

不同脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响

郭占林, 李嘉尧, 甘信辉, 吕晓燕, 王群, 赵云龙

(华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062)

摘要: 通过在人工配合饲料中分别添加5%的花生油、猪油、鱼油和豆油作为主要脂肪源,以商业饲料为对照,进行8周饲喂实验,研究不同脂肪源对红螯光壳螯虾(*Cherax quadricarinatus*)幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响。结果显示,不同脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾的体长增长率和特定增长率影响不显著($P>0.05$);但增重率各组间存在显著性差异($P<0.05$),以豆油组最高,达到2 332.93%,花生油组最低,为1 839.50%;豆油组肝胰腺指数显著高于其他各组($P<0.05$),为0.75%。幼虾存活率以豆油组最高($P<0.05$),达到83.3%,鱼油组较低,仅为56.7%。不同脂肪源饲喂组的肝胰腺胃蛋白酶活力无显著差异($P>0.05$);脂肪酶活力花生油组显著高于其他实验组($P<0.05$),为1 177.23 U/g(prot);淀粉酶活力各组间差异显著($P<0.05$),由高到低依次为鱼油组、对照组、豆油组、猪油组、花生油组;纤维素酶活力以花生油组较高,为61.14 U/g(prot)($P<0.05$)。幼虾腹部肌肉中各种脂肪酸的含量明显受到饲料中脂肪酸种类和含量的影响,饱和脂肪酸含量猪油组显著高于其他组($P<0.05$);单不饱和脂肪酸以花生油组含量最高,豆油组最低;多不饱和脂肪酸则以豆油组含量最高($P<0.05$)。在各实验组中,豆油组红螯光壳螯虾幼体具有最高的体质量增长率和存活率,较高的肝胰腺指数和肝胰腺消化酶活力,豆油组幼虾腹部肌肉中多不饱和脂肪酸尤其是亚油酸和亚麻酸含量也较高。因此,以豆油作为主要脂肪源能够满足红螯光壳螯虾幼体的生长需要,获得较好的饲养效果,并降低饲料成本。[中国水产科学,2010,17(5):996-1004]

关键词: 红螯光壳螯虾; 生长; 消化酶; 脂肪酸组成; 脂肪源

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)05-0996-09

红螯光壳螯虾(*Cherax quadricarinatus*)俗称澳洲淡水龙虾,属甲壳纲、十足目、拟河虾科、光壳虾属,原产于澳大利亚,因其具有适应性强、生长快、易于养殖等诸多优点,中国于1992年引进试养,并对其繁殖生物学、胚胎发育学等方面进行了较为深入的研究^[1-3]。

近年来,随着人工育苗技术的突破,成虾养殖规模的扩大,迫切需要了解红螯光壳螯虾的营养需求,但相关的研究明显滞后于生产实践^[4]。针对其生长的需求,国外学者从饲料蛋白质水平上研究了该虾的营养需求^[5-6],认为当饲料中粗脂肪含量为75 g/kg、粗蛋白含量为320 g/kg时比较适合红螯光壳

螯虾幼体的生长^[7]。同时,饵料营养与消化酶活性关系密切^[8],消化酶活性可以作为虾蟹营养成分消化、吸收、利用和促进生长的重要指标^[9]。脂肪作为能量物质可发挥对蛋白质的节约效应。脂肪酸的种类和含量,尤其是其中必需脂肪酸(亚油酸、亚麻酸、DHA和EPA)的含量对于虾蟹类幼体的生长影响重大,如DHA和EPA对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹增重具有重要影响^[10];饵料中添加亚油酸和亚麻酸对斑节对虾(*Penaeus monodon*)幼虾的生长作用可以和添加鱼油的效果相比拟^[11]。在海水鱼类中由于鱼油不仅能够提供足够的能源,而且鱼油中丰富的长链不饱和脂肪酸(DHA和EPA)可以作为鱼类的

收稿日期: 2009-12-21; 修订日期: 2010-02-24.

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字2006第6-1号);上海市科委重大项目(08DZ1906401).

作者简介: 郭占林(1984-),女,硕士研究生,水生动物发育生物学方向. E-mail: guozhanlin1984@163.com

通讯作者: 赵云龙,教授,从事水生动物发育生物学研究. E-mail: ylzhaol@bio.ecnu.edu.cn

必需脂肪酸,所以鱼油得到了广泛的使用。但使用鱼油成本较高,且鱼油中缺乏一些淡水种类所必需的亚油酸和亚麻酸^[12-13],所以寻找一种既能满足水产动物营养需要,又能节省生产成本的脂肪源具有重要意义。罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)成虾在不同的脂肪源饲料喂养下,豆油+亚麻籽油组增重率最高,显著高于鱼油+菜籽油组和鱼油+花生油组,但与鱼油+豆油组没有显著差异^[14];不同脂肪源对斑节对虾幼虾的生长率有极显著影响,投喂豆油+鱼肝油组增重率显著高于鱼肝油和猪油组^[15]。在红螯光壳螯虾幼虾中利用何种脂肪源鲜见报道,因此,本研究通过探讨饲料中添加不同脂肪源对红螯光壳

