

文章编号: 1674-5566(2020)04-0559-09

DOI:10.12024/j.sou.20190902790

## 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹脂肪酸组成的影响

从娇娇<sup>1,2</sup>, 庾庭驰<sup>1,2</sup>, 于立志<sup>1,2</sup>, 王红丽<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 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脂含量及脂肪酸组成的影响, 采用植物油 [ $m$ (豆油):  $m$ (菜籽油) = 3:1] 替代不同水平(0%、50% 和 100%) 的鱼油, 制成 3 种等氮等脂饲料(F1、F2 和 F3) 喂养 3 组成体雌蟹 70 d。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性差异( $P > 0.05$ )。各组饲料的脂肪酸组成有所不同, 体肉中多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA) 占比约 50%, 其含量无显著性差异( $P > 0.05$ ); 性腺中 n-6 PUFA 含量随着替代水平的提高而升高; 肝胰腺受饲料中植物油替代鱼油的影响最大, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA) 及 PUFA 总含量都随着替代水平的提高而升高; 与 F1、F3 组相比, F2 组 3 个可食部位的 EPA + DHA 含量均较高。综上所述, 使用 50% 植物油替代鱼油饲料喂养雌性中华绒螯蟹对其可食部位的脂肪酸组成有正面作用。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品质等提供了一定的依据。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 脂肪酸组成; 单不饱和脂肪酸; 多不饱和脂肪酸; 鱼油; 植物油

**中图分类号:** S 963.3      **文献标志码:** A

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 又称河蟹、毛蟹、大闸蟹, 在我国分布广泛, 是我国重要的淡水养殖经济水产品, 2018 年, 我国中华绒螯蟹的养殖产量高达 75.68 万 t<sup>[1]</sup>, 因其营养价值高、风味独特而从古至今备受消费者的青睐<sup>[2]</sup>。有研究表明, 中华绒螯蟹较高的营养价值和独特的风味与其多不饱和脂肪酸含量较高有很大关系<sup>[3]</sup>, 鱼油富含 n-3 PUFA, 因此通常在河蟹育肥饲料中添加合适比例鱼油来提高河蟹的品质, 但近年来鱼油市场供不应求导致其价格不断增长, 因而在配合饲料中使用来源广泛、供应稳定、价格低廉的植物油来替代鱼油越来越受到关注<sup>[4-6]</sup>。同时有学者<sup>[6]</sup> 研究发现, 单一使用鱼油不能满足某些水产品的营养需求, 而与植物油进行搭配时不仅能满足其营养需求, 而且能提高品质。不同的植物油的脂肪酸组成也有差别, 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, 有利于蟹等水产品的生长发育<sup>[7]</sup>。

先前的研究<sup>[8-11]</sup> 表明, 饲料中合适比例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。豆油和菜籽油是目前育肥饲料中最常用的两种植物油, 其脂肪酸组成具有一定的互补性, 因此采用两者混合使用具有一定的优势<sup>[8]</sup>。本研究依据课题组先前研究结果使用混合植物油 [ $m$ (豆油):  $m$ (菜籽油) = 3:1] 替代鱼油进行实验, 探讨饲料中植物油部分或全部替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位脂肪酸组成的影响, 以为养殖中华绒螯蟹的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的雌蟹饲料中混合植物油 [ $m$ (豆油):  $m$ (菜籽油) = 1:1] 替

收稿日期: 2019-09-15      修回日期: 2020-02-04

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: xcwang@shou.edu.cn

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比例为 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 [ $m(\text{豆油}):m(\text{菜籽油})=3:1$ ] 和全植物油饲料 [ $m(\text{豆油}):m(\text{菜籽油})=3:1$ ] 3 种等氮等脂育肥饲料,分别记为 F1、F2 和 F3,具体饲料配方见表 1,于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存备用。

实验的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 g 左右,挑选 270 只附肢健全、体无外伤、活力良好的个体用于育肥实验。本研究中共 3 个饲料组,每个饲料组设 6 个重复水槽,每个水槽随机放入 15 只雌蟹。养殖实验从 2018 年 9 月初至 11 月中旬,养殖期 70 d。

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 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	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 phosphate	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

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

Notes: Percentages behind soybean meal and rapeseed meal are crude protein content, and the percentages of choline chloride and vitamin E are purity

## 1.2 实验样品

实验所用中华绒螯蟹于 2018 年 11 月 21 日采自上海海洋大学水产与生命学院崇明养殖基地,并立即运回实验室。3 组随机选取 20 只蟹,清洗后立即活体解剖,分别取出体肉(仅指腹肉,不包括足肉和钳肉)、肝胰腺及性腺,将每组相同部位样品混合均匀分装至小密封袋,均冻藏于  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱用于后续实验分析。

## 1.3 主要试剂和设备

试剂:37 种脂肪酸甲酯标准品、十九烷酸及十九烷酸甲酯标准品购自于上海安谱科技股份有限公司;正己烷、三氟化硼-甲醇选用色谱级;三氯甲烷、甲醇、氯化钠等均为分析级。

设备:电热恒温水浴锅(上海一恒,HWS24);旋转蒸发仪(德国 IKA, RV10 basic);气相色谱

仪(美国 Thermo, TRACE GC ULTRA)。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 粗脂肪的测定

