

MMSE-GC-MS/GC-O 法鉴定熟制阳澄湖大闸蟹 关键嗅感物质

王锡昌, 吴娜, 顾赛麒, 陶宁萍

(上海海洋大学食品学院, 上海 210306)

摘要: 本文采用新型材料-MonoTrap 作为固相萃取整体捕集剂, 提取阳澄湖大闸蟹的挥发性成分。利用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 对雄性、雌性阳澄湖大闸蟹四个部位 (体肉、钳肉、足肉和性腺) 中的挥发性成分进行了分离鉴定, 共得到 9 大类 76 种挥发性物质。同时, 采用气相色谱-嗅闻技术 (GC-O) 并运用直接强度法对挥发物进行分析, 共嗅闻到 17 种气味特征, 其中体肉气味特征强度最弱, 性腺最强。青草味是四个部位中最显著的气味特征, 而性腺气味特征较其他部位不同的是具有较强的油脂味和烤肉味。在 76 种挥发性物质中, 筛选出 56 种具有气味特征的嗅感物质 (Odor Compound, OC), 其中三甲胺、(Z)-4-庚烯醛、2,5-二甲基吡嗪、(E,E)-3,5-辛烯-2-酮和(Z)-4-癸烯醛在各可食部位中均存在, 对阳澄湖大闸蟹的典型风味贡献显著。

关键词: 中华绒螯蟹; 气相色谱-质谱联用仪; 气相色谱-嗅辨仪; 气味强度法

文章编号: 1673-9078(2014)4-245-254

Identification of Odor-active Compounds in Chinese Mitten Crab from Yangcheng Lake by MMSE-GC-MS/GC-O

WANG Xi-chang, WU Na, GU Sai-qi, TAO Ning-ping

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To research characteristics of odor-active compounds in different genders (male and female) and edible parts (abdomen, claw, leg and gonad) of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) cultured in Yangcheng Lake, the volatile compounds were extracted by a new-type material MonoTrap and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O). Total 76 volatile compounds were identified by GC-MS and 17 kinds of characteristic odor were detected by GC-O. Grassy was the most characteristic odor in the four parts of Chinese mitten crab. In addition, the total odor intensity of abdomen meat was the weakest while gonad was the strongest with fatty and roasted meat odor. Among all 56 odor compounds (screened from 76 volatile compounds), trimethylamine, (Z)-4-heptenal, 2,5-dimethylpyrazine, (E,E)-3,5-octadien-2-ketone and (Z)-4-decenal made greater contributions to the overall flavor of Chinese mitten crab.

Key words: *Eriocheir sinensis*; gas chromatography-mass spectrometry; gas chromatography-olfactometry; odor intensity

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称大闸蟹, 又称河蟹、毛蟹, 是我国传统名贵养殖水产品之一, 其中尤以苏州市阳澄湖所产的大闸蟹最为闻名, 一直持有“蟹中之王”的美誉。2007年11月, 国家质量监督检验检疫总局于国家标准化委员会正式颁布了《地理标志产品阳澄湖大闸蟹》的国家标准(GB/T 1997-2005), 规定了“阳澄湖大闸蟹”产品的保护地范围和其专用标志。

收稿日期: 2013-11-13

基金项目: “上海市中华绒螯蟹产业技术体系建设”项目(D-8003-10-0208); 上海市教委“食品质量与安全”重点学科建设项目(J50704)

作者简介: 王锡昌(1964-), 男, 博士, 教授, 食品风味及品质评价

通讯作者: 陶宁萍(1968-), 女, 博士, 副教授, 食品营养与风味

目前, 不少学者已对中华绒螯蟹中的挥发性物质进行研究, 但检测方法多集中于采用气相色谱-质谱法(GC-MS)。陈舜胜等^[1]采用顶空固相微萃取(HS-SPME)提取中华绒螯蟹蟹肉中的挥发性风味成分, 并采用气相色谱-质谱法(GC-MS)对其检测, 共分离鉴定出40种挥发性化合物。张娜等^[2]对阳澄湖蟹和池塘蟹的足肉、体肉、蟹膏三部位的挥发性风味物质进行了检测, 发现其存在一定差异性。顾赛麒等^[3]运用HS-SPME-GC-MS, 对采自崇明的二级雄性中华绒螯蟹体肉、钳肉、足肉和性腺中的香气成分进行了鉴定并以内标法对其定量, 大闸蟹四可食部位中共检测到8大类58种香气物质。

食品中只有小部分的挥发性化合物对风味有贡

献,在特征气味分析中如何在众多挥发性物质中区分出少数气味活性化合物是研究的关键。GC-MS无法确定单个风味活性物质对整体风味贡献的大小,而气相色谱-嗅闻技术(GC-O)却能解决上述问题。目前,仅有陈德慰等人^[4]运用SPME-GC-MS-O对熟制中华绒螯蟹蟹肉中的挥发性成分分析,共鉴定得到37种挥发性物质,并确定了14种气味特征。然而,SPME法受涂层材料的限制造成挥发物的吸附效果有限,因此本研究采用了一种新型的吸附剂-固相萃取整体捕集剂(MonoTrap)对挥发性成分进行研究。MonoTrap是集硅胶、活性炭和ODS等材料为一体的高交联性新型吸附剂,可用于极性和非极性以及高沸点和低沸点化合物的提取,可将这种吸附模式称之为Monolithic material sorptive extraction(MMSE)^[5]。

本文采用顶空MMSE技术提取阳澄湖中华绒螯蟹的挥发性物质,利用气相色谱-质谱法联用法(GC-MS)鉴定雄、雌阳澄湖中华绒螯蟹不同部位中的挥发性化合物,并结合气相色谱-嗅闻技术(GC-O)确定了不同部位的主体嗅感物质(Odor compound, OC),以期能为今后进一步探讨阳澄湖中华绒螯蟹独特风味的化学本质及其形成机理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

阳澄湖大闸蟹:特级雄性和雌性活蟹(规格为200g/只,共40只),2012年11月购自于苏州市阳澄湖某中华绒螯蟹养殖基地。活蟹捕捞后立即捆绑并置于底部铺冰泡沫箱内,并2h内运回实验室。

