

## 三疣梭子蟹幼蟹对大豆卵磷脂的需要量

侯迎梅, 袁野, 陆游, 马红娜, 孙蓬,  
梁雄培, 霍雅文, 周歧存\*

(宁波大学海洋学院, 鱼类营养研究室, 浙江宁波 315211)

**摘要:** 为确定三疣梭子蟹幼蟹对大豆卵磷脂(SL)最适需要量, 进行了为期8周的生长实验。实验以鱼油和豆油为脂肪源, 红鱼粉和豆粕为蛋白源, 添加不同含量的SL (0、10、20、40、60、80 g/kg), 配制成6种等氮等脂饲料。每个处理60只蟹, 设3个重复, 每个重复放养平均体质量为(3.68±0.02) g的三疣梭子蟹20只, 养殖于长方形塑料筐中。结果发现, 当SL添加量为0~40 g/kg时, 增重率(WGR)、蜕壳率(MR)、蛋白质效率(PER)、特定生长率(SGR)和成活率(SR)显著升高, 而WGR、FCR显著而降低; 当饲料中SL添加水平为40~80 g/kg时, 三疣梭子蟹的WR、MR和SGR无显著性变化, 而FCR显著升高, PER显著减低。饲料中适宜水平的SL可以提高三疣梭子蟹幼蟹的生长性能和饲料利用率。血清中总蛋白(TP)、甘油三酯(TG)和高密度脂蛋白(HDL)不受SL添加量的影响; 当SL添加量为0~40 g/kg时, 血清中胆固醇(CHO)、葡萄糖(GLU)的含量显著升高, 而随着SL添加量继续增加时, 血清中CHO、GLU的含量无显著性变化; SL添加量为0~20 g/kg时, 低密度脂蛋白(LDL)含量显著性升高, 但随着SL添加量的增加, LDL含量显著性降低。饲料中添加不同含量的SL对三疣梭子蟹幼蟹中肝胰腺的总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)及溶菌酶活性无显著性影响, 但当SL添加量为0~60 g/kg时, 肝胰腺中过氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高; 当SL添加水平为0~40 g/kg时, 谷胱甘肽过氧化物(GPX)的含量显著性上升。饲料中添加不同的SL对三疣梭子蟹幼蟹肌肉中C20:5(EPA), C22:6(DHA), n-3PUFA和C18:2脂肪酸含量无显著性影响。但当SL添加量为0~40 g/kg时, 肝胰腺中C18:2的含量极显著降低, DHA和EPA含量显著上升, 而肝胰腺中n-3PUFA的含量虽然无显著性差异, 但当SL的含量为40 g/kg时, n-3PUFA的含量高于其他组; 随着SL添加量的继续增加, C18:2显著性升高, 而n-3PUFA极显著性降低, DHA和EPA含量显著降低。研究表明, 当大豆卵磷脂添加量在一定范围内可以提高三疣梭子蟹肝胰腺中不饱和脂肪酸的含量, 特别是n-3PUFA、DHA和EPA。以SGR为指标, 通过折线模型得出三疣梭子蟹幼蟹饲料中大豆卵磷脂的适宜需要量为41.96 g/kg。

**关键词:** 三疣梭子蟹幼蟹; 大豆卵磷脂; 需求量; 脂肪酸组成; 抗氧化能力; 非特异性免疫; 生长性能

**中图分类号:** S 963.31

**文献标志码:** A

脂肪作为主要的营养物质, 是水产动物生长发育所需的主要能源物质之一, 也是生物膜重要的组成成分。磷脂作为脂类的一种, 是分

子中含有磷酸的一种复合极性脂<sup>[1]</sup>, 对虾蟹类早期的生长和发育有着直接的影响, 与其蜕壳、组织发育等生命活动密切相关。磷脂具有极强

收稿日期: 2015-12-08 修回日期: 2016-05-13

资助项目: 国家自然科学基金(41476125); 宁波市海洋蟹类创新团队(2011B81003); 浙江省“重中之重”一级学科开放课题

通信作者: 周歧存, E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

的吸水性,其特殊的理化性质和生理功能得到了研究者的关注。磷脂分为动物性磷脂和植物性磷脂,植物磷脂产量大、质量好、容易萃取、价格成本相对廉价,因此应用也更广泛。在所有的植物性磷脂中,因大豆磷脂来源多样、成本低廉等优势,在营养研究中最为广泛<sup>[2]</sup>。在水产饲料中4种最常见的磷脂分别为卵磷脂、脑磷脂、磷脂酰肌醇、磷脂酰丝氨酸。其中卵磷脂又称蛋黄素,具有多种生物学功能,能给细胞提供磷脂,还能为机体提供能量及其他必需脂肪酸,特别是对于消化能力尚未发育成熟的甲壳类动物幼体,卵磷脂作为能量和必需脂肪酸的来源,其生理功能比中性脂好;并且卵磷脂在脂类的消化和饲料转化中具有重要的功能<sup>[3]</sup>。同时,卵磷脂在水产动物中的应用也相当广泛,主要因为卵磷脂能够提高水产动物的存活率,促进其生长和发育,并能够增强水产动物对恶劣环境的耐受力,增强适应能力<sup>[4]</sup>。据此,国内外学者针对鱼、虾、蟹等水产动物对卵磷脂需求量进行了大量的研究,Couttean等<sup>[5]</sup>在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)幼体的实验中指出,在对虾幼体维持渗透压方面,卵磷脂起着重要作用;Kumaraguru等<sup>[6]</sup>发现,添加卵磷脂会提高斑节对虾(*Penaeus monodon*)EPA和DHA含量;王凤美<sup>[7]</sup>研究发现,在水产动物的饲料中添加适宜的卵磷脂能够提高其不饱和脂肪酸的含量。另外还有研究表明,饲料中添加适量卵磷脂可以加快中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)蚤状幼体和大眼幼体的蜕壳和生长,提高其成活率<sup>[8-9]</sup>,促进成蟹雌体卵巢发育<sup>[10-11]</sup>。但关于卵磷脂对三疣梭子蟹的需求及其机制缺乏充分了解。

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)属十足目(Decapoda),梭子蟹科(Portanidae),梭子蟹属(*Portunus*),广泛分布于我国沿海,具有肉质好、生长快、产量高、环境适应能力强等优点,颇受广大消费者和养殖户的青睐,是我国重要的海产经济蟹类,在海洋捕捞和海水养殖业中占有极其重要的地位。长期以来,三疣梭子蟹养殖过程中多采用低值小杂鱼和贝类直接投喂,这些生物饵料不仅营养不平衡,而且还会破坏海洋渔业资源、污染水域环境、诱发三疣梭子蟹养殖病害。因此,研制营养全面、优质高效的人工全价配合饲料已成为该产业迅速发展的迫切需要。但是有关三疣梭子蟹对大豆卵磷

脂需要量的研究至今未见报道。本实验主要是研究饲料中添加不同含量大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹的生长性能、抗氧化能力、免疫指标及肌肉和肝胰腺脂肪酸组成的影响,为配制生产三疣梭子蟹幼蟹饲料提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验饲料配制

