

栉孔扇贝柱和扇贝裙边中挥发性物质的比较分析

黄忠白¹, 丁媛¹, 黄健², 张迪骏¹, 孙婷婷¹, 何珊¹, 周君¹, 李晔¹, 张春丹¹, 苏秀榕^{1*}
(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 北京普析通用仪器有限责任公司, 北京 101200)

摘要: 目的: 探究栉孔扇贝柱和扇贝裙边在不同温度条件下的挥发性风味物质变化及两者的差异, 为其加工提供参考。方法: 运用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱 (headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometer, HS-SPME-GC-MS) 联用仪对挥发性物质变化进行检测和分析。结果: 电子鼻能够检测不同组织气味的变化, 两者在新鲜与加热后的气味发生明显变化, 最终利用HS-SPME-GC-MS分别从新鲜、90 °C和120 °C的扇贝柱和扇贝裙边中鉴定出16、20、7种和18、18、20种挥发性物质, 主要有醇类、酮类、醛类、酯类、烃类等化合物。结论: 新鲜、90 °C和120 °C的栉孔扇贝柱和扇贝裙边共有的挥发性物质分别为11、12、6种, 存在差异的物质分别有13、14、15种。丙酸戊酯、3-甲硫基丙醇和1-辛烯-3-醇在两者中的相对含量较高但是差距较明显, 使得两者的风味有差异。电子鼻与HS-SPME-GC-MS结合使用后可以分析不同加热温度条件下扇贝柱和扇贝裙边挥发性物质的相对含量的变化及差异。

关键词: 栉孔扇贝; 挥发性物质; 电子鼻; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用仪

Comparison of Volatile Substances in Scallop Adductors and Skirts of *Chlamys farreri*

HUANG Zhongbai¹, DING Yuan¹, HUANG Jian², ZHANG Dijun¹, SUN Tingting¹, HE Shan¹, ZHOU Jun¹, LI Ye¹,
ZHANG Chundan¹, SU Xiurong^{1*}

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Beijing Purkinje General Instrument Co. Ltd., Beijing 101200, China)

Abstract: Objective: To examine and compare changes of volatile substances in different parts of the scallop *Chlamys farreri* with different heating temperatures and consequently provide a theoretical reference for *Chlamys farreri* processing. Methods: The changes of volatile substances were detected and analyzed by electronic nose and headspace solid-phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Results: The electronic nose was sensitive enough to detect the changes of odor characteristics during thermal processing. Odor of fresh scallop adductors and skirts changed significantly when they were heated. A total of 16, 20, 7 and 18, 18, 20 volatile substances in scallop adductors and skirts, respectively, were identified when fresh samples and those heated at 90 and 120 °C were detected by HS-SPME-GC-MS. The major volatile compounds include alcohols, ketones, aldehydes, ester and hydrocarbon. Conclusion: There were 11, 12 and 6 common volatile substances in fresh samples and those heated at 90 and 120 °C, respectively, and the contents of 13, 14 and 15 volatile substances varied between scallop adductors and skirts. Electronic nose combined with HS-SPME-GC-MS permits the analysis of the changes of volatile substance in scallop adductors and skirts at different heating temperatures.

Key words: *Chlamys farreri*; volatile substances; electronic nose; headspace solid phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604018

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 04-0098-05

引文格式:

黄忠白, 丁媛, 黄健, 等. 栉孔扇贝柱和扇贝裙边中挥发性物质的比较分析[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 98-102.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604018. <http://www.spkx.net.cn>

HUANG Zhongbai, DING Yuan, HUANG Jian, et al. Comparison of the volatile substances in scallop and scallop skirt of *Chlamys farreri*[J]. Food Science, 2016, 37(4): 98-102. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604018. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-06-10

基金项目: 海洋公益性行业科研专项 (201005016); 常见检测物质及海产检测方法开发项目 (HK2013000083); 宁波市重点项目 (2008C10020)

作者简介: 黄忠白 (1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品检测与研发。E-mail: 397027427@qq.com

*通信作者: 苏秀榕 (1956—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学与工程、生物化学与分子生物学。