螯虾幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响比较,以期了解红螯光壳螯虾幼虾生长的脂质需求,并为其人工配合饲料的研制、养殖生产中的合理投饵提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 饲料配制

在自配的基础饲料中分别添加花生油、猪油、鱼油和豆油作为主要脂肪源,添加量为5%,制成颗粒饲料,风干后置于-20℃冰箱备用,以商业饲料为对照(广海牌2#南美白对虾配合饲料)。各实验组饲料的成分和脂肪酸组成分别见表1和表2。

表1 不同脂肪源饲料配方(干重)
Tab. 1 Composition and proximate analysis of the experimental diets (dry weight) %

组成 Composition	花生油组 Peanut oil group	猪油组 Pork lard group	鱼油组 Fish oil group	豆油组 Soybean oil group
原料 Ingredient				
鱼粉 Fish meal	30.00	30.00	30.00	30.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00
面粉 Wheat flour	18.00	18.00	18.00	18.00
明胶 Gelatin	4.00	4.00	4.00	4.00
多维 ^a Vitamin premix ^a	3.00	3.00	3.00	3.00
多矿 ^b Mineral premix ^b	2.00	2.00	2.00	2.00
纤维素 Cellulose	6.50	6.50	6.50	6.50
氯化胆碱 Choline	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素E Vitamin E	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	0.30	0.30	0.30	0.30
鱼油 Fish oil	0.00	0.00	5.00	0.00
花生油 Peanut oil	5.00	0.00	0.00	0.00
豆油 Soybean oil	0.00	0.00	0.00	5.00
猪油 Pork lard	0.00	5.00	0.00	0.00
化学组成 Chemical composition				
粗蛋白 Crude protein	36.24	36.68	37.32	37.55
粗脂肪 Crude lipid	8.21	8.45	8.35	8.45
粗灰分 Crude ash	16.73	18.39	17.71	17.37
干物质 Dry matter	90.57	91.59	90.23	89.98
能量/(kJ·g ⁻¹) Energy	18.61	18.40	18.53	18.63

注: ^a 多维(每100g饲料): V_{B1} 0.15 g, V_{B2} 0.375 g, V_{B3} 1.0 g, V_{B5} 1.0 g, V_{B6} 0.4 g, V_{B7} 0.04 g, V_{B11} 0.1 g, V_{B12} 0.01 g, V_A 0.004 g, V_C 0.06 g, V_{D3} 0.0875 g, V_E 1.125 g, V_K 0.05 g, 肌醇 10.0 g。
^b 多矿(每100 g饲料): NaH₂PO₄ 10.0 g, KH₂PO₄ 21.5 g, Ca (H₂PO₄)₂ · 2H₂O 26.5 g, CaCO₃ 10.5 g, KCl 2.8 g, MgSO₄ · 7H₂O 10.0 g, AlCl₃ · 6H₂O 1.2 g, ZnSO₄ · 7H₂O 0.511 g, MnSO₄ · -6H₂O 0.143 g, KI 0.058 g, CuCl₂ 0.051 g, CoCl₂ · 6H₂O 1.2 g, 乳酸钙 16.50 g, 柠檬酸铁 0.061 g。
Note: ^a Vitamin premix (per 100 g diets): V_{B1} 0.15 g, V_{B2} 0.375 g, V_{B3} 1.0 g, V_{B5} 1.0 g, V_{B6} 0.4 g, V_{B7} 0.04 g, V_{B11} 0.1 g, V_{B12} 0.01 g, V_A 0.004 g, V_C 0.06 g, V_{D3} 0.0875 g, V_E 1.125 g, V_K 0.05 g, C₆H₁₂O₆ 10.0 g。
^b Mineral premix (per 100g diets): NaH₂PO₄ 10.0 g, KH₂PO₄ 21.5 g, Ca (H₂PO₄)₂ · 2H₂O 26.5 g, CaCO₃ 10.5 g, KCl 2.8 g, MgSO₄ · 7H₂O 10.0 g, AlCl₃ · 6H₂O 1.2 g, ZnSO₄ · 7H₂O 0.511 g, MnSO₄ · -6H₂O 0.143 g, KI 0.058 g, CuCl₂ 0.051 g, CoCl₂ · 6H₂O 1.2 g, CaC₆H₁₀O₆ · 5H₂O 16.50g, C₆H₃FeO₇ 0.061g。

表2 各实验组饲料和商业饲料的脂肪酸组成

Tab. 2 Fatty acid composition (percent of total fatty acids by weight) of experimental diets and commercial pellet