以鱼油和豆油为脂肪源,红鱼粉、磷虾粉、小麦蛋白粉和豆粕为蛋白源,添加不同含量的大豆卵磷脂(0、10、20、40、60、80 g/kg),配制成6种等氮等脂饲料,实验饲料配方及营养见表1。在制作饲料之前,用粉碎机将各种原料粉碎后过80目筛,然后按照表1的配方称量各种饲料原料,并补充矿物质混合物、维生素混合物,然后再添加油源和大豆卵磷脂混合均匀,将混合好的全部原料倒入混合机中,边混合边加水,水分约加至35%左右,用双螺杆挤压机(华南理工大学机械工程研究所制造)压制成两种规格的饲料(直径3 mm,长度5 mm;直径5 mm,长度7 mm),再用制粒机切割制粒,置90℃烘箱中熟化30 min,取出在自然风下晾干直至含水量在10%左右,最后放入有标记的封口袋中保存于-20℃冷冻备用。

### 1.2 实验管理

养殖实验选择在宁波奉化臭皮匠水产养殖场进行,所有的实验幼蟹购自宁波兢业育苗厂。实验采取单筐养殖的方式。选择初始提质量为(3.68±0.02)g左右的蟹为实验对象,共360只,随机分配于180个单体筐中(2只/筐),实验所用的蟹随机分成6组,每组3个重复,每20只幼蟹作为一个重复。每天投喂一次,投喂时间为17:00,日投喂量为其体质量的6%~8%,但蜕壳后期的投喂量约为体质量的3%~5%。第二天早晨记录死亡个数和蜕壳个数并捞取残饵。所有的单体筐放在水泥池中,水泥池中保证不间断提供氧气,水温控制在26~30℃,氨氮浓度≤0.5 mg/L、溶解氧6.5~7.0 mg/L、盐度26~28、pH 7.8~8.2,2天换一次水,每次换水量约为总量的三分之一,生长实验的周期为8周。

### 1.3 常规分析

养殖实验结束时,暂停投喂饲料24 h。然后

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)  
Tab. 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

饲料组分 ingredients	大豆卵磷脂含量/(g/kg) dietary soy lecithin levels					
	0	10	20	40	60	80
红鱼粉 Peru Fish meal	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
磷虾粉 krill meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
豆粕 soybean Meal	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
小麦蛋白粉 wheat gluten meal	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
小麦粉 wheat flour	20.70	20.70	20.70	20.70	20.70	20.70
鱼油 fish oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
豆油 soybean oil	8.00	7.00	6.00	4.00	2.00	0.00
大豆卵磷脂 <sup>1</sup> soy lecithin	0.00	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
维生素预混料 <sup>2</sup> vitamin mix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 <sup>3</sup> mineral mix	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
海藻酸钠 sodium alginate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
<b>营养成分 proximate composition</b>						
粗蛋白 crude protein	45.23	45.41	45.15	45.26	45.38	45.22
粗脂肪 crude lipid	13.51	13.53	13.35	13.47	13.42	13.52
干物质 dry matter	90.32	91.14	90.17	90.38	90.43	91.07

注: <sup>1</sup>大豆卵磷脂: 购买于宁波天邦股份有限公司, 丙酮不溶物为63.3%。

<sup>2</sup>维生素预混料(g/kg预混料): 维生素A<sub>2</sub> 500 000 IU, 维生素D 3500 000 IU, 维生素E 25 000 IU, 维生素K<sub>3</sub> 5.63, 维生素B<sub>1</sub> 11.25, 维生素B<sub>2</sub> 5, 维生素C 95, 维生素B<sub>6</sub> 10, 维生素B<sub>12</sub> 0.02, 叶酸2, 生物素0.375, 烟酸37.5, 泛酸-Ca 21, 肌醇80, 抗氧化剂0.5, 玉米淀粉696.775。

<sup>3</sup>矿物质预混料(g/kg预混料): 柠檬酸铁4.57, 七水硫酸锌9.43, 硫酸锰(99%)4.14, 五水合硫酸铜(99%)6.61, 七水硫酸(99%)238.97, 磷酸二氢钾233.2, 磷酸二氢钠137.03, 乳酸钙(98%)34.09, 六水二氯化钴(99%)1.36

Notes: 1. Liquid soy lecithin: acetone insoluble >55%, supplied by Ningbo Tech-Bank Corp, Ningbo, China.

2. The vitamin premix supplied the diet with the following (g/kg premix): retinyl acetate, 2 500 000 IU; cholecalciferol, 500 000 IU; all-rac-a-tocopherol, 25 000 IU; menadione, 5.63; thiamine, 11.25; riboflavin, 9.5; ascorbic acid, 95; pyridoxine hydrochloride, 10; cyanocobalamin, 0.02; folic acid, 2; biotin, 0.375; nicotinic acid, 37.5; D-Ca pantothenate, 21.5; inositol, 80; antioxidant, 0.5; corn starch, 696.775.

3. The mineral mixture supplied the diet with the following (g kg<sup>-1</sup> premix): FeC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>, 4.57; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 9.43; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O (99%), 4.14; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (99%), 6.61; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (99%), 238.97; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 233.2; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 137.03; C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>CaO<sub>6</sub>·5H<sub>2</sub>O (98%), 34.09; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O(99%), 1.36

清点每组存活的螃蟹数量并称重, 用来计算存活率、增重率。然后从每组随机选取5只螃蟹先抽取血液然后取肌肉和肝胰腺, 分别将取到的血液放入1.5 mL离心管中, 然后用离心机以3000 r/min离心10 min, 取上清液, 放入-80 °C超低温冰箱中, 用于健康生化指标和酶活力测定; 取到的肌肉和肝胰腺也放入-80 °C超低温冰箱中用于脂肪酸的分析。

生长及饲料利用指标

增重率(weight gain ratio, %, WGR, %)=100×(终末体质量-初始体质量)/初始体质量;

特定生长率(specific growth ratio, SGR, %/d)  
SGR (%/d)=100×[(ln终末体质量-ln初始体质量)/实验周期];

饲料转化效率(feed conversion ratio, FCR, %)=  
饲料摄入量(g, 干重)/幼蟹体增重(g, 湿重);

蜕壳率(molting ratio, MR, %)=100×2×蜕壳次数/(开始时螃蟹个数+结束时螃蟹个数);

成活率(survival ratio, SR, %)=100×开始时螃蟹个体数/结束时螃蟹个体数;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)=  
100×(终末体质量-初始体质量)/(摄入的干物质的

含量×饲料蛋白质含量)。

**血清健康指标** 血清中总蛋白(total protein, TP)、总胆固醇(cholesterol, CHOL)、甘油三酯(triglyceride, TG)、葡萄糖(glucose, GLU)含量和低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)送往宁波大学附属医院检测。

**体液免疫指标及抗氧化指标** 溶菌酶(lysozyme, LSZ)活性用Hultmark等<sup>[12]</sup>改进的方法进行。在此法规定条件下, 溶菌活性:

$$U(\text{mL}) = (A_0 - A) / A \quad (A_0 \text{ 为反应之前菌悬液的吸光度, } A \text{ 为反应之后菌悬液的吸光度})$$

谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)、SOD活性和丙二醛(MDA)含量采用南京建成工程生物研究所试剂盒进行测定。

**脂肪酸检测** 用于脂肪酸分析的肌肉和胰腺的样品被分别冷冻干燥后, 在氯仿-甲醇溶液(2:1, v/v)中均质以抽取脂肪。脂肪酸的甲酯化物(FAME)使用气相—质谱仪(GCMS-QP2010 Plus:SHIMADZU Japan)进行分析。以毛细管柱(30 m×0.25 mm; spb-50 SUPEL CO, American)采用程序升温, (150 °C:3.5 min; 150~200 °C:20 °C/min; 200 °C:5 min; 200~280 °C, 5 °C/min; 200 °C:20 min)进行分离, 载气为氦气(气压: 73 kPa; 流速: 44.1 mL/min)。进样温度和检测器温度为250 °C。