E-mail: suxiurong@nbu.edu.cn

栉孔扇贝属软体动物门 (Mollusca)、双壳纲 (Bivalvia)、珍珠贝目 (Pteriooda)、扇贝科 (Pectinidae), 俗名干贝蛤。我国栉孔扇贝养殖主要在北方, 其中山东沿海、辽宁沿海地区有大量的养殖^[1]。

栉孔扇贝肉质鲜美, 营养丰富, 具有重要的使用价值和经济价值, 是人类理想的营养食品^[2-3]。其闭壳肌加工的扇贝柱, 是国际公认的高档水产品, 被列入八珍之一。而扇贝裙边是加工生产贝柱所产生的附属产品, 约占整个扇贝的30%, 它具有扇贝所特有的海鲜味道, 在以往的加工中, 大多数被作为附加值低的动物饲料利用或被作为废料而丢弃, 并没有得到充分有效的利用^[4-5]。这不仅极大地浪费了海洋蛋白资源还会造成污染环境。近十几年来, 我国的扇贝养殖业发展迅速, 在规模和产量上均居世界第一位, 扇贝柱加工过程中产生的大量裙边的利用也引起了人们的广泛关注。杨秀敏等^[6]用顶空固相微萃取 (headspace solid-phase micro extraction, HS-SPME) 与气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术分析了2种扇贝水解液的风味物质。检测结果显示, 利用风味蛋白酶水解碎贝柱的水解液有51种风味物质, 利用枯草杆菌中性蛋白酶和风味蛋白酶分段水解碎贝柱的水解液有34种风味物质。胡珊珊等^[7]利用SPME-GC-MS法和高效液相色谱法研究灭菌前后扇贝沙司中挥发性成分和游离氨基酸的变化。发现灭菌前后分别鉴定出挥发性成分为16种和27种, 其中共有10种相同的挥发性成分。孙玉亮等^[8]采用SPME-GC-MS联用技术对发酵前后扇贝豆酱的香气成分进行了分析。结果表明, 在发酵前、后的扇贝豆酱中分别鉴定出60种和100种香气成分。

本实验运用电子鼻检测技术对新鲜及不同加热温度条件下栉孔扇贝柱和扇贝裙边的气味进行研究, 还结合HS-SPME-GC-MS分析不同温度条件下扇贝柱和扇贝裙边挥发性物质的组成, 为栉孔扇贝产品进一步的开发利用提供理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

市购带壳鲜活栉孔扇贝, 将其洗净, 分离出扇贝柱和扇贝裙边备用。乙腈、甲醇 (均为色谱级) 宁波奥博科学仪器有限公司。

1.2 仪器与设备

PEN3便携式电子鼻系统 德国Airsense公司; QP2010 GC-MS联用仪 日本岛津公司; 65 μm 聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 萃取头 美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

取扇贝柱和扇贝裙边粉碎, 分别称取0.2 g放入样品瓶中, 拧紧瓶口, 在70、80、90、100 $^{\circ}\text{C}$ 和120 $^{\circ}\text{C}$ 条件下加热30 min, 取出待测, 同时分别取0.2 g新鲜扇贝柱和扇贝裙边待测。每个温度做5个平行样品。

1.3.2 电子鼻检测

将样品从恒温干燥箱中取出, 冷却30 min后利用电子鼻检测, 清洗时间300~500 s, 数据采集时间为199 s和200 s。

1.3.3 GC-MS分析

SPME条件: 将萃取头在GC的进样口250 $^{\circ}\text{C}$ 条件下老化45 min。萃取头插入样品瓶于60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴吸附30 min后移进GC-MS联用仪进样口于250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸2 min。

GC条件: VOCOL毛细管色谱柱 (60 m \times 0.32 mm, 1.8 μm); 载气: He, 流速0.3 mL/min; 不分流模式进样, 恒压35 kPa; 进样口温度与接口温度均为210 $^{\circ}\text{C}$, 检测温度210 $^{\circ}\text{C}$; 程序升温: 起始柱温35 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min, 以3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至40 $^{\circ}\text{C}$, 保留1 min, 再以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至210 $^{\circ}\text{C}$, 保持25 min。

