

不同产区青蟹肝胰腺风味品质的比较

鲁玉凤, 王福田, 聂勇涛, 杨冰, 姜绍通, 林琳, 陆剑锋*

(合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽省农产品精深加工重点实验室, 农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽合肥 230009)

摘要: 采用感官评价、味觉活度值、电子鼻和挥发性物质分析, 对来自渤海、东海和南海地区养殖的青蟹肝胰腺进行了风味品质比较。结果表明, 东海雄蟹和雌蟹肝胰腺的感官评价较好; 通过游离氨基酸的 TAV 分析发现, 肝胰腺鲜甜味均较好, Glu、Ala 和 Arg 是提供愉快滋味的主要游离氨基酸, 渤海和东海的雌雄蟹肝胰腺中鲜甜味氨基酸含量相近, 且均高于南海雌雄蟹; 利用主成分分析发现, 三个地区的雌雄蟹肝胰腺的第一和第二主成分之和均大于 90%, 其气味之间存在较大差异; 通过挥发性成分分析发现, 3 个地区雄蟹肝胰腺中分别检测到 41、45、46 种挥发性风味物质, 雌蟹肝胰腺中分别检测到 45、40、43 种挥发性风味化合物。醛类物质是青蟹肝胰腺主要的风味来源, 其中 1-癸烯-3-酮、2-戊基呋喃使东海青蟹肝胰腺呈现独特的风味。综上所述, 东海雌雄蟹肝胰腺的风味品质相对较好。

关键字: 青蟹 (*Scylla paramamosain*); 肝胰腺; 游离氨基酸; 电子鼻; 挥发性物质

文章篇号: 1673-9078(2022)02-224-235

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0538

Comparison of Hepatopancreas Flavor Qualities of Mud Crabs (*Scylla paramamosain*) in Different Producing Areas

LU Yufeng, WANG Futian, NIE Yongtao, YANG Bing, JIANG Shaotong, LIN Lin, LU Jianfeng*

(School of Food and Biological Engineering, Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Engineering Research Center of Bio-process, Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The sensory evaluation, taste activity value (TAV), E-nose and volatile compounds analysis were used to compare the flavor qualities among the hepatopancreas of mud crab from Bohai Sea, East China Sea and South China Sea. The results showed that the sensory score of the hepatopancreas of male and female mud crabs from East China Sea was greater than that of two others. TAV analysis indicated that the sweet and umami tastes of hepatopancreas were better, and Glu (umami), Ala (sweet), and Arg (bitter/sweet) were the predominant free amino acids that contributed to pleasant flavors. Meanwhile, the amino acids contents of sweet and umami tastes in the hepatopancreas of male and female mud crabs from East China Sea were similar to those from Bohai Sea, which were higher than those from South China Sea. The principal component analysis showed that the sum of the first and second principal components of hepatopancreas from three sources of mud crabs was all higher than 90%, and there was a great difference in their flavors. Moreover, volatile compound analysis showed that 41, 45, 46 kinds of volatile flavor compounds in the hepatopancreas of male crabs from three districts were identified, while 45, 40, 43 kind of volatile flavor compounds in the hepatopancreas of female crabs were detected respectively. Aldehydes were the main flavor source of the hepatopancreas of mud crabs. The hepatopancreas of male and female mud crabs from East China Sea containing 1-Decene-3-one and 2-Pentylfuran showed a unique flavor. To sum up, the hepatopancreas of male and female mud crabs from East China Sea displayed relatively better flavor quality.

引文格式:

鲁玉凤,王福田,聂勇涛,等.不同产区青蟹肝胰腺风味品质的比较[J].现代食品科技,2022,38(2):224-235,+118

LU Yufeng, WANG Futian, NIE Yongtao, et al. Comparison of hepatopancreas flavor qualities of mud crabs (*Scylla paramamosain*) in different producing areas [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 224-235, +118

收稿日期: 2021-05-21

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-48); 安徽水产产业技术体系 (AHCYJSTX-08)

作者简介: 鲁玉凤 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 青蟹营养品质及风味, E-mail: 528848334@qq.com

通讯作者: 陆剑锋 (1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工及综合利用, E-mail: lujf@sibs.ac.cn

Key words: mud crab (*Scylla paramamosain*); hepatopancreas; free amino acid; E-nose; volatile compounds

青蟹, 学名拟穴青蟹 (*Scylla paramamosain*), 广泛分布于西太平洋热带地区, 在我国主要分布在东南沿海区域^[1,2]。青蟹成长速度较快, 肉质鲜美, 营养丰富, 被视为珍贵的海洋产品^[3]。2019年, 青蟹养殖总量为 160616 t, 捕捞量为 79153 t^[4]。肝胰腺是青蟹的重要食用组织, 通常呈现淡黄色, 与正常的性腺颜色相差较大, 较易区分。

食物的感官品质是消费者做出选择的重要参考条件, 气味和滋味是其两个重要方面^[5]。气味主要是由食物的挥发性的物质构成, 包括醛类、酯类、醇类等挥发性有机物构成, 给食物带来腥味、甜味、果香味等各种气味感受^[6,7]。滋味主要是由食物中的非挥发性或者水溶性物质构成, 如游离氨基酸、可溶性糖、有机酸、核酸、钠钾盐等, 会带来酸甜苦辣咸涩等口感^[8-10]。食物复杂多层次的味感就是由这些呈味的非挥发性水溶性物质联合作用形成的。

目前对食品中挥发性成分的研究主要采取的是同时蒸馏萃取法 (simultaneous distillation-extraction, SDE), 由于该法提取过程长、提取温度较高, 容易造成某些易挥发性风味成分的流失, 从而对螃蟹整体风味成分的研究产生影响。而固相微萃取 (SPME) 具有灵敏度高、所需药品少、操作简单等特点^[11], 它是一种新的样本采集技术, 被广泛的用于食品风味物质的分析检测。电子鼻在没有主观因素和判断的情况下鉴别不同来源食品的味道和气味之间的差异, 是区分风味特征的有力工具^[5]。

对蟹类的感官品质评价方面, 已有很多相关的研究, 如 Liu 等^[12]对野生和养殖青蟹的非挥发性物质的味觉活性进行了比较; 蒋根栋等^[13]研究了青蟹和中华绒螯蟹的挥发性成分和相关的滋味成分; 于慧子等^[14]、Yu 等^[15]和顾赛麟等^[11]利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用法对不同性别青蟹的挥发性风味物进行了分析鉴定。但对于不同海域养殖青蟹的滋味和挥发性风味等分析尚未开展。此外, 不同养殖环境和生长条件对水产品的感官品质影响较大^[12,16,17], 不同生长区域或者养殖条件下水产品的感官品质存在一定的差异, 我国渤海、东海和南海之间的气候和水文条件千差万别, 因此对于不同产区的青蟹感官品质的研究迫切需要进行。因此, 本文采用感官评价、电子鼻、味觉活度值和挥发性风味物质检测技术, 对来自渤海、东海和南海三个养殖产区的青蟹肝胰腺的感官品质进行了分析, 旨在为合理评价不同养殖产区的青蟹的感官品质以及青蟹的养殖和加工等方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