**统计分析** 采用SPSS 16.0对所有数据进行单因素方差(One-Way ANOVA, LSD)分析, 若各

处理组之间差异显著( $P < 0.05$ ), 则进行Tukey氏多重比较。分析结果均用 $\text{mean} \pm \text{SE}$ 表示。

## 2 结果

### 2.1 生长性能与饲料利用

饲料中SL对三疣梭子蟹幼蟹WGR、SGR、FCR、PER以及MR有显著性影响( $P < 0.05$ ) (表2)。SL添加量从0~40 g/kg时, WGR、SGR和MR随着SL添加量的增加而显著升高, 而FCR随着SL添加量的增加而降低; 当饲料中SL水平从40~80 g/kg时, 三疣梭子蟹的WGR和MR无显著性变化( $P > 0.05$ ), 而FCR却显著升高( $P < 0.05$ )。当饲料中SL的添加量从0~40 g/kg时, SGR和PER显著升高( $P < 0.05$ ), 而当SL添加量继续增加时, SGR无显著性差异( $P > 0.05$ ), PER显著减低( $P < 0.05$ )。以特定生长率为评价指标, 通过折线回归分析方程 $y = 0.0062x + 4.4640$  ( $R^2 = 0.8149$ ,  $x < 40$ )和 $y = -0.0030x + 4.8200$  ( $R^2 = 1.0000$ ,  $x > 40$ ), 三疣梭子蟹幼蟹对SL最适需求量为41.96 g/kg (图1)。

### 2.2 血液指标

SL对三疣梭子蟹血清TP、TG、HLD含量没有显著性影响( $P > 0.05$ ), 而对血清CHO、GLU和LDL含量影响显著( $P < 0.05$ )。当SL添加量从0~40 g/kg时, CHO的含量显著升高( $P < 0.05$ ), 而当SL添加量继续增加时, CHO的含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。当SL添加量为0~20 g/kg时, LDL的含量显著性升高( $P < 0.05$ ), 而当SL添加量为20~80

表2 饲料中大豆卵磷脂含量对三疣梭子蟹幼蟹生长性能的影响

Tab. 2 Effects of dietary soy lecithin levels on growth of swimming crab *P. trituberculatus*

项目 items	大豆卵磷脂含量/(g/kg) dietary soy lecithin levels					
	0	10	20	40	60	80
初始体质量/g IBW	3.70±0.07	3.70±0.10	3.67±0.11	3.69±0.11	3.66±0.15	3.68±0.08
终末体质量/g FBW	38.39±2.64 <sup>a</sup>	42.31±2.78 <sup>ab</sup>	41.93±2.59 <sup>ab</sup>	44.48±1.66 <sup>b</sup>	43.42±3.76 <sup>ab</sup>	42.43±2.64 <sup>ab</sup>
增重率/% WGR	937.62±89.16 <sup>a</sup>	1045.0±98.44 <sup>ab</sup>	1041.8±38.10 <sup>ab</sup>	1105.5±73.76 <sup>b</sup>	1085.4±66.88 <sup>ab</sup>	1054.1±95.24 <sup>ab</sup>
特定生长率/(%/d) SGR	4.41±0.16 <sup>a</sup>	4.59±0.15 <sup>ab</sup>	4.60±0.06 <sup>ab</sup>	4.69±0.11 <sup>b</sup>	4.67±0.10 <sup>ab</sup>	4.61±0.15 <sup>ab</sup>
饲料系数 FCR	1.78±0.25 <sup>b</sup>	1.61±0.16 <sup>ab</sup>	1.59±0.35 <sup>ab</sup>	1.28±0.12 <sup>a</sup>	1.84±0.27 <sup>b</sup>	1.79±0.18 <sup>b</sup>
蛋白质效率/% PER	1.26±0.18 <sup>a</sup>	1.38±0.15 <sup>ab</sup>	1.45±0.37 <sup>ab</sup>	1.74±0.17 <sup>b</sup>	1.22±0.17 <sup>a</sup>	1.25±0.14 <sup>a</sup>
蜕壳率/% MR	2.76±0.39 <sup>a</sup>	2.82±0.05 <sup>a</sup>	3.04±0.13 <sup>ab</sup>	3.29±0.17 <sup>b</sup>	3.30±0.28 <sup>b</sup>	3.37±0.06 <sup>b</sup>

注: 同一列中无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ), 不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下表同

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below

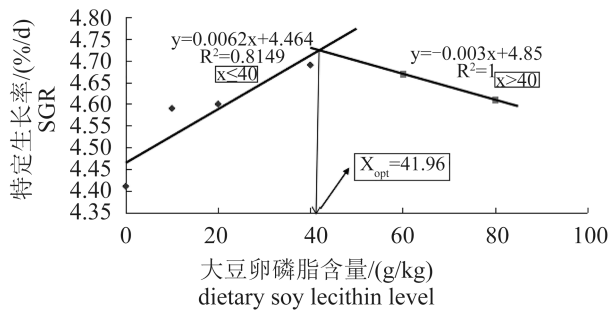


图 1 饲料中大豆卵磷脂含量与SGR回归分析

Fig. 1 Relationship between the SGR and the dietary soy lecithin levels based on two slope broken-line regression analysis

表 3 饲料中大豆卵磷脂含量对三疣梭子蟹幼蟹血清健康指标的影响

Tab. 3 Effects of dietary soy lecithin contents on serum health indicators of *P. trituberculatus*

项目 items	大豆卵磷脂含量/(g/kg) dietary soy lecithin levels					
	0	10	20	40	60	80
总蛋白/(g/L) total protein	39.87±5.35	37.83±4.72	40.13±6.35	34.60±5.78	30.90±4.69	31.07±3.35
胆固醇/(mmol/L) cholesterol	0.20±0.05 <sup>a</sup>	0.21±0.02 <sup>a</sup>	0.43±0.05 <sup>b</sup>	0.37±0.06 <sup>b</sup>	0.32±0.07 <sup>b</sup>	0.34±0.05 <sup>b</sup>
甘油三酯/(mol/L) triglyceride	0.07 0.02	0.09±0.01	0.10±0.02	0.08±0.01	0.06±0.01	0.08±0.02
葡萄糖/(mmol/L) Glucose	1.29±0.15 <sup>a</sup>	1.53±0.18 <sup>ab</sup>	1.76±0.22 <sup>b</sup>	1.88±0.24 <sup>b</sup>	1.60±0.13 <sup>ab</sup>	1.56±0.23 <sup>ab</sup>
高密度脂蛋白/(mmol/L) high-density lipoprotein	0.14±0.03 <sup>b</sup>	0.10±0.03 <sup>a</sup>	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.17±0.02 <sup>bc</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>b</sup>
低密度脂蛋白/(mmol/L) low-density lipoprotein	0.02±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01

有显著性影响( $P < 0.05$ )。当饲料中SL含量为60 g/kg时, SOD活性最高(图3)。当SL添加量为0~40 g/kg时, GPX的活性显著升高( $P < 0.05$ ), 而当饲料中SL添加量为40~80 g/kg时, GPX的活性无显著变化( $P > 0.05$ )(图4)。但饲料中SL对MDA和T-AOC活性没有显著性影响( $P > 0.05$ )(图5, 图6)。

