

# 饲料中植物油替代鱼油 对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺气味的影响

从娇娇<sup>1,2</sup>, 韩昕苑<sup>1,2</sup>, 庾庭驰<sup>1,2</sup>, 于立志<sup>1,2</sup>, 吴旭干<sup>3</sup>, 王锡昌<sup>1,2,\*</sup>

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2.国家淡水水产品加工技术研发分中心(上海), 上海 201306;

3.上海海洋大学, 农业农村部淡水种质资源重点实验室, 上海 201306)

**摘要:**为探究中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的气味受饲料中植物油替代鱼油的影响, 采用植物油(豆油: 菜籽油 = 3:1, W/W)替代不同水平鱼油(0、50%和100%)的3种等氮等脂饲料(F1、F2和F3)喂养成体雌蟹70 d后, 用感官评价结合电子鼻分别分析肝胰腺和性腺的气味差异, 并进一步采用气相色谱-质谱法-嗅闻法(GC-MS-O)技术具体分析其气味物质。结果显示, 电子鼻可以分别有效区分3组中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的气味轮廓, 感官评价得F2组肝胰腺和性腺的肉香味强于其他两组, 同时土腥味最低。肝胰腺和性腺分别鉴定出57、39种挥发性物质, 25、17种嗅感物质, 且F2组的这两个部位的挥发性物质种数相对于其他两组均较多, 结合OAV评价表明醛类物质对这两个部位的气味贡献最大, 其中壬醛和癸醛是这两个部位的主要气味物质, 分别呈现奶香、生蟹黄味。使用F2组饲料在一定程度上增加愉悦气味的嗅感强度同时减弱不愉悦气味的嗅感强度。综上, 饲料中使用50%植物油替代鱼油最合适, 在降低养殖成本的同时对肝胰腺和性腺的气味有一定改善作用。本研究为优化育肥饲料中鱼油替代源配比以及进一步改善中华绒螯蟹风味品质等提供了一定的理论依据。

**关键词:**中华绒螯蟹, 植物油, 鱼油, 气味, 挥发性物质, 嗅感物质

## Effects of Dietary Replacement of Fish Oil by Vegetable Oil on Odor of Hepatopancreas and Gonads of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*)

CONG Jiao-jiao<sup>1,2</sup>, HAN Xin-yuan<sup>1,2</sup>, YU Ting-chi<sup>1,2</sup>, YU Li-zhi<sup>1,2</sup>, WU Xu-gan<sup>3</sup>, WANG Xi-chang<sup>1,2,\*</sup>

(1.College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2.National R&D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology(Shanghai), Shanghai 201306, China;

3.Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to study the effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the odor quality of hepatopancreas of Chinese mitten crab, vegetable oil (soybean oil: rapeseed oil = 3:1, W/W) was used to replace different levels of fish oil (0, 50% and 100%) to make three kinds of feeds with equal nitrogen and fat (F1, F2 and F3) to feed adult female crabs for 70 days. In this study, the overall odor differences by using electronic nose were analyzed in combination with sensory evaluation, and odor substances were analyzed by gas chromatography-mass spectrometer-olfactometry. The results showed that electronic nose could effectively distinguish the odor profiles of the three groups of hepatopancreas and gonads of Chinese mitten crab. The meat flavor of the hepatopancreas and gonads in the F2 group was stronger than that of the other two groups, and the earthy smell was lowest by sensory evaluation. 57, 39 volatile substances, 25, 17 olfactory substances were identified in the hepatopancreas and gonads, respectively, and the kinds of volatile substances in these two parts of the F2 group were more than that of the other two groups. Aldehydes contributed the most to the odor of these two parts, among which nonanal and decanal were the main odorants of these two parts, showing milky flavor and raw crab odor respectively. The use of the F2 group feed increased the olfactory intensity of the pleasant odor to a certain extent while reducing the olfactory intensity of the unpleasant odor. In summary, it was the most appropriate to use 50% vegetable oil in the feed instead of fish oil, which could improve the odor of the hepatopancreas and gonads while reducing the cost of breeding. The above results would provide a reference for the improvement of the odor quality of cultured Chinese mitten crabs and the development of fish oil substitute

收稿日期: 2020-03-30

作者简介: 从娇娇(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养与品质评价, E-mail: 732537060@qq.com.

\* 通信作者: 王锡昌(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养与品质评价, E-mail: xcwang@shou.edu.cn.

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系(沪农科产字[2018]第4号)。

sources in fattening feed.

**Key words:** Chinese mitten crab; vegetable oil; fish oil; odor; volatile substance; olfactory substance

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)24-0055-09

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020030394

**引文格式:**从娇娇,韩昕苑,庾庭驰,等.饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺气味的影响[J].食品工业科技,2020,41(24):55-63.

CONG Jiao-jiao, HAN Xin-yuan, YU Ting-chi, et al. Effects of Dietary Replacement of Fish Oil by Vegetable Oil on Odor of Hepatopancreas and Gonads of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 55-63. (in Chinese with English abstract) <http://www.spgykj.com>

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 是我国特有的水产养殖动物之一, 其因营养丰富、风味独特而深受欢迎<sup>[1]</sup>。随着时代发展, 消费者对其品质也提出了更高的要求。气味是消费者品尝食品时重要的感官指标之一, 消费者对气味的接受程度影响了对该食品的喜爱度<sup>[2]</sup>。脂肪酸是许多气味物质的前体物质, 特别是一些不饱和脂肪酸, 当其氧化或降解时会产生一些挥发性物质, 这些物质通常对水产品的风味具有较大贡献<sup>[3]</sup>。

鱼油中 n-3 PUFA 含量高, 因此在水产养殖动物的饲料中通常添加一定量的鱼油来提高其品质, 但近年来鱼油市场供不应求导致其价格不断增长, 因而来源广泛、供应稳定、价格低廉的植物油越来越受到关注<sup>[4-6]</sup>。Izquierd 等<sup>[7-8]</sup> 研究发现, 饲料中亚麻油和菜籽油替代鱼油时不会造成金头鲷的感官品质差异, 而用大豆油替代鱼油时会使其带有轻微的泥土味道, 影响了其风味品质。Regost 等<sup>[9]</sup> 研究发现, 饲料中大豆油替代鱼油会使大菱鲆产生明显的土豆气味。

