

# 复热处理的鲈鱼挥发性成分分析

周明珠<sup>1,2</sup>, 熊光权<sup>1</sup>, 乔宇<sup>1</sup>, 廖李<sup>1</sup>, 向雅芳<sup>1</sup>, 汪兰<sup>1</sup>, 吴文锦<sup>1</sup>, 李新<sup>1</sup>, 石柳<sup>1</sup>, 丁安子<sup>1</sup>

(1. 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)

(2. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 采用电子鼻和 SPME-GC-MS 联用技术对复热处理的鲈鱼挥发性成分及含量进行测定。结果表明: 冷藏过程中, 鲈鱼醛类含量呈现先降低后升高的趋势。与冷藏处理相比, 复热处理在 13 h 后壬醛、1-辛烯-3-醇的总峰面积为  $29.98 \times 10^7$ , 增加了  $8.8 \times 10^7$ , 说明复热处理加速了鱼肉脂肪氧化, 使得腥味增强。电子鼻可以较好地区分出冷藏 3 h、8 h、13 h、18 h 后鲈鱼肉气味的差别。DFA 分析显示冷藏和复热处理均表现出 3 h、8 h 气味较为接近, 13 h、18 h 气味较为接近。主成分分析表明, 相较于冷藏处理, 复热处理的鲈鱼随着处理时间的延长, 使得鱼肉腥味加重, 其中壬醛、1-辛烯-3-醇的特征向量分别为 0.810、0.621, 成为主要表现腥味的挥发性物质, 并且这两种物质是冷藏 13 h、18 h 复热时鲈鱼的主要挥发性物质。

**关键词:** 鲈鱼; 复热; 挥发性物质; 固相微萃取

文章编号: 1673-9078(2020)04-277-283

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.036

## Volatile Components of Reheated *Lateolabrax japonicus*

ZHOU Ming-zhu<sup>1,2</sup>, XIONG Guang-quan<sup>1</sup>, QIAO Yu<sup>1</sup>, LIAO Li<sup>1</sup>, XIANG Ya-fang<sup>1</sup>, WANG Lan<sup>1</sup>, WU Wen-jin<sup>1</sup>, LI Xin<sup>1</sup>, SHI Liu<sup>1</sup>, DING An-zi<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural products processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

(2. School of Bioengineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** The volatile components and their contents of reheated *Lateolabrax japonicus* were determined by SPME-GC-MS coupled with electronic nose. The results showed that the content of aldehydes in the fish flesh decreased first and then increased during cold storage. Compared with the cold storage treatment, reheating for 13 h increased the total peak area of nonanal and 1-octene-3-ol to  $29.98 \times 10^7$  (increased by  $8.8 \times 10^7$ ), indicating that reheating could accelerate the oxidation of fish fat and enhance the fishy smell. The electronic nose could distinguish the smell of the flesh refrigerated for 3 h, 8 h, 13 h and 18 h respectively. DFA analysis showed that the flesh subjected to 3-h and 8-h treatment (reheating or cold storage) resembled in the smell, with those treated for 13 h and 18 h also having similar smell. The principal component analysis showed that compared with the cold storage treatment, reheating increased the fishy smell with the extension of time, with the eigen vectors of nonanal and 1-octene-3-alcohol b 0.810 and 0.621, respectively (which were the main volatile substances responsible for the fishy smell, and represented the major volatile compounds for the reheated flesh after a cold storage for 13 or 18 h).

**Key words:** *Lateolabrax japonicus*; reheating; volatile substances; SPME

引文格式:

周明珠,熊光权,乔宇,等.复热处理对鲈鱼挥发性成分的影响[J].现代食品科技,2020,36(3):277-283

ZHOU Ming-zhu, XIONG Guang-quan, QIAO Yu, et al. Effects of reheating on the volatile components of *Lateolabrax japonicus* [J].

Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 277-283

鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 是一种淡水鱼, 具有丰富的营养和令人愉悦的风味<sup>[1,2]</sup>, 而风味是鱼类等

收稿日期: 2019-10-12

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助 (CARS-46); 湖北省技术创新专项 (重大项目) (2018ABA100)

作者简介: 周明珠 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏

通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏

水产品的主要食用品质之一, 是消费者评价其品质高低的重要指标<sup>[3,4]</sup>。目前将鲈鱼进行加热处理是人们食用鲈鱼最常见的方式, 热加工会引起鱼肉脂肪氧化分解、蛋白质降解, 发生美拉德反应等, 这些变化都会对鱼肉的风味产生重要的影响。荣建华等<sup>[5]</sup>用电子鼻和 SPME-GC-MS 联用技术研究脆肉鲈鱼肉挥发性风味成分, 发现电子鼻可以较好区分不同加热方式和不同加热温度条件下的脆肉鲈鱼肉; 康翠翠<sup>[6]</sup>等采用

SPME-GC-MS 和电子鼻联用技术研究了加热温度对花鲈鱼肉挥发性成分的影响,发现不同温度条件下的花鲈鱼肉气味成分有明显的差异,且花鲈鱼肉中所含挥发性成分的种类随着检测温度的升高而增多,醛类、酮类、醇类、烃类和芳香族类化合物的相对含量随着温度的升高发生明显变化。Gonca<sup>[7]</sup>等研究了熟乌鱼中的挥发性风味成分,发现醛类和醇类对其贡献较大。以上说明加热处理会引起鱼肉风味成分的变化。

低温贮藏也会对鱼肉风味产生影响。Miyasaki 等<sup>[8]</sup>采用 SPME-GC-MS 和电子鼻联用技术研究了冷藏对不同种类鱼肉挥发性成分的影响,结果发现一些醛类和酮类可以表征鱼肉的新鲜度。朱丹实<sup>[9]</sup>等利用电子鼻结合 HS-SPME-GC-MS 分析 0 °C 贮藏条件下真鲷鱼肉的挥发性风味物质,并且发现右旋柠檬烯、十七烷、姥鲛烷、对二甲苯和萘含量与贮藏时间显著相关,可作为真鲷鱼冷藏期间鲜度的挥发性指示物。李婷婷<sup>[10]</sup>等采用顶空固相微萃取-气质联用技术结合电子鼻分析 4 °C 冷藏过程中三文鱼片挥发性成分的变化,结果表明在冷藏期间挥发性成分中醛类物质不断减少,而酸类物质有积累的趋势,醇类和芳香族类物质则先呈现增加后降低的趋势。以上报道标明冷藏也会使鱼肉挥发性成分发生变化。

目前,复加热处理对水产品风味的影响研究的较少。其中傅宝尚<sup>[11]</sup>等人研究可知,预熟鲍鱼在不同的贮藏条件及复加热下会对食品中大多数风味化合物产生影响,其中对醛类化合物影响最大。

电子鼻技术和 SPME-GC-MS 联用技术是目前研究水产品中挥发性成分的主要方法<sup>[12,13]</sup>。本实验采用电子鼻和 SPME-GC-MS 联用技术对经过冷藏和复热处理的鲈鱼肉挥发性物质进行研究,探讨鲈鱼肉挥发性物质与冷藏以及复热处理的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

原料为500 g左右的新鲜鲈鱼,购于湖北省武汉市武商量贩农科院店。包装材料:采用聚乙烯材料的封口包装。

三氯乙酸、氯化钠、盐酸三甲胺、氢氧化钠、5%三氯乙酸溶液、50%氢氧化钠溶液、三甲胺标准储备液,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

TQ-8030 气相-质谱联用仪,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;FOX4000 电子鼻,法国阿尔法莫

斯仪器有限公司;GZX-9146MBE 电热恒温鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;EMS30 恒温水浴锅,谦科仪器设备(上海)有限公司;KQ5200DE 超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鲈鱼前处理

##### 1.3.1.1 冷藏

新鲜鲈鱼宰杀,去头、去皮、去内脏,清洗,取其背部肉搅碎放置于瓷盘中,用蒸锅蒸汽加热 6 min (蒸汽上升时方可计时),冷却至室温,采用真空包装处理后置于 4 °C 冰箱中冷藏 0 h、3 h、8 h、13 h、18 h 后取样测定。

##### 1.3.1.2 复热

冷藏处理后采用蒸汽加热方式复热 4 min (蒸汽上升时方可计时),冷却至室温后取样测定。

#### 1.3.2 挥发性成分的测定

准确称取样品 6 g,加入 4 g NaCl,12 mL 蒸馏水,置于含有微型搅拌子的 20 mL 顶空瓶中,将含有鱼肉的顶空瓶置于 60 °C 磁力搅拌水浴锅中平衡 15 min,然后将型号为 70 μm Carboxen/PDMS 的 SPME 针管插入顶空瓶中顶空吸附 40 min;待吸附完毕,取出,插入 GC-MS 进样口解吸 5 min。

