

文章编号: 1674-5566(2020)06-0938-12

DOI:10.12024/jsou.20191002815

饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹滋味品质的影响

从娇娇^{1,2}, 韩昕苑^{1,2}, 于立志^{1,2}, 王红丽^{1,2}, 吴旭干³, 王锡昌^{1,2}

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

摘要: 为研究饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹滋味品质的影响, 采用植物油(质量比豆油: 菜籽油 = 3:1)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, F1 为对照组)喂养体质量为(95±10)g 的成体雌蟹 70 d 后, 分析 3 组蟹可食部位的基本营养成分、游离氨基酸和呈味核苷酸的含量, 并利用电子舌结合感官评价分析其整体滋味差异。结果显示, 3 组蟹的体肉、性腺和肝胰腺的粗脂肪含量无显著差异, 而 F2 组肝胰腺的粗蛋白含量显著高于其他两组, F3 组体肉的粗蛋白含量显著低于其他两组。与 F1 组相比, F2 组可食部位的鲜味、甜味感官强度值以及呈味核苷酸总量, 味精当量均最高, 而 F3 组较低。F2 组性腺和肝胰腺中呈鲜味、甜味氨基酸含量也均较高。由此可得, 使用 50% 植物油替代鱼油饲料喂养雌性中华绒螯蟹可提高其营养品质, 增强其滋味品质, 这可为养殖中华绒螯蟹的滋味品质的改善和育肥饲料中鱼油替代源的开发等提供一定的参考依据。

关键词: 中华绒螯蟹; 感官评价; 电子舌; 游离氨基酸; 核苷酸; 滋味

中图分类号: TS 254.4 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*), 俗称大闸蟹、河蟹, 是我国重要的经济养殖蟹类之一。2018 年我国中华绒螯蟹的养殖产量高达 75.69 万 t^[1]。因其营养价值高、风味独特备受消费者的青睐^[2]。为促进中华绒螯蟹性腺发育, 使其风味更加鲜美, 通常在上市前育肥 1 个月左右^[3]。目前在中华绒螯蟹的育肥过程中, 越来越广泛地使用配合饲料^[3]。有研究^[4]表明, 中华绒螯蟹独特的风味和较高的营养价值与其含有较多的多不饱和脂肪酸有很大关系。鱼油富含 n-3 多不饱和脂肪酸, 因此往往在中华绒螯蟹育肥饲料中添加一定含量的鱼油^[5-6]。但是由于目前鱼油的资源不稳定, 市场供不应求导致其价格不断上涨, 越来越多的养殖者开始采用植物油替代鱼油。植物油来源广泛, 供应稳定, 并且价格低廉。不同的植物油的脂肪酸组成也不同, 因此不同的植物油混合使用能起到脂肪酸互补和平衡的作用, 有利于提高育肥效果^[7-8]。

先前的研究^[9]表明, 使用一定比例植物油替代鱼油的饲料对中华绒螯蟹的生长性能没有负面影响。赵磊等^[10]发现饲料中植物油替代不同水平鱼油对雄性河蟹可食部分中水分和粗蛋白含量无显著影响, 同时使用 50% 植物油替代鱼油有利于雄蟹可食部分的脂肪沉积。REGOST 等^[11]发现植物油替代鱼油对大菱鲆的生长性能没有显著影响。易新文等^[12]发现饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长性能和基本营养成分无显著影响, 却显著影响了大黄鱼的肌肉脂肪酸组成和体色。庄柯瑾等^[13-14]报道饲料中添加不同水平花生四烯酸或饲料中不同 DHA/EPA 对河蟹的性腺和肝胰腺整体气味轮廓及香气物质有一定影响。然而近年来国内外的相关研究多集中在饲料中植物油替代鱼油对水产动物的生长性能、脂肪酸组成及气味的影响, 关于其对滋味品质的影响却鲜有报道。水产养殖饲料中最常用的为豆油和菜籽油, 两者的维生素和脂肪酸组成

收稿日期: 2019-10-13

修回日期: 2020-02-13

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)

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

通信作者: 王锡昌, E-mail: xewang@shou.edu.cn

具有一定互补性,因此混合使用更有利于蟹的生长发育^[15-16]。本研究使用混合植物油(质量比豆油:菜籽油=3:1)替代鱼油研究饲料中植物油部分或全部替代鱼油对中华绒螯蟹营养和滋味品质的影响,以期养殖中华绒螯蟹的滋味品质改善和育肥饲料中鱼油替代源的开发等提供一定的理论依据和实践参考。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料及蟹的养殖

根据本课题组前期实验已确定雌蟹饲料中混合植物油(质量比豆油:菜籽油=1:1)替代鱼油的适合水平为50%,且基于50%植物油替代鱼油的水平下豆油与菜籽油的适宜质量比为3:1。因此本实验中,配制全鱼油饲料、50%植物油替代鱼油饲料(质量比豆油:菜籽油=3:1)和全植物油饲料(质量比豆油:菜籽油=3:1)3种等氮等脂育肥饲料,分别记为F1、F2和F3(F1作为对照组),具体饲料配方见表1。所有饲料粉料过60目筛后根据饲料配方将原料充分混合,按比例加入鱼油和植物油并混匀,然后加30%蒸馏水混合,最后用饲料膨化机制成沉性膨化饲料,粒径为4.5~5.0 mm,长度10 mm左右,风干后装入密封袋,于-20℃冰箱中保存备用。

实验用成蟹采自崇明养殖池塘,均为生殖蜕壳后的雌蟹,体质量为(95±10)g,挑选270只附肢健全、体无外伤、活力良好的个体用于育肥养殖实验。养殖实验在上海海洋大学崇明基地的室内循环水系统中进行,养殖水槽为PE圆桶(直径×高=108 cm×120 cm)。养殖期间水质指标要求为pH 7.0~9.0,平均溶氧>4 mg/L,氨氮<0.5 mg/L,亚硝酸盐<0.15 mg/L。养殖实验从2018年9月初至11月中旬,养殖期为70 d。

1.2 实验样品

本实验所用中华绒螯蟹采于2018年11月21日并立即运回实验室。用洁净的自来水对所有蟹进行清洗,分别从3组饲料投喂的蟹中随机选取5只蟹用于感官评价,每组20只蟹称量后立即活体解剖,分别取出体肉(仅指腹肉,不包括足肉和钳肉)、性腺和肝胰腺,将每组4只蟹相同部位样品混合后均匀分装至小密封袋,冻藏于-80℃冰箱用于后续实验分析。

1.3 主要仪器设备

主要仪器包括鼓风干燥箱(上海慧泰, DHG-9140A)、全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS, Kjeltec 8400)、消化炉(丹麦 FOSS, DT208)、索氏抽提仪(丹麦 FOSS, Soxtec)、数显加热板(德国 IKA, C-MAG HP7)、马弗炉(上海精宏, SXL-1002)、电子舌(法国 Alpha MOS, ASTREE)、氨基酸全自动分析仪(日本 Hitachi, L-8800)和高效液相色谱仪(美国 Waters, W2690/5)。

