

## 6-姜酚协同超高压处理对花鲈挥发性成分的影响

蔡路昀<sup>1,2</sup>, 马 帅<sup>1</sup>, 曹爱玲<sup>3</sup>, 冯建慧<sup>1</sup>,  
毕晓敏<sup>1</sup>, 孟丹丹<sup>1</sup>, 励建荣<sup>1,2\*</sup>

(1. 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,  
辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013;

2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

3. 萧山出入境检验检疫局, 浙江 杭州 311208)

**摘要:** 为揭示6-姜酚浸泡协同超高压处理对花鲈挥发性成分的影响, 及时掌握鱼肉品质变化情况。采用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用CHS-SPME-GC-MS技术研究了浓度为8 μg/mL的6-姜酚浸泡协同超高压处理(200 MPa)的花鲈和对照组(空白、8 μg/mL 6-姜酚浸泡、200 MPa处理)品质及挥发性成分的变化。分析了处理组和对照组花鲈样品的色泽、质构特性及挥发性成分的变化。结果表明, 6-姜酚浸泡协同超高压处理比6-姜酚浸泡、200 MPa处理及未处理的效果显著, 有效改善了花鲈色泽及质构特性。电子鼻能够较好区分不同处理方式下花鲈的风味; 主成分分析显示各个样品间差异明显, 电子鼻区分度良好。采用气-质联用技术分析表明, 花鲈在不同处理方式下的挥发性成分发生明显变化。主要挥发性物质有醇、醛、酮、酸、酯、烃、芳香族和含氮化合物等。在空白组、6-姜酚浸泡、200 MPa处理和6-姜酚浸泡+200 MPa处理的鱼肉中分别检测出43、40、49及30种主要的挥发性物质, 这些挥发性物质的结合, 形成了各自的风味特征, 决定了不同处理方式下花鲈肉风味的差异。

**关键词:** 花鲈; 6-姜酚; 超高压; 挥发性成分; 电子鼻; 气-质联用

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

花鲈(*Lateolabrax japonicus*)属鲈形目(Perciformes), 花鲈属(*Lateolabrax*), 主要分布于我国黄海、渤海海域, 是重要的经济鱼类, 同时也是我国高档海水鱼品种之一<sup>[1]</sup>。花鲈肉质鲜美、风味独特, 因富含蛋白质、维生素及微量元素等营养成分而深受人们的青睐<sup>[2]</sup>。花鲈肉还具有令人愉悦的风味, 鱼类及其制品的风味是消费者评价其品质高低的重要指标。鱼肉的风味由气味和滋味两部分组成, 其中气味是由挥发性化合物刺激人体嗅觉器官产生的感觉印象。挥发性气味物质对鱼肉的 overall 风味有重要影响<sup>[3]</sup>。

姜酚(gingerol)是生姜(*Zingiber officinale roscoe*)中的辣味物质, 也是生姜的主要生物活性成分, 包括6-姜酚、8-姜酚和10-姜酚等十余种, 其中6-姜酚的含量最高, 占总姜酚的75%<sup>[4]</sup>。它是一种含酚羟基类物质, 具有弱极性, 是干姜呈多种药理作用的功能因子<sup>[5-7]</sup>, 具有抗氧化、抗肿瘤、降血脂和杀菌防腐的作用<sup>[8]</sup>。

超高压(ultra-high pressure, 简称UHP)技术是一种新型非热杀菌技术, 不会破坏蛋白质的一级结构, 能够在一定程度上抑制微生物生长、钝化酶活以延长食品的货架期<sup>[9-10]</sup>。与传统的热处理相比, 能够很好地保持食品原有的风味和

收稿日期: 2015-08-10 修回日期: 2015-11-09

资助项目: 国家自然科学基金(31401478, 31471639); 中国博士后基金面上项目(2015M570760); “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD29B06); 辽宁省科技攻关项目(2015103020); 重庆市博士后特别资助项目(Xm2015021)

通信作者: 励建荣, E-mail: lij6491@163.com

口感<sup>[11]</sup>。目前,超高压技术已在国内外食品加工领域中得到广泛应用,如谷物、乳制品、肉制品和水产品等<sup>[12-13]</sup>。McArdle等<sup>[14]</sup>报道显示,超高压会对食品的色泽、嫩度、pH等品质指标产生一定的影响。Zabetakis等<sup>[15]</sup>和Sampedro等<sup>[16]</sup>研究了超高压处理对果蔬风味成分的影响。Baxter等<sup>[17]</sup>研究了超高压处理对脐橙(*Citrus sinensis osbeck*)汁风味成分的影响,结果表明贮藏84 d后脐橙汁的风味可被消费者接受。

目前,国内对花鲈的研究主要集中在养殖<sup>[18]</sup>、基因组学<sup>[19]</sup>、免疫学<sup>[20]</sup>和保鲜等方面,关于超高压处理对花鲈挥发性成分的影响已有相关报道,但6-姜酚浸泡协同超高压处理对花鲈挥发性成分的影响尚无报道,本研究以新鲜花鲈为对象,主要从色泽、质构特性、挥发性成分3方面研究6-姜酚浸泡协同超高压处理下花鲈挥发性成分的变化,以期对花鲈风味的深入研究及品质控制提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

新鲜花鲈购于锦州市林西街水产市场,规格基本一致,体长为30~40 cm,体质量(750±50)g。6-姜酚标准品(20 mg,纯度≥98%),江苏永健医药科技有限公司;氯化钠(分析纯),天津市风船化学试剂科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

DZ-500/2S真空包装机,诸城市舜康包装机械有限公司;HPP.L2-600/0.6超高压设备(最高压力为600 MPa),天津市华泰森森生物技术有限公司;SW-CJ-2FD超净工作台,苏景集团苏州安泰技术有限公司;CR-400s色差仪,日本KONICA MINOLTA公司;TA-XT PLUS质构仪,英国STABLE MICRO SYSTEMS公司;PL602-L分析天平,美国METTLER TOLEDO公司;PEN3便携式电子鼻,德国AIRSENSE公司;固相微萃取装置、50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头、20 mL顶空钳口样品瓶,美国SUPELCO公司;AGILENT7890N/5975气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪,美国AGILENT公司;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。

