

DOI: 10.3724/SP.J.11118.2011.00329

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

常国亮^{1,2}, 吴旭干¹, 成永旭¹, 王宗凯¹, 陆剑锋³

1. 上海海洋大学, 农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 201306;

2. 淮阴师范学院, 江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室, 江苏 淮安 223300;

3. 合肥工业大学 生物技术与食品工程学院, 安徽 合肥 230009

摘要: 实验用中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹初始体质量为 1.8 g 左右。饲料 A 添加 6%鳙鱼肝油和 4%大豆磷脂(饲料含 4.53%磷脂和 1.08%HUFA), 饲料 B 添加 10%的猪油(饲料含 0.39%磷脂和 0.18%HUFA); 实验蟹单个体饲养(可防止蜕壳期间蟹相互残杀而获得饲料外的营养源), 雌蟹(F)、雄蟹(M)各 60 个, 实验周期 120 d。结果表明: 两组饲料条件下, 幼蟹的存活率、增重率、特定生长率、平均蜕壳次数、蜕壳间隔时间及肝胰腺指数均无显著差异($P>0.05$)。但无论是雌蟹还是雄蟹, A 组幼蟹肝胰腺和肌肉的总脂含量显著低于 B 组($P<0.05$), 并且 A 组蟹肝胰腺和肌肉中磷脂、多不饱和脂肪酸和高度不饱和脂肪酸的含量显著高于 B 组($P<0.05$)。这表明, 在中华绒螯蟹幼蟹饲料中添加 4.53%磷脂和 1.08%HUFA 对其存活、生长、蜕壳无显著影响, 但可使其肝胰腺和肌肉中的总脂含量降低, 而磷脂、多不饱和脂肪酸和高度不饱和脂肪酸的含量升高。本研究结果旨在为中华绒螯蟹幼蟹的营养学研究提供理论依据, 同时也为生产上幼蟹饲料的开发提供参考。[中国水产科学, 2011, 18(2): 329–337]

关键词: 中华绒螯蟹; 幼蟹; 脂肪; 蜕壳; 生化组成

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)02-0329-09

饲料中添加适量磷脂(PL)和高度不饱和脂肪酸(HUFA)可以加快中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*, 以下简称河蟹)溞状幼体和大眼幼体的蜕壳和生长, 提高其成活率^[1-2], 促进成蟹雌体卵巢发育^[3-4]。但有关幼蟹脂类营养的研究较少, 且这些研究均采用群体养殖方式, 致使个体间差异较大, 自相残杀导致成活率低, 加之一般实验周期短, 增重率也较低^[5-8], 故可能会影响到实验结论的准确性。

近年来的研究表明, 将幼蟹个体单独分开饲养不仅可以防止蜕壳期间蟹相互残杀而获得饲料外的营养源, 而且可以减少群体养殖实验中可能出现的个体大小等级分化严重的现象^[9-10]。因此, 采用幼蟹个体单独饲养可以更准确地评价饲料营

养对其生长和生化成分造成的影响。鉴于此, 本研究探讨了单个体饲养条件下饲料中添加 PL 和 HUFA 对河蟹雌雄幼蟹成活率、增重率、蜕壳、肝胰腺指数和生化成分的影响, 旨在为河蟹幼蟹的营养学研究提供理论依据, 同时也为生产上幼蟹饲料的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验中华绒螯蟹幼蟹取自江苏省南通市莱亚水产有限公司蟹种培育池, 由同批天然蟹苗育成, 实验时挑选肢体健全、活力强的个体。

1.2 饲料配制

实验饲料分 A 组(添加 6%鳙鱼肝油和 4%大豆

收稿日期: 2010-06-13; 修订日期: 2010-07-21.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871927); 上海高校创新团队基金项目[沪农科推字(2009)第 2-1 号].

作者简介: 常国亮(1974-), 男, 博士, 讲师, 从事水产动物营养与繁殖生物学研究. E-mail: changgl888@163.com

通讯作者: 成永旭, 教授, 博士生导师. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

卵磷脂)和 B 组(添加 10%猪油), 各组份粉碎后过 100 目筛, 充分混匀后制成 1.2 mm 粒径的颗粒饲料, 结果两组饲料蛋白和脂类含量接近, A 组饲料含 4.53%磷脂和 1.08%HUFA, B 组饲料含 0.39%磷脂和 0.18%HUFA, 具体饲料配方及成分见表 1, 饲料制成后-20℃冷藏备用。

1.3 实验方法

实验在江苏省南通市莱亚水产有限公司进行, 实验时取 240 只幼蟹, 均分为 AF(A 组饲料雌蟹)、BF(B 组饲料雌蟹)、AM(A 组饲料雄蟹)和 BM(B 组饲料雄蟹)4 组, 即每组 60 只幼蟹。将幼蟹在实

验条件下暂养 14 d, 待摄食正常后开始正式实验。实验期间每只蟹单独饲养在一个无毒的塑料食品盒里(30 cm×24 cm×11 cm), 水 3L, 水为过滤、沉淀、曝气过的河道淡水, 内放瓦片, 每天 20:00 投饵一次, 投饵量为体质量的 3%~5%。投饵前吸去残饵, 统计脱壳及存活情况, 每 3 天换水约 1/3, 自动控光系统控制光照周期 12h 12h, 实验期间水温控制在 15~29℃, 实验持续 120 d, 取样前 2 d 停止投喂, 然后取肝胰腺和肌肉(除去背甲、鳃、肝胰腺和性腺的躯体)样-20℃保存, 以备生化成分测定。