青蟹样品取自渤海 (东营市)、东海 (三门市) 和南海 (深圳市) 养殖海域, 每个海域雌雄各二十只, 活蟹捕捞后打捆, 置于装满冰袋的保鲜箱或泡沫箱中, 迅速带回实验室处理。

1.2 仪器与设备

PEN3 电子鼻, 德国 Air Sense 公司; CAR/PDMS 萃取头, 德国 Sigma 公司; 5975C-7890A 气相色谱-质谱联用仪, 美国 Agilent 公司; DB-5MS 色谱柱, 美国 Agilent 公司; HH-2 数显水浴锅, 江苏金坛室环宇科学仪器厂; 20 mL 无色顶空萃取瓶, 上海安谱科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

参考 Zhuang 等^[5]的方法并进行改进。在解剖之前, 将来自不同产区的鲜活青蟹刷去体表污垢后用毛巾擦拭干净, 接着用经消毒处理的镊子 (在火焰上灼烧 10 s) 从壳腔中剥离肝胰腺至干净的培养皿, 并充分混合, 然后将不同来源的肝胰腺样品分别置于干净的蒸锅中蒸制 30 min, 取出后放置冷却至室温, 精确称量 2.00 ± 0.01 g 样品置于电子鼻进样瓶中, 5.00 ± 0.01 g 于顶空萃取瓶中备用。

1.3.2 感官评价

表 1 感官评分标准

Table 1 The standard of the sensory evaluation

部位	感官指数	分值				
		差	较差	一般	较强	强
肝胰腺	鲜味	1	2	3	4	5
	甜味	1	2	3	4	5
	苦味	1	2	3	4	5
	其它	1	2	3	4	5

本研究的感官评价为单一感官评价, 只对某单一指标进行评分, 不对综合感官品质进行评价。参考 Li 等^[18]、Bell 等^[19]和 Kraujalyte 等^[20]感官评价方法并进行改进, 只对滋味的强弱进行分级评价, 其中滋味描述包括鲜味、甜味、苦味及鱼腥味、肉腥味、油脂味、酸味、草腥味等其他不良风味, 对色泽、外形等因素不作评价。感官评价分级如表 1 所示。

1.3.3 游离氨基酸测定

研磨 1.00 g 冷冻干燥的肝胰腺样品, 然后加入 10 mL 4% 的磺基水杨酸, 将混合物搅拌 1 h 以充分萃取。萃取液使用高速冷冻离心机离心 30 min (12000 r/min), 取 1 mL 上清液, 通过 0.22 μm 水相滤膜过滤, 最后采用自动氨基酸分析仪测定滤液中氨基酸含量^[21]。

味觉活度值 (taste activity value, TAV) 被广泛应用于评价食物中呈味物质对食物味道影响强弱的评价, 在呈味物质味觉阈值一定的情况下, 呈味物质浓度越高, 对食物味感影响越强烈; 浓度一定的情况下, 味觉阈值越低, 其越容易被感知到。TAV 值通过呈味化合物浓度与该物质味觉阈值比值计算, 公式如下:

$$TAV = \frac{\text{呈味化合物浓度}(\text{mg/g})}{\text{呈味化合物味觉阈值}(\text{mg/g})}$$

1.3.4 电子鼻检测

各组进样瓶在 60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下平衡 10 min, 利用电子鼻检测, 载体为洁净干燥空气, 流量为 0.4 L/min, 采样时间 1 s, 清洗时间 150 s, 归零时间 5 s, 预进样时间 150 s, 测量时间 100 s^[22]。

1.3.5 挥发性风味物质检测

采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 分离挥发性物质。准确称取 5.00 \pm 0.01 g 性腺样品于 20 mL 顶空瓶中, 将老化的萃取头通过隔膜插入, 并暴露于顶空瓶的顶部空间, 经 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热提取 40 min 预处理, 将吸附完成的萃取针由气质联用 (GC-MS) 注射口 250 $^{\circ}\text{C}$ 解析 5 min 后进样, 启动仪器进行数据收集^[23]。挥发性风味物质的分析通过 GC-MS 进行。

色谱 (GC) 条件: 以流速 1.3 mL/min 的 He 为载体, 不分流进样, 色谱柱为 DB-5MS 柱 (60 m \times 0.32 mm \times 1 μm); 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 升温程序: 初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 无保留, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速度升至 100 $^{\circ}\text{C}$, 无保留, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 180 $^{\circ}\text{C}$, 无保留, 再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速度升至 240 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min, 汽化室温度 240 $^{\circ}\text{C}$ ^[23]。

质谱 (MS) 条件: 电子轰击 (EI) 离子源; 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 电子倍增器电压 1576 V; 质量扫描范围 40~450 amu/s。

2 结果与分析

2.1 感官评价

不同产区青蟹肝胰腺感官评分 (鲜味、甜味、苦味和其它不良滋味) 如表 2 所示。由表 2 可知, 渤海和东海雄蟹肝胰腺的鲜味分值显著高于南海雄蟹, 甜味分值为渤海雄蟹肝胰腺得分显著较高 ($p<0.05$), 然而对渤海雄蟹肝胰腺的负面评价得分也较高, 苦味和其它不良滋味得分均高于东海和南海雌蟹, 综合比较认为东海雌蟹肝胰腺鲜甜味评分虽然略低于渤海雄蟹, 但其苦味和和其它不良滋味分值均低于渤海雄蟹, 因此, 初步认为东海雄蟹肝胰腺的滋味较好。对雌蟹肝胰腺的感官评分表明, 东海雌蟹肝胰腺鲜甜味得分均为最高, 苦味和其它不良滋味得分均低于渤海雌蟹肝胰腺, 总体表明东海雌蟹肝胰腺滋味较优。

表 2 不同产区青蟹肝胰腺感官评分

Table 2 The sensory score of the hepatopancreas from different sourced mud crabs

感官指数	雄性			雌性		
	渤海	东海	南海	渤海	东海	南海
鲜味	3.80 \pm 0.54 ^a	3.67 \pm 0.60 ^a	3.27 \pm 0.44 ^b	3.53 \pm 0.50 ^b	3.67 \pm 0.47 ^a	3.20 \pm 0.40 ^c
甜味	4.07 \pm 0.44 ^a	3.60 \pm 0.49 ^b	3.47 \pm 0.50 ^b	3.47 \pm 0.50 ^{ab}	3.67 \pm 0.47 ^a	3.27 \pm 0.44 ^b
苦味	3.87 \pm 0.50 ^a	2.60 \pm 0.49 ^c	3.20 \pm 0.40 ^b	3.73 \pm 0.44 ^a	3.33 \pm 0.47 ^b	3.20 \pm 0.40 ^b
其它	1.87 \pm 0.34 ^a	1.80 \pm 0.40 ^a	1.73 \pm 0.44 ^a	1.80 \pm 0.40 ^a	1.73 \pm 0.44 ^a	1.80 \pm 0.40 ^a