### 1.3 样品处理方式

将新鲜的花鲈采用击晕处死→去头、去皮、去内脏→清洗沥干后,切成合适大小的肉块[约为(50±5)g]→在浓度为8 μg/mL的6-姜酚溶液里浸泡4 h→装入无菌蒸煮袋中进行真空包装→将密封好的鱼肉置于超高压容器中,在200 MPa下保压处理15 min<sup>[21]</sup>。超高压装置的升压速度平均约为15 MPa/s,泄压过程在2 s内完成,内腔温度保持(20±2)°C。同时以8 μg/mL 6-姜酚浸泡、200 MPa处理及未处理样品为对照组。将处理好的各组样品置于4 °C冰箱中贮藏待测。

### 1.4 色差测定

需用色差仪对不同处理方式下的花鲈鱼块[(2±0.1)cm×(2±0.1)cm×(1±0.1)cm]进行测定,每个样品平行测定3次,记录相应的亮度值L\*、红绿值a\*和黄蓝值b\*。

### 1.5 质构测定

取不同处理方式下的花鲈肌肉,分别切成(2±0.1)cm×(2±0.1)cm×(1±0.1)cm的鱼块,采用TA-XT PLUS型质构分析仪及P/50型探头,对样品进行2次压缩,以质地多面剖析模式测试。测定指标包括硬度(hardness)、弹性(springiness)、黏聚性(cohesiveness)、胶着性(gumminess)、咀嚼度(chewiness)和回复性(resilience)。每个样品做3个平行,取平均值。

TPA设定参数:测试前速度(pre-text speed)1.00 mm/s,测试速度(text speed)1.00 mm/s,测试后速度(post-text speed)1.00 mm/s;样品压缩形变量为30%,感应力(trigger force)5.0 g;2次压缩时间间隔为5 s;数据的采集速率为200.00 pps。

### 1.6 电子鼻检测

准确称取不同处理方式下的绞碎鱼肉3份,每份2.0 g于25 mL的烧杯中,迅速用保鲜膜封口(5层)后置入4 °C冰箱中0.5 h,用于电子鼻检测。获得电子鼻的响应值后,利用电子鼻自带WinMuster软件对不同处理方式下的花鲈肉挥发性气味进行主成分分析(principal component analysis, PCA)。电子鼻测定时间120 s;顶空温度25 °C;内部流量300 mL/min;进样流量300 mL/min。PEN3型便携式电子鼻传感器性能描述见表1。

表 1 PEN3型便捷式电子鼻传感器性能描述

Tab. 1 Properties of sensor on PEN3 electronic nose

传感器	sensor	性能描述	properties of sensor	阈值/(mL/m <sup>3</sup> )	threshold
R (1)		对芳香成分灵敏		C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> , 10	
R (2)		灵敏度大, 对氮氧化合物灵敏		NO <sub>2</sub> , 1	
R (3)		氨水, 对芳香成分灵敏		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , 10	
R (4)		主要对氢气有选择性		H <sub>2</sub> , 100	
R (5)		烷烃, 芳香成分		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , 1	
R (6)		对甲烷灵敏		CH <sub>4</sub> , 100	
R (7)		对无机硫化物灵敏		H <sub>2</sub> S, 1	
R (8)		对乙醇灵敏		CO, 100	
R (9)		芳香成分, 对有机硫化物灵敏		H <sub>2</sub> S, 1	
R (10)		对烷烃灵敏		CH <sub>4</sub> , 10	

注: 分子式后面的数字代表传感器能够检测到挥发性气味的最低浓度

Notes: the digitals after chemical formula mean the minimum concentration of volatile odors the sensors can detect

## 1.7 GC-MS检测

固相微萃取: 准确称取经绞碎鱼肉3.0 g于20 mL顶空瓶中, 迅速加入6 mL饱和NaCl溶液及磁转子, 用聚四氟乙烯隔垫密封, 于40 °C磁力搅拌器中加热平衡15 min。用已活化好的DVB/CAR/PDMS 50/30 μm萃取头(270 °C活化60 min)顶空吸附30 min后, 将萃取头插入GC-MS进样器中, 使待测组分解析5 min, 进入GC-MS进行分析。

气相色谱条件: VF-5MS毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样口温度为250 °C, 不分流模式进样; 载气为He(99.999%), 流速1.0 mL/min; 程序升温: 柱初始温度40 °C, 保持4 min, 以3 °C/min升至100 °C, 再以5 °C/min升至240 °C, 保持5 min。

质谱条件: 色谱-质谱接口温度为280 °C, 离子源温度230 °C, 四级杆温度150 °C; 离子化方式为EI; 电子能量70 eV; 质量扫描范围30~550 u。

## 1.8 数据处理

色差及质构数据分析 采用Excel2003及Origin8.0软件进行数据统计分析与作图。

电子鼻数据分析 利用电子鼻自带的WinMuster软件对不同处理方式下的花鲈肉挥发性气味进行PCA分析。取稳定后的106~108 s间的

数据信息进行主成分分析。

GC-MS数据分析 根据GC-MS分析对不同方法处理的花鲈肉中挥发性化合物进行鉴定, 将分离出的化合物的质谱数据与经计算机检索标准谱图库相匹配。采用峰面积归一化法计算出各挥发性成分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理方式下花鲈肉色泽及质构特性变化

处理组的L\*值均高于空白组, 200 MPa处理组L\*值明显高于6-姜酚浸泡组, 这可能是由于鱼体内部受到压力使蛋白质发生变性, 形成一个均匀不透明的凝胶体, 使鱼肉的亮度增加(图1-a)。而6-姜酚浸泡协同200 MPa处理组的L\*值高于200 MPa处理组, 可能是二者对改善鱼肉亮度有协同效应。处理组的a\*值均低于对照组, 200 MPa和6-姜酚浸泡协同200 MPa处理组明显低于对照组, 这可能是由于超高压处理过程中肌红蛋白发生氧化形成高铁肌红蛋白, 使得a\*值出现下降的趋势。200 MPa和6-姜酚浸泡协同200 MPa处理组的b\*值明显高于对照组, 而6-姜酚浸泡处理组的b\*值低于对照组, 这可能是在前期由于6-姜酚减缓了脂肪氧化所致<sup>[22]</sup>。