色谱条件:弹性石英毛细管柱 HP-5 (30 m×0.25 mm×0.25 μm),He 流量 1.0 mL/min,不分流进样,进样口温度 250 °C。起始柱温 40 °C 保持 3 min,然后以 5 °C/min 的升温速率升温到 250 °C,保持 5 min。

质谱条件:接口温度 280 °C,离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C;离子化方式:电子轰击电离(EI);电子能量 70 eV,质量范围 35~350 U。

#### 1.3.3 电子鼻的测定

称取鲈鱼背部肉 3 g 于 20 mL 进样瓶中,加盖密封。测量参数:载气流速 150 mL/min;顶空平衡温度 50 °C,顶空平衡时间 300 s,振荡速度 500 r/min;注射针温度 60 °C,进样体积 2500 μL/s;数据采集时间为 120 s,获取延滞时间 10 min。

#### 1.3.4 数据处理

数据使用 XL-STAT 2016 软件进行主成分分析(PCA);电子鼻数据经 Winmuster 软件进行判别函数分析(DFA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 冷藏复热处理对鲈鱼挥发性物质的影响

冷藏及复热处理的鲈鱼经 GC-MS 检测后挥发性

物质的变化如表 1、2 所示,共检出 11 种物质,包括醇类、醛类、烷烃等。鲈鱼经冷藏及复热处理后挥发性物质主要以醛类为主,而鱼肉中的醛类物质主要由多不饱和脂肪酸的氧化产生的,且阈值较低,对鱼肉总体气味特征有重要影响<sup>[14]</sup>。其中,壬醛具有鱼腥味和脂肪香气,Drumm 等<sup>[15]</sup>已经证实了壬醛是油酸氧化的产物;苯甲醛具有令人愉快的坚果香,它的产生与氨基酸的降解有关,正辛醛会产生一些辛辣的刺激性物质及令人不愉快的气味<sup>[16]</sup>,己醛在所检出的醛类物质中含量最高,它具有青草味和酸腐味,是 n-6 脂肪酸的衍生物,由亚油酸氢过氧化物形成。这些醛类物质随着冷藏时间的延长,都呈现先下降后上升的趋势,大都在冷藏 13 h 后开始升高。说明冷藏 13 h 后鱼肉脂肪氧化加重。但相比于冷藏处理,复热处理的含量稍高,说明复热处理会加速鱼肉脂肪氧化,这与施文正

<sup>[17]</sup>研究的加工贮藏过程中草鱼肉挥发性成分的研究结果一致。除检出量最高的醛类物质以外,还有对鱼肉气味有重要贡献的 1-辛烯-3-醇,它是一种亚油酸氢过氧化物的降解产物,具有土腥味或类似蘑菇的气味<sup>[18,19]</sup>,随着冷藏时间的延长,呈现先上升后下降的趋势,说明冷藏处理可以使腥味加重。Iglesias<sup>[20]</sup>等采用 HS-SPME-GC-MS 证明 1-辛烯-3-醇含量与鱼肉脂肪氧化有关的过氧化值、硫代巴比妥酸值等化学指标高度相关,因此 1-辛烯-3-醇含量变化也可以反映鲈鱼肉的酸败程度,这与冷藏 0 h 未检出 1-辛烯-3-醇的结果吻合。由表 2 可看出,复热后的 1-辛烯-3-醇含量比冷藏时高,说明复热会加重鱼肉腥味,且使得酸败程度更加严重。其他挥发性物质中,烃类物质为烷基自由基的脂质自氧化过程或类胡萝卜素分解产生,阈值较高,对鱼肉风味的贡献不大<sup>[21]</sup>。

表 1 4 °C 冷藏处理对鲈鱼挥发性物质的影响

Table 1 Effect of cold storage at 4 °C on the volatile substances of perch

峰面积 ( $\times 10^7$ )	保留指数	0 h	3 h	8 h	13 h	18 h
二硫化碳	1030	6.03	3.69	8.56	1.58	12.95
己醛	1094	8.33	6.90	3.91	6.23	6.76
正辛醛	1289	3.97	3.03	0.72	0.97	5.12
壬醛	1391	6.19	5.19	2.57	3.15	7.56
苯甲醛	1528	1.25	2.68	1.52	1.13	2.96
1-辛烯-3-醇	1159	-	2.50	6.98	8.10	2.37
萘	1757	0.79	0.31	0.74	0.57	0.64
十五烷	1500	11.19	9.90	18.70	14.83	13.77
十六烷	1600	0.63	0.90	2.03	1.48	1.29
十七烷	1694	4.68	4.55	14.05	15.19	5.36
十九烷	1821	0.39	3.34	-	-	-