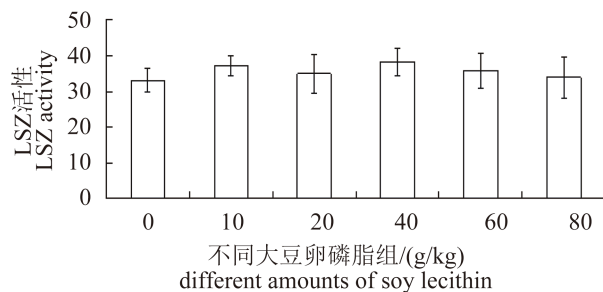


图 2 饲料中大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肝胰腺中溶菌酶活性的影响

Fig. 2 The effects of dietary soy lecithin on the serum lysozyme activity of *P. trituberculatus*

g/kg时, LDL的含量显著性降低( $P < 0.05$ )。当SL添加量为0~40 g/kg时, 血清中GLU的含量显著升高( $P < 0.05$ ), 随着SL添加量的继续增加, 血清中GLU的含量无显著性差异( $P > 0.05$ )(表3)。

### 2.3 非特异性免疫

饲料中SL对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中LSZ活性没有显著性影响( $P > 0.05$ ), 但是在一定范围内, SL可提高LSZ活性(图2)。

### 2.4 抗氧化能力

饲料中SL对肝胰腺SOD活性和GPX含量均

### 2.5 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹脂肪酸组成的影响

投喂不同SL的饲料对三疣梭子蟹幼蟹肌肉中C20:5、C22:6、n-3PUFA和C18:2脂肪酸含量无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但当SL添加量为40 g/kg时,

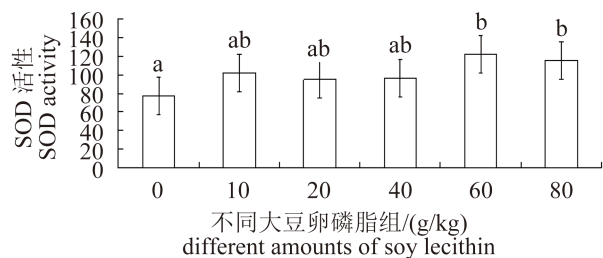


图 3 饲料中大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肝胰腺中SOD活性的影响

字母不同代表存在显著差异( $P < 0.05$ )

Fig. 3 The effects of dietary soy lecithin on the serum SOD activity of *P. trituberculatus*

The different letters mean significant difference ( $P < 0.05$ )

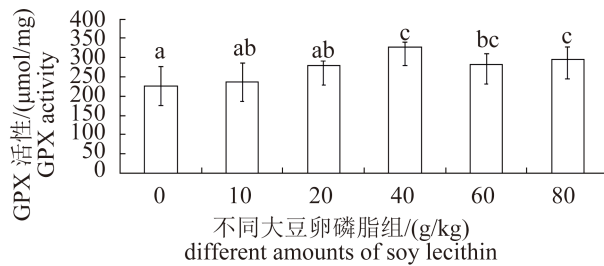


图4 饲料中大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肝胰腺中GPX含量的影响

字母不同代表存在显著差异( $P < 0.05$ )

Fig. 4 The effects of dietary soy lecithin on the serum GPX activity of *P. trituberculatus*

The different letters mean significant difference ( $P < 0.05$ )

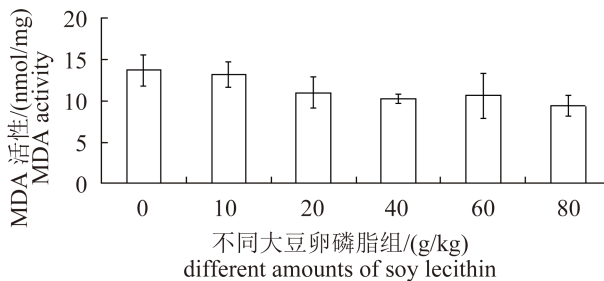


图6 饲料中大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肝胰腺中MDA活性的影响

Fig. 6 The effects of dietary soy lecithin on the serum MDA activity of *P. trituberculatus*

C18:2脂肪酸的含量高于其他各组的含量, 而随着SL添加量的增加, n-3/n-6无显著性差异( $P > 0.05$ ) (表4)。

三疣梭子蟹幼蟹饲料SL添加量为0~40 g/kg时, C18:2的含量极显著降低( $P < 0.01$ ), n-3PUFA含量虽然无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但当SL的添加量为40 g/kg时, n-3PUFA的含量高于其他组; 随着SL添加量的继续增加, C18:2的含量显著升高( $P < 0.05$ ), n-3PUFA含量极显著降低( $P < 0.01$ ) (表5)。当SL添加量为0~40 g/kg时, C20:5和C22:6脂肪酸含量及n-3/n-6显著升高( $P < 0.05$ ), 随着SL添加量的进一步增加, C20:5和C22:6显著降低( $P < 0.05$ ), 而n-3/n-6含量极显著降低( $p < 0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹生长性能的影响

大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹的生长性能

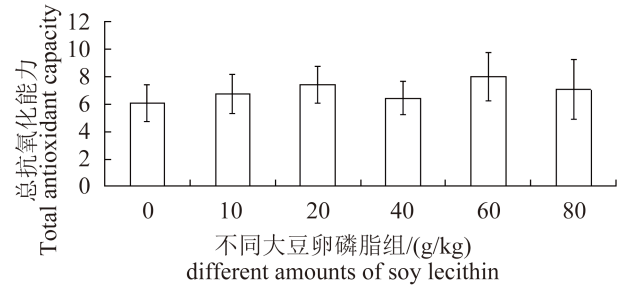


图5 饲料中大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肝胰腺中总抗氧化能力的影响

Fig. 5 The effects of dietary soy lecithin on the serum T-AOC activity of *P. trituberculatus*

有着显著的影响( $P < 0.05$ )。SL添加量为0~40 g/kg时, WGR、MR、PER和MR随着SL添加量的增加而显著升高, 而FCR随着添加量的增加而降低, 说明SL在三疣梭子蟹幼蟹的生长中起着重要的作用。Coutteau等<sup>[13]</sup>认为添加了1.5%纯化SL的饲料能够促进凡纳滨对虾后期幼体的生长。Thongrod等<sup>[14]</sup>也认为添加了卵磷脂的饲料能促进墨吉对虾(*Penaeus merguensis*)的生长, 并以特定生长率为指标, 通过二次回归模型得出其饲料中最适大豆卵磷脂的需求量为41.96 g/kg。这与Li等<sup>[15]</sup>以初重为22.22 g的三疣梭子蟹和Paibulkichakul等<sup>[16]</sup>以斑节对虾幼虾为研究对象的研究结果一致。但Coutteau等<sup>[17]</sup>认为饲料中添加23%蛋黄磷脂投喂初始体质量为0.3 mg的凡纳滨对虾, 得出凡纳滨对虾对磷脂需要量为6.5%, 与本实验结果不同的原因可能与磷脂添加形式或者研究物种不同有关。

#### 3.2 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹血液生化指标的影响

血清中TP的含量一般反映了动物的营养与代谢状况, 若动物体内氮沉积和蛋白质合成作用增强, 则血清中TP含量增加<sup>[18]</sup>, 这样也间接反映了机体的免疫水平的高低。本实验的研究结果表明, 随着饲料中SL添加量的增加, 血清TP的含量无显著性差异, 但是当SL添加量为20 g/kg时, 血清中TP的含量显著高于其他组。CHO是动物组织细胞不可或缺的重要物质, 它不仅参与形成细胞膜还参与合成胆汁酸、维生素D以及甾体激素的原料, CHO含量的高低可以反映肝脏脂肪代谢的状况<sup>[19]</sup>。体内TG积聚的量能够影响到脂肪肝的程度, 徐文<sup>[20]</sup>研究显示, TG积聚

