

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16322

不同脂肪源饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力和脂肪酸组成的影响

王健懿, 杨志刚, 魏帮鸿, 施秋燕, 杨筱珍, 成永旭

上海海洋大学 水产与生命学院 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306

摘要: 选用初始体重为 (2.15 ± 0.10) g 的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)雄性幼蟹, 随机分为 5 组(每组 12 只幼蟹), 饲喂 100%鱼油组(简称 F1 组)、100%豆油组(F2 组)、100%亚麻油组(F3 组)、50%鱼油+50%豆油组(F4 组)、50%鱼油+50%亚麻油组(F5 组)不同脂肪源配制的 5 种等氮等能饲料。实验蟹单个体养殖, 实验周期为 112 d。结果表明, F5 组体重、增重率和特定生长率都显著高于其他饲料组($P < 0.05$), 各组的蜕壳间隔和肝胰腺指数没有显著差异($P > 0.05$)。肝胰腺组织消化酶活力测定结果表明, F1 组幼蟹肝胰腺的类胰蛋白酶活力显著高于其他各组($P < 0.05$); F3 组的胃蛋白酶活力显著高于其他各组($P < 0.05$); F1 组、F2 组和 F4 组的脂肪酶活力显著高于其他两组($P < 0.05$); 各组的淀粉酶活力差异不显著($P > 0.05$)。脂肪酸测定结果表明, 肝胰腺和肌肉中的亚油酸(LOA)($C_{18:2n-6}$)、亚麻酸(LNA)($C_{18:3n-3}$)、EPA($C_{20:5n-3}$)和 DHA($C_{22:6n-3}$)等主要脂肪酸含量与饲料脂肪酸组成呈正相关关系, F1 组的高度不饱和脂肪酸(HUFA)含量显著高于其余各组($P < 0.05$), F2 组的 LOA 含量显著高于其余各组($P < 0.05$), F3 组的 LNA 含量显著高于其余各组($P < 0.05$)。本研究结果表明, 以 50%的豆油或亚麻油替代鱼油能促进中华绒螯蟹幼蟹的生长, 但可能使幼蟹的成活率降低。以豆油或亚麻油替代鱼油会影响幼蟹胰蛋白酶、胃蛋白酶和脂肪酶的活力和肝胰腺、肌肉脂肪酸组成。

关键词: 中华绒螯蟹; 幼蟹; 脂肪; 生长; 消化酶; 脂肪酸组成

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1213-10

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗名河蟹, 属节肢动物门(Arthropoda), 甲壳纲(Crustacea), 十足目(Decapoda), 方蟹科(Grapsidae), 绒螯蟹属, 其肉质鲜美, 含有多种不饱和脂肪酸, 营养价值高, 是中国主要的养殖甲壳动物之一。

饲料营养是影响消化酶活力的重要因素, 研究不同饲料对消化酶活力的影响, 可以提高动物对饲料中营养物质的利用率, 降低饲料成本。目前中华绒螯蟹的研究认为, 脂类是中华绒螯蟹重要的营养物质和能量来源, 不同脂肪酸的饲料能显著影响中华绒螯蟹的生长性能, 肝胰腺和肌肉的脂肪酸组成^[1-2]。一般认为饲料中的高度

不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acid, HUFA)在中华绒螯蟹的生长发育中起着重要作用, 也有一些学者研究认为亚麻酸($C_{18:3n-3}$, linolenic acid, LNA)和亚油酸($C_{18:2n-6}$, linoleic acid, LOA)对甲壳类动物具有重要的生物学功能, 为甲壳动物的必需脂肪酸(essential fatty acids, EFA)^[3-5], 但有关亚油酸和亚麻酸对甲壳动物的具体作用, 并没有得出明确的结果。本实验以亚油酸含量较高的豆油和亚麻酸含量较高的亚麻油替代鱼油, 探索亚油酸和亚麻酸对中华绒螯蟹生长的影响。

中华绒螯蟹幼蟹在蜕壳期间会相互残杀, 将幼蟹单独饲养可以避免这种情况^[6]。目前大多数

收稿日期: 2016-11-16; 修订日期: 2017-01-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31472287; 31402272).

作者简介: 王健懿(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事中华绒螯蟹脂类营养学研究. E-mail: 601403524@qq.com

通信作者: 杨志刚, 副教授, 硕士生导师. E-mail: zg yang@shou.edu.cn

关于中华绒螯蟹的研究均采用群体养殖的方法,这种方法可以对蟹群体的生长情况进行研究,但在饲料实验中,不能保证蟹把饲料作为单一的食物来源。本实验采用单个体养殖的方法,与群体养殖相比,能清楚地了解个体蟹的生长情况,如蜕壳间隔、蜕壳次数等,同时避免幼蟹从饲料以外的途径获得食物,保证实验结果的准确性。本实验旨在探讨在单个体养殖的环境下,投喂不同脂肪源的饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力和脂肪酸组成的影响,为植物油替代鱼油在中华绒螯蟹的饲料研究与应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以酪蛋白为蛋白源配制基础饲料,本实验饲料分为 100%鱼油组(简称 F1 组)、100%豆油组(F2 组)、100%亚麻油组(F3 组)、50%鱼油+50%豆油组(F4 组)、50%鱼油+50%亚麻油组(F5 组)共 5 种等氮等能的饲料组。原料经粉碎机粉碎后过 80 目筛,称重后按逐级放大原则将原料混匀,然后加适量的水混合均匀,用制粒机加工成直径 1.5 mm 的颗粒,保存于-20℃的冰箱中备用,具体饲料配方及成分见表 1,饲料脂肪酸分析见表 2。

1.2 实验动物、饲养实验与取样

实验用中华绒螯蟹幼蟹购于上海崇明养殖基地,购进后放在塑料箱(36 cm×18 cm×18 cm)中暂养 7 d,暂养期间用商业饲料进行投喂。实验时选出大小基本一致,附肢完整,体重为(2.15±0.10) g 的雄蟹幼蟹,随机分为 5 个组,单个体养殖于 60 个塑料箱(36 cm×18 cm×18 cm)中。养殖期间,每天清污一次(12:10),统计脱壳及存活情况。每天投喂实验饲料 1 次(13:00),投喂量为体重的 5%,2 h 后收集残饵,烘干称重。每天换水 1/3~1/2,不间断对养殖水体充氧,溶氧保持在 5 mg/L 以上,水温 24.5~30.0℃,氨氮低于 0.01 mg/L, pH 为 8.0±0.4,自动控光系统控制光照周期 12 h:12 h,养殖周期为 112 d。养殖实验结束后,对每只幼蟹分别进行称重,测量壳长、壳宽,计算各组生长相关指标。停止投喂 1 d,再采集所有蟹的肝胰腺于-80℃保存,蟹肌肉于-20℃保存,用于消化酶和脂肪酸的测定。

