

# 熏制即食罗非鱼片加工过程中的挥发性成分分析

盛金凤<sup>1</sup>, 姜元欣<sup>1</sup>, 刘小玲<sup>1,2</sup>

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004) (2. 广西大学食品质量与安全研究中心, 广西南宁 530004)

**摘要:** 为研究熏制即食罗非鱼片在不同加工阶段产品风味变化, 采用同时蒸馏萃取结合 GC-MS 分析了新鲜鱼肉、熏制鱼肉、熏制腌制鱼肉以及添加调味油的熏制腌制鱼肉的挥发性物质, 最终新鲜罗非鱼检测出 17 种挥发性成分, 熏制罗非鱼和熏制腌制罗非鱼分别检测出 35 种和 45 种挥发性成分, 而添加调味油的产品检测出 53 种挥发性成分。结果表明熏制过程赋予了鱼肉较多的以愈创木酚、4-甲基愈创木酚、4-乙基愈创木酚、苯酚为代表的酚类物质, 另外还有醛酮类物质以及一定的酸类物质, 使鱼肉呈现出特有的烟熏风味, 腌制过程对改变产品的风味作用不明显, 添加香辛料油后产品增加了酯类物质、酚类物质和不饱和烯炔类物质, 这些成分虽然在挥发性成分中含量较低, 但是对改变产品的风味作用明显。

**关键词:** 熏制; 罗非鱼; 加工过程; 气质联用; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2013)12-3038-3045

## Analysis of Volatile Compounds in the Processing of Instant Smoked Tilapia

SHENG Jin-feng<sup>1</sup>, JIANG Yuan-xin<sup>1</sup>, LIU Xiao-ling<sup>1,2</sup>

(1. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

(2. Research Center of Food Quality and Safety, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to understand the change of volatile compounds during processing of instant smoked tilapia, the volatile compounds in fresh fish, smoked fish, smoked and salted fish, smoked and salted fish adding spice oil were identified by SDE-GC-MS. The results showed that 17, 35, 45 and 53 kinds of volatile compounds were detected in fresh fish, smoked fish, smoked and salted fish, and smoked and salted fish adding spice oil, respectively. Many phenolic substances were produced in the smoking process of the tilapia fillets, which mainly were guaiacol, 1,4-methyl-guaiacol, 4-hexyl-guaiacol, phenol; otherwise, aldehyde, ketone and acids rendering special smoking flavor. Salted processing had little effect to the product; adding spices oil endowed ester, phenolic and unsaturated olefins compounds, which had an obvious effect on flavor of products.

**Key words:** smoked; tilapia; processing; GC-MS; volatile compounds

近年来我国罗非鱼(tilapia)产量稳在 120 万 t 以上, 稳居世界第一位。风味物质是评价鱼肉品质最重要的指标之一, 将罗非鱼开发成熏制即食罗非鱼产品, 不仅要有较佳的产品色泽和适口性, 其风味更是决定产品的被接受度, 风味物质的形成与脂类、蛋白质物质的水解等因素有关。目前常见的食品风味物质分析方法有同时蒸馏萃取结合气质联用、固相微萃取结合气质联用、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取结合气质联用等<sup>[1-2]</sup>。

国内外采用不同的萃取方式对新鲜鳙鱼、鲢鱼、鲫鱼

收稿日期: 2013-05-28

基金项目: 国家自然科学基金 (31060234); 广西科学研究与技术开发计划项目 (桂科攻 11107005-2)

作者简介: 盛金凤 (1987-), 女, 硕士, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 刘小玲 (1972-), 女, 博士, 教授, 主要从事食品生物技术相关的教学和研究工作

的挥发性成分的分析已有报道<sup>[3-5]</sup>; 研究人员也开展了鱼肉加工过程中加工工艺对鱼肉产品风味影响的研究, 谭汝成等采用固相微萃取与气质联用技术鉴定了不同工艺制作的腌腊鱼中挥发性物质的组成, 得出腌制可促进鱼中挥发性物质及前体向腌腊鱼相关风味物质的转化, 同时盐水浓度对腌腊鱼风味形成有重要影响。