注: 同行字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。

2.2 游离氨基酸含量

游离氨基酸的种类和含量对食物的滋味起重要作用, 某类呈味游离氨基酸的含量越高, 会使食物在某方面的味道比较突出, 如鲜、甜、苦味等^[24]。如 Glu 和 Asp 呈现鲜味; Thr、Ser、Ala、Arg、Gly 和 Pro 具有甜味的味感; 而 Val、Ile、Leu、His、Phe 和 Met 具有苦味等令人不愉快的滋味, 由于人体感受器官对各呈味氨基酸的感受状态有所差异, 因此不同的氨基

酸的味觉阈值有所不同^[25]。渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺游离氨基酸及其 TAV 如表 3 所示, 含量最高的游离氨基酸为 Arg (1.23~1.62 mg/g), Leu (1.06~1.84 mg/g) 次之。渤海雄蟹肝胰腺具有较高含量的 Phe (1.40 mg/g)、Lys (1.41 mg/g) 和 Ala (1.32 mg/g), 东海雄蟹具有较高含量的 Tyr (1.31 mg/g)、Ala (1.32 mg/g) 和 Glu (1.28 mg/g), 南海雄蟹肝胰腺具有较高含量的 Ala (0.95 mg/g)、Lys (0.89 mg/g) 和 Tyr (0.88 mg/g)。在鲜味氨基酸中, Asp 含量较低, Glu 含量较高, 并

且阈值仅为0.3,因此其TAV值较高,三者分别为4.33、4.26和2.93,表明三者肝胰腺均较鲜,且氨基酸中鲜味主要来源于Glu。甜味氨基酸中TAV值大于1的为Ala和Arg,表明Ala和Arg在雄蟹肝胰腺甜味中起着重要的作用。在对中华绒螯蟹副产物(包括可食用内脏中的肝胰腺)的研究中发现Glu、Ala和Arg的TAV值均大于1,且这三者也是肝胰腺鲜甜味的主要来源^[10],赋予不同蟹类肝胰腺独特的口感,这可能是平时食用肝胰腺不放任何佐料吃起来仍香甜的原因之一。而在苦味氨基酸中,TAV值大于1的较多,Val、Met、Ile、Phe、Lys和His。对呈现鲜味、甜味和苦味氨基酸的各氨基酸TAV值进行加和发现,渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺鲜味氨基酸TAV值分别为4.83、4.56和3.18,渤海和东海远高于南海雄性蟹肝胰腺;三者甜味氨基酸TAV值分别为7.26、6.60和5.60,渤海和东海雄蟹肝胰腺高于南海雄蟹;三者苦味氨基酸TAV值分别为12.67、8.55和7.65,渤海雄蟹肝胰腺远高于东海和南海雄蟹。综合比较发现,东海雄蟹肝胰腺鲜味和甜味氨基酸TAV值虽然略低于渤海雄蟹,但其高于南海雄蟹,且其苦味氨基酸TAV值远低于渤海雄蟹肝胰腺,综合分析后表明东海雄蟹肝胰腺滋味较好。

渤海、东海和南海雌蟹肝胰腺游离氨基酸及TAV值如表3所示,含量较高的氨基酸分别为Arg(0.97~1.35 mg/g)、Leu(0.79~1.18 mg/g)和Ala(0.93~1.28 mg/g)。在鲜味氨基酸中,渤海、东海和南海雌蟹肝胰腺中Glu的TAV值分别为3.08、3.39和2.44,渤海和东海雌蟹肝胰腺远高于南海雌蟹,Asp的TAV值小于1,表明雌蟹肝胰腺具有较强的鲜味,且氨基酸中鲜味来源主要为Glu;在甜味氨基酸仅有Ala和Arg的TAV大于1,表明二者是雌蟹肝胰腺主要的甜味来源;在苦味氨基酸中,Val、Lys和His的

TAV均大于1。对呈现鲜味、甜味和苦味氨基酸的各氨基酸TAV进行加和,发现渤海、东海和南海雌蟹肝胰腺中鲜味氨基酸的TAV分别为3.42、3.58和2.61,渤海和东海雌蟹肝胰腺远高于南海雌蟹;甜味氨基酸的TAV分别为5.54、5.49和4.84,同样是渤海和东海雌蟹肝胰腺高于南海雌蟹;而苦味氨基酸的TAV分别为8.20、6.37和5.29,渤海雌蟹肝胰腺远高于东海和南海雌蟹。综上所述,东海雌蟹肝胰腺的滋味较为鲜美。

在不同来源的雌性和雄性青蟹肝胰腺中,它们的苦味氨基酸的TAV显著高于鲜味氨基酸的TAV,但在感官评价中苦味评分与鲜味评分基本相近,这主要是由于苦味主要来源于苦味氨基酸,而鲜味的主要来源不仅仅是鲜味氨基酸,核苷酸盐也在其中起着重要的作用,据报道称核苷酸与谷氨酸具有相乘的鲜味效果,而且当风味核苷酸与谷氨酸单钠、天冬氨酸单钠同时存在时,可以产生协同效应,产生更强烈的鲜味^[13],这可能是青蟹肝胰腺味道鲜美的原因之一。此外,雌蟹肝胰腺与雄蟹肝胰腺相比,二者存在一定的相似之处,如二者含量最高的游离氨基酸均为Arg和Leu,且苦味氨基酸含量均较高。但总体来说二者游离氨基酸的组成差异较大,来自渤海、东海、南海的雄蟹肝胰腺的游离氨基酸总含量远高于雌蟹肝胰腺,这与之前的一项研究相反,Wang等^[16]发现不同地区的中华绒螯蟹中雌蟹肝胰腺的游离氨基酸总含量普遍高于雄蟹肝胰腺,水体状况和投放饲料的不同可能是造成差异的主要原因。雄蟹肝胰腺和雌蟹肝胰腺鲜味来源主要都是Glu,但雄蟹肝胰腺Glu的含量高于雌蟹,因此,雄蟹肝胰腺的鲜味可能强于雌蟹,通过比较其它呈味氨基酸后发现雄性肝胰腺的甜味和苦味也均强于雌蟹肝胰腺。

表3 不同产区青蟹肝胰腺游离氨基酸含量及其TAV值

Table 3 The free amino acid content and TAV of the hepatopancreas from different sourced mud crabs