计算公式如下:

$$\text{存活率} = [(N_0 - N_t) / N_0] \times 100\%$$

$$\text{增重率} = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100\%$$

$$\text{特定生长率} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$$

$$\text{饲料系数} = W_F / (W_t - W_0)$$

式中, N_0 为最初养殖的幼蟹数量(只); N_t 为养殖过程中死亡个体数(只); W_t 为幼蟹最终平均体重(g); W_0 为幼蟹初始平均体重(g); W_F 为采用空白溶失校正后的摄食饵料重量(g); t 为养殖天数(d)。

表 1 饲料配方组成及营养分析
Tab. 1 Formulation and proximate analysis of the experimental diets %

配方成分 ingredient	F1	F2	F3	F4	F5
酪蛋白 casein	41	41	41	41	41
纤维素 cellulose	4	4	4	4	4
淀粉/面粉 starch	28.65	28.65	28.65	28.65	28.65
羧甲基纤维素 CMC	4	4	4	4	4
酵母提取物 yeast extract	5	5	5	5	5
甜菜碱 l-cytine	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
甘氨酸 glycine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素 C (90%) vitamin C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素 E (50%) vitamin E	0.1	10.1	0.1	0.1	0.1
磷脂脂(> 90%) phospholipid	3	3	3	3	3
胆固醇 cholesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
肌醇 inositol	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
氯化胆碱(50%)	1	1	1	1	1
复合矿物质 ¹⁾ mineral mix ¹⁾	3	3	3	3	3
复合维生素 ²⁾ vitamin mix ²⁾	2	2	2	2	2
鱼油 fish oil	6	0	0	3	3
豆油 soybean oil	0	6	0	3	0
亚麻油 linseed oil	0	0	6	0	3
粗蛋白 crude protein	39.26	39.24	39.44	39.80	39.46
粗脂肪 crude lipid	9.75	9.31	9.47	10.15	9.56
灰分 ash	5.68	5.77	5.72	5.74	5.70

注: 1) 复合矿物质(以 kg 饲料计): Ca(H₂PO₄)₂, 10 g; MgSO₄·7H₂O, 2.4 g; KCl, 4.5 g; NaCl, 2.1 g; FeSO₄·H₂O, 155 mg; CuSO₄·5H₂O, 40 mg; ZnSO₄·H₂O, 80 mg; MnSO₄·H₂O, 30 mg; KI, 11.7 mg; CoCl₂·6H₂O, 4.8 mg; Na₂SeO₃, 2.4 mg. 2) 复合维生素(以 kg 饲料计): 维生素 A, 10000 IU; 维生素 D, 2500 IU; 维生素 K, 64 mg; 维生素 B₁, 160 mg; 维生素 B₂, 250 mg; 维生素 B₆, 60 mg; 泛酸钙, 240 mg; 烟酸, 60 mg; 叶酸, 12 mg; 维生素 H, 50 mg; 维生素 B₁₂, 4 mg.

Note: 1) mineral mix (on kg diet basis): Ca(H₂PO₄)₂, 10 g; MgSO₄·7H₂O, 2.4 g; KCl, 4.5 g; NaCl, 2.1 g; FeSO₄·H₂O, 155 mg; CuSO₄·5H₂O, 40 mg; ZnSO₄·H₂O, 80 mg; MnSO₄·H₂O, 30 mg; KI, 11.7 mg; CoCl₂·6H₂O, 4.8 mg; Na₂SeO₃, 2.4 mg. 2) vitamin mix (on kg diet basis): vitamin A, 10000 IU; vitamin D, 2500 IU; vitamin K, 64 mg; thiamin, 60 mg; riboflavin, 250 mg; pyridoxine, 60 mg; calcium pantothenate, 240 mg; niacin, 60 mg; folic acid, 12 mg; biotin, 50 mg; cyanocobalamin, 4 mg.

表 2 饲料脂肪酸的组成及含量
Tab. 2 Content of fatty acid in experimental diets %

脂肪酸 fatty acid	饲料组 diet group				
	F1	F2	F3	F4	F5
C _{14:0}	4.91	1.03	1.63	4.03	3.53
C _{15:0}	0.91	0.21	0.33	0.77	0.73
C _{16:0}	16.93	14.30	11.88	16.19	13.61
C _{18:0}	5.16	6.06	5.68	6.45	5.84
C _{20:0}	0.65	0.42	0.21	0.55	0.53
C _{22:0}	0.26	0.49	0.41	0.40	0.32
C _{24:0}	0.12	0.17	0.26	0.21	0.17
SFA	28.95	22.69	20.39	28.61	24.72
C _{14:1n5}	0.18	0.07	0.12	0.24	0.19
C _{16:1}	4.74	1.11	0.47	2.63	2.84
C _{18:1n9}	13.46	20.07	17.36	16.76	15.13
C _{18:1n7}	2.63	1.86	1.30	2.16	2.14
C _{20:1n9}	2.65	0.47	0.31	1.22	1.78
C _{22:1n9}	3.62	0.39	0.22	1.86	2.01
MUFA	27.29	23.97	19.80	24.88	24.09
C _{18:2n6}	11.97	38.48	17.96	21.99	14.18
C _{18:3n6}	0.10	7.53	0.08	0.09	0.09
C _{18:3n3}	2.63	0.38	32.29	5.96	16.67
C _{20:2n6}	0.19	0.12	0.12	0.12	0.16
C _{20:3n6}	0.10	0.33	0.42	0.93	0.18
C _{20:3n3}	0.12	0.23	0.19	0.18	0.07
C _{20:4n6}	0.72	0.10	0.12	0.34	0.42
C _{20:5n3}	7.10	0.63	0.00	3.48	4.16
C _{22:2n6}	0.24	0.12	0.94	0.11	0.26
C _{22:5n3}	0.64	0.17	0.22	0.20	0.39
C _{22:6n3}	10.50	0.88	0.13	5.17	6.26
PUFA	34.30	48.97	52.48	38.59	42.84
HUFA	19.18	2.34	1.08	10.31	11.48
n-3PUFA	20.98	2.29	32.83	15.00	27.56
n-6PUFA	13.32	46.69	19.65	23.60	15.28
n-3/n-6	1.57	0.05	1.67	0.63	1.80