MS条件: 电子电离源; 电子能量70 eV; 离子源温度200 $^{\circ}\text{C}$; 质量扫描范围45~500 u。

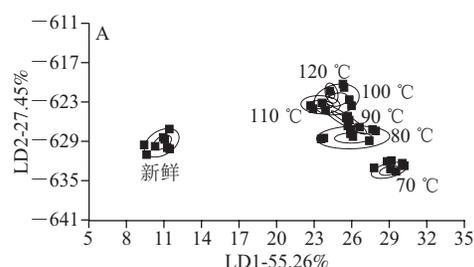
1.4 数据处理

电子鼻测定结果采用线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA), LDA是将所提取的传感器多指标的信息进行数据转换和降维, 并对降维后的特征向量进行线性分类, 最后在LDA散点图上显示主要的二维散点图。一般情况下, 总贡献率超过70%~85%的方法即可使用^[9]。

GC-MS检测结果通过计算机检索, 利用NIST和Wiley谱库相互匹配进行定性分析。将谱库中化合物相似度低于80 (最大值为100) 的组分标为未鉴定出。各组分相对含量按照峰面积归一化法计算^[10-11]。

2 结果与分析

2.1 温度对气味的影响



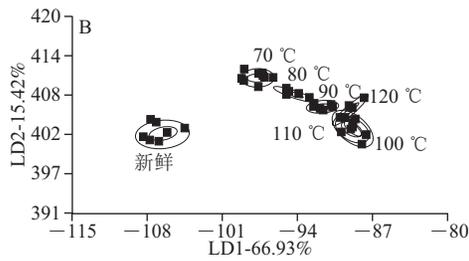


图1 不同温度扇贝柱 (A) 和扇贝裙边 (B) 的LDA分析结果

Fig.1 LDA analysis of scallop adductors (A) and skirts (B) heated at different temperatures

如图1A所示, 扇贝柱的LDA总贡献率为82.71%。图中每个椭圆代表不同温度条件下扇贝柱和扇贝裙边的数据采集点。随着温度的变化, 扇贝的挥发性气味会呈现一定的聚类现象, 数据分布越紧密, 挥发性气味越相似。由此可知, 加热后的扇贝柱与新鲜的扇贝柱相比挥发性气味发生明显变化, 而经100、110 °C和120 °C加热的扇贝柱挥发性气味重叠在一起。

如图1B所示, 对不同温度条件下扇贝裙边挥发性气味成分进行LDA总贡献率为82.35%。70、80 °C和90 °C的挥发性气味较为相似; 而100、110 °C和120 °C的挥发性气味重叠在一起, 新鲜的扇贝裙边挥发性气味则明显有别于其他温度。

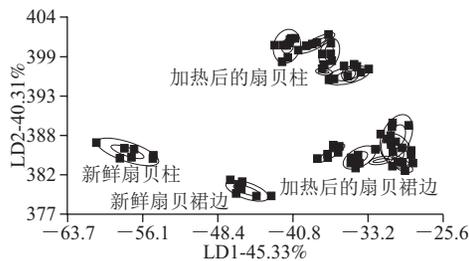


图2 扇贝柱和扇贝裙边的挥发性气味对比图

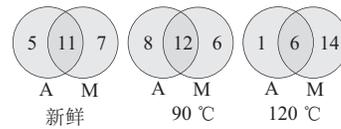
Fig.2 Comparison of volatility flavor in scallop adductors and skirts

由图2可以看出, 扇贝柱和扇贝裙边的挥发性气味分布在不同区域且没有重叠, 但经过加热的扇贝柱和扇贝裙边与新鲜的相比数据区域的分布距离有所减小。由此可以得出扇贝柱和扇贝裙边的挥发性物质存在一定差异, 所以选择新鲜、90 °C和120 °C处理的扇贝柱和扇贝裙边用GC-MS对其挥发性风味物质做进一步鉴定和分析。