表 4 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹肌肉中脂肪酸组成的影响  
**Tab. 4 Fatty acid composition of juvenile *P. trituberculatus* breast muscle fed the different dietary soy lecithin levels for 8 weeks (% of total fatty acids)**

	大豆卵磷脂含量/(g/kg) dietary soy lecithin levels					
	0	10	20	40	60	80
C14:0	0.46±0.04	0.47±0.10	0.44±0.07	0.43±0.09	0.42±0.10	0.50±0.10
C16:0	15.77±0.94 <sup>a</sup>	15.63±0.96 <sup>a</sup>	16.16±1.11 <sup>a</sup>	16.55±0.86 <sup>ab</sup>	17.61±0.93 <sup>b</sup>	16.95±0.18 <sup>ab</sup>
C18:0	11.96±0.26	12.19±0.83	11.88±0.56	11.41±0.61	11.56±0.71	12.17±0.19
∑SFA	28.18±0.70	28.28±1.57	28.48±1.09	28.39±0.55	29.59±0.78	29.61±0.32
C18:1n-9	17.01±1.21 <sup>b</sup>	15.85±0.85 <sup>bc</sup>	15.20±0.70 <sup>ab</sup>	15.23±0.82 <sup>ab</sup>	14.66±0.59 <sup>ab</sup>	13.94±0.98 <sup>a</sup>
C20:1n-9	0.40±0.06	0.37±0.06	0.41±0.05	0.40±0.06	0.38±0.05	0.40±0.04
∑MUFA	17.41±1.27 <sup>c</sup>	16.21±0.80 <sup>bc</sup>	15.61±0.66 <sup>ab</sup>	15.63±0.77 <sup>ab</sup>	15.04±0.63 <sup>ab</sup>	14.34±1.01 <sup>a</sup>
C18:3n-3	0.75±0.09 <sup>e</sup>	0.76±0.03 <sup>e</sup>	0.68±0.09 <sup>bc</sup>	0.57±0.03 <sup>ab</sup>	0.55±0.10 <sup>ab</sup>	0.45±0.13 <sup>a</sup>
C20:5n-3	15.36±1.35	15.49±1.74	16.26±0.47	15.78±1.37	15.81±0.89	16.28±0.97
C22:6n-3	15.46±1.28	16.06±1.51	15.89±0.27	16.10±0.80	16.11±0.94	16.11±0.64
∑n-3PUFA	31.58±2.54	32.31±3.26	32.83±0.65	32.45±1.12	32.48±0.23	32.84±0.40
C18:2n-6	21.08±1.20	21.34±0.81	21.24±0.64	22.02±1.43	21.38±0.30	21.37±0.90
C20:2n-6	2.16±0.29	2.09±0.60	2.00±0.36	1.81±0.41	1.58±0.04	1.80±0.13
C20:4n-6	0.75±0.15	0.89±0.26	0.93±0.17	0.67±0.11	0.87±0.26	0.89±0.22
∑n-6PUFA	23.99±0.81	24.32±1.12	24.17±0.49	24.50±1.00	23.83±0.34	24.05±0.69
DHA/EPA	1.01±0.01	1.04±0.03	0.98±0.01	1.03±0.13	1.02±0.11	0.99±0.09
n-3/n-6PUFA	1.32±0.15	1.33±0.19	1.36±0.03	1.33±0.10	1.36±0.03	1.37±0.05

量的增高会增加脂肪肝的患病率, 本实验结果表明, TG随着饲料中SL含量的增加而无显著性差异, 而血清中CHO的含量随着SL含量的增加在一定范围内显著升高, 当SL的含量为20 g/kg时, 血清中CHO的含量高于其他组, 这可能是SL在一定范围内抑制了三疣梭子蟹肝胰腺脂肪代谢, 使血清中CHO的含量升高, Vasagam等<sup>[21]</sup>认为添加磷脂组的*Litopenaeus stylirostris*体内的CHO明显高于其他组, 与本实验结果相似。GLU是反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态以及内分泌机能的一个重要指标, 本实验结果, 当SL的含量在0~40 g/kg时, 血清中GLU的含量升高, 然后随着SL添加量的升高而无显著性变化( $P>0.05$ )。本实验结果表明, 不同SL对血液中TP和TG均无显著性影响。

### 3.3 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹抗氧化能力和非特异性免疫的影响

SOD是一种源于生命体的活性物质, 能够

消除生物体在新陈代谢过程中产生的有害物质, 同时也是生物体内一种重要抗氧化防御酶, 能够控制自由基引起的质膜过氧化<sup>[22]</sup>。SOD的活性能够作为虾蟹类免疫反应的一个重要指标<sup>[23-24]</sup>, 本实验结果表明, 当SL添加量为0~60 g/kg时, 肝胰腺中SOD的活性显著升高, 说明饲料中添加一定量的SL能够提高三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中的SOD活性。T-AOC主要是抗氧化物质体系及其酶体系抗氧化能力的总和, 能够反映机体自由基的代谢情况<sup>[25]</sup>。而本实验结果表明, 随着SL的添加各组间肝胰腺中的T-AOC无显著性差异, 但是SL添加组的总抗氧化能力高于未添加组。MDA在生物体内是自由基作用于脂质发生过氧化反应的产物, 具有细胞毒性, 可以作为机体内脂质过氧化程度的指标, 能够间接地反映出细胞损伤的程度<sup>[26-27]</sup>; 但是本实验结果表明, 随着SL添加量的增加肝胰腺中MDA含量无显著性差异, T-AOC和SOD都能够清除机体的自由基, 可以显

表5 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中脂肪酸组成的影响  
**Tab. 5 Fatty acid composition of juvenile *P. trituberculatus* hepatopancreas fed the different dietary soy lecithin levels for 8 weeks (% of total fatty acids)**