6-姜酚浸泡组的硬度、咀嚼度显著低于空白

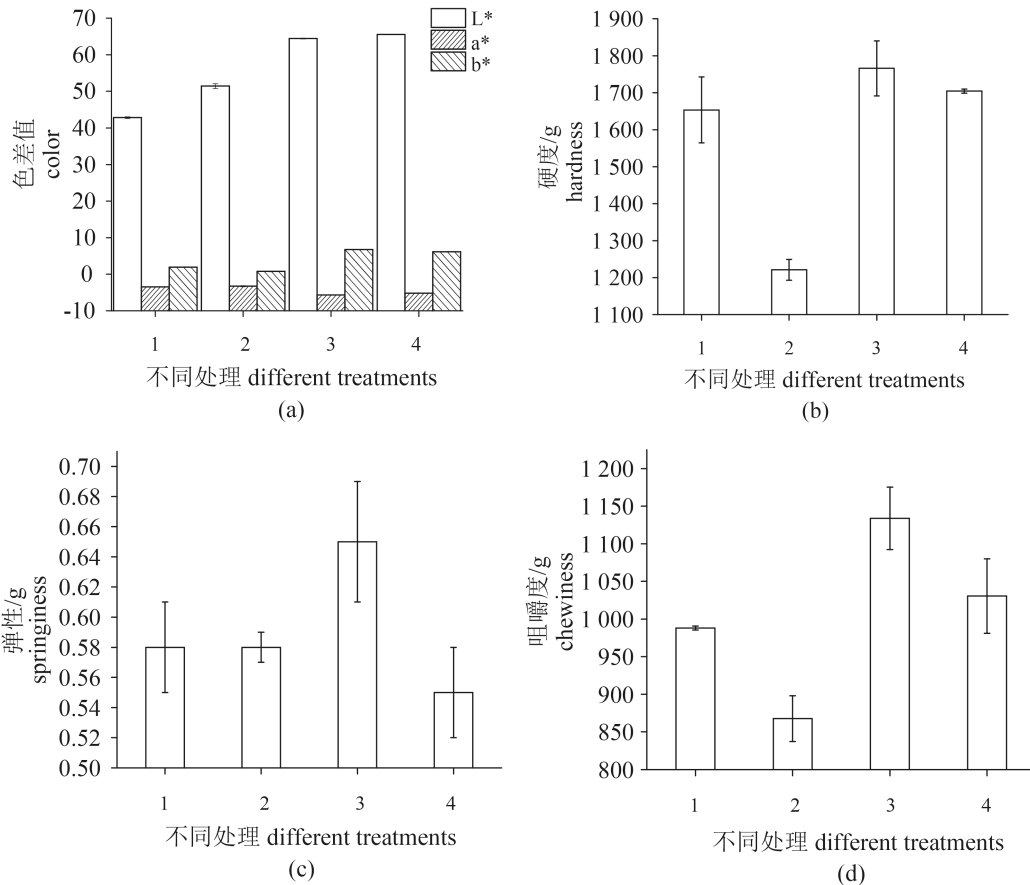


图1 不同处理方式对花鲈肉色泽(a)、硬度(b)、弹性(c)和咀嚼度(d)的影响

1. 空白; 2. 6-姜酚; 3. 200 MPa; 4. 6-姜酚+200 MPa

Fig. 1 Effects of different treatments on color (a), hardness (b), springiness (c) and chewiness (d) of Japanese seaperch muscles

1. control; 2. 6-gingerol; 3. 200 MPa; 4. 6-gingerol+200 MPa

组, 而弹性对比空白组变化趋势不明显, 这可能由于鱼肉经6-姜酚浸泡后, 肌肉组织的水分有所增加; 200 MPa处理组的硬度、弹性和咀嚼度都明显高于空白组, 这可能是由于超高压处理导致了肌肉组织内的水分状态发生变化, 也有可能是由于超高压诱导肌球蛋白分子聚集变性所导致<sup>[23]</sup>。而6-姜酚浸泡+200 MPa处理组的硬度、咀嚼度低于空白组, 弹性显著低于空白组。(图1-b~d)。

## 2.2 电子鼻对不同处理方式花鲈肉挥发性气味分析

电子鼻技术是一种操作简单、快速、准确的无损技术, 它利用气体传感器阵列的响应曲线来识别样品的挥发性气味<sup>[24]</sup>, 具有灵敏度高、重现性好等优点<sup>[25]</sup>。近年来, 电子鼻技术得到迅速发展, 在肉品检测<sup>[26]</sup>、饮料识别<sup>[27]</sup>和水产加工<sup>[28-29]</sup>等

食品领域中得到广泛应用。不同处理方式下花鲈肉样品的风味轮廓之间存在显著差异, 响应值变化较为明显的传感器由大到小分别是R(7)、R(2)和R(6)(图2)。对比空白组, 6-姜酚浸泡处理的鱼肉样品中的氮氧化物R(2)、烷烃类R(6)和无机硫化物R(7)的含量明显降低, 延长了鱼肉样品中呈现臭味的时间; 200 MPa处理的鱼肉样品其氮氧化物R(2)和无机硫化物R(7)的含量显著升高, 烷烃类R(6)的含量明显降低; 而6-姜酚浸泡+200 MPa处理的鱼肉样品中的氮氧化物R(2)、无机硫化物R(7)的含量明显降低, 烷烃类R(6)的含量明显升高。

为进一步分析不同处理方式对花鲈肉样品中挥发性物质的影响, 采用PCA法对这些气味指纹数据进行数理统计。在电子鼻应用中, PCA分析是将所提取的传感器多指标信息进行数据转换和降维, 并

