

# 冷藏和加热对鲢肌肉挥发性成分的影响

尹涛 刘敬科 赵思明 熊善柏

华中农业大学食品科学技术学院/环境食品学教育部重点实验室/  
国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 武汉 430070

**摘要** 以鲢(*Hypophthalmichthys titrix*)为原料,采用顶空-固相微萃取(headspace-solid phase micro extraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)研究冷藏和加热对鲢肌肉中主要挥发性物质的影响。结果表明,生鲜鲢肌肉中总共检测到26种挥发性成分,其中包括5种醇、7种醛、3种酮和11种碳氢类化合物,1-辛烯-3-醇和乙醛分别为主要的醇类和醛类风味活性物质。鱼肉在5℃冷藏过程中,挥发性物质种类和含量逐渐减少。新鲜鱼肉在100℃加热30 min后,挥发性物质的种类和含量明显增加,共检测到58种挥发性物质,其中包括15种醇、19种醛、9种酮、13种碳氢类化合物、1种酸和1种杂环类化合物。鱼肉冷藏不同时间后再加热,挥发性物质含量在冷藏3 d内较缓慢下降,在第5天急剧下降。

**关键词** 鲢(*Hypophthalmichthys titrix*); 顶空-固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 挥发性成分; 冷藏; 加热

**中图分类号** TS 254.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0097-06

鲢(*Hypophthalmichthys titrix*)是中国淡水养殖的一类重要的经济鱼类,被称为“四大家鱼”之一,年产量约360万t<sup>[1]</sup>。新鲜鲢一般具有植物性的气味(如蘑菇味和青草味等)、鱼腥味,部分具有土霉味<sup>[2]</sup>。目前,对形成新鲜鲢鱼肉特征风味的挥发性物质已有较多报道,其中己醛、1-辛烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇、2,5-辛二烯-1-醇等C<sub>6</sub>~C<sub>8</sub>的羰基化合物和醇类被认为是引起鲢植物性气味的特征物质<sup>[2]</sup>,三甲胺、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-癸烯醛、辛醛和壬醛等是产生鲢腥味的主要特征物质<sup>[2-4]</sup>,而土霉味主要与土味素和2-甲基异茨醇有关<sup>[2,5]</sup>。加热是形成鲢鱼肉风味的重要单元操作,鱼肉中的脂肪酸在加热过程中发生氧化降解反应生成大量新的醛、酮、醇和碳氢类挥发性物质<sup>[6]</sup>,其中己醛和1-辛烯-3-醇是形成鲢鱼肉风味的重要挥发性物质<sup>[7]</sup>。鲢鱼肉制品在加热前常常会经历一段时间冷藏,冷藏时间可能会影响最终产品的风味品质。但是冷藏不同时间后再加热的鲢风味品质的变化尚不清楚,在一定程度上制约了鲢产业的发展。笔者以鲢肌肉为原料,通过顶空-固相

微萃取技术(HS-SPME)结合气质联用仪(GC-MS)技术,研究冷藏(5℃,0、1、3、5、7 d)和加热(100℃,30 min)对鱼肉中挥发性成分的影响,旨在为淡水鱼加工和品质管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

鲢(*Hypophthalmichthys titrix*)个体质量2.0±0.3 kg,购于武汉市南湖渔场。将刚捕获的鲢于2 h内运送到实验室,采用快速击打头部的方式将鱼击毙,去除鳞、鳃和内脏,清洗干净后取鲢背部肌肉冷藏于5℃条件下,分别于0、1、3、5、7 d定时取样,将样品分为2份,一份直接测定,另一份于100℃蒸汽加热30 min,自然冷却后测定。

### 1.2 仪器设备

气相色谱质谱联用仪,美国Finnigan公司;573000-U型固相微萃取(SPME)手柄,美国Supelco公司;85 μm聚丙烯酸酯(PA)固相微萃取头,美国Supelco公司。

### 1.3 试验方法

1)挥发性成分的提取。在15 mL的顶空瓶中

收稿日期: 2013-12-10

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46-23)和国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAD19B10)

