

即食贻贝加工过程中风味活性物质的分析

黄崇棱¹, 尹雪莲¹, 陆婷婷¹, 薛静^{1,2}, 戴志远^{1,2*}

¹浙江工商大学海洋食品研究院 杭州 310012

²浙江省水产品加工技术研究联合重点实验室 杭州 310012)

摘要 采用顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)分离、鉴定不同加工阶段贻贝的挥发性成分,并确定主体风味活性物质。结果表明:贻贝样品中共检出 83 种挥发性成分,癸醛、壬醛、苯甲醛、庚醛、己醛等醛类是主要的风味物质;新鲜贻贝的风味活性物质是癸醛、壬醛、庚醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、己醛和 2-壬酮,干制过程中的风味活性物质是癸醛、壬醛、苯甲醛、庚醛、己醛、2-戊基呋喃、2-十一酮和 2-壬酮。

关键词 贻贝; 气相色谱-质谱法(GC-MS); 挥发性风味成分; 固相微萃取; 相对气味活度值

文章编号 1009-7848(2023)10-0294-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.10.029

贻贝又称海虹,具有高蛋白、低脂质的特点,是集食、药、滋补为一体的海产珍品,享有“海中鸡蛋”的美誉^[1]。因其产量大、种类丰富而成为我国沿海地区常见的海产品^[2-3]。我国贻贝产量总体呈上升趋势,2020 年中国贻贝养殖产量为 88.69 万 t,同比上升 1.86%^[4]。然而,我国贻贝出口量较低,2019 年贻贝出口量为 1.09 万 t,仅占全球贻贝出口的 3.45%^[5]。近年来,我国出口贸易迅速发展,然而出口产品附加值较低,产品收益也相对较小^[6]。因此,对于如何提高产品附加值,开拓贻贝销售市场越来越受到关注。

目前在对食品风味的研究中,嗅觉是食品感官判定的一个重要影响因素,嗅觉系统将食品中的挥发性风味物质传递至味觉感受区,通过味觉和触觉的共同作用形成食品的味道^[7]。肉制品的挥发性风味即气味,对食品风味的研究有重要参考作用^[8-9]。本文采用固相微萃取法(Solid phase microextraction,SPME)提取贻贝中的挥发性风味物质,以气相色谱-质谱联用法(Gas chromatography and mass spectrometry,GC-MS)分析贻贝加工过程中的挥发性风味物质变化,旨在为即食贻贝加工工艺的优化及品质改良提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂 新鲜去壳贻贝,产于舟山嵊泗枸杞岛附近海域,浙江嵊泗华利水产有限公司(舟山),-18℃冷藏,备用。2-甲基-3-庚酮(分析纯),国药集团化学试剂有限公司,2℃冷藏,备用。

1.1.2 主要仪器与设备 75 μm CAR/PDMS 涂层萃取头,美国 Supelco 公司;Thermo Trace DSQ II 气-质谱联用仪,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;电热恒温鼓风干燥箱(DGG-9123A 型),上海森信实验仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 即食贻贝加工工艺 参考刘洪亮等^[10]和刘建等^[11]的加工方法,并在此基础上稍作改进:取出-18℃冷藏的去壳贻贝,待其自然解冻后,清洗干净;在含有 2.5%姜粉和 3.5%绿茶叶的混合脱腥液中,35℃下浸泡 2 h,脱腥完毕后洗去表面脱腥液;将脱腥后的贻贝于 100℃条件下蒸煮 10 min,静置沥干;放入事先准备好的调味液中腌制 30 min;将腌制完成的贻贝放入 60℃烘箱中,热风干燥 2 h;将烘干后的贻贝进行真空包装,并将包装好的即食贻贝产品置于高压蒸汽灭菌锅中,90℃灭菌 30 min 后,得到即食贻贝成品。

1.2.2 固相微萃取 考虑到即食贻贝一般为整个食用,故采用搅拌机,将贻贝肉搅碎、混匀后取样。取 3.5 g 贻贝样品,保持温度 70℃,时间 40 min,250℃老化 CAR/PDMS 萃取头,解吸时间 10 min,

收稿日期:2022-10-11

基金项目:浙江省重点研发计划项目(2018C02038)

第一作者:黄崇棱,男,硕士生

通信作者:戴志远 E-mail: dzy@mail.zjgsu.edu.cn

平行测定 3 次。

1.2.3 GC-MS 测定条件 色谱条件:参照文献[12]略作修改,TG-5 MS(30 m×0.32 mm,0.25 μm);载气:He;流速:1 mL/min;进样:不分流;升温程序:40 ℃,2 min 后,以 4 ℃/min 升温至 92 ℃,1 min 后,以 5 ℃/min 至 200 ℃,最后以 6 ℃/min 至 240 ℃,保持 6 min。

质谱条件:电子轰击电离;电子束能量 70 eV;传输线温度 250 ℃;离子源温度 250 ℃;质量扫描范围 m/z 33~450。

1.2.4 定性及半定量分析 定性分析:使用 Xcalibur 软件,通过检索 NIST2.0 标准谱库与其中的标准谱图进行对照、复合,确认挥发性成分。

半定量分析:参照文献[12],半定量公式如下:

香气成分含量(μg/g)=

$$\frac{\text{各成分峰面积} \times \text{内标物质量}}{\text{内标物峰面积} \times \text{样品质量}} \quad (1)$$