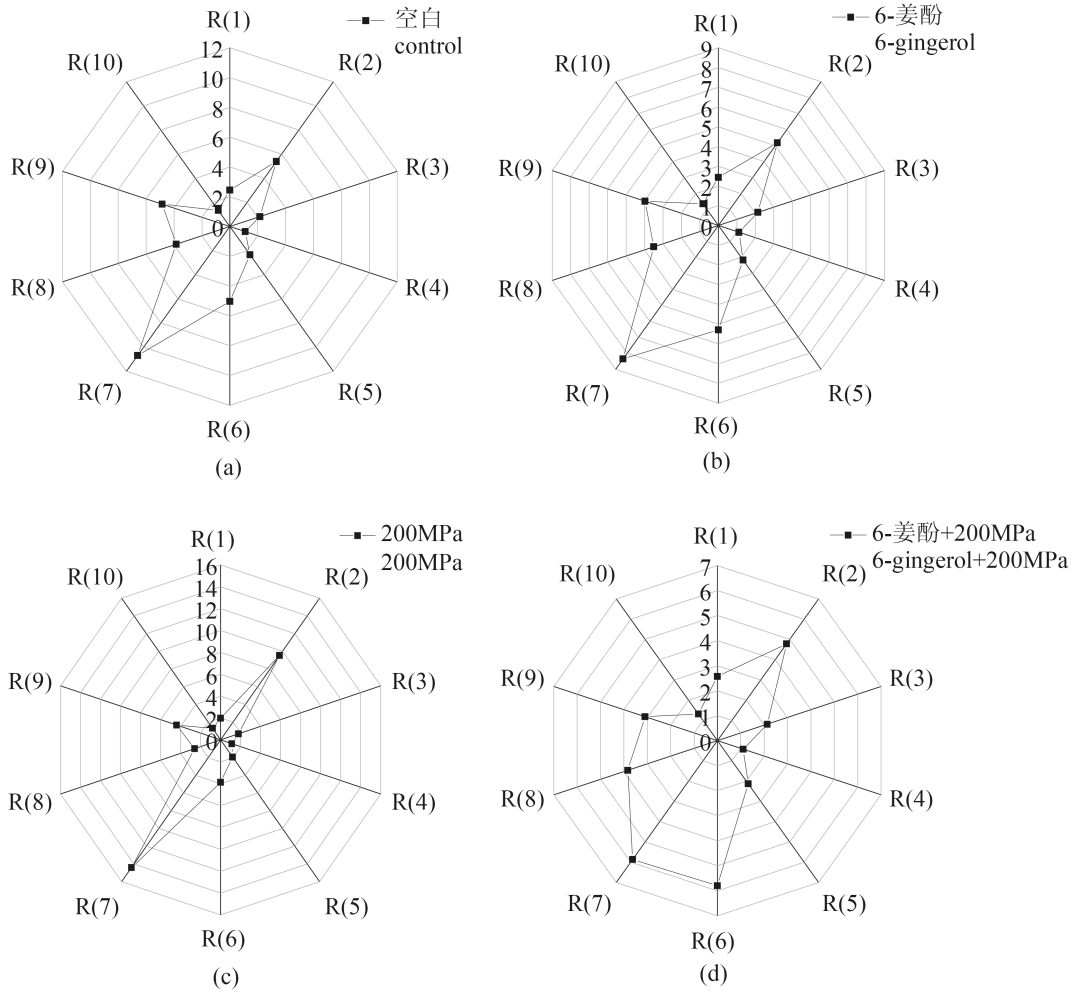


图 2 不同处理方式花鲈肉样品的气味感应强度雷达图

Fig. 2 Radar chart of odor in Japanese seaperch fillets at different treatments

对降维后的特征向量进行线性分类, 最后在PCA分析的散点图上显示主要的两维散点图<sup>[30]</sup>。PCA对原来具有信息重叠的多个指标进行线性组合, 使得这些综合指标间既互不相关, 又能反映原来多指标的信息<sup>[31]</sup>。主成分1和主成分2的贡献率分别为92.52%和4.97%, 总贡献率为97.49%, 表明样品整体差异信息能在上述主成分平面上充分展示, 不同处理方式的样品挥发性风味物质在PCA图中有特定的分布区域(图3)。4种处理方式没有重叠, 说明花鲈样品的挥发性风味物质发生了显著性变化。

### 2.3 气相色谱-质谱(GC-MS)分析结果

为明确不同处理方式下花鲈肉样品的挥发性风味物质的变化, 采用GC-MS对挥发性风味成分做进一步的分析 and 鉴定。在空白组、6-姜酚浸泡组、200 MPa处理组和6-姜酚浸泡+200 MPa处

理组的鱼肉中分别检测出43、40、49及30种主要的挥发性物质(表2)。

其他处理组的醇类物质的相对含量高于空白

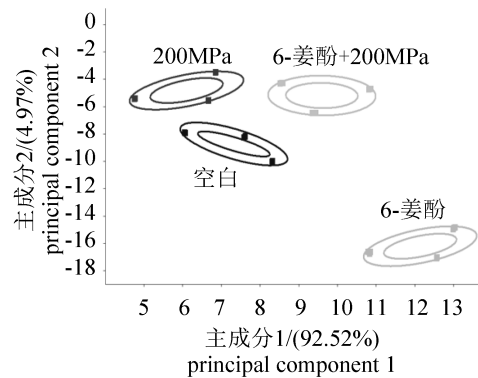


图 3 不同处理方式花鲈肉样品的PCA图

Fig. 3 PCA plot of Japanese seaperch fillets at different treatments

组(图4), 空白、6-姜酚浸泡、200 MPa处理和6-姜酚浸泡+200 MPa处理方式下的醇类物质相对含量分别为1.36%、1.41%、1.42%和3.46%(表3)。醇类物质一般对鱼类整体气味的贡献较小, 可能是由于其阈值较高的原因<sup>[32]</sup>。不饱和醇一般具有蘑菇香气, 虽然阈值较低, 但对鱼肉风味有

一定的作用<sup>[33]</sup>。醛类和酮类物质在水产品气味特征中起着重要的作用。醛类是花鲈主要的挥发性物质之一, 在空白、6-姜酚浸泡、200 MPa处理和6-姜酚浸泡+200 MPa处理组内分别检出6、8、6、5种醛类化合物, 其相对含量分别为14.7%、14.88%、13.07%和7.47%; 分别检出3、

表 2 不同处理组花鲈样品的挥发性成分种类及个数

Tab. 2 Chemical classes and number of volatile compounds in Japanese seaperch samples at different treatments