2.2 温度对挥发性成分的影响

由GC-MS流出峰经NIST和Wiley谱库检索, 新鲜扇贝柱、90 °C和120 °C加热扇贝柱分别鉴定出16、20种和7种挥发性成分。新鲜扇贝裙边、90 °C和120 °C加热扇贝裙边分别鉴定出18、18种和20种挥发性成分。其中的挥发性成分主要有醇类、酮类、醛类、酯类、烃类等化合物。对两者的挥发性物质种类进行比较, 如图3所示, 新

鲜的扇贝柱和扇贝裙边有11种物质相同, 90 °C条件下的扇贝柱和扇贝裙边有12种物质相同, 在120 °C条件下两者的挥发性物质差异性较大共有的物质只有6种, 扇贝裙边独有的物质有14种。



A.扇贝柱; M.扇贝裙边。

图3 扇贝柱和扇贝裙边的挥发性物质种类分析

Fig.3 Volatile species analysis of scallop adductors and skirts

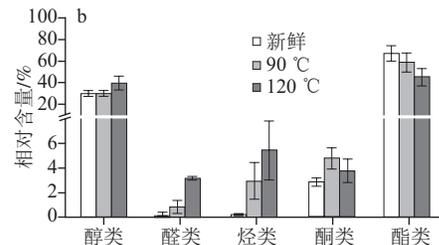
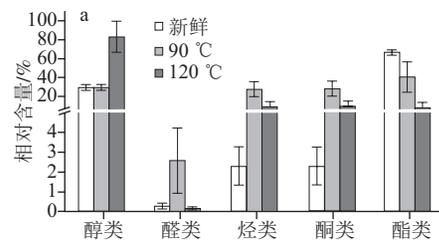


图4 不同温度条件下扇贝柱 (a) 和扇贝裙边 (b) 的挥发性物质对比

Fig.4 Comparison of volatile compounds in scallop adductors and skirts before and after heat treatments at different temperatures

扇贝柱和扇贝裙边的挥发性成分变化如图4和表1所示。新鲜的扇贝柱和扇贝裙边中酯类物质所占的比例最大且相对含量几乎相同, 随着温度的升高, 扇贝柱中酯类物质相对含量逐渐减少, 从66.62%降到7.57%; 扇贝裙边中酯类物质相对含量也有所减少, 从67.06%减少到45.34%。醇类物质的相对含量次之, 两者中的醇类物质相对含量大体呈上升趋势, 扇贝柱相对含量从28.92%增加到82.86%; 扇贝裙边在3个温度条件下的相对含量分别是29.11%、30.44%、40.56%。新鲜的扇贝柱中烃类物质占到2.29%, 加热到90 °C后烃类物质达到27.45%, 继续加热到120 °C后烃类含量则减少到8.37%; 而扇贝裙边中的烃类物质相对含量从0.17%增加到5.43%。扇贝柱和扇贝裙边中的酮类物质和醛类物质的相对含量较少, 随温度变化不明显, 扇贝柱呈微小的先增后减趋势; 扇贝裙边呈小幅度的增加趋势。

表1 扇贝柱和扇贝裙边挥发性物质的GC-MS分析结果
Table 1 Results of GC-MS analysis of volatile compounds in scallop adductors and skirts