1.2 仪器与设备

7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪,美国Agilent公司;萃取吸附-热脱附MonoTrap RCC18(2.9mm×5mm,孔径1mm),日本GL sciences公司;嗅闻仪ODP、热脱附器TDU、多功能进样器MPS、冷却型进样口CIS,德国Gerstel公司;FA系列电子天平,上海安谱仪器有限公司;水浴箱(DS-II型电热三用恒温水浴箱);超低温冰箱,艾本德(上海)国际贸易有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理

洗去阳澄湖大闸蟹体表污垢并用毛巾擦拭干净,放入不锈钢蒸锅内蒸制30min。取出蒸熟蟹样,冷却至室温,手工剥离其体肉、钳肉、足肉和性腺四个部位,搅碎后封装于密封袋中,于-80℃超低温冰箱中

贮存待分析。

1.3.2 MMSE提取挥发性风味物质

样品于4℃下解冻,取解冻后体肉、钳肉、足肉、性腺各5.00±0.01g装于15mL顶空瓶内。将老化后的9个MonoTrap RCC18(下文以MTRCC18表示)用固定装置相连后,放入顶空瓶中,使MTRCC18始终位于样品上方,于80℃吸附60min,使MTRCC18对蟹肉中挥发性成分萃取完全。待萃取完毕后,将MTRCC18与固定装置分离,迅速装入热脱附管,由前处理平台(MPS)将MTRCC18转移至热脱附器(TDU)中进行热脱附。

1.3.3 GC-MS定性定量分析挥发性物质

色谱条件:弹性毛细管柱DB-5MS,柱长30m,内径0.25mm,液膜厚度1μm;载气为He,流速1.2mL/min;起始柱温40℃,不保持;以5℃/min升至100℃,不保持;再以2℃/min升至180℃,不保持;最后以5℃/min升至240℃,保持5min。采用不分流模式,汽化室温度240℃。

质谱条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量70eV,离子源温度为200℃。

TDU条件:不分流模式,起始温度60℃,以180℃/min升至240℃,保持6min。

CIS条件:液氮制冷,起始温度-40℃,平衡30s,以12℃/s升至270℃,保持15min。

定性分析:挥发性成分通过NIST 2008和Wiley谱库进行定性,仅报道正反匹配度均大于800的结果,并同时计算其保留指数(RI),保留指数计算公式如下:RI=100×{[Rt(x)-Rt(n)]/[Rt(n+1)-Rt(n)]+n},其中Rt(x)、Rt(n)及Rt(n+1)分别为待测挥发性成分、含n个碳原子正构烷烃及n+1个碳原子正构烷烃的保留时间。

定量分析^[6]:将原始浓度为100mg/g浓度的内标物2,4,6-三甲基吡啶(TMP)加入5g蟹样中,通过计算待测挥发物与TMP峰面积之比求得绝对浓度(假定各挥发物的绝对校准因子为1.0)。计算公式如下:

$$\text{浓度}(\text{ng/g}) = \frac{\text{峰面积比例}(\text{挥发物}/\text{TMP}) \times 1\mu\text{g}(\text{TMP})}{5\text{g}(\text{蟹样})} \times 10^2$$

1.3.4 GC-O鉴定主体嗅感物质

由5个有经验的感官评价员进行GC-O实验,每个样品由每个小组成员嗅闻1次,嗅闻时间为50min。在实验过程中至少要有两名感官员在同一时间处得到相同的感官描述才记录最终结果。感官员不仅要描述化合物的气味特征,还需通过4点强度法对样品进行评估(1=弱,2=中等,3=强,4=非常强)。

2 结果与讨论

2.1 雄、雌阳澄湖大闸蟹中挥发性成分的鉴定

采用 MMSE-GC-MS 法, 从雄、雌特级阳澄大闸蟹各可食部位中共鉴定得到 76 种挥发性化合物(见表 1): 其中醛类 26 种, 酮类 9 种, 醇类 6 种, 芳香类 8 种, 呋喃类 5 种, 含硫化合物 2 种, 含氮化合物 10 种, 烷烃类 6 种, 其它类 4 种。

雄雌阳澄湖大闸蟹各部位共有的化合物有 19 种: 己醛、(Z)-4-庚烯醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、(Z)-4-癸烯醛、癸醛、2-庚酮、2-辛酮、2-壬酮、(E, E)-3,5-辛烯-2-酮、2-癸酮、1-辛烯-3-醇、苯、2-乙基呋喃、2-戊基呋喃、三甲胺和 2, 5-二甲基吡嗪。进一步分析表 1 可知, 分别有 46、52、53 和 59 种物质在体肉、

钳肉、足肉和性腺中各自被检测到, 其中体肉中独有的化合物有 4 种: 2-乙基己醇(♂)、己烷(♂)、3-乙基-1, 4-己二烯(♂)和 3-甲基-2-噻吩醛(♂,♀); 钳肉中独有的有 4 种: 1, 4-二甲基苯(♂)、2, 3-二氢苯并呋喃(♂)、十一醛(♀)和 2, 6-二甲基萘(♂,♀); 足肉中独有的 3 种: 2-乙基-2-己烯醛(♂)、乙基苯(♂)和 2-十一酮(♀); 性腺中独有的有 8 种: 2-庚烯醛(♂)、2, 3, 3-三甲基-1-己烯(♂)、2, 6, 10-三甲基十四烷(♂)、(E, Z)-2, 6-壬二烯醛(♀)、(Z)-2-癸烯醛(♀)、(E)-2-己烯醛(♂,♀)、(E)-2-辛烯醛(♂,♀)和 1-戊烯-3-醇(♂,♀)。值得注意的是, 除上述物质外, 异恶唑、2-戊基吡啶和碘甲烷只在雄蟹中被检测到, 而十四烷、2, 6, 10, 14-四甲基十五烷和 1, 4-环己二烯只在雌蟹中被检测到。

表 1 雄、雌阳澄湖大闸蟹不同部位的挥发性成分

Table 1 Volatile compounds in different edible parts of male and female Chinese mitten crab cultured in Yangcheng lake