挥发性成分 volatile components	处理方式 treatment			
	空白 control	6-姜酚浸泡 6-gingerol soak	200 MPa处理 200 MPa treatment	6-姜酚+200 MPa处理 6-gingerol+200 MPa treatment
醇类 alcohol	3	2	5	2
醛类 aldehydes	6	8	6	5
酮类 ketones	3	2	2	2
酸类 acids	4	2	3	1
酯类 esters	3	5	6	3
烃类 hydrocarbon	5	8	12	4
芳香族类 aromatic series	13	8	9	4
含氮化合物 nitrogen compounds	6	4	5	6
其他化合物 others	0	1	1	3
合计 total	43	40	49	30

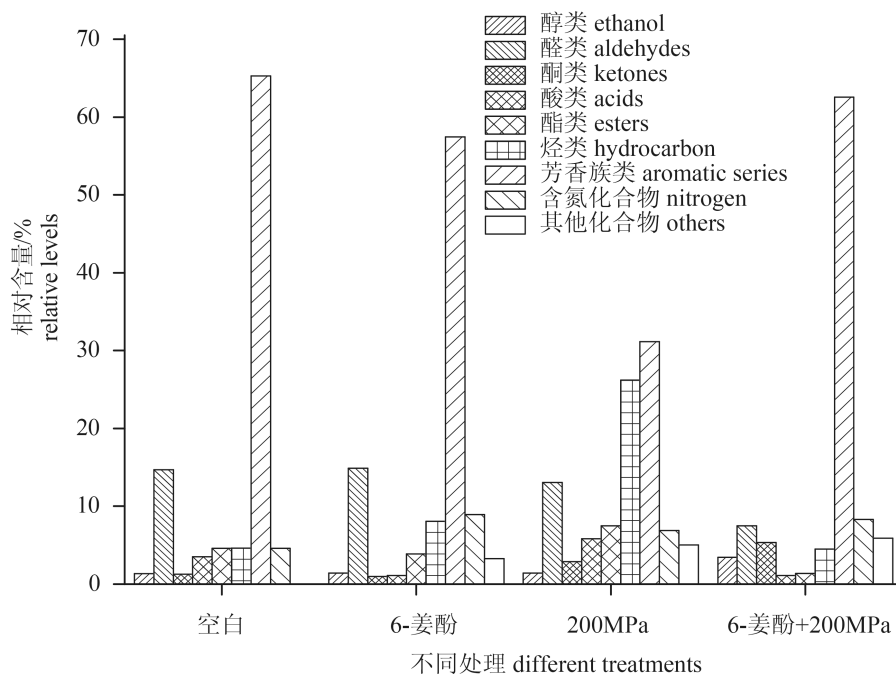


图 4 不同处理样品中各类挥发性成分相对含量的比较

Fig. 4 Comparison of relative amount of volatile compounds in Japanese seaperch muscle samples at different treatments

表 3 不同处理组样品的挥发性风味成分分析

Tab. 3 Analysis of volatile flavor components of the samples at different treatments

分类 classify	保留时间/min retention time	化合物名称 name of compound	相对含量/% relative levels			
			空白 control	6-姜酚 6-gingerol	200 MPa 200MPa	6-姜酚+200 MPa 6-gingerol+200 MPa
醇类 ethanol	3.50	环戊醇	0.76	-	-	-
	15.77	1,4-环己二醇	0.43	-	-	-
	20.69	(1S, 4R)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇	0.17	-	-	-
	1.84	3-羟基-A-[ (甲基氨基) 甲基]-苜醇	-	1.26	-	-
	16.50	1-苜酮醇	-	0.15	-	-
	0.43	乙硫醇	-	-	0.06	0.09
	14.62	2-(十八氧基)乙醇	-	-	0.41	-
	14.68	1-癸醇	-	-	0.56	-
	21.60	正十二烷基硫醇	-	-	0.32	-
	28.78	2,5-二(1,1-二甲基乙基)-1,4-苯二醇	-	-	0.07	-
12.02	3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇	-	-	-	3.37	
醇类总量 amounts of ethanol			1.36	1.41	1.42	3.46
醛类 aldehydes	6.02	正己醛	6.26	-	-	-
	9.39	庚醛	2.28	3.78	3.19	2.18
	11.46	苯甲醛	0.91	0.58	0.89	0.72
	16.13	壬醛	4.00	5.36	6.01	2.74
	17.98	3-乙基苯甲醛	0.57	-	1.11	0.75
	19.20	癸醛	0.64	1.05	1.32	1.08
	12.86	正辛醛	-	2.43	-	-
	14.69	(E)-2-辛烯醛	-	0.82	-	-
	20.83	(E)-2-癸烯醛	-	0.44	-	-
	27.30	正十八醛	-	0.42	-	-
14.25	苯乙醛	-	-	0.55	-	
醛类总量 amounts of aldehydes			14.66	14.88	13.07	7.47
酮类 ketones	15.85	3,5-辛二烯-2-酮	0.43	-	2.40	-
	24.76	(E)-六氢化-3-甲基-2-苜酮	0.48	-	-	-
	25.88	(E)-6,10-二甲基-5,9-十一烷二烯-2-酮	0.34	-	-	-
	15.77	2-壬酮	-	0.83	-	-
	16.50	1-羟基苜酮	-	0.15	-	-
	21.71	2-十一烷酮	-	-	0.49	-
	12.27	3-甲基-4-壬酮	-	-	-	4.96
	14.98	苯乙酮	-	-	-	0.38
酮类总量 amounts of ketones			1.25	0.98	2.89	5.34
酸类 acids	3.57	2-酮丁酸	0.71	-	-	-
	37.15	十六烷酸	1.17	-	-	-
	40.55	(E)-9-十八烯酸	0.92	-	-	-
	40.86	硬脂酸	0.74	-	-	-
	20.39	2-氨基-5-甲基苯甲酸	-	0.53	-	-
	37.18	棕榈酸	-	0.58	-	-
	2.58	乙酸	-	-	4.65	1.11