张家骊等对带鱼腌制前后和风干不同时间产品风味物质的变化进行研究, 得出风干后, 醛类化合物质量分数逐渐增加, 种类也逐渐增加, 醇类化合物质量分数快速下降; 刘昌华等人<sup>[6]</sup>采用固相微萃取-气质联用技术, 对鲈鱼腌制风干成熟工艺过程中挥发性化合物进行测定, 结果表明: 不同加工阶段鱼肉中的挥发性成分组成差异明显, 腌制风干成熟工艺过程中随着肌肉氧化程度增加, 醛类、酮类、酯类化合物含量升

高, 烃类和醇类挥发性化合物含量降低。熏制即食罗非鱼产品加工经过腌制、熏制、干燥等多道工艺, 目前尚未有人对熏制罗非鱼加工过程中不同工艺阶段产品风味变化进行研究。本研究以新鲜罗非鱼为原料, 采用同时蒸馏萃取(SDE)结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对新鲜罗非鱼肉、熏制罗非鱼肉、熏制腌制罗非鱼肉以及添加香辛料油的最终产品的挥发性成分进行鉴定分析, 分析加工工艺过程中主体风味物质变化, 探讨不同加工工艺对产品风味的贡献, 为熏制即食罗非鱼风味的控制提供依据和参考。

## 1 材料与设备

### 1.1 试剂与材料

新鲜罗非鱼(个体重0.6~0.8 kg), 购买于南宁市农贸市场; II-2008着色烟熏液, 济南华鲁食品有限公司; 食盐、白糖、油、味精符合国家食品卫生标准, 购于当地北京华联超市; 香辛料, 购于广西玉林中药材批发市场; 乙醚, 石油醚、无水硫酸钠, 均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

QP5050A气相色谱质谱连用仪, 日本岛津仪器有限公司; RE-52AA旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; 同时蒸馏萃取装置, 自制; 电热鼓风干燥箱, 中国上海实验仪器厂有限公司; 真空充气包装机, 中国上海鸿良包装机械厂; HH-6恒温水浴锅, 浙江宁波新芝生物科技股份有限公司; DLSB-520低温冷却液循环泵, 郑州长城科贸有限公司; SHB-III循环水式多用真空泵, 郑州长城科贸有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 加工工艺

##### 1.3.1.1 工艺流程

新鲜罗非鱼→取片→鱼片→漂洗→熏制→腌制→干燥→添加调味油→真空包装→熟化灭菌→即食鱼片

##### 1.3.1.2 关键工艺

鱼片漂洗后放入浓度3% (V:V) II-2008着色烟熏液(肉液比=1:2)浸泡鱼片1 h, 溶液温度控制在20℃以下。熏制结束沥干水分加入鱼肉重2%食盐、2%蔗糖和0.5%味精干法腌制1 h, 60℃热风干燥8 h, 每1 kg干燥后的熏制鱼块添加0.05 kg调味油, 真空包装后100℃条件下蒸煮熟化30 min。

香辛料调味油的制作方法: 将1000 mL植物油加热到120℃~150℃, 倒入50 g自制香辛料粉, 熬15 min后冷却过滤而得。

### 1.3.2 样品制备

新鲜罗非鱼肉、熏制罗非鱼肉、熏制腌制罗非鱼肉以及添加香辛料油的最终产品的挥发性成分进行鉴定分析

同时蒸馏(SDE)法制备样品, 取样品100 g(新鲜罗非鱼200 g), 加400 mL蒸馏水, 打浆机匀浆转移到1000 mL圆底烧瓶中与SDE装置的右端相连接, 油浴加热至微沸, 同时装置的左端与100 mL的圆底烧瓶相连接, 小烧瓶内装50 mL重蒸乙醚, 水浴50℃加热保持乙醚成微沸腾状态; 萃取2 h后向装有乙醚的圆底烧瓶中加入适量的无水硫酸钠, 放入冰箱冷冻过夜, 过滤浓缩到1 mL待测。

### 1.3.3 GC-MS 条件

色谱条件: DB-1 弹性毛细管柱 0.25 μm×0.25 mm×30 m; 程序升温: 柱初温50℃保持4 min, 10℃/min升到60℃, 然后4℃/min升到120℃, 再以8℃/min升到250℃, 维持8 min, 分流比1:50, 载气为氦气, 接口250℃。