注:“-”为未检出。

表 2 4 °C 冷藏后复热处理对鲈鱼挥发性物质的影响

Table 2 The effect of reheating treatment after 4 °C cold storage on the volatile compounds of perch

峰面积 ( $\times 10^7$ )	保留指数	0 h	3 h	8 h	13 h	18 h
二硫化碳	1023	4.44	16.20	5.62	12.23	7.25
己醛	1100	5.18	5.27	4.81	7.40	7.04
正辛醛	1246	0.88	1.23	1.10	2.28	2.05
壬醛	1403	2.28	3.56	3.38	4.43	5.36
苯甲醛	1530	1.82	1.99	0.94	2.81	4.23
1-辛烯-3-醇	1206	2.62	7.03	10.98	10.23	9.96
萘	1700	0.61	0.72	-	1.12	0.91
十五烷	1496	11.44	21.14	8.61	13.98	14.17
十六烷	1600	0.53	8.02	-	1.12	0.91
十七烷	1690	4.46	14.45	11.61	13.66	4.49
十九烷	1800	7.76	-	-	-	-

注:“-”为未检出。

## 2.2 冷藏复热处理对鲈鱼气味的影响

电子鼻能模拟人的嗅觉系统,利用气体传感器阵列的响应曲线来识别样品气味,并对样品整体气味进行判别<sup>[22,23]</sup>。DFA 分析是在进行 PCA 分析之后,对电子鼻传感器所感应到的气味的响应信号进一步优化处理,将数据之间的差异性扩大进而能够更好地反映不同冷藏时间下的气味变化情况<sup>[24,25]</sup>。与 PCA 分析相比,DFA 分析能够从所有数据中收集信息,提高分类精度。

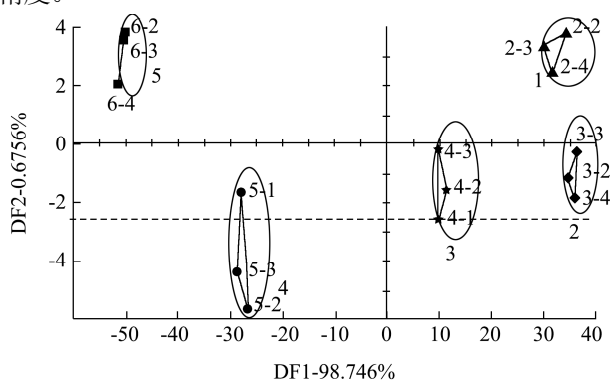


图1 鲈鱼 4 °C 冷藏的 DFA 分析图

Fig.1 DFA Analysis Diagram of perch refrigerated at 4 °C

鲈鱼加热冷藏处理后 DFA 分析如图 1 所示,DF1、DF2 分别达到 98.75%、0.68%,总贡献率约为 99.43%。各个处理组之间完全分离,互不干扰。图中,随着冷藏时间的延长,鲈鱼气味被明显的区分,说明冷藏时间对鲈鱼挥发性物质有显著性的影响。鲈鱼气味的差异因冷藏时间的不同被区分为两组,冷藏 3 h 与冷藏 8 h 为一组,鲈鱼气味较为接近,且与冷藏 0 h 相比,挥发性物质与其最为相近。冷藏 13 h 与冷藏 18 h 为另一组,组内气味相近,但与冷藏 0 h 相比差异较大。

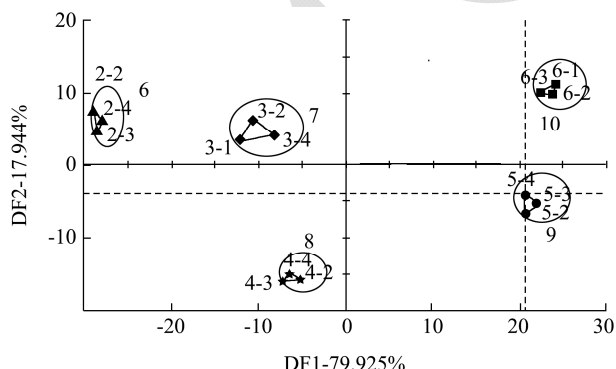


图2 鲈鱼复热的 DFA 分析图

Fig.2 DFA Analysis Diagram of perch reheating

如图 2 所示,复热处理时,DF1、DF2 分别达到 79.93%、17.94%,总贡献率约为 97.87%。图中,随着冷藏时间的延长,复热后鲈鱼气味差异显著,与加热冷藏处理时的气味趋势一致,冷藏 3 h 后复热与冷