尹涛,博士研究生,研究方向:水产品加工及贮藏工程. E-mail: yintao\_cn@163.com

通信作者: 熊善柏,教授,研究方向:水产品加工保鲜理论与技术创新. E-mail: xionsb@mail.hzau.edu.cn

装入绞碎的 6.0 g 鱼肉样品,用手柄将萃取头送入萃取瓶中,调整并固定萃取头在顶空瓶中的位置,快速加热到 60 °C,保持温度恒定,吸附 40 min。

2)挥发性成分分析。参照吕广英等<sup>[8]</sup>的方法,并作了一些改动。具体方法为:将萃取好的探头取出,迅速插入到气相色谱仪的进样口,进样口温度为 250 °C,解吸时间为 5 min。色谱条件:毛细管色谱柱为 DB-5ms 柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),进样口温度为 250 °C,接口温度为 250 °C;升温程序:起始温度为 45 °C,保留时间为 2 min,以 4 °C/min 的速率升温到 220 °C,保留时间为 5 min;载气为 He,流速为 1.0 mL/min。质谱条件:电离方式为 EI,电子能量为 70 eV,灯丝发射电流为 200 μA,离子源温度为 200 °C,接口温度为 250 °C;扫描质量范围为 33~450 aum。

#### 1.4 数据处理

采用 Xcalibur 软件系统处理试验数据,未知化合物经计算机检索同时与 Wiley 谱库(320k compounds, version 6.0)和 NIST 谱库(107k com-

pounds)相匹配,文中报道的结果为正反匹配度均大于 800(最大值为 1 000)的鉴定结果。挥发性成分的含量采用峰面积归一法定量分析,各组分的相对含量为其峰面积与总峰面积的比值。

## 2 结果与分析

新鲜鲢肌肉中共检测到 27 种挥发性物质,其成分组成为 5 种醇、7 种醛、3 种酮和 11 种碳氢类物质,分别占到总挥发性物质含量的 9.2%、11.1%、5.0%和 74.7%(表 1)。检出的最主要的挥发性醇类化合物的链长范围为 C<sub>6</sub>~C<sub>8</sub>,其中 1-辛烯-3-醇和己醇含量相对较高,分别为 2.7%和 2.0%;检出的最主要的挥发性醛类化合物的链长范围为 C<sub>6</sub>~C<sub>9</sub>,其中己醛和 4-乙基苯甲醛含量相对较高,均为 2.1%;检出的最主要的挥发性酮类化合物的链长为 C<sub>8</sub>和 C<sub>11</sub>,其中 3-十一碳二烯-2-酮含量相对较高,为 2.5%;检出的主要的挥发性碳氢类化合物的链长范围较广(C<sub>7</sub>~C<sub>21</sub>),其中十五烷和 8-十七烯含量相对较高,分别为 20.5%和 20.1%。