粗脂肪参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》的石油醚索氏提取法测定。

### 1.4.2 脂肪酸组成的测定

参照 GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》并稍作修改。

总脂的提取:称取体肉 2.0 g(精确到 0.001 g),性腺和肝胰腺各 1.0 g(精确到 0.001 g)于 100 mL 锥形瓶中,加入  $V(\text{氯仿}):V(\text{甲醇})=2:1$  充分浸提样品 24 h,过滤后加入 0.9% NaCl 溶液,振荡后静置 2 h,待分层完全后移走上层甲醇溶液,重复以上操作两次后用无水硫酸钠过滤,

转移下层溶液至圆底烧瓶,在 45 °C 水浴条件下旋转蒸发后将烧瓶置于干燥器中冷却至恒重得到总脂。

**脂肪酸甲酯化:**将上述圆底烧瓶中加入 5 mL 0.5 mol/L NaOH-CH<sub>3</sub>OH 溶液和 100 μL 10 mg/mL 十九烷酸内标溶液,在沸水浴上回流 10 min 至看不见油状物,然后加入 3 mL 三氟化硼-甲醇溶液再回流 5 min,继续加入 2 mL 正己烷溶液回流 2 min,最后加入饱和 NaCl 溶液 10 mL 振摇、静置分层,吸取最上层油状物并用 0.22 μm 有机相滤膜过滤后注入进样瓶待测。

**气相色谱条件:**Agilent SP-2560 脂肪酸专用毛细管柱(100 m×0.25 mm×0.2 μm)。色谱柱初始温度:70 °C,以 5 °C/min 升温至 140 °C,保持 1 min,随后以 4 °C/min 升温至 180 °C,保持 1 min,最后以 3 °C/min 升温至 225 °C,保持 30 min。汽化室温度:250 °C,载气:N<sub>2</sub>,色谱柱流速:1 mL/min,分流比为 45:1,进样体积为 1.0 μL。

**定性和定量分析:**通过对比上述色谱条件下测试所得的 38 种脂肪酸甲酯混标的保留时间,对样品中的脂肪酸进行定性分析,以 C19:0 作为标准,计算不同脂肪酸的换算系数。同时,根据内标物 C19:0 峰面积与样品中脂肪酸峰面积,计算样品中单一脂肪酸的含量。

### 1.5 数据处理

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 河蟹可食部位的脂肪含量分析

图 1 表明中华绒螯蟹各可食部位的粗脂肪含量不同,肝胰腺的粗脂肪含量大于 20%,性腺的粗脂肪含量在 15% 左右,体肉的粗脂肪含量非常低,不到 2%。3 组中华绒螯蟹可食部位的脂肪含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 饲料的脂肪酸组成分析

饲料中的脂类是中华绒螯蟹生长发育所需的必需脂肪酸(Essential fatty acid, EFA)和能量的重要来源。EPA 和 DHA 作为人类和动物所需

的必需脂肪酸,其含量直接影响到水生动物的生长发育、免疫性能和脂肪酸组成<sup>[12-13]</sup>。十足目甲壳动物幼体虽具有利用亚油酸和亚麻酸部分合成 EPA 和 DHA 的能力,但这种能力非常有限<sup>[14]</sup>,因而需要在饲料中补充。鱼油中富含 EPA、DHA 等 n-3PUFA<sup>[15]</sup>;大豆油中亚油酸(Linoleic acid, C18:2n-6)丰富,但饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)所占的比例较大;而菜籽油的 SFA 所占比例较低,亚麻酸(Linolenic acid, C18:3n-3)与 C18:2n-6 的比值合理,油酸(Oleic acid, C18:1n-9)比例较高<sup>[16]</sup>。因此脂肪源的不同必然会导致各组饲料不同的脂肪酸组成。

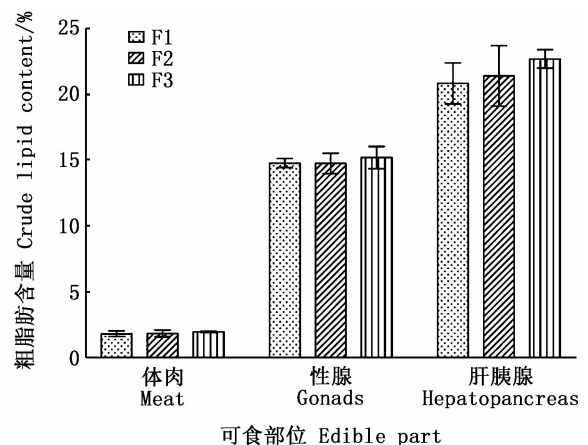


图 1 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹粗脂肪含量的影响(%湿重)

Fig. 1 Effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on crude lipid content of *Eriocheir sinensis* (% wet weight)

由表 2 中可看出,C16:0 和 C18:0 是两种主要的饱和脂肪酸,且 3 组饲料中的含量没有显著性变化( $P > 0.05$ )。随着植物油替代鱼油比例的上升,总 SFA 的含量随之下降,C18:1n9c 含量则随之显著增加( $P < 0.05$ ),从而导致  $\Sigma$  MUFA 含量随之显著增加( $P < 0.05$ )。植物油中亚油酸和亚麻酸含量较高,导致这两种脂肪酸的含量随植物油替代鱼油比例的上升而逐渐增加的结果,从而使得  $\Sigma$  n-6 PUFA 含量也随之增加。3 组饲料中花生四烯酸(ARA, C20:4n6)含量无显著差异。EPA、DHA 含量则随着植物油替代鱼油比例的上升而逐渐下降,导致  $\Sigma$  n-3 PUFA 含量的变化趋势随之一致。