1.2.5 主体风味物质判定 采用 ROAV 法计算分析关键香气成分对样品风味的贡献大小。公式如下:

$$\text{ROAV} = 100 \times \frac{C}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T} \quad (2)$$

式中, C ——挥发性组分的相对含量; T ——挥发性组分的感观阈值; C_{\max} ——风味贡献最大组分的相对含量; T_{\max} ——风味贡献最大组分的感观阈值。

1.2.6 数据处理 数据结果均为 3 次重复试验的平均值,并用 Excel 2019 和 SPSS 16 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 6 种贻贝样品总离子流色谱图

通过 GC-MS 分析贻贝在新鲜、脱腥、蒸煮、调味、烘干、灭菌等阶段下的挥发性成分,结果表明,在贻贝加工过程中共鉴定出 83 种挥发性风味化合物,分别为醛类 29 种,烃类 29 种,醇类 8 种,含硫、含氮、含氧及杂环化合物 13 种,酮类 4 种。

贻贝各阶段的总离子流色谱图,见图 1 到图 6。

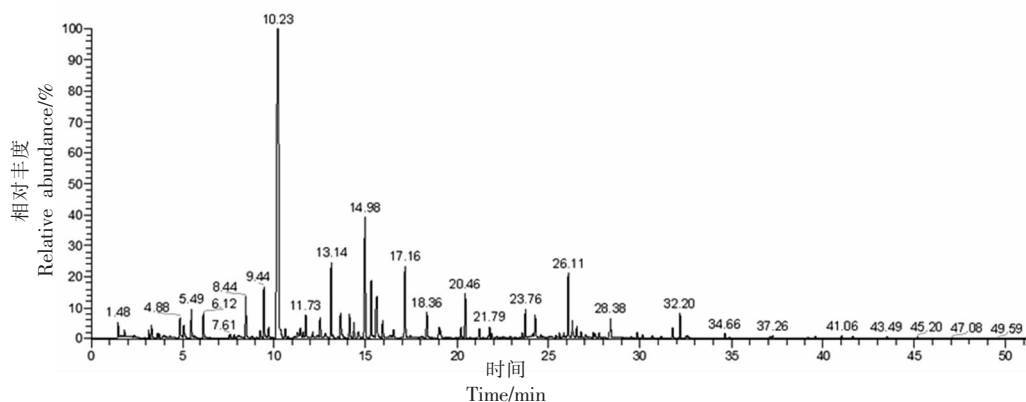


图 1 新鲜贻贝挥发性成分总离子图

Fig.1 Total ion diagram of volatile components in fresh mussels

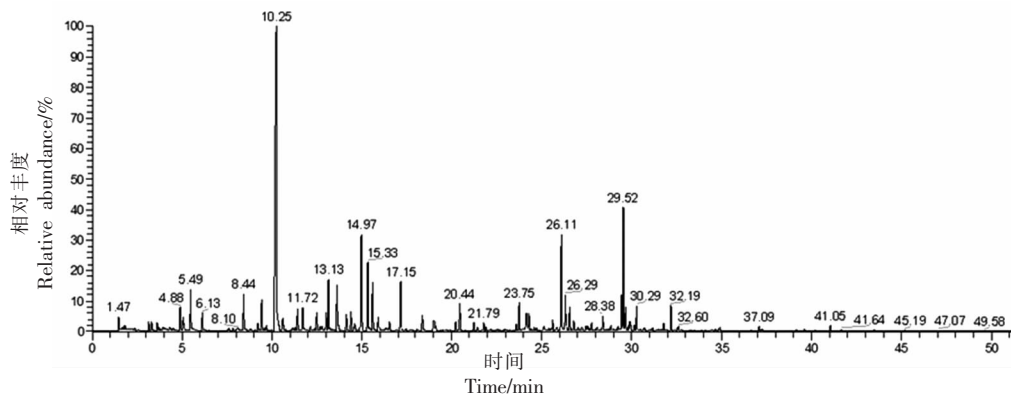


图 2 脱腥贻贝挥发性成分总离子图

Fig.2 Total ion diagram of volatile constituents in deodorized mussels

2.2 SPME 萃取分析 6 种贻贝样品的挥发性风味物质

由表 1 和表 2 可知, 在新鲜贻贝样品中共检测出 40 种挥发性成分, 再对样品进行即食食品加工, 发现脱腥、蒸煮、调味、烘干和灭菌处理的贻贝样品中分别检测出 42, 53, 58, 54, 56 种香气成分。

在即食贻贝加工过程中, 包含丙醛、戊醛、辛醛、壬醛等腥味成分在内的醛类化合物占比逐渐降低, 烃类、酮类、醇类、杂环及其它化合物在总挥发性风味成分中比重增大, 样品经调味处理后, 贻贝的挥发性风味物质主要以烃类为主。