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

脂肪酸 Fatty acids	花生油组 Peanut oil group	猪油组 Pork lard group	鱼油组 Fish oil group	豆油组 Soybean oil group	商业对照组 Control
C14:0	1.80	2.70	4.91	1.73	5.23
C16:0	14.09	25.79	16.63	13.99	20.92
C18:0	3.74	15.01	4.34	4.38	4.27
C21:0	0.33	0.30	1.13	0.30	1.69
Σ SFA	23.26	44.50	29.14	21.52	34.61
C16:1	1.81	2.64	5.57	1.72	5.74
C18:1n9	35.56	26.90	21.16	20.54	14.08
C20:1n9	0.69	0.63	1.54	0.42	1.71
Σ MUFA	38.39	30.58	29.58	23.01	22.64
C18:2n6	29.82	16.57	17.36	43.16	15.74
C18:3n3	0.51	1.19	2.98	5.28	2.48
C20:4n6	0.41	0.57	0.23	0.25	2.19
C20:5n3	4.30	3.85	10.24	4.02	10.67
C22:6n3	2.09	1.95	7.84	1.96	11.24
Σ PUFA	38.36	24.92	41.29	55.48	42.75

注：表中仅列出百分含量≥0.5%的脂肪酸。
Note: Only fatty acids ≥0.5% were listed.

1.2 实验分组与管理

实验于2008年6月至8月在上海市金山区漕泾特种水产养殖公司进行。选取四肢完整、健康的红螯光壳螯虾幼虾个体,体长为(2.09±0.28) cm,体质量为(0.28±0.08) g。实验分5组,以商业饲料组作对照。每组下设3个平行,每个平行随机挑取20只幼虾,于300 L的水族箱内饲养8周。

实验前所有实验用虾均用商业饲料驯养1周,自然光照,水温保持在28℃左右,连续增氧(溶氧5 mg/L以上)。每日傍晚投喂相应的饵料,质量为虾体湿重的3%左右,次日上午吸去粪便、残饵,换饲养水1/3,并记录各组死亡数。

各计算公式如下:体长增长率(LGR)=(末体长-初体长)/初体长×100%;特定增长率(SGR)=(ln末体质量-ln初体质量)/饲养天数×100%;增重率=(末体质量-初体质量)/初体质量×100%;肝胰腺指数(HSI)=肝胰腺湿重/虾体湿重×100%。

1.3 酶活性测定

取样前1 d停止喂食,测量其体长、体质量等基

本生长指标,冰浴麻醉后解剖,取肝胰腺和去壳的腹部肌肉液氮速冻后,置于-80℃冰箱中备用。

1.3.1 蛋白含量测定 准确称取5组虾的肝胰腺样品各0.5 g,按质量体积比1:4加入预冷的生理盐水制备成20%的组织匀浆,3 000 r/min离心10 min,取上清液4℃保存,用于下述各消化酶活力的测定。其中,考马斯亮兰法测定组织蛋白浓度(试剂盒购自南京建成生物工程研究所)。

1.3.2 酶活测定 脂肪酶、淀粉酶和胃蛋白酶活性采用购自南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。其中,脂肪酶以37℃条件下,1 g组织蛋白在反应体系中与底物反应1 min消耗1 μg底物为1个活力单位;淀粉酶以37℃条件下,1 mg组织蛋白在反应体系中与底物作用30 min水解10 mg淀粉为1个活力单位;胃蛋白酶以37℃条件下,1 mg组织蛋白与底物反应1 min生成1 μg氨基酸为1个活力单位;纤维素酶活性参照潘鲁青等^[16]的方法,酶活力定义为:在40℃下,1 min催化纤维素生成1 μg葡萄糖作为1个酶活力单位(U)。

1.4 脂肪酸组成的测定

每组称取 1.5 g 左右的样品(幼虾腹部肌肉),冷冻干燥后,密封保存。采用毛细管气相色谱法测定:安捷伦 1000 气相色谱仪;柱的型号为 Supelco2380 (规格为 30 m×0.25 um×0.20 um);载气为高纯度氮气。参照脂肪酸甲酯混合物标准(Lipid standards, Sigma) 的保留时间和出峰面积,用归一法确定各脂肪酸并计算含量,脂肪酸含量以其甲酯占总脂肪酸甲酯量的百分比表示。

1.5 数据分析

所测数据以 3 个平行组数据的平均值±标准差($\bar{x}\pm SD$)表示,使用 SPSS v.11 软件进行数据分析,显著性检验采用 One-way ANOVA 法,用 Duncan 法进行多重比较,显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾生长指标的影响

不同脂肪源饲喂的红螯光壳螯虾基本生长参数如表 3 所示。红螯光壳螯虾幼虾体长增长率和特定增长率在各组之间没有显著差异($P>0.05$),以豆油组较高,花生油组较低。幼虾的增重率、肝胰腺指数及存活率各组间有显著差异($P<0.05$)。增重率以豆油组显著高于其他各组($P<0.05$),达到 2 332.92%,花生油组较低,为 1 839.50%,但仍高于对照组($P<0.05$)。豆油组的肝胰腺指数(0.75%)显著较高($P<0.05$),鱼油、花生油及猪油组与对照组相比较没有明显变化($P>0.05$)。各饲料组幼虾的存活率以豆油组存活率最高,为 83.3%,鱼油组最低,仅为 56.7%。