有学者<sup>[10-13]</sup> 研究表明, 饲料中合适比例的植物油替代鱼油对中华绒螯蟹的生长性能没有负面影响, 同时可强化营养品质, 改善脂肪酸组成, 增加香气物质。中华绒螯蟹的主要可食部位包括肌肉、性腺和肝胰腺, 雌性中华绒螯蟹的肝胰腺和性腺两者俗称为蟹黄, 其气味浓郁而独特, 深受消费者喜爱<sup>[14]</sup>。除了鲜食, 蟹黄也经常制作成各种食品, 如秃黄油、蟹黄汤包和蟹黄豆腐等, 深受消费者喜爱。因此本研究从多方面探究植物油替代鱼油对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺气味的影响, 以期中华绒螯蟹育肥饲料中脂肪源的配比和气味物质的研究提供一定的理论依据和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

中华绒螯蟹 雌蟹, 60 只, 采于 2018 年 11 月 21 日并立即运回实验室; 2,4,6-三甲基吡啶 (纯度 > 98.0%) 东京化成工业株式会社; 豆粕、菜粕、鱼粉、虾膏、啤酒酵母粉、面粉、多矿预混料、多维预混料、磷酸二氢钙、氯化胆碱、甜菜碱、牛磺酸、维生素 C 酯、维生素 E、磷脂油、精炼鱼油、豆油、菜籽油 深圳澳华农牧有限公司。

Astree 电子鼻 法国 Alpha M.O.S; MonoTrap RCC18 固相萃取整体捕集剂 日本 GL Sciences 公司; 7890-5977A 气相色谱-质谱联用仪 美国

Agilent 公司; ODP-3 嗅辨仪 德国 Gerstel 公司。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 实验饲料和育肥条件** 根据本课题组前期实验的探究, 采用植物油 (豆油: 菜籽油 = 3:1, W/W) 替代饲料中鱼油, 分别配制全鱼油饲料 (F1, 对照组)、50% 植物油替代鱼油饲料 (F2) 和全植物油饲料 (F3) 3 种等氮等脂育肥饲料, 具体饲料配方见表 1。所有饲料粒径 4.5~5.0 mm, 长度 10 mm 左右, 置于密封袋中在 -20 °C 冰箱保存备用。

实验用成蟹采自崇明养殖池塘, 均为生殖蜕壳后的雌蟹。养殖期间水质指标要求为 pH7.0~9.0, 平均溶氧 > 4 mg/L, 氨氮 < 0.5 mg/L, 亚硝酸盐 < 0.15 mg/L, 养殖育肥 70 d, 每组 20 只。

育肥结束后分别从 3 组饲料投喂的蟹中随机取出 5 只进行感官评价, 将 3 组蟹立即活体解剖分别取出肝胰腺和性腺分装至小密封袋, -80 °C 冰箱保存。

表 1 实验饲料配方 (%)

Table 1 Feed formula of experiment (%)

配料	F1	F2	F3
豆粕-46%	24.35	24.35	24.35
菜粕-36%	15.00	15.00	15.00
鱼粉	20.00	20.00	20.00
虾膏	6.00	6.00	6.00
啤酒酵母粉	6.00	6.00	6.00
面粉	16.00	16.00	16.00
多矿预混料	0.25	0.25	0.25
多维预混料	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙	1.20	1.20	1.20
氯化胆碱	0.40	0.40	0.40
甜菜碱	0.15	0.15	0.15
牛磺酸	0.30	0.30	0.30
35% 维生素 C 酯	0.10	0.10	0.10
维生素 E (50%)	0.05	0.05	0.05
磷脂油	2.00	2.00	2.00
精炼鱼油	8.00	4.00	0.00
豆油	0.00	3.00	6.00
菜籽油	0.00	1.00	2.00

注: 豆粕和菜粕后面的百分数是蛋白含量, 氯化胆碱和维生素 E 后的百分数是纯度。

**1.2.2 感官评价** 根据付娜等<sup>[15]</sup> 研究结果, 选取中华绒螯蟹最佳加热方式 (热水蒸制 20 min)。挑选经过培训合格且经验丰富的感官人员 10 名 (5 男 5

女)。首先经感官描述筛选出对中华绒螯蟹整体气味有主要贡献作用且较易区分的气味指标(土腥味、肉香味、油脂味、青草味),然后分别对肝胰腺和性腺的这四个气味指标进行感官强度打分。根据GB/T 12313-1990《感官分析方法风味剖面检验》分5个强度点打分,0 = 不存在;1 = 刚好可识别阈;2 = 弱;3 = 中等;4 = 强;5 = 很强。

1.2.3 电子鼻检测 参考党连魁等<sup>[16]</sup>方法并作修改,分别称取1.0 g肝胰腺和性腺于10 mL进样瓶。参数为:50 °C平衡10 min,载气流速150 mL/min,进样体积2500  $\mu$ L,速度2500  $\mu$ L/s,注射针温度60 °C,数据采集时间120 s,传感器清洗时间600 s。

1.2.4 气相色谱-质谱法-嗅闻法(gas chromatography-mass spectrometer-olfactometry, GC-MS-O)检测 提取方法:采用固相萃取整体捕集剂法(monolithic material sorptive extraction, MMSE),参考张晶晶等<sup>[17]</sup>方法并作修改,分别称取3.0 g肝胰腺和性腺于20 mL顶空瓶,加入 $10^{-6}$  g/mL浓度的内标物2,4,6-三甲基吡啶(TMP)4  $\mu$ L,取3个固相吸附子(MTRCC18)用配套装置固定于顶空瓶中样品上方,水浴50 °C萃取50 min。

测定条件:起始柱温40 °C,保持2 min;以5 °C/min升至100 °C,保持2 min;再以3 °C/min升至180 °C,保持2 min;最后以8 °C/min升至240 °C,保持5 min。

定性定量分析:通过NIST 2008和Wiley谱库筛选出正反匹配度都大于800的气味物质,计算这些气味物质的浓度,公式如下:

$$\text{浓度}(\text{ng/g}) = \frac{\text{峰面积比例}(\text{气味物质}/\text{TMP}) \times 4 \text{ ng}(\text{TMP})/3 \text{ g}(\text{样品})}{\text{式}(1)}$$