1.3 消化酶测定

从每种组随机取 3 个肝胰腺。将每只蟹肝胰腺用试剂盒内的匀浆液匀浆, 于 4℃下以 12000 r/min 冷冻离心 10 min, 弃沉淀取上清液, 按照试剂盒的方法测定类胰蛋白酶、胃蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活力。试剂盒购自南京建成生物工程研究所。类胰蛋白酶和胃蛋白酶活力定义为: 在 37℃条件下, pH 为 8.0 时, 每毫克蛋白中含有的酶蛋白每分钟使吸光度变化 0.003 为 1 个酶活力单位(U)。

淀粉酶活力定义为: 在 37℃条件下, 以每 mg 蛋白与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉为 1 个酶活力单位(U)。脂肪酶活力定义为: 在 37℃条件下, 以每克组织蛋白与底物反应 1 min 消耗 1 μmol 底物为 1 个酶活力单位(U)。

1.4 脂肪酸分析

采用 Folch 推荐的方法, 按照氯仿: 甲醇= 2: 1(V/V)的比例萃取饲料、肝胰腺和肌肉样品中的总脂^[7], 脂肪酸甲脂化参考 Morrison 的方法^[8]。参考之前的脂肪酸分析方法^[9], 进样口温度为 200℃, 检测器温度为 250℃, 50℃/min 由 70℃升至 140℃, 保持 1 min, 4℃/min 升到 180℃, 保持 1 min, 最后 3℃/min 升至 225℃, 保持 3 min 至所有组分全部出峰, 采用面积百分比法对各脂肪酸成分进行定量。

1.5 数据分析和统计

实验数据均以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示, 经 SPSS 19.0 分析软件分析单因素方差(One-Way ANOVA)后, 若存在显著差异($P < 0.05$), 则采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同饲料投喂的中华绒螯蟹幼蟹的生长、成活率、肝胰腺指数和饲料系数

脂肪源对幼蟹生长、成活率、肝胰腺指数和饲料系数的影响见表 3。112 d 的养殖实验结束后, F5 组体重显著高于 F1、F2 和 F3 组($P < 0.05$), F4 组仅次于 F5 组, 但差异不显著($P > 0.05$)。F5 组的增重率和特定生长率显著高于 F1 组、F2 组和 F3 组($P < 0.05$), F1 组、F2 组、F3 组和 F4 组间没有显著差异($P > 0.05$)。F1 组的成活率最高, F5 组的成活率最低。各组的肝胰腺指数没有显著差异($P > 0.05$)。在饲料系数方面, F1 组和 F2 组较高, F3 组、F4 组和 F5 组的饲料系数相近。

2.2 不同饲料投喂的中华绒螯蟹幼蟹的蜕壳间隔

脂肪源对幼蟹蜕壳的影响见表 4。第一次蜕壳间隔由于选用蟹所处生长的情况不一, 差异较大, 各组后两次蜕壳的间隔时间并没有随着饲料脂肪源的不同存在明显的升高或降低趋势。第二次和第三次蜕壳的蜕壳时间, 各组间并没有

表 3 不同饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、成活率、肝胰腺指数和饲料系数的影响
Tab. 3 Effects of different diets on weight gain, survival, hepatosomatic index and feed coefficient of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

指标 indicator	饲料组 diet group				
	F1	F2	F3	F4	F5
初始体重/g initial body weight (n=12)	2.15±0.12	2.12±0.09	2.13±0.09	2.16±0.11	2.15±0.10
最终体重/g final body weight (n=9)	4.99±0.80 ^a	4.99±1.06 ^a	5.27±1.00 ^a	5.72±1.20 ^{ab}	6.45±1.27 ^b
增重率% weight gain (n=9)	136.56±43.28 ^a	133.56±53.43 ^a	142.44±43.88 ^a	166.56±61.53 ^b	200.56±63.81 ^b
特定生长率/% special growth rate (n=9)	0.75±0.17 ^a	0.73±0.21 ^a	0.80±0.20 ^a	0.85±0.21 ^{ab}	0.96±0.19 ^b
成活率/% surviving rate	100	83.3	91.7	83.3	75
肝胰腺指数/% hepatosomatic index (n=9)	7.94±0.56 ^a	8.14±0.77 ^a	8.17±1.16 ^a	7.94±1.26 ^a	8.05±0.75 ^a
饲料系数 feed coefficient	2.45	2.46	2.03	2.08	2.10

注：表中同一行右上角小写字母不同表示差异显著(P<0.05).
Note: Values in the same row with different superscript letters mean significant difference (P<0.05).

表 4 不同饲料对中华绒螯蟹幼蟹蜕壳时间的影响
Tab. 4 Effects of different diets on molting of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

指标 indicator	饲料组 diet group				
	F1	F2	F2	F4	F5
第一次蜕壳间隔 first molting interval	30.42±6.84 ^b	28.42±10.85 ^b	26.91±11.29 ^{ab}	24.33±10.77 ^a	23.91±8.40 ^a
第二次蜕壳间隔 second molting interval	36.43±9.43	36.33±2.50	38.75±9.38	35.22±10.31	39.00±6.93
第三次蜕壳间隔 third molting interval	37.33±6.49	34.40±4.27	35.60±3.27	36.80±3.42	36.67±3.88

注：表中同一行右上角小写字母不同表示差异显著(P<0.05).
Note: Values in the same row with different superscript letters mean significant difference (P<0.05).