保留指数	化合物名称	鉴定方式	阈值 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	体肉		钳肉		足肉		性腺	
				雄	雌	雄	雌	雄	雌	雄	雌
醛类(26)											
657	3-甲基丁醛	MS,RI	1.1	11.04	N.D.	24.89	12.16	16.38	9.45	49.67	61.33
666	2-甲基丁醛	MS,RI	1	N.D.	N.D.	15.10	N.D.	10.42	N.D.	28.43	29.27
700	戊醛	MS,RI	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10.24	N.D.	22.72	37.34
744	2-甲基-2-丁烯醛	MS,RI	458.9	N.D.	N.D.	21.29	15.29	19.12	19.02	17.48	22.03
801	己醛*	MS,RI	5	63.15	70.70	109.38	53.52	80.49	45.90	186.25	224.22
853	(E)-2-己烯醛	MS,RI	19.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8.85	13.40
864	2-甲基烯醛	MS,RI	N.A.	N.D.	N.D.	12.80	N.D.	11.91	7.59	7.92	N.D.
901	(Z)-4-庚烯醛*	MS,RI	4.2	25.05	21.72	55.15	51.94	52.78	47.24	19.54	46.73
903	庚醛*	MS,RI	2.8	49.19	44.52	54.03	40.40	40.60	31.76	77.72	93.23
958	2-庚烯醛	MS,RI	13.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15.28	N.D.
975	苯甲醛*	MS,RI	41.7	271.74	272.81	753.89	421.52	450.87	327.53	1059.84	1033.37
1004	辛醛*	MS,RI	0.587	55.65	43.63	49.52	51.39	37.76	34.78	42.43	52.65
1010	2-乙基-2-己烯醛	MS	125	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22.11	N.D.	N.D.	N.D.
1015	(E, E)-2, 4-庚二烯醛	MS,RI	15.4	N.D.	11.96	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	40.76	76.07
1055	苯乙醛	MS,RI	4	N.D.	N.D.	11.01	N.D.	N.D.	N.D.	29.31	25.64
1061	(E)-2-辛烯醛	MS,RI	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	28.19	27.00
1106	壬醛*	MS,RI	1.1	233.92	159.11	143.25	208.93	115.02	107.19	97.71	127.52
1157	(E, Z)-2, 6-壬二烯醛	MS	0.8	N.D.	10.14						
1163	(E)-2-壬烯醛	MS,RI	0.08	N.D.	14.13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22.02	25.17
1178	4-乙基苯甲醛	MS,RI	123.23	25.33	12.45	N.D.	N.D.	12.46	N.D.	20.35	44.58
1197	(Z)-4-癸烯醛*	MS	25	10.98	9.42	27.75	21.31	16.65	13.75	15.10	10.93
1208	癸醛*	MS,RI	0.1	141.28	55.13	66.66	70.10	73.28	35.59	40.74	37.08
1267	(Z)-2-癸烯醛	MS,RI	0.3	N.D.	18.62						
1311	十一醛	MS,RI	140	N.D.	N.D.	N.D.	24.24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1326	2, 4-癸二烯醛	MS,RI	0.07	32.36	N.D.	43.27	108.59	N.D.	63.54	130.15	57.57
1413	十二醛	MS	10	18.44	17.21	N.D.	16.26	18.11	N.D.	N.D.	19.91

转下页

接上页

合计				938.12 ^e	732.79 ^f	1387.99 ^c	1095.67 ^d	988.21 ^{de}	743.35 ^f	1960.46 ^b	2093.80 ^a	
酮类(9)												
599	2-丁酮	MS,RI	35400	N.D.	N.D.	10.63	1.33	4.89	N.D.	19.73	35.69	
888	2-庚酮*	MS,RI	141	13.97	13.27	66.91	33.73	73.54	33.89	42.33	53.40	
983	6-甲基-5-庚烯-2-酮	MS,RI	68	20.51	11.26	N.D.	34.94	39.08	N.D.	N.D.	N.D.	
989	2-辛酮*	MS,RI	50.2	14.77	9.26	35.75	22.60	30.26	18.97	39.04	29.84	
1090	2-壬酮*	MS,RI	38.9	12.06	14.04	47.64	44.93	55.70	45.79	17.25	27.07	
1079	苯乙酮	MS,RI	65	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10.60	8.62	14.32	19.18	
1097	(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮*	MS,RI	150	22.77	25.15	44.27	43.86	49.89	53.32	49.60	86.41	
1192	2-癸酮*	MS,RI	7.94	19.29	15.69	54.48	51.75	70.82	53.39	20.78	19.37	
1293	2-十一酮	MS	5.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13.85	N.D.	N.D.	
合计				103.38 ^e	88.67 ^e	259.69 ^b	233.14 ^c	334.78 ^a	227.84 ^c	203.06 ^d	270.95 ^b	
醇类(6)												
682	1-戊烯-3-醇	MS,RI	358.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	101.64	273.03	
761	1-戊醇	MS,RI	150.2	7.67	7.15	N.D.	23.81	26.17	15.69	24.47	38.73	
764	(Z)-2-戊烯-1-醇	MS	89.2	N.D.	N.D.	8.22	11.36	13.52	11.81	N.D.	17.57	
977	1-辛烯-3-醇*	MS,RI	1.5	78.44	63.44	251.05	162.78	218.15	143.14	107.96	162.95	
1026	2-乙基己醇	MS	1500	4.18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
1065	(Z)-2-辛烯-1-醇	MS	75	8.94	N.D.	40.76	17.74	20.18	11.55	N.D.	13.00	
合计				99.24 ^e	70.58 ^f	300.03 ^b	215.69 ^c	278.02 ^b	182.19 ^d	234.06 ^c	505.28 ^a	
芳香类(8)												
670	苯*	MS,RI	3630	131.68	201.45	117.61	84.71	91.02	180.99	82.21	211.63	
776	甲苯	MS,RI	1550	7.97	18.03	9.59	N.D.	11.27	7.36	6.91	N.D.	
869	乙基苯	MS,RI	2205.25	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.08	N.D.	N.D.	N.D.	
878	1, 2-二甲基苯	MS,RI	450.23	N.D.	N.D.	11.35	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
905	1, 4-二甲基苯	MS	530	N.D.	13.70	10.40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
1213	萘	MS,RI	60	20.69	20.14	23.56	24.85	23.24	17.31	8.73	N.D.	
1344	2-甲基萘	MS	4	N.D.	17.84	18.59	21.98	57.09	N.D.	N.D.	N.D.	
1438	2, 6-二甲基萘	MS,RI	10	N.D.	N.D.	2.31	29.89	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
合计				160.34 ^d	271.15 ^a	193.41 ^c	161.43 ^d	191.70 ^c	205.65 ^{bc}	97.86 ^e	211.63 ^b	
咪喃类(5)												
703	2-乙基咪喃*	MS,RI	2.3	11.09	16.23	19.46	19.99	20.69	20.79	36.76	79.32	
798	2-乙基-5-甲基咪喃	MS,RI	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	7.67	16.87	13.05	N.D.	N.D.	
993	2-戊基咪喃*	MS,RI	5.8	71.07	74.26	281.23	135.72	243.31	123.63	104.80	138.97	
1002	2-(2-戊烯基)咪喃	MS,RI	N.A.	17.56	23.69	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	47.41	108.24	
1216	2, 3-二氢苯并咪喃	MS	N.A.	N.D.	N.D.	16.15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
合计				99.72 ^e	114.18 ^e	316.84 ^a	163.38 ^d	280.87 ^b	157.47 ^d	188.96 ^c	326.53 ^a	
含硫化合物(2)												
1028	2-乙酰基噻唑	MS,RI	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.96	N.D.	14.38	9.98	
1101	3-甲基-2-噻吩醛	MS,RI	N.A.	16.76	29.26	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
合计				16.76 ^b	29.26 ^a	N.D. ^f	N.D. ^f	7.96 ^e	N.D. ^f	14.38 ^c	9.98 ^d	
含氮化合物(10)												
572	三甲胺*	MS,RI	2.4	1204.64	2283.53	1268.42	2013.69	1714.15	2309.31	811.14	790.55	