质谱条件: 柱前压47 kPa, 进样口温度270℃, 扫描质量范围33~500 amu, 电子倍增器电压1.25 kV。

### 1.3.4 数据处理与分析

采用NIST标准质谱库自动检索各组分质谱数据, 并参考相关文献对检测结果进行分析和确认, 根据出峰的面积采用归一化法计算各组分相对含量。

## 2 结果与讨论

采用GC-MS分别测定了新鲜罗非鱼片, 熏制罗非鱼片、熏制腌制罗非鱼片、添加调味油的熏制腌制鱼片的挥发性成分, 四个样品的总离子流图如图1到图4所示, 对以上样品的各吸收峰进行分析汇总, 得到罗非鱼及其不同加工过程中的挥发性组分及其含量如表1所示。

### 2.1 不同加工阶段产品的挥发性成分

新鲜罗非鱼片总离子流图如图1, 对新鲜罗非鱼片挥发性成分进行分析, 共鉴定出17种挥发性成分, 占总挥发性成分的(98.97%), 其中醇类2种(2.05%), 羰基化合物类9种(77.47%), 酯类1种(1.31%), 酸类1种(11.61%), 其他烷烃类等3种(6.57%)。主要挥发性物质(含量超过1%)为十九醇(1.24%), 壬醛(2.22%), 十一醛(2.45%)、2-十二烷酮(3.09%)、肉豆蔻醛(2.47%)、十六醛(52.65%)、2-十三烯醛(2.66%)、2-十七酮(1.65%)、E-9-十四烯醛(10.03%)、十八醛(1.25%)、乙酸己酯(1.31%)、十六酸(11.61%)、3-异丁基-环己烯(2.70%)、十六烷(1.29%)、十七烷(2.56%)。

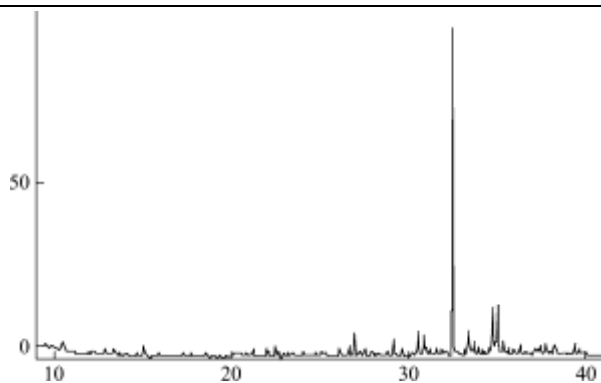


图1 新鲜罗非鱼肉挥发性成分总离子图

Fig.1 Total ion chromatogram of aromatic compositions in fresh Tilapia fillets

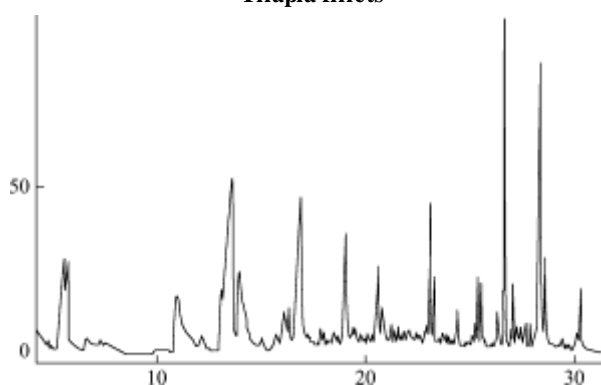


图2 熏制罗非鱼肉挥发性成分总离子图

Fig.2 Total ion chromatogram of aromatic compositions in smoked Tilapia fillets

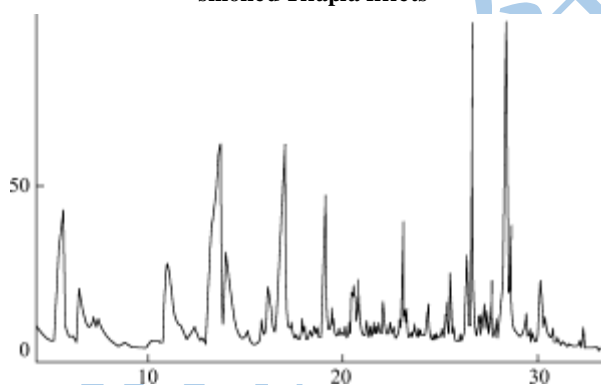


图3 熏制腌制罗非鱼肉挥发性成分总离子图

Fig.3 Total ion chromatogram of aromatic compositions in smoked and salted Tilapia fillets

