

# 海鲶鱼汤烹制过程中风味特性的变化

冯媛, 赵洪雷, 曲诗瑶, 徐永霞\*, 李昊宇, 周晓, 李学鹏, 励建荣\*

(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)

**摘要:** 考察烹制时间对海鲶鱼汤风味特性的影响。采用电子鼻、电子舌结合气相色谱-质谱联用等技术分析不同烹制时间鱼汤风味物质组成的变化, 并结合相对气味活度值确定其主体风味成分。结果表明, 随着烹制时间的延长, 鱼汤中粗蛋白、粗脂肪及灰分含量显著增加 ( $P < 0.05$ ), 水分含量降低但不显著 ( $P > 0.05$ ), 可溶性肽含量在烹制1 h后显著增加 ( $P < 0.05$ ); 电子鼻和电子舌均能很好地区分不同烹制时间鱼汤的气味和滋味特征; 气相色谱-质谱共检测出44种挥发性化合物, 其中烹制0.5、1、1.5 h和2 h的鱼汤中分别检出24、33、21种和18种挥发性物质, 包括醛类、醇类、烃类、酮类、呋喃、酯类等。随着烹制时间的延长, 鱼汤中醛类和醇类相对含量显著升高。己醛、庚醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、D-柠檬烯和2-戊基呋喃等物质是海鲶鱼汤中的主体风味物质。

**关键词:** 海鲶鱼; 鱼汤; 烹制; 风味特性

## Changes in Flavor Characteristics of Sea Catfish Broth during Cooking Process

FENG Yuan, ZHAO Honglei, QU Shiyao, XU Yongxia\*, LI Haoyu, ZHOU Xiao, LI Xuepeng, LI Jianrong\*

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

**Abstract:** The effect of cooking time on the flavor characteristics of sea catfish broth were investigated in this paper. Electronic nose, electronic tongue and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the flavor composition of fish broth, and the main flavor compounds were determined by relative odor activity values (ROAV). The results showed that the contents of crude protein, crude fat and ash in fish broth increased significantly ( $P < 0.05$ ) while moisture content decreased but not significantly ( $P > 0.05$ ) with the prolongation of cooking time. Soluble peptide content increased significantly ( $P < 0.05$ ) from 1 h onward. Both electronic nose and electronic tongue could well distinguish the smell and taste of fish broth with different cooking times. Meanwhile, a total of 44 volatile compounds were identified by GC-MS, including aldehydes, alcohols, hydrocarbons, ketones, furans and esters, and 24, 33, 21 and 18 volatiles were detected in fish broth cooked for 0.5, 1, 1.5 and 2 h, respectively. With the extension of cooking time, the relative amounts of aldehydes and alcohols significantly increased. Hexanal, heptanal, (E)-2-heptenal, (E)-2-octenal, nonanal, 1-octene-3-ol, D-limonene and 2-pentylfuran were the main flavor substances in sea catfish broth.

**Keywords:** sea catfish; fish broth; cooking; flavor characteristics

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190523-283

中图分类号: TS254.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2020)08-0202-06

引文格式:

冯媛, 赵洪雷, 曲诗瑶, 等. 海鲶鱼汤烹制过程中风味特性的变化[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 202-207. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190523-283. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-05-23

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2017YFD0400106); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31701631); 辽宁省科学事业公益研究基金项目(20170035); 渤海大学省级大学生创新创业训练计划项目(2017146)

第一作者简介: 冯媛(1995—)(ORCID: 0000-0003-0812-3622), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品贮藏加工。

E-mail: fengy9522@163.com

\*通信作者简介: 徐永霞(1983—)(ORCID: 0000-0003-9660-8744), 女, 副教授, 博士, 研究方向为水产品贮藏加工。

E-mail: xuyx1009@126.com

励建荣(1964—)(ORCID: 0000-0003-3854-7274), 男, 教授, 博士, 研究方向为生鲜食品贮藏加工及安全控制。E-mail: lijr6491@163.com

FENG Yuan, ZHAO Honglei, QU Shiyao, et al. Changes in flavor characteristics of sea catfish broth during cooking process[J]. Food Science, 2020, 41(8): 202-207. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190523-283. <http://www.spkx.net.cn>

海鲶鱼, 俗称虾虎鱼、扔巴、胖头鱼等, 为暖温性底层中小型鱼类, 主要分布于我国渤海、黄海等地<sup>[1]</sup>。海鲶鱼肉质细嫩, 富含蛋白质等营养物质, 其中含硫氨基酸和赖氨酸含量较高, 此外, 海鲶鱼还含有丰富的钙、铁、磷和VA、VB等, 能够促进皮肤新陈代谢, 具有美容养颜的功效<sup>[2]</sup>。目前, 我国捕捞的海鲶鱼以鲜销为主, 部分以冻品出口, 也有少数以传统鱼干制品的形式出售, 但由于加工技术落后, 其原料利用率和附加值均较低<sup>[2]</sup>。因此, 合理开发和利用海鲶鱼资源具有良好的市场前景。