转下页

接上页

678	异恶唑	MS	N.A.	N.D.	N.D.	144.98	N.D.	102.63	N.D.	N.D.	N.D.
736	吡嗪	MS,RI	180000	15.06	N.D.	9.93	N.D.	N.D.	N.D.	18.13	7.61
747	吡啶	MS,RI	2000	N.D.	N.D.	15.10	N.D.	27.91	N.D.	26.35	31.06
828	甲基吡嗪	MS,RI	105000	15.44	9.66	26.65	18.12	16.55	N.D.	42.35	62.53
910	2-乙基吡啶	MS,RI	57	N.D.	N.D.	40.87	35.97	43.39	20.68	19.45	33.58
917	2,5-二甲基吡嗪*	MS,RI	1700	27.37	23.88	49.20	54.11	42.87	31.38	63.50	110.58
1007	三甲基吡嗪	MS,RI	350.12	25.61	27.31	39.43	34.90	37.15	27.19	N.D.	17.89
1081	3-乙基-2,5-二甲基吡	MS,RI	3.6	65.17	70.32	133.16	78.69	N.D.	46.67	N.D.	N.D.
1205	2-戊基吡啶	MS,RI	0.6	N.D.	N.D.	29.82	N.D.	12.67	N.D.	14.66	N.D.
合计				1353.29 ^e	2414.71 ^a	1757.57 ^d	2235.49 ^b	1997.33 ^c	2435.23 ^a	995.58 ^f	1053.80 ^f
烷烃类(6)											
604	己烷	MS	1500	8.92	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
753	2,3,3-三甲基-1-己烯	MS	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.08	N.D.
1016	3-乙基-1,4-己二烯	MS	N.A.	10.96	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1400	十四烷	MS,RI	1000	N.D.	N.D.	N.D.	15.14	N.D.	N.D.	N.D.	14.68
1462	2,6,10-三甲基十四烷	MS,RI	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	182.44	N.D.
1711	2,6,10,14-四甲基十五烷	MS,RI	N.A.	N.D.	168.03	N.D.	N.D.	N.D.	180.52	N.D.	506.04
合计				19.88 ^d	168.03 ^e	N.D. ^e	15.14 ^{de}	N.D. ^e	180.52 ^{bc}	193.52 ^b	520.72 ^a
其他(4)											
585	碘甲烷	MS,RI	N.A.	21.52	N.D.	10.58	N.D.	9.00	N.D.	12.38	N.D.
716	1,4-环己二烯	MS	N.A.	N.D.	14.76	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13.22
1322	十四烷基环氧乙烷	MS	N.A.	23.24	N.D.	22.58	47.89	N.D.	40.55	N.D.	171.42
1468	邻苯二甲酸二丁酯	MS	260	N.D.	23.01	57.17	N.D.	24.01	N.D.	N.D.	25.04
合计				44.76 ^{cd}	37.77 ^{de}	90.33 ^b	47.89 ^c	33.00 ^e	40.55 ^{ce}	12.38 ^f	209.68 ^a

注: *表示雌、雄中华绒螯四个部位中共有的挥发性成分。

2.2 嗅感物质分析

“嗅感物质”(Odor Compounds, OCs)是指那些具有气味活性的、可被感官所嗅闻到的挥发性化合物。本研究中采用直接强度法判定各“嗅感物质”的气味强度(按1至4的标度打分,分数越高表示其气味强度越大)。若某一“嗅感物质”的气味强度在3以上,则表明该物质对样品主体风味轮廓贡献显著,可称其为“主体嗅感物质”(Main Odor Compounds, MOCs)。“主体嗅感物质”存在的部位可进一步用下标注明,如下标T、Q、Z、X表示该物质分别存在于体肉、钳肉、足肉和性腺部位中,下同。若“嗅感物质”和“主体嗅感物质”只存在某一部位中(为某一部位独有),可进一步将其定义为“独有嗅感物质”(Unique Odor Compounds, UOCs)和“独有主体嗅感物质”(Unique Main Odor Compounds, UMOCs)。由表2可知,从阳澄湖大闸蟹中共检测得到检测出56种嗅感物质(OCs),其中有30种物质的气味强度 ≥ 3 ,

为“主体嗅感物质”(MOCs)。体肉、钳肉、足肉和性腺中的“主体嗅感物质”分别有9种、13种、12种和19种。进一步分析可知:三甲胺、(Z)-4-庚烯醛、2,5-二甲基吡嗪、(E,E)-3,5-辛烯-2-酮和4-癸烯醛这五种“嗅感物质”(OCs)为四个部位所共有,其中(Z)-4-庚烯醛在四个部位中的气味强度均大于3(为四部位共有的MOCs),可表征阳澄湖大闸蟹的最典型气味特征。

由感官经嗅辨仪对GC流出的各个组分进行嗅闻,确定阳澄湖大闸蟹的气味特征主要有以下17种:青草味,蘑菇味,番茄味,巧克力味,油脂味,糯米味,油漆味,烤土豆味,橡胶味,鱼腥味,坚果味,烤肉味,花香味,葡萄味,烤鱼片味,黄瓜味和牛奶味。由于某“气味特征”可能有多种“嗅感物质”共同表征,故可将呈现该“气味特征”的所有“嗅感物质”的气味强度值相加,以此“加和值”来反映该“气味特征”的强弱(详见表3)。