存在显著差异(P>0.05)。在幼蟹阶段，饲料中脂肪源的差异对蜕壳速度的影响不显著。

2.3 不同饲料投喂的中华绒螯蟹幼蟹的消化酶活力

脂肪源对幼蟹肝胰腺消化酶的影响如表 5 所示，F1 组幼蟹肝胰腺的类胰蛋白酶活力显著高于

其他各组 (P<0.05)，其他各组间差异不显著 (P>0.05)；F3 组的胃蛋白酶活力高于其他各组，且差异显著 (P<0.05)，其他各组间差异不显著 (P>0.05)；F1 组、F2 组和 F4 组的脂肪酶活力显著高于其他两组(P<0.05)；各组的淀粉酶活力差异不显著(P>0.05)。

表 5 不同饲料对中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺消化酶活力的影响
Tab. 5 Effects of different diets on digestive enzyme activity of hepatopancreas of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

指标 indicator	饲料组 diet group				
	F1	F2	F3	F4	F5
类胰蛋白酶 U/mg tryptase activity	814.83±50.09 ^c	592.63±17.36 ^a	515.70±28.11 ^a	477.10±32.89 ^a	576.73±55.36 ^a
胃蛋白酶 U/mg pepsin activity	0.25±0.03 ^a	0.18±0.02 ^a	0.71±0.06 ^b	0.23±0.02 ^a	0.29±0.02 ^a
脂肪酶 U/g lipase activity	2.33±0.11 ^b	2.36±0.05 ^b	2.05±0.05 ^a	2.38±0.12 ^b	2.09±0.04 ^a
淀粉酶 U/mg amylase activity	0.31±0.05	0.33±0.03	0.33±0.02	0.38±0.05	0.36±0.03

注：表中同一行右上角小写字母不同表示差异显著(P<0.05).
Note: Values in the same row with different superscript letters mean significant difference (P<0.05).

2.4 不同饲料投喂的中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺脂肪酸组成

脂肪源对幼蟹肝胰腺脂肪酸组成的影响见表 6。幼蟹肝胰腺的脂肪酸组成中，各组的饱和脂肪

酸(SFA)含量无显著差异(P>0.05)。饱和脂肪酸中含量最高的是 C_{16:0}，其中 F1 组、F2 组和 F4 组的 C_{16:0} 含量显著高于其他两组(P<0.05)，F5 组最低；F2 组和 F3 组的 C_{18:0} 含量显著高于其他三组

($P<0.05$)。在肝胰腺的单不饱和脂肪酸(MUFA)中, $C_{18:1n9}$ 比例最高, 占到了一半以上, 各组的 $C_{18:1n9}$ 含量差异不显著($P>0.05$); F4 组的 $C_{16:1}$ 含量显著高于其他各组($P<0.05$), F3 组的 $C_{16:1}$ 含量最低。多不饱和脂肪酸(PUFA)中, F2 组的 LOA 含量显著高于其他各组, 而 F3 组的 LNA 含量显著高于其他组($P<0.05$), F1 组的 EPA 和 DHA 含量显著高于其他组($P<0.05$)。

表 6 不同饲料对中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺脂肪酸组成的影响
Tab. 6 Effects of different diets on fatty acid composition of hepatopancreas of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

脂肪酸 fatty acid	F1	F2	F3	F4	F5
$C_{14:0}$	3.58±0.16 ^d	2.37±0.05 ^{ab}	2.16±0.02 ^a	2.35±0.10 ^b	2.72±0.07 ^c
$C_{15:0}$	0.95±0.04 ^c	0.66±0.01 ^a	0.61±0.02 ^a	0.77±0.03 ^b	0.78±0.26 ^b
$C_{16:0}$	16.27±0.76 ^c	15.95±0.64 ^c	15.00±0.46 ^b	16.68±0.80 ^c	14.41±0.63 ^a
$C_{18:0}$	3.63±0.05 ^b	4.58±0.14 ^c	4.29±0.11 ^c	3.06±0.05 ^a	3.66±0.19 ^b
$C_{20:0}$	0.25±0.01 ^b	0.26±0.03 ^b	0.18±0.05 ^a	0.60±0.08 ^c	0.21±0.02 ^{ab}
$C_{22:0}$	0.20±0.04 ^a	0.30±0.05 ^{ab}	0.24±0.03 ^a	0.36±0.10 ^b	0.20±0.03 ^a
SFA	24.88±0.85	24.12±0.48	22.48±0.29	23.82±0.81	21.98±0.54
$C_{14:1n5}$	0.76±0.03 ^c	0.47±0.01 ^a	0.40±0.01 ^a	0.54±0.03 ^b	0.56±0.02 ^b
$C_{16:1}$	9.13±0.38 ^b	8.10±0.24 ^b	6.82±0.04 ^a	11.55±0.18 ^c	8.69±1.68 ^b
$C_{18:1n9}$	23.22±0.54	24.96±0.53	25.39±0.67	23.02±0.60	22.84±1.20
$C_{18:1n7}$	3.64±0.04 ^b	3.43±0.10 ^b	3.05±0.04 ^a	3.90±0.02 ^c	3.60±0.10 ^b
$C_{20:1n9}$	1.83±0.15 ^d	0.87±0.12 ^{ab}	0.70±0.03 ^a	1.00±0.10 ^b	1.37±0.14 ^c
MUFA	38.58±0.81 ^{ab}	37.82±0.56 ^a	36.36±0.63 ^a	40.02±0.82 ^b	36.23±1.45 ^a
$C_{18:2n6}$	9.74±0.08 ^a	20.95±0.55 ^d	14.90±0.20 ^c	15.17±0.19 ^c	11.96±0.50 ^b
$C_{18:3n6}$	0.09±0.01 ^a	0.10±0.04 ^a	0.17±0.10 ^b	0.26±0.14 ^c	0.06±0.01 ^a
$C_{18:3n3}$	1.68±0.04 ^a	3.43±0.04 ^b	15.69±0.25 ^d	4.32±0.06 ^b	7.96±0.31 ^c
$C_{20:2n6}$	0.66±0.04 ^a	0.80±0.06 ^b	0.76±0.04 ^b	0.61±0.04 ^a	0.91±0.12 ^c
$C_{20:3n6}$	0.16±0.07 ^{ab}	0.23±0.14 ^b	0.13±0.07 ^{ab}	0.16±0.04 ^{ab}	0.08±0.01 ^a
$C_{20:3n3}$	0.17±0.01 ^a	0.20±0.02 ^a	0.98±0.03 ^d	0.30±0.02 ^b	0.62±0.05 ^c
$C_{20:4n6}$	0.70±0.04 ^c	0.50±0.02 ^b	0.37±0.02 ^a	1.04±0.05 ^d	0.63±0.05 ^c
$C_{20:5n3}$	3.78±0.17 ^d	1.27±0.06 ^b	0.74±0.06 ^a	2.96±0.14 ^c	2.93±0.17 ^c
$C_{22:5n3}$	0.32±0.19 ^c	0.14±0.01 ^b	0.07±0.01 ^a	0.36±0.03 ^c	0.29±0.03 ^c
$C_{22:6n3}$	6.00±0.48 ^c	1.81±0.03 ^b	1.02±0.07 ^a	3.32±0.32 ^c	4.25±0.08 ^d
PUFA	23.31±0.92 ^a	29.43±0.50 ^b	34.8±0.42 ^c	28.33±0.20 ^b	29.69±1.18 ^b
HUFA	11.11±0.92 ^c	4.14±0.02 ^a	3.33±0.11 ^a	7.98±0.41 ^b	8.79±0.45 ^b
n-3PUFA	11.96±0.85 ^b	6.85±0.15 ^a	18.51±0.10 ^d	11.09±0.45 ^b	16.04±0.68 ^c
n-6PUFA	11.35±0.08 ^a	22.58±0.64 ^c	16.32±0.32 ^b	17.25±0.29 ^b	13.65±0.56 ^a
n-3/n-6	1.05±0.07	0.30±0.01	1.13±0.02	0.64±0.04	1.17±0.03