汤是人们餐桌上不可或缺的一部分, 在我国有“无汤不成席”之说<sup>[3]</sup>。汤不仅营养丰富、味道鲜美, 而且具有滋补养生、食疗保健、提高机体免疫力等功效<sup>[4]</sup>。肉汤的熬制是一个复杂的物理和化学变化过程, 在烹制过程中, 随着加热温度的升高, 肌纤维束破裂, 肉质逐渐变软, 继续加热, 肌肉中的蛋白质、脂肪和糖类物质逐渐溶出和降解, 从而赋予了汤汁良好的风味和营养品质<sup>[5-6]</sup>。目前, 国内外关于畜禽类肉汤的烹制工艺及风味特性的研究报道较多。Qi Jun等<sup>[7-8]</sup>研究不同炖煮时间对鸡汤风味活性物质、整体风味特征及蛋白质结构变化的影响, 随着炖煮时间的延长, 鸡汤中蛋白质含量显著增加, 炖煮2 h内对鸡汤风味影响较大; 顾伟钢等<sup>[9]</sup>研究水煮、炖煮和高压蒸煮对猪肉汤中蛋白质及其降解产物的影响, 发现炖煮方式下蛋白质降解程度更大, 且大部分降解产物转移到汤汁中, 从而赋予肉汤良好的营养和风味。

鱼汤因其滋味鲜美、肉质细腻而深受人们的喜爱, 然而目前关于鱼汤的相关研究相对较少。朱琳等<sup>[10]</sup>研究不同的加工方法对乌鱼汤营养成分的影响, 建议熬制时间控制在1.5~3 h; Zhang Jinjie等<sup>[11]</sup>研究发现85 °C熬制的鲫鱼汤具有较好的风味和营养品质; Li Jinlin等<sup>[12]</sup>采用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术研究草鱼汤烹饪过程中挥发性成分的变化。本实验以海鲶鱼为对象, 采用传统的炖煮方式熬制鱼汤, 探究不同熬制时间下鱼汤中基本营养成分、可溶性肽含量及气味和滋味特征的变化, 以期海鲶鱼汤工业化生产提供一定的理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜海鲶鱼, 于2019年3月购于锦州市林西街水产市场, 共24尾, 每尾长(20±5) cm, 尾质量(250±50) g。

食盐、豆油 市购; 硫酸铜、乙醚、石油醚、三氯乙酸、碳酸钠、氢氧化钠、酒石酸钾钠、Folin-酚试剂、浓盐酸(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器 郑州长城科工贸有限公司; UV-2550紫外-可见分光光度计 岛津仪器(苏州)有限公司; Kjeltec8400全自动凯氏定氮仪 瑞典FOSS公司; Biofuge stratos台式冷冻高速离心机 美国Thermo Fisher公司; 7890N/5975 GC-MS联用仪 美国Agilent公司; 50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头 美国Supelco公司; PEN3便携式电子鼻 德国Airsense公司; SA402B电子舌 日本Nikon公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鱼汤的制备

将海鲶鱼宰杀后去鳍、鳃及内脏, 清水洗净后沥干, 备用。将25 g豆油倒入锅中, 待油温达到六七成热时, 将鱼放入锅中, 正反面各煎1 min至微黄, 然后按照料液比1:5(g/mL)加水, 用电磁炉在1 200 W功率下煮沸后, 采用循环加热法熬制鱼汤, 首先在300 W熬制10 min, 然后120 W熬制10 min, 最后300 W熬制10 min, 得到0.5 h的鱼汤样品。熬制1、1.5 h和2 h, 分别重复上述熬制程序2、3、4次, 得到相应的鱼汤样品, 待鱼汤冷却至室温后, 用纱布过滤, 取清液, 备用。

#### 1.3.2 基本营养成分的测定

水分含量采用GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定; 粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定; 粗脂肪、灰分含量分别参照GB/T 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》和GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》进行测定。

#### 1.3.3 感官评定

参考王琳涵等<sup>[13]</sup>的方法进行感官评价。选取7名经过感官评价培训的人员, 分别从色泽、滋味和气味3个方面对鱼汤的品质进行描述, 评分值为7人组成评定小组的平均得分, 感官评分标准见表1。

表1 鱼汤的感官评分标准  
Table 1 Criteria for sensory evaluation of fish broth

评分范围	色泽	滋味	气味
7~10分	色泽乳白, 颜色均匀	汤汁浓厚, 味道鲜美	无腥味, 鱼香味浓郁
4~6分	色泽较白、均匀, 可接受	浓稠度一般, 味道较好	腥味较淡, 有鱼香味
1~3分	色泽黄, 难接受	汤汁稀, 味道寡淡	腥味重, 有异味