表 1 冷藏和加热后鲢肌肉中挥发性成分含量<sup>1)</sup>

Table 1 Volatile compounds content in fish flesh after refrigeration and heating

10<sup>7</sup> (mAu · s)/g

化合物 Compounds	RI	R 冷藏时间/d Storage time					C 冷藏时间/d Storage time				
		0	1	3	5	7	0	1	3	5	7
<b>醇类化合物 Alcohol compounds</b>											
1-戊醇 1-Pentanol	766	/	/	/	/	/	2.9	3.2	2.4	1.4	/
己醇 1-Hexanol	868	1.0	0.8	0.7	0.6	0.3	31.6	32.9	20.8	11.6	4.1
庚醇 Heptanol	960	0.6	0.2	0.5	0.4	0.2	2.7	1.7	0.6	/	/
(E,Z)-1,5 二辛烯-3-醇 (E,Z)-1,5-Octadien-3-ol	974	/	/	/	/	/	7.5	3.3	1.9	0.5	/
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	1 981	1.3	0.8	0.8	0.6	0.5	47.3	51.3	38.9	27.2	8.8
2-乙基己醇 2-Ethyl-1-hexanol	1 028	0.8	0.6	0.4	0.7	0.7	2.2	2.0	1.4	0.3	/
(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-Octen-1-ol	1 067	/	/	/	/	/	6.0	5.6	3.9	2.1	0.9
1-辛醇 1-Octanol	1 070	/	/	/	/	/	25.3	25.2	17.7	11.3	3.9
2,7-辛烯-1-醇 2,7-Octadien-1-ol	1 071	/	/	/	/	/	12.1	10.0	6.5	4.0	0.7
1-壬醇 1-Nonanol	1 173	/	/	/	/	/	11.8	10.3	7.6	3.2	0.2
(E,Z)-2,4-癸二烯-1-醇 (E,Z)-2,4-Decadien-1-ol	1 374	/	/	/	/	/	19.4	20.3	12.9	9.4	4.8
十二醇 1-Dodecanol	1 478	/	/	/	/	/	5.9	6.3	45.3	34.7	10.2
十三醇 1-Tridecanol	1 588	/	/	/	/	/	9.0	6.4	3.8	1.5	0.7
9-十四烯-1-醇 9-Tetradecen-1-ol	1 874	/	/	/	/	/	52.1	52.3	38.8	26.5	3.4
十七醇 1-Heptadecanol	1 986	0.9	0.7	0.5	0.2	0.1	11.5	12.2	10.0	5.6	2.0
合计 Subtotal		4.6	3.1	2.8	2.5	1.7	247.3	243.0	212.4	139.3	39.5
<b>醛类化合物 Aldehyde compounds</b>											
戊醛 Pentanal	698	/	/	/	/	/	3.4	3.5	2.8	1.9	/
己醛 Hexanal	801	1.1	0.8	0.4	0.3	0.2	79.6	76.6	62.3	44.6	14.5
庚醛 Heptanal	903	/	/	/	/	/	4.9	4.3	3.7	2.3	0.8
辛醛 Octanal	1 005	0.6	0.4	0.09	/	/	8.3	6.0	4.7	3.2	1.1
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	1 011	/	/	/	/	/	4.4	4.2	3.2	2.1	0.9
2-辛烯醛 2-Octenal	1 062	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	5.9	5.4	4.4	2.7	1.4
壬醛 Nonanal	1 107	0.5	0.4	0.2	0.1	/	25.6	27.0	20.5	15.3	6.6