注: 表中同一行右上角小写字母不同表示差异显著($P<0.05$).
Note: Values in the same row with different superscript letters mean significant difference ($P<0.05$).

2.5 不同饲料投喂的中华绒螯蟹幼蟹肌肉脂肪酸组成

脂肪源对幼蟹肌肉脂肪酸组成的影响如表 7 所示, 幼蟹肌肉的脂肪酸组成中, 各组的饱和脂肪酸 SFA 含量并无显著差异($P>0.05$); F1 组、F3 组和 F5 组的 $C_{18:0}$ 含量显著高于 F4 组($P<0.05$); F1

组、F3 组和 F5 组的 $C_{22:0}$ 含量高于 F4 组, 且差异显著($P<0.05$)。各组的单不饱和脂肪酸总量和 $C_{18:1n9}$ 无显著差异($P>0.05$); F4 组的 $C_{16:1}$ 含量显著高于其他各组($P<0.05$); F1 组、F4 组和 F5 组的 $C_{18:1n7}$ 含量显著高于 F3 组($P<0.05$)。在多不饱和脂肪酸方面, F1 组的 ARA、EPA、DHA 和 HUFA

表 7 不同饲料对中华绒螯蟹幼蟹肌肉脂肪酸组成的影响
Tab. 7 Effects of different diets on fatty acid composition of muscle
of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

%; $n=3$; $\bar{x} \pm SD$

脂肪酸 fatty acid	F1	F2	F3	F4	F5
C _{14:0}	0.99±0.05 ^a	1.33±0.07 ^c	1.11±0.02 ^b	1.96±0.07 ^d	1.40±0.04 ^c
C _{15:0}	0.39±0.01 ^a	0.46±0.02 ^b	0.40±0.01 ^a	0.60±0.01 ^c	0.47±0.01 ^b
C _{16:0}	13.93±0.83 ^a	15.58±0.65 ^b	13.88±0.51 ^a	14.55±0.84 ^b	14.56±1.04 ^b
C _{18:0}	6.63±0.22 ^b	5.60±0.18 ^{ab}	6.05±0.11 ^b	4.74±0.01 ^a	6.44±0.18 ^b
C _{20:0}	0.40±0.05	0.39±0.06	0.40±0.04	0.33±0.01	0.49±0.07
C _{22:0}	0.49±0.04 ^b	0.43±0.03 ^{ab}	0.49±0.03 ^b	0.33±0.01 ^a	0.48±0.05 ^b
SFA	22.83±0.98	23.80±0.71	22.33±0.57	22.52±0.87	23.83±1.15
C _{14:1n5}	0.14±0.01 ^a	0.19±0.02 ^a	0.16±0.01 ^a	0.35±0.01 ^b	0.18±0.01 ^a
C _{16:1}	4.77±0.16 ^a	5.60±0.10 ^b	4.46±0.01 ^a	6.80±0.21 ^c	4.82±0.21 ^a
C _{18:1n9}	19.22±0.91	21.29±0.86	20.97±0.48	21.60±0.73	19.33±0.77
C _{18:1n7}	3.96±0.01 ^b	3.46±0.01 ^{ab}	3.15±0.01 ^a	3.92±0.02 ^b	3.77±0.01 ^b
C _{20:1n9}	0.99±0.01 ^{ab}	1.00±0.01 ^{ab}	0.86±0.07 ^a	1.29±0.01 ^b	1.70±0.01 ^c
MUFA	29.08±1.11	31.53±0.91	29.61±0.51	33.95±0.85	29.79±1.07
C _{18:2n6}	13.33±0.58 ^b	17.71±0.67 ^c	14.77±0.24 ^b	14.17±0.21 ^b	11.56±0.39 ^a
C _{18:3n3}	3.45±0.03 ^a	4.25±0.01 ^{ab}	9.05±0.13 ^c	4.19±0.01 ^{ab}	4.40±0.10 ^b
C _{20:2n6}	1.13±0.03	1.59±0.14	1.25±0.05	1.00±0.04	1.23±0.04
C _{20:3n3}	0.36±0.05 ^a	0.33±0.02 ^a	0.94±0.02 ^c	0.44±0.02 ^b	0.49±0.02 ^b
C _{20:4n6}	3.13±0.02 ^b	1.50±0.03 ^a	2.56±0.05 ^b	1.67±0.05 ^a	1.49±0.05 ^a
C _{20:5n3}	11.75±0.03 ^c	5.04±0.15 ^a	7.01±0.11 ^b	7.33±0.11 ^b	6.80±0.10 ^b
C _{22:6n3}	9.23±0.19 ^c	5.16±0.03 ^a	5.41±0.20 ^a	7.50±0.36 ^b	6.46±0.29 ^b
PUFA	42.69±0.62 ^c	37.09±2.34 ^b	41.18±0.52 ^c	36.44±0.45 ^{ab}	32.94±0.46 ^a
HUFA	24.78±0.02 ^b	13.54±0.94 ^a	16.10±0.35 ^b	17.08±0.55 ^b	15.75±0.33 ^{ab}
n-3PUFA	24.79±0.04 ^c	15.23±1.23 ^a	22.41±0.40 ^c	19.47±0.48 ^b	18.15±0.27 ^b
n-6PUFA	17.91±0.58 ^{ab}	21.87±1.14 ^b	18.77±0.18 ^{ab}	16.97±0.18 ^a	14.79±0.36 ^a
n-3/n-6	1.39±0.04	0.70±0.02	1.19±0.02	1.15±0.04	1.23±0.03

注: 表中同一行右小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Values in the same row with different superscript letters mean significant difference ($P<0.05$).