#### 1.3.4 三氯乙酸-可溶性肽含量的测定

准确称取3.0 g鱼汤样品, 加入27 mL 5%三氯乙酸溶

液,均质后于4℃静置1h,然后在4℃、5000 r/min离心10 min,取上清液,采用Lowry法<sup>[14]</sup>测定可溶性肽含量。

### 1.3.5 GC-MS测定

参照徐永霞等<sup>[15]</sup>的方法并稍加修改。采用固相微萃取法提取鱼汤中的挥发性物质,准确称取8.0 g鱼汤样品于20 mL顶空瓶中,放入磁力搅拌子,迅速用聚四氟乙烯隔垫密封,于50℃水浴中平衡10 min,将经过老化处理的50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头插入顶空瓶中吸附30 min,然后在GC-MS进样口解吸5 min。

GC条件:HP-5MS毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);采用不分流模式进样,载气He流速1.0 mL/min;进样口温度250℃;升温程序:起始温度40℃,保持3 min,以3℃/min升至100℃,再以5℃/min升至240℃,保持5 min。

MS条件:电子电离源;接口温度280℃;四极杆温度150℃;离子源温度230℃;电子能量70 eV;质量扫描范围 $m/z$  30~550。

### 1.3.6 电子鼻检测

准确称取各组鱼汤样品5.0 g于50 mL烧杯内,用3层保鲜膜密封,室温静置30 min,然后依次用电子鼻对挥发性气味进行分析检测,每组样品做3个平行。

电子鼻载气为干燥空气,测试时间120 s,清洗时间60 s,利用电子鼻自带的Winmuster软件对80~85 s内数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。

### 1.3.7 电子舌检测

分别取35.0 mL各组鱼汤样品于电子舌专用样品杯中,按照设置的序列放置在电子舌自动进样器上进行检测,单次采样时间为120 s,1次/s。每组样品重复检测4次,运用系统自带数据库系统,选取传感器信号趋于稳定时即第120秒的响应值,对后3次采集到的数据进行味觉特征分析。

## 1.4 数据处理

样品中挥发性成分采用NIST 11/Wiley 7.0谱库进行定性分析,结合相关文献确定其化学组成,采用峰面积归一化法计算各物质的相对含量,各挥发物的相对气味活性值(relative odor activity value, ROAV)参考田淑琳等<sup>[16]</sup>的方法进行计算。采用Origin 8.0软件、SPSS 19.0软件进行数据处理并采用Duncan法进行显著性分析, $P<0.05$ ,差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养成分的变化

如表2所示,随着烹制时间的延长,鱼汤中粗蛋白含量及粗脂肪含量均呈增加趋势,其中烹制0.5 h鱼汤中粗蛋白质量分数为0.55%,烹制2 h其质量分数达到

1.05%,增幅显著( $P<0.05$ );同时,鱼汤中水分质量分数随烹制时间的延长逐渐降低,但变化无显著差异( $P>0.05$ ),总体保持在97%~98.3%之间;灰分含量在烹制0.5~1.5 h内显著增加( $P<0.05$ ),但在1.5 h之后变化不显著( $P>0.05$ )。

表2 不同烹制时间海鲢鱼汤基本营养成分变化

Table 2 Changes in nutrition components of sea catfish broth with different cooking times

时间/h	粗蛋白 质量分数/%	粗脂肪 质量分数/%	水分 质量分数/%	灰分 质量分数/%
0.5	0.55±0.03 <sup>d</sup>	0.18±0.03 <sup>b</sup>	98.31±0.34 <sup>a</sup>	0.49±0.04 <sup>c</sup>
1	0.87±0.02 <sup>c</sup>	0.24±0.06 <sup>ab</sup>	98.02±0.88 <sup>a</sup>	0.68±0.11 <sup>b</sup>
1.5	0.96±0.02 <sup>b</sup>	0.23±0.07 <sup>ab</sup>	97.63±0.71 <sup>a</sup>	0.82±0.05 <sup>a</sup>
2	1.05±0.04 <sup>a</sup>	0.28±0.06 <sup>a</sup>	97.01±0.86 <sup>a</sup>	0.84±0.03 <sup>a</sup>

注:同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。表3同。

### 2.2 感官评定结果

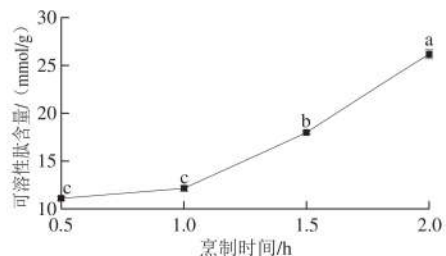
表3 不同烹制时间下海鲢鱼汤的感官评价

Table 3 Sensory evaluation of sea catfish broth with different cooking times

时间/h	感官特征描述	评分
0.5	色泽微黄、较均匀;汤汁较稀,味道寡淡;有腥味,鱼香味较淡	4.43 <sup>f</sup>
1	色泽乳白、均匀;汤汁较浓,味道鲜美;腥味较淡,鱼香味较好	7.88 <sup>d</sup>
1.5	色泽乳白、均匀;汤汁较浓,味道鲜美;腥味较淡,鱼香味浓郁	8.07 <sup>d</sup>
2	色泽乳白、较均匀;汤汁浓稠,味道过于厚重;腥味淡,鱼香味较浓	6.98 <sup>e</sup>