表2 雄、雌阳澄湖大闸蟹不同部位的GC-O分析

Table 2 GC-O analysis of different edible parts of male and female Chinese mitten crab cultured in Yangcheng lake

保留指数	化合物名称	气味描述	体肉		钳肉		足肉		性腺		成分标志
			雄	雌	雄	雌	雄	雌	雄	雌	
572	三甲胺	鱼腥味	1.8	1.4	1.4	3.0	3.0	3.0	2.4	3.6	MOC ^a _{Q(♀)+Z+X(♀)}
657	3-甲基丁醛	青草味	2.2	-	1.8	3.6	-	-	1.0	1.6	MOC _{Q(♀)}
666	2-甲基丁醛	蘑菇味	-	1.6	4.0	3.6	3.6	2.6	1.6	-	MOC _{QZ(♂)}
670	苯	青草味	3.0	-	-	-	2.0	-	1.8	-	MOC _{T(♂)}
678	异恶唑	蘑菇味	-	-	4.0	-	3.4	-	-	-	MOC _{Q(♂)+Z(♂)}
682	1-戊烯-3-醇	烤肉味	-	-	-	-	-	-	3.0	4.0	UMOC ^b _X
703	2-乙基呋喃	青草味	-	3.4	-	-	-	-	-	3.4	MOC _{T(♀)=X(♀)}
736	吡嗪	坚果味	-	-	1.4	-	-	-	1.6	-	
744	2-甲基-2-丁烯醛	巧克力味	-	-	-	2.2	1.0	-	-	-	
764	(Z)-2-戊烯-1-醇	青草味	-	-	-	2.0	-	-	-	3.0	MOC _{X(♀)}
776	甲苯	油漆味	2.4	1.8	1.8	-	2.4	1.2	1.4	-	
801	己醛	青草味	1.8	1.2	2.2	1.8	1.8	1.2	3.0	-	MOC _{X(♂)}
828	甲基吡嗪	橡胶味	2.4	2.4	-	3.0	3.6	-	2.4	2.4	MOC _{Q(♀)+Z(♂)}
864	2-甲基烯醛	花香味	-	-	1.6	-	1.4	1.8	1.0	-	
869	乙基苯	坚果味	-	-	-	-	3.4	-	-	-	UMOC _{Z(♂)}
888	2-庚酮	烤肉味	2.0	-	1.6	2.4	1.4	1.0	1.6	-	
901	(Z)-4-庚烯醛	油脂味	4.0	3.8	3.6	3.8	3.8	3.8	4.0	4.0	MOC _{T+Q+Z+X}
903	庚醛	烤鱼片味	3.0	-	1.6	3.6	2.6	-	-	3.0	MOC _{T(♂)+Q(♀)+X(♀)}
905	1,4-二甲基苯	烤土豆味	-	1.2	-	-	-	-	-	-	UOC ^c _{T(♀)}
910	2-乙基吡啶	烤土豆味	-	-	3.4	2.6	3.2	3.6	3.6	3.6	MOC _{Q(♂)+Z+X}
917	2,5-二甲基吡嗪	糯米味	2.6	2.0	3.8	3.2	3.6	2.8	3.8	3.2	MOC _{Q+Z(♂)+X}
958	2-庚烯醛	烤肉味	-	-	-	-	-	-	1.0	-	UOC _{X(♂)}
975	苯甲醛	油漆味	3.0	1.2	2.0	2.6	2.2	-	2.8	3.8	MOC _{T(♂)+X(♀)}
977	1-辛烯-3-醇	蘑菇味	-	3.2	3.2	2.0	-	-	-	3.4	MOC _{T(♀)+Q(♂)+X(♀)}
983	6-甲基-5-庚烯-2-酮	青草味	2.0	-	-	-	2.2	-	-	-	
989	2-辛酮	青草味	-	-	-	-	-	2.8	2.2	3.4	MOC _{X(♀)}
993	2-戊基呋喃	蘑菇味	-	-	-	-	-	-	-	1.4	UOC _{X(♀)}
1002	2-(2-戊烯基)呋喃	番茄味	-	-	-	-	-	-	-	2.2	UOC _{X(♀)}
1004	辛醛	坚果味	-	-	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	-	MOC _{Z(♀)}
1007	三甲基吡嗪	巧克力味	-	1.4	-	1.6	-	-	-	3.6	MOC _{X(♀)}
1015	(E, E)-2,4-庚二烯醛	糯米味	-	1.6	-	-	-	-	-	-	UOC _{T(♀)}
1028	2-乙酰基噻唑	糯米味	-	-	-	-	1.4	-	2.0	-	
1055	苯乙醛	青草味	-	-	1.4	-	-	-	1.4	2.2	
1061	(E)-2-辛烯醛	蘑菇味	-	-	-	-	-	-	1.4	-	UOC _{X(♂)}
1065	(E)-2-辛烯-1-醇	蘑菇味	-	-	-	0.8	-	1.4	-	-	
1079	苯乙酮	油漆味	-	-	-	-	-	-	-	2.4	UOC _{X(♀)}
1081	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	巧克力味	3.0	2.0	2.0	3.0	-	3.0	-	-	MOC _{T(♂)+Q(♀)+Z(♀)}
1090	2-壬酮	巧克力味	-	2.4	1.4	2.6	2.6	2.4	3.0	2.6	MOC _{X(♂)}
1097	(E, E)-3,5-辛烯-2-酮	番茄味	3.0	1.2	2.4	2.4	2.4	3.0	1.4	2.8	MOC _{T(♂)+Z(♀)}
1101	3-甲基-2-噻吩醛	糯米味	3.4	-	-	-	-	-	-	-	UMOC _{T(♂)}