表 1 实验饲料配方

Tab. 1 Feed formula of experiment		%		
配料	Ingredients	F1	F2	F3
豆粕	Soybean meal-46%	24.35	24.35	24.35
菜粕	Rapeseed meal-36%	15.00	15.00	15.00
鱼粉	Fish meal	20.00	20.00	20.00
虾膏	Shrimp meal	6.00	6.00	6.00
啤酒酵母粉	Brewer's yeast	6.00	6.00	6.00
面粉	Wheat flour	16.00	16.00	16.00
多矿预混料	Mineral premix	0.25	0.25	0.25
多维预混料	Vitamin premix	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.20	1.20	1.20
氯化胆碱	Choline chloride(60%)	0.40	0.40	0.40
甜菜碱	Betaine	0.15	0.15	0.15
牛磺酸	Taurine	0.30	0.30	0.30
35% 维生素 C 酯	Vitamin C ester	0.10	0.10	0.10
维生素 E	Vitamin E(50%)	0.05	0.05	0.05
磷脂油	Lecithin	2.00	2.00	2.00
精炼鱼油	Fish oil	8.00	4.00	0.00
豆油	Soybean oil	0.00	3.00	6.00
菜籽油	Rapeseed oil	0.00	1.00	2.00
组成成分 Composition				
水分	Moisture	11.42±0.33	10.66±0.12	11.43±0.05
粗蛋白	Crude protein	39.51±0.19	39.31±0.13	39.66±0.20
粗脂肪	Crude lipid	8.27±0.08	8.29±0.02	8.27±0.04
灰分	Ash	12.05±0.27	12.47±0.25	12.08±0.60

1.4 实验方法

1.4.1 基本成分测定

水分参照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》的直接干燥法测定;灰分参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》的方法测定;粗蛋白参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法测定;粗脂肪参照 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》的石油醚索氏提取法测定。

1.4.2 感官评价

根据付娜等^[17]研究结果,选取河蟹最佳加热

方式热水蒸制 20 min。挑选经过培训合格的感官评定人员 10 名(5 男 5 女),对中华绒螯蟹可食部位的鲜味、甜味、苦味及咸味等 4 个滋味指标进行感官强度打分。根据 GB 12313—1990《感官分析方法风味剖面检验》分 6 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。

1.4.3 电子舌分析

参考周纷等^[18]的方法,分别称取河蟹的体肉、性腺和肝胰腺各 2.00 g(精确到 0.01 g),均质过程中加入 25 mL 超纯水,超声 5 min 并静置 30 min 后离心(12 000 r/min,15 min,4 ℃),过滤后取沉淀重复以上步骤,合并两次滤液后定容至 100 mL,取 5 mL 至电子舌专用进样杯中,并用超纯水定容至 80 mL,在室温条件下进行测定。每个样品数据采集时间为 120 s,1 s 采集 1 个数据,选取各根传感器上第 120 秒的响应值作为电子舌的原始数据。

1.4.4 游离氨基酸测定

参考付娜等^[17]的方法,称取河蟹的体肉、性腺和肝胰腺各 0.50 g(精确到 0.01 g),加入 5% 的三氯乙酸溶液 15 mL,高速匀浆后超声 15 min,4 ℃ 冰箱静置 2 h 后离心(10 000 r/min,10 min,4 ℃),取上清液 5 mL,调 pH 至 2.0 后定容至 10 mL,摇匀后用 0.22 μm 水相滤膜过滤打入进样瓶后用氨基酸全自动分析仪进行测定分析。

1.4.5 呈味核苷酸测定

参考 CHEN 等^[19]方法并稍作修改,分别称取河蟹的体肉、肝胰腺和性腺各 5.00 g(精确到 0.01 g),加入 10% 的高氯酸溶液 10 mL 高速匀浆,超声 5 min 后离心(10 000 r/min,15 min,4 ℃),取上清液,沉淀用 5 mL 5% 的高氯酸溶液洗涤,再次离心取上清液,重复操作两次合并上清液,调 pH 至 5.8,静置 30 min 后取上清液定容至 50 mL,摇匀后用 0.22 μm 水相滤膜过滤打入进样瓶后上机测定。整个过程保持在 0~4 ℃ 条件下操作。

GL Inertsil ODS-3 色谱柱;250 mm×4.6 mm,5 μm,柱温 30 ℃;流速 1 mL/min;进样量 10 μL;紫外检测器检测波长 254 nm。流动相 A 为甲醇,B 为 0.02 mol/L 磷酸二氢钾和磷酸氢二钾溶液,并用磷酸调节 pH 至 5.8。

1.4.6 味道强度值(TAV)及味精当量(EUC)

滋味物质的味道强度值(taste activity value, TAV)^[20]的计算公式:

$$V_{TA} = C/T \quad (1)$$

式中: V_{TA} 为味道强度值; C 为滋味物质的绝对浓度值,mg/100 g; T 为滋味物质的阈值,mg/100 g。通常 $V_{TA} > 1$ 时,该物质对样品呈味有重要影响,并且数值越大,贡献越大。

味精当量(equivalent umami concentration, EUC)表示鲜味氨基酸与呈味核苷酸混合物协同作用所产生的鲜味强度相当于多少浓度的单一味精(MSG)所产生的鲜味强度^[19],计算公式:

$$E_{uc} = \sum a_i b_i + 1.218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j) \quad (2)$$

式中: E_{uc} 为味精当量,g MSG/100 g; a_i 为鲜味氨基酸(Asp、Glu)的含量,g/100 g; b_i 为鲜味氨基酸相对于 MSG 的相对鲜度系数(Glu 为 1.0,Asp 为 0.077); a_j 为呈味核苷酸(GMP、IMP、AMP)的含量,g/100 g; b_j 为呈味核苷酸相对于 IMP 的相对鲜度系数(IMP 为 1.0,GMP 为 2.3,AMP 为 0.18);1.218 为协同作用系数。

1.5 数据处理

本实验所有数据使用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,结果均以平均值±标准偏差(Mean±SD, $n=3$)表示,采用 ANOVA 分析,数据进行正态分布检验,符合正态分布的多重比较采用 Duncan's 法,不符合正态分布的用 Kruskal-Wallis 检验,差异显著性为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

表 2 显示,中华绒螯蟹体肉中水分含量最高,其次为粗蛋白,粗脂肪含量很低。F3 组中华绒螯蟹体肉的粗蛋白含量显著低于 F1 和 F2 组($P < 0.05$),与此同时水分含量显著高于 F1 和 F2 组($P < 0.05$)。

3 组中华绒螯蟹性腺的基本营养成分含量无显著性差异($P > 0.05$)。中华绒螯蟹肝胰腺以水分和脂肪为主,两者占总基本营养成分的 90.00% 左右,从表 2 可以看出肝胰腺中的水分含量随植物油替代鱼油水平的上升呈下降趋势,灰分则呈现上升的趋势。F2 组肝胰腺的粗蛋白含量显著高于其他两组($P < 0.05$)。

表 2 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹基本营养成分组成的影响(湿质量)

Tab. 2 Effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition of *Eriocheir sinensis* (wet mass) %