如表3所示,熬制0.5 h的鱼汤汤汁较稀,滋味寡淡,感官评分值最低,熬制1 h和1.5 h的鱼汤感官评分较高。这是由于随着加热时间的延长,海鲢鱼肉中的脂肪、水溶性蛋白质及小分子呈味物质逐渐溶出,使鱼汤变鲜美。同时鱼皮中的胶原蛋白逐渐转化成明胶分子进入汤中,和一些具有乳化性能的蛋白质共同作用,从而使鱼汤逐渐变得浓稠,颜色也由淡黄色变为乳白色<sup>[10]</sup>。熬制2 h的鱼汤感官评分显著降低,可能由于长时间加热使鱼汤中的主要鲜味物质肌苷酸分解为带有明显苦味的次黄嘌呤,从而影响鱼汤滋味<sup>[17]</sup>。

### 2.3 可溶性肽含量的变化



不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图1 不同烹制时间海鲢鱼汤可溶性肽含量变化

Fig. 1 Changes in TCA-soluble peptide content of sea catfish broth with different cooking times

如图1所示,随着烹制时间的延长,鱼汤中可溶性肽的含量不断增加,在烹制0.5~1 h内可溶性肽的含量增加

不显著 ( $P>0.05$ ), 之后随着烹制时间的延长鱼汤中可溶性肽含量显著增加 ( $P<0.05$ ), 说明随着烹制时间的进一步延长, 鱼肉中的蛋白质充分溶出, 并发生热降解形成小分子肽类进入到汤中, 从而使其含量显著增加。

2.4 GC-MS分析鱼汤中挥发性风味成分分析

表4 不同烹制时间海鲈鱼汤挥发性成分变化

Table 4 Changes in contents of volatile components of sea catfish broth with different cooking times