根据顾赛麒等<sup>[18]</sup>评价方法,计算挥发性物质的气味活度值(odor activity value, OAV)。定义 $\text{OAV} \geq 0.1$ 的挥发性气味物质对样品整体气味具有重要的贡献<sup>[19]</sup>。公式如下:

$$\text{OAV} = C/T \quad \text{式}(2)$$

式中:C为气味物质的绝对浓度,ng/g;T为气味物质的阈值,ng/g。

嗅闻法鉴定嗅感物质-检测频率法:10名感官员对样品各嗅闻3次,记录嗅感物质的气味描述,嗅闻时间及气味强度(0 = 没嗅闻到、1 = 气味弱、2 = 气味

中等、3 = 气味强、4 = 气味非常强)。统计包括3名感官员及以上在相同保留时间闻到的具有同一气味特征的物质并计算其嗅闻气味强度平均值。

### 1.3 数据处理

本实验数据使用SPSS 20.0软件进行统计分析,结果以平均值 $\pm$ 标准偏差(Mean  $\pm$  SD, n = 3)表示。主成分分析使用Alpha Soft 14.0进行处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价分析

图1为不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的气味感官评价雷达图。由图1可知,同一部位的特征气味感官评分相近,肝胰腺和性腺各自的感官气味轮廓则有所不同。肝胰腺是脂肪含量最高的部位,感官评价显示油脂味也最强,而随着植物油替代水平的上升,油脂味强度值随之减弱。F2组肝胰腺的肉香味强度值高于其他两组,同时土腥味最低。对于性腺而言,肉香味和油脂味较强,F2组性腺的油脂味和肉香味高于其他两组,同时土腥味最弱。肝胰腺和性腺的青草味强度值都随植物油在饲料中的比重的上升而增加。总的来说,使用50%植物油替代鱼油饲料能减弱中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的土腥味,增强肉香味。使用全植物油饲料会使得这两个部位的青草味增强。

### 2.2 电子鼻结果分析

主成分分析(PCA)是通过电子鼻传感器的数据转化、降维并进行线性归类,从而最大程度体现样品间的差异<sup>[20-21]</sup>。第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的贡献率之和显示了样品信息整体差异的完整程度,判别指数(discrimination index, DI)反映了样品间的气味轮廓的区分程度<sup>[22]</sup>。

图2显示饲料气味轮廓PCA图的PC1与PC2的贡献率之和为96.900%,DI为72,说明3组饲料的气味可以很好的被区分开。PC1的贡献率要远大于PC2的贡献率,且在PC1上,F2与F1的差异小于F3与F1的差异。

图3显示肝胰腺和性腺的PCA中PC1与PC2的贡献率之和分别为90.155%、92.333%。DI分别为75、81,各部位数据采集点的区域区分明显且不相互覆盖,说明肝胰腺和性腺的气味轮廓能被电子鼻区

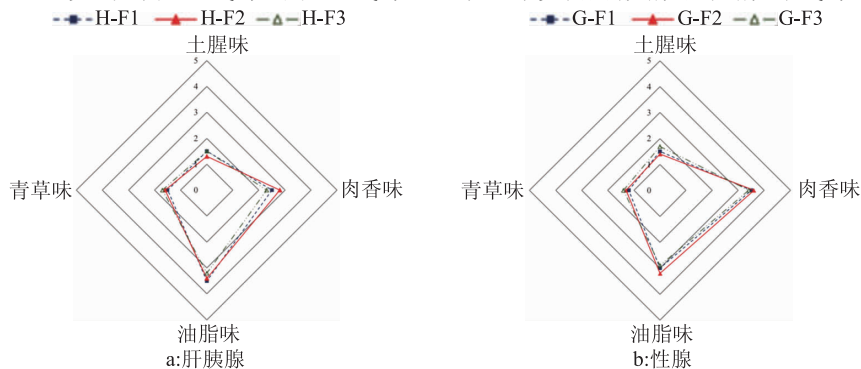


图1 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的气味感官评价雷达图  
Fig.1 Odor radar graphs analyzed of sensory evaluation for hepatopancreas and gonads of

*Eriocheir sinensis* with different dietary replacements of fish oil by vegetable oil



分开,从而证明饲料中植物油替代鱼油对肝胰腺和性腺的气味有不同程度的影响。3组肝胰腺气味轮廓在PCA图上的区域则与对应饲料相似,猜测由于蟹长期摄食饲料从而导致脂肪含量最高的部位肝胰腺沾染了一定饲料气味。从F1组依次到F3组,性腺的气味轮廓具有向X轴负方向变化的趋势,肝胰腺的规律则相反。

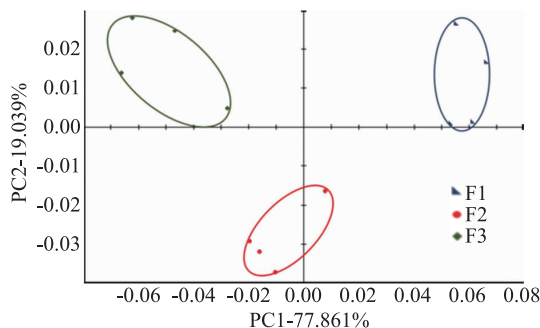


图2 不同饲料的气味轮廓主成分分析图

Fig.2 Principal component analysis plot of different feeds

### 2.3 挥发性物质分析

表2是GC-MS检测出的3组肝胰腺气味物质的结果,一共检测出57种挥发性气味物质,包括醛类6种,醇类5种,酮类4种,酯类9种,芳香类13种,烃类14种,含氮类3种,呋喃类2种,含硫类1种。从F1组肝胰腺中共检测出43种挥发性物质,其中OAV $\geq$ 0.1的有4种,为3-甲基丁醛、壬醛、癸醛和三甲胺;从F2组肝胰腺中共检测出45种挥发性化合物,其中OAV $\geq$ 0.1的有6种,为3-甲基丁醛、壬醛、癸醛、三甲胺、顺式-4-癸烯醛和萘;从F3组肝胰腺中共检测出39种挥发性化合物,其中OAV $\geq$ 0.1的有6种,为3-甲基丁醛、壬醛、癸醛、三甲胺、萘和二甲基二硫化物。