表 3 不同脂肪源饲料对红螯螯虾幼虾各生长参数的影响
Tab. 3 Effect of different dietary lipid sources on growth parameters of juvenile *Cherax quadricarinatus*
 $n=3; \bar{x}\pm SD$

生长参数 Growth parameter	花生油组 Peanut oil group	猪油组 Pork lard group	鱼油组 Fish oil group	豆油组 Soybean oil group	商业对照组 Control
体长增长率/% Length growth rate	177.75±38.46	197.59±22.97	207.60±15.95	215.59±32.57	181.23±7.29
增重率/% Weight gain rate	1839.50±2.09 ^d	1852.13±2.24 ^c	2028.97±2.41 ^b	2332.93±2.29 ^a	1803.91±2.06 ^e
特定增重率/(%·d ⁻¹) Specific growth rate	5.12±0.67	5.13±0.57	5.30±1.05	5.57±0.75	5.35±0.47
肝胰腺指数/% Hepatopancreas index	0.47±0.04 ^{bc}	0.48±0.04 ^{bc}	0.51±0.01 ^{bc}	0.75±0.02 ^a	0.59±0.14 ^b
存活率/% Survival rate	60.2±2.5 ^{cd}	65.1±3.0 ^c	56.7±5.1 ^d	83.3±1.5 ^a	73.3±2.3 ^b

注: 同行上标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

2.2 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺消化酶活性的影响

不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺 4 种消化酶活力的影响见表 4。胃蛋白酶活性无显著性差异($P>0.05$),以豆油组活性较高,花生油组较低。脂肪酶、淀粉酶及纤维素酶活性各组间差异明显($P<0.05$),脂肪酶活力以花生油组最高,为 1 177.23 U/g (prot),显著高于鱼油、豆油和猪油组($P<0.05$),接近商业对照组的 2 倍以上;淀粉酶活力以

鱼油组最高,为 27.27 U/mg (prot),商业对照组次之,为 25.96 U/mg (prot),豆油、猪油、花生油组的淀粉酶活力呈递减趋势;纤维素酶活力各组间差异较大,以花生油组活力最高,达 61.14 U/g (prot),约是活力最低的鱼油组的 5 倍,但与其他各饲料组间不存在显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾腹部肌肉中脂肪酸组成的影响

在红螯光壳螯虾幼虾的生长过程中,投喂不同

脂肪源饲料,其腹部肌肉的脂肪酸组成主要以饱和脂肪酸(C16:0、C18:0)、不饱和脂肪酸(C18:1n9)及高不饱和脂肪酸(C20:5n3)为主,且各组分在总脂中的比例有较大的不同(表5)。饱和脂肪酸总含量以猪油组显著较高,豆油和花生油组明显偏低($P<0.05$)。单不饱和脂肪酸以花生油组含量最高,豆油组最低。豆油组的多不饱和脂肪酸含量要显著

高于其他各组($P<0.05$),达72.63%;猪油组最低,为58.4%。亚油酸(C18:2n6)和亚麻酸(C18:3n3)含量均以豆油组显著高于其他4组($P<0.05$)。EPA含量以鱼油组最高,为27.85%,显著高于豆油组($P<0.05$);DHA含量在各实验组间无明显差异($P>0.05$),但以花生油组含量略高,为4.45%。无论实验组还是对照组,EPA含量均高于DHA含量。

表4 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺4种消化酶活性的影响
Tab. 4 Effect of different dietary lipid sources on four specific enzyme activity levels from hepatopancreas of juvenile *Cherax quadricarinatus* $n=3; \bar{x} \pm SD$

消化酶 Enzyme	花生油组 Peanut oil	猪油组 Pork lard	鱼油组 Fish oil	豆油组 Soybean oil	商业对照组 Control
胃蛋白酶/(U·g ⁻¹) Pepsin	70.58±9.05	80.93±4.97	78.76±6.75	82.74±3.89	75.01±8.03
脂肪酶/(U·g ⁻¹) Lipase	1177.23±106.42 ^a	586.62±75.42 ^b	660.36±56.77 ^b	702.36±51.50 ^b	655.54±43.14 ^b
淀粉酶/(U·g ⁻¹) Amylase	21.39±0.15 ^c	22.17±0.16 ^d	27.27±0.50 ^a	25.32±0.13 ^c	25.96±0.32 ^b
纤维素酶/(U·g ⁻¹) Cellulase	61.14±15.55 ^a	30.43±4.91 ^{ab}	16.26±4.82 ^b	54.05±25.36 ^{ab}	52.63±35.18 ^{ab}

注: 各个酶活力以其各自的活力单位计. 同行上标不同字母表示差异显著($P<0.05$).