表 1 实验饲料的组成
Tab.1 Composition of experimental diets

成分及组成 ingredients and proximate composition			脂肪酸组成/% composition of fatty acid		
成分/% (DW) ingredients	A 组 Diet A	B 组 Diet B	脂肪酸 fatty acid	A 组 Diet A	B 组 Diet B
酪蛋白 casein	41	41	C _{14:0}	5.69	3.88
糊精 dextrin	25.64	25.64	C _{15:0}	0.68	0.54
褐藻胶 alginate	3	3	C _{16:0}	21.79	24.19
复合维生素 vitamin mix	2	2	C _{17:0}	0.56	0.53
矿物质 mineral mix	3	3	C _{18:0}	4.51	14.26
胆固醇 cholesterol	0.5	0.5	SFA	33.48	43.40
甘氨酸 glycine	0.5	0.5			
甜菜碱 l-cysteine	0.15	0.15	C _{14:1n-7}	2.51	2.38
酵母提取物 yeast extract	4	4	C _{16:1n-5}	0.54	0.32
纤维素 cellulose	8	8	C _{16:1n-7}	5.86	2.88
肌醇 inositol	0.6	0.6	C _{17:1}	0.34	0.41
维生素 C vitamin C	0.5	0.5	C _{18:1}	14.74	34.00
维生素 E vitamin E	0.1	0.1	C _{20:1}	2.01	0.83
氯化胆碱 choline chloride	1	1	MUFA	25.46	40.50
BHT butylated hydroxytoluene	0.01	0.01			
鳕鱼肝油 pollack liver oil	6	0	C _{18:2n-6}	16.29	10.00
大豆卵磷脂 soy lecithin	4	0	C _{18:4n-3}	1.69	0.22
猪油 pork lard	0	10	C _{18:3n-3}	2.64	0.83
			C _{20:2n-6}	0.22	0.46
组成 proximate composition			C _{20:4n-6} ARA	0.59	0.38
水分/% moisture	8.36	8.90	C _{20:5n-3} EPA	6.63	0.65
粗蛋白/% DW crude protein	39.50	40.89	C _{22:5n3}	0.90	0.15
总脂/% DW total lipid	10.60	11.64	C _{22:6n-3} DHA	6.11	0.70
粗纤维/% DW crude fiber	7.52	7.41	PUFA	34.53	13.37
灰分/% DW ash	4.04	4.50	n-3PUFA	18.33	2.55
磷脂/% DW phospholipid	4.53	0.39	n-6PUFA	17.11	10.89
胆固醇/% DW cholesterol	0.36	0.40	n-6/n-3	0.93	4.32
HUFA/% DW	1.08	0.18	HUFA	14.59	1.92

$$\text{相对增重率}(\%) = 100 \times (W_t - W_0) \div W_0$$
$$\text{特定生长率}(\% / \text{d}) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) \div T$$
$$\text{平均蜕壳次数} = N_m \div N_s$$

式中: W_t 、 W_0 分别为实验结束和初始蟹的体质量(g), N_m 、 N_s 分别为蜕壳次数和蟹个体数, T 为实验持续的时间(d)。

1.4 样品分析

取新鲜组织烘箱中 60 ℃ 烘至恒重测定水分; 凯氏定氮法测定粗蛋白含量; 苯酚-硫酸法测定总糖含量; 总脂提取采用 Folch 法^[11], 脂类分析利用棒状薄层色谱扫描仪(IATROSCANTM MK-5 TLC-FID)进行分析并参考李铎等^[12]的方法略有改动, 展开剂为正己烷-乙醚-甲酸溶液(42:28:0.3, V/V), 脂肪酸甲酯化参考 Morrison 的方法^[13], 脂肪酸组成测定参照成永旭等的方法^[14], 混合型标准脂肪酸甲酯购于 Sigma 公司。

1.5 数据分析

数据分析采用 SPSS 11.0 软件, T -检验进行比较分析, 当数据为百分比时, 先反正弦转换后再进行分析, 但数值仍以原始测量值表示。

2 结果与分析

2.1 生长、蜕壳及肝胰腺指数(HSI)

BF、BM(饲料中含 0.39%磷脂和 0.18%HUFA)幼蟹的终末体质量、增重率、特定生长率分别高于 AF 和 AM 组(饲料含 4.53%磷脂和 1.08%HUFA)幼蟹, 且在雄体中差异显著($P<0.05$), 而雌体中仅增重率差异显著($P<0.05$); 而成活率、平均蜕壳次数、蜕壳间隔(第 1 次、第 2 次)和终末肝胰腺指数在两组蟹中均未表现出显著差异($P>0.05$)(表 2)。