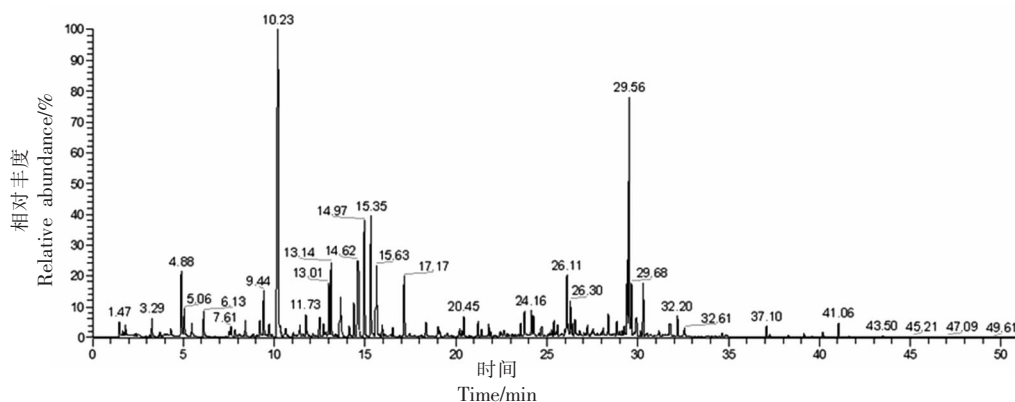


图 3 蒸煮贻贝挥发性成分总离子图

Fig.3 Total ion diagram of volatile components in cooked mussels

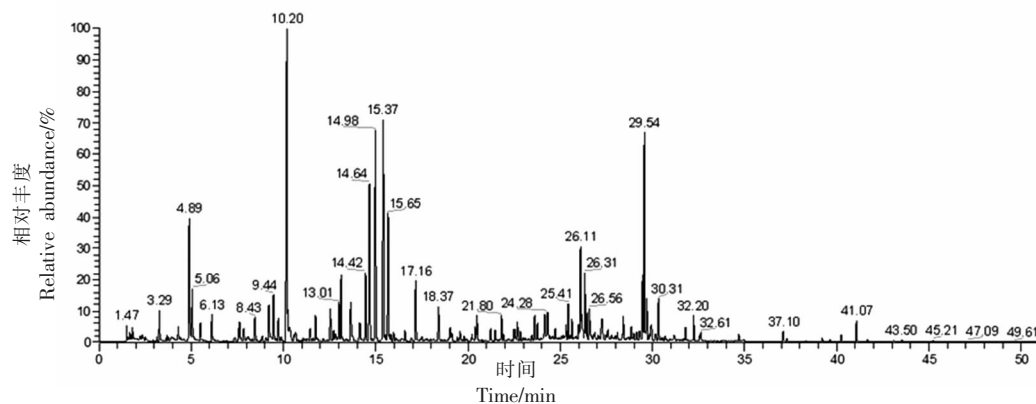


图 4 调味贻贝挥发性成分总离子图

Fig.4 Total ion diagram of volatile components in seasoned mussels

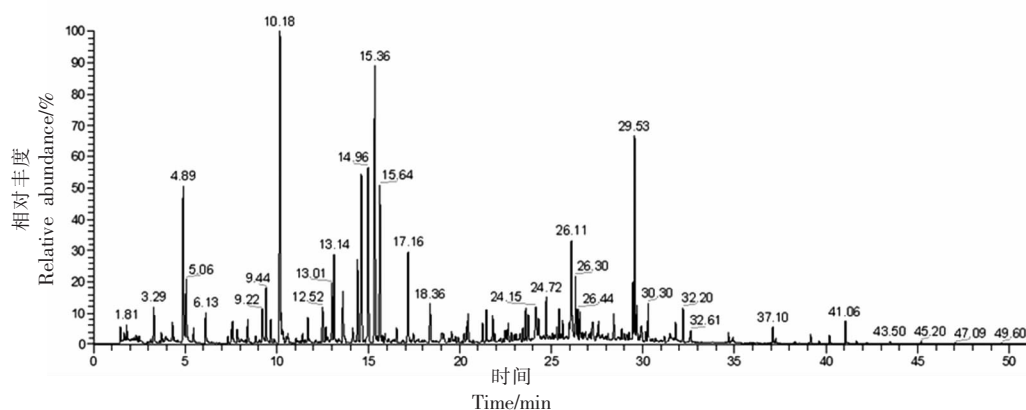


图 5 烘干贻贝挥发性成分总离子图

Fig.5 Total ion diagram of volatile components in dried mussels

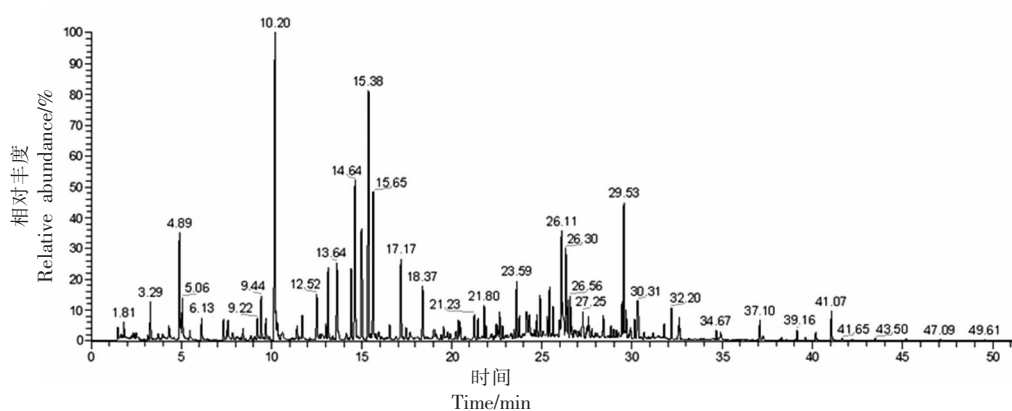


图 6 杀菌贻贝挥发性成分总离子图

Fig.6 Total ion diagram of volatile components in sterilized mussels

表 1 贻贝加工过程中的挥发性风味成分的 GC-MS 鉴定结果

Table 1 Identification results of volatile flavor components during mussel processing by GC-MS

