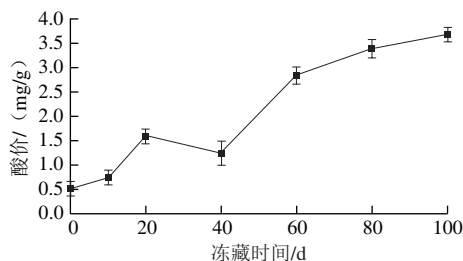


图4 冻藏时间对鲈鱼酸价的影响

Fig. 4 Effect of frozen storage time on acid value in mackerel

由图4可知,酸价与冻藏时间呈正相关。除了冻藏40 d鲈鱼肌肉酸价略微降低,其余冻藏时间的酸价都随着冻藏时间的延长而增加。冻藏40 d酸价降低的原因可能是不饱和脂肪酸在氧的作用下,双键打开形成过氧化物,再继续分解成低分子脂肪酸及醛、酮、醇等物质。酸价上升的原因可能是微生物和酶对不饱和脂肪酸的水解反应,使得脂肪酸分解产生甘油和游离脂肪酸。此外,酸价上升曲线中部有相对上升缓慢迹象,可能是因为低温导致酶活性降低,使得水解反应的程度变缓^[19]。

2.3 鲈鱼冻藏过程中过氧化值的变化

过氧化值与食品质量紧密相关,代表了某些含油脂、脂肪食品中油脂的酸败程度^[20]。过氧化值越高,油脂的酸败程度越厉害,酸败所产生的自由基等对人体有不良影响^[21]。

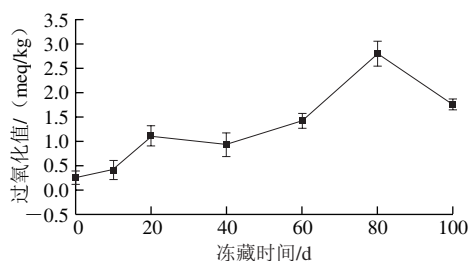


图5 冻藏时间对鲈鱼过氧化值的影响

Fig. 5 Effect of frozen storage time on peroxide value in mackerel

由图5可知,冻藏20 d和冻藏80 d,鲈鱼的过氧化值出现了2个峰值,此时氧化反应较为剧烈。冻藏20 d的峰值可能是由于冻藏初期,微生物和酶等尚未完全失去活性,导致氧化反应仍在快速进行;冻藏80 d的峰值可能是由于随着冻藏时间的延长,样品的氧化程度逐渐加深。冻藏40 d过氧化值有下降的趋势,与酸价相对应,低温导致酶、微生物活性降低,水解程度变缓,且有部分氧化产物再分解为二级氧化产物^[22]。冻藏100 d鲈鱼的过氧化值显著下降,有可能是分解成醛、酮等物质的速率在长时间低温贮藏环境下有所减缓^[23]。

2.4 鲈鱼冻藏过程中TBARs值的变化

鲈鱼的脂肪含量丰富,在冻藏期间脂肪部分发生氧化,生成丙二醛等物质,随后丙二醛会与硫代巴比妥酸发生显色反应,最终生成TBARs,可以有效地反映脂肪氧化程度^[24]。在评价肉制品品质时,TBARs值在0.20~0.66 mg/kg为品质良好,大于1 mg/kg时则表明发生品质劣变^[25]。