成分 Composition	体内 Meat			性腺 Gonads			肝胰腺 Hepatopancreas		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
水分 Moisture	80.35 ± 0.33 ^a	79.78 ± 0.42 ^a	82.21 ± 0.06 ^b	52.28 ± 0.61	52.33 ± 0.59	51.83 ± 0.43	68.58 ± 1.46 ^b	65.39 ± 3.17 ^{ab}	62.90 ± 1.82 ^a
粗蛋白 Crude protein	16.70 ± 0.34 ^b	16.46 ± 0.36 ^b	13.70 ± 0.61 ^a	30.00 ± 0.75	30.03 ± 0.17	30.67 ± 0.31	10.54 ± 0.31 ^a	13.19 ± 0.19 ^b	10.02 ± 0.49 ^a
粗脂肪 Crude lipid	1.81 ± 0.22	1.83 ± 0.26	1.95 ± 0.05	14.77 ± 0.35	14.74 ± 0.77	15.19 ± 0.84	20.82 ± 1.57 ^b	21.38 ± 2.29	22.69 ± 0.70
灰分 Ash	1.17 ± 0.02 ^b	1.09 ± 0.02 ^a	1.10 ± 0.04 ^a	1.86 ± 0.10	1.82 ± 0.09	1.92 ± 0.08	1.14 ± 0.05 ^a	1.64 ± 0.20 ^b	1.79 ± 0.19 ^b

注:对于同一可食部位,同行不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)

Notes: For the same edible part, different lowercase letters in the same row indicate significant difference(P < 0.05)

2.2 感官评价分析

图 1 显示中华绒螯蟹相同部位的感官评分相似,不同部位的主要滋味指标评分之间有很大差异。... 图 1b 显示对中华绒螯蟹性腺滋味贡献

最大的为鲜味,且 3 组感官评分存在差异,G-F2 的鲜味强度值为 4.4,明显高于其他两组。图 1c 显示:使用全植物油饲料喂养中华绒螯蟹增加了肝胰腺的苦味强度,同时降低了甜味强度,而 50% 植物油替代鱼油组肝胰腺的鲜味和甜味强度值最高,同时苦味强度值并没有增加。

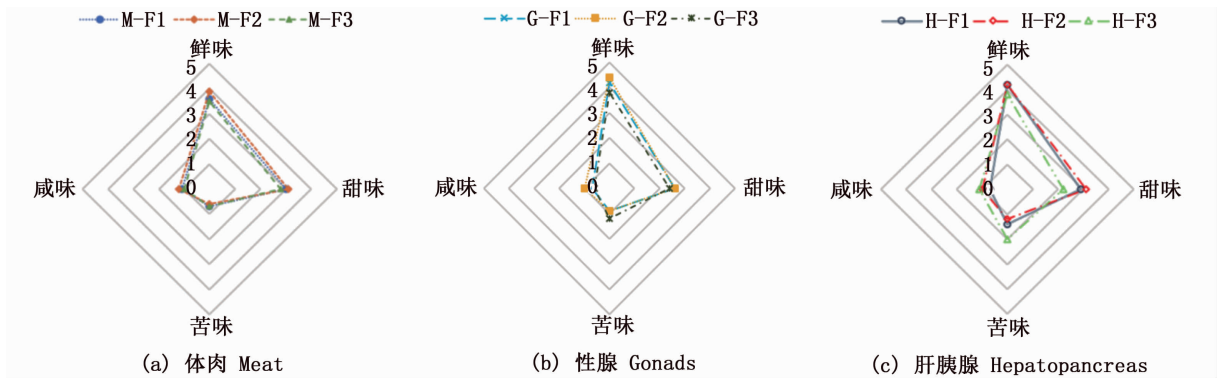


图 1 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹的滋味感官评价雷达图

Fig. 1 Taste radar graphs analyzed by sensory evaluation for edible tissues of Eriocheir sinensis with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

2.3 电子舌分析

中华绒螯蟹体肉、性腺和肝胰腺的滋味轮廓 PCA 图的第一主成分(PC1)与第二主成分(PC2)的贡献率之和分别为 98.932%、98.572% 和 98.218%,均高于 98.000%,其值越大表明样本整体差异性信息遗失的越少[21-22]。中华绒螯蟹体肉、性腺及肝胰腺的判别指数(discrimination index, DI)分别为 -5.91 和 94,判别指数体现了不同类别样品滋味轮廓的区分度,DI 在 50~100 表示区分有效,并且数值越大表明区分越明显[21],由此可以看出不同植物油替代鱼油水平的饲料对肝胰腺整体滋味轮廓的影响最大,对体肉

的影响最小。另外,M-F1 和 M-F2 的滋味轮廓有所重叠,说明其滋味成分中具有相似之处,且判别指数为 -5,表明存在不能有效区分的样品组[18]。从性腺滋味轮廓的 PCA 图可以看出,3 组性腺的数据采集点均能被电子舌较好地地区分。PC1 轴和 PC2 轴将 3 组性腺的整体滋味轮廓分为 3 部分,G-F1 与 G-F2 的差异主要在第二主成分轴上,G-F3 与 G-F1 的差异在第一主成分轴上,而第一主成分的贡献率要远大于第二主成分的贡献率,因此 G-F3 与 G-F1 的差异显著大于 G-F2 与 G-F1 的差异。3 组中华绒螯蟹肝胰腺的滋味轮廓 PCA 图显示出与性腺相似的规律。见图 2。

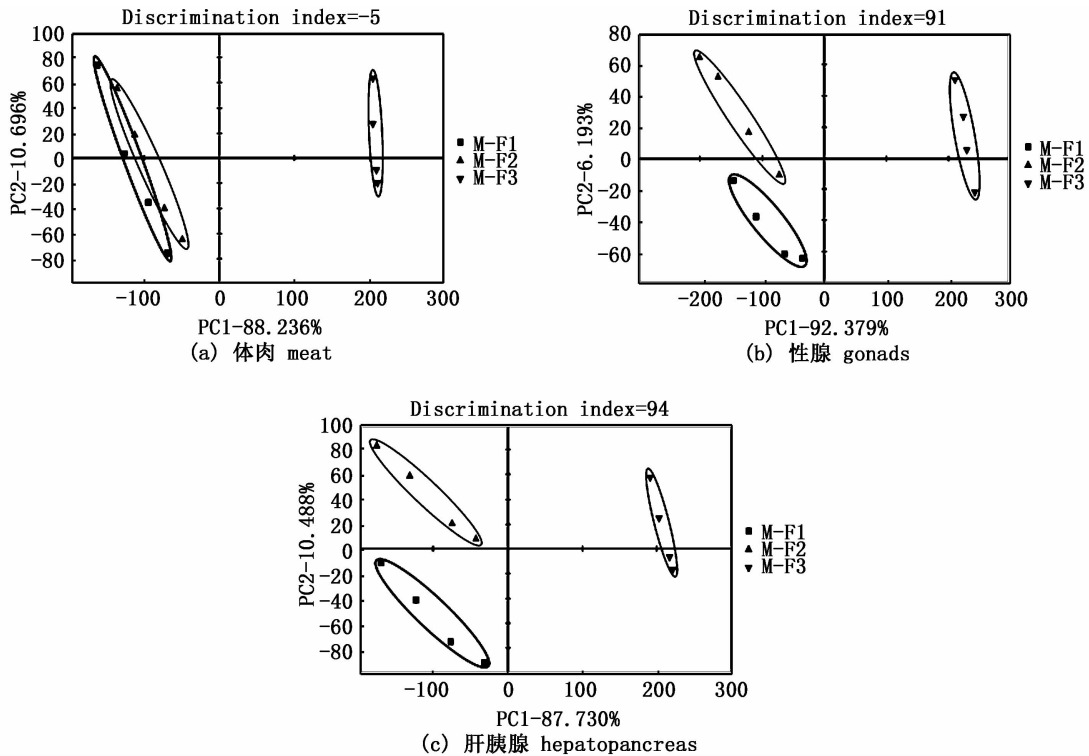


图 2 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹的滋味轮廓主成分分析图

Fig. 2 Principal component analysis (PCA) plot by electronic tongue for *Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