续表1 Continued from Table 1

化合物 Compounds	RI	R 冷藏时间/d Storage time					C 冷藏时间/d Storage time				
		0	1	3	5	7	0	1	3	5	7
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	1 165	/	/	/	/	/	4.7	4.7	3.6	3.0	1.3
4-乙基苯甲醛 4-Ethyl-benzaldehyde	1 181	1.1	0.8	0.7	0.3	0.2	3.6	3.1	2.4	1.3	/
癸醛 Decanal	1 208	/	/	/	/	/	6.6	6.7	5.1	3.2	1.6
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-Nonadienal	1 218	/	/	/	/	/	4.1	4.0	3.1	2.0	1.0
(E)-2-癸烯醛 (E)-2-Decenal	1 254	/	/	/	/	/	1.9	1.1	/	/	/
十一醛 Undecanal	1 306	/	/	/	/	/	10.9	9.8	8.1	5.0	1.8
2-十二烯醛 2-Tridecenal	1 311	/	/	/	/	/	2.5	2.0	0.7	0.3	/
2,4-癸二烯醛 2,4-Decadienal	1 330	/	/	/	/	/	2.2	1.3	1.0	0.6	/
十二醛 Dodecanal	1 415	/	/	/	/	/	3.4	3.3	2.3	1.4	0.5
十三醛 Tridecanal	1 518	/	/	/	/	/	2.4	2.3	1.8	1.3	0.6
十四醛 Tetradecanal	1 612	1.0	0.8	0.5	0.4	0.2	27.2	26.3	20.0	17.4	5.6
十八醛 Octadecanal	2 037	0.9	1.1	0.4	0.6	0.4	34.1	35.0	29.6	26.4	10.0
合计 Subtotal		5.5	4.6	2.6	2.0	1.1	236.0	226.7	179.2	134.1	47.5
<b>酮类化合物 Ketone compounds</b>											
2-庚酮 2-Heptanone	890	/	/	/	/	/	1.5	0.8	0.7	0.5	/
2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	980	0.6	0.3	0.2	0.1	/	4.5	5.0	4.0	3.9	1.2
3-辛酮 3-Octanone	989	0.6	0.4	0.2	0.1	/	3.0	3.2	2.6	1.7	0.5
3-壬酮 3-Nonanone	1 087	/	/	/	/	/	11.2	11.2	8.6	4.6	1.5
3,5-辛二烯-1-酮 3,5-Octadien-2-one	1 099	/	/	/	/	/	24.3	24.7	20.2	10.0	2.7
2-癸酮 2-Decanone	1 194	/	/	/	/	/	16.3	16.0	12.2	9.5	3.0
2-十一酮 2-Undecanone	1 297	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	3.4	3.4	2.6	1.2	/
3-十一碳二烯-2-酮 3-Undecen-2-one	1 341	1.3	1.0	0.6	0.3	0.1	7.3	7.7	6.4	4.5	1.5
3,5-壬二烯-2-酮 3,5-Nonadien-2-one	1 409	/	/	/	/	/	6.9	7.4	6.1	4.8	0.3
合计 Subtotal		2.5	2.0	1.1	0.6	0.2	78.4	79.4	63.3	40.5	10.6
<b>碳氢类 Hydracardon compounds</b>											
甲苯 Methyl-benzene	775	1.3	1.1	0.8	0.8	0.3	1.1	1.1	1.0	0.8	0.5
1-柠檬烯 Limonene	1 041	2.3	1.1	1.1	0.7	0.3	50.6	50.7	39.9	28.7	3.1
十二烷 Dodecane	1 200	0.8	0.6	0.3	0.3	0.1	8.8	8.5	8.3	5.0	0.3
萘 Naphthalene	1 233	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	8.7	8.1	6.6	4.5	2.1
十三烷 Tridecane	1 300	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	5.1	4.1	3.2	1.1	0.7
十四烷 Tetradecane	1 400	0.6	0.4	0.8	1.0	0.4	9.1	8.7	3.4	2.2	1.1
十五烷 Pentadecane	1 500	10.2	8.6	5.8	3.3	0.6	85.6	84.5	65.8	40.2	3.7
十六烷 Hexadecane	1 600	4.5	3.0	1.6	0.9	0.5	41.3	39.2	30.9	16.8	2.0
8-十七烯 8-Heptadecene	1 693	10.0	8.8	7.8	6.8	0.3	116.3	116.1	96.4	54.3	25.6
(E)-3-十八烯 (E)-3-Octadecene	1 792	3.5	2.9	2.4	1.4	/	11.3	9.2	7.8	3.8	0.7
十九烯 Nonadecene	1 895	/	/	/	/	/	136.7	137.5	122.1	116.0	45.0
二十烷 Eicosane	2 000	/	/	/	/	/	8.6	8.8	7.4	5.7	0.3
二十一烷 Heneicosane	2 100	2.98	2.1	1.0	0.5	0.8	8.8	8.7	7.4	3.8	0.3
合计 Subtotal		37.2	29.5	22.2	16.1	3.6	491.9	485.1	400.1	282.9	85.4
<b>其他化合物 Other compounds</b>											
2-戊基呋喃 2-Pentyl-furan	984	/	/	/	/	/	4.1	2.7	2.3	17.8	1.3
十二酸 Dodecanoic acid	1 549	/	/	/	/	/	2.6	2.2	1.8	1.5	1.2
合计 Subtotal		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	4.9	4.1	3.3	2.5

1)干物质 Dry matter;RI:保留指数 Retention index;“/”表示没有被检测到 “/”indicates no detected;R:冷藏后的生鲢肌肉 Fish flesh with different cold storage time;C:冷藏不同时间后再加热的熟鲢肌肉 Fish flesh with different cold storage time followed by heating.

生鲜鲢肌肉在冷藏过程中,挥发性物质种类和含量随冷藏时间延长而逐渐降低,在第 1、第 3、第 5 和第 7 天分别检测到 27、27、26 和 22 种挥发性物质,含量较试验开始分别下降了 21.3%、42.2%、57.7%、86.7%。在第 7 天检测到的挥发性物质其成分为 5 种醇、5 种醛、2 种酮和 10 种碳氢类物质,醇、醛、酮、碳氢类挥发性物质总含量较试验开始分别降低了 62.1%、80.2%、93.4%、73.5%。在冷藏过程中没有新的挥发性物质生成,而在第 5 天辛醛没被检测到,在第 7 天壬醛、2,3-辛二酮、3-辛酮和(*E*)-3-十八烯没有检测到。