高于其他各组, 且差异显著($P<0.05$); F2 组的 LOA 含量显著高于其他各组($P<0.05$); F3 组的 LNA 含量显著高于其他各组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 中华绒螯蟹养殖实验方法研究

在之前对中华绒螯蟹幼蟹的研究中, 有使用群体养殖进行实验的^[10-12], 也有采用单个体养殖进行研究的^[13-14]。本实验采用单个体养殖模式进行实验, 以保证可以清楚地知道实验中每只幼蟹的生长情况, 如蜕壳间隔、蜕壳次数、每次蜕壳后的增重等等。单个体养殖还能防止幼蟹在蜕壳过程中被其他幼蟹攻击, 造成死亡, 从而达到提高成活率的目的。同时, 单个体养殖还可以保证

实验过程中幼蟹不从其他途径获取食物, 如死去的幼蟹, 更有利于进行饲料营养对幼蟹作用的分析。

3.2 脂肪源影响中华绒螯蟹生长

饲料脂肪源的不同决定了的饲料中各脂肪酸比例的不同和脂肪酸不饱和程度的不同。一般来说, 饲料中的 n-3 和 n-6 高度不饱和脂肪酸(HUFA)含量较高时, 对虾蟹的生长和繁殖效果较好。一般用作饲料脂肪源的原料中, 鱼油的高度不饱和脂肪酸含量要高于植物油, 所以鱼油对虾蟹的营养价值高于植物油。但在试验中, F5 组幼蟹获得最好的增重率, 这在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、斑节对虾(*Penaeus monodon*)和克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的研究上得到了类似的结果^[15-17], 究其原因可能是, 3% 的鱼油包含的

EPA 和 DHA 已经能够满足中华绒螯蟹幼蟹的需求,而使得亚麻油中所含的 LNA 对幼蟹生长的促进作用表现更加明显,饵料中添加适当的 LOA 和 LNA 可以提高甲壳动物的生长性能^[18]。本实验中各组的蜕壳速度并没有显著差异,但之前有研究认为在饲料中适量添加 DHA 与 EPA 虽然能有效地促进中华绒螯蟹幼蟹生长,但饲料中 DHA 与 EPA 的含量升高会抑制幼蟹的蜕壳速度^[19],与本实验结果不符,原因可能是本试验所用的鱼油豆油的比例不同,且本实验所用的鱼油 EPA 和 DHA 的含量较高导致,也可能是本实验所用到的亚麻油对中华绒螯蟹幼蟹的蜕壳的作用与鱼油相似导致。

本实验中, F4 组的增重率仅次于 F5 组,也与之前的研究结果相似^[20-21]。n-3HUFA 对虾蟹幼体有着重要意义,可以提高其幼体的成活率和生长性能,同时 n-3 系列脂肪酸在生长方面的效果也要优于 n-6 系列脂肪酸^[22],这在本实验的结果中也得到了体现,富含 LNA、EPA 和 DHA 等 n-3 系列脂肪酸的 F5 组获得最高的生长性能。各组幼蟹死亡集中在蜕壳期间和蜕壳后一天,大部分是由于蜕壳死亡综合征(molting death syndrome, MDS)造成,这与饲料中的 HUFA 的组成和含量有关,对三疣梭子蟹的研究发现,饲料中的 HUFA 含量过高或者过低都会对其正常蜕壳造成影响^[23],本实验中 F1 组饲料的 HUFA 含量可能更有利于中华绒螯蟹幼蟹蜕壳的成功率和蜕壳后的成活率,而其他 4 组饲料的 HUFA 含量不足影响了幼蟹的正常蜕壳。

3.3 脂肪源对幼蟹消化酶活力的影响

饲料营养是影响消化酶活力的重要因素,肝脏产生的蛋白酶和脂肪酶是决定消化能力主要因素^[24], F1 组幼蟹肝胰腺的类胰蛋白酶活力显著高于其他各组($P<0.05$),可能是受到饲料中鱼油含量较高的影响, F3 组肝胰腺中的胃蛋白酶含量显著高于其他各组($P<0.05$),可能是 LNA 对胃蛋白酶活力有一定的促进作用而之前的研究表明,用配合饲料替代杂鱼投喂中华绒螯蟹对肝胰腺中的类胰蛋白酶和胃蛋白酶没有显著影响^[25],原因可能是之前研究所用饲料和杂鱼在营养成分上差别较大,无法确定是饲料中的何种成分对类胰蛋

白酶造成影响。本实验各组淀粉酶活力没有显著差异,研究认为饲料蛋白质对淀粉酶有一定的影响^[26],而脂肪源对中华绒螯蟹淀粉酶的研究未见报道,本实验中各组饲料中蛋白质和淀粉没有差异,说明不同脂肪源对淀粉酶的影响有限。F1 组、F2 组和 F4 组的脂肪酶活力显著高于 F3 组和 F5 组,在红螯光壳螯虾的研究中也发现花生油组脂肪酶活力最高,表明饲料中脂肪酸的不同对甲壳动物肝胰腺脂肪酶活力有一定的影响^[27],本实验各组脂肪酶活力的结果可能与饲料中的 LOA、EPA 和 DHA 的总量有关,饲料中 LOA、EPA 和 DHA 的含量总和越高,脂肪酶活力越高。总的来说,脂肪酶活力低于其他消化酶,这之前的研究结果一致^[28]。