2.4 游离氨基酸含量及 TAV 分析

游离氨基酸是蟹类等水产品的主要呈味物质,其组成和含量的不同会影响食物鲜美程度。其中呈甜味氨基酸(甘氨酸、丙氨酸、苏氨酸、丝氨酸、精氨酸、脯氨酸)在中华绒螯蟹中含量较高,因其阈值较低,所以对甜味贡献较大^[23]。鲜味是蟹类等水产品最重要的风味特征,即味精的特征性风味。表 3 显示体肉中游离氨基酸含量较高的均为呈甜味氨基酸(脯氨酸 Pro、甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、精氨酸 Arg),这与彭静文等^[24]、王丹青等^[25]和 WANG 等^[26]的研究结果一致,但本实验测得的甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、精氨酸 Arg 含量都高于先前的研究结果,这可能由地域差异、规格以及养殖模式、饲料因素导致。3 组 TAV > 1 的氨基酸有 Glu、Gly、Ala、Arg 和 His,说明这几种氨基酸对体肉的滋味特征贡献占比大。

表 4 显示性腺中游离氨基酸含量较高的为谷氨酸 Glu、脯氨酸 Pro、丙氨酸 Ala 和精氨酸

Arg, 3 组 TAV > 1 的有 Glu、Ala、Lys、His 和 Arg, 与彭静文等^[24]研究结果一致。

表 5 表明肝胰腺中游离氨基酸含量较高的为 Glu、Pro、Gly、Thr、Ala、Lys、Leu 和 Arg, 与赵樾等^[27]研究结果一致。与体肉和性腺相比,肝胰腺中主要游离氨基酸种类及含量较多,且 TAV 大于 1 的游离氨基酸占比多。

中华绒螯蟹可食部位总游离氨基酸(TAA, 包括测检出的 16 种氨基酸)、鲜味氨基酸(UAA, 以天冬氨酸和谷氨酸计)、甜味氨基酸(SAA, 以苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸计)和苦味氨基酸(BAA, 以缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸和组氨酸计)的含量^[23]随着饲料中植物油替代鱼油水平的上升,体肉中 TAA、SAA 和 BAA 的含量呈下降趋势;3 组性腺中 TAA、SAA 和 BAA 的含量均无显著性差异($P > 0.05$),而植物油全部或部分替代鱼油饲料都能增加性腺中 UAA 的含量。见图 3。

表 3 中华绒螯蟹体肉中的游离氨基酸含量和 TAV

Tab. 3 Contents and TAV of free amino acids in meat of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜(+)	1.00	0.11 ± 0.01 ^b	0.08 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	0.11	0.08	0.07
苏氨酸 Thr*	甜(+)	2.60	1.23 ± 0.29 ^b	1.17 ± 0.16 ^b	0.00 ± 0.00 ^a	0.47	0.45	0.00
丝氨酸 Ser	甜(+)	1.50	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.02	0.37	0.38	0.37
谷氨酸 Glu	鲜(+)	0.30	1.45 ± 0.14 ^b	1.36 ± 0.05 ^b	1.00 ± 0.08 ^a	4.82	4.52	3.32
甘氨酸 Gly	甜(+)	1.30	17.77 ± 0.21 ^b	14.36 ± 0.64 ^a	15.09 ± 1.04 ^a	13.67	11.05	11.61
丙氨酸 Ala	甜(+)	0.60	13.75 ± 0.35 ^c	11.87 ± 0.73 ^b	10.27 ± 0.73 ^a	22.91	19.79	17.11
缬氨酸 Val*	甜/苦(-)	0.40	0.45 ± 0.04 ^b	0.22 ± 0.00 ^a	0.21 ± 0.03 ^a	1.12	0.54	0.52
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫(-)	0.30	0.41 ± 0.06 ^b	0.30 ± 0.02 ^a	0.33 ± 0.04 ^a	1.38	0.99	1.10
异亮氨酸 Ile*	苦(-)	0.90	0.15 ± 0.00 ^b	0.15 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.01 ^a	0.17	0.16	0.11
亮氨酸 Leu*	苦(-)	1.90	0.35 ± 0.04 ^b	0.35 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.02 ^a	0.18	0.18	0.13
酪氨酸 Tyr	苦(-)	NA	0.29 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.02 ^a	0.23 ± 0.02 ^a			
苯丙氨酸 Phe*	苦(-)	0.90	0.60 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.01 ^a	0.53 ± 0.10 ^{ab}	0.67	0.52	0.59
赖氨酸 Lys*	甜/苦(-)	0.50	0.62 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.01 ^c	0.45 ± 0.04 ^a	1.24	1.37	0.90
组氨酸 His	苦(-)	0.20	0.52 ± 0.01 ^b	0.44 ± 0.04 ^a	0.45 ± 0.04 ^a	2.61	2.21	2.25
精氨酸 Arg	苦/甜(+)	0.50	11.32 ± 0.51 ^b	9.97 ± 0.73 ^a	10.70 ± 0.57 ^{ab}	22.64	19.93	21.40
脯氨酸 Pro	甜/苦(+)	3.00	3.09 ± 0.51 ^b	4.25 ± 0.18 ^c	1.99 ± 0.22 ^a	1.03	1.42	0.66
合计 Total			52.67 ± 1.45 ^c	46.47 ± 1.05 ^b	42.21 ± 2.10 ^a			

注: * 表示必需氨基酸; NA. 表示未查询到; 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); + 表示味美; - 表示味差

Notes: * indicates essential amino acid; NA. not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$); + indicates pleasant; - indicates unpleasant