熏制后的罗非鱼肉总离子流图如图2, 共检测出35种化合物, 其中醇类3种(5.13%), 羰基化合物类9种(13.29%), 酯类2种(0.88%), 酚类8种(54.03%), 酸类4种(12.72%), 烷烃类等9种(11.48%)。主要挥发性物质(含量超过1%)为丙二醇(3.79%)、十六酮(7.52%)、十六醛(2.26%)、苯酚(4.59%)、邻甲基苯酚(2.61%)、对甲氧基苯酚(20.3%)、3-甲基苯酚(7.66%)、2,3-二甲基苯酚(1.45%)、4-甲基愈创木

酚(10.69%)、4-乙基愈创木酚(5.21%)、4-丙基愈创木酚(1.27%)、肉豆蔻酸(十四酸)(1.44%)、十八烯酸(10.12%)、2-乙氧基丙烷(6.55%)、十六烷(2.19%)。

熏制腌制后的罗非鱼肉总离子流图如图3, 其挥发性成分共检测45种挥发性成分, 其中醇类7种(6.27%), 羰基化合物类5种(8.30%), 酯类4种(1.24%), 酚类11种(50.58%), 酸类4种(14.59%), 其他烷烃类等14种(13.80%)。主要挥发性物质(含量超过1%)为丙二醇(2.77%)、3,4-二甲氧基苯甲醇(1.03%)、十九醇(1.38%)、2,3-二甲基-2-环戊烯酮(1.26%)、十六醛(4.79%)、十八醛(1.55%)、苯酚(7.65%)、对甲氧基苯酚(17.78%)、3-甲基苯酚(6.65%)、2,3-二甲基苯酚(2.88%)、4-甲基愈创木酚(10.08%)、4-乙基愈创木酚(3.89%)、4-丙基愈创木酚(1.24%)、肉豆蔻酸(2.03%)、9-十六烯酸(1.86%)、十八烯酸(10.03%)。

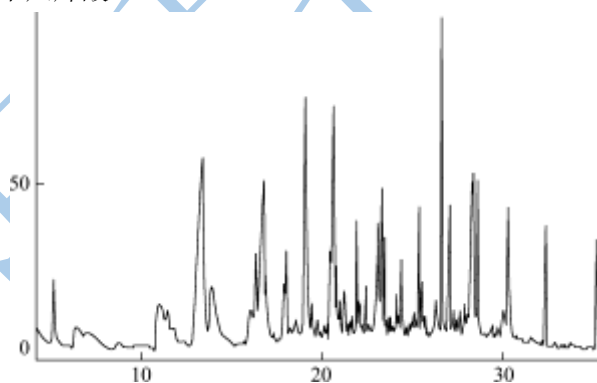


图4 添加调味油的熏制罗非鱼肉挥发性成分总离子图

Fig.4 Total ion chromatogram of aromatic compositions in smoked product adding spice oil

添加调味油的熏制罗非鱼肉总离子流图如图4, 共检测出53种挥发性成分。其中醇类6种(7.49%), 羰基化合物类7种(8.29%), 酯类6种(9.78%), 酚类13种(37.20%), 酸类6种(5.29%), 其他烷烃类等15种(22.01%)。主要挥发性物质(含量超过1%)为丙二醇(1.16%)、糠醇(3.66%)、 $\alpha$ -松油醇(1.73%)、对异丙基-苯甲醛(1.38)、右旋香芹酮(1.76)、十六醛(4.85%)、乙酸丁香酚酯(8.19%)、苯酚(1.17%)、对甲氧基苯酚(15.14%)、3-甲基苯酚(4.35%)、2,3-二甲基苯酚(1.49%)、4-甲基愈创木酚(8.76%)、2,5-二甲基苯酚(1.59%)。二氢丁香酚(1.02%)、细辛脑(1.27%)、芹菜脑(1.64%)、十六酸(3.63%)、2-乙氧基丙烷(1.70%)、3,4-二甲氧基甲苯(5.68%)、4-烯丙基苯甲醚(4.69%)、2,3,3-三甲基辛烷(3.45%)、十六烷(1.51%)、十八烷(1.19%)。

表 1 鲜鱼肉、熏制鱼肉、熏制腌制鱼肉、最终产品的主要挥发性成分及含量

Table 1 Main Volatile compounds and contents in fresh fish, smoked fish, smoked and salted fish, smoked and salted fish adding spice