藏 8 h 后复热时气味较为接近。而冷藏 13 h 后复热与冷藏 18 h 后复热时气味较为接近。综上可得,冷藏和复热处理都随着冷藏时间的延长,气味差异性显著,并且在同一冷藏时间的前提下,冷藏和复热处理的气味趋势高度一致,即无显著性差异。

## 2.3 冷藏处理不同时间的主成分分析图

表 3 鲈鱼冷藏后主要挥发性成分主成分分析特征值贡献率

Table 3 Characteristic contribution rate of main volatile components in perch after cold storage

	1	2	3	4
合计	6.39	2.56	1.70	0.35
方差贡献率/%	58.08	23.29	15.47	3.16
累计贡献率/%	58.08	81.37	96.84	100.00

表 4 鲈鱼冷藏后主要挥发性成分主成分分析特征向量

Table 4 Principal component analysis eigenvector analysis of main volatile components in perch after refrigeration

挥发性成分	F1	F2	F3
二硫化碳	0.03	0.79	0.17
己醛	0.71	0.01	0.24
正辛醛	0.80	0.18	0.00
壬醛	0.80	0.17	0.00
苯甲醛	0.33	0.01	0.64
1-辛烯-3-醇	0.85	0.04	0.03
萘	0.08	0.59	0.29
十五烷	0.80	0.18	0.02
十六烷	0.79	0.06	0.16
十七烷	0.95	0.01	0.01
十九烷	0.25	0.54	0.14

加热冷藏处理的鲈鱼主成分分析特征值及特征向量的结果如表 3、4 所示,第一主成分的方差贡献率为 58.08%,其中正辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、十五烷、十七烷对冷藏处理的鲈鱼气味贡献最大,对应的特征值均在 0.80 以上,表明这五种挥发性物质是与冷藏处理鲈鱼气味相关性系数最高的成分,也是其主体特征性挥发性组分,如正辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇广泛存在于鱼肉中,是对鱼肉气味有重要贡献的组分。第一主成分体现的是壬醛表现出的腥味和 1-辛烯-3-醇表现出的土腥味。第二主成分的方差贡献率为 23.29%,其中二硫化碳、萘、十九烷贡献最大,对应的特征值为 0.79、0.59、0.54。而由于萘来自于外界环境、十九烷阈值高,对气味影响不大,因此第二主成分体现的是外界对鲈鱼肉气味的影响,对其起补充作用。第三主成分的方差贡献率为 15.47%,苯甲醛的贡献率最大,特征值为 0.64。苯甲醛具有坚果香气,所以第三



主成分主要反映是鲈鱼肉的坚果香气，对主体香气成分起补充作用。三个主成分方差累计贡献率达96.84%，可反映冷藏处理后鲈鱼肉气味的总体情况。

由图3可知，冷藏3 h的代表性挥发性物质为十九烷，冷藏8 h的代表性挥发性物质为十五烷、十六烷，说明这两组的气味较为相似。冷藏13 h的代表性挥发性物质为1-辛烯-3-醇。冷藏18 h的代表性挥发性物质为壬醛，正辛醛，说明这两组气味相似，都表现为腥味。这与电子鼻所得出鲈鱼4℃冷藏的DFA分析结果一致。GC-MS结果可知，醛类物质含量随冷藏时间的延长呈现下降的趋势，直至冷藏13 h后开始升高。表现为鱼肉腥味物质的壬醛、1-辛烯-3-醇分别在冷藏18 h和冷藏13 h中含量最高。Iglesias<sup>[26]</sup>研究表明1-辛烯-3-醇含量的增加，与15-脂氧合酶对EPA(20:5n-3)和12-脂氧合酶对花生四烯酸的作用有关。1-辛烯-3-醇由于气味阈值较低，所以对于鱼类的异味有重要贡献。结合特征贡献率及特征向量结果可知，冷藏处理的鲈鱼随着冷藏时间的延长，鱼肉表现出腥味。