转下页

接上页											
1106	壬醛	青草味	0.8	-	-	3.0	1.4	-	-	2.6	MOC _{Q(♀)}
-	未知	黄瓜味	2.4	-	1.6	-	1.6	-	2.4	-	
1157	(E, Z)-2, 6-壬二烯醛	青草味	-	-	-	-	-	-	-	2.4	UOC _{X(♀)}
1163	(E)-2-壬烯醛	青草味	-	2.4	-	-	-	-	1.6	2.8	
1178	3-乙基苯甲醛	花香味	-	2.0	-	-	1.4	-	2.2	2.4	
1192	2-癸酮	番茄味	-	1.2	2.0	0.8	-	2.8	-	2.0	
1197	(Z)-4-癸烯醛	番茄味	2.0	1.6	2.2	2.0	1.8	2.8	2.0	2.4	
1208	癸醛	青草味	1.6	1.2	2.4	2.0	2.4	-	1.6	2.0	
-	未知	蘑菇味	1.2	-	1.2	-	2.0	-	1.2	-	
1267	(Z)-2-癸烯醛	花香味	-	-	-	-	-	-	-	2.6	UOC _{X(♀)}
-	未知	牛奶味	1.2	-	2.6	-	-	-	-	-	
1311	十一醛	油漆味	-	-	-	1.8	-	-	-	-	
1323	十四烷基环氧乙烷	橡胶味	-	-	-	-	-	-	-	4.0	UMOC _{X(♀)}
1325	2, 4-癸二烯醛	油脂味	-	-	-	-	-	-	-	3.0	UMOC _{X(♀)}
1326	1-甲基萘	葡萄味	2.2	-	3.0	3.4	2.2	2.0	2.8	-	MOC _Q
1414	十二醛	坚果味	-	1.6	-	-	-	-	-	-	UOC _{T(♀)}

注：注：^aMOC表示“主体嗅感物质”（气味强度≥3的嗅感物质）；^bUMOC表示“独有主体嗅感物质”（仅存在于蟹某一部位的主体嗅感物质）；^cUOC表示“独有嗅感物质”（仅存在于蟹某一部位的嗅感物质）。

表3 雄、雌阳澄湖大闸蟹不同部位的气味特征强度值

Table 3 Odor intensity of different edible parts of male and female Chinese mitten crab cultured in Yangcheng lake

气味特征	总和		体肉		钳肉		足肉		性腺		雄蟹		雌蟹	
	强度 ^a	排名	强度	排名	强度	排名	强度	排名	强度	排名	强度	排名	强度	排名
青草味	89.6	(1)	19.6	(1)	20.2	(1)	13.8	(1)	36.0	(1)	41.6	(1)	48.0	(1)
蘑菇味	46.8	(2)	6.0	(7)	18.8	(2)	13.0	(2)	9.0	(7)	26.8	(2)	20.0	(4)
番茄味	46.4	(3)	9.0	(3)	11.8	(4)	12.8	(3)	12.8	(2)	19.2	(4)	27.2	(2)
巧克力味	39.8	(4)	8.8	(4)	12.8	(3)	9.0	(4)	9.2	(6)	13.0	(7)	26.8	(3)
油脂味	33.8	(5)	7.8	(6)	7.4	(6)	7.6	(7)	11.0	(3)	15.4	(6)	18.4	(5)
糯米味	33.4	(6)	9.6	(2)	7.0	(7)	7.8	(6)	9.0	(8)	20.6	(3)	12.8	(7)
油漆味	32.8	(7)	8.4	(5)	8.2	(5)	5.8	(10)	10.4	(4)	18.0	(5)	14.8	(6)
烤土豆味	21.2	(8)	1.2	(15)	6.0	(9)	6.8	(8)	7.2	(11)	10.2	(10)	11.0	(9)
橡胶味	20.2	(9)	4.8	(8)	3.0	(14)	3.6	(13)	8.8	(9)	8.4	(13)	11.8	(8)
鱼腥味	19.6	(10)	3.2	(9)	4.4	(12)	6.0	(9)	6.0	(12)	8.6	(12)	11.0	(9)
坚果味	19.0	(11)	1.6	(14)	5.4	(10)	8.4	(5)	3.6	(13)	12.4	(8)	6.6	(12)
烤肉味	18.0	(12)	2.0	(13)	4.0	(13)	2.4	(15)	9.6	(5)	10.6	(9)	7.4	(11)
花香味	16.4	(13)	2.0	(13)	1.6	(16)	4.6	(11)	8.2	(10)	7.6	(15)	8.8	(10)
葡萄味	15.6	(14)	2.2	(12)	6.4	(8)	4.2	(12)	2.8	(15)	10.2	(11)	5.4	(13)
烤鱼片味	13.8	(15)	3.0	(10)	5.2	(11)	2.6	(14)	3.0	(14)	7.2	(16)	6.6	(12)
黄瓜味	8.0	(16)	2.4	(11)	1.6	(16)	1.6	(16)	2.4	(16)	8.0	(14)	-	(14)
牛奶味	3.8	(17)	1.2	(15)	2.6	(15)	-	(17)	-	(17)	3.8	(17)	-	(14)
总计	478.2		92.8		126.4		110.0		149.0		241.6		236.6	

注：^a强度表示某一气味特征在不同部位的气味强度总和。

2.2.1 不同部位的嗅感物质分析

由表3可知,体肉中重要的主体气味特征主要有:青草味(19.6),糯米味(9.6),番茄味(9.0),巧克

力味(8.8),油漆味(8.4)和油脂味(7.8),上述“气味特征”主要由存在于体肉中的“主体嗅感物质”(MOC_T)对其进行表征。在全部9种MOC_T中,苯

和 2-乙基呋喃呈现青草味；3-甲基-2-噻吩醛具有糯米的气味；(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮呈番茄味；3-乙基-2, 5-二甲基吡嗪具有浓郁的巧克力味；苯甲醛呈现油漆味；(Z)-4-庚烯醛具有较强的油脂味。进一步分析表 2 可知，与其他部位相比，共有 4 种“嗅感物质”为体肉所独有（为 MOC_T ），具体名单如下：(E, E)-2, 4-庚二烯醛、十二醛、1, 2-二甲基萘和 3-甲基-2-噻吩醛，其中 3-甲基-2-噻吩醛气味强度大于 3，可认为是阳澄湖蟹体肉中独有的主体嗅感物质（ $UMOC_T$ ）。将表 1 和表 2 对比后发现，体肉中仅有 3-甲基-2-噻吩醛既具有较高的气味强度（大于 3），同时又单独在该部位被鉴定出来，故而可认为其是体肉中最为关键的嗅感物质。