表3显示3组性腺中一共检测出39种挥发性物质,分别有6种醛类,4种醇类,2种酮类,1种酯类,16种芳香类,8种烃类,1种含氮类,1种含硫类。G-F1有34种挥发性物质,其中OAV $\geq$ 0.1的有3种,为辛醛、壬醛和癸醛;G-F2中37种,其中OAV $\geq$ 0.1

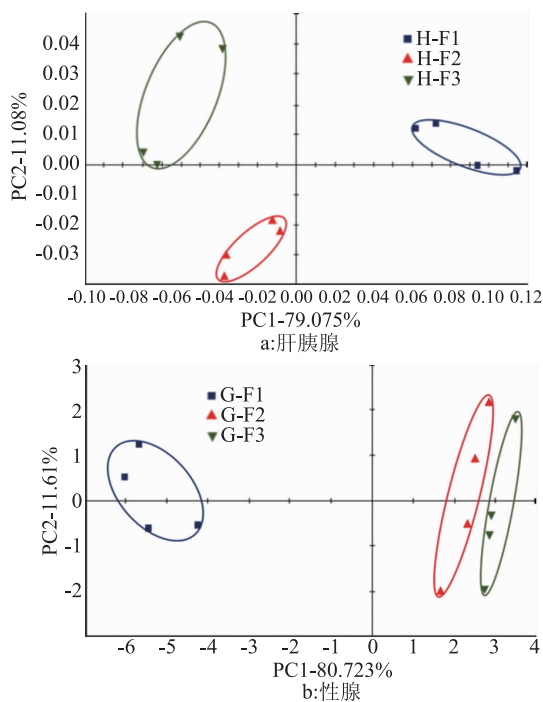


图3 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的气味轮廓主成分分析图

Fig.3 Principal component analysis plot of hepatopancreas and gonads of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacements of fish oil by vegetable oil

的有5种,为辛醛、壬醛、癸醛、萘和三甲胺;G-F3中39种,其中OAV $\geq$ 0.1的有4种,为辛醛、壬醛、癸醛和三甲胺。

在肝胰腺、性腺中分别共计有7、5种OAV $>$ 0.1的挥发性物质,都以醛类为主。醛类物质被认为具有令人愉悦的花香、果香等芳香气味,且绝大多数的醛类阈值较低。有研究发现癸醛一般是油酸的氧化产物<sup>[23]</sup>,植物油富含油酸、亚油酸和亚麻酸,F2和F3组肝胰腺、性腺中癸醛的浓度都大于F1组肝胰腺、性腺。癸醛的阈值低,3组肝胰腺和性腺中癸醛的OAV都大于1,说明癸醛对肝胰腺和性腺的整体香气的贡献较大。王帅<sup>[24]</sup>也指出癸醛是中华绒螯蟹

表2 不同水平植物油替代鱼油下中华绒螯蟹肝胰腺的挥发性物质

Table 2 Volatile substances in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacements of fish oil by vegetable oil

化合物	阈值 (ng/g) <sup>[13,17,27-31]</sup>	绝对含量(ng/g)			OAV		
		H-F1	H-F2	H-F3	H-F1	H-F2	H-F3
醛类							
3-甲基丁醛	1.6	0.39 $\pm$ 0.07	2.89 $\pm$ 0.11	2.96 $\pm$ 0.43	0.24	1.81	1.85
苯甲醛	41.7	0.52 $\pm$ 0.11	0.76 $\pm$ 0.27	1.06 $\pm$ 0.16	0.01	0.02	0.03
壬醛	1.1	0.54 $\pm$ 0.00	1.05 $\pm$ 0.48	1.19 $\pm$ 0.18	0.49	0.95	1.08
顺式-4-癸烯醛	0.02	N.D.	0.28 $\pm$ 0.00	N.D.	-	14.00	-
癸醛	0.1	0.40 $\pm$ 0.00	1.00 $\pm$ 0.49	1.24 $\pm$ 0.22	4.00	10.00	12.40
己醛	5	N.D.	0.16 $\pm$ 0.00	N.D.	-	0.03	-
醇类							
2-丁基-1-辛醇	125.8	0.03 $\pm$ 0.01	0.14 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.02	<0.01	<0.01	<0.01
2-辛烯-1-醇	40	0.13 $\pm$ 0.01	N.D.	N.D.	<0.01	-	-
3-庚烯-1-醇	N.A.	0.05 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.01	-	-	-
1-辛烯-3-醇	978	0.05 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.00	0.17 $\pm$ 0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2-乙基-1-己醇	270000	0.53 $\pm$ 0.13	0.82 $\pm$ 0.23	1.18 $\pm$ 0.17	<0.01	<0.01	<0.01