肝胰腺	含量/(mg/g)						味觉属性	阈值	TAV					
	雄蟹			雌性					雄性			雌性		
	渤海	东海	南海	渤海	东海	南海			渤海	东海	南海	渤海	东海	南海
天冬氨酸 Asp	0.50±0.02 ^a	0.30±0.01 ^c	0.25±0.01 ^b	0.34±0.02 ^a	0.19±0.00 ^b	0.17±0.00 ^b	鲜(+)	1.0	0.50	0.30	0.25	0.34	0.19	0.17
苏氨酸 Thr	0.88±0.04 ^a	0.74±0.02 ^b	0.71±0.02 ^b	0.59±0.03 ^a	0.58±0.01 ^a	0.55±0.01 ^a	甜(+)	2.6	0.34	0.29	0.27	0.23	0.22	0.21
丝氨酸 Ser	0.59±0.02 ^a	0.47±0.01 ^b	0.43±0.01 ^c	0.42±0.02 ^a	0.36±0.00 ^b	0.33±0.00 ^a	甜(+)	1.5	0.40	0.31	0.29	0.28	0.24	0.22
谷氨酸 Glu	1.30±0.05 ^a	1.28±0.04 ^a	0.88±0.02 ^b	0.92±0.06 ^b	1.02±0.02 ^a	0.73±0.00 ^c	鲜(+)	0.3	4.33	4.26	2.93	3.08	3.39	2.44
甘氨酸 Gly	1.02±0.04 ^b	1.23±0.04 ^a	0.79±0.00 ^c	0.58±0.04 ^b	0.94±0.02 ^a	0.58±0.00 ^b	甜(+)	1.3	0.79	0.94	0.61	0.44	0.72	0.45
丙氨酸 Ala	1.32±0.06 ^a	1.32±0.03 ^a	0.95±0.01 ^b	0.98±0.05 ^b	1.28±0.02 ^a	0.93±0.00 ^b	甜(+)	0.6	2.20	2.19	1.59	1.64	2.14	1.55
半胱氨酸 Cys	0.23±0.01 ^a	0.17±0.01 ^b	0.13±0.00 ^c	0.16±0.01 ^a	0.14±0.00 ^b	0.11±0.00 ^c	苦/甜/疏(-)	-	-	-	-	-	-	-
缬氨酸 Val	1.13±0.05 ^a	0.94±0.03 ^b	0.69±0.02 ^c	0.73±0.05 ^a	0.71±0.01 ^a	0.55±0.00 ^b	甜/苦(-)	0.4	2.81	2.36	1.73	1.82	1.77	1.36
蛋氨酸 Met	0.47±0.03 ^a	0.30±0.01 ^b	0.24±0.01 ^c	0.23±0.01 ^a	0.16±0.01 ^b	0.12±0.00 ^c	苦/甜/疏(-)	0.3	1.57	1.01	0.81	0.77	0.55	0.39
异亮氨酸 Ile	0.97±0.04 ^a	0.75±0.02 ^b	0.53±0.02 ^c	0.63±0.06 ^a	0.56±0.04 ^b	0.42±0.00 ^c	苦(-)	0.9	1.07	0.83	0.59	0.70	0.62	0.47
亮氨酸 Leu	1.84±0.08 ^a	1.55±0.05 ^b	1.06±0.03 ^c	1.18±0.10 ^a	1.06±0.05 ^b	0.79±0.00 ^c	苦(-)	1.9	0.97	0.82	0.56	0.62	0.56	0.42
酪氨酸 Tyr	1.35±0.04 ^a	1.31±0.04 ^a	0.88±0.02 ^b	0.92±0.14 ^a	0.87±0.05 ^b	0.68±0.00 ^c	苦(-)	-	-	-	-	-	-	-
苯丙氨酸 Phe	1.40±0.07 ^a	1.07±0.04 ^b	0.86±0.02 ^c	0.84±0.11 ^a	0.69±0.07 ^b	0.55±0.00 ^c	苦(-)	0.9	1.56	1.19	0.96	0.93	0.77	0.61
赖氨酸 Lys	1.41±0.06 ^a	0.58±0.02 ^c	0.89±0.03 ^b	1.12±0.07 ^a	0.50±0.00 ^c	0.91±0.01 ^b	甜/苦(-)	0.5	2.83	1.17	1.78	2.25	1.00	1.82
组氨酸 His	0.37±0.02 ^a	0.25±0.01 ^b	0.22±0.01 ^c	0.22±0.03 ^a	0.22±0.03 ^a	0.16±0.00 ^b	苦(-)	0.2	1.86	1.27	1.12	1.11	1.10	0.82
精氨酸 Arg	1.62±0.08 ^a	1.32±0.03 ^b	1.23±0.03 ^c	1.35±0.15 ^a	0.97±0.01 ^c	1.12±0.00 ^b	苦/甜(+)	0.5	3.24	2.65	2.46	2.71	1.95	2.23
脯氨酸 Pro	0.86±0.06 ^a	0.67±0.05 ^b	0.55±0.00 ^c	0.72±0.04 ^a	0.65±0.00 ^b	0.53±0.01 ^c	甜/苦(+)	3.0	0.29	0.22	0.18	0.24	0.22	0.18
TFAA	17.28±0.77 ^a	14.26±0.46 ^b	11.31±0.24 ^c	11.94±0.98 ^a	10.90±0.33 ^b	9.23±0.05 ^c	-	-	-	-	-	-	-	-

注: *同行字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$); TFAA 表示“总游离氨基酸”; “(+)”表示正面作用, “(-)”表示负面作用; “-”表示阈值未知。

表4 不同产区雄性和雌性青蟹肝胰腺挥发性风味物质相对含量

Table 4 The volatile compound content of the hepatopancreas from different sourced male and female mud crab

种类	编号	保留时间/min	名称	含量/%			编号	保留时间/min	名称	含量/%		
				渤海雄	东海雄	南海雄				渤海雌	东海雌	南海雌
烃类	W1	5.12	1,3,5,7-环辛四烯	-	-	2.45	W1	3.07	丁基环丙烷	2.77	-	-
	W2	5.36	二环[4.2.0]-1,3,5-辛三烯	-	-	0.84	W2	5.36	二环[4.2.0]-1,3,5-辛三烯	-	0.64	-
	W3	6.75	2,4-二甲基-2,3-庚二烯-5-炔	-	1.69	-	W3	7.87	2,3-二甲基-1,4-戊二烯	-	4.15	-
	W4	7.85	顺-3-癸烯	3.09	5.03	1.7	W4	8.59	2-甲基-1-壬烯-3-炔	-	0.26	-
	W5	8.18	2-甲基-1,5-己二烯	-	-	1.25	W5	8.61	1,3-辛二烯	-	-	0.81
	W6	8.31	(Z)-2-癸烯	-	-	1.4	W6	8.71	柠檬烯	6.21	-	1.76
	W7	8.47	环辛烷	-	1.77	2.2	W7	9.30	1-(亚甲基环丙基)-1-环戊烯	0.36	-	-
	W8	8.71	柠檬烯	-	-	3.85	W8	9.92	戊基环丙烷	-	-	0.42
	W9	9.95	顺式-1,4-二甲基环辛烷	1.57	-	-	W9	10.31	1,4-环辛二烯	-	4.35	-
	W10	11.10	1,3,8-p-薄荷三烯	-	0.4	-	W10	13.86	十二烷	-	0.47	-
	W11	11.57	环庚烯	-	-	0.32	W11	13.98	丙基环戊烷	-	-	0.76
	W12	13.97	(Z)-5-十二烯	-	0.7	-	W12	17.30	十三烷	-	0.38	-
	W13	14.01	(Z)-3-十二烯	-	-	1.16	W13	21.01	十四烷	0.36	1.35	-
	W14	14.01	丙基环戊烷	1.2	-	-	W14	19.56	2-亚甲基二环[2.2.1]庚烷	-	-	1.23
	W15	14.68	环庚烯	-	-	0.3	W15	20.18	(Z)-3-甲基-2-癸烯	-	-	1.34
	W16	14.72	3-辛炔	-	-	0.15	W16	20.53	螺[2.5]辛烷	-	-	0.47
	W17	17.30	十三烷	0.71	-	-	W17	22.58	2,3,4-三甲基-1,4-戊二烯	-	-	0.7
	W18	21.01	十四烷	2.19	0.88	0.72	W18	23.28	4,6-二甲基十一烷	-	-	0.15
	W19	24.82	十五烷	2.42	0.72	1.18	W19	24.82	十五烷	0.28	-	0.79
	W20	23.28	2,6,10-三甲基十二烷	-	0.32	-	W20	23.29	2,6,10-三甲基十二烷	-	1.88	-
	W21	28.60	十六烷	3.52	0.41	0.24	W21	28.60	三十一烷	0.18	-	-
	W22	32.42	2,6,10,14-四甲基十五烷	-	2.64	0.62	W22	28.60	十六烷	-	0.32	-
	W23	38.47	环十六烷	0.91	-	-	W23	32.41	2,6-二甲基十七烷	-	-	0.74
	W24	48.60	四十四烷	0.83	-	-	W24	42.00	十九烷	-	-	0.44
	W25	50.40	二十四烷	1.35	-	-						
		小计		17.79	14.56	18.38	小计			10.16	13.8	9.61