化合物组分名称	新鲜		90 °C		120 °C		%
	扇贝柱	扇贝裙边	扇贝柱	扇贝裙边	扇贝柱	扇贝裙边	
1-辛烯-3-醇	—	13.13	3.35	11.64	—	9.06	
3-甲硫基丙醇	6.00	3.58	13.45	3.88	82.46	14.40	
3-辛醇	2.21	—	2.16	0.58	0.40	0.27	
1,5-己二烯醇	—	—	1.43	—	—	—	
1-庚烯-3-醇	—	0.04	—	0.04	—	—	
1-戊烯-3-醇	0.27	0.22	0.38	0.13	—	0.04	
2-环己基乙醇	—	—	—	—	—	0.77	
2-戊烯-1-醇	—	—	0.12	—	—	—	
2-辛烯-1-醇	0.17	0.10	5.85	—	—	—	
丁烯醇	8.69	—	—	—	—	—	
反-2-辛烯-1-醇	3.39	5.54	—	—	—	6.21	
-3-己烯-1-醇	—	1.35	—	—	—	—	
环丁基甲醇	—	0.06	—	—	—	—	
1,4-环己烷二甲醇	8.02	5.06	—	14.12	—	9.82	
己醇	0.13	—	0.57	—	—	—	
顺-2-戊烯-1-醇	0.05	0.03	—	0.05	—	—	
异戊醇	—	—	0.07	—	—	—	
醇类	28.92	29.11	27.38	30.44	82.86	40.56	
2-庚酮	—	—	—	—	—	0.09	
2-壬酮	0.08	0.07	0.43	0.09	—	0.12	
3,5-辛二烯-2-酮	0.24	0.22	0.07	—	—	0.28	
3-庚烯-2-酮	—	—	—	—	—	0.11	
3-戊酮	—	0.02	—	0.15	—	—	
6-甲基-3-庚酮	—	—	—	0.21	—	—	
丙酮	—	2.56	0.35	4.40	0.20	3.18	
酮类	0.33	2.88	0.84	4.84	0.20	3.77	
3,5,5-三甲基-2-己烯	2.17	—	27.03	2.82	8.37	5.43	
4-甲基-1-戊烯	0.12	0.17	0.12	0.12	—	—	
正十一烷	—	—	0.31	—	—	—	
烃类	2.29	0.17	27.45	2.94	8.37	5.43	
庚醛	0.18	0.05	1.33	0.26	—	0.92	
己醛	—	0.05	—	0.16	—	0.18	
壬醛	0.05	—	0.97	0.04	—	—	
顺-4-庚烯醛	—	—	0.27	0.38	0.11	2.10	
醛类	0.23	0.10	2.56	0.83	0.11	3.20	
丙酸戊酯	66.62	67.06	40.13	58.80	7.57	45.30	
乙酸丙炔酯	—	—	—	—	—	0.05	
酯类	66.62	67.06	40.13	58.80	7.57	45.34	
2-乙基呋喃	—	—	0.19	—	—	0.25	
2-正戊基呋喃	—	—	—	—	—	0.58	
呋喃类	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.83	
丙烯酸	—	—	—	—	0.47	—	
酸类	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	

注：—未检出。

由表1可知，酯类物质是扇贝柱和扇贝裙边的主要挥发性风味物质，该类物质是发酵或脂质代谢产物生成的羧酸和醇的酯化作用的产物^[12]，赋予食品甜香、水果香、花香^[13-14]。扇贝柱和扇贝裙边酯类物质中主要是丙酸戊酯，其具有类似苹果的芳香气味。新鲜的扇贝柱和扇贝裙边都呈现出浓郁的果香和腥味，随着温度升高，丙酸戊酯相对含量逐渐减少，果香和腥味也逐渐减弱。

一般来说，醇类物质具有较高的阈值，对食品的风味贡献不大^[15]。扇贝柱和扇贝裙边鉴定的醇类物质中都含有3-甲硫基丙醇，且随着温度的升高，3-甲硫基丙醇的相对含量明显增加，该物质具有强烈的洋葱、肉臭味，稀释会出现酱油气味，它增多会破坏新鲜扇贝柱和扇贝裙边的芳香气味^[16-17]。扇贝裙边的醇类物质还有1-辛烯-3-醇、1-戊烯-3-醇等。1-辛烯-3-醇作为一种亚油酸氢过氧化物的降解产物，会使扇贝裙边产生类似蘑菇的气味。

3,5,5-三甲基-2-己烯是扇贝柱中主要的烃类物质，通常大多数烃类物质具有清香和甜香的风味，特别是具有支链的烷烃。这类烷烃是由脂质衍生出来的，对海产贝类风味的产生起非常重要的作用。但是烃类化合物阈值一般较高，对食品风味贡献较小，除非它以高浓度形式存在^[18-19]。