表 2 不同饲料的脂肪酸组成  
Tab. 2 Fatty acid composition of different feeds

脂肪酸 Fatty acid	F1	F2	F3
C14:0	27.90 ± 2.43 <sup>b</sup>	22.70 ± 4.49 <sup>b</sup>	8.36 ± 1.56 <sup>a</sup>
C15:0	4.62 ± 0.20 <sup>c</sup>	3.07 ± 0.62 <sup>b</sup>	0.89 ± 0.11 <sup>a</sup>
C16:0	127.02 ± 9.69	123.10 ± 13.62	118.71 ± 9.91
C17:0	3.92 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.83 ± 0.14 <sup>b</sup>	1.27 ± 0.21 <sup>a</sup>
C18:0	28.16 ± 1.19	28.83 ± 3.79	30.17 ± 1.84
C20:0	2.10 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.78 ± 0.24 <sup>b</sup>	2.40 ± 0.04 <sup>a</sup>
C21:0	N. D.	N. D.	0.02 ± 0.01 <sup>b</sup>
C22:0	1.56 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.75 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.22 <sup>b</sup>
C23:0	6.67 ± 0.49 <sup>c</sup>	3.95 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.55 ± 0.39 <sup>a</sup>
C24:0	1.03 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.03 <sup>b</sup>
ΣSFA	202.98 ± 14.04 <sup>b</sup>	190.15 ± 22.28 <sup>ab</sup>	167.16 ± 12.21 <sup>a</sup>
C16:1	29.94 ± 1.53 <sup>c</sup>	21.96 ± 4.27 <sup>b</sup>	10.62 ± 1.28 <sup>a</sup>
C17:1	1.65 ± 0.38 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.79 ± 0.20 <sup>a</sup>
C18:1n9t	1.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.84 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.04 <sup>b</sup>
C18:1n9c	87.54 ± 2.82 <sup>a</sup>	137.71 ± 8.89 <sup>b</sup>	212.58 ± 16.81 <sup>c</sup>
C20:1	8.68 ± 0.77 <sup>b</sup>	7.11 ± 0.84 <sup>b</sup>	3.88 ± 0.83 <sup>a</sup>
C22:1n9	9.00 ± 1.49 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.31 <sup>a</sup>
C24:1	2.91 ± 0.18 <sup>c</sup>	1.88 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.12 ± 0.21 <sup>a</sup>
ΣMUFA	141.12 ± 0.70 <sup>a</sup>	173.09 ± 12.34 <sup>b</sup>	232.31 ± 16.51 <sup>c</sup>
C18:2n6t	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.06
C18:2n6c	85.92 ± 2.78 <sup>a</sup>	174.59 ± 9.54 <sup>b</sup>	285.81 ± 12.28 <sup>c</sup>
C18:3n6	0.91 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.75 ± 0.63 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.05 <sup>b</sup>
C18:3n3	15.00 ± 0.45 <sup>a</sup>	27.32 ± 3.61 <sup>b</sup>	42.98 ± 3.23 <sup>c</sup>
C20:2n6	8.44 ± 0.19 <sup>c</sup>	5.64 ± 0.32 <sup>b</sup>	2.46 ± 0.31 <sup>a</sup>
C20:3n6	0.60 ± 0.00 <sup>b</sup>	5.36 ± 0.45 <sup>c</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>a</sup>
C20:3n3	0.98 ± 0.27 <sup>b</sup>	0.30 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.03 <sup>a</sup>
C20:4n6	0.36 ± 0.07	0.31 ± 0.03	0.36 ± 0.04
C22:2n6	2.68 ± 0.18 <sup>c</sup>	1.63 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>
C20:5n3	43.05 ± 2.71 <sup>c</sup>	28.65 ± 2.66 <sup>b</sup>	14.77 ± 0.73 <sup>a</sup>
C22:6n3	78.19 ± 3.63 <sup>c</sup>	50.58 ± 4.11 <sup>b</sup>	22.25 ± 3.11 <sup>a</sup>
ΣPUFA	236.24 ± 9.88 <sup>a</sup>	295.24 ± 19.78 <sup>b</sup>	371.1 ± 8.71 <sup>c</sup>
Σn-3 PUFA	137.22 ± 7.05 <sup>c</sup>	106.85 ± 10.17 <sup>b</sup>	80.13 ± 3.92 <sup>a</sup>
Σn-6 PUFA	99.02 ± 3.01 <sup>a</sup>	188.39 ± 9.75 <sup>b</sup>	290.98 ± 12.05 <sup>c</sup>
n-3/n-6	1.39 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.57 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.28 ± 0.02 <sup>a</sup>
EPA + DHA	121.24 ± 6.33 <sup>c</sup>	79.23 ± 6.75 <sup>b</sup>	37.02 ± 3.58 <sup>a</sup>
EPA/DHA	0.55 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.07 <sup>b</sup>

注: N. D. 表示未被检测到;同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Notes: N. D. indicates not detected; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