续表 4

种类	编号	保留时间/min	名称	含量/%			编号	保留时间/min	名称	含量/%		
				渤海雄	东海雄	南海雄				渤海雌	东海雌	南海雌
醛类	Q1	0.96	3-甲基-丁醛	-	2.01	-	Q1	2.11	戊醛	2.81	0.40	5.72
	Q2	2.11	戊醛	5.57	17.30	5.31	Q2	2.87	己醛	6.93	1.19	2.03
	Q3	2.36	3-甲基-2-丁烯醛	-	0.38	-	Q3	4.24	(E)-2-己二醛	0.91	-	-
	Q4	2.87	己醛	8.76	3.09	3.39	Q4	5.33	庚醛	2.62	1.45	3.26
	Q5	5.33	庚醛	1.91	0.95	2.21	Q5	6.81	苯甲醛	9.12	19.43	9.79
	Q6	6.81	苯甲醛	8.35	3.52	4.88	Q6	7.99	辛醛	2.75	4.49	5.23
	Q7	7.99	辛醛	3.39	2.02	4.02	Q7	7.98	(E,E)-2,4-庚二烯醛	1.38	4.92	-
	Q8	7.98	(E,E)-2,4-庚二烯醛	-	1.07	-	Q8	8.91	苯乙醛	2.02	4.01	1.77
	Q9	8.91	苯乙醛	-	1.45	2.41	Q9	9.40	(E)-2-十二碳烯醛	-	-	0.17
	Q10	9.40	(E)-2-十二碳烯醛	-	0.22	-	Q10	9.55	(E)-2-辛烯醛	-	1.54	4.13
	Q11	10.92	壬醛	3.72	1.96	4.69	Q11	10.92	壬醛	2.54	-	7.67
	Q12	12.30	(E,E)-2,6-壬二醛	-	-	3.40	Q12	12.30	(E,E)-2,6-壬二醛	2.54	2.28	-
	Q13	12.46	(E)-2-壬烯醛	1.39	-	-	Q13	12.46	(E)-2-壬烯醛	0.51	-	-
	Q14	13.21	癸醛	1.52	-	1.94	Q14	12.58	3-乙基苯甲醛	-	2.11	-
	Q15	21.28	十三醛	1.14	-	0.20	Q15	13.21	癸醛	2.22	-	-
	Q16	27.00	反-4-甲氧基肉桂醛	1.4	0.38	-	Q16	14.01	十二醛	-	0.19	-
	Q17	36.29	十六醛	-	-	0.52	Q17	15.48	4-甲氧基苯甲醛	-	0.54	0.32
	Q18	42.53	十五醛	-	-	0.2	Q18	17.82	(E,E)-2,4-癸二烯醛	-	0.56	-
						Q19	21.28	十三醛	-	-	0.29	
						Q20	27.00	反式-4-甲氧基肉桂醛	0.52	-	-	
						Q21	42.53	十五醛	0.16	-	-	
		小计		37.15	34.35	33.17		小计		37.03	43.11	40.4
酮类	T1	5.97	2-亚甲基环庚酮	-	-	0.28	T1	7.26	2,5-辛二酮	-	4.54	4.34
	T2	7.26	2,5-辛二酮	-	2.65	4.48	T2	9.58	1-(3-乙基环氧乙烷基)-乙酮	2.00	-	-
	T3	10.50	2-壬酮	2.1	0.25	1.23	T3	10.50	2-壬酮	1.64	-	2.00
	T4	13.07	1-癸烯-3-酮	-	0.63	-	T4	13.03	2-戊基环戊酮	-	-	2.18
	T5	13.37	3-癸酮	-	-	0.87	T5	13.05	2-乙基环戊酮	0.16	-	-
	T6	15.44	2,3-辛二酮	-	-	1.17	T6	13.07	1-癸烯-3-酮	0.44	7.08	11.5
	T7	20.07	1-(4-甲氧基苯基)-2-丙酮	1.19	-	-	T7	13.37	3-癸酮	-	1.00	1.69
	T8	20.47	3-十二酮	-	-	0.04	T8	16.96	2-十一酮	-	0.89	1.21
							T9	18.66	3-壬烯-2-酮	-	2.13	-
							T10	20.20	1-癸烯-3-酮	-	0.6	-
		小计		3.29	3.53	8.07		小计		4.24	16.24	22.9