3.4 脂肪源影响中华绒螯蟹肝胰腺和肌肉的脂肪酸组成

肝胰腺是虾蟹加工和储存脂类的器官,其脂肪酸组成会受到饲料中脂肪酸组成的影响^[29-30]。本实验的结果也证明了这一点, F1 组幼蟹肝胰腺的 HUFA 显著高于其他各组, F2 组幼蟹肝胰腺的 LOA 显著高于其他各组, F3 组幼蟹肝胰腺的 LNA 显著高于其他各组,各组肝胰腺脂肪酸含量与饲料脂肪酸组成呈正相关关系,在虾上也有类似的报道^[31-32]。

而在肌肉脂肪酸分析中可以发现,各组幼蟹肌肉的脂肪酸并不完全与饲料脂肪酸对应,原因可能是脂肪酸的选择性沉积。肌肉中总脂含量较低,其脂肪酸含量相对稳定,肌肉中 C_{18:0} 与 C_{22:0} 含量高于肝胰腺中的含量,肌肉中高不饱和脂肪酸含量高于对应饲料中的含量, F3 组肌肉中亚麻酸的含量远低于同组肝胰腺中的含量,都可以说明这个问题。有研究表明 LOA 和 LNA 可以通过去饱和作用以及碳链延长转化为 HUFA^[33]。在本实验中, F3 组肌肉中 EPA 高于 F2 组,这与两组饲料中 EPA 的含量存在一些差异,原因可能是 LOA 和 LNA 在中华绒螯蟹的肝胰腺内通过去饱和作用和碳链延长作用转化为 HUFA 运送至肌肉组织中。F3 组肌肉中的 EPA 可能就是由过量的 LNA 经去饱和和延长作用转化得到。

综上所述,投喂不同脂肪源的饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力和肝胰腺及肌肉脂肪酸组成均有一定的影响。在本实验条件下,50%鱼油+50%亚麻油组获得较好的生长情况,鱼油组类胰蛋白酶活力较高,亚麻油组胃蛋白酶活力较高,鱼油组、豆油组和 50%鱼油+50%豆油组的脂肪酶活力较高。幼蟹肝胰腺和肌肉的脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成呈正相关关系。

致谢: 本实验得到了吴旭干老师及葛永春等的帮助和支持,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Sui L X, Wille M, Cheng Y, et al. The effect of dietary n-3 HUFA levels and DHA/EPA ratios on growth, survival and osmotic stress tolerance of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* larvae[J]. Aquaculture, 2007, 273(1): 139–150
- [2] Wu X G, Chang G L, Cheng Y X, 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]. Aquac Nutr, 2010, 16(1): 25–36.
- [3] Dabramo L R. Triacylglycerols and Fatty Acids in Advances in World Aquaculture-Crustacean Nutrition[M]. Baton Rouge, L A: World Aquaculture Society, 1997: 587.
- [4] Merican Z O, Shim K F. Qualitative requirements of essential fatty acids for juvenile *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 1996, 147(3): 275–291.
- [5] Glencross B D, Smith D M. Optimising the dietary levels of eicosapentaenoic and docosahexaenoic essential fatty acids for the prawn, *Penaeus monodon*[J]. Aquac Nutr, 2001(7): 101–112.
- [6] Romano N, Zeng C S. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*[J]. Aquaculture, 2006, 260: 151–162.
- [7] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. J Biol Chem, 1957, 266: 497–509.
- [8] Morrison W R, Smith L M. Methanolysis of lipids with BF₃-Methanol[J]. J Lipid Res, 1964, 5: 600–608.
- [9] 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): 170–181. [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.]
- [10] Xu X Z, He X Z, Fu P F. Effects of different diets lipid source of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Feed Industry, 1997, 18(5): 16–18. [徐新章, 何珍秀, 付培峰. 不同脂肪源对幼蟹生长的影响[J]. 饲料工业, 1997, 18(5): 16–18.]
- [11] Chen Q W, Cai C F, Ye Y T, et al. Effects of different diets protein source on growth and physiological function of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Feed Industry, 2008, 29(4): 13–16. [陈权文, 蔡春芳, 叶元土, 等. 不同饲料蛋白源对中华绒螯蟹生长和生理机能的影响[J]. 饲料工业, 2008, 29(4): 13–16.]
- [12] Sun X J, Wang Y, Chen L Q, et al. Requirement of Vitamin A of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(5): 539–545. [孙新瑾, 王玥, 陈立侨, 等. 中华绒螯蟹幼蟹对饲料中维生素 A 的适宜需要量[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5): 539–545.]
- [13] Zhao Y T, Wu X G, Chang G L, et al. Effect of dietary DHA levels on growth, lipid composition and hypoxia stress of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(6): 1135–1144. [赵亚婷, 吴旭干, 常国亮, 等. 饲料中 DHA 含量对中华绒螯蟹幼蟹生长、脂类组成和低氧胁迫的影响[J]. 水生生物学报, 2013, 37(6): 1135–1144.]
- [14] Chang G L, Wu X G, Cheng Y X, et al. Effects of phospholipid and highly unsaturated fatty acid on survival, weight gain, molting and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 329–337. [常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 磷脂和 HUFA 对中华绒螯蟹幼蟹存活、生长、蜕壳及生化组成的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 329–337.]
- [15] Zhang M L, Sun Y H, Chen K, et al. Characterization of the intestinal microbiota in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with different lipid sources[J]. Aquaculture, 2014, 434: 449–455.
- [16] Deering M J, Fielder D R, Hewitt D R. Growth and fatty acid composition of juvenile leader *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 1997, 151: 131–141.
- [17] Wen X B, Ku Y M, Zhou K Y. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Procambarus clarkii* fed different source of dietary lipid[J]. Agr Sci Chin, 2003, 2(5): 583–