· 续表3 ·

分类 classify	保留时间/min retention time	化合物名称 name of compound	相对含量/% relative levels			
			空白 control	6-姜酚 6-gingerol	200 MPa 200MPa	6-姜酚+200 MPa 6-gingerol+200 MPa
酸类总量 amounts of acids	20.59	2-氨基-4-甲基苯甲酸	-	-	0.17	-
	21.40	6-甲基吡啶-3-甲酸	-	-	1.01	-
			3.54	1.11	5.83	1.11
酯类 esters	2.50	亚硫酸二甲酯	4.42	-	0.74	-
	29.07	(N-甲基)-邻氨基苯甲酸丁酯	0.14	-	-	-
	35.26	邻苯二甲酸二丙酯	0.05	-	-	-
	0.99	氨基甲酸异丙酯	-	0.69	0.06	0.48
	3.06	三甲铵乙内酯	-	2.13	-	-
	24.41	3,4-二甲基苯甲酸甲酯	-	0.21	-	0.63
	24.90	2,4-二甲基苯甲酸甲酯	-	0.79	-	-
	35.26	邻苯二甲酸二丁酯	-	0.08	-	-
	2.29	2-吡啶甲酸乙酯	-	-	5.23	-
	24.15	3,5-二甲基苯甲酸甲酯	-	-	0.55	-
	27.30	(Z)-9-十八烯酸-(Z)-9-十八烯酯	-	-	0.45	-
	29.24	2-氨基苯甲酸丁酯	-	-	0.45	-
	19.63	3,4-二乙氧苯基氨基甲酸异丙酯	-	-	-	0.26
酯类总量 amounts of esters			4.61	3.90	7.48	1.37
烃类 hydrocarbon	14.61	5-甲基十一烷	0.25	-	-	-
	26.99	正二十烷	0.67	0.35	0.84	-
	31.62	正十七烷	0.64	-	-	-
	31.74	2,6,10,14-四甲基十五烷	2.78	1.89	4.51	2.47
	12.27	2,5-二甲基己烷	-	2.51	6.21	-
	26.78	正十五烷	-	0.46	-	-
	16.47	1-甲基-1,2-丙二烯丙烷	-	-	0.47	-
	23.33	异茨烷	-	-	0.45	-
	21.81	1-甲基萘	0.45	-	0.64	-
	22.25	2-甲基萘	-	-	0.52	-
	30.62	正十九烷	-	-	-	0.49
	26.68	2-甲基-6-(4-甲基)苯基-2-庚烯	0.31	-	-	-
	13.68	双戊烯	-	0.35	-	0.45
	15.85	1,3,6-辛三烯	-	0.53	-	-
	15.95	1,4-环辛二烯	-	0.27	-	-
	12.02	3,5,5-三甲基-2-己烯	-	1.70	5.54	-
	15.55	1,3-环辛二烯	-	-	6.16	-
	16.33	2,3-二甲基-1,4-戊二烯	-	-	0.35	-
	20.51	3-甲基-1-苯基-2-丁烯	-	-	0.17	-
	26.69	A-姜黄烯	-	-	0.37	-
	3.50	1-甲基-1-乙烯基环丙烯	-	-	-	1.09
烃类总量 amounts of hydrocarbon			5.10	8.06	26.23	4.50
芳香族类 aromatic series	5.07	甲苯	1.64	-	-	1.20
	14.42	1-甲基-3-丙基苯	0.26	-	-	-
	15.54	3,4,5-三甲基甲苯	0.32	-	-	-
	16.65	1,2,4,5-四甲苯	0.28	-	-	-



· 续表3 ·

分类 classify	保留时间/min retention time	化合物名称 name of compound	相对含量/% relative levels			
			空白 control	6-姜酚 6-gingerol	200 MPa 200MPa	6-姜酚+200 MPa 6-gingerol+200 MPa
	16.67	1, 2-二甲基-4-乙基苯	-	0.20	-	-
	16.66	2-乙基对二甲苯	-	0.26	0.26	-
	18.44	4-硝基邻二甲苯	-	0.13	0.16	-
	13.55	4-异丙基甲苯	-	-	-	0.19
	32.63	1-乙基-4-异丙基苯	-	0.03	-	-
	23.58	2-甲氧基-5-(2-丙烯基) 苯酚	58.53	54.35	-	-
	23.86	2-甲氧基-4-(2-丙烯基) 苯酚	1.34	0.30	0.81	-
	24.14	4-丙烯基-2-甲氧基苯酚	2.66	1.47	1.71	1.95
	27.43	2, 6-对二叔丁基对甲酚	0.12	-	-	-
	29.37	2, 5-二叔丁基对苯二酚	0.13	-	-	-
	32.89	3, 5-二-(1, 1-二甲基乙基)-1, 2-苯二酚	0.01	0.01	0.05	-
	34.97	2, 4-二叔丁基苯硫酚	0.01	-	0.02	-
	24.76	2, 6-二甲基-4-亚硝基苯酚	-	0.58	-	-
	27.43	二叔丁基-4-甲基苯酚	-	0.12	0.19	-
	23.56	1-甲基-5-(2-丙烯基) 苯酚	-	-	27.98	-
	23.58	3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	-	-	-	59.22
芳香族类总量 amounts of aromatic series			65.30	57.45	31.18	62.56
含氮化合物 nitrogen compounds	7.59	1-(苯基磺酰基) 吡咯	1.93	5.09	3.68	5.18
	13.72	四甲基丁二腈	1.35	-	1.46	0.93
	19.84	7H-二苯并咪唑	0.12	-	-	0.45
	22.01	N, N-二丁基甲酰胺	0.41	-	-	0.93
	27.71	1, 6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1, 2, 3, 4-四氢化萘	0.32	-	-	-
	13.75	2, 2-偶氮二(2-甲基丙腈)	-	0.64	-	-
	17.42	3, 4, 5, 6-二苯并咪唑	-	0.77	1.27	-
	3.57	1, 2-二甲基肼	-	2.44	-	-
	17.40	1, 2, 7, 8-二苯并咪唑	-	-	0.31	-
	40.86	2, 4-二甲基苯并噻啉	-	-	0.17	-
	17.06	1, 2, 5, 6-二苯并咪唑	-	-	-	0.76
	29.94	3-甲基-2-苯基咪唑	-	-	-	0.05
含氮化合物总量 amounts of nitrogen compounds			4.13	8.94	6.89	8.30
其他化合物 others	2.52	甲基磺酸酐	-	3.27	-	3.24
	3.38	异丁基乙烯基醚	-	-	5.01	-
	3.42	乙烯基异丁醚	-	-	-	1.93
	5.09	异戊基苯基醚	-	-	-	0.72
其他化合物总量 amounts of others			0	3.27	5.01	5.89