表 4 中华绒螯蟹性腺中的游离氨基酸含量和 TAV

Tab. 4 Contents and TAV of free amino acids in gonads of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜(+)	1.00	0.01 ± 0.00 ^a	0.35 ± 0.01 ^b	0.57 ± 0.07 ^c	0.01	0.35	0.57
苏氨酸 Thr*	甜(+)	2.60	0.82 ± 0.07 ^a	1.44 ± 0.37 ^b	0.52 ± 0.06 ^a	0.32	0.55	0.20
丝氨酸 Ser	甜(+)	1.50	0.60 ± 0.05 ^b	0.57 ± 0.01 ^b	0.42 ± 0.05 ^a	0.40	0.38	0.28
谷氨酸 Glu	鲜(+)	0.30	1.40 ± 0.06 ^a	1.84 ± 0.03 ^b	1.60 ± 0.24 ^{ab}	4.67	6.12	5.32
甘氨酸 Gly	甜(+)	1.30	0.64 ± 0.05 ^a	0.72 ± 0.00 ^b	0.67 ± 0.05 ^{ab}	0.49	0.55	0.52
丙氨酸 Ala	甜(+)	0.60	3.42 ± 0.30 ^b	2.18 ± 0.07 ^a	2.21 ± 0.29 ^a	5.69	3.63	3.69
缬氨酸 Val*	甜/苦(-)	0.40	0.38 ± 0.04 ^b	0.32 ± 0.01 ^{ab}	0.30 ± 0.04 ^a	0.95	0.79	0.75
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫(-)	0.30	0.31 ± 0.04	0.33 ± 0.01	0.27 ± 0.03	1.02	1.10	0.91
异亮氨酸 Ile*	苦(-)	0.90	0.27 ± 0.03 ^b	0.22 ± 0.00 ^a	0.21 ± 0.02 ^a	0.29	0.25	0.23
亮氨酸 Leu*	苦(-)	1.90	0.36 ± 0.04	0.35 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.19	0.19	0.20
酪氨酸 Tyr	苦(-)	NA	0.41 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.00 ^a	0.33 ± 0.03 ^a			
苯丙氨酸 Phe*	苦(-)	0.90	0.72 ± 0.06 ^c	0.57 ± 0.00 ^b	0.45 ± 0.05 ^a	0.80	0.63	0.50
赖氨酸 Lys*	甜/苦(-)	0.50	1.30 ± 0.26	1.14 ± 0.07	1.42 ± 0.24	2.60	2.28	2.84
组氨酸 His	苦(-)	0.20	0.80 ± 0.08 ^b	0.60 ± 0.00 ^a	0.63 ± 0.13 ^{ab}	3.99	3.00	3.15
精氨酸 Arg	苦/甜(+)	0.50	5.32 ± 0.63	5.08 ± 0.14	6.28 ± 0.83	10.64	10.15	12.57
脯氨酸 Pro	甜/苦(+)	3.00	1.55 ± 0.14	1.49 ± 0.14	1.47 ± 0.34	0.52	0.50	0.49
合计 Total			18.29 ± 1.32	17.54 ± 0.54	17.74 ± 1.80			

注: * 表示必需氨基酸; NA. 表示未查询到; 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); + 表示味美; - 表示味差

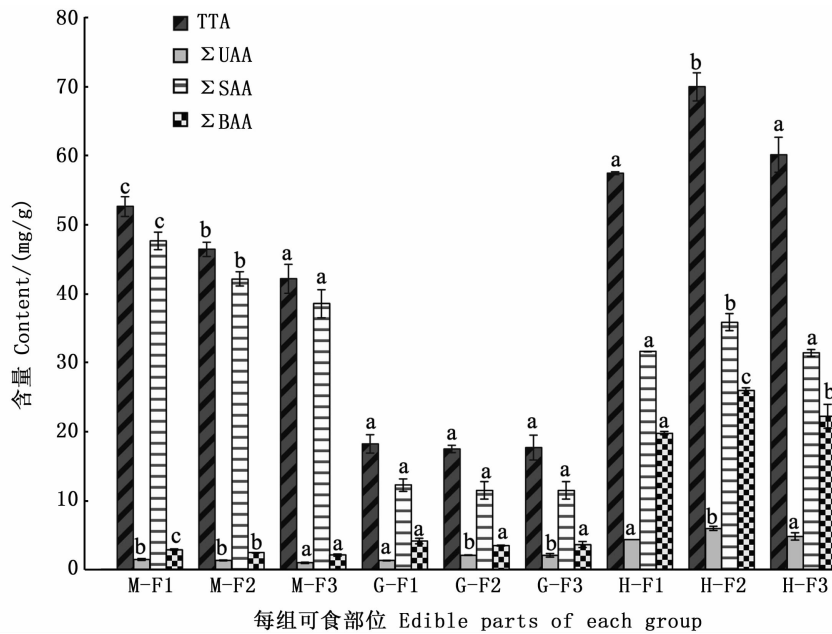
Notes: * indicates essential amino acid; NA. not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$); + indicates pleasant; - indicates unpleasant

表 5 中华绒螯蟹肝胰腺中的游离氨基酸含量和 TAV

Tab.5 Contents and TAV of free amino acids in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜(+)	1.00	0.64 ± 0.02 ^a	0.87 ± 0.01 ^c	0.71 ± 0.03 ^b	0.64	0.87	0.71
苏氨酸 Thr*	甜(+)	2.60	4.62 ± 0.04 ^a	5.45 ± 0.25 ^b	4.51 ± 0.12 ^a	1.78	2.10	1.73
丝氨酸 Ser	甜(+)	1.50	1.22 ± 0.06 ^a	1.97 ± 0.06 ^b	1.26 ± 0.01 ^a	0.81	1.32	0.84
谷氨酸 Glu	鲜(+)	0.30	3.80 ± 0.03 ^a	5.19 ± 0.33 ^b	4.19 ± 0.58 ^a	12.66	17.30	13.97
甘氨酸 Gly	甜(+)	1.30	3.76 ± 0.03 ^b	4.14 ± 0.28 ^c	3.32 ± 0.16 ^a	2.89	3.19	2.55
丙氨酸 Ala	甜(+)	0.60	10.15 ± 0.10 ^b	10.11 ± 0.62 ^b	8.96 ± 0.29 ^a	16.91	16.85	14.94
缬氨酸 Val*	甜/苦(-)	0.40	3.03 ± 0.01 ^a	3.82 ± 0.17 ^b	3.04 ± 0.05 ^a	7.58	9.55	7.61
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫(-)	0.30	1.52 ± 0.01 ^a	2.02 ± 0.09 ^b	1.48 ± 0.01 ^a	5.05	6.73	4.93
异亮氨酸 Ile*	苦(-)	0.90	2.15 ± 0.00 ^a	2.70 ± 0.11 ^b	1.88 ± 0.35 ^a	2.39	3.00	2.09
亮氨酸 Leu*	苦(-)	1.90	4.18 ± 0.02 ^a	5.51 ± 0.22 ^b	5.61 ± 0.46 ^b	2.20	2.90	2.95
酪氨酸 Tyr	苦(-)	NA	1.49 ± 0.06 ^a	2.34 ± 0.05 ^b	1.65 ± 0.30 ^a			
苯丙氨酸 Phe*	苦(-)	0.90	2.87 ± 0.03 ^a	3.79 ± 0.16 ^b	2.99 ± 0.04 ^a	3.19	4.21	3.32
赖氨酸 Lys*	甜/苦(-)	0.50	4.63 ± 0.10 ^a	6.13 ± 0.16 ^c	5.28 ± 0.47 ^b	9.26	12.26	10.57
组氨酸 His	苦(-)	0.20	1.51 ± 0.03	1.74 ± 0.04	1.83 ± 0.34	7.56	8.69	9.16
精氨酸 Arg	苦/甜(+)	0.50	8.78 ± 0.14 ^a	9.23 ± 0.14 ^b	9.55 ± 0.08 ^c	17.56	18.45	19.11
脯氨酸 Pro	甜/苦(+)	3.00	3.15 ± 0.05 ^a	5.03 ± 0.11 ^c	3.89 ± 0.30 ^b	1.05	1.68	1.30
合计 Total			57.5 ± 0.23 ^a	70.03 ± 2.03 ^b	60.15 ± 2.54 ^a			