Note: The enzyme activity is counted by its own unit. Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$). Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

表5 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾腹部肌肉脂肪酸组成的影响
Tab. 5 Effect of different dietary lipid sources on fatty acid composition in tail muscle of juvenile *Cherax quadricarinatus* $n=3; \bar{x} \pm SD; \%DW$

脂肪酸 Fatty acids	花生油组 Peanut oil	猪油组 Pork lard	鱼油组 Fish oil	豆油组 Soybean oil	商业对照组 Control
C14:0	0.39±0.06 ^{ab}	0.39±0.04 ^{ab}	0.42±0.07 ^a	0.31±0.06 ^b	0.44±0.05 ^a
C16:0	15.96±0.62 ^b	17.26±0.60 ^a	14.87±0.41 ^c	16.45±0.33 ^b	17.08±0.32 ^a
C18:0	11.10±0.41 ^b	12.63±0.41 ^a	12.96±0.51 ^a	10.81±0.27 ^b	11.45±0.36 ^b
Σ SFA	28.34±0.36 ^c	31.02±0.35 ^a	28.75±0.76 ^b	28.32±0.43 ^c	30.22±0.21 ^{ab}
C16:1	1.06±0.11 ^b	1.10±0.08 ^b	1.31±0.29 ^b	1.03±0.14 ^b	1.87±0.41 ^a
C18:1n9	22.46±0.48 ^a	21.23±1.34 ^a	18.55±1.29 ^b	18.03±0.75 ^b	17.82±1.04 ^b
C20:1n9	1.32±0.2	1.00±0.18	1.28±0.31	0.99±0.28	1.47±0.20
Σ MUFA	25.07±2.19 ^a	23.58±2.34 ^{ab}	22.07±1.31 ^{bc}	20.04±1.07 ^{bc}	21.58±1.40 ^{bc}
C20:2	2.40±0.41 ^a	1.88±0.42 ^b	2.23±0.27 ^{ab}	2.98±0.73 ^a	1.76±0.68 ^b
C18:2n6	30.37±1.85 ^b	24.74±4.76 ^{bc}	22.60±3.24 ^c	40.21±2.25 ^a	25.57±3.41 ^{bc}
C18:3n3	0.43±0.17 ^c	0.62±0.16 ^{bc}	0.65±0.15 ^{bc}	1.41±0.21 ^a	0.80±0.20 ^b
C20:4n6	2.84±0.47 ^{bc}	2.92±0.52 ^{bc}	4.13±0.27 ^a	2.23±0.25 ^c	3.24±0.38 ^b
C20:5n3	21.60±2.28 ^b	23.46±3.34 ^{ab}	27.85±2.29 ^a	20.77±2.79 ^b	24.63±2.01 ^{ab}
C22:6n3	4.45±0.58 ^b	4.34±0.69 ^b	4.01±0.49 ^b	4.43±0.44 ^b	5.71±0.43 ^a
Σ PUFA	46.58±2.67 ^b	45.40±4.03 ^b	49.17±2.06 ^b	51.63±2.65 ^a	48.20±2.33 ^b

注: 仅列出百分含量≥0.5%的脂肪酸. 同行上标不同字母表示差异显著($P<0.05$).

Note: Only fatty acids ≥0.5% were listed. Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾生长的影响

本实验基础饲料中添加不同的脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾的体长和特定增长率并没有显著影响,说明多种油类都可以作为它的脂肪来源,满足其生长的能源要求,体现了红螯光壳螯虾的杂食性和生长特性。但各组幼虾增重率、肝胰腺指数及存活率的显著不同,说明饲料营养能明显改变红螯光壳螯虾幼体生长阶段的营养物质积累,并进一步体现在消化酶活性的差异上。豆油组具有更高的增重率和存活率,是由于豆油中含有丰富的磷脂,而磷脂作为细胞膜的主要成分,对膜的流动性、膜上相关酶的活性、膜上极性酯功能的正常发挥以及促进幼体的生长、蜕皮和存活具有重要的作用^[16]。豆油中富含的亚油酸和亚麻酸能够增强质膜上磷脂的弹性和穿透性^[17],并间接影响细胞对膜外营养物质的利用,这也可能是豆油优于其他脂肪源的原因。

3.2 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺消化酶活力的影响

饵料营养的质量是影响甲壳动物消化酶活力变化的关键因素,主要表现为消化酶对饵料的营养物质有着明显的适应性,这种特性可以作为虾蟹饵料中各种营养物质消化、吸收和利用的重要指标^[18]。肝胰腺作为虾蟹类重要的消化腺,是外源性脂类消化、代谢和储存的重要场所,因此研究肝胰腺消化酶活性与饵料营养组成之间的关系,对于了解虾蟹的消化生理具有极为重要的意义^[19]。本实验红螯光壳螯虾幼虾对不同的脂肪源饲料产生的不同适应体现在各种消化酶活性的差异上。