化合物名称	分子式	分子量	相对含量/%			
			鲜鱼肉	熏制鱼肉	熏制腌制鱼	最终产品
醇类						
丙二醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	76		3.79	2.77	1.16
糠醇	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	98		0.93	0.73	3.66
2-壬炔-1-醇	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	140			0.1	
3,4-二甲氧基苯甲醇	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	168			1.03	
反式-2-壬烯-1-醇	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	142			0.15	
α-松油醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154				1.73
2-癸炔-1-醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154				0.20
2,3-二甲氧基苜醇	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	168				0.41
2-丁基辛醇	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O	186		0.41	0.11	
2-十四烯醇	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O	212				0.33
己基葵醇	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O	242	0.81			
十九醇	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub> O	284	1.24		1.38	
合计			2 种	3 种	7 种	6 种
			2.05%	5.13%	6.27%	7.49%
羰基化合物类						
2,3-二甲基-2-环戊烯酮	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	110		0.68	1.26	
3-亚甲基-2-苯并呋喃酮	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152		0.32	0.57	
壬醛	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	144	2.22			
4-甲基-3-(2-甲基-2-丙烯基)-2-呋喃酮	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152		0.17	0.13	
4-正壬氧基苯甲醛	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	248				0.11
对异丙基-苯甲醛	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	148				1.38
右旋香芹酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	150				1.76
瓜菊醇酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	166		0.77		
十一醛	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	170	2.45			
2-十二烷酮	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	184	3.09			
肉豆蔻醛	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O	212	3.47			0.10
十六酮	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O	240		7.52		
十六醛	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O	240	49.65	2.26	4.79	4.85
2-十三烯醛	C <sub>13</sub> H <sub>24</sub> O	196	3.66			
2-十七酮	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O	254	1.65	0.62		
6, 10,14-三甲基-2-十五酮	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	268		0.54		0.09
E-9-十四烯醛	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O	210	10.03			
十八酮	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	268		0.41		
十八醛	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	268	1.25		1.55	
合计			9 种	9 种	5 种	7 种
			77.47%	13.29%	8.3%	8.29%
酯类						
乙酸己酯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	144	1.31			

转下页

接上页

羟基十一烷酸内酯	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	184	0.55			
乙酸丁香酚酯	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	206				8.19
乙酸香叶酯	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	196				0.48
10-十一碳烯酸乙烯酯	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	210				0.24
邻苯二甲酸丁基酯	C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	334	0.33	0.2		0.32
12-甲基十四烷酸甲酯	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256			0.18	
棕榈酸甲酯/十六酸甲酯	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	270			0.53	0.14
邻苯二甲酸丁基辛基酯	C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	334				
邻苯二甲酸二正辛酯	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	390				0.41
油酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	296			0.33	
合计			1 种	2 种	4 种	6 种
			1.31%	0.88%	1.24%	9.78%
酚类						
苯酚	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94		4.59	7.65	1.17
邻甲基苯酚	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108		2.61	0.12	
对甲氧基苯酚	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	124		20.3	17.78	15.14
3-甲基苯酚	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108		7.66	6.65	4.35
2,3-二甲基苯酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	122		1.45	2.88	1.49
4-甲基愈创木酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	138		10.69	10.08	8.76
2,5-二甲基苯酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	122		0.25	0.29	1.59
2-(2-丙烯基)苯酚	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	134				0.20
4-乙基愈创木酚	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152		5.21	3.89	0.15
二氢丁香酚	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	166				1.02
4-丙基愈创木酚	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	166		1.27	1.24	0.43
细辛脑	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	208				1.27
芹菜脑	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	222				1.64
合计			0 种	8 种	11 种	13 种
			0	54.03%	50.58%	37.21%
酸类						
3-丁香酸	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	164				0.31
肉豆蔻酸/十四酸	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	288			2.03	0.71
十五酸	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	242				0.26
9-十六烯酸	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	254		0.55	1.86	
十六酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256	11.61			3.63
2,3-二甲氧基苯乙酸	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196		0.61		
肉豆蔻酸(十四酸)	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	228		1.44		
十八烯酸(油酸)	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282		10.12	10.03	0.41
二十碳酸	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	312			0.67	
十二烯基丁二酸酐	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub> O <sub>3</sub>	266				0.07
合计			1 种	4 种	4 种	6 种
			11.61%	12.72%	14.59%	5.39%
其他						
2-乙氧基丙烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88		6.55	7.5	1.70
2-甲基四氢吡喃	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	98		0.13	0.53	
3,4-二甲氧基甲苯	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152		0.45	0.30	5.68