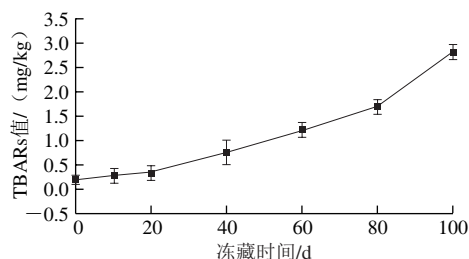


图6 冻藏时间对鲈鱼TBARs值的影响

Fig. 6 Effect of frozen storage time on TBARs value in mackerel

由图6可知,鲈鱼的TBARs值和增加速率都随着贮藏时间延长而改变,并且随着贮藏时间的延长而不断升高,与李玉昕等^[26]的实验结论相同。在冻藏初期,鲈鱼的TBARs值小于0.66 mg/kg,即此时鲈鱼品质未受到脂肪氧化作用的影响,主要原因可能是低温抑制了脂肪氧化作用。冻藏60 d后,鲈鱼的TBARs值超过1 mg/kg,即此时鲈鱼脂肪氧化严重,品质严重降低,与张建友等^[27]结论相同。陈慧斌等^[28]研究认为,处于长时间冻藏过程中的牡蛎体内脂肪酸会由于冰晶压力的作用,从内部转至外部,进而与氧气直接接触,导致牡蛎脂肪酸败^[29]。也有



研究表明,在长时间冻藏过程中,鲈鱼肌肉中形成的冰晶在长时间冻藏后体积膨胀,使得细胞结构产生形变直至破裂,细胞中氧化酶等物质流出,促进脂肪氧化^[30]。

2.5 鲈鱼冻藏过程中脂肪酸成分的变化

表2 冻藏时间对鲈鱼脂肪酸成分影响

Table 2 Effect of frozen storage time on fatty acid composition in mackerel

脂肪酸类别	脂肪酸名称	mg/kg		
		冻藏时间/d		
		0	40	100
饱和脂肪酸	C _{8:0}	1.2	0.9	0.4
	C _{10:0}	0.7	2.0	6.9
	C _{11:0}	0.2	0.7	1.8
	C _{12:0}	10.7	32.3	111.1
	C _{13:0}	10.6	28.7	110.3
	C _{14:0}	758.8	2 150.0	3 004.0
	C _{15:0}	210.0	469.3	1 303.8
	C _{16:0}	5 867.5	9 948.4	54 920.6
	C _{17:0}	223.1	519.9	1 143.5
	C _{18:0}	1 171.9	2 612.6	3 526.4
	C _{20:0}	81.1	317.0	663.5
	C _{21:0}	26.1	73.2	139.4
	C _{22:0}	60.9	191.8	333.1
	C _{23:0}	15.8	69.4	84.4
	C _{24:0}	28.0	170.5	172.3
	在总脂肪酸中相对含量/%	41.62	39.66	54.95
单不饱和脂肪酸	C _{14:1}	9.1	27.2	79.2
	C _{15:1}	0.8	6.2	未检出
	C _{16:1}	939.4	2 666.8	3 269.3
	C _{17:1}	121.7	280.4	705.1
	C _{18:1 n-7}	1 068.8	1 473.0	1 721.3
	C _{20:1}	639.2	1 642.3	2 644.9
	C _{22:1 n-7}	未检出	2 433.0	8 067.0
	C _{24:1}	292.7	1 554.9	981.5
	在总脂肪酸中相对含量/%	15.10	24.11	27.64
	C _{18:3 n-3}	489.0	1 117.6	未检出
多不饱和脂肪酸	C _{18:3 n-6}	20.6	55.6	293.4
	C _{22:2}	70.0	2.4	271.2
	C _{22:6 n-3}	5 673.7	985.0	12 068.2
	C _{20:2}	81.1	226.1	409.5
	C _{20:3 n-3}	15.3	49.1	140.3
	C _{20:3 n-6}	125.8	374.6	182.8
	C _{20:4 n-6}	291.8	1 230.8	1 518.9
	C _{20:5 n-3}	2 034.8	11 114.5	5 872.1
	在总脂肪酸中相对含量/%	43.27	36.23	17.40

水产品中脂肪酸的饱和程度对于脂肪氧化的难易程度起决定性作用^[31]。由表2可知,鲈鱼主要含有32种脂肪酸,其中C_{20:1}、C_{20:4 n-6}、C_{20:5 n-3}、C_{22:1 n-7}、C_{22:6 n-3}、C_{24:1}为甘油酯。对冻藏0、40、100 d鲈鱼所含有的32种脂肪酸成分进行分析比较,其中含有饱和脂肪酸15种,分别占总脂肪酸含量的41.62%、39.66%、54.95%;单不饱和脂肪酸8种,分别占总脂肪酸含量的15.10%、24.11%、27.64%;多不饱和脂肪酸9种,分别占总脂肪酸含量的43.27%、36.23%、17.40%。