- 590.
- [18] Liu S H, Cao J M, Huang Y H, et al. Effects of different dietary linolenic acid/linoleic acid ratios on growth performance and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(5): 1413–1421. [刘穗华, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(5): 1413–1421.]
- [19] Wang L Q, Hu W, Li H Y, et al. Effect of dietary DHA and EPA levels on growth and feed utilization of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Fishery Modernization, 2003 (6): 39–41. [汪留全, 胡王, 李海洋, 等. 饲料中 DHA 与 EPA 水平对幼蟹生长和饲料利用率的影响[J]. 渔业现代化, 2003(6): 39–41.]
- [20] Liu S H, Cao J M, Huang Y H, et al. Effects of replacement of fish oil with vegetable oil on growth and hepatosomatic index of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(4): 95–99. [刘穗华, 曹俊明, 黄燕华, 等. 植物油替代鱼油对凡纳滨对虾的生长性能和肝体比的影响[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(4): 95–99.]
- [21] Lim C, Ako H, Brown C L, et al. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid[J]. Aquaculture, 1997, 151(1–4): 143–153.
- [22] Kanazawa A, Teshima S I, Sakamoto M. Effects of dietary lipids, fatty acids and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae[J]. Aquaculture, 1985, 50(1–2): 39–49.
- [23] Takeuchi T, Nakamoto Y, Hamasaki K, et al. Requirement of n-3 highly unsaturated fatty acids for larval swimming crab *Portunus trituberculatus*[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1999, 65(5): 797–803.
- [24] Sun J M, Liu Y J, Zhou Z C. Research on protease and lipase activity in *Penaeus chinensis* at different growth stages[J]. Fisheries Science, 1995, 14(2): 11–13. [孙建明, 刘亚杰, 周遵春. 不同生长时期中国对虾蛋白酶、脂肪酶活性变化的研究[J]. 水产科学, 1995, 14(2): 11–13.]
- [25] Yang Z G, Que Y Q, Ji L Y, et al. Effects of replacement of trash fish with formulated feed on growth and digestive enzyme activities in Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(3): 293–297. [杨志刚, 阙有清, 纪连元, 等. 以配合饲料替代杂鱼对中华绒螯蟹生长及消化酶活性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(3): 293–297.]
- [26] Jiang H B, Chen L Q, Wang Q, et al. Effects of dietary protein on activities of digestive enzyme and trypsin mRNA abundance in *Eriocheir sinensis* juveniles[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 216–221. [江洪波, 陈立侨, 王群, 等. 饵料蛋白质对中华绒螯蟹仔蟹消化酶活性及胰蛋白酶 mRNA 丰度的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 216–221.]
- [27] Guo Z L, Li J Y, Gan X H, et al. Influence of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity and fatty acid composition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 996–1004. [郭占林, 李嘉尧, 甘信辉, 等. 不同脂肪源对红螯光壳蟹幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 996–1004.]
- [28] Pan L Q. Comparative studies on digestive enzyme activities during larval development of four species of shrimps and crabs[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1997, 27(3): 313–318. [潘鲁青. 四种虾蟹类幼体消化酶活力的比较研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3): 313–318.]
- [29] Cavalli R O, Menschaert G, Lavens P, et al. Maturation performance, offspring quality and lipid composition of *Macrobrachium rosenbergii* fed increasing levels of dietary phospholipids[J]. Aquaculture International, 2000(8): 41–58.
- [30] Johnston D J, Calvert K A, Crear B J, et al. Dietary carbohydrate/lipid ratios and nutritional condition in juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*[J]. Aquaculture, 2003, 220: 667–682.
- [31] Ji W J. A comparative studies on fatty acid compositions of wild and cultured shrimp (*Penaeus chinensis*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(1): 16–20. [季文娟. 野生及人工养殖的中国对虾(*Penaeus chinensis*)的脂肪酸组成的分析及比较研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 16–20.]
- [32] Kumaraguru vasagam K P, Ramesh S, Balasubramanian T. Dietary value of different vegetable oil in black tiger shrimp *Penaeus monodon* in the presence and absence of soy lecithin supplementation: Effect on growth, nutrient digestibility and body composition[J]. Aquaculture, 2005, 250(1–2): 317–327.
- [33] Ren Z L, Li A J, Xue C H. Nutrient requirements of *Penaeus chinensis* for essential fatty acids[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1994, 24(1): 24–32. [任泽林, 李爱杰, 薛长湖. 中国对虾必需脂肪酸的营养需求[J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(1): 24–32.]

Effects of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity, and fatty acid composition in juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

WANG Jianyi, YANG Zhigang, WEI Banghong, SHI Qiuyan, YANG Xiaozhen, CHENG Yongxu

Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture; College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: This study determined the effects of different sources of dietary lipid on survival rate, weight gain, molting, digestive enzyme activity, and fatty acid composition in male juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. Five diets were formulated to contain different amounts of fish oil, soybean oil, and linseed oil. The control feed (Group F1) was formulated with 6% fish oil, whereas the other 4 experimental diets were formulated with 6% soybean oil (Group F2), 6% linseed oil (Group F3), 3% fish oil and 3% soybean oil (Group F4), and 3% fish oil and 3% linseed oil (Group F5). Juvenile crabs (with initial body weight 2.15 ± 0.10 g) were randomly allocated to one of the diet groups. Twelve juvenile crabs per diet group were individually stocked in plastic tanks. After 112 d, weight gain and specific growth rate of Group F5 was significantly higher than that of the other groups ($P < 0.05$). No significant difference was observed in molting interval or hepatosomatic index. Analysis of digestive enzyme profiles from the hepatopancreas revealed positive correlations between enzyme activity and lipid sources: tryptase activity in Group F1 was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$); pepsin activity in Group F3 was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$); lipase activity in Groups F1, F2, and F4 was significantly higher than that in the other two groups ($P < 0.05$). Different diets had no significant effects on amylase activity. Fatty acid composition of the hepatopancreas and muscles followed the fatty acid composition of the diet. Eicosapentaenoic acid ($C_{20:5n3}$) and docosahexaenoic acid ($C_{22:6n3}$) in Group F1 was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$); linoleic acid ($C_{18:2n6}$) in Group F2 was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$); linolenic acid ($C_{18:3n3}$) in Group F3 was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$). These results suggested that replacing 50% fish oil with soybean or linseed oil had a positive effect on growth, but a negative effect on survival rate in juvenile Chinese mitten crab, *E. sinensis*. Both soybean oil and linseed oil had a significant effect on tryptase activity, pepsin activity, lipase activity, and fatty acid of the hepatopancreas and muscles in juvenile Chinese mitten crab, *E. sinensis*.

Key words: *Eriocheir sinensis*; juvenile; lipid; growth; digestive enzyme; fatty acid composition

Corresponding author: YANG Zhigang. E-mail: zgyang@shou.edu.cn