## 2.3 河蟹可食部位的脂肪酸组成

### 2.3.1 河蟹体肉的脂肪酸组成分析

表 3 显示, 体肉中最主要的饱和脂肪酸 C16:0 和 C18:0 含量无显著性差异。尽管饲料中 Σ SFA 含量随着植物油替代鱼油水平的上升而减少, 而 Σ MUFA 含量随之增加, 但是 3 组体肉中 Σ SFA 和 Σ MUFA 含量无显著性差异。

油酸为体肉中含量最高的 MUFA, DHA 和

EPA 为体肉中含量最高的两种 n-3 PUFA, 亚油酸是含量最高的 n-6 PUFA, 与 EPA 含量相近。这些脂肪酸在 3 组体肉中的含量都无显著性差异。虽然在饲料中都能检测出 ARA, 但体肉中的 ARA 却痕量。3 组体肉中 Σ n-3 PUFA 和 Σ n-6 PUFA 含量以及 n-3/n-6 PUFA 和 EPA/DHA 均无显著性差异。这些数据表明, 饲料中植物油替代鱼油对体肉的脂肪酸组成影响不大。

表3 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位的脂肪酸组成的影响  
 Tab.3 Effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the fatty acid composition of edible parts of Chinese mitten crab

脂肪酸 Fatty acid	体肉 Meat			性腺 Gonads			肝胰腺 Hepatopancreas		
	M-F1	M-F2	M-F3	G-F1	G-F2	G-F3	H-F1	H-F2	H-F3
C14:0	1.48 ± 0.34	1.45 ± 0.49	1.42 ± 0.47	5.85 ± 0.60	6.42 ± 1.10	5.02 ± 0.96	12.08 ± 0.44 <sup>b</sup>	11.05 ± 0.46 <sup>b</sup>	6.98 ± 1.20 <sup>a</sup>
C15:0	0.55 ± 0.14 <sup>ab</sup>	0.89 ± 0.44 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.07 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.30 ± 0.10 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.20 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.11 <sup>b</sup>	2.73 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.43 ± 0.21 <sup>a</sup>
C16:0	44.46 ± 10.24	43.51 ± 7.30	36.89 ± 4.31	87.76 ± 9.02	90.00 ± 12.91	84.83 ± 6.47	126.79 ± 5.30	117.5 ± 3.08	125.47 ± 6.55
C17:0	2.11 ± 0.91	2.53 ± 0.24	2.32 ± 1.01	5.94 ± 0.38 <sup>a</sup>	6.62 ± 0.30 <sup>ab</sup>	7.29 ± 0.72 <sup>b</sup>	2.66 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.47 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.91 ± 0.12 <sup>a</sup>
C18:0	20.14 ± 0.68	21.07 ± 2.39	20.45 ± 0.27	23.24 ± 2.41	25.03 ± 3.35	25.74 ± 0.71	22.94 ± 1.16 <sup>ab</sup>	23.83 ± 0.39 <sup>b</sup>	21.59 ± 0.56 <sup>a</sup>
C20:0	0.32 ± 0.07	0.35 ± 0.11	0.30 ± 0.03	0.62 ± 0.19	0.59 ± 0.05	0.51 ± 0.07	2.08 ± 0.46 <sup>a</sup>	3.02 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.94 ± 0.38 <sup>a</sup>
C21:0	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.51 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.22 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.85 ± 0.30 <sup>a</sup>
C22:0	0.03 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.07	0.23 ± 0.00	0.20 ± 0.03	1.99 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.36 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.85 ± 0.10 <sup>a</sup>
C23:0	11.58 ± 1.23	12.88 ± 0.78	11.31 ± 0.04	12.82 ± 0.83 <sup>b</sup>	11.74 ± 1.08 <sup>b</sup>	8.86 ± 0.34 <sup>a</sup>	6.89 ± 1.41 <sup>b</sup>	6.47 ± 0.15 <sup>b</sup>	4.55 ± 0.66 <sup>a</sup>
C24:0	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.02	0.66 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.88 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.11 <sup>a</sup>
ΣSFA	80.69 ± 11.59	82.76 ± 5.64	73.23 ± 3.47	139.04 ± 11.73	143.10 ± 8.04	134.30 ± 8.54	180.84 ± 6.55	171.51 ± 4.31	168.19 ± 7.84
C16:1	3.39 ± 0.51 <sup>ab</sup>	3.76 ± 0.69 <sup>b</sup>	2.43 ± 0.42 <sup>a</sup>	25.85 ± 2.77	28.12 ± 1.41	25.27 ± 2.95	28.32 ± 0.93 <sup>b</sup>	20.86 ± 0.40 <sup>a</sup>	27.13 ± 1.76 <sup>b</sup>
C17:1	0.72 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.88 ± 0.24	2.21 ± 0.48	2.22 ± 0.09	1.89 ± 0.22	2.56 ± 0.34 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.13 ± 0.03 <sup>b</sup>
C18:1n9t	0.27 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.43	0.99 ± 0.31	0.54 ± 0.11	1.30 ± 0.50 <sup>c</sup>	1.13 ± 0.06	1.06 ± 0.39
C18:1n9c	48.73 ± 2.04	52.44 ± 4.79	53.17 ± 6.05	115.20 ± 1.88	137.39 ± 16.48	138.01 ± 13.85	171.63 ± 7.13 <sup>a</sup>	196.69 ± 4.16 <sup>b</sup>	249.07 ± 4.91 <sup>c</sup>
C20:1	1.48 ± 0.30	1.54 ± 0.57	1.33 ± 0.16	3.77 ± 0.07 <sup>c</sup>	2.97 ± 0.28 <sup>b</sup>	0.81 ± 0.02 <sup>a</sup>	11.76 ± 0.39 <sup>b</sup>	11.65 ± 1.22 <sup>b</sup>	8.12 ± 1.20 <sup>a</sup>