将冻藏鲈鱼体内所含的多不饱和脂肪酸含量与新鲜鲈鱼相比较,冻藏100 d后鲈鱼脂肪氧化程度显著升高,与Liu Chengyue等^[32]的实验结论相同,C_{18:1 n-7}含量从冻藏0 d的1 068.8 mg/kg上升至冻藏100 d的17 213.0 mg/kg,C_{16:0}含量从5 867.5 mg/kg上升至54 920.6 mg/kg,说明随着冻藏时间的延长,氧化程度越发明显。

3 结论

随着冻藏时间的延长,电子鼻传感器对于鲈鱼中各种挥发性风味物质的响应持续增强,且挥发性风味物质在冻藏前期和后期呈现不同区域分布,品质发生劣变。鲈鱼的酸价和过氧化值在冻藏20 d和80 d急剧上升,氧化反应较为剧烈,在冻藏40 d有下降趋势,此时可能是由于低温环境抑制了微生物和酶的活性。鲈鱼的TBARS值随着贮藏时间的延长显著上升,且随着冻藏时间的延长,其增加速率变快,表明鲈鱼的脂肪氧化程度较高。鲈鱼的饱和脂肪酸含量在冻藏后期显著增加,而多不饱和脂肪酸含量降低,脂肪酸成分发生改变。

综上所述,鲈鱼脂肪在低温冻藏过程中被不断氧化,品质也在不断降低,在冻藏40 d内氧化程度较小,更适用于食用和加工。本研究揭示了鲈鱼低温冻藏过程中脂肪的氧化特性,可为鲈鱼及其他鱼类的贮藏运输和流通等环节提供新思路,并为今后新技术的开发提供一定的科学指导。

参考文献:

- [1] 姜晓娜,孟璐,冯俊丽,等. 鲈鱼贮藏过程中的品质变化及腐败微生物多样性分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(10): 197-205. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.10.024.
- [2] 顾赛麒,张晨超,张月婷,等. 舟山渔场三种海鱼冰藏过程中品质和风味的变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(11): 244-251. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023706.
- [3] 向迎春,吴丹,黄佳奇,等. 冻藏过程中冰晶对水产品品质影响的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(12): 187-193. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2018.12.036.
- [4] 周鹏程,谢晶. 影响冻结贮藏过程鱼类品质变化因素的研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(13): 1-7. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.001.
- [5] 郑平安,孙静,全晶晶,等. 贮藏温度对鲈鱼品质的影响研究[J]. 核农学报, 2013, 27(1): 75-80.
- [6] 王标. 鲈鱼鱼糜在不同低温贮藏下的品质及其蛋白质理化特性的研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2019: 8. DOI:10.27285/d.cnki.gsxn.2019.000063.
- [7] 侯温甫,薛长湖,杨文鸽,等. 低温速冻处理对鲈鱼冻藏生化特性的影响[J]. 海洋水产研究, 2006(3): 73-77.
- [8] 吴琼静,赵金丽,水珊珊,等. 基于高通量法分析鲈鱼冻藏期间的微生物群落变化[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 7-14. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.002.
- [9] 陈晓楠,吴琼静,蒋慧丽,等. 低温冻藏过程中鲈鱼肌肉品质变化研究[C]//中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2020: 1. DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.022094.