注: - 未检出

Notes: - the volatile components are undetected

2、2、2种酮类化合物, 其相对含量分别为1.25%、0.98%、2.89%和5.34%。在4种处理方式样品中都有庚醛、苯甲醛、壬醛和癸醛。而正

己醛仅在空白组检出; 正辛醛、(E)-2-辛烯醛、(E)-2-癸烯醛仅在6-姜酚浸泡组内检出; 苯乙醛仅在200 MPa处理组检出。醛类物质的阈值很

低,对鱼类总体气味特征有重要影响,其产生过程是多不饱和脂肪酸的氧化。其中庚醛具有果香<sup>[34]</sup>,壬醛具有鱼腥味<sup>[35]</sup>,苯甲醛具有令人愉悦的坚果香<sup>[36]</sup>,可能对鱼肉风味起加和作用。3-甲基-4-壬酮、苯乙酮仅在6-姜酚浸泡+200 MPa处理组检出,其相对含量分别为4.96%和0.38%。酮类物质一般都具有花香和果香味,对腥味有一定的增强作用,可能是由于不饱和脂肪酸的氧化所导致。

### 3 结论

本研究分析6-姜酚浸泡、200 MPa处理及6-姜酚浸泡+200 MPa处理方式对花鲈肉的色泽、质构特性及挥发性风味成分的影响。结果表明,6-姜酚浸泡+200 MPa处理组、200 MPa处理组和6-姜酚浸泡组的L\*值均高于空白组,其中6-姜酚浸泡+200 MPa处理组的L\*值最高,200 MPa处理组次之,这说明超高压和6-姜酚处理对改善鱼肉亮度有一定的协同效应。

6-姜酚浸泡组的硬度、咀嚼度显著低于空白组,而弹性对比空白组变化趋势不明显;200 MPa处理组的硬度、弹性和咀嚼度都明显高于空白组,而6-姜酚浸泡+200 MPa处理组的硬度、咀嚼度低于空白组,弹性显著低于空白组。

利用电子鼻系统快速、有效地区分不同处理方式下的花鲈肉风味变化,并结合HS-SPME(headspace-solid-phase microextraction)-GC-MS联用仪对鱼肉的挥发性成分进行分离和分析。从样品中分离出醇类、醛类、酮类、酸类、杂环类等挥发性成分,这些成分的组成和相对含量随不同处理方式发生变化,从而赋予不同处理方式下花鲈肉的特征风味。

### 参考文献:

- [1] Ahmad M, Benjakul S, Sumpavapol P, *et al.* Quality changes of sea bass slices wrapped with gelatin film incorporated with lemongrass essential oil [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 155(3): 171-178.
- [2] Cai L Y, Cao A L, Bai F L, *et al.* Effect of  $\epsilon$ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 62(2): 1053-1059.
- [3] 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 W, Tao N P, Gu S L. Research progress in characteristic odor compounds of fish meats [J]. *Food Science*, 2013, 34(11): 381-385 (in Chinese).
- [4] Chen C C, Rosen R T, Ho C T. Chromatographic analyses of gingerol compounds in ginger (*Zingiber officinale roscoe*) extracted by liquid carbon dioxide [J]. *Journal of Chromatography A*, 1986, 360: 163-173.
- [5] Singh A B, Akanksha, Singh N, *et al.* Anti-hyperglycaemic, lipid lowering and anti-oxidant properties of [6]-gingerol in db/db mice [J]. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2009, 1(12): 536-544.
- [6] Kim E C, Min J K, Kim T Y, *et al.* [6]-Gingerol, a pungent ingredient of ginger, inhibits angiogenesis in vitro and in vivo [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2005, 335(2): 300-308.
- [7] Ueki S, Miyoshi M, Shido O, *et al.* Systemic administration of [6]-gingerol, a pungent constituent of ginger, induces hypothermia in rats via an inhibitory effect on metabolic rate [J]. *European Journal of Pharmacology*, 2008, 584(1): 87-92.
- [8] 于艳静,锁然,于艳敏,等. 大孔吸附树脂纯化生姜中6-姜酚的研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(8): 155-160.  
Yu Y J, Suo R, Yu Y M, *et al.* Purification of 6-gingerol from zingibers with macroporus resin [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(8): 155-160 (in Chinese).
- [9] 甘晓玲. 超高压处理对南美白对虾虾仁的品质影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.  
Gan X L. Effect of high pressure treatment on the quality of white shrimp meat [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012 (in Chinese).
- [10] Hsu C P, Huang H W, Wang C Y. Effects of high-pressure processing on the quality of chopped raw octopus [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 56(2): 303-308.
- [11] Norton T, Sun D W. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2008, 1(1): 2-34.
- [12] 张敏,贺家亮. 超高压技术及其在食品工业中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(9): 175-177.  
Zhang M, He J L. Ultra high pressure technology and the application of it in food industry [J]. *Food Research and*