化合物名称	保留时间/min	相对含量/%			
		0.5 h	1 h	1.5 h	2 h
<b>醛类</b>					
戊醛	3.23	1.11±0.14 <sup>a</sup>	0.85±0.14 <sup>a</sup>	3.21±0.03 <sup>b</sup>	3.76±0.21 <sup>a</sup>
己醛	5.62	14.13±0.58 <sup>b</sup>	2.44±0.38 <sup>c</sup>	18.76±1.18 <sup>d</sup>	21.17±3.19 <sup>d</sup>
庚醛	9.46	—	1.87±0.09 <sup>c</sup>	3.55±0.26 <sup>b</sup>	4.66±0.44 <sup>a</sup>
2-乙基己醛	11.81	—	9.08±0.11	—	—
(E)-2-庚烯醛	11.97	3.54±0.16 <sup>c</sup>	1.16±0.13 <sup>c</sup>	2.73±0.25 <sup>b</sup>	3.51±0.20 <sup>b</sup>
(E)-2-辛烯醛	16.90	0.69±0.05 <sup>b</sup>	0.26±0.05 <sup>c</sup>	0.29±0.09 <sup>c</sup>	0.81±0.04 <sup>c</sup>
壬醛	19.14	4.20±0.15 <sup>c</sup>	2.27±0.13 <sup>d</sup>	5.91±0.22 <sup>d</sup>	5.18±0.06 <sup>b</sup>
癸醛	23.95	1.50±0.23 <sup>a</sup>	0.35±0.06 <sup>c</sup>	—	—
(E,E)-2,4-癸二烯醛	28.23	1.16±0.12	—	—	—
<b>酮类</b>					
2-庚酮	9.03	0.44±0.07 <sup>b</sup>	—	—	4.26±0.10 <sup>c</sup>
6-甲基-5-庚烯-2-酮	13.47	0.59±0.06 <sup>b</sup>	1.62±0.07 <sup>a</sup>	—	—
2-壬酮	18.60	0.19±0.02 <sup>b</sup>	—	—	0.25±0.04 <sup>b</sup>
<b>醇类</b>					
1-辛烯-3-醇	13.17	3.12±0.59 <sup>c</sup>	0.67±0.04 <sup>d</sup>	5.34±0.28 <sup>b</sup>	6.07±0.38 <sup>c</sup>
2-乙基-1-己醇	15.61	—	7.56±0.62 <sup>a</sup>	3.45±0.05 <sup>b</sup>	—
3,7-二乙基芳樟醇	18.98	—	0.37±0.06	—	—
(E)-2-十一烯-1-醇	23.98	—	0.31±0.07	—	—
3,5-二甲氧基苯醇	33.07	6.55±0.01	—	—	—
2-己基-1-癸醇	37.78	—	0.36±0.00 <sup>c</sup>	6.28±0.05 <sup>b</sup>	10.34±0.12 <sup>a</sup>
2-甲基十六醇	39.73	—	—	16.64±0.05	—
<b>烃类</b>					
苯乙烯	8.89	—	9.80±0.29 <sup>a</sup>	3.33±0.23 <sup>b</sup>	—
2,7-二甲基辛烷	13.35	0.79±0.24	—	—	—
月桂烯	13.57	—	3.52±0.01	—	—
癸烷	13.97	—	0.29±0.04	—	—
D-柠檬烯	15.30	1.32±0.06 <sup>b</sup>	14.72±0.48 <sup>a</sup>	1.01±0.06 <sup>b</sup>	1.10±0.06 <sup>b</sup>
2-甲基-3-乙基-1,3-己二烯	15.48	—	—	0.77±0.09 <sup>a</sup>	1.06±0.25 <sup>a</sup>
γ-松油烯	16.80	—	5.14±0.37	—	—
十一烯	18.47	—	12.19±0.61	—	—
十二烷	30.72	18.77±0.18 <sup>a</sup>	0.67±0.12 <sup>b</sup>	0.35±0.01 <sup>c</sup>	—
十六烯	34.33	—	—	1.38±0.21 <sup>a</sup>	1.75±0.15 <sup>c</sup>
十三烷	35.96	6.02±0.54 <sup>a</sup>	0.39±0.03 <sup>b</sup>	—	—
十四烷	37.16	—	0.33±0.06 <sup>b</sup>	—	4.33±0.20 <sup>c</sup>
十八烯	37.98	1.20±0.17 <sup>a</sup>	0.88±0.10 <sup>a</sup>	—	—
十七烷	38.23	11.04±0.22 <sup>b</sup>	4.76±0.23 <sup>d</sup>	5.43±0.42 <sup>c</sup>	12.07±0.12 <sup>a</sup>
姥鲛烷	38.38	—	2.26±0.20 <sup>b</sup>	6.46±0.11 <sup>a</sup>	6.40±0.03 <sup>a</sup>
十九烷	44.42	0.29±0.02 <sup>c</sup>	1.18±0.10 <sup>a</sup>	1.00±0.03 <sup>b</sup>	—
二十烷	46.29	11.86±0.28 <sup>a</sup>	4.44±0.10 <sup>d</sup>	7.63±0.47 <sup>b</sup>	6.88±0.13 <sup>a</sup>
<b>其他</b>					
二甲基二硫	4.45	—	9.88±0.01	—	—
1-(苯基磺酰基)吡咯	6.16	0.75±0.15	—	—	—
2-氨基-5-甲基苯甲酸	11.07	0.79±0.15 <sup>d</sup>	0.25±0.02 <sup>b</sup>	—	—
2-戊基呋喃	13.60	1.41±0.05 <sup>c</sup>	1.30±0.04 <sup>c</sup>	3.71±0.45 <sup>b</sup>	5.39±0.09 <sup>a</sup>
丁酸丁酯	13.89	—	0.13±0.01	—	—
乙酸己酯	14.78	—	0.35±0.07	—	—
丙酸	38.74	—	—	2.08±0.07	—
邻苯二甲酸	43.83	5.42±0.10	—	—	—

注: —,未检出。表5同。

如表4所示, 鱼汤中共检测出44种主要的挥发性物质, 其中烹制0.5、1、1.5 h和2 h的鱼汤中分别检出24、33、21种和18种挥发性物质, 包括醛类、醇类、烃类、酮类、呋喃、酯类等。烹制2 h鱼汤中相对含量最高的是醛类和酮类化合物, 烹制1.5 h鱼汤中相对含量最高的是醇类化合物, 烹制1 h鱼汤中相对含量最高的是烃类化合物。化合物相对含量的高低还不能说明其对整体气味轮廓的贡献程度, 因此还需结合ROAV分析确定, 本实验主要对查到阈值的化合物进行分析。

海鲈鱼汤中鉴定出的烃类物质种类数最多, 共有17种, 主要包括烷烃类和烯烃类。其中烷烃类主要为长链脂肪烃类, 可能是由于高温烹制促进了脂肪酸的氧化降解而形成<sup>[18]</sup>。此外, 还检出D-柠檬烯、γ-松油烯、月桂烯等烯类化合物, 其中γ-松油烯具有柑橘和柠檬香味, 仅在烹制1 h的鱼汤中检出。苯乙烯可能是由芳香族氨基酸氧化产生的<sup>[19]</sup>, 在烹制1 h的鱼汤中相对含量最高。如表5所示, ROAV大于1的烃类只有D-柠檬烯, D-柠檬烯具有令人愉快的柠檬香味, 不同烹制时间的鱼汤中均检出, 其中烹制1 h相对含量最高。