胃蛋白酶可将蛋白质水解成肽以及少量多肽和氨基酸,在蛋白的消化过程中起着重要作用,其活性受到如钙离子浓度、盐度、pH、温度和饲料营养水平等因素的影响^[20]。本实验中不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺中胃蛋白酶活力无显著影响,原因主要有以下几方面:(1)不同饲料组添加了

等量的鱼粉和豆粕等作为蛋白源,饲料蛋白水平无显著差异;(2)饲养环境(水体钙离子、盐度、pH、温度等)相似,且幼虾蛋白摄入水平基本相同;(3)在一些虾蟹幼体或早期幼体的研究中,已验证胰蛋白酶活力远高于胃蛋白酶活力^[21]。因此,各组饲料虽在多不饱和脂肪酸含量、必需脂肪酸上存在差异,但对胃蛋白酶活力影响相对较小。

脂肪酶是酯酶的一种,其适宜底物是呈乳化状态的由长链脂肪酸组成的甘油三酯^[21]。本研究红螯光壳螯虾幼虾肝胰腺的脂肪酶活力以花生油组最高;豆油组次之;鱼油组最低。已有的研究表明,脂肪酶的分泌会受到饵料中脂肪的诱导,脂肪酶的活性与饵料中的脂肪具有相关性^[22],但饵料中不同的脂肪种类和含量对动物脂肪酶活力的影响较为复杂,如脂肪含量与脂肪酶活力在不同的实验动物中呈现出不同的相关性^[23],从本研究结果来看,使用植物性油类作为脂肪源,能促进红螯光壳螯虾幼虾的脂肪代谢,其促进作用可能与饲料中脂肪酸组成有关,脂肪酸组成与脂肪酶之间的关系还有待进一步的研究。

糖类是生物主要能源物质之一,已有的研究结果显示,草食性和杂食性的甲壳动物比肉食性甲壳动物具有更高的淀粉酶活力^[24]。本实验各组饲料碳水化合物含量相近,各饲料组幼虾的淀粉酶均保持了较高的活力,暗示红螯光壳螯虾对碳水化合物有较好的适应性和较高的利用率;另一方面也印证了红螯光壳螯虾杂食性偏植食性的特点^[25]。在纤维素酶活力上,虽然已有研究结果证明了红螯光壳螯虾内源性纤维素酶的存在,但其纤维素酶只能作用于特定的多糖^[26]。在本次实验中豆油组和花生油组纤维素酶活力较高,鱼油组纤维素酶活力最低,说明植物性油类作为脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾纤维素酶活性有促进作用,因此可考虑将更多富含淀粉的成分添加到红螯光壳螯虾幼虾的饵料中,以提高其利用率并降低饲料成本,但其对糖类物质的有效利用率仍有待深入研究。

3.3 不同脂肪源饲料对红螯光壳螯虾幼虾腹部肌肉生化组成的影响

本实验中各饲料组红螯光壳螯虾幼虾腹部肌

肉中,脂肪酸组成比例以及主要的脂肪酸种类受不同脂肪源的影响相对较小,各组含量由高到低均为多不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸;饱和脂肪酸中的C16:0和C18:0,单不饱和脂肪酸中的C18:1n9以及多不饱和脂肪酸中的C18:2n6和C20:5n3均为主要的脂肪酸种类,其结果反映了幼虾生长期肌肉的脂肪酸基本组成特点,与罗氏沼虾肌肉脂肪酸组成较为相似^[14]。但各组幼虾肌肉的脂肪酸组成还是一定程度上受到饲料中各种脂肪酸含量的影响,腹部肌肉中各脂肪酸含量随饲料中相应脂肪酸含量的变化而产生一定的变化,这种变化在其他种类的研究中也得到类似的结果^[27]。

多不饱和脂肪酸由于具有参与调节细胞膜流动性以及促进幼体生长等重要作用,其营养价值被很多研究者所强调^[28]。但甲壳动物通过脂肪酸链延长酶从头合成高不饱和脂肪酸的能力较弱,主要通过从食物摄取^[29]。本研究各饲料组红螯光壳螯虾幼虾的腹部肌肉中,积累较多的多不饱和脂肪酸种类除EPA(C20:5n3)外,主要以亚油酸(C18:2n6)为主。虽然在本实验中鱼油和商业饲料组中DHA含量较高,但各组幼虾肌肉汇总DHA含量均相对较少,显示其脂肪酸利用和积累特点与黑斑口虾蛄(*Oratosquilla kempii*)^[30]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[31]、南美白对虾(*Penaeus vannamei*)^[32]等有所不同。

腹部肌肉中亚油酸大量积累,在体成分组成上反映出红螯光壳螯虾幼虾生长的脂肪酸需求和利用的特点;在生长指标上,幼虾对亚油酸含量较高的豆油组饲料表现出较好的适应性。豆油组饲料投喂的幼虾在存活率等指标上均优于鱼油组,除因含有较多磷脂满足生长需求外,较高的亚油酸含量也是可能的原因之一,因为国外学者在对印度对虾(*Penaeus indicus*)的研究中发现,富含亚油酸和亚麻酸的脂肪源能提高印度对虾的存活率^[33]。