分类	化合物名称	各组分相对含量/%						阈值/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
		新鲜	脱腥	蒸煮	调味	烘干	杀菌	
醛类		32.66	23.05	19.64	18.26	17.7	13.49	
	反式-2-甲基-2-丁烯醛	-	-	-	-	-	0.29	
	反式-2-戊烯醛	1.26	1.56	0.4	0.42	0.3	0.23	
	丁二醛	-	0.19	0.24	0.21	-	-	
	戊醛	0.16	-	0.11	0.11	0.18	0.11	12
	山梨醛	0.27	-	-	-	-	-	
	2-己烯醛	2.03	1.57	0.56	0.61	0.53	-	
	2-乙基丁烯醛	-	-	-	0.13	0.17	0.5	
	己醛	1.18	0.7	0.82	0.66	0.7	0.51	4.5
	苯甲醛	1.73	2.67	1.87	1.41	1.65	2.34	3
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	8.13	5.22	4.53	6.59	5.1	0.24	
	2-庚烯醛	0.31	0.19	0.12	-	-	-	
	庚醛	2.45	1.37	1.48	1.16	1.2	1.02	3
	(2E,4E)-2,4-辛二烯醛	0.38	0.24	0.21	0.22	0.21	0.11	
	反-2-辛烯醛	0.94	0.69	0.44	0.24	0.25	0.21	
	辛醛	3.95	2.23	2.56	1.72	2.04	1.76	
	4-乙基苯甲醛	-	-	-	0.17	-	0.32	
	反-2-,顺-6-壬二烯醛	2.45	1.31	0.22	0.7	0.68	0.44	
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.11	-	0.75	-	-	-	
	(Z)-壬-2-烯醛	0.57	0.43	0.28	0.2	0.24	0.22	
	壬醛	4.47	2.6	2.46	1.81	2.46	2.28	1
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.11	-	0.85	-	-	-	
	(Z)-癸-2-烯醛	-	-	-	-	-	0.67	
	反式-2-癸烯醛	1.34	1.12	0.59	0.52	0.8	-	
	癸醛	0.55	0.44	0.44	0.42	0.49	0.67	0.1
	十一醛	0.14	0.12	0.11	-	-	-	5
	十三醛	-	-	-	0.15	-	0.4	
	肉豆蔻醛	-	0.17	-	0.21	0.25	0.43	
	9,12,15-十八碳三烯醛	-	-	0.15	0.14	-	0.12	
	十八醛	0.13	0.23	0.45	0.46	0.45	0.62	

(续表 1)

分类	化合物名称	各组分相对含量/%						阈值/ μg·kg ⁻¹	
		新鲜	脱腥	蒸煮	调味	烘干	杀菌		
酮类		2.4	2.23	1.74	2.02	2.25	2.54		
	1-戊烯-3-酮	0.16	0.26	-	-	-	-		
	3,5-辛二烯-2-酮	1.62	0.87	0.62	1.07	1.08	1.59		
	2-壬酮	0.47	0.43	0.35	0.31	0.4	0.39	5	
	2-十一酮	0.15	0.67	0.77	0.64	0.77	0.56	7	
醇类		1.12	0.34	0.25	0.63	0.41	1.83		
	1-戊烯-3-醇	0.31	0.34	-	-	-	0.12	400	
	1-辛烯-3-醇	0.31	-	0.1	-	-	-	1	
	环十二醇	0.2	-	-	-	-	-		
	雪松醇	-	-	-	0.2	0.18	0.21		
	2-十五碳炔-1-醇	-	-	-	0.13	-	0.21		
	鲸蜡醇	-	-	-	-	-	0.96		
	(9Z,12Z,15Z)-9,12,15-十八碳三烯-1-醇	-	-	-	0.3	0.23	0.33		
	亚麻醇	0.3	-	0.15	-	-	-		
	烃类		5.85	9.33	19.26	22.65	24.54	21.72	
		反-2-戊烯	-	-	-	0.13	0.19	-	
庚烷		-	-	-	-	0.19	0.23		
苯乙烯		0.43	0.38	0.69	1.15	0.92	0.61	730	
3-亚乙基环己烯		-	-	0.39	-	0.56	-		
1-乙基-1,4-环己二烯		-	-	-	0.56	-	-		
1,3-反式,5-顺式辛三烯		-	-	0.22	0.31	0.28	0.5		
2,3-二甲基 1,3-环己二烯		-	-	-	0.12	0.1	-		
1,2-二甲基-1,4-环己二烯		0.22	-	-	-	-	-		
2,4-辛二烯		1.02	0.97	2.14	3.09	3.57	2.34		
7-亚丙基-双环[4.1.0]庚烷		3.06	3.21	4.62	6.82	7.32	7.64		
3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯		-	1.17	1.93	1.04	1.43	0.37		
(R)-1-甲基-5-(1-甲基乙基)环己烯		-	-	-	0.28	0.38	-		
d-柠檬烯		-	-	0.47	-	-	0.13	10	
β-蒎烯		-	-	0.16	0.1	0.13	-	6	
α-水芹烯		-	0.11	0.17	-	-	-		
3-乙基-1,5-辛二烯		-	-	-	0.35	0.3	0.28		
3-[(E)-3-甲基-1-丁烯基]-1-环己烯		-	0.26	-	-	0.1	-		
1-甲基-2,4-二乙烯基环己烷		-	-	2.96	4.92	4.65	4.74		
十一烷		-	-	-	-	-	0.11	2140	
十二烷		-	-	-	-	0.31	0.39		
(E,E)-12-甲基-1,5,9,11-十三四烯		-	-	0.59	0.46	0.69	0.88		
十四烷		-	-	0.29	0.29	0.81	0.54		
B-倍半水芹烯		-	0.93	1.56	0.93	0.78	0.97		
(S)-1-甲基-4-(5-甲基-1-亚甲基-4-己烯基)环己烯		-	0.94	1.48	0.89	0.73	0.54		
雪松烯		-	0.22	0.54	-	-	-		
香树烯		-	-	-	0.2	-	0.27		
(-)-α-蒎烯	-	-	0.16	0.1	-	-	6		
2,6,10-三甲基十四烷	-	0.19	0.29	0.33	0.4	0.49			
姥鲛烷	1.12	0.95	0.6	0.58	0.7	0.69			