2.2 肝胰腺和肌肉的主要生化组成

AF、AM 组幼蟹肝胰腺中的蛋白、总糖含量分别显著高于 BF 和 BM 组, 而总脂含量分别显著低于 BF 和 BM 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), 水分含量虽 AF 和 AM 组略高, 但统计无显著差异($P>0.05$); 肌肉中, 仅有 BF 和 BM 组幼蟹的总脂含量高于 AF 和 AM 组($P<0.05$), 蛋白、水分含量均无显著差异($P>0.05$)。AF、AM 组幼蟹肝胰腺和肌肉中的磷脂、胆固醇分别高于 BF 和 BM 组(表 3)。

表 2 不同脂肪营养对中华绒螯蟹幼蟹存活、生长、蜕壳及肝胰腺指数的影响
Tab.2 Effects of different fatty acid nutrition on survival, weight gain, molting and HSI of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

指标 index	雌蟹 female		雄蟹 male	
	AF	BF	AM	BM
初始体质量/g initial body weight	1.74±0.32 (n=60)	1.73±0.38 (n=60)	1.79±0.33 (n=60)	1.84±0.38 (n=60)
终末体质量/g final body weight	3.31±0.83 (n=55)	3.60±1.10 (n=53)	3.57±0.80 ^b (n=58)	3.87±0.79 ^a (n=57)
增重率/% gain weight	94.1±40.0 ^b (n=55)	112.6±54.4 ^a (n=53)	100.9±41.0 ^b (n=58)	122.9±52.9 ^a (n=57)
特定生长率/% special growth rate	0.53±0.18 (n=55)	0.60±0.20 (n=53)	0.56±0.18 ^b (n=58)	0.64±0.20 ^a (n=57)
成活率/% surviving rate	91.7±2.9	88.3±10.4	96.7±2.9	96.7±5.8
平均蜕壳次数 average molting number	1.73±0.56 (n=55)	1.77±0.47 (n=53)	1.90±0.52 (n=58)	1.84±0.56 (n=57)
第一次蜕壳间隔/d first molting interval	56.5±11.7 (n=38)	53.8±13.0 (n=44)	53.8±14.2 (n=45)	51.6±10.8 (n=43)
第二次蜕壳间隔/d second molting interval	47.3±6.1 (n=3)	35.0 (n=1)	54.8±15.2 (n=5)	44.5±7.8 (n=2)
初始肝胰腺指数/% initial hepatosomatic index	8.08±1.07 (n=11)	8.08±1.07 (n=11)	7.60±1.06 (n=8)	7.60±1.06 (n=8)
终末肝胰腺指数/% final hepatosomatic index	8.08±1.20 (n=16)	9.14±1.83 (n=16)	8.01±1.30 (n=16)	8.38±1.72 (n=16)

注: n 为样本数; 同一行数据不同上标表示差异显著($P<0.05$)。AF、AM、BF、BM 分别为投喂 A 组饲料的雌性与雄幼蟹以及投喂 B 组饲料的雌性与雄幼蟹。

Note: n , number of samples. Values with different superscript letters means significant difference ($P<0.05$). AF, AM, BF and BM mean female and male crabs feeding diet A and diet B (table 1), respectively.

表 3 不同脂肪营养对中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺和肌肉生化组成的影响
Tab.3 Effects of different fatty acid nutrition on biochemical composition of hepatopancreas and muscle of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

		n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$			
指标 index		雌蟹 female		雄蟹 male	
		AF	BF	AM	BM
肝胰腺 hepatopancreas					
水分/% WW	moisture	60.5±10.7	58.3±6.0	70.6±2.5	58.2±13.0
蛋白/% DW	crude protein	34.8±2.6 ^a	24.1±2.7 ^b	37.4±3.2 ^a	19.8±1.9 ^b
总脂/% DW	total lipid	44.2±2.7 ^B	67.4±3.8 ^A	48.7±3.9 ^b	69.2±5.1 ^a
总糖/% DW	carbohydrate	3.93±0.40 ^a	1.48±0.68 ^b	6.10±0.21 ^A	2.18±0.24 ^B
磷脂/% TL	phospholipid	19.3±0.7 ^A	5.7±0.4 ^B	21.9±1.3 ^A	5.6±1.7 ^B
胆固醇/% TL	cholesterol	4.0±1.2	2.5±0.9	4.3±1.1	0.9±0.2
肌肉 muscle					
水分/% WW	moisture	71.8±1.5	71.6±1.5	70.7±2.5	67.7±2.5
蛋白/% DW	crude protein	50.8±0.4	50.8±3.1	50.1±1.6	49.7±3.6
总脂/% DW	total lipid	3.3±0.00 ^b	4.3±0.3 ^a	3.4±0.1 ^b	4.1±0.4 ^a
磷脂/% TL	phospholipid	70.9±0.7	67.6±2.8	73.1±0.5 ^a	59.8±4.3 ^b
胆固醇/% TL	cholesterol	6.89±0.20 ^a	5.41±0.54 ^b	7.20±0.43	5.93±0.67

注：“WW”表示组织湿重，“DW”表示组织干重，“TL”表示总脂；n 为样本数；平均数后上标大写字母不同表示差异极显著(P<0.01)，平均数后上标小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。AF、AM、BF、BM 分别为投喂 A 组饲料的雌性与雄幼蟹以及投喂 B 组饲料的雌性与雄幼蟹。
Note: WW, DW and TL mean wet weight, dry weight and total lipid, respectively. n means number of samples. The numbers with different superscript capital letters means there are very significant difference (P<0.01), with different superscript small letters means there are significant difference (P<0.05). AF, AM, BF and BM mean female and male crabs feeding diet A and diet B (table 1), respectively.