	大豆卵磷脂含量/(g/kg) dietary soy lecithin levels					
	0	10	20	40	60	80
C14:0	1.16±0.02 <sup>ab</sup>	1.24±0.07 <sup>ab</sup>	1.36±0.11 <sup>c</sup>	0.73±0.15 <sup>a</sup>	1.32±0.13 <sup>c</sup>	1.10±0.10 <sup>b</sup>
C16:0	14.82±0.43 <sup>a</sup>	16.01±0.50 <sup>a</sup>	16.33±0.41 <sup>a</sup>	15.17±1.81 <sup>a</sup>	16.05±0.25 <sup>a</sup>	18.00±0.62 <sup>b</sup>
C18:0	6.70±0.33 <sup>ab</sup>	6.22±0.02 <sup>ab</sup>	5.69±0.74 <sup>a</sup>	8.90±0.36 <sup>c</sup>	7.33±1.35 <sup>b</sup>	6.47±0.65 <sup>ab</sup>
C20:0	0.53±0.5	0.52±0.03	0.57±0.05	0.67±0.19	0.59±0.06	0.70±0.10
C24:0	0.25±0.01 <sup>ab</sup>	0.26±0.01 <sup>ab</sup>	0.28±0.03 <sup>ab</sup>	0.23±0.14 <sup>a</sup>	0.30±0.05 <sup>ab</sup>	0.36±0.02 <sup>b</sup>
∑SFA	23.45±0.15 <sup>a</sup>	24.24±0.38 <sup>ab</sup>	24.21±0.36 <sup>ab</sup>	25.70±1.98 <sup>bc</sup>	25.58±1.12 <sup>bc</sup>	26.62±1.29 <sup>c</sup>
C16:1n-7	1.17±0.04 <sup>b</sup>	1.23±0.06 <sup>b</sup>	1.37±0.16 <sup>b</sup>	0.82±0.28 <sup>a</sup>	1.34±0.17 <sup>b</sup>	1.15±0.16 <sup>b</sup>
C18:1n-9	30.97±0.26	29.03±2.22	27.72±1.31	30.25±3.26	29.01±0.67	27.82±2.69
C20:1n-9	1.46±0.09 <sup>ab</sup>	1.29±0.16 <sup>c</sup>	1.41±0.11 <sup>a</sup>	1.75±0.02 <sup>b</sup>	1.50±0.31 <sup>ab</sup>	1.77±0.13 <sup>b</sup>
C22:1n-9	0.74±0.05	0.74±0.02	0.86±0.06	0.74±0.35	0.88±0.06	1.04±0.15
C24:1n-9	0.29±0.02	0.30±0.01	0.32±0.03	0.23±0.08	0.29±0.01	0.31±0.04
∑MUFA	34.62±0.46	32.58±2.42	31.67±1.26	33.78±3.09	33.01±0.87	32.08±2.53
C18:3n-3	1.91±0.08 <sup>b</sup>	1.86±0.04 <sup>b</sup>	2.32±0.30 <sup>b</sup>	0.95±0.50 <sup>a</sup>	0.88±0.59 <sup>a</sup>	1.16±0.19 <sup>a</sup>
C20:5n-3	2.67±0.05 <sup>a</sup>	2.33±0.07 <sup>a</sup>	2.85±0.03 <sup>a</sup>	3.74±0.40 <sup>b</sup>	2.82±0.02 <sup>a</sup>	2.78±0.42 <sup>a</sup>
C22:6n-3	5.71±0.21 <sup>ab</sup>	5.70±0.06 <sup>ab</sup>	5.84±0.08 <sup>ab</sup>	6.39±0.30 <sup>b</sup>	5.44±0.13 <sup>a</sup>	5.32±0.29 <sup>a</sup>
∑n-3PUFA	10.28±0.18 <sup>bc</sup>	9.88±0.16 <sup>ab</sup>	11.01±0.25 <sup>c</sup>	11.07±0.89 <sup>c</sup>	9.13±0.48 <sup>a</sup>	9.26±0.62 <sup>a</sup>
C18:2n-6	28.34±0.62 <sup>bc</sup>	30.12±1.78 <sup>c</sup>	30.29±1.58 <sup>c</sup>	24.08±0.96 <sup>a</sup>	28.79±0.66 <sup>bc</sup>	27.79±0.90 <sup>b</sup>
C20:2n-6	2.95±0.19 <sup>ab</sup>	2.81±0.08 <sup>ab</sup>	2.44±0.26 <sup>a</sup>	4.75±0.28 <sup>c</sup>	3.13±0.40 <sup>b</sup>	3.78±0.58 <sup>bc</sup>
C20:4n-6	0.37±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	0.39±0.02 <sup>a</sup>	0.95±0.56 <sup>b</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	0.47±0.06 <sup>a</sup>
∑n-6PUFA	31.65±0.79 <sup>ab</sup>	33.30±1.88 <sup>b</sup>	33.12±1.86 <sup>b</sup>	29.78±0.49 <sup>a</sup>	32.29±0.24 <sup>b</sup>	32.03±0.70 <sup>b</sup>
DHA /EPA	2.14±0.04 <sup>ab</sup>	2.45±0.04 <sup>b</sup>	2.05±0.05 <sup>a</sup>	1.78±0.38 <sup>a</sup>	1.93±0.05 <sup>a</sup>	1.93±0.21 <sup>a</sup>
n-3/n-6 PUFA	0.33±0.01 <sup>bc</sup>	0.30±0.01 <sup>bc</sup>	0.33±0.03 <sup>c</sup>	0.37±0.03 <sup>d</sup>	0.28±0.02 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>ab</sup>

示机体的抗氧化水平<sup>[28-30]</sup>。本实验结果表明,当饲料中SL添加量为60 g/kg时,肝胰腺中SOD和T-AOC活性最高。GPX是广泛存在于生物体内的一种重要的过氧化物分解酶,能减轻有机氢过氧化物对机体的损伤,调节机体防御反应。本实验结果,当SL添加量为40 g/kg时,GPX活性最高。这与董宏坡等<sup>[17]</sup>在对花尾胡椒鲷(*Plectorhynchus cinctus*)幼鱼的实验结果相似,这说明饲料中添加SL可以提高三疣梭子蟹幼蟹的抗氧化防御系统的机能。

LSZ是一种水解致病菌中粘多糖的碱性酶,也是吞噬细胞杀菌的物质基础,能够担负起机

体防御的功能<sup>[31]</sup>。本实验表明,饲料中SL对三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中LSZ没有显著性影响,但是当饲料中SL添加量为40 g/kg时,LSZ活性最大。这说明SL在一定范围内可以提高三疣梭子蟹幼蟹的非特异性免疫的机能,

### 3.4 大豆卵磷脂对三疣梭子蟹肌肉和肝胰腺中脂肪酸组成的影响

三疣梭子蟹在生长过程中自身合成的磷脂有限<sup>[32-33]</sup>,因此,三疣梭子蟹生长过程中必须从外界摄取。在甲壳动物生殖的过程中,脂类起着重要的作用<sup>[34]</sup>,尤其是高度不饱和脂肪酸(如



DHA和EPA), DHA和EPA在卵黄合成和胚胎发育过程中是不可或缺的。并且, 卵磷脂也为性腺发育提供必需的营养成分, 能够促进亲体正常性成熟, 提高孵化率<sup>[35-41]</sup>。另外, 卵磷脂还能提高必需脂肪酸的利用, 减少饲料中高不饱和脂肪酸的添加<sup>[42]</sup>。本实验结果表明, 饲料中添加不同比例的SL对三疣梭子蟹幼蟹的肌肉脂肪酸和肝胰腺脂肪酸的组成影响有差异性, 这与Izquierdo等<sup>[43]</sup>研究结果相同。肌肉中DHA、EPA含量随着SL的添加无显著性差异, 而肝胰腺中DHA、EPA的含量随着SL的添加量的增加有显著性差异。当SL添加量为40 g/kg时, 肝胰腺中DHA、EPA的含量最高。随着SL添加量的进一步增加, 肌肉中的C18:2无显著性差异, 而肝胰腺中的C18:2的含量在磷脂添加量为40 g/kg时极显著性低于其他各组, 肝胰腺中的n-3 PUFA含量在磷脂添加量为40 g/kg时高于其他各组, 这说明饲料中添加SL能够降低肝胰腺中的C18:2的含量, 提高肝胰腺中的n-3 PUFA含量。曹俊明等<sup>[44]</sup>对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)的研究发现, 添加磷脂的饲料组能够提高草鱼肝脏中亚油酸(C18:2)的含量, 导致这种结果不同的原因可能是研究的物种不同, 三疣梭子蟹可以将肝胰腺中的C18:2大量转化为n-3HUFA, 这与王凤美<sup>[7]</sup>的研究结果一致。本实验结果表明, 饲料中添加SL可提高三疣梭子蟹幼蟹肝胰腺中的DHA、EPA和n-3HUFA的含量。

#### 4 总结

饲料中添加适量的SL可以提高三疣梭子蟹的生长性能。根据折线模型, 三疣梭子蟹幼蟹对SL适宜需要量为41.96 g/kg。与此同时, 饲料中适宜的SL能显著提高血清中GPX活性, 而对LSZ活性、抗氧化性能及血清中MDA含量无显著性影响, 但是在一定范围内, SL可提高LSZ活性。饲料中添加SL对肌肉中脂肪酸组成无显著性影响, 但当SL添加量为20~40 g/kg时, 能够提高肝胰腺中DHA、EPA的含量, 另外饲料中添加SL可以降低三疣梭子蟹肝胰腺中C18:2的含量提高n-3HUFA的含量, 说明添加SL磷脂可以降低饲料中鱼油添加量, 节省成本。

#### 参考文献:

[1] Tocher D R, Bendiksen E Å, Campbell P J, *et al.* The

role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1-4): 21-34.