(续表 1)

分类	化合物名称	各组分相对含量/%					阈值/ μg·kg ⁻¹
		新鲜	脱腥	蒸煮	调味	烘干	
含硫、含氮、 含氧及杂环 化合物	三甲氧基酯	3.35	7.88	10.99	8.45	7.68	6.56
	3-甲基呋喃	-	-	-	-	0.3	0.26
	2-乙基呋喃	0.11	-	-	-	-	-
	邻二甲苯	0.65	0.42	0.54	0.7	0.73	0.76
	1,3,5-三甲苯	0.22	0.16	0.32	0.46	0.43	0.25
	3-乙基甲苯	0.65	-	-	0.37	-	-
	4-异丙基甲苯	-	1.03	0.5	0.11	0.25	0.38
	反式-2-(2-戊烯基)呋喃	-	-	-	0.11	0.17	-
	2-戊基呋喃	1.18	0.99	0.82	-	-	-
	1,2-环氧-5-环癸烯	-	-	-	0.7	0.61	0.66
	α-姜黄烯	0.54	0.37	0.43	0.61	0.58	0.77
	二氢姜黄烯	-	4.73	7.96	5.06	4.22	3.04
	1,2-15,16-二环氧十六烷	-	0.18	0.27	0.19	0.18	0.16
		-	-	0.15	0.14	0.21	0.28

注:-. 未检出。

表 2 SPME 法萃取贻贝加工过程中挥发性风味成分的种类和含量

Table 2 Types and contents of volatile flavor components during extraction of mussels by SPME

样品	项目	醛类	酮类	醇类	烃类	含硫、含氮、含氧及 杂环化合物
新鲜	种类	21	4	4	5	6
	含量/%	32.66	2.4	1.12	5.85	3.35
脱腥	种类	19	4	1	11	7
	含量/%	23.05	2.23	0.34	9.33	7.88
蒸煮	种类	22	3	2	18	8
	含量/%	19.64	1.74	0.25	19.26	10.99
调味	种类	22	3	3	20	10
	含量/%	18.26	2.02	0.63	22.65	8.45
烘干	种类	18	3	2	21	10
	含量/%	17.7	2.25	0.41	24.54	7.68
杀菌	种类	21	3	5	18	9
	含量/%	13.49	2.54	1.83	21.72	6.56

醛类化合物在贻贝挥发性气味中占比较高,且阈值较低,对贻贝加工过程中的挥发性风味影响较大^[12]。新鲜贻贝醛类的含量为 32.66%,脱腥后显著下降至 23.05%,蒸煮后下降至 19.64%,调味、烘干贻贝醛类含量分别为 18.26%和 17.7%,杀菌处理后贻贝醛类物质含量进一步降低至 13.49%。在干制过程中,贻贝的醛类物质成分变化不大,山梨醛只存在于新鲜贻贝中。6 个阶段共有的醛类化合物为 13 种,分别是:反式-2-戊烯醛、己醛、苯甲醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、庚醛、(2E,4E)-2,4-

辛二烯醛、反-2-辛烯醛、辛醛、反-2-,顺-6-壬二烯醛、(Z)-壬-2-烯醛、壬醛、癸醛、十八醛。在新鲜贻贝中的戊醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛等醛类物质对贻贝腥味的影 响较大,一般在食品中作为腥味物质的主要成分或是对腥味物质起促进作用^[13],在经脱腥处理后的各平行组中均未检出,说明脱腥效果显著。同时己醛、壬醛、辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛等腥味物质大大减少,这与曾欢等^[14]、鲍佳丽等^[15]的研究结果相近。在加工过程中,检测到的醛类化合物主要是(E,

E)-2,4-庚二烯醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、苯甲醛。醛类化合物一般来源于多不饱和脂肪酸的氧化反应。其中,(*E,E*)-2,4-庚二烯醛可能来自于亚麻酸的氧化反应^[16];亚油酸的自氧化产生己醛^[17];油酸氧化生成壬醛^[13];苯甲醛则可能来自于氨基酸的 Strecker 降解^[18]。低浓度的己醛在食品中呈现青草香和果香味,然而在浓度较高时会表现出令人不愉快的酸败刺激性气味^[19]。高浓度的壬醛在食品中呈现动物油脂味^[20]。苯甲醛可能来自于贻贝中未被消化的藻类,具有苦杏仁和坚果香气^[21]。贻贝加工过程中的主要醛类物质成分变化不大,而(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、己醛、壬醛等在高浓度下呈现糟糕风味的醛类物质浓度显著降低,说明加工处理能够明显优化贻贝风味。