钳肉中重要的主体气味特征主要有：青草味（20.2），蘑菇味（18.8），巧克力味（12.8），番茄味（11.8），油漆味（8.2）和油脂味（7.4）。在贡献主体气味特征的 13 种 MOC_Q 中，3-甲基丁醛和壬醛主要呈现青草味；2-甲基丁醛、异恶唑和 1-辛烯-3-醇具有较强的蘑菇味；巧克力的气味主要由 3-乙基-2, 5-二甲基吡嗪产生；而(Z)-4-庚烯醛呈现浓厚的油脂味。由表 1 至表 3 可知，虽然钳肉的气味特征较为明显（各气味特征强度显著高于体肉），但却并不存在独有的嗅感物质，原因有待进一步探明。

足肉中重要的主体气味特征主要有：青草味（13.8），蘑菇味（13.0），番茄味（12.8），巧克力味（9.0），坚果味（8.4）和糯米味（7.8）。在贡献主体气味特征的 12 种 MOC_Z 中，2-甲基丁醛和异恶唑具有较强的蘑菇味；(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮呈现番茄味；3-乙基-2, 5-二甲基吡嗪是产生巧克力味的重要物质；乙基苯和辛醛具有浓厚的坚果味；2, 5-二甲基吡嗪是使足肉具有糯米味的主要物质。由表 2 可知，坚果味只在足肉中被单独嗅闻到，故可认为其是区分足肉和其它三个部位的重要气味特征。将表 1 和表 2 对比后发现，足肉中仅有乙基苯既具有较高的气味强度（大于 3），同时又单独在该部位被鉴定出来，是足肉中独有的主体嗅感物质（ $UMOC_Z$ ），对足肉的主体风味起关键作用。

性腺中重要的主体气味特征主要有：青草味（36.0），番茄味（12.8），油脂味（11.0），油漆味（10.4），烤肉味（9.6）和巧克力味（9.2）。在贡献主体气味特征的 19 种 MOC_X 中，2-乙基呋喃、(Z)-2-戊烯-1-醇、己醛和 2-辛酮 4 种物质均呈现青草味；油脂味由(Z)-4-庚烯醛和 2, 4-癸二烯醛产生；苯甲醛是导致性腺具有油漆味的主要物质；1-戊烯-3-醇呈现浓厚的烤肉味；2-壬酮和三甲基吡嗪是贡献巧克力味的主要物质。由表 2 和表 3 可知，青草味、油脂味和烤肉味在性腺中

的强度远大于在三种蟹肉中的强度，且烤肉味只在性腺中被单独嗅闻到，故可认为上述气味特征对区分性腺和蟹肉贡献显著。将表 1 和表 2 对比后发现，性腺中独有的嗅感物质（ UOC_X ）共有 10 种之多，其中 1-戊烯-3-醇、十四烷基环氧乙烷和 2, 4-癸二烯醛气味强度均大于 3，是性腺中独有的主体嗅感物质（ $UMOC_X$ ），对性腺的主体风味起关键作用。

2.2.2 不同性别的嗅感物质分析

由表 3 可知，雄蟹主要的气味特征有：青草味（41.6），蘑菇味（26.8），糯米味（20.6），番茄味（19.2），油漆味（18.0）和油脂味（15.4）。在贡献雄蟹主体气味特征的 12 种 MOC 中，苯和己醛主要呈现青草味；2-甲基丁醛、异恶唑和 1-辛烯-3-醇具有蘑菇味；糯米味是由 2, 5-二甲基吡嗪和 3-甲基-2-噻吩醛产生的；(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮呈现番茄味；甲苯和苯甲醛具有油漆味；油脂味主要由(Z)-4-庚烯醛产生。进一步分析表 1 可知，雄蟹中独有的嗅感物质共有 12 种，其中苯、异恶唑、乙基苯和 3-甲基-2-噻吩醛这四种物质的气味强度大于 3，是雄蟹中的独有主体嗅感物质，对其主体气味特征贡献显著。

雌蟹主要的气味特征有：青草味（48.0），番茄味（27.2），巧克力味（26.8），蘑菇味（20.0），油脂味（18.4）和油漆味（14.8）。3-甲基丁醛、2-乙基呋喃、(Z)-2-戊烯-1-醇、2-辛酮和壬醛这五种物质均贡献较强的青草味；(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮具有番茄的气味；三甲基吡嗪和 3-乙基-2, 5-二甲基吡嗪贡献浓厚的巧克力味；蘑菇味是由 2-甲基丁醛和 1-辛烯-3-醇产生的；(Z)-4-庚烯醛和 2, 4-癸二烯醛是产生油脂味的主要物质；苯甲醛具有刺鼻的油漆味。进一步分析表 1 可知，雌蟹中独有的嗅感物质 15 种，其中 2-乙基呋喃、(Z)-2-戊烯-1-醇、三甲基吡嗪、十四烷基环氧乙烷和 2, 4-癸二烯醛这 5 种物质强度大于 3，是雌蟹中的独有主体嗅感物质，对其主体气味特征贡献显著。

2.2.3 嗅感物质的风味形成机理

醛类气味阈值相对较低，对蟹香气有重要的影响。大多数直链醛类来自多不饱和脂肪酸的氧化降解，如己醛、庚醛、辛醛和壬醛等，其中己醛可作为海产品腐败变质的指示物^[7]；而具有支链的醛则来自氨基酸的斯特雷克尔氨基酸反应或由微生物降解产生，如 2-甲基丁醛（来自异亮氨酸）、3-甲基丁醛（来自亮氨酸）^[8]。烯醛和二烯醛不同于饱和醛类，一般来源于亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物的降解，如(Z)-4-庚烯醛^[9]。

酮类一般为多不饱和脂肪酸受热氧化或降解、氨基酸分解或微生物氧化产生^[10]，如 2-辛酮、2-壬酮。

烯酮类是肉类在加热期间生成的一类脂质氧化的产物^[11], 有一种青叶的芳香气味, 如本研究在雄、雌蟹肉不同部位中均检出(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮, 该物质具有典型的牛奶味和番茄味。

醇类通常是由脂肪酸的二级氢过氧化物的分解、脂质氧化酶对脂肪酸的作用生成或由羰基化合物还原生成^[12]。由于他们阈值较高, 对蟹类香气的贡献很小, 但是有些含量特别高或是不饱和的烯醇式结构阈值较低, 可能会对风味有较大贡献。如 1-辛烯-3-醇是亚油酸酯或亚麻酸酯的氢过氧化物的降解产物^[13], 具有蘑菇、青草的气味, 它被鉴定为一种存在于牡蛎、长蛤、蟹、对虾、小龙虾和沙大鳌虾中的主要的挥发性醇。