醛类化合物一般通过多不饱和脂肪酸在酶和微生物的作用下发生氧化降解而生成。该类化合物有令人不快的刺激性气味^[20]。根据分析结果发现，相对于扇贝柱而言，醛类物质在扇贝裙边的挥发性物质中所占比例更小。扇贝柱中的醛类物质有庚醛、壬醛。这两种醛具有强烈的油脂气味和鱼腥味，是扇贝柱腥味的主要成分^[21-22]。

3 讨论

通过电子鼻结合HS-SPME-GC-MS分析发现，栉孔扇贝的挥发性物质复杂且多变，加热对于其风味产生较大影响。新鲜的扇贝柱和扇贝裙边的挥发性物质组成基本相同，主要挥发性物质都是醇类和酯类这两类物质。经过加热后，两者的挥发性物质组成发生了明显的变化。经90 °C加热后，扇贝柱的主要挥发性物质是醇类、烃类和酯类，分别占27.38%、27.45%和40.13%；扇贝裙边的主要挥发性物质是醇类和酯类，分别占30.44%和58.80%，而其烃类物质只占2.94%。120 °C时，扇贝柱中醇类物质占82.86%，酯类物质占7.57%；扇贝裙边中醇类物质占40.56%，酯类物质占45.34%。酯类物质是使扇贝产生腥味^[23]的主要原因，随着温度的升高，扇贝柱中的酯类物质大量减少，而扇贝裙边的酯类物质减少缓慢，说明扇贝裙边的腥味更大，其腥味的去除比较不易。醇类物质的增加，会产生熟肉味^[24]。加热扇贝柱，其醇类物质大量增加，熟肉味明显；而扇贝裙边中醇类物质增加幅度较小，依旧存有生味。

扇贝柱和扇贝裙边共有的挥发性风味物质有16种。其中，相对含量较高且差别较大的挥发性物质主要有3种，分别为丙酸戊酯、3-甲硫基丙醇和1-辛烯-3-醇。新鲜的扇贝柱和扇贝裙边中丙酸戊酯及3-甲硫基丙醇的相对含量差别不大，但经90 °C和

120 ℃加热后,其相对含量差距变大,丙酸戊酯在扇贝裙边中的相对含量比在扇贝柱中高出了18.67%和37.73%;3-甲硫基丙醇的相对含量随着加热温度的升高而增加,在扇贝柱中的增加量明显高于扇贝裙边。而1-辛烯-3-醇在扇贝裙边中相对含量较高,但在扇贝柱中相对含量甚少,仅在90 ℃时检出。

随着温度的升高,丙酸戊酯在扇贝柱中的相对含量明显减少,但在扇贝裙边中相对含量变化不大,使得加热后的扇贝裙边依然具有果香,这也许是它加热后依然有生味的原因。扇贝裙边中的3-甲硫基丙醇的相对含量随温度增加的变化不明显,说明温度的升高不会使扇贝裙边具有熟的肉汤味,扇贝裙边的加工也许比扇贝柱需要更高的温度。1-辛烯-3-醇在扇贝裙边中含量较高,且随着温度的升高,含量虽然减少但差异变化较小,该物质具有辣的辛味和油腻的气息,普遍存在于干鱼的挥发性香味物质中^[25],这是导致扇贝裙边和扇贝柱风味差异的原因之一。