2.3 肝胰腺和肌肉脂肪酸组成

在幼蟹肝胰腺脂肪酸中, BF 和 BM 组幼蟹饱和脂肪酸(SFA)分别略高于 AF 和 AM 组, 但差异不显著(P>0.05), 其中 AF、AM 组幼蟹饱和脂肪酸 C_{14:0} 分别高于 BF 和 BM 组(P<0.01), 而饱和脂肪酸 C_{18:0} 则显著低于 BF 和 BM 组, 含量最高的饱和脂肪酸 C_{16:0} 则仅在雌体中存在显著差异(P<0.05)。在单不饱和脂肪酸(MUFA)中, 含量最多的为 C_{18:1n-9}, 其在 AF 和 AM 组幼蟹的含量分别低于 BF 和 BM 组(P<0.01), 且 AF 和 AM 组幼蟹的 MUFA 含量显著低于 BF 和 BM 组(P<0.05 或 P<0.01)。在多不饱和脂肪酸(PUFA)中, AF 和 AM 组幼蟹的 C_{18:2n-6}、C_{20:4n-6}(ARA)和 n-6PUFA 含量与 BF 和 BM 组无显著差异(P>0.05); 而 AF 和 AM 组幼蟹的 C_{20:5n-3}(EPA)、C_{22:6n-3}(DHA)、PUFA、n-3PUFA 和 HUFA 含量分别高于 BF 和 BM 组 (P<0.01)(表 4)。

在幼蟹肌肉脂肪酸组成中, 就饱和脂肪酸而

言, C_{16:0}、C_{18:0} 和 SFA 的含量在 AF 和 BF 2 组幼蟹中并无显著差异(P>0.05), 在 AM 和 BM 2 组蟹中, C_{18:0} 和 SFA 的含量也无显著差异, 但 BM 组的 C_{16:0} 含量显著高于 AM 组(P<0.05 或 P<0.01)。在单不饱和脂肪酸中, AF 和 AM 组幼蟹的 C_{16:1n-7}、C_{18:1n-9} 和 MUFA 含量显著低于 BF 和 BM 组 (P<0.05 或 P<0.01)。在多不饱和脂肪酸中, AF 和 AM 组幼蟹的 C_{18:2n-6}、C_{20:4n-6}(ARA)和 n-6PUFA 含量显著低于 BF 和 BM (P<0.01); 而 AF 和 AM 组幼蟹的 C_{20:5n-3}(EPA)、C_{22:6n-3}(DHA)、PUFA、n-3PUFA 和 HUFA 含量分别显著高于 BF 和 BM 组 (P<0.01)(表 5)。

3 讨论

目前对中华绒螯蟹以及虾类等甲壳类营养需求的研究多以群体养殖的方式来进行^[5-8, 15-17], 这种养殖方式无法准确地统计蜕壳间隔, 并且在蜕壳期间, 可能存在刚蜕壳的个体被残食的情况,

从而使存活率下降。而采取单个体养殖对中华绒螯蟹等虾蟹类幼体营养需求进行研究, 则不仅可以防止蜕壳期间相互残杀而获得饲料外的营养源,

并且可以准确地统计其蜕壳情况。本研究显示, 单个体养殖条件下成活率达到了 90%以上, 而群体养殖条件仅有 80%左右; 从生化组成看, 单养条

表 4 不同脂肪营养对胰腺脂肪酸组成的影响

Tab.4 Effects of different fatty acid nutrition on fatty acid composition of hepatopancreas of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