醛类物质通常来源于脂肪酸的氧化降解或氨基酸的Strecker降解反应, 其中含有6~9个碳原子的醛、烯醛类物质一般具有清香、果香和脂香味, 而且阈值较低, 对鱼汤的整体气味特征有重要贡献<sup>[20]</sup>。在海鲈鱼汤中共检出9种醛类物质, 随着烹制时间的延长, 鱼汤中醛类物质的相对含量增加。不同烹制时间的鱼汤样品中均检出戊醛、己醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛和壬醛。由表5可知, ROAV大于1的醛类有己醛、庚醛、壬醛等低碳数饱和脂肪醛和(E)-2-庚烯醛等烯醛, 说明它们对鱼汤的风味中具有重要贡献。己醛具有青草味, (E)-2-庚烯醛具有油脂香, 通常被认为是鱼腥味的代表物质<sup>[21]</sup>。其中, 己醛在鱼汤中的ROAV为13.94~69.75。在烹制1 h的鱼汤中相对含量最少, 可能是由于烹制1 h的鱼汤中产生了较多的D-柠檬烯、γ-松油烯等物质, 能在一定程度上去除鱼汤的腥味。2-乙基己醛具有强烈的清香, 仅在烹制1 h的鱼汤中检出, 且相对含量较高, 可能对鱼汤风味的形成有一定作用。鱼汤中检出的酮类物质较少, 由于其阈值远高于同分异构体的醛类, 对鱼汤整体风味的贡献较小。酮类化合物的ROAV均小于1。6-甲基-5-庚烯-2-酮具有独特的清香和水果香气, 在烹制1 h鱼汤中ROAV为0.93, 且相对含量较高, 可能对鱼汤特殊风味的形成有重要的修饰作用。

醇类物质一般是由多不饱和脂肪酸氧化或羰基化合物还原作用产生, 对鱼肉风味贡献较大的多为香气阈值较低的不饱和醇类<sup>[22]</sup>。鱼汤中共检出7种醇类。由表5可知, ROAV大于1的醇类只有1-辛烯-3-醇, 其ROAV在18.83~100范围内, 对鱼汤的整体风味具有较大贡献。

1-辛烯-3-醇主要来源于亚油酸的氧化降解,具有典型的蘑菇味、泥土味,可增强鱼汤的脂肪香味<sup>[23]</sup>。2-己基-1-癸醇在烹制0.5 h鱼汤中未检出,在其他3组样品中均检出,且随着烹制时间的延长其相对含量逐渐增大。

鱼汤中还检出少量的呋喃、酯类和酸类等物质,其中呋喃是一类重要的风味化合物,通常具有很强的肉香味,主要来源于脂肪的氧化、氨基酸的降解及美拉德反应等。2-戊基呋喃在不同烹制时间的样品中均检出,且随着烹制时间的延长,其相对含量不断增大。如表5所示,2-戊基呋喃在4组鱼汤中的ROAV均大于1。2-戊基呋喃具有类似火腿的香味和植物芳香味,其阈值相对较低,是鱼肉加热过程中产生的主要风味物质<sup>[24]</sup>。酯类物质仅在烹制1 h的鱼汤中检出,包括丁酸丁酯和乙酸己酯,其中乙酸己酯对鱼汤的风味有较大贡献(ROAV>1)。酯类一般是通过醇和羧酸的酯化反应形成,通常具有甜的果香和清香香味,酯类物质和酮类共存时可能对鱼汤整体风味有协调、平衡的作用<sup>[25]</sup>。

表5 海鲢鱼汤中挥发性风味物质的阈值及ROAV

Table 5 Threshold and ROAV of volatile flavor compounds in sea catfish broth with different cooking times

化合物名称	阈值 <sup>[26-28]</sup> ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	ROAV			
		0.5 h	1 h	1.5 h	2 h
<b>醛类</b>					
戊醛	12	0.56	2.02	4.53	5.16
己醛	5	17.05	13.94	63.49	69.75
庚醛	3	—	17.81	20.02	25.59
(E)-2-庚烯醛	13	1.64	2.55	3.55	4.45
(E)-2-辛烯醛	3	1.39	2.48	1.64	4.45
壬醛	1	25.34	64.86	100.00	85.34
癸醛	0.1	90.52	100.00	—	—
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.07	100.00	—	—	—
<b>酮类</b>					
2-庚酮	140	0.02	—	—	0.50
6-甲基-5-庚烯-2-酮	50	0.07	0.93	—	—
2-壬酮	5	0.23	—	—	0.82
<b>醇类</b>					
1-辛烯-3-醇	1.0	18.83	19.14	90.36	100.00
2-乙基-1-己醇	270 000	—	<0.01	<0.01	—
<b>烃类</b>					
苯乙烯	730	—	0.38	0.08	—
D-柠檬烯	10 <sup>[27]</sup>	0.80	42.06	1.71	1.81
$\gamma$ -松油烯	1 000 <sup>[28]</sup>	—	0.15	—	—
十二烷	2 040	0.06	0.01	<0.01	—
十三烷	2 140	0.02	0.01	—	—
<b>其他</b>					
2-戊基呋喃	6 <sup>[27]</sup>	1.42	6.19	10.46	14.80
乙酸己酯	2	—	5.00	—	—
丙酸	20 000	—	—	<0.01	—