注：* 表示必需氨基酸；NA. 表示未查询到；同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)；+ 表示味美；- 表示味差
 Notes: * indicates essential amino acid; NA. not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$); + indicates pleasant; - indicates unpleasant



TAA, Σ UAA, Σ SAA 和 Σ BAA 分别表示总游离氨基酸含量, 鲜味氨基酸总和、甜味氨基酸总和和苦味氨基酸总和。对于不同饲料组的同一可食部位, 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

TAA, Σ UAA, Σ SAA and Σ BAA represent the total free amino acid content, the sum of umami amino acids, the sum of sweet amino acids and the sum of bitter amino acids, respectively. For each edible part, different letters of the same indicator indicate significant difference ($P < 0.05$)

图 3 中华绒螯蟹可食部位总游离氨基酸以及鲜味、甜味和苦味氨基酸的含量

Fig. 3 Amount of total, umami, sweet and bitter taste amino acids content in edible parts of *Eriocheir sinensis*

肝胰腺中 TAA 含量明显高于肌肉和性腺。使用 50% 植物油替代鱼油饲料增加了肝胰腺中

UAA 和 SAA 的含量, 但使用植物油全部或部分替代鱼油饲料也使得苦味氨基酸含量增加。

2.5 呈味核苷酸、TAV 及 EUC 分析

中华绒螯蟹中主要的呈味核苷酸为 5'-肌苷酸二钠(IMP)、5'-腺苷酸二钠(AMP)和 5'-鸟苷酸二钠(GMP),这 3 种呈味核苷酸不仅本身带有鲜味,还能与 MSG、游离氨基酸以及无机离子等产生协同增鲜作用,改善水产品的整体鲜味^[28]。表 6 和表 7 显示中华绒螯蟹体肉和性腺的主要呈味核苷酸以 IMP 为主,且对应的 TAV 均大于 1,

说明 IMP 对体肉和性腺呈鲜味特征有显著贡献。表 8 显示除 F2 组肝胰腺中 GMP 的 TAV 大于 1,其他均小于 1。

结果显示 3 组中华绒螯蟹可食部位的呈味核苷酸总量具有显著性差异($P < 0.05$),F2 组体肉、性腺和肝胰腺中呈味核苷酸总量和 EUC 最高,F3 组体肉和肝胰腺中呈味核苷酸总量和 EUC 最低。

表 6 中华绒螯蟹体肉中的呈味核苷酸含量、TAV 和 EUC

Tab. 6 The contents, TAV and EUC of nucleotides in meat of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(+)	25.00	98.88 ± 4.35 ^b	119.91 ± 7.62 ^c	86.37 ± 1.90 ^a	3.96	4.80	3.45
AMP	鲜/甜(+)	50.00	11.64 ± 0.49 ^a	12.67 ± 0.16 ^b	11.00 ± 0.36 ^a	0.23	0.25	0.22
GMP	鲜(+)	12.50	4.15 ± 0.02 ^{ab}	4.38 ± 0.01 ^b	3.93 ± 0.21 ^a	0.33	0.35	0.31
总计 Total			114.67 ± 4.82 ^b	136.96 ± 7.76 ^c	101.30 ± 2.47 ^a			
EUC/(g MSG/100 g)			19.73	22.10	11.98			

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); + 表示味美

Notes: Different letters in the same row indicate significant difference($P < 0.05$); + indicates pleasant

表 7 中华绒螯蟹性腺中的呈味核苷酸含量、TAV 和 EUC

Tab. 7 The contents, TAV and EUC of nucleotides in gonads of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(+)	25.00	273.60 ± 9.71 ^a	333.17 ± 4.12 ^b	280.48 ± 4.77 ^a	10.95	13.33	11.22
AMP	鲜/甜(+)	50.00	152.28 ± 2.98	152.75 ± 3.89	154.26 ± 6.01	3.05	3.06	3.09
GMP	鲜(+)	12.50	80.05 ± 2.04 ^a	82.48 ± 1.96 ^a	105.29 ± 3.76 ^b	6.44	6.60	8.42
总计 Total			505.93 ± 12.44 ^a	568.40 ± 5.59 ^c	540.04 ± 5.27 ^b			
EUC/(g MSG/100 g)			83.09	125.13	110.19			

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); + 表示味美

Notes: Different letters in the same row indicate significant difference($P < 0.05$); + indicates pleasant

表 8 中华绒螯蟹肝胰腺中的呈味核苷酸含量、TAV 和 EUC

Tab. 8 The contents, TAV and EUC of nucleotides in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 ^[2] Taste attribute	阈值 ^[23] Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(+)	25.00	6.03 ± 0.56 ^a	10.91 ± 0.18 ^b	10.60 ± 0.23 ^b	0.95	0.87	0.85
AMP	鲜/甜(+)	50.00	4.38 ± 0.16 ^a	8.24 ± 0.96 ^b	9.27 ± 1.43 ^b	0.37	0.33	0.37
GMP	鲜(+)	12.50	37.94 ± 1.82 ^b	58.51 ± 2.16 ^c	8.24 ± 1.03 ^a	0.76	1.17	0.16
总计 Total			48.35 ± 2.21 ^b	77.66 ± 3.30 ^c	28.10 ± 2.23 ^a			
EUC/(g MSG/100 g)			20.94	23.71	13.39			

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); + 表示味美

Notes: Different letters in the same row indicate significant difference($P < 0.05$); + indicates pleasant

3 讨论

3.1 饲料中植物油替代鱼油对基本营养成分的影响

国内外许多学者研究了不同水平植物油替代鱼油的饲料对水产品基本营养成分组成的影

响,但是对于不同水产品,得到的结果并不一致,即使同一种水产品,在各生长阶段下,其基本营养成分组成也会有所差异^[6]。本实验结果说明在育肥阶段饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹性腺的基本营养成分组成没有影响,且对中华绒螯蟹可食部位的粗脂肪含量也无影响,50%植

物油替代鱼油的饲料更有利于其肝胰腺中蛋白质的积累,但用全植物油不利于其体肉蛋白的积累。这与 WU 等^[29] 研究结果相似,但 WU 等^[29] 11 月份测得雌蟹肝胰腺粗脂肪含量高于本实验,可能是由于蟹的粗脂肪含量受饲料以及温度和气候的影响较大^[30-31]。吴旭干等^[32] 研究得出:为了维持肌肉的运动、保护内脏等生理功能,三疣梭子蟹肌肉的基本营养成分具有保守性。WU 等^[6] 研究得出用大豆油替代鱼油对中绒螯蟹基本营养成分含量没有影响的结论。赵磊等^[10] 研究发现饲料中 50% 植物油替代鱼油有利于雄蟹肝胰腺和肌肉中的脂肪沉积。造成这些结果差异可能是由于实验选用水生动物种类不同、中华绒螯蟹生长阶段、性别、体质量不同所导致。