转下页

接上页

3-异丁基-环己烯	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	138	2.70			
8-氧-顺-罗勒烯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	150		0.25		
异松油烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	136			0.36	
1,5,5-三甲基-6-亚甲基环己烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	136			0.17	0.24
1,2,3-三甲氧基苯	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	168				0.81
2-溴壬烷	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> Br	206			0.62	0.34
1-溴癸烷	C <sub>10</sub> H <sub>21</sub> Br	220			0.53	
3,7-二甲基葵烷	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170				0.40
丁香烯	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	204				0.89
巴伦西亚橘烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	204				0.55
4-烯丙基苯甲醚	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	148				4.69
3,4,5-三甲氧基甲苯	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	182		0.31	0.88	
4-羟基-3-叔丁基-苯甲醚	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	180			0.35	
1-溴-2-甲基葵烷	C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> Br	234	0.02	0.13		0.11
1-溴十一烷	C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> Br	234				0.25
1-乙氧基-2-异丙基苯	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O	164				0.21
2, 3, 3-三甲基辛烷	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156				3.45
1-十六烯	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	224		0.54		
十五烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	212			1.04	
十六烷	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226	1.29	2.19	0.47	1.51
十七烷	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	240	2.56	0.93		
十八烷	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	254				1.19
十九烷	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	268			0.2	
壬二酰二氯	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	224			0.66	
8-十七烯	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub>	238			0.19	
合计			4种	9种	14种	15种
			6.57%	11.48%	13.80%	22.01%

## 2.2 讨论

研究表明,饱和醇一般出现在经过蒸煮的动物或者鱼肉的挥发性成分中,出现的原因可能是羰基化合物还原得到或者脂肪经过氧化分解生成的醇;醇的阈值较高,只有当醇的含量较高时对鱼肉的风味贡献才会显现出来<sup>[9]</sup>。新鲜鱼检测到的含量最高的醇为十九醇,百分含量1.24%,因此对鱼的风味贡献较小。熏制后的罗非鱼片检测出3种醇,含量最高的为丙二醇(3.79%),对熏制后罗非鱼的风味有一定贡献;熏制腌制后罗非鱼检测出7种醇,丙二醇在醇类中含量最高(2.77%),同熏制后的罗非鱼相同,另外还含有十九醇(1.38%)、3,4-二甲氧基苯甲醇(1.03%),其他含量都低于1%;添加调味油的产品醇类为丙二醇(1.16%)、糠醇(3.66%)、α-松油醇(1.73%),其中α-松油醇可能来自香辛料。

羰基化合物类主要指醛、酮类物质, Ephon 等<sup>[10]</sup>研究得出低分子的醛类化合物对蒸煮后鱼的香气成分

贡献较大,尤其是烯醛和二烯醛,一般饱和的 C6-C12 醛类物质具有脂肪香、草香的气味;这些醛类物质的阈值较低为食品中重要的气味物质。而 C13 以上的长链醛类物质的阈值较高对食品风味贡献不大<sup>[11]</sup>此方法检测到饱和醛类物质涵盖了的饱和醛类物质这些醛类物对南湾鳙鱼肉的风味有重要影响 2-烯醛一般具有水果和脂肪的气味,它们的阈值随链长增加而增加<sup>[11]</sup>。新鲜罗非鱼挥发性成分检测出 E-9-十四烯醛、2-十三烯醛,可能是鱼肉特有的香气成分;而直链的壬醛、十一醛、肉豆蔻醛、十六醛、十八醛使鱼肉具有辛辣味。熏制后的罗非鱼肉和新鲜罗非鱼相比,醛类数量降低,只检测到十六醛,百分含量为 2.26%;熏制腌制后的醛类比熏制后多十八醛;而添加调味油的熏制罗非鱼同样检测到十六醛;相比较不同加工阶段的四种鱼肉,都检测出十六醛,说明是鱼肉本身含有的较高的醛类物质。作为直链醛,对鱼肉可能带来一定的不愉悦气味。