- [2] 卢素芳. 磷脂在黄颡鱼仔稚鱼人工微粒饲料中应用及其作用机理的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.  
Lu S F. Study on application and mechanism of phospholipids supplemented in microdiets of *Pelteobagrus fulvidraco* larvae[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese).
- [3] 孙燕军, 朱振凯. 卵磷脂在水产动物营养中的作用和饲料中的应用[J]. *水产科技情报*, 2004, 31(2): 73-75, 87.  
Sun Y J, Zhu Z K. The Effect of lecithin on the nutrition of aquatic animals and the application to feeds[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2004, 31(2): 73-75, 87 (in Chinese).
- [4] 宋文新, 邵庆均. 水产动物的卵磷脂营养[J]. *饲料工业*, 2008, 29(14): 45-47.  
Song W X, Shao Q J. Lecithin nutrition of aquatic animals[J]. *Feed Industry*, 2008, 29(14): 45-47 (in Chinese).
- [5] Coutteau P, Geurden I, Camara M R, *et al.* Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture[J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1-4): 149-164.
- [6] 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.
- [7] 王凤美. 不同生长阶段凡纳滨对虾对卵磷脂、胆固醇和n-3HUFA需要量的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.  
Wang F M. Study on the requirements of the dietary phosphatidylcholine, cholesterol and n-3HUFA at different growth stages of *Litopenaeus vannamei*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013 (in Chinese).
- [8] 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.  
Cheng Y X, Yan S L, Wang W, *et al.* Effect of dietary polyunsaturated fatty acids, phospholipids on the survival and growth of *Eriocheir sinensis* from the

- megalopa to the juvenile[J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(1): 9-15 (in Chinese).
- [9] Sui L Y, Wille M, 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.
- [10] Wen X B, Chen L Q, Zhou Z L, *et al.* Reproduction response of Chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) fed different sources of dietary lipid[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2002, 131(3): 675-681.
- [11] 吴旭干, 成永旭, 常国亮, 等. 亲本强化培育对中华绒螯蟹雌体生殖性能和Z<sub>1</sub>幼体质量的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 757-764.
- Wu X G, Cheng Y X, Chang G L, *et al.* Effect of enriching broodstock on reproductive performance and Z<sub>1</sub> quality of *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 757-764 (in Chinese).
- [12] Hultmark D, Steiner H, Rasmuson T, *et al.* Purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia*[J]. European Journal of Biochemistry, 1980, 106(1): 7-16.
- [13] Coutteau P, Camara M R, Sorgeloos P. The effect of different levels and sources of dietary phosphatidylcholine on the growth, survival, stress resistance, and fatty acid composition of postlarval *Penaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 1996, 147(3-4): 261-273.
- [14] Thongrod S, Boonyaratpalin M. Cholesterol and lecithin requirement of juvenile banana shrimp, *Penaeus merguensis*[J]. Aquaculture, 1998, 161(1-4): 315-321.
- [15] Li X Y, Wang J T, Han T, *et al.* Effect of dietary phospholipids levels and sources on growth performance, fatty acid composition of the juvenile swimming crab, *Portunus trituberculatus*[J]. Aquaculture, 2014, 430: 166-172.
- [16] Paibulkichakul C, Piyatiratitivorakul S, Kittakoop P, *et al.* Optimal dietary levels of lecithin and cholesterol for black tiger prawn *Penaeus monodon* larvae and postlarvae[J]. Aquaculture, 1998, 167(3-4): 273-281.
- [17] 董宏坡, 陈彦, 谢仰杰, 等. 卵磷脂对花尾胡椒鲷幼鱼谷胱甘肽-硫-转移酶, 谷胱甘肽 过氧化物酶和DNA完整性的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(4): 25-28.
- Dong H P, Chen Y, Xie Y J, *et al.* Effect of lecithin on the glutathione S-transferase, glutathione peroxidase activities and DNA integrity of juvenile *Plectrolychnus cinctus*[J]. Marine Sciences, 2004, 28(4): 25-28 (in Chinese).
- [18] Luo X G, Dove C R. Effect of dietary copper and fat on nutrient utilization, digestive enzyme activities, and tissue mineral levels in weanling pigs[J]. Journal of Animal Science, 1996, 74(8): 1888-1896.
- [19] 傅伟龙, 江青艳, 高萍. 动物生理学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- Fu W L, Jiang Q Y, Gao P. Animal Physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001 (in Chinese).
- [20] 徐文. 高血脂症与脂肪肝的关系探讨[J]. 医学信息, 2010, 23(7): 2098-2099.
- Xu W. Relation study of hyperlipemia and fatty liver[J]. Medical Information, 2010, 23(7): 2098-2099 (in Chinese).
- [21] Kumaraguru vasagam K P, Victor Suresh A, Chamberlain G W. Growth performance of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* in self-cleaning microcosm tanks[J]. Aquaculture, 2009, 290(3-4): 236-242.
- [22] Fridovich I. Peroxide radical and superoxide dismutases[J]. Annual Review of Biochemistry, 1995, 64(1): 97-112.
- [23] Campa-Córdova A I, Hernández-Saavedra N Y, De Philippis R, *et al.* Generation of superoxide anion and SOD activity in haemocytes and muscle of American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response to  $\beta$ -glucan and sulphated Polysaccharide[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2002, 12(4): 353-366.
- [24] Campa-Córdova A I, Hernández-Saavedra N Y, Ascencio F. Superoxide dismutase as modulator of immune function in American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Toxicology & Pharmacology, 2002, 133(4): 557-565.
- [25] 谭树华, 何典翼, 严芳, 等. 亚硝酸钠对鲫鱼肝脏丙二醛含量和总抗氧化能力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(S): 21-24.
- Tan S H, He D Y, Yan F, *et al.* Effects of NaNO<sub>2</sub> on malondialdehyde content and total antioxidative capacity in the liver of *Carassius auratus*[J]. Journal of Agro-