续表

化合物	阈值 (ng/g) <sup>[13,17,27-31]</sup>	绝对含量(ng/g)			OAV		
		H-F1	H-F2	H-F3	H-F1	H-F2	H-F3
酮类							
2-丁酮	35400	0.21 ± 0.00	N.D.	N.D.	<0.01	-	-
6-甲基-5-庚烯-2-酮	68	0.20 ± 0.06	0.48 ± 0.05	0.53 ± 0.08	<0.01	0.01	0.01
环十二酮	N.A.	0.85 ± 0.05	N.D.	N.D.	-	-	-
2-壬酮	32	1.53 ± 0.55	1.48 ± 0.21	2.84 ± 0.17	0.05	0.05	0.09
酯类							
丁酸甲酯	N.A.	N.D.	0.08 ± 0.03	N.D.	-	-	-
戊酸甲酯	N.A.	N.D.	0.07 ± 0.00	N.D.	-	-	-
己酸甲酯	N.A.	N.D.	0.31 ± 0.04	N.D.	-	-	-
辛酸甲酯	N.A.	2.87 ± 0.62	4.81 ± 0.68	6.17 ± 0.43	-	-	-
壬酸甲酯	N.A.	0.36 ± 0.01	1.09 ± 0.11	0.92 ± 0.12	-	-	-
4-癸烯酸甲酯	N.A.	3.70 ± 0.13	4.68 ± 0.42	4.06 ± 0.24	-	-	-
癸酸甲酯	N.A.	0.79 ± 0.08	1.11 ± 0.22	3.16 ± 0.07	-	-	-
4,8-二甲基壬酸甲酯	N.A.	0.51 ± 0.08	0.78 ± 0.15	N.D.	-	-	-
邻苯二甲酸二甲酯	N.A.	0.22 ± 0.01	0.43 ± 0.11	0.66 ± 0.13	-	-	-
芳香类							
苯	716	4.20 ± 0.21	5.80 ± 1.52	11.09 ± 1.59	0.01	0.01	0.02
甲苯	1550	1.25 ± 0.66	3.99 ± 0.20	4.82 ± 0.19	<0.01	<0.01	<0.01
乙苯	28	0.16 ± 0.03	0.35 ± 0.04	0.55 ± 0.09	0.01	0.01	0.02
邻二甲苯	450.23	N.D.	0.28 ± 0.01	N.D.	-	<0.01	-
对二甲苯	490	0.29 ± 0.07	0.07 ± 0.03	0.50 ± 0.15	<0.01	<0.01	<0.01
苯乙烯	26.4	0.27 ± 0.03	0.31 ± 0.08	0.92 ± 0.14	0.01	0.01	0.03
1,2,3-三甲基-苯	N.A.	0.83 ± 0.05	0.94 ± 0.30	1.02 ± 0.22	-	-	-
2-甲基-反式十氢化萘	N.A.	1.01 ± 0.03	0.75 ± 0.07	0.91 ± 0.03	-	-	-
萘	6	0.37 ± 0.00	0.84 ± 0.35	0.95 ± 0.05	0.06	0.14	0.16
正庚基苯	N.A.	0.07 ± 0.00	0.13 ± 0.05	N.D.	-	-	-
联苯	N.A.	0.91 ± 0.17	1.13 ± 0.38	1.55 ± 0.28	-	-	-
2-甲基-1,1'-联苯	N.A.	0.38 ± 0.06	0.51 ± 0.19	N.D.	-	-	-
2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	N.A.	0.17 ± 0.06	0.26 ± 0.15	0.36 ± 0.06	-	-	-
烃类							
己烷	21900	0.46 ± 0.06	0.68 ± 0.28	0.74 ± 0.04	<0.01	<0.01	<0.01
2-辛烯	N.A.	0.10 ± 0.00	N.D.	0.17 ± 0.00	-	-	-
1,3-辛二烯	5600	0.05 ± 0.00	N.D.	N.D.	<0.01	-	-
辛烷	N.A.	N.D.	N.D.	0.38 ± 0.05	-	-	-
2,4-二甲基-己烷	N.A.	N.D.	0.08 ± 0.00	N.D.	-	-	-
1-壬烯	N.A.	0.10 ± 0.00	0.12 ± 0.06	0.15 ± 0.03	-	-	-
壬烷	10000	0.17 ± 0.10	0.35 ± 0.04	0.50 ± 0.05	<0.01	<0.01	<0.01
4-甲基-壬烷	N.A.	0.21 ± 0.00	0.25 ± 0.03	0.25 ± 0.05	-	-	-
癸烷	N.A.	0.14 ± 0.00	1.67 ± 0.43	2.49 ± 0.29	-	-	-
丁基环己烷	N.A.	0.56 ± 0.08	0.53 ± 0.11	0.59 ± 0.14	-	-	-
5-甲基-癸烷	N.A.	0.72 ± 0.06	0.48 ± 0.00	N.D.	-	-	-
十一烷	1170	1.49 ± 0.33	1.95 ± 0.58	3.00 ± 0.22	<0.01	<0.01	<0.01
十二烷	2040	N.D.	1.71 ± 0.18	N.D.	-	<0.01	-
十四烷	1000	0.16 ± 0.00	N.D.	N.D.	<0.01	-	-
含氮类							
三甲胺	2.4	0.24 ± 0.02	0.28 ± 0.01	1.39 ± 0.14	0.10	0.12	0.60
吡啶	2000	N.D.	N.D.	3.91 ± 0.51	-	-	<0.01
吡啶	140	N.D.	N.D.	1.35 ± 0.25	-	-	0.01
其他							
3-甲基咪唑	N.A.	N.D.	N.D.	0.76 ± 0.01	-	-	-
2,5-二甲基咪唑	N.A.	N.D.	N.D.	0.62 ± 0.02	-	-	-
二甲基二硫化物	1.10	N.D.	N.D.	2.30 ± 0.09	-	-	2.09

注: N.A.未查询到; N.D.未检测到; 表3同。

关键气味物质之一。壬醛也是肝胰腺和性腺中 OAV 都大于 0.1 的气味物质, 被报道在中华绒螯蟹中的相对含量较高<sup>[3]</sup>, 对中华绒螯蟹的气味贡献较大。顺式

-4-癸烯醛和己醛仅在 H-F2 中检出, 且顺式-4-癸烯醛的 OAV 为 14, 这可能是 3 组肝胰腺的气味产生差异的原因之一, 也可能是导致 F2 组肝胰腺气味的

表3 不同水平植物油替代鱼油下中华绒螯蟹性腺的挥发性物质

Table 3 Volatile substances in gonads of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