生鲜鲢肌肉加热后,检测到的挥发性物质的种类显著增加,共 58 种,其中有 19 种醛、15 种醇、9 种酮、13 种碳氢类、1 种酸和 1 种杂环类化合物。新检测到的挥发性醇类化合物为 1-戊醇、(*E,Z*)-1,5-二辛烯-3-醇、(*E*)-2-辛烯-1-醇、1-辛醇、2,7-辛烯-1-醇、1-壬醇、(*E,Z*)-2,4-癸二烯-1-醇、十二醇、十三醇、9-十四烯-1-醇、十七醇,新检测到的挥发性醛类化合物为戊醛、庚醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、(*E*)-2-壬烯醛、癸醛、(*E,Z*)-2,6-壬二烯醛、(*E*)-2-癸烯醛、十一醛、2-十二烯醛、2,4-癸二烯醛、十二醛、十三醛,新检测到的挥发性酮类化合物为 2-庚酮、3-壬酮、3,5-辛二烯-1-酮、2-癸酮和 3,5-壬二烯-2-酮,新检测到的挥发性碳氢类化合物为 1-十九烯和二十烷,新检测到的其他挥发性化合物为 2-戊基咪喃和十二酸。9-十四烯-1-醇、1-辛烯-3-醇、己醇和 1-辛醇为主要的挥发性醇类化合物,含量分别为 7.9%、7.2%、4.8%和 3.8%;己醛、壬醛、十四醛和十八醛为主要的挥发性醛类化合物,含量分别为 12.1%、3.9%、4.1%和 5.2%;3,5-辛二烯-1-酮和 2-癸酮为主要的挥发性酮类化合物,含量分别为 3.7%和 2.5%;1-柠檬烯、十五烷、8-十七烯和 1-十九烯为主要的挥发性碳氢化合物,含量分别占 7.7%、13.0%、17.6%和 20.7%。

冷藏不同时间后的鲢肌肉再加热,挥发性物质的总含量随着冷藏时间的延长而降低,其中挥发性醇类化合物在第 1、第 3、第 5 和第 7 天的总量较试验开始分别降低了 1.8%、14.1%、43.7%和 84.0%,挥发性醛类化合物分别降低了 4.0%、24.1%、43.2%和 79.9%,挥发性酮类化合物分别降低了一 1.3%、19.2%、48.3%和 86.4%,挥发性碳氢类化合物分别降低了 1.4%、18.7%、42.5%和 82.6%,其他挥发性化合物分别降低了 26.8%、

39.6%、50.9%和 62.2%。

在冷藏 5 d 后再加热,庚醇未检测到;在冷藏 7 d 后再加热,1-戊醇、庚醇、(*E,Z*)-1,5-二辛烯-3-醇、2-乙基己醇、4-乙基苯甲醛、(*E*)-2-癸烯醛、2-十二烯醛、2,4-癸二烯醛、2-十一酮未检测到。

### 3 讨论

鱼肉中挥发性物质的阈值和浓度各不相同,因此并不是所有挥发性物质对风味具有同等贡献,对鲢肌肉的风味有影响的是风味活性物质<sup>[3]</sup>。Josephson 等<sup>[9]</sup>报道指出,与淡水鱼气味相关的化合物主要是一些 C<sub>6</sub>~C<sub>9</sub>的烯醇类、烯酮类及烯醛类化合物。本研究从新鲜鲢鱼肉中检测到的 1-辛烯-3-醇具有蘑菇的气味,己醛和己醇具有青草气味,十一酮具有果香味,它们是构成新鲜鲢鱼肉植物性气味的重要风味活性物质<sup>[10-12]</sup>,这与已经报道的新鲜鲢鱼肉的气味成分组成一致<sup>[2-3,11]</sup>。付湘晋<sup>[2]</sup>采用固相微萃取-气相-质谱-嗅闻和同时蒸馏-香气提取稀释法 2 种技术分析了鲢鱼肉中的挥发性物质,发现(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛、(*E*)-2-癸烯醛等是形成鲢鱼腥味的特征物质。而这几种挥发性物质在本研究中未检出,其原因可能是由于不同的鱼肉新鲜程度不同。付湘晋<sup>[2]</sup>研究中所用的鱼肉为冷冻一段时间再解冻的鱼肉,而本研究中所用的鱼肉为新鲜的鱼肉。另外,不同的萃取头和萃取方法也可能造成检出结果的差异<sup>[8]</sup>。我们从新鲜鱼肉中检出的与鱼腥味相关的挥发性物质为辛醛和壬醛。引起土霉味的挥发性物质土味素和 2-甲基异茨醇没有检出,其原因可能是这 2 种物质的浓度达不到仪器的检测限。土味素和 2-甲基异茨醇是脂溶性物质,与鱼肉结合紧密,固相微萃取方法的提取效果不好<sup>[3]</sup>。碳氢类化合物是生鲜鲢肌肉中检测到的含量最高的挥发性成分,但是碳氢类化合物一般具有较高阈值,其对鲢鱼肉风味特征贡献不大<sup>[11]</sup>。