总体来看,饲料中使用 50% 植物油替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位的基本营养成分没有负面作用,反而有一定的正面作用。

3.2 饲料中植物油替代鱼油对滋味的影响

有大量研究表明,饲料中植物油替代鱼油对水生动物的脂肪酸组成有显著影响,但对其滋味品质的影响鲜有报道。机体组织脂肪酸组成的不同势必会引起其感官特性的差异,WU 等^[29] 研究发现使用植物油部分替代鱼油能增加中华绒螯蟹性腺和肝胰腺的香气物质,但并没有对其滋味进行研究。TORTENSEN 等^[33] 对大西洋鲑 (*Salmo salar*) 幼鱼使用不同比例植物油替代鱼油饲喂发现植物油替代鱼油对其感官品质没有负面作用。

本实验电子舌结果表明,除了 F1 和 F2 组体肉滋味轮廓有重叠部分外,其他均能很好地被区分,这说明饲料中植物油替代鱼油对雌性中华绒螯蟹肝胰腺和性腺滋味的影响大于体肉,这在感官评价分析中也有所体现,这可能与河蟹育肥后期性腺和肝胰腺快速发育有关^[34-35]。

感官评价结果显示,体肉以鲜甜味为主,性腺鲜味强度高,肝胰腺以鲜味为主,甜味弱于体肉,且带有一点苦味,这与彭静文等^[24] 研究结果一致。虽然随着植物油替代水平的上升,体肉中 TAA 和 UAA 含量逐渐减少,但因体肉中的游离氨基酸总量较大,一定程度减少对其滋味影响不大,其中 F2 组体肉中 UAA 没有变化但 BAA 的含量降低了。结合 F2 组体肉 IMP、AMP、GMP 含量及 EUC 最高,且一定浓度的 AMP 与谷氨酸钠协

同作用对提高水产品的鲜味具有贡献作用^[36]。这可能是感官评价中 F2 组体肉滋味更佳的原因。

游离氨基酸数据结果表明 3 组性腺之间差别不大,但 F2 组性腺的 IMP 含量显著高于其他两组,从而导致其 EUC 最高。施文正等^[37] 研究表明,当 IMP 与 AMP 低含量共存时,依旧可以呈现出鲜味,并且增加甜味;YAMAGUCHI^[38] 提出呈味核苷酸会与呈鲜味游离氨基酸 (Glu 和 Asp) 产生协同作用,即使非常低含量的 IMP 也可极大的提高氨基酸的呈鲜味效果,并且会增加甜味效果。这也是感官评价结果得到 F2 组性腺鲜味和甜味优于其他两组的原因。

肝胰腺中游离氨基酸总量和 TAV > 1 的氨基酸种类占比多,证明肝胰腺的滋味更加丰富浓厚。多种氨基酸进入能量代谢循环的中间产物为谷氨酸,这可能是肝胰腺中谷氨酸高于体肉和性腺的重要原因^[39],且 F2 组肝胰腺中谷氨酸含量最高。除此之外,F2 组肝胰腺中 TAA、UAA、SAA 和呈味核苷酸含量以及 EUC 均高于 F1 和 F3 组,这些导致了感官评价分析 F2 组肝胰腺鲜甜味最佳。但使用植物油全部或部分替代鱼油饲料也使得苦味氨基酸含量增加,因此导致感官评价结果 F3 组苦味强度值显著高于其他两组,而由于 F2 组含有大量 SAA,尤其是 Gly,它除本身可以提供清香甜味外,还能减少苦味并从食物中除去令人不快的口味^[40],因此感官评价结果 F2 组肝胰腺的苦味强度值反而最低。

由上可知,饲料中 50% 植物油替代鱼油对雌性中华绒螯蟹的滋味品质有正面作用,而使用全植物油饲料对中华绒螯蟹体肉和肝胰腺的滋味品质有一定负面影响,可能由于全植物油饲料缺少鱼油中丰富的 EPA 和 DHA,影响其生长发育而使得滋味品质变差。肝胰腺是受饲料中植物油替代鱼油影响最大的部位,这是因为肝胰腺是中华绒螯蟹脂肪储存的部位,先前研究^[10,21] 证明肝胰腺受饲料脂肪源的影响造成其脂肪酸组成差异明显,进而导致品质的差异。但至于脂肪酸组成的不同如何造成滋味的差异,还需进一步研究。

综上,在育肥阶段使用 50% 植物油替代鱼油饲料不但增强了雌性中华绒螯蟹的营养品质和滋味品质,而且对于养殖者而言,也降低了养殖

成本,有利于养殖业发展。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2019:24.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019: 24.
- [2] 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.
- [3] 石婧,王帅,龚骏,等. 不同育肥方式对中华绒螯蟹雄蟹肌肉呈味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 347-351.
SHI J, WANG S, GONG J, et al. Effect of different fattening models on non-volatile taste active compounds of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(15): 347-351.
- [4] 高先楚,王锡昌,顾赛麒,等. 蟹性腺中的脂质对性腺香气的作用[J]. 广东农业科学, 2014, 41(2): 128-132.
GAO X C, WANG X C, GU S Q, et al. The contribution of crab gonad lipids to gonad aroma [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(2): 128-132.
- [5] 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.
- [6] WU X G, CHENG Y X, SUI L Y, 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.
- [7] GLENCROSS B D, TURCHINI G M. Fish oil replacement in starter, grow-out, and finishing feeds for farmed aquatic animals[M]//Turchini G M, Ng W K, Tocher D R. Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds. Boca Raton: CRC Press, 2011: 373-404.
- [8] TURCHINI G M, NG W K, TOCHER D R. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds [M]. Boca Raton: CRC Press, 2011: 61-98.
- [9] 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, 28(2): 455-467.
ZHAO L, LONG X W, WU X G, et al. Effects of fish oil replacement by blending vegetable oils in fattening diets on gonadal development, lipid metabolism, antioxidant and immune capacities of adult male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(2): 455-467.
- [10] 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.
ZHAO L, LONG X W, WU X G, et al. Effects of fish oil replacement by blending vegetable oils in fattening diets on proximate composition and fatty acid composition of adult male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(6): 1071-1083.
- [11] REGOST C, ARZEL J, CARDINAL M, et al. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*): 2. Flesh quality properties[J]. Aquaculture, 2003, 220(1/4): 737-747.
- [12] 易新文,张文兵,麦康森,等. 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 751-760.
YI X W, ZHANG W B, MAI K S, et al. Effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and skin color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 751-760.
- [13] 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.
ZHUANG K J, WANG S, WANG X C, et al. Effect of different levels of arachidonic acid in diets on odorants of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 275-280, 285.
- [14] 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, 41(10): 140-146.
ZHUANG K J, CHEN L, WANG X C, et al. Effects of DHA/EPA ratios on odor compounds derived from Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) ovary and hepatopancreas [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(10): 140-146.
- [15] JOBLING M. G. M. Turchini, W. -K. Ng and D. R. Tocher (eds): Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds[J]. Aquaculture International, 2011, 19(3): 595-596.
- [16] TURCHINI G M, FRANCIS D S, SENADHEERA S P S D, et al. Fish oil replacement with different vegetable oils in Murray cod: Evidence of an "omega-3 sparing effect" by other dietary fatty acids[J]. Aquaculture, 2011, 315(3/4): 250-259.
- [17] 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.
FU N, WANG X C, TAO N P, et al. Comparative analysis of