酮类化合物的阈值相对于醛类较高,在食品中主要源于氨基酸降解,不饱和脂肪酸的热氧化降解和微生物的氧化作用,对腥味具有一定的增强作用,然而对即食贻贝挥发性风味的影响较小^[22]。新鲜贻贝酮类的含量为2.4%,脱腥、蒸煮后,其含量下降至1.74%,经调味、烘干、杀菌后酮类含量上升至2.54%,总体变化不大。在贻贝加工过程中共检出4种酮类物质,分别是1-戊烯-3-酮、3,5-辛二烯-2-酮、2-壬酮、2-十一酮。其中,1-戊烯-3-酮只在新鲜和脱腥贻贝中检测到。酮类物质在食品中表现出脂肪味和焦燃味,而长碳链的酮类会呈现出花香和果香味^[23]。3,5-辛二烯-2-酮对加工过程中即食贻贝的风味有一定贡献作用^[24]。2-壬酮和2-十一酮在贻贝加工过程中含量较高。其中,2-壬酮是短链饱和酮,与肉制品的新鲜度有

关^[25]。2-十一酮是脂肪酮,能够赋予食品浓郁的牛奶香味^[26]。

醇类化合物在自然界中广泛存在,一般情况下,醇类化合物中饱和醇的阈值较高而不饱和醇的阈值较低^[27]。对贻贝风味贡献较大的醇类物质主要是不饱和醇,一般在食品中呈现花香味、蘑菇味和土腥味^[28]。在贻贝加工过程中共检出5种不饱和醇,其中1-戊烯-3-醇在食品中表现出果香、蔬菜香及辣根气味,1-辛烯-3-醇具有蘑菇和土腥味,二者均与鱼腥味的产生有关^[29-30]。

烃类化合物主要由脂肪酸烷氧自由基的均裂产生,阈值较高,对即食贻贝的整体风味有促进作用^[31]。随着加工过程的进行,贻贝烃类物质的种类和含量也在不断增加。6个阶段共有的烃类化合物为4种,分别是:苯乙烯、2,4-辛二烯、7-亚丙基-双环[4.1.0]庚烷、姥鲛烷。

含硫、含氮、含氧及杂环化合物的阈值一般较低,对贻贝的整体风味贡献较大。呋喃类普遍具有强烈的香、甜风味或烟草气味,2-乙基呋喃呈强烈焦香香气,低浓度时呈浓厚的甜香味^[26]。2-戊基呋喃在食品中表现出豆香、果香、泥土和蔬菜香味^[32]。贻贝加工过程中共检出6种芳香烃,分别是:邻二甲苯、1,3,5-三甲苯、3-乙基甲苯、4-异丙基甲苯、 α -姜黄烯和二氢姜黄烯。

2.3 ROVA 法分析不同加工阶段的贻贝

通过 SPME 法提取各贻贝样品的挥发性风味物质,采用 ROAV 法确定贻贝加工过程中的特征风味物质,结果如表3所示。

表3 贻贝加工过程中挥发性成分的相对活跃度值(ROAV)

Table 3 The ROAV of volatile compounds of volatile components during mussel processing

化合物名称	ROAV					
	新鲜	脱腥	蒸煮	调味	烘干	杀菌
癸醛	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
壬醛	81.27	59.09	55.91	43.10	50.20	34.03
庚醛	14.85	10.38	11.21	9.21	8.16	5.07
苯甲醛	10.48	20.23	14.17	11.19	11.22	11.64
1-辛烯-3-醇	5.64		2.27			
己醛	4.77	3.54	4.14	3.49	3.17	1.69
2-戊基呋喃				2.78	2.07	1.64
2-十一酮	0.39	2.18	2.50	2.18	2.24	1.19

(续表 3)

	ROAV					
	新鲜	脱腥	蒸煮	调味	烘干	杀菌
2-壬酮	1.71	1.95	1.59	1.48	1.63	1.16
<i>d</i> -柠檬烯			1.07			0.19
十一醛	0.51	0.55	0.50			
β -蒎烯			0.61	0.40	0.44	
(-)- α -蒎烯			0.61	0.40		
戊醛	0.24		0.21	0.22	0.31	0.14

醛类物质很大程度上决定了贻贝的风味特征,新鲜贻贝共有 7 种关键风味物质,分别为癸醛、壬醛、庚醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、己醛和 2-壬酮,这些风味成分分别赋予了新鲜贻贝青草味、果香味、苦杏仁味、花香、海腥味;十一醛、2-十一酮、戊醛也对新鲜贻贝风味产生一定的修饰作用。贻贝干制过程中,关键风味物质有 8 种,分别为癸醛、壬醛、苯甲醛、庚醛、己醛、2-戊基呋喃、2-十一酮和 2-壬酮。呋喃类物质气味阈值很低,2-戊基呋喃是一种典型的油脂氧化物具有强烈的焦香味^[33]。2-十一酮具有果香、脂肪香^[34]。戊醛对于制后的贻贝风味有修饰作用,赋予了贻贝浓郁的肉脂香味。(-)- α -蒎烯只对蒸煮和调味的贻贝气味有贡献;*d*-柠檬烯的香气只存在于蒸煮和杀菌后的贻贝中。