生鲜鲢肌肉在冷藏过程中,挥发性成分的含量随冷藏时间的延长而降低,这有可能与鲢肌肉中脂肪氧合酶失活有关。在冷藏过程中,鱼肌肉中的脂肪氧合酶会在微生物酶和内源酶的作用下发生降解反应,致使脂肪氧合酶失活<sup>[13]</sup>。杜国伟等<sup>[14]</sup>报道鲢鱼糜在 15 °C 下保藏 7 d 后,挥发性成分含量也有不同程度的降低,这和本研究的结果是一致的。Wierda 等<sup>[13]</sup>和 Edirisinghe 等<sup>[15]</sup>分别对冷藏过程中大马哈鱼和金枪鱼肌肉中的挥发性物质的变化进

行研究,发现鱼肉中醛、醇、酮等挥发性物质含量随冷藏时间延长而显著降低。而 Prost 等<sup>[16]</sup>研究了沙丁鱼肌肉冷藏过程中挥发性物质的变化,却发现挥发性物质含量会随冷藏时间延长而增加,这可能由不同鱼肉中的脂肪氧化酶、内源蛋白酶和微生物酶活性差异造成的。

生鲢肌肉加热后,1-辛烯-3-醇和乙醛等主要风味活性物质的含量显著增加,而且形成新的挥发性物质,鱼肉的风味增强。例如,新生成的辛醇具有壤香、腊香和薄荷香<sup>[17]</sup>,十二醇具有水果香味,庚酮、壬酮和癸酮等具有花香及果香等味道<sup>[8]</sup>,2-戊基呋喃具有炒花香、脂肪香及非典型的鱼腥味<sup>[18]</sup>。然而,新生成的(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、2,4-癸二烯醛、(*E*)-2-癸烯醛、庚醛以及辛醛和壬醛含量的增加,会增强鲢鱼肉的腥味。加热后,醇类、醛类、酮类和碳氢类挥发性物质种类和数量的显著增加主要与脂肪在高温下的快速氧化和裂解有关<sup>[19-21]</sup>,而杂环类化合物是鲢鱼肉加热后发生糖的分解和美拉德反应产生的特征物质<sup>[20]</sup>。鲢肌肉冷藏不同时间后再加热,熟鲢肌肉中的挥发性物质的含量随时间延长而显著降低,其主要原因可能是冷藏过程中鲢肌肉蛋白质在酶和微生物的作用下水解,肌肉纤维和肌纤维膜的结构破坏<sup>[21]</sup>,因此,在加热过程中生成的挥发性成分容易从样品中挥发释放出去,从而造成其含量损失。Milo 等<sup>[22]</sup>和 Grosch<sup>[23]</sup>在-60℃下冻藏鳕鱼、鲑鱼和鳟鱼的肌肉14周,用铝箔包裹鱼肉,分析加热后挥发性物质的变化,发现冻藏再加热后鱼肉中挥发性物质的含量增加,和本试验结论相反,这可能是采用不同保藏条件和加热方式造成的,在长时间冻藏过程中脂肪酸会发生自动氧化反应使挥发性物质的含量增加,而采用铝箔包裹鱼肉后再加热可以很好的保留样品在冻藏和加热过程生成的挥发性物质,因此,检测到冻藏后再加热的鱼肉中挥发性物质的含量增加。