醇、醛、酮类化合物都对鱼肉的香气起到重要的

作用,从分析结果可以看出,酮类物质在新鲜罗非鱼中检测出2种,为2-十二烷酮和2-十七烷酮;熏制后的罗非鱼挥发性酮分别检测出8种,含量较高的为十六酮(7.52%),其他含量均低于1%;值得指出的是,熏制后和熏制腌制后的鱼肉均含有2,3-二甲基-2-环戊烯酮、3-亚甲基-2-苯并呋喃酮、4-甲基-3-(2-甲基-2-丙基)-2-呋喃酮,而新鲜罗非鱼中不存在此三种物质,显然是熏制液赋予的香气成分。添加调味油的熏制罗非鱼检测出6,10,14-三甲基-2-十五酮、右旋香芹酮2种酮类物质。

酯类物质会赋予食品香甜的果香味,新鲜罗非鱼检测出乙酸乙酯,该物质在白鲢鱼肉中同样存在<sup>[12]</sup>,熏制后罗非鱼和熏制腌制后罗非鱼酯类含量都较低,酯类含量占总挥发性成分百分比分别为0.88%和1.24%,而添加调味油后酯类物质占比达9.78%,其中乙酸丁香酯含量最高,达8.19%,该成分为丁香的香气代表成分。

新鲜罗非鱼挥发性成分不存在酚类物质,而熏制罗非鱼、熏制腌制罗非鱼以及添加调味油的熏制罗非鱼都检测到较多的酚类物质,酚类物质含量分别占总挥发性物质百分含量的54.03%、50.58%、37.21%。酚类物质主要是熏制过程烟熏液赋予鱼肉的香气成分,Daun等<sup>[13]</sup>人认为烟熏食品的主要香气成分为愈创木酚、4-甲基愈创木酚、4-己基愈创木酚等,和本实验结果比较类似,同时研究得出,苯酚、邻甲基苯酚、对甲氧基苯酚、3-甲基苯酚、2,3-二甲苯酚、2,5-二甲苯酚、2-(2-丙基)苯酚含量也较高,这与陈胜军等人的研究结果比较一致<sup>[14]</sup>。添加调味油的酚类物质种类比未加调味油的三种样品多。但百分含量相对减少,这可能是由于香辛料中香气成分的加入相对降低了酚类物质的百分含量。

新鲜罗非鱼检测出1种酸类物质,即十六酸,熏制鱼肉和熏制腌制鱼肉含有的酸味物质鱼肉中的主要酸味物质相同,为十八烯酸,分别占挥发性成分的10.12%和10.03%;而添加调味油后的主要酸类物质为十六酸。

除了醇、羰基化合物、酚类物质、酯类和酸类物质外,鱼肉中还含有烷烃类物质等,C6-C19的各种烷烃都在甲壳类动物和鱼肉的挥发性成分中被发现,一般它们的阈值较高,因此这些物质对食品的整体风味贡献很小,但一些支链烃可能对鱼肉的香气有贡献<sup>[10]</sup>。新鲜罗非鱼检测到3种烃类物质,包括2种直链烷烃和一种不饱和烯烃,熏制和熏制腌制后的鱼肉含量较高的为2-乙氧基丙烷和十五烷、十六烷,另外为一些含量较低的含苯化合物或者溴的烷烃取代物,原

因可能是一部分来自环境污染物或者药物在鱼体的残留;添加调味油的烟熏鱼含有的烷烃类等物质检测出16种,含量较高的为2-乙氧基丙烷、3,4-二甲氧基甲苯、4-烯丙基苯甲醚、2,3,3-三甲基辛烷、十六烷、十八烷。另外该样品中特有的丁香烯、巴伦西亚橘烯可能来自于香辛料中,虽然含量较低,由于是烯烃类物质,对产品风味有改善作用。

### 3 结论

GC-MS对新鲜鱼肉、熏制鱼肉、熏制腌制鱼肉以及添加调味油的熏制腌制鱼肉的挥发性成分进行分析,结果发现:罗非鱼在加工过程中,产品的挥发性成分发生较大的变化,新鲜罗非鱼检测出17种挥发性成分,熏制和熏制腌制的罗非鱼肉分别检测出35种和45种挥发性成分,而添加调味油的产品检测出53种挥发性成分。熏制过程赋予了鱼肉较多的以愈创木酚、4-甲基愈创木酚、4-己基愈创木酚、苯酚为代表的酚类物质,另外还有醛酮类物质以及一定的酸类物质,使鱼肉呈现出特有的烟熏风味,腌制过程对改变产品的风味作用不明显,添加香辛料油后产品增加了酯类物质、酚类物质和不饱和烯烃类物质,这些成分虽然在挥发性成分中含量较低,但是对改变产品的风味作用明显。