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

脂肪酸 fatty acid	雌蟹 female		雄蟹 male	
	AF	BF	AM	BM
C _{14:0}	4.77±0.16 ^A	2.05±0.31 ^B	4.46±0.25 ^A	2.06±0.11 ^B
C _{15:0}	0.96±0.02 ^A	0.35±0.03 ^B	0.94±0.04 ^A	0.35±0.01 ^B
C _{16:0}	22.58±0.35 ^a	20.97±0.63 ^b	20.45±0.68	21.38±0.17
C _{17:0}	0.70±0.04 ^A	0.32±0.03 ^B	0.62±0.06 ^A	0.32±0.01 ^B
C _{18:0}	5.32±0.52 ^B	12.76±0.95 ^A	4.52±0.52 ^b	10.39±2.87 ^a
C _{23:0}	0.12±0.10	0.00±0.00	0.14±0.14	0.00±0.00
SFA	34.44±0.82	36.45±1.24	31.12±1.29	34.50±3.12
C _{14:1n-7}	0.64±0.05 ^A	0.33±0.05 ^B	0.79±0.14 ^A	0.32±0.04 ^B
C _{16:1n-5}	0.65±0.02 ^A	0.39±0.05 ^B	0.63±0.01 ^A	0.37±0.04 ^B
C _{16:1n-7}	8.47±0.54	7.46±0.44	9.96±1.30 ^a	7.45±0.31 ^b
C _{17:1}	0.74±0.04 ^A	0.57±0.02 ^B	0.84±0.01 ^A	0.58±0.03 ^B
C _{18:1n-7}	3.49±0.21 ^A	1.82±0.03 ^B	4.13±0.68 ^A	2.02±0.23 ^B
C _{18:1n-9}	27.93±0.51 ^B	37.69±1.13 ^A	28.38±0.87 ^B	39.84±3.04 ^A
C _{20:1n-7}	2.25±0.12 ^A	0.99±0.04 ^B	2.17±0.02 ^A	0.98±0.04 ^B
C _{20:1n-9}	0.54±0.10 ^A	0.28±0.04 ^B	0.46±0.05 ^A	0.26±0.01 ^B
MUFA	41.22±0.93 ^B	47.70±1.47 ^A	43.23±2.08 ^b	49.79±2.81 ^a
C _{18:2n-6}	8.55±0.36	8.91±0.45	9.18±0.71	8.91±0.48
C _{18:3n-4}	1.23±0.13 ^a	0.80±0.02 ^b	1.36±0.09 ^A	0.78±0.02 ^B
C _{18:4n-3}	0.37±0.07	0.31±0.01	0.34±0.15	0.29±0.03
C _{20:2n-6}	0.62±0.07 ^b	0.99±0.15 ^a	0.62±0.08 ^B	0.94±0.11 ^A
C _{20:3n-3}	0.22±0.02 ^a	0.17±0.02 ^b	0.19±0.04	0.16±0.02
C _{20:3n-6}	0.24±0.06 ^A	0.09±0.01 ^B	0.18±0.06 ^a	0.09±0.02 ^b
C _{20:4n-3}	0.24±0.07	0.06±0.05	0.23±0.08 ^a	0.09±0.02 ^b
C _{20:4n-6} ARA	0.66±0.15	0.40±0.12	0.52±0.18	0.34±0.09
C _{20:5n-3} EPA	2.51±0.28 ^A	0.31±0.08 ^B	2.15±0.46 ^A	0.24±0.04 ^B
C _{22:2n-6}	0.21±0.05 ^a	0.13±0.02 ^b	0.20±0.07	0.13±0.03
C _{22:5n-3}	0.23±0.02 ^A	0.12±0.01 ^B	0.25±0.03 ^A	0.10±0.02 ^B
C _{22:6n-3} DHA	1.89±0.11 ^A	0.27±0.03 ^B	1.83±0.23 ^A	0.20±0.05 ^B
PUFA	17.66±0.32 ^A	12.88±0.33 ^B	17.68±1.58 ^A	12.61±0.36 ^B
n-6 PUFA	10.28±0.14	10.53±0.29	10.71±1.01	10.42±0.35
n-3 PUFA	5.45±0.28 ^A	1.23±0.08 ^B	4.99±0.60 ^A	1.10±0.11 ^B
HUFA	5.98±0.43 ^A	1.42±0.19 ^B	5.36±0.95 ^A	1.24±0.23 ^B

注: 平均数后上标大写字母不同表示两组间差异极显著($P<0.01$), 平均数后上标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。AF、AM、BF、BM 分别为投喂 A 组饲料的雌性与雄幼蟹以及投喂 B 组饲料的雌性与雄幼蟹。

Note: The numbers with different superscript capital letters means there are very significant difference ($P<0.01$), with different superscript small letters means there are significant difference ($P<0.05$). AF, AM, BF and BM mean female and male crabs feeding diet A and diet B (table 1), respectively.

表 5 不同脂肪营养对肌肉脂肪酸组成的影响
Tab.5 Effects of different fatty acid nutrition on fatty acid composition of muscle of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