- free amino acids in four parts of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) Processed by Steaming and Boiling[J]. Food Science, 2013, 34(24): 178-181.
- [18] 周纷, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 193-199.
- ZHOU F, ZHANG Y X, ZHANG L, et al. Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Science, 2019, 40(16): 193-199.
- [19] CHEN D W, ZHANG M, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [20] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides [J]. Journal of Food Science, 1971, 36(6): 846-849.
- [21] 张晶晶, 顾赛麒, 丁玉庭, 等. 电子舌在中华绒螯蟹产地鉴别及等级评定的应用[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 141-146.
- ZHANG J J, GU S Q, DING Y T, et al. Habitat identification and grade evaluation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using electronic tongue [J]. Food Science, 2015, 36(4): 141-146.
- [22] ZHANG M X, WANG X C, LIU Y, et al. Isolation and identification of flavour peptides from Puffer fish (*Takifugu obscurus*) muscle using an electronic tongue and MALDI-TOF/TOF MS/MS [J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1463-1470.
- [23] ZHUANG K J, WU N, WANG X C, 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): S968-S981.
- [24] 彭静文, 周纷, 王锡昌. 配合饲料囤养对雌性中华绒螯蟹滋味品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 91-97.
- PENG J W, ZHOU F, WANG X C. Effects of formula feed hoarding on the taste quality of female Chinese *Eriocheir sinensis* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 91-97.
- [25] 王丹青, 张龙, 吴旭干, 等. 8‰低盐度海水暂养对中华绒螯蟹雌蟹肌肉滋味品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 1-6, 12.
- WANG D Q, ZHANG L, WU X G, et al. Effect of 8‰ low salinity seawater on taste compounds and sensory evaluation of female Chinese mitten crab during temporary culture [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 1-6, 12.
- [26] WANG S, HE Y, WANG Y Y, et al. Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis* [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 24-31.
- [27] 赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 261-269.
- ZHAO L, WU N, WANG X C, et al. Comparison of the flavor components of Chinese mitten crab at different growth stages [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(7): 261-269.
- [28] 吴娜, 顾赛麒, 陶宁萍, 等. 鲜味物质间的相互作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 389-392, 400.
- WU N, GU S Q, TAO N P, et al. Research progress in interaction between umami substances [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(10): 389-392, 400.
- [29] WU N, FU X Y, ZHUANG K J, 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]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(10): e12646.
- [30] 范翠翠, 吴朝霞, 孙文涛, 等. 不同比例氮肥施用对稻田蟹生长及营养价值的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 417-422.
- FAN C C, WU Z X, SUN W T, et al. Effect of different ratios of nitrogen fertilizers on the growth and nutrition value of crabs in paddy field [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 417-422.
- [31] ROBIN J H, REGOST C, ARZEL J, et al. Fatty acid profile of fish following a change in dietary fatty acid source: model of fatty acid composition with a dilution hypothesis [J]. Aquaculture, 2003, 225(1/4): 283-293.
- [32] 吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 170-182.
- WU X G, WANG Q, LOU B, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 170-182.
- [33] TORSTENSEN B E, BELL J G, ROSEN LUND G, et al. Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(26): 10166-10178.
- [34] 成永旭, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹卵巢快速发育期内脂类积累以及对抱卵的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(2): 113-118.
- CHENG Y X, DU N S, LAI W. The lipid accumulations during the stages of the ovarian fast maturation and their effect on the spawning of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(2): 113-118.
- [35] 于智勇, 吴旭干, 常国亮, 等. 中华绒螯蟹第二次卵巢发育期间卵巢和肝胰腺中主要生化成分的变化[J]. 水生生物学报, 2007, 31(6): 799-806.
- YU Z Y, WU X G, CHANG G L, et al. Changes in the main biochemical composition in ovaries and hepatopancreas of

- Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. milne-edwards) during the second ovarian development [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(6): 799-806.
- [36] SHIRAI T, KIKUCHI N, MATSUO S, et al. Taste components of Boreo Pacific gonate squid *Gonatopsis borealis* [J]. Fisheries Science, 1999, 63(5): 772-778.
- [37] 施文正, 方林, 吴旭干, 等. 我国沿海主要海域雌性三疣梭子蟹呈味成分含量的比较[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 127-133.
- SHI W Z, FANG L, WU X G, et al. Comparison of contents of taste compounds in female *Portunus trituberculatus* from major coastal areas in China[J]. Food Science, 2017, 38(16): 127-133.
- [38] YAMAGUCHI S. The synergistic taste effect of monosodium glutamate and disodium 5'-inosinate [J]. Journal of Food Science, 1967, 32(4): 473-478.
- [39] 李琪, 李广, 张会妮. 兰州百合新鲜鳞片水解及游离氨基酸分析[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 277-281.
- LI Q, LI G, ZHANG H N. Analysis of free and protein-bound amino acids in fresh scales of lily (*Lilium davidii var unicolor*) from Lanzhou[J]. Food Science, 2012, 33(20): 277-281.
- [40] 陈敏. 氨基酸的风味与功能[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 134-136.
- CHEN M. The flavor and function of amino acids [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008: 134-136.

Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the taste quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

CONG Jiaojiao^{1,2}, HAN Xinyuan^{1,2}, YU Lizhi^{1,2}, WANG Hongli^{1,2}, WU Xugan³, WANG Xichang^{1,2}

(1. College of Food Sciences & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National R&D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology, 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 effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the taste quality of Chinese mitten crab, vegetable oil [W(soybean oil): W(rapeseed oil) = 3:1] 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, with F1 as control) to feed adult female crabs (mass 95 ± 10 g) for 70 days. The proximate composition, the contents of free amino acids and taste nucleotide of the edible parts of the three groups of crabs, and the overall taste difference by electronic tongue were analyzed in combination with sensory evaluation. The results showed that the crude lipid content of meat, gonads and hepatopancreas of three groups of crabs had no significant difference. The crude protein content of hepatopancreas of F2 was significantly higher than that of F1 and F3, while the crude protein content of meat of F3 was significantly lower than that of F1 and F2. Compared with F1, the umami and sweet sensory intensity value as well as the total amount of taste nucleotides and equivalent umami concentration in the edible part of F2 were increased, whereas those of F3 were decreased. Moreover, the content of umami and sweet amino acids of gonads and hepatopancreas of F2 were also increased. The above results showed that replacement of fish oil by 50% vegetable oil in feed not only improved the nutritional quality of Chinese mitten crab, but also enhanced its taste quality, which provided a reference for the improvement of the taste quality of cultured Chinese mitten crabs and the development of fish oil substitute sources in fattening feed.

Key words: Chinese mitten crab; sensory evaluation; electronic tongue; free amino acid; nucleotide; taste