注:未标注文献序号的化合物感觉阈值均参考文献[26]。

## 2.5 电子鼻分析结果

电子鼻PCA是将电子鼻传感器的数据进行转换和降维,并对降维后的特征向量进行线性组合,使它

们之间的响应值既不相关,又能反映出样品的整体信息<sup>[29]</sup>。如图2所示,PC1和PC2的贡献率分别为87.32%和9.66%,累计贡献率为96.98%,超过85%,说明其可以代表海鲢鱼汤的整体风味信息。4组烹制时间的鱼汤样品分布没有重叠现象,说明样品之间的风味区分明显。此外,烹制0.5 h的鱼汤样品分布于最下方,明显区别于其他3组样品,可能是由于鱼汤烹制时间过短,使得鱼肉中的风味物质溶出量少,挥发性香气明显不足,这与感官评价的结果一致。烹制1~2 h的样品在PC1上的响应值随烹制时间的延长逐渐降低,但在PC2上的响应值差别不大。

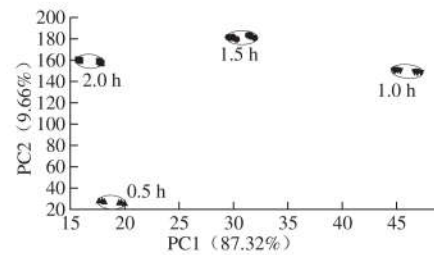


图2 不同烹制时间海鲢鱼汤电子鼻响应的PCA

Fig. 2 PCA analysis of electronic nose response to sea catfish broth with different cooking times

## 2.6 电子舌分析结果

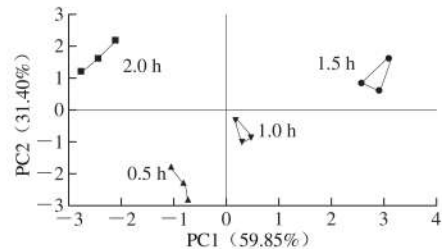


图3 不同烹制时间海鲢鱼汤电子舌PCA

Fig. 3 PCA plot of electronic tongue response to sea catfish broth with different cooking times

电子舌是基于生物味觉模式建立的一种液体分析仪器,利用传感阵列感测液体样品的特征响应信号,通过信号模式识别处理对样品的整体滋味轮廓进行分析检测<sup>[29]</sup>。如图3所示,其中PC1和PC2的贡献率分别为59.85%和31.40%,总贡献率达到91.25%,大于85%,表明PC1、PC2可以充分反映鱼汤样品的整体滋味信息。不同烹制时间鱼汤样品的主成分得分分布于4个象限内,且分别构成一个独立的组群,样品之间互相没有重叠,表明样品之间的滋味差异明显,电子舌的PCA能有效区分不同烹制时间的鱼汤样品<sup>[30]</sup>。烹制0.5~1.5 h的样品沿PC1方向按照一定规律分布,说明其滋味相对比较接近,且随着烹制时间的延长,鱼汤中滋味物质含量发生变化。烹制2 h的鱼汤样品和其他3组样品相距较远,说明其滋味成

分差别较大,可能是由于烹制时间过长,鱼肉中的蛋白质充分溶出并发生热降解,产生更多的风味前体物进入汤中,从而使鱼汤产生特殊风味。

### 3 结论

随着烹制时间的延长,鱼汤中水分含量逐渐减少,粗蛋白、粗脂肪及灰分含量逐渐增加,尤其是粗蛋白含量增加更为明显,表明烹制过程中蛋白质不断溶出;可溶性肽含量在烹制1 h后显著增加;电子鼻和电子舌结果显示不同烹制时间下鱼汤的气味和滋味特征区别明显;GC-MS共检测出44种主要的挥发性化合物,包括醛类、醇类、烃类、酮类、呋喃和酯类等。随着烹制时间的延长,鱼汤中醛类和醇类相对含量显著升高,其中烹制2 h鱼汤中相对含量最高的是醛类和酮类化合物,烹制1.5 h鱼汤中相对含量最高的是醇类化合物。根据ROAV分析发现,己醛、庚醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、1-辛烯-3-醇、D-柠檬烯和2-戊基呋喃等物质是海鲢鱼汤中的主体风味物质。