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

脂肪酸 fatty acid	雌蟹 female		雄蟹 male	
	AF	BF	AM	BM
C _{14:0}	0.93±0.03	0.98±0.20	1.76±0.37 ^a	0.92±0.07 ^b
C _{15:0}	0.42±0.01	0.32±0.13	0.47±0.05 ^A	0.26±0.01 ^B
C _{16:0}	13.21±0.35	13.70±0.34	13.98±0.44 ^b	15.10±0.37 ^a
C _{17:0}	0.55±0.01 ^a	0.32±0.06 ^b	0.57±0.04 ^A	0.31±0.02 ^B
C _{18:0}	8.87±0.23	9.25±3.73	9.65±2.49	11.73±1.39
C _{23:0}	0.22±0.19	0.26±0.10	0.23±0.15	0.15±0.02
SFA	24.21±0.46	24.83±3.59	26.66±2.27	28.47±1.43
C _{14:1n-7}	1.17±0.05 ^A	0.81±0.06 ^B	0.86±0.70	0.91±0.06
C _{16:1n-5}	0.47±0.02	0.74±0.45	0.84±0.06	0.80±0.06
C _{16:1n-7}	2.62±0.19 ^B	3.41±0.20 ^A	3.30±0.07 ^B	3.77±0.04 ^A
C _{17:1}	0.46±0.03	0.53±0.20	0.50±0.05 ^a	0.40±0.03 ^b
C _{18:1n-7}	3.48±0.11 ^A	2.23±0.34 ^B	3.28±0.53 ^a	1.99±0.13 ^b
C _{18:1n-9}	18.31±0.32 ^b	27.74±2.82 ^a	17.49±1.66 ^B	26.89±1.14 ^A
C _{20:1n-7}	1.89±0.17 ^A	0.92±0.16 ^B	1.94±0.15 ^a	1.33±0.21 ^b
C _{20:1n-9}	0.64±0.13	0.63±0.12	0.71±0.16	0.68±0.08
MUFA	29.04±0.22 ^b	37.02±3.01 ^a	28.92±2.44 ^B	36.77±1.02 ^A
C _{18:2n-6}	7.14±0.04 ^B	13.24±0.26 ^A	7.56±0.20 ^B	12.21±0.15 ^A
C _{18:3n-3}	0.32±0.06	0.30±0.07	0.35±0.10	0.25±0.06
C _{18:3n-4}	0.93±0.21	1.35±0.15	0.68±0.50	1.23±0.12
C _{18:4n-3}	0.25±0.03	0.26±0.05	0.24±0.12	0.21±0.01
C _{20:2n-6}	1.28±0.01 ^B	1.61±0.04 ^A	1.24±0.00 ^B	1.64±0.03 ^A
C _{20:3n-3}	0.27±0.01 ^A	0.19±0.01 ^B	0.20±0.05	0.21±0.01
C _{20:3n-6}	0.08±0.15	0.23±0.00	0.19±0.04	0.24±0.02
C _{20:4n-3}	0.26±0.01 ^a	0.20±0.03 ^b	0.20±0.05	0.14±0.05
C _{20:4n-6} ARA	3.58±0.05 ^B	4.27±0.14 ^A	3.42±0.15 ^B	4.10±0.08 ^A
C _{20:5n-3} EPA	19.09±0.37 ^A	7.71±0.16 ^B	17.95±0.25 ^A	7.83±0.15 ^B
C _{22:2n-6}	0.00±0.00	0.10±0.09	0.11±0.10	0.17±0.05
C _{22:5n-3}	0.60±0.01 ^B	0.77±0.02 ^A	0.58±0.02 ^B	0.80±0.05 ^A
C _{22:6n-3} DHA	9.53±0.17 ^A	3.83±0.07 ^B	8.69±0.22 ^A	3.46±0.07 ^B
PUFA	43.32±0.47 ^A	34.08±0.50 ^B	41.40±0.19 ^A	32.48±0.45 ^B
n-6 PUFA	12.08±0.16 ^B	19.47±0.38 ^A	12.52±0.24 ^B	18.36±0.21 ^A
n-3 PUFA	30.31±0.53 ^A	13.26±0.13 ^B	28.21±0.23 ^A	12.89±0.27 ^B
HUFA	33.41±0.75 ^A	17.21±0.37 ^B	31.22±0.48 ^A	16.78±0.32 ^B

注：平均数后上标大写字母不同表示两组间差异极显著 ($P<0.01$)，平均数后上标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。AF、AM、BF、BM 分别为投喂 A 组饲料的雌性与雄幼蟹以及投喂 B 组饲料的雌性与雄幼蟹。

Note: The numbers with different superscript capital letters means there are very significant difference ($P<0.01$), with different superscript small letters means there are significant difference ($P<0.05$). AF, AM, BF and BM mean female and male crabs feeding diet A and diet B (table 1), respectively.

件下肝胰腺中的总糖和雄体肝胰腺中蛋白呈现出与群养条件下一致的变化规律，但单养条件下的磷脂测的值较高。从脂肪酸组成看，肝胰腺中的 SFA、PUFA、C_{18:2n-6}，肌肉中 SFA、ARA、MUFA 水平与群养不同，并且测得的 PUFA 和 HUFA 含量较群养条件下要高出很多^[8]。这表明群养条件

下个体所摄得的营养并不均衡,致使所测得的生化成分与脂肪酸组成出现了差异,由此可知,采用单个体养殖实验对中华绒螯蟹的营养状况进行评定,能获得比群体养殖实验能更为准确的结果。

脂类对于河蟹生长、发育均具有十分重要的作用,饲料中添加适量磷脂和 HUFA 可以加快河蟹蚤状幼体和大眼幼体的蜕壳和生长,提高其成活率^[1-2],而本研究结果表明,磷脂和 HUFA 对幼蟹成活率、蜕壳和生长的影响没有对河蟹蚤状幼体和大眼幼体显著,其原因可能是处于蚤状幼体和大眼幼体的河蟹比实验幼蟹(体质量 1.8 g 左右)生长要迅速得多,因此需要更多的磷脂和 HUFA 才能满足其生长需求。对幼蟹的研究表明,饲料中单独添加适量的 HUFA 能提高其增重率^[5],而对蜕壳频率则没有显著影响^[6]。而本研究表明,饲料中含 0.39% 磷脂和 0.18% HUFA 时,幼蟹的增重率反而较高,并且其蜕壳间隔有缩小的趋势,而蜕壳间隔的缩短和其增重率增加可能暗示不平衡饲料组的个体早熟概率增加,因为脂类营养不平衡可导致甲基法尼酯(MF)提前大量合成,从而刺激生殖蜕壳和性腺发育的提前启动,导致性早熟^[18]。肝胰腺作为虾蟹类的脂类储存和加工器官,其生化及脂肪酸组成一定程度上受饲料状况的影响^[19-20],本研究也表明了这一点,幼蟹肝胰腺和其饲料的脂肪酸组成基本上是一致的。肌肉作为运动器官,虽含有较高的蛋白及少量总脂,其各种生化成分也相对稳定,但其脂肪酸组成也受到了其饲料的影响,经 2 种饲料培育的蟹呈现不同的脂肪酸组成模式,当饲料中 HUFA 较高时,相应幼蟹个体肝胰腺和肌肉中 HUFA 也呈现出较高的含量,虽然高含量的 HUFA 对实验中幼蟹的存活没有产生显著影响,但其可改善组织中细胞膜的流动性,可能对幼蟹的免疫力、抗低氧能力产生有益的影响,而具体结果有待进一步的实验来证实。虾蟹类缺乏合成胆固醇的能力,只能从外源营养中获取,并且对其消化和吸收受饲料中磷脂的影响^[21-22],饲料中添加磷脂会提高对其消化率^[23],这也是 B 组饲料中虽然胆固醇含量略高于