续表 4

种类	编号	保留时间/min	名称	含量/%			编号	保留时间/min	名称	含量/%		
				渤海雄	东海雄	南海雄				渤海雌	东海雌	南海雌
醇类	C1	2.94	1-戊醇	-	-	0.95	C1	2.66	2-己烯-1-醇	0.8	-	-
	C2	3.19	3-甲基-1-丁醇	-	0.33	0.61	C2	2.73	2-戊炔-1-醇	0.27	-	-
	C3	7.26	1-辛烯-3-醇	2.16	-	-	C3	2.94	1-戊醇	2.67	-	5.87
	C4	8.54	(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇	-	0.29	-	C4	9.91	1-辛醇	1.84	-	-
	C5	8.70	2-乙基-1-己醇	4.29	-	-	C5	11.06	苯乙醇	0.48	-	-
	C6	9.91	1-辛醇	-	2.22	-	C6	12.74	8-十二烯醇	-	-	0.23
	C7	10.22	1-壬烯-3-醇	-	-	2.67	C7	13.07	5-甲基-2-(1-甲基乙基)环己醇	-	1.75	-
	C8	12.53	十一烷醇	-	-	0.59	C8	13.71	3-癸醇	0.49	2.21	10.40
	C9	13.16	1-十二碳烯-3-醇	-	1.73	-	C9	13.85	2-丁基-1-辛醇	-	0.23	-
	C10	13.21	1-壬烯-3-醇	-	-	2.56	C10	15.90	3-十一醇	-	-	1.12
	C11	13.71	3-癸醇	-	4.28	4.08	C11	20.92	3-十二醇	-	-	0.34
	C12	15.90	3-十一醇	-	-	0.72						
	C13	20.92	3-十二醇	-	-	0.29						
		小计		6.45	8.85	12.47		小计		6.55	4.19	18
芳香族	F1	4.11	1,3-二甲苯	-	1.97	0.75	F1	4.62	邻二甲苯	2.65	1.44	0.67
	F2	4.64	对二甲苯	4.78	-	-	F2	8.54	1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯	-	-	0.51
	F3	7.00	苯酚	-	1.45	-	F3	10.29	2-乙基对二甲苯	0.77	-	-
	F4	7.46	1,2,3-三甲苯	-	1.51	-	F4	15.52	1-甲氧基-4-丙烯基苯	11.09	-	0.74
	F5	9.36	1,2-二甲基-4-乙苯	-	1.21	-	F5	16.79	2,3,5,6-四甲基苯酚	-	1.06	-
	F6	9.52	3,5-二甲基-1-乙苯	1.55	0.83	-	F6	30.89	1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)苯	0.17	-	-
	F7	11.20	1,2,3,4-四甲苯	-	0.24	-						
	F8	15.52	1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯	0.75	1.13	-						
		小计		7.08	8.34	0.75		小计		14.68	2.5	1.92
酯类	Z1	8.40	3-羟基-2,2-二甲基丁酸乙酯	-	0.55	-	Z1	7.48	正癸酸乙烯基酯	7.07	1.04	-
	Z2	20.05	硬脂酸甲酯	-	-	0.27	Z2	13.46	水杨酸甲酯	-	0.13	-
	Z3	20.36	琥珀酸环己基戊酯	-	-	0.24	Z3	15.43	3-十四烷基己酸酯	-	-	0.29
	Z4	22.95	4-甲氧基苯甲酸-4-己氧基苯酯	1.36	-	-						
	Z5	37.54	邻苯二甲酸异丁酯	0.76	-	-						
	Z6	39.94	十六酸甲酯	0.65	-	-						
	Z7	45.06	十八酸甲酯	0.78	0.48	-						
	Z8	50.13	己二酸二异辛酯	0.84	-	-						
	Z9	52.46	邻苯二甲酸单(2-乙基己基)酯	1.3	-	-						
		小计		5.69	1.03	0.51		小计		7.07	1.17	0.29

续表 4

种类	编号	保留时间/min	名称	含量/%			编号	保留时间/min	名称	含量/%		
				渤海雄	东海雄	南海雄				渤海雌	东海雌	南海雌
含 N	N1	16.69	吡啶	-	6.05	13.28	N1	16.69	吡啶	-	1.21	2.49
	N2	23.82	N-苄基-N-乙基-对异丙基苯甲酰胺	1.31	-	-	N2	25.13	1-乙基-4-吡啶基甲胺	-	-	0.37
	N3	43.29	1,3-二环己基脒	2.26	-	-						
	N4	50.00	(Z)-9-十八烯酸酰胺	1.01	-	-						
		小计		4.58	6.05	13.28		小计		0	1.21	2.86
含 S	S1	5.01	3-甲硫基-丙醛	-	5.62	-	S1	5.01	3-甲硫基-丙醛	4.69	-	1.62
	S2	12.32	1,3,5-三噻烷	0.88	-	-	S2	14.37	3-巯基己基己酸酯	-	-	0.21
	S3	19.78	二乙基-二硫代氨基甲酸甲酯	-	0.58	0.68	S3	15.86	2-己基噻吩	0.42	-	-
	S4	26.62	5,6-二甲基-2-苄噻唑胺	1.42	-	-	S4	16.23	1-癸硫醇	0.18	-	-
							S5	19.78	二乙基-二硫代氨基甲酸甲酯	0.79	-	-
							S6	26.61	N-乙基-2-苄并噻唑胺	-	0.73	-
		小计		2.3	6.2	0.68		小计		6.08	0.73	1.83
其它	L1	7.40	2-戊基呋喃	-	0.68	-	L1	7.33	2-苄基丙基叔丁基醚	1.09	-	-
	L2	13.72	对烯丙基苯甲醚	1.54	-	-	L2	7.39	2-戊基呋喃	5.37	7.58	1.15
	L3	41.56	正十六烷酸	3.75	3.65	-	L3	9.40	(E)-2-(1-戊烯基)呋喃	0.48	1.01	-
	L4	46.08	十八烷酸	3.71	5.75	-	L4	9.74	1-甲基丁基-2-甲基丙酸酯	1.17	-	-
							L5	13.72	对烯丙基苯甲醚	-	1.25	-
							L6	41.56	正十六酸	0.31	-	-
							L7	46.08	十八酸	0.49	-	-
		小计		9	10.08	0		小计		8.91	9.84	1.15

2.3 电子鼻分析

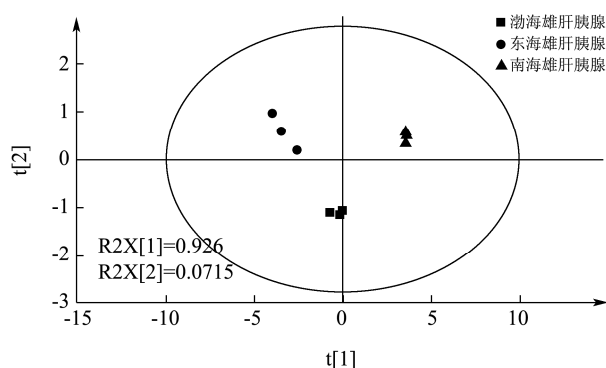


图1 不同产区雄性青蟹肝胰腺主成分分析

Fig.1 The principal component analysis of the hepatopancreas from different sourced male mud crabs

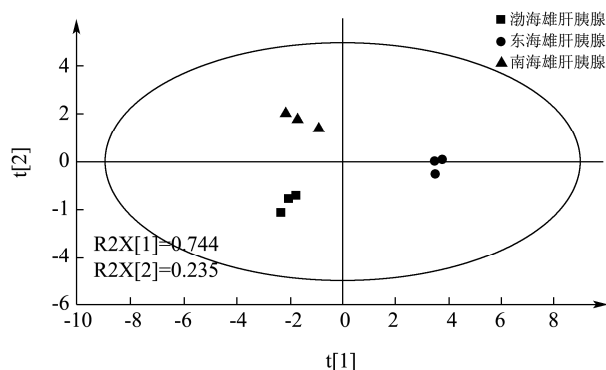


图2 不同产区雌性青蟹肝胰腺主成分分析

Fig.2 The principal component analysis of the hepatopancreas from different sourced female mud crabs