化合物	阈值 (ng/g) <sup>[13,17,27-31]</sup>	绝对含量(ng/g)			OAV		
		G-F1	G-F2	G-F3	G-F1	G-F2	G-F3
醛类							
己醛	5	0.06 ± 0.00	0.21 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.01	0.04	<0.01
苯甲醛	41.7	0.10 ± 0.00	0.46 ± 0.13	0.28 ± 0.07	<0.01	0.01	<0.01
辛醛	0.587	0.33 ± 0.06	0.52 ± 0.10	0.35 ± 0.06	0.56	0.89	0.60
壬醛	1.1	0.33 ± 0.09	1.32 ± 0.05	0.60 ± 0.02	0.30	1.20	0.55
癸醛	0.1	0.48 ± 0.02	1.38 ± 0.10	0.76 ± 0.17	4.80	13.80	7.60
十一醛	5	0.08 ± 0.01	0.27 ± 0.10	0.25 ± 0.04	0.02	0.05	0.05
醇类							
1,2,4-丁三醇	N.A.	N.D.	N.D.	0.26 ± 0.05	-	-	-
2-乙基-1-己醇	270000	0.16 ± 0.03	0.49 ± 0.14	0.27 ± 0.07	<0.01	<0.01	<0.01
2-十一烷醇	N.A.	0.34 ± 0.01	0.99 ± 0.05	0.72 ± 0.01	-	-	-
正十三烷-1-醇	N.A.	N.D.	0.46 ± 0.14	N.D.	-	-	-
酮类							
6-甲基-5-庚烯-2-酮	68	0.21 ± 0.03	0.36 ± 0.04	0.27 ± 0.03	<0.01	<0.01	<0.01
苯乙酮	65	N.D.	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.02	-	0.01	0.01
酯类							
邻苯二甲酸二甲酯	N.A.	0.22 ± 0.07	0.66 ± 0.18	0.39 ± 0.03	-	-	-
芳香类							
苯	716	5.40 ± 0.89	16.17 ± 4.74	14.93 ± 1.84	<0.01	0.02	0.02
甲苯	1550	0.47 ± 0.08	1.53 ± 0.47	1.09 ± 0.32	<0.01	<0.01	<0.01
乙苯	28	0.16 ± 0.03	0.62 ± 0.15	0.38 ± 0.07	<0.01	0.02	0.01
对二甲苯	490	0.02 ± 0.01	0.35 ± 0.09	0.16 ± 0.05	<0.01	<0.01	<0.01
苯乙烯	26.4	0.26 ± 0.04	1.08 ± 0.32	0.80 ± 0.08	<0.01	0.04	0.03
丙基-苯	177.12	0.14 ± 0.02	0.54 ± 0.11	0.41 ± 0.09	<0.01	<0.01	<0.01
1-乙炔基-4-甲基-苯	N.A.	N.D.	0.39 ± 0.05	0.31 ± 0.01	-	-	-
丁基-苯	N.A.	0.21 ± 0.01	0.59 ± 0.18	0.44 ± 0.13	-	-	-
1-苯基-1-丁烯	2040	0.05 ± 0.01	0.16 ± 0.04	0.12 ± 0.02	<0.01	<0.01	<0.01
萘	6	0.38 ± 0.01	0.75 ± 0.00	0.58 ± 0.06	0.06	0.12	0.09
己基-苯	N.A.	0.19 ± 0.03	0.61 ± 0.18	0.39 ± 0.07	-	-	-
正庚基苯	N.A.	0.10 ± 0.02	0.27 ± 0.09	0.22 ± 0.05	-	-	-
联苯	N.A.	0.45 ± 0.06	1.92 ± 0.55	1.28 ± 0.33	-	-	-
2-甲基-1,1'-联苯	N.A.	0.38 ± 0.01	1.15 ± 0.25	0.76 ± 0.07	-	-	-
2-甲基-1,1'-联苯	N.A.	0.09 ± 0.01	0.20 ± 0.00	0.19 ± 0.02	-	-	-
2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	N.A.	0.28 ± 0.08	1.24 ± 0.25	1.17 ± 0.10	-	-	-
烃类							
己烷	21900	3.52 ± 0.68	5.31 ± 0.54	4.22 ± 0.94	<0.01	<0.01	<0.01
3-辛烯	N.A.	0.09 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.09 ± 0.03	-	-	-
1,3-辛二烯	5600	0.01 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.04 ± 0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1-壬烯	N.A.	0.11 ± 0.01	0.39 ± 0.06	0.33 ± 0.03	-	-	-
壬烷	10000	0.08 ± 0.01	0.24 ± 0.08	0.16 ± 0.05	<0.01	<0.01	<0.01
癸烷	N.A.	N.D.	0.42 ± 0.10	0.37 ± 0.02	-	-	-
十一烷	1170	0.17 ± 0.02	0.42 ± 0.09	0.28 ± 0.07	<0.01	<0.01	<0.01
十四烷	1000	0.17 ± 0.03	N.D.	0.23 ± 0.01	<0.01	-	<0.01
含氮类							
三甲胺	2.4	0.17 ± 0.05	0.31 ± 0.07	0.33 ± 0.12	0.07	0.13	0.14
其他							
4-异硫氰酸-1-丁烯	N.A.	0.32 ± 0.02	3.6 ± 0.25	0.57 ± 0.15	-	-	-

肉香味更强的因素之一。

醇类物质大多阈值较高,因而对整体风味的贡献较小。已有报道1-辛烯-3-醇在蟹类等水产品中检出,是亚油酸氧化降解的一种产物,被形容成蘑菇、泥土似的气味<sup>[25]</sup>,F3组肝胰腺中1-辛烯-3-醇的浓度大于其他两组,可能与植物油中亚油酸含量多相关。除2-辛烯-1-醇仅在H-F1中检出,且含

量较低,其他4种醇类化合物均在3组肝胰腺中检出,但OAV都<0.01,说明醇类物质对中华绒螯蟹肝胰腺的整体气味贡献不是很大。性腺中检出的醇类物质仅有4种,其中正十三烷-1-醇仅在G-F2中检出;1,2,4-丁三醇仅在G-F3中检出,且所有检出的醇类物质OAV都<0.01,说明醇类物质对中华绒螯蟹性腺的整体气味贡献很小。

酮类物质目前被认为通常由多不饱和脂肪酸氧化和降解产生<sup>[25]</sup>。2-壬酮是3组肝胰腺中共有的含量最高的物质,且其在H-F3中的含量明显高于其他两组。2-丁酮和环十二酮则是F1组肝胰腺独有的酮类物质,这可能与饲料中鱼油和植物油的脂肪酸组成不同相关。苯乙酮在F2和F3组性腺中均被检出,但在F1组性腺中未被检出,猜测该物质可能与植物油中多不饱和脂肪酸组成有关。

酯类物质通常是由酸和醇经过酯化反应产生的,具有令人愉快的水果香甜味。仅在H-F2中检出丁酸甲酯、戊酸甲酯、己酸甲酯,这可能又是造成3组肝胰腺的气味产生差异的原因之一,酯类物质本身具有令人愉悦的香气,推测可掩盖腥味等不愉悦的气味,也可能是使得F2组肝胰腺肉香味强于其他两组的因素之一。

3组肝胰腺和性腺中检测出的芳香类化合物中仅萘OAV $\geq 0.1$ ,烃类中没有物质的OAV $\geq 0.1$ ,说明尽管检出的芳香类和烷烃类物质种类较多,但这些物质对肝胰腺和性腺的整体气味的贡献并不大。

有报道称三甲胺广泛存在于蟹类中,是蟹腥味的主要来源之一<sup>[3]</sup>,肝胰腺和性腺中,三甲胺含量都随着植物油替代比例的增加而增加,F3组肝胰腺中的三甲胺含量明显高于其他两组,F3组性腺的三甲