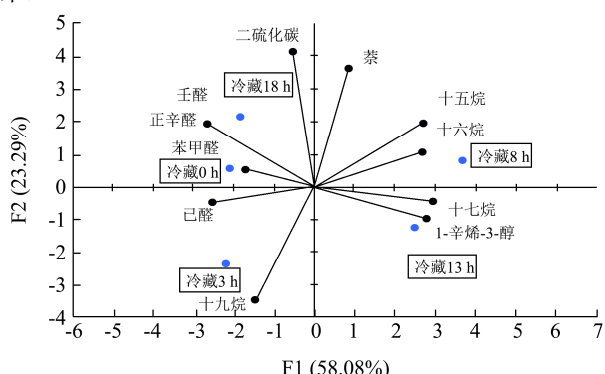


图3 鲈鱼4℃冷藏后的主成分分析载荷图

Fig.3 Analysis of main components after cold storage of perch at 4℃

#### 2.4 复热处理不同时间的主成分分析图

表5 鲈鱼复热后主要挥发性成分主成分分析特征值贡献率

Table 5 Analysis of the contribution rate of the principal components of the main volatile components in the back-heat of the perch

	F1	F2	F3	F4
合计	5.14	3.16	2.09	0.61
方差贡献率/%	46.71	28.76	18.98	5.55
累计贡献率/%	46.71	75.47	94.45	100.00

由表5、6可知，第一主成分的方差贡献率为46.71%，其中，己醛、正辛醛、壬醛对复热处理后鲈鱼气味影响最大，特征值达0.70以上，说明第一主成分主要体现的是醛类物质所贡献的气味特征。而已醛

通常表现为清香和草香味，浓度过大时，会表现出不愉快的酸败味和刺激性辛辣味，此外正辛醛呈生嫩的新香，壬醛被认为呈清香味，但在浓度过大时表现出明显的动物油脂味<sup>[27]</sup>，其中己醛含量最高，且随着冷藏时间的延长含量逐渐增大，即第一主成分主要表现为草香味夹杂着酸败味。第二主成分的方差贡献率为28.76%，二硫化碳、十六烷对鲈鱼气味影响较大，但烷烃因阈值较高，对气味影响不大。第三主成分的方差贡献率为18.98%，其中1-辛烯-3-醇特征值最大，达0.62，而其气味特征表现为土腥味，说明第三主成分主要为土腥味。三个主成分累计贡献率达94.45%，可反映复热处理后鲈鱼肉气味的总体情况。

表6 鲈鱼复热后主要挥发性成分主成分分析特征向量

Table 6 Principal component analysis of main volatile

components in perch after reheating			
	F1	F2	F3
二硫化碳	0.36	0.61	0.01
己醛	0.73	0.18	0.03
正辛醛	0.85	0.11	0.00
壬醛	0.81	0.09	0.03
苯甲醛	0.57	0.20	0.16
1-辛烯-3-醇	0.35	0.02	0.62
萘	0.55	0.01	0.37
十五烷	0.25	0.52	0.19
十六烷	0.06	0.83	0.06
十七烷	0.09	0.54	0.22
十九烷	0.55	0.05	0.39

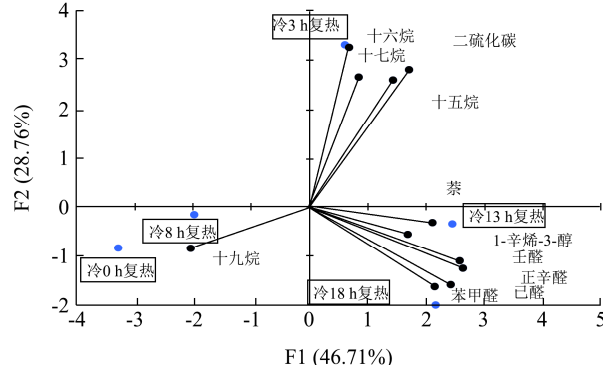


图4 鲈鱼4℃冷藏后复热的主成分分析图

Fig.4 Principal component Analysis Diagram of perch reheated after Refrigeration at 4℃

如图4可知，冷藏3 h复热的代表性挥发性物质为十五烷、十六烷、十七烷，冷藏8 h复热的代表性挥发性物质为十九烷，说明这两组的气味较为相似。冷藏13 h的代表性挥发性物质为1-辛烯-3-醇、壬醛。冷藏18 h的代表性挥发性物质为正辛醛、己醛、苯甲醛，说明这两组气味相似，都表现为腥味。这与电子