- [10] WANG Xueqin, YU Huahua, XING Rong, et al. Optimization of the extraction and stability of antioxidative peptides from mackerel (*Pseudosciaenops japonicus*) protein[J]. BioMed Research International, 2017, 2017(7): 1-14. DOI:10.1155/2017/6837285.
- [11] HUANG Lin, ZHAO Jiewen, CHEN Quansheng, et al. Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques[J]. Food Chemistry, 2014, 145(7): 228-236. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.06.073.
- [12] SHARMILAN T, PREMARATHNE I, WANNIARACHCHI I, et al. Electronic nose technologies in monitoring black tea manufacturing process[J]. Journal of Sensors, 2020, 2020(1): 1-8. DOI:10.1155/2020/3073104.
- [13] 赵东豪, 黎智广, 杨金兰, 等. 水产品中酸价测定方法的研究[J]. 南方水产, 2009, 5(5): 72-74. DOI:10.3969/j.issn.1673-2227.2009.05.013.
- [14] 吴东晓, 杨文鸽, 徐大伦, 等. 电子束辐照对鲈鱼肉品质的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(3): 484-489.
- [15] SHI Liu, YIN Tao, XIONG Guangquan, et al. Microstructure and physicochemical properties: effect of pre-chilling and storage time on the quality of Channel catfish during frozen storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130: 109606. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109606.
- [16] 钟赛意, 刘寿春, 秦小明, 等. 电子鼻系统识别罗非鱼品质劣变的传感器筛选研究[J]. 广东农业科学, 2013(11): 196-200. DOI:10.16768/j.issn.1004-874x.2013.11.009.
- [17] 郑平安. 鲈鱼储藏期品质的变化及加工过程中风味的影响[D]. 宁波: 宁波大学, 2013: 11-13.
- [18] 颜明月. 臭氧水处理对罗非鱼片蛋白质和脂质氧化及品质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 42.
- [19] 孙丽琴, 孙立君, 郑刚. 不同的存放条件对油脂酸价和过氧化值的影响[J]. 粮油仓储科技通讯, 2007(2): 45-46.
- [20] MONIKA S, ANETA J, EVA H, et al. Relationship between the composition of fats and oils and their oxidative stability at different temperatures, determined using the Oxipres apparatus[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119(9): 1600454. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109606.
- [21] HENRIK D. Effect of god liver oil and rancidity on certain vitamin E deficiency symptoms[J]. Proceeding of the Society for Experimental Biology and Medicine, 2016, 52(4): 285-287. DOI:10.1002/ejlt.201600454.
- [22] 刘辉鸿, 胡飞, 冯倩倩, 等. 冻藏期间罗非鱼腥味变化及形成机理[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9): 52-55. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2013.09.003.
- [23] 孙灵霞, 任二芳, 赵改名, 等. 油炸过程中煎炸油和鸡肉串的品质变化及其相关性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 86-88. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.03.044.
- [24] 范文教, 孙俊秀, 陈云川, 等. 茶多酚对鲢鱼微冻冷藏保鲜的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 294-297.
- [25] 邓明. 栅栏技术在冷却猪肉保鲜中的应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006: 62-63.
- [26] 李玉昕, 朱迎春, 王水晶, 等. 贮藏温度对不同脂肪含量牛肉糜品质及水分变迁的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 152-160; 260. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.11.022.
- [27] 张建友, 赵瑜亮, 张梦雨, 等. 不同贮藏温度酱鸭品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 250-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180102-018.
- [28] 陈慧斌, 王梅英, 王则金, 等. 牡蛎冻藏期间脂肪氧化影响因素研究[J]. 西南大学学报, 2008, 30(8): 96-101.
- [29] GROTTA L, CASTELLANI F, PALAZZO F, et al. Treatment optimisation and sample preparation for the evaluation of lipid oxidation in various meats through TBARS assays before analysis[J]. Food Analytical Methods, 2016, 10(6): 1-11. DOI:10.1007/s12161-016-0740-y.
- [30] BOONSUMREJ S, CHAIWANICHISIRI S, TANTRATIAN S, et al. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 292-299. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.04.059.
- [31] CAI Qiuxing, WU Yanyan, LI Laihao, et al. Lipid oxidation and fatty acid composition in salt-dried yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) during processing[J]. Journal of Ocean University of China, 2017, 16(5): 855-862. DOI:10.1007/s11802-017-3233-8.
- [32] LIU Chengyue, DONG Shuanglin, ZHOU Yangen, et al. Temperature-dependent fatty acid composition change of phospholipid in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) tissues[J]. Journal of Ocean University of China, 2019, 18(2): 519-527. DOI:10.1007/s11802-019-3775-z.