C22:1n9	0.22 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.15	0.34 ± 0.00	0.36 ± 0.10	2.45 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.10 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.27 ± 0.48 <sup>a</sup>
C24:1	1.17 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.33 ± 0.15 <sup>b</sup>	0.86 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.65 ± 0.33	1.37 ± 0.29	1.03 ± 0.30	2.55 ± 0.55 <sup>b</sup>	2.96 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.89 ± 0.14 <sup>a</sup>
ΣMUFA	56.00 ± 2.11	60.62 ± 5.31	59.31 ± 6.24	150.60 ± 1.35	173.61 ± 17.10	169.08 ± 17.01	221.4 ± 7.94 <sup>a</sup>	237.65 ± 3.48 <sup>b</sup>	291.2 ± 6.56 <sup>c</sup>
C18:2n6t	0.07 ± 0.03	0.10 ± 0.04	0.10 ± 0.03	0.42 ± 0.10	0.52 ± 0.10	0.53 ± 0.06	0.02 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.01 <sup>a</sup>
C18:2n6c	47.71 ± 2.11	47.45 ± 1.46	49.39 ± 3.37	109.65 ± 10.22 <sup>a</sup>	140.49 ± 3.43 <sup>b</sup>	142.72 ± 7.87 <sup>b</sup>	122.12 ± 5.76 <sup>a</sup>	153.63 ± 2.40 <sup>b</sup>	196.42 ± 3.66 <sup>c</sup>
C18:3n6	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.05 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.05 <sup>a</sup>
C18:3n3	3.73 ± 0.14	3.26 ± 0.75	3.89 ± 0.09	12.12 ± 1.16 <sup>a</sup>	14.11 ± 1.59 <sup>a</sup>	18.11 ± 0.67 <sup>b</sup>	8.71 ± 0.51 <sup>a</sup>	10.42 ± 0.05 <sup>b</sup>	13.61 ± 0.70 <sup>c</sup>
C20:2n6	6.84 ± 0.19	6.56 ± 1.42	7.10 ± 0.09	8.42 ± 0.40	8.04 ± 0.76	8.10 ± 0.20	14.82 ± 0.96 <sup>a</sup>	15.35 ± 0.30 <sup>a</sup>	17.62 ± 0.90 <sup>b</sup>
C20:3n6	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.54 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.06	0.86 ± 0.10	0.81 ± 0.08
C20:3n3	1.03 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.91 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.51 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.66 ± 0.24 <sup>ab</sup>	2.41 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.11 ± 0.41 <sup>b</sup>
C20:4n6	trace	trace	trace	10.82 ± 1.66	10.89 ± 1.13	10.73 ± 0.57	1.00 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.01 <sup>a</sup>
C22:2n6	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01	1.08 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.75 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.99 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.92 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.08 ± 0.05 <sup>a</sup>
C20:5n3	46.05 ± 7.85	46.41 ± 4.70	44.75 ± 1.32	52.10 ± 3.12	54.46 ± 6.19	46.70 ± 3.68	14.88 ± 0.97 <sup>b</sup>	14.09 ± 0.37 <sup>b</sup>	8.82 ± 0.67 <sup>a</sup>
C22:6n3	34.97 ± 3.89	34.69 ± 2.51	34.83 ± 1.36	47.41 ± 5.33	47.86 ± 5.10	40.10 ± 2.14	35.21 ± 2.59 <sup>b</sup>	38.89 ± 0.41 <sup>b</sup>	16.20 ± 0.26 <sup>a</sup>
ΣPUFA	140.45 ± 10.52	139.63 ± 6.77	141.68 ± 4.27	244.89 ± 15.04 <sup>a</sup>	280.23 ± 4.58 <sup>b</sup>	270.93 ± 10.05 <sup>ab</sup>	201.72 ± 9.33 <sup>a</sup>	239.19 ± 3.30 <sup>b</sup>	258.79 ± 7.16 <sup>c</sup>
Σn-3 PUFA	85.78 ± 11.75	85.31 ± 6.59	84.85 ± 1.59	113.54 ± 7.76	117.95 ± 6.83	107.29 ± 4.23	60.57 ± 2.54 <sup>b</sup>	65.81 ± 0.76 <sup>b</sup>	41.73 ± 3.78 <sup>a</sup>
Σn-6 PUFA	54.67 ± 2.14	54.32 ± 2.97	56.83 ± 3.3	131.36 ± 11.68 <sup>a</sup>	162.28 ± 2.44 <sup>b</sup>	163.64 ± 8.54 <sup>b</sup>	141.08 ± 6.72 <sup>a</sup>	173.38 ± 2.54 <sup>b</sup>	217.06 ± 4.24 <sup>c</sup>
n-3/n-6	1.57 ± 0.26	1.57 ± 0.16	1.50 ± 0.08	0.87 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.02 <sup>a</sup>
EPA + DHA	81.02 ± 11.73	81.10 ± 6.41	79.58 ± 1.62	99.51 ± 7.59 <sup>ab</sup>	102.32 ± 8.36 <sup>b</sup>	86.80 ± 3.68 <sup>a</sup>	49.20 ± 2.19 <sup>b</sup>	52.98 ± 0.74 <sup>b</sup>	25.02 ± 2.74 <sup>a</sup>
EPA/DHA	1.31 ± 0.08	1.34 ± 0.12	1.29 ± 0.07	1.11 ± 0.10	1.15 ± 0.18	1.17 ± 0.12	0.40 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>b</sup>