3 结论

新鲜贻贝在加工过程中发生了一系列的风味变化,利用 SPME-GC-MS 技术共鉴定出 83 种物质。新鲜贻贝中检测出 40 种挥发性成分,脱腥、蒸煮、调味、烘干和灭菌处理的贻贝样品中分别检测出 42,53,58,54,56 种香气成分。SPME 法鉴定出样品中醛类物质共 29 种,且相对百分含量不断减少;烃类物质共 29 种,且相对百分含量不断增加;醇类物质共 8 种,其相对百分含量较低;含硫、含氮、含氧及杂环物质共 8 种,其相对百分含量呈先增加后减少的趋势;酮类物质共 4 种,其相对百分含量较低。采用 ROAV 法计算表明,17 种物质对不同加工阶段贻贝的气味有显著贡献。在贻贝各个加工阶段贡献最大的挥发性风味物质主要是癸醛、壬醛、苯甲醛、庚醛、己醛等醛类物质。(-)- α -蒎烯只对蒸煮和调味的贻贝气味有贡献;*d*-柠檬

烯的香气只存在于蒸煮和杀菌后的贻贝中。

参 考 文 献

- [1] 何建瑜, 赵荣涛, 刘慧慧. 舟山海域厚壳贻贝软体部分营养成分分析与评价[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 37-42.
HE J Y, ZHAO R T, LIU H H. Analysis and evaluation of nutritional composition of *Mytilus coruscus* in Zhoushan sea area[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(4): 37-42.
- [2] 励炯. 厚壳贻贝的营养指标评价及其抗炎机理探究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
LI J. Evaluation of nutritional indexes of *Mytilus coruscus* and exploration of its anti-inflammatory mechanism[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [3] 李莘莘. 贻贝生物活性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
LI P P. Study on biological activity of mussel[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [4] 农业部渔业政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 23.
Department of Agriculture Fisheries Administration. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 23.
- [5] 金晶. 中国贻贝出口现状及发展对策研究[J]. 对外经贸实务, 2022(1): 60-64.
JIN J. Current situation and development strategy of mussel export in China[J]. Practice in Foreign Economic Relations and Trade, 2022(1): 60-64.
- [6] 王红焱. 我国出口贸易实施品牌战略的现状与对策[J]. 现代企业, 2018(1): 22-23.
WANG H Y. The status quo and countermeasures of implementing brand strategy in our country's export trade[J]. Modern Enterprise, 2018(1): 22-23.

- [7] 郭程琳, 樊玉霞, 陈高乐, 等. 细胞生物传感器在食品风味评价中的研究进展[J/OL]. 食品科学: 1-13 (2022-01-29)[2022-04-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220128.1633.012.html>.
GUO C L, FAN Y X, CHEN G L, et al. Research progress of cell biosensors in food flavor evaluation [J/OL]. Food Science: 1-13 (2022-01-29)[2022-04-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220128.1633.012.html>.
- [8] 张根生, 潘雷, 岳晓霞, 等. 发酵肉制品加工过程中风味物质形成和影响因素研究进展[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 200-205.
ZHANG G S, PAN L, YUE Y X, et al. Research progress on flavor formation and influencing factors in processing of fermented meat products[J]. Chinese Condiments, 2022, 47(1): 200-205.
- [9] 刘建, 娄永江, 刘婷, 等. 嵊泗枸杞岛周边海域紫贻贝特征风味成分分析[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(10): 1107-1113.
LIU J, LOU Y J, LIU T, et al. Analysis of volatile components of the *Mytilus edulis* in the ocean region around Shengsi Gouqi island[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(10): 1107-1113.
- [10] 刘洪亮, 陈丽娇, 肖欣欣, 等. 即食贻贝脱腥及调味工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 277-281.
LIU H L, CHEN L J, XIAO X X, et al. Research of instant mussel deodorization and seasoning technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(12): 277-281.
- [11] 刘建, 娄永江. 紫贻贝脱腥工艺条件的优化及其腥味物质分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 193-201.
LIU J, LOU Y J. Optimization of deodorization process and analysis of deodorized substances in *Mytilus edulis* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(17): 193-201.
- [12] 王珏, 林亚楠, 马旭婷, 等. 鲐鱼干制过程中风味物质及风味活性物质分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 269-278.
WANG J, LING Y N, MA X T, et al. Analysis of flavor substances and flavor active substances in dried mackerel [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 269-278.
- [13] 贡慧, 杨震, 刘梦, 等. 秋刀鱼热加工后挥发性风味成分变化的分析[J]. 肉类研究, 2017, 31(1): 25-31.
GONG H, YANG Z, LIU M, et al. Changes in volatile flavor compounds during heat processing of *Cololabis saira* [J]. Food Science of Animal Products, 2017, 31(1): 25-31.
- [14] 曾欢, 陶宁萍, 张晶晶, 等. 生物发酵对大口黑鲈的脱腥效果[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(6): 1142-1152.
ZENG H, TAO N P, ZHANG J J, et al. Deodorization of largemouth bass by bio-fermentation [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(6): 1142-1152.
- [15] 鲍佳丽, 方旭波, 陈小娥, 等. 巴沙鱼片脱腥工艺优化及腥味物质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 70-76.
BAO J L, FANG X B, CHEN X E, et al. Optimization of deodorization process and analysis of fishy substances in fish fillets [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(6): 70-76.
- [16] 郭迅, 曾名湧, 董士远. 牡蛎蒸煮过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 24-31.
GUO X, ZENG M Y, DONG S Y. Quality changes of oysters during steaming [J]. Food Science, 2021, 42(5): 24-31.
- [17] 吴容, 陶宁萍, 刘源, 等. 同时蒸馏萃取-气质联用分析养殖暗纹东方鲀肉中的挥发性成分[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(9): 132-140.
WU R, TAO N P, LIU Y, et al. Simultaneous distillation-extraction-gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis of volatile components in cultured *Takifugu obscurus* meat [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(9): 132-140.
- [18] SUN F L, CUI H P, ZHAN H, et al. Aqueous preparation of Maillard reaction intermediate from glutathione and xylose and its volatile formation during thermal treatment [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(12): 3584-3593.
- [19] TOLDR F, FLORES M. The role of muscle proteases and lipases in flavor development during the processing of dry-cured ham [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1998, 38(4): 331-352.
- [20] TOLDRA F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products [J]. Meat Science, 1998, 49: S101-S110.