### 参考文献:

- [1] 凌泽兴,孙曼钰,钟成,等. 复配生物防腐剂延长海鲢鱼肉的贮藏时间[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 192-200. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.10.028.
- [2] 金标旺,邵胜鑫,陈娜,等. 调味海鲢鱼干的加工工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(12): 140-144.
- [3] 于美娟,马美湖,李高阳. 畜禽汤类产品加工技术研究进展[J]. 肉类研究, 2011, 25(12): 61-66. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2011.12.016.
- [4] 蒋静. 电磁加热模式对鲫鱼汤营养素释放的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [5] BOLES J A, SHAND P J. Effect of muscle location, fiber direction, and slice thickness on the processing characteristics and tenderness of beef stir-fry strips from the round and chuck[J]. Meat Science, 2008, 78(4): 369-374. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.06.024.
- [6] SKIPNES D, STBY M L, HENDRICKX M E. A method for characterising cook loss and water holding capacity in heat treated cod (*Gadus morhua*) muscle[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1078-1085. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.08.015.
- [7] QI J, LIU D Y, ZHOU G H, et al. Characteristic flavor of traditional soup made by stewing Chinese yellow-feather chickens[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(9): 2031-2040. DOI:10.1111/1750-3841.13801.
- [8] QI J, WANG H H, ZHANG W W, et al. Identification and characterization of the proteins in broth of stewed traditional Chinese yellow-feathered chickens[J]. Poultry Science, 2018, 97(5): 1852-1860. DOI:10.3382/ps/pey003.
- [9] 顾伟钢,张进杰,姚燕佳,等. 3种猪肉汤体系中蛋白质降解产物的比较研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 178-185. DOI:10.16429/j.1009-7848.2012.02.028.
- [10] 朱琳,陈丽丽,袁美兰,等. 加工方法对乌鱼汤营养成分的影响[J]. 中国调味品, 2017, 42(9): 61-64. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2017.09.014.
- [11] ZHANG J J, YAO Y J, YE X Q, et al. Effect of cooking temperatures on protein hydrolysates and sensory quality in crucian carp (*Carassius auratus*) soup[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(3): 542-548. DOI:10.1007/s13197-011-0376-2.
- [12] LI J L, TU Z C, ZHANG L, et al. Characterization of volatile compounds in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) soup cooked using a traditional Chinese method by GC-MS[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4): 1-15. DOI:10.1111/jfpp.12995.
- [13] 王琳涵,乔凯娜,丁奇,等. 不同烹制时间对鸡汤中呈味物质的影响[J]. 精细化工, 2018(10): 1683-1690. DOI:10.13550/j.jxhg.20170704.
- [14] LOWRY O H, ROSEBROUGH N J, FARR A L, et al. Protein measurement with the Folin-phenol reagent[J]. Journal of Biological Chemistry, 1951, 193(1): 265-275. DOI:10.1515/bchm2.1951.286.1-6.270.
- [15] 徐永霞,张朝敏,赵佳美,等. 牙鲆冷藏过程中肌肉挥发性风味成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 219-224. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201601040.
- [16] 田淑琳,周文红,刘小玲,等. 基于GC-O-MS和ROAV法的马氏珍珠贝挥发性风味成分及腥味特征物质分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 574-579. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019.04.017.
- [17] 项怡,李洪军,倪东东,等. 甲鱼汤生产工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 272-275. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.18.052.
- [18] 顾赛麒,彭玲玲,丁玉庭,等. 烟熏鳕鱼粉复合酶解过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 180-185. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705029.
- [19] 钱琴莲,李晔,王求娟,等. 基于GC-MS和电子鼻技术的金枪鱼腩酶解气味解析[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 121-126. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608021.
- [20] ZHOU Y Q, WANG Z J. Extraction and analysis on fishy odor-causing compounds in the different part of carp[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2006, 34: 165-167. DOI:10.1016/S1872-2040(07)60005-X.
- [21] 李金林,涂宗财,张露,等. SPME-GC-MS法分析草鱼汤烹制过程中挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 149-154. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622022.
- [22] LORENZO J M, DOMINGUEZ R. Cooking losses, lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat as affected by cooking procedure[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2014, 29(4): 240-248. DOI:10.1002/ffj.3201.
- [23] YAO S S, GUO W F, LU Y, et al. Flavor characteristics of lapsang souchong and smoked lapsang souchong, a special Chinese black tea with pine smoking process[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(22): 8688-8693. DOI:10.1021/jf058059i.
- [24] FAY L B, BREVARD H. Contribution of mass spectrometry to the study of the Maillard reaction in food[J]. Mass Spectrometry Reviews, 2005, 24(4): 487-507. DOI:10.1002/mas.20028.
- [25] 陈怡颖,张玥琪,孙颖,等. 鸡肉及其酶解液挥发性风味成分的对比如分析[J]. 精细化工, 2015, 32(4): 426-433. DOI:10.13550/j.jxhg.2015.04.014.
- [26] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [27] 刘登勇,赵志南,吴金城,等. 基于SPME-GC-MS分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 220-227. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190104-062.
- [28] 张文文,吴玉森,陈毓谨,等. 3种巨峰系葡萄的香气特征[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2018, 36(5): 51-66. DOI:10.3969/j.issn.1671-9964.2018.05.008.
- [29] 刘建波,张君才,王晓玲,等. 电子舌及其在酒类区分辨方面的研究进展[J]. 光谱实验室, 2013, 30(3): 1068-1070. DOI:10.3969/j.issn.1004-8138.2013.03.011.
- [30] 宋泽,徐晓东,许锐,等. 不同部位牛肉炖煮风味特征分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 206-214. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180104-050.