注: trace:检测的物质浓度痕量;同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: trace means amount of detected substance; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

### 2.3.2 河蟹性腺的脂肪酸组成分析

3组性腺中主要的SFA、MUFA以及ΣSFA和ΣMUFA含量都无显著性差异,说明植物油全部或部分替代鱼油对河蟹性腺的SFA和MUFA的组成和含量影响不大。随着植物油替代鱼油水平的上升,亚油酸和亚麻酸含量随之增加,导致Σn-6 PUFA含量也随之增加。三组ARA含量无显著差异,而F2组性腺中EPA + DHA含量高于其他两组。

### 2.3.3 河蟹肝胰腺的脂肪酸组成分析

3组肝胰腺中C16:0和ΣSFA无显著性差异。随着植物油替代鱼油水平的上升,C18:1n9c和ΣMUFA含量随之增加,这和对应饲料变化趋

势一致。C18:2n6c、n-6 PUFA和ΣPUFA含量也与对应饲料中的变化趋势一致,随着植物油替代鱼油水平的升高而升高,导致n-3/n-6比值逐渐下降。F3组肝胰腺中ARA含量显著低于其他两组,但F2组肝胰腺中ARA与F1组无显著性差异。F2组肝胰腺中的n-3 PUFA以及EPA + DHA含量显著高于F3组,与F1组无显著性差异。

## 3 讨论

### 3.1 饲料中植物油替代鱼油对脂肪含量的影响

饲料是水产养殖动物的主要食物来源,为其提供所需营养成分,饲料中脂肪源的不同势必影响其生长发育<sup>[12]</sup>。本实验结果说明,饲料中使用

植物油(质量比豆油:菜籽油=3:1)50%或全部替代鱼油对中华绒螯蟹育肥70 d后,对其体肉、性腺和肝胰腺的脂肪累积影响不大,这与WU等<sup>[5]</sup>得出的结论一致。易新文等<sup>[17]</sup>发现:饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼肌肉的脂肪含量无显著影响,结合本实验结果,这可能是由于水产养殖动物肌肉中脂肪含量较低,不容易受饲料影响。同时,本实验所选用的生殖蜕壳后雌蟹中各组织部位脂肪含量相对稳定,且各饲料中脂肪含量一定,只是脂肪源不同,因而其脂肪含量不容易受影响。但赵磊等<sup>[9]</sup>研究得出“饲料中50%的鱼油替代水平有利于雄蟹肝胰腺和肌肉中的脂肪沉积”,可能由于实验选用中华绒螯蟹的性别不同造成。WU等<sup>[11]</sup>研究发现植物油[m(豆油):m(菜籽油)=1:1]部分替代鱼油提高了雌性中华绒螯蟹肝胰腺的粗脂肪含量,可能是由于饲料以及养殖条件的差异所导致<sup>[18]</sup>。

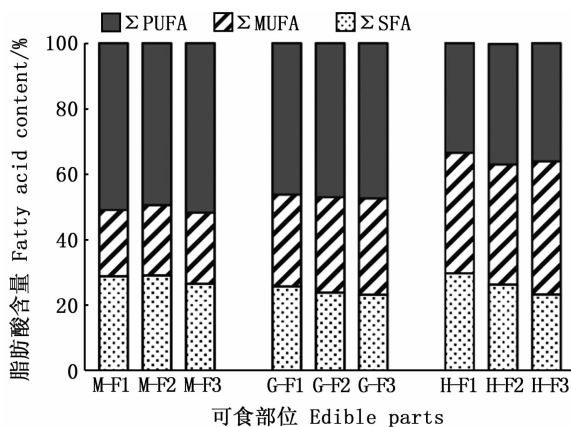


图2 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位的脂肪酸组成的影响

Fig. 2 Effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the fatty acid composition of edible parts of Chinese mitten crab

### 3.2 饲料中植物油替代鱼油对脂肪酸组成的影响

鱼油和植物油中的脂肪酸组成不同,因而植物油替代鱼油后各饲料组中脂肪酸组成也不同。本实验结果表明,在中华绒螯蟹的3个可食部位均能被检测出SFA 10种、MUFA 6种、PUFA 10种,包含人体必需的n-6系列的亚油酸和n-3系列的亚麻酸。

总体而言,饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位中SFA组成及含量影响不大,SFA是主要的供能脂肪酸<sup>[19]</sup>,因而蟹需在体内储存

SFA为其生存活动提供所需能量<sup>[20]</sup>,这证明了蟹中SFA组成可能具有较强的保守性。与脂肪含量一致,肝胰腺中 $\Sigma$  SFA含量高于性腺,体肉中最低。