A 组,但 A 组蟹肝胰腺和肌肉中含量高的原因。

C_{18:2n-6}、ARA 是 2 种最主要的 n-6PUFA, ARA 在甲壳动物的代谢中具有重要的作用,是合成前列腺素的前体,而 C_{18:2n-6} 是合成 ARA 的前体。虽然 B 组饲料中 C_{18:2n-6}、ARA 的含量高于 A 组,而 A、B 组幼蟹肝胰腺中二者含量并无显著差异,但 B 组蟹肌肉中二者的含量显著高于 A 组蟹,这也表明中华绒螯蟹对 C_{18:2n-6} 和 ARA 的吸收可能具有选择性,也可能部分 ARA 由其自身合成,因为研究表明,延长碳链和去饱和合成 EPA、DHA 和 ARA 的酶活性由其底物 C_{18:3n-3}、C_{18:2n-6} 来激活,并且这些酶竞争性结合 C_{18:2n-6} 的能力低于 n-3 类的底物^[24-25],而本研究中, B 组饲料中 C_{18:3n-3}:C_{18:2n-6} 的值为 12.05,远高于 A 组饲料的 6.17,从而在 B 组蟹中更高的激活了合成 ARA 的过程,致使 B 组蟹肌肉中含有更高水平的 ARA,而这有可能减少 HUFA 不足给机体带来的负面影响,其机制有待进一步试验来进行探讨。

B 组幼蟹肝胰腺和肌肉中总脂含量均较高,但这并不是由 B 组饲料总脂含量(11.64%)略高于 A 组(10.6%)而引起,一是因为幼蟹对脂类成分的吸收具有选择性;二是有研究表明罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)幼虾饲料中缺乏必需脂肪酸(EFA),组织中的脂肪含量会升高,因此 Romdhane 等建议把组织中脂肪含量升高作为 EFA 缺乏的标志^[26],这与本研究的结果相一致。B 组饲料中幼蟹的 EFA(DHA、EPA 等)含量显著低于 A 组饲料,不能满足幼蟹个体的需求,从而致使组织中总脂含量上升。并且大量研究发现甲壳动物饵料中缺乏 EFA 直接导致体内的 MUFA 含量上升,因此建议以 MUFA 含量作为评价 EFA 营养状况的重要指标之一^[27-30]。本研究结果表明,河蟹幼蟹体内缺乏 EFA 不仅导致肝胰腺和肌肉中脂肪含量升高,而且肝胰腺和肌肉中的 MUFA 含量也显著上升,因此,它们都可以作为中华绒螯蟹雌雄幼蟹 EFA 缺乏的指标。

综合目前的研究来看,中华绒螯蟹幼体的脂类营养需求还有许多未清楚的地方有待设计更加

精确的实验(如在单养条件下,对 EPA、DHA、 $C_{18:2n-6}$ 的需求),采用生长、存活、耐低氧、早熟率等多个指标来进一步探讨。

参考文献:

- [1] 成永旭,严生良,王武,等.饵料中磷脂和多不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹大眼幼体育成仔蟹的成活率和生长的影响[J].水产学报,1998,22:9-15.
- [2] Sui L X, Mattieu W, Cheng Y X, 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.
- [3] Wen X B, Chen L Q, Zhou Z L, et al. Reproductive response of Chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) fed different sources of dietary lipid[J]. Comp Bioch Physiol, 2002, 131A: 675-681.
- [4] 吴旭干,成永旭,常国亮,等.亲本营养强化对中华绒螯蟹雌性生殖性能和 Z_1 幼体质量的影响[J].水产学报,2007,31(6):757-764.
- [5] 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.
- [6] 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):3940,33.
- [7] 王宗凯.脂类营养与中华绒螯蟹性早熟关系的研究[D].上海:上海水产大学,2007:21-32.
- [8] 常国亮,吴旭干,成永旭,等.不同脂类营养对中华绒螯蟹幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化成分的影响[J].海洋与湖泊,2008,39(3):276-283.
- [9] 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.
- [10] Holme M H, Southgate P C, Zeng C S. Survival, development and growth response of mud crab, *Scylla serrata*, megalopae fed semi-purified diets containing various fish oil: corn oil ratios[J]. Aquaculture, 2007, 269: 427-435.
- [11] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. J Biolog Chem, 1957, 266: 497-509.
- [12] 李铎,张永华.棒状薄层色谱扫描仪在不同季节蟹脂类成份分析中的应用[J].中国食品学报,2003(增刊):227-231.
- [13] Morrison W R, Smith L M. Methanolysis of lipids with BF_3 -Methanol[J]. J Lipid Res, 1964, 5: 600-608.
- [14] 成永旭,堵南山,赖伟.不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J].动物学报,1998,44(4):420-429.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 程媛媛,周洪琪,华雪铭,等.玉米蛋白粉部分替代鱼粉对罗氏沼虾生长、氨基酸沉积率和肌肉营养成分的影响[J].中国水产科学,2009,16(4):572-579.
- [18] 赵维信,陆剑锋.中华绒螯蟹大颚器激素生物合成与性早熟的关系[J].水产学报,2003,27(4):289-295.
- [19] Cavalli R O, Gerben Menschaert, Patrick Lavens, et al. Maturation performance, offspring quality and lipid composition of *Macrobrachium rosenbergii* fed increasing levels of dietary phospholipids[J]. Aqu Int, 2000, 8: 41-58.
- [20] Johnston D J, Calvert KA, Crear BJ, et al. Dietary carbohydrate/lipid ratios and nutritional condition in juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*[J]. Aquaculture, 2003, 220: 667-682.
- [21] Teshima S, Kanazawa A. Digestibility of dietary lipids in the prawn[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1983, 49: 963-966.
- [22] D'Abramo L R, Baum N A, Bordner C E, et al. Diet-dependent cholesterol transport in the American lobster[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1985, 87: 83-96.
- [23] Sheen S S. Dietary cholesterol requirement of juvenile mud crab *Scylla serrata*[J]. Aquaculture, 2000, 189: 277-285.
- [24] Bell J G, Henderson R J, Tocher D R, et al. Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid compositions and hepatic fatty acid metabolism[J]. J Nutr, 2002, 132: 222-230.
- [25] Bell JG, McEvoy J, Tocher D R, et al. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism[J]. J Nutr, 2001, 131: 1535-1543.
- [26] Romdhane M S, Devresse B, Le'ger P, et al. Effects of feeding n-3HUFA enriched Artemia during a progressively increasing period on the larviculture of freshwater prawns[J]. Aqu Int, 1995, 3: 236-242.
- [27] Gonza'lez-Fe'lix M L, Gatlin D M, Lawrence A L, et al. Effect of dietary phospholipids on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus van-*

- namei* juveniles[J]. Aquaculture, 2002, 202: 151–167.
- [28] Reigh R C, Stickney R R. Effects of purified dietary fatty acids on the fatty acid composition of freshwater shrimp, *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Aquaculture, 1989, 77: 157–174.
- [29] Sheen S S, Wu S W. Essential fatty acid requirements of juvenile mud crab, *Scylla serrata*(FORSKÅL,1775) (EECA PODA, SCYLLARIDAE)[J]. Crustaceana, 2003, 75(11): 1387–1401.
- [30] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hamasaki K, et al. Essential fatty acids for larval mud crab *Scylla serrata*: implication of lack of the ability to bioconvert C₁₈ unsaturated fatty acids to highly unsaturated fatty acids[J]. Aquaculture, 2004, 231: 403–416.

Effects of phospholipid and highly unsaturated fatty acid on survival, weight gain, molting and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

CHANG Guoliang^{1,2}, WU Xugan¹, CHENG Yongxu¹, WANG Zongkai¹, LU Jianfeng³

1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Jiangsu Key Laboratory for Eco-Agricultural Biotechnology Around Hongze Lake, Huaiyin Normal University, Huai'an 223300, China;
3. School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

Abstract: This study was conducted to determine effects of phospholipid (PL) and highly unsaturated fatty acid(HUFA) on survival, weigh gain, molting and biochemical composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. Two diets were formulated to contain different amounts of fish oil, soy lecithin and pork lard with resulting PL/HUFA levels (% dry weight) of 4.53/1.08(Diet A) and 0.39/0.18(Diet B), and the juvenile crabs were divided into group AF(Diet A, female), group AM(Diet A, male), group BF(Diet B, female) and group BM(Diet B, male). Sixty juvenile crabs (with initial body weight about 1.8 g) were individually stocked in plastic tanks as a treatment. No significant difference was observed for survival, weight gain, molting and hepatosomatic index (HSI) between the two diet treatments($P>0.05$), but total lipid content of group A(AF and AM) was significantly lower in hepatopancreas and muscle than that of group B(BF and BM) ($P<0.05$). Phospholipid, polyunsaturated fatty acids(PUFA) and HUFA content of group A were significantly higher in hepatopancreas and muscle than that of group B, respectively ($P<0.05$). These results revealed that no significant effects of PL/HUFA levels at 4.53/1.08 on survival, weight gain, molting of juvenile Chinese mitten crab were observed, but these PL/HUFA levels of diet could decrease the total lipid content of hepatopancreas and muscle, and increase their phospholipid, PUFA and HUFA content.[Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 329–337]

Key words: *Eriocheir sinensis*; lipid; molting; biochemical composition

Corresponding author: CHENG Yongxu. E-mail:yxcheng@shou.edu.cn