- Development, 2007, 28(9): 175-177 (in Chinese).
- [13] 郝梦甄, 胡志和. 超高压技术在水产品加工中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 298-304.  
Hao M Z, Hu Z H. Application of ultra high-pressure technology in aquatic product processing [J]. Food Science, 2012, 33(1): 298-304 (in Chinese).
- [14] McArdle R A, Marcos B, Kerry J P, *et al.* Influence of HPP conditions on selected beef quality attributes and their stability during chilled storage [J]. Meat Science, 2011, 87(3): 274-281.
- [15] Zabetakis I, Koulentianos A, Orruño E, *et al.* The effects of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds [J]. Food Chemistry, 2000, 71(1): 51-55.
- [16] Sampedro F, Geveke D J, Fan X T, *et al.* Effect of PEF, HHP and thermal treatment on PME inactivation and volatile compounds concentration of an orange juice-milk based beverage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 463-469.
- [17] Baxter I A, Easton K, Schneebeil K, *et al.* High pressure of Australian navel orange juices: Sensory analysis and volatile flavor profiling [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(4): 372-387.
- [18] Nasopoulou C, Stamatakis G, Demopoulos C A, *et al.* Effects of olive pomace and olive pomace oil on growth performance, fatty acid composition and cardio protective properties of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1108-1113.
- [19] Buonocore F, Randelli E, Trusolino P, *et al.* Molecular characterization, gene structure and antibacterial activity of a g-type lysozyme from the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. Molecular Immunology, 2014, 62(1): 10-18.
- [20] Scapigliati G, Buonocore F, Randelli E, *et al.* Cellular and molecular immune responses of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) experimentally infected with betanodavirus [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010, 28(2): 303-311.
- [21] 雒莎莎, 童彦, Jahangir M M, 等. 超高压处理对鳙鱼质构特性的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(5): 182-187.  
Luo S S, Tong Y, Jahangir M M, *et al.* Effects of high pressure processing on texture of *Aristichthys nobilis* muscle [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(5): 182-187 (in Chinese).
- [22] Grossi A, Søltoft J J, Knudsen J C, *et al.* Synergistic cooperation of high pressure and carrot dietary fibre on texture and colour of pork sausages [J]. Meat Science, 2011, 89(2): 195-201.
- [23] Ramirez S J C, Morrissey M T. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2006, 7(1-2): 19-27.
- [24] Amari A, El Bari N, Bouchikhi B. Electronic nose for anchovy freshness monitoring based on sensor array and pattern recognition methods: Principal components analysis, linear discriminant analysis and support vector machine [J]. International Journal of Computing, 2007, 6(3): 61-67.
- [25] 张玉玉, 黄明泉, 陈海涛, 等. 7种面酱的电子鼻和电子舌辨别分析[J]. 中国食品学报, 2012, 12(1): 198-204.  
Zhang Y Y, Huang M Q, Chen H T, *et al.* Discrimination and analysis of seven kinds of fermented flour paste by electronic nose and electronic tongue [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(1): 198-204 (in Chinese).
- [26] Ghasemi V M, Mohtasebi S S, Siadat M, *et al.* Meat quality assessment by electronic nose (Machine Olfaction Technology) [J]. Sensors, 2009, 9(8): 6058-6083.
- [27] Farnworth E R, Mckellar R C, Chabot D, *et al.* Use of an electronic nose to study the contribution of volatiles to orange juice flavor [J]. Journal of Food Quality, 2002, 25(6): 569-576.
- [28] Di Natale C, Olafsdottir G, Einarsson S, *et al.* Comparison and integration of different electronic noses for freshness evaluation of cod-fish fillets [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2001, 77(1-2): 572-578.
- [29] 赵梦醒, 曹荣, 殷邦忠, 等. 电子鼻在对虾新鲜度评价中的应用[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 57-62.  
Zhao M X, Cao R, Yin B Z, *et al.* Application of electronic nose in freshness evaluation of shrimp [J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(6): 57-62 (in Chinese).
- [30] Xu S, Zhou Z Y, Lu H Z, *et al.* Improved algorithms for the classification of rough rice using a bionic electronic nose based on PCA and the wilks distribution [J]. Sensors, 2014, 14(3): 5486-5501.
- [31] Labreche S, Bazzo S, Cade S, *et al.* Shelf life determination by electronic nose: application to milk [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106(1): 199-206.
- [32] Selli S, Cayhan G G. Analysis of volatile compounds of

- wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [J]. *Microchemical Journal*, 2009, 93(2): 232-235.
- [33] 王璐, 王锡昌, 刘源. 草鱼不同部位气味研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(6): 158-164.
- Wang L, Wang X C, Liu Y. Comparative analysis of odor and volatile composition of different parts of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) carcass [J]. *Food Science*, 2010, 31(6): 158-164 (in Chinese).
- [34] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424.
- [35] 张青, 王锡昌, 刘源. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉测量联用初探鲢肉的挥发性风味物质[J]. *水产学报*, 2009, 33(4): 692-696.
- Zhang Q, Wang X C, Liu Y. Preliminary study on volatile flavor compounds of silver carp meat by HS-SPEM coupled with GC-MS and GC-O [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(4): 692-696 (in Chinese).
- [36] 李淑荣, 王丽, 张春红, 等. 烘烤花生中关键香味化合物的研究[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(15): 3199-3203.
- Li S R, Wang L, Zhang C H, *et al.* Analysis of the key odorants of roasted peanut [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(15): 3199-3203 (in Chinese).

## Effect of ultra-high pressure combined with 6-gingerol processing on volatiles in Japanese seaperch (*Lateolabrax japonicus*)

CAI Luyun<sup>1,2</sup>, MA Shuai<sup>1</sup>, CAO Ailing<sup>3</sup>, FENG Jianhui<sup>1</sup>, BI Xiaomin<sup>1</sup>, MENG Dandan<sup>1</sup>, LI Jianrong<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering of Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural Products, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China; 2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Xiaoshan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hangzhou 311208, China)

**Abstract:** In order to reveal the effects of ultra-high pressure combined with 6-gingerol on volatiles in Japanese seaperch and promptly grasp the quality changes of Japanese seaperch fillets, the effects of ultra-high pressure (200 MPa) combined with 6-gingerol on quality and volatiles in Japanese seaperch were examined by electronic nose and headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Changes of color, structure features and volatiles in Japanese seaperch were assessed for treated groups and control group. The results indicated that the effects of ultra-high pressure combined with 6-gingerol on the quality of Japanese seaperch were significantly better than other groups. Color and structure features were also improved effectively. Electronic nose could distinguish the flavor characteristics of Japanese seaperch fillets at different treatments. Principal component analyses (PCA) showed that the noticeable difference between undeodorized and deodorized samples could be well discriminated by electronic nose. The analyses of GC-MS showed that the volatile components of Japanese seaperch fillets at different treatments changed significantly. There are 43, 40, 49 and 30 kinds of volatile substances in control, 6-gingerol, 200 MPa and 6-gingerol combined with 200 MPa groups respectively, including ethanol, aldehydes, ketones, acids, esters, hydrocarbon compounds, aromatic series and nitrogen containing compounds, etc. All these component differences resulted in their flavor style differences.

**Key words:** Japanese seaperch; 6-gingerol; ultra-high pressure; volatile components; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry

**Corresponding author:** LI Jianrong. E-mail: lijr6491@163.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31401478, 31471639); National Postdoctoral Science Foundation of China (2015M570760); the National Key Technologies R&D Program of China during the 12th Five-Year Plan Period (2012BAD29B06); the Science and Technology Project of Liaoning Province (2015103020); Postdoctoral Special Funding of Chongqing City (Xm2015021)