河蟹体肉及性腺中脂肪酸组成以PUFA为主,而肝胰腺中则以MUFA为主(36%左右),其占总脂肪酸的含量高于体肉(20%左右)和性腺(28%左右),与WU等<sup>[21]</sup>的研究结果一致,这可能是由于育肥后期(11月)的水温较低,性腺发育速度下降并且肝胰腺需要贮存较多的MUFA用于过冬的能量消耗<sup>[22]</sup>。

油酸是饲料及蟹可食部位中最主要的MUFA,尽管饲料中其含量随着植物油替代鱼油水平明显呈现上升趋势,但是除肝胰腺中油酸含量与之变化趋势相同之外,3组体肉和性腺中均没有显著性差异,说明饲料中过量油酸并不能影响河蟹体肉和性腺中油酸的含量,但能显著影响肝胰腺中油酸含量。肝胰腺中 $\Sigma$  n-6PUFA和 $\Sigma$  PUFA含量随着植物油替代水平升高而升高,可能是由于植物油中亚油酸含量很高但缺乏鱼油富含的n-3 PUFA,激发了水生动物PUFA合成能力的提高,进而导致PUFA含量增加<sup>[23]</sup>。总的来说,肝胰腺的脂肪酸组成受饲料因素影响最大,这由于肝胰腺是中华绒螯蟹脂肪存储的部位,而非脂肪发挥功能性作用的部位,并且肝胰腺作为蟹脂肪酸的吸收和代谢中心<sup>[24]</sup>,其含量变化受饲料影响较为显著。

人们摄食水产品主要获取DHA、EPA以及ARA,其为人体营养、健康所必需,对降低胆固醇有很大帮助<sup>[25]</sup>。性腺中EPA、DHA和 $\Sigma$  n-3 PUFA含量高于体肉和肝胰腺,这可能是由于11月份是雌蟹性腺的快速发育时期,雌蟹肝胰腺中的脂肪酸,特别是n-3 PUFA会转移至性腺中供其发育所需,从而导致性腺内n-3 PUFA大量积累,而肝胰腺中n-3 PUFA含量有所下降<sup>[26-27]</sup>。

尽管饲料中所含ARA较低,但3组性腺及肝胰腺中ARA含量远超饲料所提供,证明中华绒螯蟹具有将亚油酸转化为ARA的能力,WU等<sup>[21]</sup>也有相关报道。蟹体肉中缺乏ARA,但富含DHA和EPA,占脂肪酸总量的30%左右,其含量超过饲料本身所提供。这可能由于河蟹在生长发育过程中,体肉中十八碳PUFA可以部分转化成DHA和EPA<sup>[24]</sup>,而过多的EPA对ARA有

竞争排斥作用。性腺中的 ARA 含量较高,人们可通过摄食性腺补充 ARA。

当使用 50% 植物油替代鱼油时,体肉、性腺和肝胰腺中 EPA 和 DHA 含量并没有减少,甚至在性腺中有增加,推测可能是河蟹在育肥阶段具有将亚油酸和亚麻酸合成 DHA 和 EPA 的一定能力。

从营养角度出发,FAO/WHO 推荐人类饮食的 n-3/n-6 PUFA 比例为 0.1~0.2 时对人类健康有益,比值越高越有益<sup>[11]</sup>,合理的 n-3/n-6 PUFA 比例有利于降低血压、抑制不规律心脏跳动、维持能量平衡、糖代谢和其他慢性疾病的发生以及促进正常的生长发育<sup>[28-29]</sup>。本实验测得河蟹体肉 n-3/n-6 PUFA 比值(1.50~1.57)高于性腺(0.66~0.87)和肝胰腺(0.19~0.43),说明从本角度看体肉的营养价值大于性腺和肝胰腺。

对于养殖者而言,使用 50% 植物油替代鱼油饲料不但有利于雌性中华绒螯蟹的脂肪酸组成,而且降低了养殖成本,促进了养殖业发展。

#### 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,中国水产学会编制. 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. 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] 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.
- [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 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.
- [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.  
ZHOU Y K, LIU L H, WU J K. Fish oil's usage in aquatic feed[J]. Guangdong Feed, 2005, 14(4): 38-40.
- [7] TURCHINI G M, NG W K, TOCHER D R. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds [M]. Boca Raton: CRC Press, 2010: 61-98.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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]. Food Biochemistry, 2019, 43(10): e12646, doi: 10.1111/jfbc.12646.
- [12] ZUO R T, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of dietary docosahexaenoic to eicosapentaenoic acid ratio (DHA/EPA) on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. Aquaculture, 2012, 334-337: 101-109.
- [13] XU H G, WANG J, MAI K S, et al. Dietary docosahexaenoic acid to eicosapentaenoic acid (DHA/EPA) ratio influenced growth performance, immune response, stress resistance and tissue fatty acid composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) [J]. Aquaculture Research, 2016, 47(3): 741-757.
- [14] 陈立侨,江洪波,周忠良,等. ω-3HUFA 对中华绒螯蟹幼体存活率及体脂肪酸组成的影响[J]. 水产学报,2000,24(5): 448-452.