鼻所得出鲈鱼 4 ℃ 冷藏后复热的 DFA 分析的结果一致。GC-MS 结果可知, 醛类物质含量随冷藏时间的延长呈现下降的趋势, 直至冷藏 13 h 复热后开始升高, 这与傅宝尚等的研究结果一致, 复加热会对食品中大多数风味化合物产生影响其中对醛类化合物影响最大。表现为鱼肉腥味物质的壬醛、1-辛烯-3-醇在复热 18 h 和复热 13 h 中含量均很高, 且远远高出冷藏时的含量。说明复热处理使得鱼肉脂肪氧化加重, 腥味及不良风味增强。

### 3 结论

采用电子鼻和 SPME-GC-MS 联用技术对冷藏及复热处理的鲈鱼挥发性物质的成分及含量进行测定; 结果表明: 醛类物质随着冷藏时间的延长, 呈现先下降后上升的趋势, 在冷藏 13 h 后开始上升, 此时鱼肉腥味增加。鱼肉腥味物质壬醛、1-辛烯-3-醇在复热 18 h 和复热 13 h 中含量均很高, 且远远高出冷藏时的含量; 说明复热处理使得鱼肉脂肪氧化加重, 且二次加热会使鲈鱼腥味加重; 电子鼻可以较好地地区分出冷藏不同时间的鲈鱼肉气味的差别; DFA 分析显示冷藏和复热处理都随着冷藏时间的延长, 气味差异性明显; 冷藏 3 h 与冷藏 8 h 为一组, 鲈鱼气味较为接近, 冷藏 13 h 与冷藏 18 h 为另一组, 组内气味相近; 冷藏 3 h 后复热与冷藏 8 h 后复热时气味较为接近。而冷藏 13 h 后复热与冷藏 18 h 后复热时气味较为接近。主成分分析表明, 较于冷藏, 复热处理的鲈鱼随着冷藏时间的延长, 鱼肉腥味加重; 复热处理后不良气味明显增强。

### 参考文献

- [1] 汪兰, 曾俊杰, 吴文锦. 不同冻藏温度对鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 287-292  
WANG Lan, ZENG Jun-jie, WU Wen-jin. Effect of different freezing temperature on the quality of bass [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 287-292
- [2] 徐永霞, 赵佳美, 刘滢, 等. 超高压处理对鲈鱼挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(8): 248-253  
XU Yong-xia, ZHAO Jia-mei, LIU Ying, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on volatile components of bass [J]. Proceedings of the Chinese Journal of Food, 2016, 16(8): 248-253
- [3] 王健一. 超高压处理对低盐鱼糜制品品质特性影响的研究[D]. 福建农林大学, 2018  
WANG Jian-yi. Study on the effect of ultra-high pressure treatment on the quality characteristics of low salt surimi products [D]. Fujian University of Agriculture and Forestry, 2018
- [4] 吴薇, 陶宁萍, 顾赛麒, 等. 蒸制刀鲚肉挥发性成分的鉴定与分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 82-86  
WU Wei, TAO Ning-ping, GU Sai-qi, et al. Identification and analysis of volatile components in steaming *Coilia mystus* [J]. Food Industry Technology, 2013, 34(20): 82-86
- [5] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和 SPME-GC-MS 联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 124-128  
RONG Jian-hua, XIONG Shi, ZHANG Liang-zi, et al. Volatile flavor components of crispy grass carp meat were analyzed by electronic nose and SPME-GC-MS [J]. Food Science, 2015, 36(10): 124-128
- [6] 康翠翠, 施文正, 刁玉段, 等. 加热温度对花鲈鱼肉挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 60-66  
KANG Cui-cui, SHI Wen-zheng, DIAO Yu-duan, et al. Effect of heating temperature on volatile components in the meat of perch [J]. Food Science, 2017, 38(18): 60-66
- [7] Gonca G C, Serkan S. Characterization of the key aroma compounds in cooked grey mullet (*Mugil cephalus*) by application of aroma extract dilution analysis [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2011, 59(2): 654-659
- [8] Miyasaki T, Hamaguchi M, Yokoyama S. Change of volatile compounds in fresh fish meat during ice storage [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(9): 1319-1325
- [9] 朱丹实, 吴晓菲, 王立娜, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析冷藏真鲷挥发性风味物质变化[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 227-234  
ZHU Dan-shi, WU Xiao-fei, WANG Li-na, et al. Analysis of volatile flavor substances in refrigerated *Sparus macrocephalus* by electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Food, 2016, 16(12): 227-234
- [10] 李婷婷, 丁婷, 邹朝阳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用技术结合电子鼻分析 4 ℃ 冷藏过程中三文鱼片挥发性成分的变化[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 249-260  
LI Ting-ting, DING Ting, ZOU Chao-yang, et al. The changes of volatile components in salmon fillets during cold storage at 4 ℃ were analyzed by headspace solid phase microextraction-GC-MS combined with electronic nose [J]. Modern Food Technology, 2015, 31(2): 249-260
- [11] 傅宝尚. 预熟鲍鱼在不同贮藏条件下的风味变化研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016  
FU Bao-shan. Study on flavor change of precooked abalone under different storage conditions [D]. Dalian: Dalian