腹部肌肉中DHA积累量相对较低,其可能原因有以下2点:(1)与生境有关,多不饱和脂肪酸对细胞膜渗透压调节起重要作用,因此淡水甲壳动物对

EPA和DHA等长链多不饱和脂肪酸的需求量低于海水种类^[34-35];(2)在淡水种类中C20:5和C22:6的作用能被其他脂肪酸如C18:2和C18:3等代替^[36]。因此,红螯光壳螯虾腹部肌肉中大量积累的C18:2脂肪酸可能在功能上代替了C22:6等长链多不饱和脂肪酸的作用。

通过比较各饲料组幼虾生长指标、消化酶活力以及脂肪酸组成的结果显示,饲料中粗蛋白和粗脂肪的比例达到4:1~5:1均能满足红螯光壳螯虾幼虾的生长需要,这与前人的研究结果相近^[7]。但综合消化酶活力和肌肉中的脂肪酸组成发现,在满足红螯光壳螯虾幼虾基本生长需要的情况下,添加豆油作为脂肪源更有利于促进幼虾生长,提高其增重率和存活率,同时表现在对脂肪酸具有更高的利用率,并降低饲料成本。虽然本实验结果显示豆油组饲料投喂效果较好,但幼虾生长过程中对必需脂肪酸、磷脂的确切需求量尚不明确;而且豆油组饲料中EPA含量相对缺乏,是否需要加入额外脂肪源来满足幼虾肌肉中EPA大量积累,仍有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 王福刚,陈碧霞,刘伟斌,等. 红螯螯虾人工繁殖技术研究 I. 红螯螯虾生物学特性的观察[J]. 福建水产,1995(4): 12-15.
- [2] 赵云龙,孟凡丽,陈立侨,等. 不同水温对红螯螯虾胚胎发育的影响[J]. 湖泊科学,2000,12(1): 59-62.
- [3] 顾志敏,许谷星,黄鲜明,等. 红螯螯虾的室内人工育苗[J]. 水产学报,2003,27(1): 32-37.
- [4] 吴志新,陈孝煊,罗宇良,等. 不同饵料蛋白质含量对红螯螯虾生长的影响[J]. 水利渔业,1998(4): 22-23.
- [5] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmnares H. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. Aquac Nutr,2003,9: 207-213.
- [6] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmnares H. Effect of dietary protein level on the growth and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture [J]. Aquac Nutr,2004,35: 71-79.
- [7] Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmnares H. Effect of different

- dietary protein and lipid levels on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) [J]. *Aquac Nutr*, 2005, 11: 283–291.
- [8] 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.
- [9] Lee P G, Smith L L, Lawrence A L. Digestive proteases of *Penaeus vannamei* Boone: Relationship between enzyme activity, size and diet [J]. *Aquaculture*, 1984, 42: 225–239.
- [10] 徐新章, 何珍秀, 付增峰. 不同脂肪源对幼蟹生长的影响[J]. *饲料工业*, 1997, 18(5): 16–18.
- [11] Glencross B D, Smith D M. The dietary linoleic and linolenic fatty acids requirements of the prawn *Penaeus monodon* [J]. *Aquac Nutr*, 1999, 5(1): 53–63.
- [12] Argent J, McEvoy L. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and further direction [J]. *Aquaculture*, 1999, 179(4): 217–229.
- [13] Ulati S K, Ashes L R. Hydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids and their incorporation fat [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 1999, 79(15): 57–64.
- [14] 王恒, 曹维维, 孙龙生, 等. 不同脂肪源对罗氏沼虾生长及体组织常见组分的影响[J]. *淡水渔业*, 2009, 39(2): 37–41.
- [15] 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.
- [16] 潘鲁青, 王克行. 中华绒螯蟹幼体消化酶活力与氨基酸组成的研究[J]. *中国水产科学*, 1997, 4(2): 13–20.
- [17] 成永旭, 严生良, 王武, 等. 饲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(1): 9–15.
- [18] 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.
- [19] 林仕梅, 罗莉, 叶元土. 中华绒螯蟹营养生理的研究Ⅱ. 蛋白质能量比对中华绒螯蟹蛋白酶活力和饲料消化率的影响[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2001, 20(增刊): 62–65.
- [20] Lee P G, Lawrence A L. A quantitative analysis of digestive enzymes in *Penaeid shrimp*, influences of diet, age and species [J]. *Physiologist*, 1982, 25: 241.
- [21] 杨奇慧, 周歧存, 马丽莎, 等. 凡纳滨对虾幼体胃蛋白酶和类胰蛋白酶活力的研究[J]. *海洋科学*, 2005, 29(5): 6–9.
- [22] Hoehne R, Shields R J. Larviculture of marine finfish in Europe [J]. *Aquaculture*, 2001, 200: 55–88.
- [23] 王重刚, 陈品健, 顾勇, 等. 不同饵料对真鲷稚鱼消化酶活性的影响[J]. *海洋学报*, 1998, 20(4): 103–106.
- [24] 潘鲁青, 刘泓宇, 肖国强. 甲壳动物幼体消化酶研究进展[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(3): 492–501.
- [25] Figueiredo M S, Anderson A J. Ontogenetic change in digestive proteases and carbohydrates from the Australian freshwater crayfish, redclaw *Cherax quadricarinatus* (Crustacea, Decapoda, Parastacidae) [J]. *Aquac Res*, 2002, 34: 1235–1239.
- [26] Ana P, Neil A R, Peter B M, et al. Influence of insoluble dietary cellulose on digestive enzyme activity, feed digestibility and survival in the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) [J]. *Aquac Res*, 2006, 37: 25–32.
- [27] Bottino N, Gennity J, Lilly M, et al. Seasonal and nutritional effects of the fatty acids of three species of shrimp, *Penaeus setiferus*, *P. aztecus* and *P. duorarum* [J]. *Aquaculture*, 1980, 19: 139–148.
- [28] Cossins A R. Adaptation of biological membranes to temperature: The effect of temperature acclimation of goldfish upon the viscosity of synaptosomal membranes [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1977, 470: 395–411.
- [29] 徐学良, 季文娟. ω -3 及 ω -6 不饱和脂肪酸对中国对虾幼虾存活、蜕皮和生长的影响[J]. *海洋水产研究*, 1992, 13: 21–27.
- [30] 王春琳, 尹飞, 宋微微. 黑斑口虾蛄胚胎和幼体不同发育时期脂类及脂肪酸组成分析[J]. *浙江大学学报: 理学版*, 2007, 34(2): 223–227.
- [31] 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] 卢洁, 黄凯, 臧宁, 等. 气相色谱全分析海水和淡水养殖南美白对虾组织中脂肪酸组成与含量[J]. *色谱*, 2005, 23(2): 193–195.
- [33] Read G H L. The response of *Penaeus indicus* (Crustacea: Penocidea) to purified and compound diets of varying fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 1981, 24: 245–256.
- [34] Levine D M, Sulkin D S. Nutritional significance of long-chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development