胺含量也最高,这与感官评价得出的F3组肝胰腺和性腺的土腥味最强一致。F3组肝胰腺被检测出其他两组没有的3-甲基呋喃、2,5-二甲基呋喃和二甲基二硫化物,且二甲基二硫化物OAV大于1,二甲基二硫被报道具有类似洋葱、白菜的气味,可能来源于乙硫醇的氧化或蛋氨酸的细菌降解<sup>[26]</sup>,这可能加剧了F3组肝胰腺与其他两组的差异,也可能是导致F3组肝胰腺青草味增强的因素之一。

## 2.4 嗅感物质分析

由表4可知,从中华绒螯蟹肝胰腺中共鉴定出25种嗅感物质,包括醛类5种,醇类2种,酮类3种,酯类5种,芳香类6种,烃类2种,含氮类1种,未知物质1种,这种物质虽然能被感官嗅出硫化臭味,但是未被检测出,这可能由于这种物质含量在肝胰腺中较低未能达到质谱检测限。

F3组肝胰腺的三甲胺的嗅感强度大于其他两组,与其含量最高和感官评价中土腥味最强一致,说明使用全植物油替代鱼油增加了肝胰腺的腥味。2-丁酮、1,3-辛二烯分别被认为具有酸奶酪,臭鸡蛋的气味,仅存在于F1组肝胰腺。苯甲醛和1-辛烯-3-醇被描述成生蘑菇的气味,己醛、辛酸甲酯、2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚、十一烷等都被描述成具有青草味,这些嗅感物质在H-F1中的强度最低,

表4 不同水平植物油替代鱼油下中华绒螯蟹肝胰腺的嗅感物质描述及强度

Table 4 Description and intensity of olfactory substances in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

化合物	气味描述	H-F1	H-F2	H-F3
三甲胺	鱼腥,腥臭味	2.0	2.0	3.0
2-丁酮	酸奶酪	2.5	-	-
3-甲基丁醛	奶油坚果	2.5	2.7	2.7
甲苯	塑料、橡胶、油漆味	2.3	2.3	2.6
1,3-辛二烯	臭鸡蛋	2.5	-	-
乙苯	煮花生壳	2.0	2.3	2.3
苯甲醛	生蘑菇	2.0	2.5	2.5
壬醛	奶茶、化妆品香味	2.0	2.6	2.3
癸醛	生的蟹黄	3.0	3.3	3.3
己醛	青草	-	2.0	-
未知	硫化臭	3.0	2.6	3.0
1-辛烯-3-醇	生蘑菇	2.0	2.0	2.0
2-乙基-1-己醇	不加糖爆米花、烤谷物香	2.0	2.0	2.3
6-甲基-5-庚烯-2-酮	漆、生油、金属味	2.0	2.0	2.3
辛酸甲酯	青草	2.7	3.0	3.3
壬酸甲酯	生的菜、菜籽油	2.0	2.0	2.0
4-癸烯酸甲酯	生的蟹	2.7	2.7	2.7
癸酸甲酯	花生巧克力	2.0	2.3	2.3
邻苯二甲酸二甲酯	奶油香甜	2.1	2.3	2.0
2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	青草、奶油香甜	1.0	1.7	1.5
2-壬酮	巧克力、糖果	2.5	2.7	2.7
苯乙烯	咖啡、坚果	1.5	2.0	3.0
十一烷	烤谷物、青草味	2.3	2.5	2.5
联苯	烟草味	2.3	2.5	2.3
萘	木头、花粉	2.3	2.3	2.3

表5 不同水平植物油替代鱼油下中华绒螯蟹性腺的嗅感物质描述及强度

Table 5 Description and intensity of olfactory substances in gonads of

*Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

化合物	气味描述	G-F1	G-F2	G-F3
三甲胺	鱼腥,腥臭味	2.0	2.0	2.5
己烷	土腥	1.0	2.0	2.0
苯	木头、皮革	1.0	2.0	1.5
甲苯	塑料、油漆味	2.5	4.0	3.5
1,3-辛二烯	橡胶、发酵	1.5	2.0	1.0
乙苯	煮花生壳、蘑菇味	1.3	2.0	3.0
苯乙烯	淡香	2.3	2.0	2.0
苯甲醛	苦杏仁、生蘑菇	2.4	2.0	2.5
6-甲基-5-庚烯-2-酮	漆、生油、金属味	2.0	2.0	2.3
辛醛	油	1.5	1.5	1.5
壬醛	奶味	3.0	3.0	3.0
癸醛	芳香、生的蟹黄	2.0	3.0	2.5
十一醛	甜香水	2.0	2.0	2.0
2-十一烷醇	油脂	2.0	2.5	2.5
联苯	烟草	2.3	2.5	2.5
萘	木头、花粉	2.3	2.3	2.3
2,4-双(1,1-二甲基乙基)-苯酚	清香	1.9	2.0	2.0

这与感官评价中得到的 H-F1 青草味最低一致。癸醛是唯一在 3 组肝胰腺中嗅感强度都大于 3 的物质,也是唯一在 3 组肝胰腺中 OAV 都大于 1 的物质,被描述成具有生的蟹黄的气味,证明其对肝胰腺的整体气味贡献的作用十分重要。

如表 5 所示,共 17 种嗅感物质在中华绒螯蟹性腺中被鉴别出。G-F3 中三甲胺的嗅感强度最强,这也与其含量最高和感官评价中土腥味最强一致,说明使用全植物油替代鱼油增加了性腺的腥味。己烷被鉴定为土腥气味,嗅感强度为  $G-F1 < G-F2 = G-F3$ 。甲苯被认为具有塑料、油漆的气味,它的嗅感强度比较大,在 G-F2 中为 4.0, G-F3 为 3.5, G-F1 为 2.5。乙苯则被认为具有煮花生壳、蘑菇的气味,并且在性腺中的嗅感气味强度随植物油比重的增加而增强。辛醛、壬醛、十一醛、萘的嗅感强度在 3 组肝胰腺中没有差异,都是令人比较愉悦的气味。苯甲醛被描述为生蘑菇、苦杏仁的气味,其嗅感强度为  $G-F2 < G-F1 < G-F3$ ,癸醛的嗅感强度为  $G-F1 < G-F3 < G-F2$ 。