### 参考文献

- [1] Alasdair Sides, Kevin Robards, Stuart Helliwell. Developments in extraction techniques and their application to analysis of volatiles in foods [J]. *Analytical Chemistry*, 2000, 19(5): 322-329
- [2] Stefania Vichi, Josep M, Guadayol, et al. Comparative study of different extraction techniques for the analysis of virgin olive oil aroma [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105: 1171-1178
- [3] 赵庆喜,薛长湖,徐杰,等.微波蒸馏-固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉检测器联用分析鳙鱼鱼肉中的挥发性成分[J]. *色谱*, 2007, 25(2): 267-271
- [4] ZHAO Q X, XUE C H, XU J, et al. Analysis of Volatile Compounds in Bighead Carp by Microwave Distillation and Solid Phase Microextraction Coupled with Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Olfactometry [J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2007, 25(2): 267-271
- [4] 王锡昌,陈俊卿.顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分[J]. *上海水产大学学报*, 2005, 14(2): 176-180
- WANG X C, CHEN J Q. Analysis of flavors in silver carp meat by headspace solid phase microextraction combined with GC-MS [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*,

- 2005, 14(2): 176-180
- [5] 刘奇,郝淑贤,李来好,等. 鲟鱼不同部位挥发性成分分析[J]. 食品科学,2012,33(16):142-145  
LIU Q, HAO S X, LI L H, et al. Volatile Component Analysis of Different Parts of Sturgeon [J]. Chinese Journal of food science, 2012, 33(16): 142-145
- [6] 谭汝成,熊善柏,鲁长新,等. 加工工艺对腌腊鱼中挥发性成分的影响[J]. 华中农业大学学报,2006,25(2):203-207  
TAN R C, XIONG S B, LU C X, et al. Effect of Processing Technology on the Volatiles in Cured Fish [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2006, 25(2): 203-207
- [7] 张家骊,姜国伟,王秀云,等. 带鱼初加工过程中风味物质的检测分析[J]. 生物加工过程,2010,8(6):63-66  
ZHANG J L, JIANG G W, WANG X Y, et al. Analysis of hairtail flavor matter in the primary processing [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2010, 8(6): 63-66
- [8] 刘昌华,王艳,章建浩,等. 固相微萃取-气质联用法测定鲈鱼风干成熟工艺过程中的挥发性化合物变化[J]. 食品科学, 2013,34(10): 250-254  
LIU Chang H, WANG Y, ZHANG J H, et al. Changes in Volatile Compounds of Perch during Curing-Drying/Ripening Process [J]. Chinese Journal of food science, 2013, 34(10): 250-254
- [9] Wurzenberger M, Grosch W. Stereochemistry of the cleavage of the 10-hydroperoxide isomer of linoleic acid to 1-octen-3-ol by a hydroperoxide lyase from mushrooms (*Psalliota bispora*) [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, 1984, 795(1): 163-165
- [10] Ephson D B, Lindsay R C, Stuiber D A. Volatile compounds characterizing the aroma of fresh Atlantic and Pacific oysters [J]. *Journal of food science*, 1985, 50(1): 5-9
- [11] Varlet V, Prost C, Serot T. Volatile aldehydes in smoked fish: Analysis methods, occurrence and mechanisms of formation [J]. *Food Chem.*, 2007, 105: 1536-1556
- [12] 付湘晋,党亚丽,许时婴,等. 采用 GC-MS 结合嗅闻分析鉴定白鲢鱼风味活性物质[J]. 食品研究与开发,2010,31(12): 159-162  
FU Xiang J, DANG Y L, XU S Y, et al. Determination the Aroma Active Compounds in Silver Carp Using GC-MS Combined with Olfactometry [J]. *Chinese Journal of Food research and development*, 2010, 31(12): 159-162
- [13] Daun J H. Interaction of wood smoke components and foods [J]. *Food Technology*, 1979, 33(5): 66-71
- [14] 陈胜军,李来好,黄靖芬,等. 气相色谱-质谱分析熏制罗非鱼片的风味成分[J]. 食品科学,2009,20:379-382  
CHEN S J, LI L H, HUANG J F, et al. GC-MS Analysis of Flavor Components in Smoked Tilapia Fillets [J]. *Chinese Journal of food science*, 2009, 20: 379-382