- CHEN L Q, JIANG H B, ZHOU Z L, et al. Effects of  $\omega$ -3HUFA on survival rate and body fatty acids composition of *Eriocheir sinensis* larvae [J]. Journal of fisheries of China, 2000, 24(5): 448-452.
- [15] 庄柯瑾, 王帅, 王锡昌, 等. 饲料中脂肪对水产品品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 288-292.
- ZHUANG K J, WANG S, WANG X C, et al. Review: influence of dietary lipid on the quality of aquatic products [J]. Food Science, 2015, 36(15): 288-292.
- [16] 熊秋芳, 张效明, 文静, 等. 菜籽油与不同食用植物油营养品质的比较: 兼论油菜品质的遗传改良[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(6): 122-128.
- XIONG Q F, ZHANG X M, WEN J, et al. Comparison of nutritional values between rapeseed oil and several other edible vegetable oils: discussion of rapeseed quality genetic improvement [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(6): 122-128.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张稳, 谢奉军, 金敏, 等. 饲料中 n-3 高不饱和脂肪酸含量对三疣梭子蟹幼蟹生长性能及脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(5): 1254-1264.
- ZHANG W, XIE F J, JIN M, et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acid content on growth performance and fatty acid composition of Juvenile swimming crab (*Portunus trituberculatus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(5): 1254-1264.
- [20] 陈彦良, 李二超, 禹娜, 等. 豆油替代鱼油对中华绒螯蟹幼蟹生长、非特异性免疫和抗病力的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 511-521.
- CHEN Y L, LI E C, YU N, et al. Effect of replacing dietary fish oil with soybean oil on growth, non-specific immune response, and resistance to *Aeromonas hydrophila* challenge in Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 511-521.
- [21] WU X G, ZHOU B, CHENG Y X, et al. Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(2): 154-159.
- [22] 姚桂桂, 吴旭干, 杨筱珍, 等. 东海三疣梭子蟹雌体不同生理阶段肝胰腺的生化组成与其组织学结构的关系[J]. 海洋学报, 2008, 30(6): 122-131.
- YAO G G, WU X G, YANG X Z, et al. The changes of histology and main biochemical composition in the hepatopancreas at the different physiological stages of *Portunus trituberculatus* in East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(6): 122-131.
- [23] TOCHER D R, BELL J G, DICK J R, et al. Effects of dietary vegetable oil on Atlantic salmon hepatocyte fatty acid desaturation and liver fatty acid compositions [J]. Lipids, 2003, 38(7): 723-732.
- [24] WU X G, CHANG G, CHENG Y, et al. Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(1): 25-36.
- [25] 汤辰婧, 付娜, 王锡昌, 等. 围网养殖与池塘养殖中华绒螯蟹脂肪酸组成的比较[J]. 淡水渔业, 2014, 44(1): 84-89.
- TANG C J, FU N, WANG X C, et al. Comparison of fatty acid composition in *Eriocheir sinensis* cultured by purse net and pond [J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(1): 84-89.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 王伟力, 杨舒婷, 焦建刚, 等. 三种水族馆珍贵鱼类的营养成分分析及脂肪酸营养评价[J]. 水产学报, 2019, 43(3): 618-627.
- WANG W L, YANG S T, JIAO J G, et al. Nutrient analysis and nutritional evaluation of fatty acid composition in three precious aquarium fishes [J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(3): 618-627.
- [29] 黄凤洪, 黄庆德, 刘昌盛. 脂肪酸的营养与平衡[J]. 食品科学, 2004, 25(s1): 262-265.
- HUANG F H, HUANG Q D, LIU C S. Nutrition and balance of fatty acids [J]. Food Science, 2004, 25(s1): 262-265.



## Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on fatty acid composition of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

CONG Jiaojiao<sup>1,2</sup>, YU Tingchi<sup>1,2</sup>, YU Lizhi<sup>1,2</sup>, WANG Hongli<sup>1,2</sup>, WU Xugan<sup>3</sup>, WANG Xichang<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Sciences and 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 crude lipid content and fatty acid composition of Chinese mitten crab, vegetable oil [  $m$  (soybean oil):  $m$  (rapeseed oil) = 3:1 ] was used to replace different levels (0%, 50% and 100%) of fish oil to make three kinds of feeds with equal nitrogen and fat (F1, F2 and F3). The results showed that there was no significant difference ( $P < 0.05$ ) in the crude fat content between the meat, gonads and hepatopancreas of three groups of crabs. The fatty acid composition of each feed was different. The content of polyunsaturated fatty acid (PUFA) in meat was about 50%, and there was no significant difference ( $P > 0.05$ ) among dietary groups. The gonad fatty acid composition was affected by the fatty acid composition of feed. The content of n-6 PUFA increased with the increase of the replacement level. The hepatopancreas fatty acid composition was the most affected by the substitution of vegetable oil in the feed for fish oil, and the total content of monounsaturated fatty acid (MUFA) and PUFA increased with the replacement level. Compared with F1 and F3 groups, the contents of EPA + DHA in the edible parts of F2 group was relatively higher. It could be seen that 50% vegetable oil replacing fish oil was beneficial to the fatty acid composition of edible parts of female Chinese mitten crab. This study provided a reference for the substitution ratio of fish oil in the fattening feed and further improvement of the quality.

**Key words:** Chinese mitten crab; fatty acid composition; monounsaturated fatty acid; polyunsaturated fatty acid; fish oil; vegetable oil