总的来说,与 F1 组相比,使用全植物油饲料能明显增加这两个部位的腥味,使用 50% 植物油替代鱼油饲料则能增加肝胰腺和性腺的一些类如奶茶、化妆品香味、奶油香甜等愉悦气味的嗅感物质强度,而这些具有愉悦气味的物质可能掩盖了一些不愉悦物质的气味,从而使得感官评价中 F2 组肝胰腺和性腺的土腥味最低。

### 3 结论

使用全鱼油饲料、50% 植物油替代鱼油饲料和全植物油饲料对雌性中华绒螯蟹育肥 70 d 后,3 组中华绒螯蟹的肝胰腺和性腺的气味存在差异。癸醛和壬醛是肝胰腺和性腺中重要的气味物质,对其整

体气味贡献有着不可替代的作用。使用全植物油替代鱼油饲料会增加肝胰腺和性腺中三甲胺的含量并产生一些芳香类物质和含氮、含硫物质,增强土腥味和青草味。使用 50% 植物油替代鱼油能增加中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的挥发性物质种类,增加愉悦气味的嗅感物质强度,从而掩盖和削弱了不愉悦气味的嗅感物质强度。这可能由于饲料中脂肪源的改变影响了肝胰腺和性腺的脂肪酸组成,而脂肪酸是水产品加热产生香气的前体物质,特别是多不饱和脂肪酸,从而造成了 3 组肝胰腺和性腺气味的差异。综合来看,饲料中使用 50% 植物油替代鱼油最合适,在降低养殖成本的同时对肝胰腺和性腺的气味有一定改善作用。

### 参考文献

- [1] Guo Y R, Gu S Q, Wang X C, et al. Nutrients and non-volatile taste compounds in Chinese mitten crab by-products [J]. Fisheries Science, 2015, 81(1): 193-203.
- [2] 庄柯瑾, 陈力, 王锡昌, 等. DHA/EPA 比例对中华绒螯蟹卵巢和肝胰腺中气味物质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2015, v.41; No.334(10): 145-151.
- [3] 金燕. 蟹肉风味的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [4] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, et al. Variation in lipid composition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* during ovarian maturation [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemistry and Molecular Biology, 2001, 130(1): 95-104.
- [5] Wu X, Cheng Y, Sui L, et al. Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock



- [J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 602-613.
- [6] 周永奎, 刘立鹤, 吴建开. 鱼油在水产饲料中的应用[J]. *广东饲料*, 2005, 14(4): 38-40.
- [7] Izquierdo M, Obach A, Aranzamendi L, et al. Dietary lipid sources for seabream and seabass: Growth performance, tissue composition and flesh quality [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(6): 397-407.
- [8] Izquierdo M, Montero D, Robaina L, et al. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a longterm period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1-2): 431-444.
- [9] Regost C, Arzel J, Cardinl M, et al. Total replacement of fish oil by soybean oil with return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*): 2. flesh quality properties [J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1/2/3/4): 737-747.
- [10] 赵磊, 龙晓文, 吴旭干, 等. 育肥饲料中混合植物油替代鱼油对中华绒螯蟹成体雄蟹性腺发育、脂质代谢、抗氧化及免疫性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2016(2): 455-467.
- [11] 赵磊, 龙晓文, 吴旭干, 等. 混合植物油替代鱼油对中华绒螯蟹成体雄蟹常规成分和脂肪酸组成的影响[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(6): 1071-1083.
- [12] 庄柯瑾, 王帅, 王锡昌, 等. 饲料中不同水平花生四烯酸对中华绒螯蟹气味物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(17): 275-280, 285.
- [13] Wu N, Fu X, Zhuang K, et al. Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition and odor profile of hepatopancreas and gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Biochemistry*, 2018: e12646.
- [14] 吴娜. 基于脂质热氧化降解解析中华绒螯蟹关键香气物质的形成机制[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [15] 付娜, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 蒸制和煮制中华绒螯蟹4个部位中游离氨基酸含量差异性分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(24): 178-181.
- [16] 党连魁, 张龙, 周纷, 等. 蒸制中华绒螯蟹可食部位在冷藏过程中腥味变化分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 236-242.
- [17] 张晶晶, 王锡昌, 施文正. 白姑鱼和小黄鱼肉中挥发性风味物质的鉴定[J]. *食品科学*, 2019(14): 206-213.
- [18] 顾赛麒, 陶宁萍, 吴娜, 等. 一种基于 ROAV 值鉴别蟹类关键特征性气味物的方法[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(13): 410-416.
- [19] 樊震宇, 张龙, 袁凯, 等. 蓝点马鲛鱼 (*Scomberomorus niphonius*) 分离蛋白的气味特性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(3): 210-218.
- [20] Jolloffe I T. Principal component analysis [J]. *Journal of Marketing Research*, 2011, 87(100): 513.
- [21] Mellucci D, Bendini A, Tesini F, et al. Rapid direct analysis to discriminate geographic origin of extra virgin olive oils by flash gas chromatography electronic nose and chemometrics [J]. *Food Chemistry*, 2016, 204(8): 263-273.
- [22] 顾赛麒, 王锡昌, 张晶晶, 等. 电子鼻在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定上的应用[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(1): 108-117.
- [23] Forss D. progress in the chemistry of fats and other lipids [M]. Oxford: Pergamon Press, 1972: 177.
- [24] 王帅. 盐度调控对中华绒螯蟹育肥阶段品质形成的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [25] 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.
- [26] Tanchotikul U, Hsieh C Y. Analysis of volatile flavor components in steamed rangia clam by dynamic headspace Sampling and simultaneous distillation and extraction [J]. *Journal of Food Science*, 1991, 56(2): 327-331.
- [27] Giri A, Osako K, Ohshima T. 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.
- [28] Wu N, Gu S, Tao N, et al. Characterization of important odorants in steamed male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry [J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(7): C1250-C1259.
- [29] Wu W, Tao N P, Gu S Q. Characterization of the key odor-active compounds in steamed meat of *Coilia ectenes* from Yangtze River by GC-MS-O [J]. *European Food Research and Technology*, 2014, 238(2): 237-245.
- [30] Gu S Q, Wang X C, Tao N P, et al. Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Research International*, 2013, 54(1): 81-92.
- [31] 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(4-6): S968-S981.