- [21] MASON M E, JOHNSON B, HAMMING M C. Volatile components of roasted peanuts. Major mono-carbonyls and some noncarbonyl components [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1967, 15 (1): 66-73.
- [22] 吴丽香, 张雯, 童秋霞, 等. 即食秋刀鱼加工过程中挥发性成分变化规律[J]. 食品与机械, 2021, 37 (9): 29-36.
- WU L X, ZHANG W, TONG Q X, et al. Variation of volatile components in the processing of ready-to-eat Saury[J]. Food & Machinery, 2021, 37 (9): 29-36.
- [23] 金燕, 杨荣华, 周凌霄, 等. 蟹肉挥发性成分的研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(1): 233-238.
- JIN Y, YANG R H, ZHOU L X, et al. Study on volatile constituents of crab meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(1): 233-238.
- [24] ANUPAM G. Olfactometric characterization of aroma active compounds in fermented fish paste in comparison with fish sauce, fermented soy paste and sauce products [J]. Food Research International, 2010, 43(4): 1027-1040.
- [25] 顾赛麒, 王锡昌, 刘源, 等. 不同新鲜度冷却猪肉中挥发物的变化[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 169-176.
- GU S Q, WANG X C, LIU Y, et al. Changes of volatiles in chilled pork with different freshness[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27 (1): 169-176.
- [26] 秦晓. 养殖暗纹东方鲀风味物质鉴定分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- QIN X. Identification and analysis of flavor compounds in cultured *Takifugu obscurus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [27] 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.
- [28] 吴燕燕, 王悦齐, 李来好, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同处理方式腌干带鱼挥发性风味成分[J]. 水产学报, 2016, 40(12): 1931-1940.
- WU Y Y, WANG Y Q, LI L H, et al. Electronic nose and HS-SPME-GC-MS technique were used to analyze the volatile flavor components of dried hair-tail cured by different treatments[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(12): 1931-1940.
- [29] WURZENBERGER M, GROSCH W. Enzymic oxidation of linolenic acid to 1, Z-5-octadien-3-ol, Z-2, Z-5-octadien-1-ol and 10-oxo-E-8-decenoic acid by a protein fraction from mushrooms (*Psalliota bispora*)[J]. Lipids, 1986, 21(4): 261-266.
- [30] CAROLYN F, DENISE M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 18-25.
- [31] 张凯华, 臧明伍, 张哲奇, 等. 水浴复热时间对猪肉糜制品挥发性风味的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 186-191.
- ZHANG K H, ZANG M W, ZHANG Z Q, et al. Effect of reheating time in water bath on volatile flavor of ground pork products [J]. Food Science, 2019, 40(2): 186-191.
- [32] 张慧玲, 王志伟, 周中凯. 汽爆及发酵处理对藜麦秸秆挥发性风味物质的影响[J]. 天津科技大学学报, 2019, 34(1): 24-31.
- ZHANG H L, WANG Z W, ZHOU Z K. Effects of steam explosion and fermentation on volatile flavor compounds of quinoa straw[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2019, 34(1): 24-31.
- [33] XU Y X, JIANG Z D, DU X P, et al. The identification of biotransformation pathways for removing fishy malodor from *Bangia fusco-purpurea* using fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Food Chemistry, 2022, 380: 132103.
- [34] 任为一, 李婷, 陈海燕, 等. 不同地域嗜热链球菌在发酵乳制作中产关键性风味物质研究[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(1): 35-44.
- REN W Y, LI T, CHEN H Y, et al. Study on key flavor substances of *Streptococcus thermophilus* in fermentation milk production from different regions[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(1): 35-44.

Analysis of Flavor Active Substances during Processing of Instant Mussels

Huang Chongleng¹, Yin Xuelian¹, Lu Tingting¹, Xue Jing^{1,2}, Dai Zhiyuan^{1,2*}

(¹Institute of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012

²Key Laboratory of Aquatic Products Processing of Zhejiang Province, Hangzhou 310012)

Abstract Headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography–mass spectrometry (HS–SPME–GC–MS) was used to isolate and identify the volatile components of mussels at different processing stages, and to determine the main flavor active substances. The results showed that a total of 83 volatile components were detected in the mussel samples, and the aldehydes such as capric aldehyde, nonal, benzaldehyde, heptyl aldehyde and hexal were the main flavor substances. The flavor active substances of fresh mussels are capric aldehyde, nonaldehyde, heptyl aldehyde, benzaldehyde, 1–octene–3–ol, hexal and 2–nonone, and the flavor active substances in the drying process are capric aldehyde, nonaldehyde, benzaldehyde, heptyl aldehyde, hexal, 2–amylfuran, 2–undecone and 2–nonone.

Keywords mussels; gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS); volatile flavor components; solid–phase micro–extraction; relative odor activity values