利用电子鼻对渤海、东海和南海青蟹肝胰腺的整体气味进行主成分分析,如图1和图2所示。由图1可知,渤海雄蟹肝胰腺主要位于第三、四象限位置,东海雄蟹肝胰腺主要位于第二象限,南海雄蟹肝胰腺主要位于第一象限,三者的整体气味得到较好的区分。雄蟹肝胰腺的第一主成分贡献率为92.60%,第二主成分贡献率为7.15%,第一和第二主成分贡献率之和为99.75%,能够较好的反应三者整体气味的差异。东海和南海雄蟹肝胰腺气味之间的差距主要体现在横轴上,即差异主要集中在第一主成分上,第二主成分较为相似。而渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺之间的差异在第一和第二主成分上均存在,第一主成分位于东海和南海雄蟹肝胰腺之间,第二主成分与东海和南海雄蟹肝胰腺之间相距较远。总体表明,渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺气味之间存在差异。由图2可知,雌蟹肝胰腺的气味也得到了较好区分,渤海雌蟹肝胰腺主要位于第三象限,东海雌蟹肝胰腺主要位于一四象限交界,南海雌蟹肝胰腺主要位于第二象限,三者第一主成分贡献率为74.40%,第二主成分的贡献率主要为

23.50%。渤海雌蟹肝胰腺与南海雌蟹肝胰腺第一主成分位置相似,差距主要体现在第二主成分上,东海雌蟹肝胰腺与南海和渤海雌蟹肝胰腺的差距主要体现在第一主成分上,横轴上距离较远。总体表明,东海、渤海与南海的雌蟹肝胰腺气味之间存在较大差异。

2.4 挥发性风味物

渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺的挥发性风味物质相对含量如表4所示,三者共检出挥发性物质84种,其中烃类25种、醛类18种、酮类8种、醇类13种、芳香族类8种、酯类9种、含N类4种、含S类4种。从渤海、东海和南海三个地区的雄蟹肝胰腺中分别检测出41、45、46种挥发性风味化合物。烃类物质由于阈值较高,对食物气味贡献较小,而醛类物质阈值较低,对气味的贡献较大^[26]。渤海、东海和南海雄蟹肝胰腺的醛类物质的总含量分别为37.15%、34.35%和33.17%,其中渤海雄蟹略高。东海雄蟹肝胰腺具有较高含量的戊醛,但其己醛、庚醛和壬醛的含量均远低于渤海和南海雄蟹,其中壬醛和庚醛通常被认为是淡水鱼类土腥味的重要成分^[14],这表明东海雄蟹肝胰腺的腥味可能略轻。在南海雄蟹肝胰腺中检出较高含量的具有果香和青草香的苯乙醛及有青草香的(E,E)-2,6-壬二醛^[27],且这两种物质阈值较低,对气味有重要贡献。肝胰腺中特有的醛类物质对雄蟹肝胰腺的特殊风味有一定的贡献,渤海、东海、南海中特有的醛类分别有1、4、3种,这可能是东海雄蟹肝胰腺风味更独特的原因之一。不饱和醇类物质相对于饱和醇类,阈值较低,且气味比较刺激,易产生负面影响^[28],在渤海和南海雄蟹肝胰腺中检出较高含量的1-辛烯-3-醇和1-壬烯-3-醇,这两种物质阈值较低,且具有强烈的土腥味和刺激气味^[29],对渤海和南海雄蟹产生一定的负面影响。酮类化合物多由多不饱和脂肪酸的热氧化和降解的产物、氨基酸分解或微生物氧化产生^[13]。对于蟹类等甲壳类水产品,主要贡献独特的清香和果香,且随着碳链的延长香味会逐渐增强^[27]。三个产区雄蟹肝胰腺中的酮类物质含量分别为3.29%、3.53%和8.07%,其中烯酮类呈青叶的芳香气味,仅在东海雄蟹肝胰腺中检测1-癸烯-3-酮(0.63%),其它产区未检测到的原因可能是该物质在肝胰腺中的含量较低,虽对肝胰腺整体风味有所贡献,但无法被萃取头有效的吸附。综合分析,可以认为东海雄蟹肝胰腺的风味略优。

渤海、东海和南海雌蟹肝胰腺的挥发性风味物质相对含量如表4所示,三者共检出挥发性物质90种,其中烃类24种、醛类21种、酮类10种、醇类11种、

芳香族 6 种、酯类 3 种、含 N 类 2 种、含 S 类 6 种, 其它化合物 7 种, 从渤海、东海和南海这三个地区的雌蟹肝胰腺中分别检测出 45、40、43 种挥发性风味化合物, 含量最高的均为醛类物质, 分别为 37.03%、43.11%和 40.38%, 东海雌蟹肝胰腺略高于渤海和南海雌蟹。醛类化合物的嗅觉阈值较低且能与许多其他风味成分重叠形成风味效应^[30]。其中戊醛、己醛和庚醛的含量均为东海雌蟹肝胰腺最低, 且东海雌蟹未检出壬醛, 表明东海雌蟹的鱼腥味等不良气味远低于渤海和南海雌蟹肝胰腺。其它具有令人愉悦气味的物质, 如苯甲醛、辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、(E,E)-2,6-壬二醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛等物质, 东海雌蟹肝胰腺均都具有较高的含量。其中三个地区的雌蟹肝胰腺中的苯甲醛含量远远高于其他醛类物质, Zhuang 等^[5]也报道了苯甲醛在雌性中华绒螯蟹的肝胰腺相对含量最高, 说明苯甲醛可能是肝胰腺的特殊香气的重要贡献者之一。尤其是东海雌蟹肝胰腺中苯甲醛的含量为 19.43%, 均远高于渤海和南海雌蟹肝胰腺, 此外, 东海雌蟹肝胰腺中不饱和醛(E,E)-2,4-庚二烯醛的含量为 4.92%, 仅在东海雌蟹肝胰腺中检测到 0.56%的(E,E)-2,4-癸二烯醛, 总体表明东海雌蟹肝胰腺的风味较好。2-戊基呋喃也是重要的水产品风味物质之一, 对水产品风味形成产生一定的影响^[27], 渤海、东海和南海雌蟹肝胰腺中 2-戊基呋喃的相对含量分别为 5.37%、7.58%和 1.15%, 东海雌蟹肝胰腺表现出相对较高的 2-戊基呋喃的含量, 这有助于东海雌蟹肝胰腺形成更优良的风味。值得注意的是, 三个地区的青蟹肝胰腺中均未检出三甲胺, 但之前的报道称中华绒螯蟹肝胰腺中检测到较高含量的三甲胺^[7], 这可能是两种螃蟹生长环境不同, 造成挥发性风味物质的差异。综上, 东海雌蟹和雄蟹肝胰腺的整体风味较优。此外, 进一步比较雄蟹和雌蟹肝胰腺的挥发性风味物质相对含量发现, 二者存在一定的相似之处。通过比较二者各类挥发性物质的含量综合发现, 雄蟹和雌蟹肝胰腺中醛类物质含量均占据绝对的优势, 其含量均在 30%以上, 结合醛类物质的味觉阈值较低, 且可表现出复杂的风味, 总体表明醛类物质可能对总体风味产生重要的贡献, 即雄蟹和雌蟹肝胰腺主要的风味来源之一, 此外部分的含 N 和含 S 化合物对肝胰腺整体的风味可能也有一定贡献。