- of the brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1984, 81: 211–223.
- [35] Millamena O M, Bombeo R F, J umalon N A. Effect of various diets on the nutritional value of *Artemia* sp. as food for the prawn *Penaeus monodon* [J]. Mar Biol, 1988, 98: 217–221.
- [36] 周化斌, 张永普, 吴洪喜, 等. 可口革囊星虫的营养成分分析与评价[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 2: 62–68.

Influence of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity and fatty acid composition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*

GUO Zhanlin, LI Jiayao, GAN Xinhui, LV Xiaoyan, WANG Qun, ZHAO Yunlong

(Life Science College, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of dietary lipid sources on growth, digestive enzyme activity and fatty acid composition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. Four kinds of oil of peanut oil, pork lard, fish oil and soybean oil were added to the basic diets with the addition of 5% respectively. After eight weeks, there were no significant difference ($P>0.05$) on length growth rate and specific growth rate among all treatments. Red claw crayfish fed the diet with soybean oil had significantly higher weight gain (2 332.93%) and hepatopancreatic index (0.75%) ($P<0.05$). The highest survival rate was found in red claw crayfish fed diet with soybean oil (83.3%), but the lowest in those fed diet with fish oil (56.7%). Analysis of digestive enzyme profiles from hepatopancreas revealed positive correlation between enzyme activity and diet lipid sources. There was no significant difference ($P>0.05$) in pepsin activity. Lipase activity was significantly ($P<0.05$) the highest in the group fed with peanut oil [1 177.23 U/g (prot)]. Amylase activity was significantly different ($P<0.05$) among different lipid groups, with the order from high to low being fish oil, control, soybean oil, pork lard and peanut oil treatment. Cellulase activity was the highest ($P<0.05$) in peanut oil group (61.14 U/g). Fatty acids composition, including saturated fatty acids (SFA), mono-unsaturated fatty acids (MUFA) and poly-unsaturated fatty acids (PUFA) of tail muscle in juvenile red claw crayfish, was affected by different lipid sources. There was significantly the highest content of SFA in pork lard group ($P<0.05$), MUFA in peanut oil group ($P<0.05$) and PUFA in soybean oil group ($P<0.05$). Red claw crayfish fed diet with soybean oil had better growth indices and enzyme activities compared with those fed other diets. The content of PUFA especially linoleic acid and linolenic acid in tail muscle was higher than that in other groups. Based on these results, it is suggested that using soybean oil as lipid source can supply more essential fatty acids (EFA) to juvenile red claw crayfish, which has better effects on growth, and also reduces cost. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 996–1004]

Key words: *Cherax quadricarinatus*; growth; digestive enzyme; fatty acid composition; lipid source

Corresponding author: ZHAO Yunlong. E-mail: ylzhaol@bio.ecnu.edu.cn