- Environment Science, 2005, 24(S): 21-24 (in Chinese).
- [26] Yang S P, Wu Z H, Jian J C, *et al.* Effect of marine red yeast *Rhodospiridium paludigenum* on growth and antioxidant competence of *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2010, 309(1-4): 62-65.
- [27] Ma X Y, Lin Y C, Jiang Z Y, *et al.* Dietary arginine supplementation enhances antioxidative capacity and improves meat quality of finishing pigs[J]. Amino Acids, 2010, 38(1): 95-102.
- [28] Jiang Z Y, Jiang S Q, Lin Y C, *et al.* Effects of soybean isoflavone on growth performance, meat quality, and antioxidation in male broilers[J]. Poultry Science, 2007, 86(7): 1356-1362.
- [29] Bakan N, Taysi S, Yilmaz Ö, *et al.* Glutathione peroxidase, glutathione reductase, Cu-Zn superoxide dismutase activities, glutathione, nitric oxide, and malondialdehyde concentrations in serum of patients with chronic lymphocytic leukemia[J]. Clinica Chimica Acta, 2003, 338(1-2): 143-149.
- [30] Li Y, Li M, Shi J Q, *et al.* Hepatic antioxidative responses to PCDPs and estimated short-term biotoxicity in freshwater fish[J]. Aquatic Toxicology, 2012, 120-121: 90-98.
- [31] 陈竞春, 石安静. 贝类免疫生物学研究概况[J]. 水生生物学报, 1996, 20(1): 74-78.
- Chen J C, Shi A J. Malacozoan immunobiology research: A review[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(1): 74-78 (in Chinese).
- [32] D'Abramo L R, Bordner C E, Conklin D E. Relationship between dietary phosphatidylcholine and serum cholesterol in the lobster *Homarus* sp.[J]. Marine Biology, 1982, 67(2): 231-235.
- [33] Teshima S, Kanazawa A, Koshio S. Ability for bioconversion of n-3 fatty acids in fish and crustacean[J]. Oceanis, 1992, 18: 67-75.
- [34] Baby W A, Lawrence A L. Reproduction of *Penaeus* species in captivity[M]//Fast A W, Lester L J. Marine Shrimp Culture: Principles and practices. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 1992: 93-170.
- [35] Middleditch B S, Missler S R, Hines H B, *et al.* Metabolic profiles of penaeid shrimp: Dietary lipids and ovarian maturation[J]. Journal of Chromatography A, 1980, 195(3): 359-368.
- [36] Millamena O M, Pascual F P. Tissue lipid content and fatty acid composition of *Penaeus monodon* fabricius broodstock from the wild[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1990, 21(2): 116-121.
- [37] Teshima S I, Kanazawa A. Variation in lipid compositions during the ovarian maturation of the prawn[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1983, 49(6): 957-962.
- [38] Harrison K E. Broodstock nutrition and maturation diet[C]//D'Abramo L R, Conklin D E, Akiyama D M. Advances in world aquaculture vol. 6: Crustacean Nutrition. Baton Rouge, LA: The World Aquaculture Society, 1997: 390-408.
- [39] Harrison K E. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of Decapod Crustaceans: A review[J]. Journal of Shellfish Research, 1990, 9: 1-28.
- [40] Wouters R, Molina C, Lavens P, *et al.* Lipid composition and vitamin content of wild female *Litopenaeus vannamei* in different stages of sexual maturation[J]. Aquaculture, 2001, 198(3-4): 307-323.
- [41] Kanazawa A. Essential phospholipids of fish and crustacean[C]//Kaushik S J, Luquet P. Fish nutrition in practice. IV. International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, INRA. France: National Institute for Agricultural Research, 1993: 519-530.
- [42] Kontara E K M, Coutteau P, Sorgeloos P. Effect of dietary phospholipid on requirements for and incorporation of n-3 highly unsaturated fatty acids in postlarval *Penaeus japonicus* Bate[J]. Aquaculture, 1997, 158(3-4): 305-320.
- [43] Izquierdo M S, Obach A, Arantzamendi L, *et al.* Dietary lipid sources for seabream and seabass: Growth performance, tissue composition and flesh quality[J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(6): 397-407.
- [44] 曹俊明, 林鼎, 薛华, 等. 四种抗脂肪肝物质降低草鱼肝脏脂质积累的替代关系[J]. 水生生物学报, 1999, 23(2): 102-111.
- Cao J M, Lin D, Xue H, *et al.* Substitutional effects of four lipotropic agents on lipid accumulation in grass carp liver[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(2): 102-111 (in Chinese).

## Dietary soy lecithin requirement of the juvenile swimming crab (*Portunus trituberculatus*)

HOU Yingmei, YUAN Ye, LU You, MA Hongna, SUN Peng,  
LIANG Xiongpei, HUO Yawen, ZHOU Qicun\*

(Laboratory of Fish Nutrition, School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** An 8-week feeding trial was conducted to determine the optimal dietary soy lecithin requirement for juvenile swimming crabs (*Portunus trituberculatus*) reared in cement pools. Six iso-energetic and iso-lipidic experimental diets were formulated to contain graded levels of soy lecithin, which were supplemented with 0, 10 g/kg, 20 g/kg, 40 g/kg, 60 g/kg, 80 g/kg of soy lecithin respectively. The results indicated that when the dietary soy lecithin was from 0 to 40 g/kg, WR, MR, PER, SGR and MR were increased significantly, but FCR decreased significantly ( $P < 0.05$ ). The results indicated that optimal soy lecithin in the diet can improve growth performance and feed utilization for juvenile swimming crab. TP, TG and HDL concentration in serum was not affected by the dietary soy lecithin levels, but the contents of CHO and GLU were increased significantly with the soy lecithin increasing from 0 to 40 g/kg, but were not affected by the dietary soy lecithin increasing ( $P < 0.05$ ). The T-Aoc, MDA and LSZ activity in hepatopancreas were not affected by the dietary soy lecithin levels ( $P > 0.05$ ). When the dietary soy lecithin was 60 g/kg, the SOD activity in hepatopancreas was significantly higher than other diets ( $P < 0.05$ ). The content of GPX in hepatopancreas was increased significantly with the soy lecithin increasing from 0 to 40 g/kg, but was not significantly affected by the dietary soy lecithin increasing from 40 g/kg to 80 g/kg ( $P < 0.05$ ). With the soy lecithin supplementation, we also observed that the contents of DHA, EPA, C18:2 and n-3PUFA in muscle were not affected by the dietary soy lecithin ( $P > 0.05$ ), but DHA and EPA in hepatopancreas were significantly increased with the soy lecithin increasing from 0 to 40 g/kg ( $P < 0.05$ ), however they were not significantly affected by the soy lecithin increasing from 40 g/kg to 80 g/kg ( $P > 0.05$ ). With the soy lecithin increasing from 0 to 40 g/kg, the contents of C18:2 in hepatopancreas were very significantly decreased ( $P < 0.01$ ), but the contents of n-3PUFA in hepatopancreas were not significantly affected ( $P > 0.05$ ), while with the soy lecithin increasing from 40 g/kg to 80 g/kg, the contents of C18:2 in hepatopancreas were significantly increased ( $P < 0.05$ ), but the contents of n-3PUFA in hepatopancreas were very significantly decreased ( $P < 0.01$ ). The results showed that the soy lecithin in diet improved the content of n-3PUFA, DHA and EPA in hepatopancreas. Based on two slope broken-line model based on specific growth rate against dietary soy lecithin levels, the optimal dietary soy lecithin requirement was estimated at 41.96 g/kg for juvenile swimming crab.

**Key words:** *Portunus trituberculatus*; soy lecithin; requirement; fatty acid composition; anti-oxidant ability; non-specific immune; growth performance

**Corresponding author:** ZHOU Qicun. E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

**Funding projects:** Chinese National Natural Science Foundation (41476125); Science and Technology Innovation Research Team of Ningbo (2011B81003); The Open Found of Zhejiang Provincial Top Key Discipline of Aquaculture in Ningbo University