3 结论

对渤海、东海和南海三个产区的青蟹肝胰腺感官评价进行分析, 结果表明东海雄蟹和雌蟹肝胰腺的感官评价较好; 通过游离氨基酸的 TAV 值分析, 发现肝

胰腺鲜甜味均较好, Glu 是甜味的主要来源, Ala 和 Arg 是甜味的主要来源, 东海雌雄青蟹肝胰腺的滋味相对较好; 利用主成分分析发现, 三个产区的雌雄蟹肝胰腺气味差异明显, 雄蟹肝胰腺第一主成分贡献率为 92.60%, 第二主成分贡献率为 7.15%, 雌蟹肝胰腺第一主成分贡献率为 74.40%, 第二主成分的贡献率主要为 23.50%; 对挥发性风味物质的含量分析表明, 醛类物质是肝胰腺的主要风味来源, 且东海雌雄蟹肝胰腺的风味均较优。因此, 综上认为, 东海雌雄蟹肝胰腺的风味品质相对更佳。

参考文献

- [1] 林琪. 中国青蟹属种类组成和拟穴青蟹群体遗传多样性的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2008
LIN Qi. Species composition of genus *Scylla* and genetic diversity of *Scylla paramamosain* (Estampador, 1949) populations in China [D]. Xiamen: Xiamen University, 2008
- [2] 林琪, 李少菁, 黎中宝, 等. 中国东南沿海青蟹属(*Scylla*)的种类组成[J]. 水产学报, 2007, 31(2): 211-219
LIN Qi, LI Shaojing, LI Zhongbao, et al. Species composition in genus *Scylla* from the coast of southeast China [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(2): 211-219
- [3] 刘亚云, 孙红斌, 陈桂珠. 红树林滩涂海水种植-养殖湿地锯缘青蟹重金属含量及评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 206-208
LIU Yayun, SUN Hongbin, CHEN Guizhu. Evaluation on heavy metal contents in mud crab *Scylla serrata* from mangrove planting culturing wetland [J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(3): 206-208
- [4] 农业部渔业局. 2019 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture. China Fisheries Yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020
- [5] Zhuang K, Wu N, Wang X, et al. Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food Science, 2016, 81: 968-981
- [6] Sun H, Wang J, Zhang C, et al. Changes of flavor compounds of hydrolyzed chicken bone extracts during Maillard reaction [J]. Journal of Food Science, 2015, 79(12): 2415-2426
- [7] Wu N, Wang X. Comparison of gender differences in nutritional value and key odor profile of hepatopancreas of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2): 536-544

- [8] Phat C, Moon B K, Lee C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system [J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1068-1077
- [9] Kong Y, Yang X, Ding Q, et al. Comparison of non-volatile umami components in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate [J]. Food Research International, 2017, 102: 559-566
- [10] Guo Y, Gu S, Wang X, et al. Nutrients and non-volatile taste compounds in Chinese mitten crab by-products [J]. Fisheries Science, 2015, 81: 193-203
- [11] 顾赛麒,王锡昌,陶宁萍,等.基于固相微萃取-气-质联用法和电子鼻法检测锯缘青蟹挥发性风味物[J].食品工业科技, 2012,14:140-145
GU Saiqi, WANG Xichang, TAO Ningping, et al. Study on detection of volatile flavor components in mangrove crab (*Scylla serrate*) by HS-SPME-GC-MS and E-nose methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 14: 140-145
- [12] Liu C, Meng F, Tang X. et al. Comparison of nonvolatile taste active compounds of wild and cultured mud crab *Scylla paramamosain* [J]. Fish Science, 2018, 84: 897-907
- [13] 蒋根栋.中华绒螯蟹与锯缘青蟹挥发性风味物质及相关滋味成分的研究[D].上海:上海海洋大学,2008
JIANG Gendong. Studies on volatile flavor and relevant taste components in Chinese mitten-handed crab and mangrove crab [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008
- [14] 于慧子.中华绒螯蟹与锯缘青蟹中关键气味活性化合物的鉴定[D].上海:上海海洋大学,2011
YU Huiqi. Identification of key aroma-active compounds from Chinese mitten crab and mangrove crab [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011
- [15] Yu H, Chen S. Identification of characteristic aroma-active compounds in steamed mangrove crab (*Scylla serrata*) [J]. Food Research International, 2010, 43(8): 2081-2086
- [16] Wang S, He Y, Wang Y, et al. Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis* [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 24-31
- [17] 王福田,赖年悦,程华峰,等.比较分析三种不同环境下的中华鳖肌肉营养品质及其挥发性风味物质[J].食品与发酵工业,2019,22:253-261
WANG Futian, LAI Nianyue, CHENG Huafeng, et al. Comparative analysis of the nutritional quality and volatile flavor constituents in the muscle of Chinese soft-shelled turtle from three different environments [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 22: 253-261
- [18] Li K, Cai C, Ye Y, et al. Comparison of non-volatile compounds and sensory characteristics of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in lakes and ponds: Potential environmental factor [J]. Aquaculture, 2012, 364-365(5): 96-102
- [19] Bell L, Methven L, Signore A, et al. Analysis of seven salad rocket (*Eruca sativa*) accessions: the relationships between sensory attributes and volatile and non-volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2016, 218: 181-191
- [20] Kraujalyte V, Pelvan E, Alasalvar C. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea [J]. Food Chemistry, 2016, 194(1): 864-872
- [21] 王福田,张艳凌,朱亚军,等.不同生长形态雌性青蟹的性腺营养品质评价与比较[J].食品与发酵工业,2020,46(21):228-236
WANG Futian, ZHANG Yanling, ZHU Yajun, et al. Comparison and evaluation of nutritional qualities of gonads from female mud crab (*Scylla paramamosain*) in different growth-forms [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(21): 228-236
- [22] 葛孟甜.不同生境模式的中华绒螯蟹品质评价及即食蟹产品的加工工艺优化[D].合肥:合肥工业大学,2019
GE Mengtian. Quality evaluation of Chinese mitten crab from four different eco-environment modes and processing technology optimization of ready-to-eat crab products [D]. Heifei: Heifei University of Technology, 2019
- [23] 葛孟甜,李肖婵,林琳,等.我国四个地区河蟹蟹肉挥发性物质的比较[J].中国调味品,2019,44(4):16-22
GE Mengtian, LI Xiaochan, LIN Lin, et al. Comparison of volatile compounds in crab meat from four regions in China [J]. China Condiment, 2019, 44(4): 16-22
- [24] Mau J, Lin H, Ma J, et al. Non-volatile taste components of several speciality mushrooms [J]. Food Chemistry, 2001, 73(4): 461-466
- [25] Dermiki M, Phanphensophon N, Mottram D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 77-83
- [26] Yue J, Zhang Y, Jin Y, et al. Impact of high hydrostatic pressure on non-volatile and volatile compounds of squid muscles [J]. Food Chemistry, 2016, 194(1): 12-19