芳香类化合物部分具有较低的阈值, 对蟹整体香气贡献较大。其来源比较复杂, 部分有香味的烃可能来自于脂肪酸烷氧自由基的均裂, 如甲苯。而 1-甲基萘可能是从环境污染物转移到蟹体内的。

杂环化合物是重要的香味呈味物, 在食品中通常对坚果、蒸煮和烧烤、油腻油炸等风味有贡献^[9], 它们来源于氨基酸和还原糖之间的 Maillard 反应、氨基酸的热解及硫胺素的热解^[14]。呋喃类被发现存在于蒸煮蟹肉、小龙虾等风味成分中, 是脂质或硫胺素热降解的产物, 通常具有较高的阈值, 如 2-乙基呋喃是亚油酸的氧化产物。烷基吡嗪通常被描述为烤香味, 是食品中令人喜爱的方向味。本试验中鉴定出的 3-乙基-2, 5-二甲基吡嗪具有巧克力香味, 可能来源于氨基酸、二羰基化合物的斯特雷克降解产物和随后的氨基-羰基化合物的缩合反应等。

含氮化合物来自蛋白质和游离氨基酸以及核苷酸的降解。其中, 三甲胺、三甲胺氧化物等广泛大量存在于蟹与海蟹中, 是蟹腥味的来源之一^[15]。而淡水鱼类通常具有很少量的三甲胺氧化物, 三甲胺在新鲜的肌肉中并不存在, 但死后由于微生物的作用, 通过还原三甲胺氧化物, 三甲胺的数量逐渐增加。三甲胺氧化物也会由于鱼肉中内源酶的作用, 降解成等量的二甲胺和甲醛。

3 结论

采用 MMSE-GC-MS/GC-O 法对熟制阳澄湖大闸蟹中的嗅感物质进行了分析, 从雄、雌蟹不同可食部位中共鉴定出醛类、酮类、醇类、芳香类、呋喃类、含硫/氮化合物、烷烃类等 76 种化合物。结合 GC-O 分析, 进一步从 76 种化合物中筛选得到了 56 种具有气味活性的“嗅感物质”, 这 56 种“嗅感物质”共表征了青草味等 17 种气味特征, 其中三甲胺(鱼腥味)、(Z)-4-

庚烯醛(油脂味)、2, 5-二甲基吡嗪(糯米味)、(E, E)-3, 5-辛烯-2-酮(番茄味)和(Z)-4-癸烯醛(番茄味)此五种物质在四可食部位中同时存在, 对阳澄湖大闸蟹的典型风味贡献显著。3-甲基-2-噻吩醛(糯米味)和乙基苯(坚果味)分别是体肉和足肉中独有的“嗅感物质”且其气味强度值大于 3, 可认为它们对两种蟹肉的主体风味贡献显著; 而 1-戊烯-3-醇(烤肉味)、十四烷基环氧乙烷(橡胶味)和 2, 4-癸二烯醛(油脂味)上述三种“嗅感物质”仅存在于性腺中, 且均具有较大的气味强度值(大于 3), 可认为其对性腺的主体风味起着关键作用。

参考文献

- [1] 陈舜胜, 蒋根栋. 中华绒螯蟹蟹肉挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2009, 20: 308-311
CHEN S S, JIANG G D. Volatile Flavor Components in Meat of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Science, 2009, 20: 308-311
- [2] 张娜, 袁信华, 过世东, 等. 中华绒螯蟹挥发性物质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(3): 141-144
ZHANG N, YUAN X H, GUO Shi-dong et al. Research on Volatile Compounds of Chinese Mitten Crab [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(3): 141-144
- [3] 顾赛麒, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 中华绒螯蟹不同部位中活性香气物质的研究[J]. 核农学报, 2013, 7: 975-987
GU S Q, WANG X C, TAO N P, et al. Study on aroma-active compounds profile from different edible parts of Chinese mitten handed crab [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 7: 975-987
- [4] CHEN De-wei, ZHANG Min. Determination of Odour-Active Compounds in the Cooked Meat of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir Sinensis*) by Solid Phase Microextraction, Gas Chromatography-Olfactometry and Gas Chromatography- Mass Spectrometry [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2010, 18(4): 290-296
- [5] SATO Atsushi, SOTOMARU Katsuhiko, TAKEDA Manami. A novel approach for aroma components analysis using a monolithic hybrid adsorbent as a new generation medium “MonoTrap” [EB/OL]. (2011-04-25)/(2013-08-21). http://www.atasgl.com/monotrap/poster_monotrap_ISEO2009.pdf
- [6] GIRI Anupam, OSAKO Kazufumi, OHSHIMA Toshiaki. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631

- [7] SHAHIDI Fereidoon, PEGG Ronald B. Hexanal as an indicator of meat flavor deterioration [J]. *Journal of Food Lipids*, 1994, 1(3): 177-186
- [8] IGLESIAS Jacobo, GALLARDO Jose Manuel, MEDINA I. Determination of carbonyl compounds in fish species samples with solid-phase microextraction with on-fibre derivatization [J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(3): 771-778
- [9] 陈德慰. 熟制大闸蟹风味及冷冻加工技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007
CHEN D W. Flavor and freezing technology of cooked Chinese mitten crab [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007
- [10] SELLI Serkan, RANNOU Cecile, PROST Carole, et al. Characterization of aroma-active compounds in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eliciting an off-odor [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2006, 54(25): 9496-9502
- [11] BUTTERY Ron G, TERANISHI Roy, LING Louisa C, et al. Quantitative and sensory studies on tomato paste volatiles [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1990, 38(1): 336-340
- [12] SUZUKI Jun, ICHIMURA Nobutomo, ETOH Takeaki. Volatile components of boiled scallop [J]. *Food Reviews International*, 1990, 6(4): 537-552
- [13] SHAHIDI Fereidoon. Flavor of meat, meat products and seafoods [M]. London: Blackie Academic & Professional, 1998
- [14] 刘源. 鸭肉风味及其在加工过程中的变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006
LIU Y. Studies on the flavor compounds of duck meat and its changes during the processing [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006
- [15] 金燕. 蟹肉风味的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011
JIN Y. Study on flavor of crab meat [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2011