4 结论

电子鼻可快速、有效地区分不同温度处理的栉孔扇贝柱和扇贝裙边。扇贝柱和扇贝裙边中鉴定出醇类、烃类、酯类、酮类、醛类等物质相对含量随着加热温度发生变化,从而赋予了扇贝柱和扇贝裙边不同的特征风味。新鲜的扇贝柱和扇贝裙边均具有果香,但扇贝裙边比扇贝柱腥味更重。经90 ℃和120 ℃加热后,扇贝柱和扇贝裙边的鲜香味减弱,扇贝柱呈现浓郁的肉味,但扇贝裙边依然存在腥味。因此,扇贝裙边在加工过程可以适当提高温度,来降低其腥味。扇贝裙边最适的加热温度还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 楼乔明,王玉明,徐杰,等. 栉孔扇贝和海湾扇贝脂质及其脂肪酸组成分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(11): 198-203.
- [2] CHUNG H Y, YUNG I K S, MA W C J, et al. Analysis of volatile components in frozen and dried scallops (*Patinopecten yessoensis*) by gas chromatography/mass spectrometry[J]. Food Research International, 2002, 35(1): 43-53. DOI:10.1016/S0963-9969(01)00107-7.
- [3] 王晓洁,刘新生,孙科深,等. 栉孔扇贝营养物的提取与分析[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 271-275. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2007.11.061.
- [4] 桑亚新,王向红,王苏,等. 扇贝裙边酶解工艺优化及其氨基酸分析研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(8): 78-86. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.08.012.
- [5] 赵美颖,王竹清,李八方. 栉孔扇贝性腺基本营养成分分析[J]. 齐鲁渔业, 2010, 27(12): 4-6.
- [6] 杨秀敏,王颢,孙剑锋. 不同方法制备的扇贝水解液风味物质及氨基酸含量的比较研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 201-209. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.03.028.
- [7] 胡珊珊,王颢,孙剑锋,等. 灭菌处理对扇贝沙司挥发性成分和游离氨基酸的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 257-261.
- [8] 孙玉亮,王颢. HS-SPME/GC-MS分析发酵前后扇贝豆酱中的香气成分[J]. 中国酿造, 2010, 34(11): 156-159. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2010.11.046.
- [9] 李芳,孙静,黄沁怡,等. 禽肉风味指纹和识别模型的建立[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 255-260.
- [10] 丁媛,周君,郑平安,等. 基于SPEM-GC-MS和电子鼻研究温度对毛蚶挥发性物质的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(12): 1873-1880. DOI:10.11869/hnxb.2013.12.1873.
- [11] PENNAZZA G, FANALI C, SANTONICO M, et al. Electronic nose and GC-MS analysis of volatile compounds in *Tuber magnatum* Pico: evaluation of different storage conditions[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 668-674. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.08.086.
- [12] 李伟青,王颢,孙剑锋,等. 贮存过程中即食贝柱风味成分分析[J]. 食品工业, 2011, 32(10): 103-105.
- [13] KEENAN D F, BRUNTON N P, MITCHELL M, et al. Flavour profiling of fresh and processed fruit smoothies by instrumental and sensory analysis[J]. Food Research International, 2012, 45(1): 17-25. DOI:10.1016/j.foodres.2011.10.002.
- [14] 缪芳芳,丁媛,蔺佳良,等. 应用电子鼻和气质联用仪研究不同采收季节浒苔的挥发性物质[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 258-263.
- [15] FRATINI G, LOIS S, PAZOS M, et al. Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME GC/MS[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 856-865. DOI:10.1016/j.foodres.2012.06.033.
- [16] 蔺佳良,缪芳芳,蔡江佳,等. 中华绒螯蟹不同部位挥发性物质的研究[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 259-269. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2014.02.0259.
- [17] 李书红,张海涛,王颢,等. 杀菌后即食扇贝柱挥发性成分变化的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 117-121.
- [18] 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. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.08.033.
- [19] 刘文,张悦容,张腾军,等. 牡蛎体液风味物质的GC-MS分析[J]. 核农学报, 2013, 27(1): 81-87. DOI:10.11869/hnxb.2013.01.0081.
- [20] 傅润泽,沈建,王锡昌. 底播虾夷扇贝活品流通前后挥发性成分的对比分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 110-113. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201502021.
- [21] 张亮,侯云丹,黄健,等. 加热温度对贻贝挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 227-233.
- [22] MORITA K, KUBOTA K, AISHIMA T. Investigating sensory characteristics and volatile components in boiled scallop aroma using chemometric techniques[J]. Food Chemistry, 2002, 78(1): 39-45. DOI:10.1016/S0308-8146(01)00340-5.
- [23] 魏巍. 扇贝酱发酵过程中主要理化指标及成品品质和抗氧化功能研究[D]. 保定:河北农业大学, 2014.
- [24] 王霞,黄健,侯云丹,等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- [25] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(2): 326-330. DOI:10.1016/S0315-5463(84)72511-9.