### 参 考 文 献

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[R]. 北京:中国农业出版社,2012.
- [2] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究[D]. 无锡:江南大学图书馆,2009.
- [3] 付湘晋,党亚丽,许时婴,等. 采用 GC-MS 结合嗅闻分析鉴定鲢鱼风味活性物质[J]. 食品研究与开发,2010,31(12):159-162.
- [4] 熊善柏. 水产品保鲜储运与检验[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [5] 杨玉平. 鲢体内土腥物质鉴定及分析方法与脱除技术的研究[D]. 武汉:华中农业大学图书馆,2010.
- [6] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Carotenoid-related oxidation compounds contributing to cooked salmon flavor[J]. LWT-Food Science and Technology, 1991, 24: 424-432.
- [7] LIU J K, ZHAO S M, XIONG S B, et al. Influence of recooking on the volatile and non-volatile of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Fish Science, 2009, 75(4): 1067-1075.
- [8] 吕广英, 丁玉琴, 孔进喜, 等. 加工方式对鱼骨汤营养和风味的影响[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(2): 129-133.
- [9] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt-and freshwater fish[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1984, 32: 1344-1347.
- [10] TURCHINI G M, MENTASTI T, CAPRITO F, et al. Effects of dietary lipid sources on flavour volatile compounds of brown trout (*Salmo trutta* L.) fillet[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2004, 20: 71-75.
- [11] 杨玉平, 熊光权, 焦春海, 等. 顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用分析鲢鱼体中的挥发性成分[J]. 湖北农业科学, 2012, 21(5): 4876-4879.
- [12] 杨玉平, 熊光权, 程薇, 等. 鲢鱼体内挥发性成分测定及其产生机理初探[J]. 农产品加工, 2010, 218(8): 22-25.
- [13] WIERDA R L, FLETCHER G, XU L N, et al. Analysis of volatile compounds as spoilage indicators in fresh king salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) during storage using SPME-GC-MS[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2006, 54: 8480-8490.
- [14] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 76-80.
- [15] EDIRISINGHE R K B, GRAHAM A J, TAYLOR S J. Characterization of the volatile of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) during storage by solid phase microextraction and GC-MS and their relationship to fish quality parameters[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42: 1139-1147.
- [16] PROST C, HAILLIER A, CARDINAL M, et al. Effect of storage time on raw sardine (*Sardina pilchardus*) flavor and aroma quality[J]. Journal of Food Science, 2004, 69: 198-204.
- [17] MCGILL A S, HARDY R, GUNSTONE F D. Further analysis of the volatile components of frozen cold stored cod and the influence of these on flavor[J]. Journal of Science and Food Agriculture, 1977, 28: 200-205.
- [18] 王怡娟, 娄永江, 陈梨柯. 养殖美国红鱼肌肉中挥发性成分的研究[J]. 水产科学, 2009(6): 303-307.
- [19] DAMODARAN S, PARKIN K L, FENNEMA O R. Fennema's Food Chemistry[M]. 4th edition. New York: CRC Press, 2007: 155-216.
- [20] 全晶晶, 侯云丹, 黄健, 等. 加工温度对鲢鱼挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(8): 221-228.

- [21] BREMNER H A, HALLETT I C. Muscle fibre-connective tissue junctions in the fish blue grenadier (*Macruronus novaezealandiae*): a scanning electron microscope[J]. Journal of Food Science, 1985, 50: 975-980.
- [22] MILO C, GROSCH W. Detection of odor defects in boiled cod and trout by gas chromatography-olfactometry of headspace samples[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1995, 43: 459-462.
- [23] GROSCH W. Flavourings[M]. 2nd edition. Weinheim: Wiley-VCH, 2006.

## Effects of cold storage and heating on volatile compounds in silver carp (*Hypophthalmichthys titrix*) flesh

YIN Tao LIU Jing-ke ZHAO Si-ming XIONG Shan-bai

College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/  
Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education/  
National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan),  
Wuhan 430070, China

**Abstract** Effects of cold storage and heating on the volatile compounds in the flesh of silver carp were investigated by headspace-solid phase micro extraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). 26 volatile compounds were determined in the fresh flesh, including 5 alcohols, 7 aldehydes, 3 ketons and 11 hydrocarbons. 1-Octen-3-ol and hexane were the main aroma-active alcohol and aldehyde compounds. During cold storage at 5 °C, volatile compounds amount and content decreased gradually. Volatile compounds amount and content in the flesh increased significantly after heating at 100 °C for 30 min. 58 volatile compounds were determined in the cooked flesh, including 15 alcohols, 19 aldehydes, 9 ketons, 13 hydrocarbons, 1 fatty acid and 1 heterocycle. Fresh flesh was stored for different time followed by cooking at 100 °C for 30 min, volatile compounds decreased slowly within 3 days' storage, while it decreased rapidly on the 5th day.

**Key words** silver carp; HS-SPME; GC-MS; volatile compounds; refrigeration; heating

(责任编辑:陆文昌)