- University of Technology, 2016
- [12] Iglesias J, Medina I. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle [J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1192(1): 9-16
- [13] Baranauskiene R, Venskutonis P R, Galdikas A, et al. Testing of microencapsulated flavours by electronic nose and SPME-GC [J]. *Food Chemistry*, 2005, 92(1): 45-54
- [14] 徐永霞,刘滢,姜程程,等.电子鼻结合气质联用法分析大菱鲆冷藏过程中挥发性成分变化[J]. *食品与发酵工业*,2014, 40(1):193-197
- XU Yong-xia, LIU Ying, JIANG Cheng-cheng, et al. Changes of volatile components in turbot during cold storage were analyzed by electronic nose combined with GC-MS [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2014, 40(1): 193-197
- [15] Drumm T D, Spanier A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1991, 39(2): 336-343
- [16] 刘楠,李婷婷,仪淑敏,等. GC-MS 结合电子鼻分析茶多酚对冷藏草鱼片挥发性成分的影响[J]. *食品科学*,2016,37(22): 237-243
- LIU Nan, LI Ting-ting, YI Shu-min, et al. The effect of tea polyphenols on volatile components in refrigerated grass carp fillets was analyzed by GC-MS combined with electronic nose [J]. *Food Science*, 2016, 37(22): 237-243
- [17] 施文正,陈青云,尤其嘉,等.不同温度条件下草鱼肉挥发性成分的检测[J]. *食品科学*,2014,35(4):66-70
- SHI Wen-zheng, CHEN Qing-yun, YOU Qi-jia, et al. Detection of volatile components in grass carp meat at different temperatures [J]. *Food Science*, 2014, 35(4): 66-70
- [18] Alasalvar C, Taylor K A, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(7): 2616-2622
- [19] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, 31(2): 326-330
- [20] Iglesias J, Medina I. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle [J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1192(1): 9-16
- [21] 吴薇,陶宁萍,顾赛麒.鱼肉特征性气味物质研究进展[J]. *食品科学*,2013,34(11):381-385
- WU Wei, TAO Ning-ping, GU Sai-qi. Progress in the study of characteristic odors in fish [J]. *Food Science*, 2013, 34(11): 381-385
- [22] 贾洪锋,卢一,何江红,等.肉类电子鼻识别模型的建立[J]. *食品与机械*,2011,27(3):96-97,139
- JIA Hong-feng, LU Yi, HE Jiang-hong, et al. Establishment of recognition model of meat electronic nose [J]. *Food and Machinery*, 2011, 27(3): 96-97, 139
- [23] 陈晓明,马明辉,李景明,等.电子鼻在天然苹果香精检测中的应用[J]. *食品科学*,2007,3:261-265
- CHEN Xiao-ming, MA Ming-hui, LI Jing-ming, et al. Application of electronic nose in the detection of natural apple essence [J]. *Food Science*, 2007, 3: 231-265
- [24] 肖虹,谢晶.基于电子鼻技术判定冷却猪肉新鲜度[J]. *食品与发酵工业*,2010,36(7):169-172
- XIAO Hong, XIE Jing. Based on electronic nose technology to determine the freshness of chilled pork [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2010, 36(7): 169-172
- [25] 杨毅,周少明,段振华,等.基于电子鼻快速检测罗非鱼新鲜度研究[J]. *食品科技*,2011,36(8):255-258
- YANG Yi, ZHOU Shao-ming, DUAN Zhen-hua, et al. Rapid detection of tilapia freshness based on electronic nose [J]. *Food Technology*, 2011, 36(8): 255-258
- [26] Iglesias J, Medina I, Bianchi F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(4): 1473-1478
- [27] 吴容,陶宁萍,刘源,等.同时蒸馏萃取-气质联用分析养殖暗纹东方鲀肉中的挥发性成分[J]. *食品与发酵工业*,2012,38(9):132-140
- WU Rong, TAO Ning-ping, LIU Yuan, et al. At the same time, distillation extraction and GC-MS were used to analyze the volatile components in cultured puffer meat [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2012, 38(9): 132-140