

doi: 10.7541/2017.19

四种植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化酶活性的影响

崔燕燕 张南南 马倩倩 陈 晴 沈振华 杜震宇 陈立侨

(华东师范大学生命科学学院, 上海 200241)

摘要: 为了筛选适宜于养殖中华绒螯蟹幼蟹的饲料植物蛋白源, 探究不同植物蛋白源饲料对幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化性能等方面的影响, 以50%的鱼粉配制基础饲料(记为FM), 分别采用30.5%发酵豆粕、32.5%豆粕、28%棉粕和39%菜粕替代基础饲料中鱼粉总量的50%, 配制成4种等氮等能的饲料(分别记为FSBM、SBM、CSM和RSM), 投喂初始体重为(0.249±0.003) g的中华绒螯蟹幼蟹8周。结果表明: (1)与FM组相比, FSBM、SBM和CSM组的增重率、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率和蛋白质沉积率均没有显著性差异; RSM组的增重率与FM组相比差异不显著($P>0.05$), 但显著低于SBM组($P<0.05$), 而其饲料系数则显著高于FM、FSBM及SBM组($P<0.05$), 蛋白质效率显著低于其他各组($P<0.05$), 蛋白质沉积率显著低于SBM和CSM组($P<0.05$)。 (2)不同植物蛋白组的总必需氨基酸沉积率和FM组相比差异不显著($P>0.05$), 而RSM组总必需氨基酸沉积率显著低于FSBM和CSM组($P<0.05$)。 (3)与FM组相比, 不同植物蛋白组蟹的血清和肝胰腺中超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性和肝胰腺丙二醛(MDA)含量并没有显著的影响, 而RSM组血清丙二醛(MDA)含量显著的高于其他各组($P<0.05$)。结果表明, 在幼蟹饲料中, 豆粕、发酵豆粕和棉粕替代基础配方中鱼粉的50%后并未对幼蟹的生长性能、氨基酸沉积率及抗氧化能力造成负面的影响, 发酵豆粕、豆粕和棉粕可以作为替代鱼粉的适宜蛋白源, 且添加水平约在30%左右。菜粕替代后降低了饲料的利用和氨基酸沉积效率, 这可能是由于菜粕的蛋白质消化率低、含有相应的抗营养因子和添加水平过高所致, 建议使用前应适当进行脱毒处理, 并与或和其他植物蛋白配伍使用。

关键词: 中华绒螯蟹; 植物蛋白源; 鱼粉; 生长; 氨基酸沉积; 抗氧化酶

中图分类号: S968.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2017)01-0146-09

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是我国的一种淡水名优养殖品种, 在淡水渔业中占有十分重要的地位^[1]。近年来, 随着养殖规模的迅速发展, 饲料的质量和成本成为制约该产业高效发展的主要瓶颈之一^[2]。饲料的蛋白质在饲料成本中占有较高的比重, 鱼粉由于其氨基酸组成平衡, 富含必需脂肪酸、矿物质和维生素等水产动物生长所必需的成分, 适口性好, 抗营养因子少和消化利用率高等原

因, 成为水生动物优质的蛋白来源, 是饲料配方中最主要的原料之一^[3, 4]。随着水产集约化养殖规模的不断扩大, 对鱼粉的需求与日俱增, 导致鱼粉资源日益匮乏, 价格始终居高不下^[5], 同时, 鱼粉总磷含量高, 一般为1.67%—4.21%, 过多使用鱼粉会导致环境污染, 形成富营养化水体^[6], 因此, 寻找适宜的、安全的鱼粉替代蛋白源已成为一个亟待解决的问题。

收稿日期: 2016-03-03; 修订日期: 2016-07-15

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203065); “十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD25B03); 国家自然科学基金项目(31572629, 31172422); 上海市中华绒螯蟹现代农业产业技术体系建设; 上海教育委员会研究基金(E03009)部分资助 [Supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201203065); the National Science & Technology Pillar Program during the 12th Five-year Plan Period (2012BAD25B03); the National Natural Science Foundation of China (31572629, 31172422); Construction of modern agricultural industry technology system for *Eriocheir sinensis* in Shanghai; Research Fund of Shanghai Education Committee (E03009)]

作者简介: 崔燕燕(1990—), 女, 安徽蚌埠人; 硕士; 主要从事水生动物营养研究。E-mail: 920929548@qq.com

通信作者: 陈立侨, 教授; E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn

植物蛋白源具有来源广泛、产量稳定及价格低廉等优点,是合理替代鱼粉的候选蛋白源。关于植物蛋白源在水产饲料中的应用已有广泛的研究^[7-11]。和鱼粉相比,植物蛋白的氨基酸组成不均衡,缺乏一些必需氨基酸,当饲料中植物蛋白的添加水平过高时,必需氨基酸的缺乏和组成不平衡性会明显抑制动物的生长,并降低饲料利用率^[12]。然而,有研究发现,在一定的添加范围内,植物蛋白有可能使饲料中的氨基酸配比更加合理,更适合水生动物的生长^[13,14]。由此可见,用植物蛋白源替代鱼粉,对水生动物的生长有何影响,很大程度上取决于蛋白质中氨基酸组成模式及含量。此前有关中华绒螯蟹对植物蛋白利用的研究多以生长性能作为评价指标^[15-17],来判断幼蟹对植物蛋白源的利用效果,而对饲料中必需氨基酸组成与生长、利用率的关系,以及不同种植物蛋白源对氨基酸沉积等的研究还较为有限。因此,本试验以发酵豆粕、豆粕、棉粕和菜粕四种植物蛋白源等氮替代幼蟹饲料中部分鱼粉,探究其对幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化性能等方面的影响,以此为筛选适宜于养殖幼蟹的饲料植物蛋白源提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验采用鱼油和豆油(1:1)为脂肪源,50%的鱼粉和10%的肉粉作为蛋白源配置基础饲料组(FM),按照等氮等能替代的方法,分别以30.5%发酵豆粕(FSBM)、32.5%豆粕(SBM)、28%棉粕(CSM)和39%菜粕(RSM)替代基础饲料中鱼粉的50%,共配制了4种不同植物蛋白源饲料。所有原料经粉碎后过80目筛,准确称重后按照逐级放大的原则混匀,然后加入油源和适量的水混合均匀,用F-26双螺杆挤条机(华东理工大学科技实业总厂,中国)加工成直径1 mm的颗粒,室温风干后保存在-20℃冰箱中备用。实验饲料配方见表1。

1.2 饲养管理

试验用幼蟹购于上海市崇明养殖场。幼蟹在水泥池中暂养1周后,挑选平均体重为(0.249±0.003)g的个体随机分配到20个规格为80 cm×60 cm×60 cm的水族箱中饲养。每个箱中投放30只,共5个处理组,每组设4个重复。水族箱中要放置数片拱形瓦片和数根塑料波纹管供蟹躲避栖息。养殖期间,采取饱食投喂的方法,每天投喂2次(分别为9:00和17:00),投喂2h后吸去残饵和粪便,并烘干残饵,称重以统计实际摄食饵料的重量。每天统计死亡情

况,及时将死蟹捞出并称重。用经充分曝气的养殖用水,每天换水1/3左右。试验期间不间断充气,保证每个箱内溶氧>7.0 mg/L,水温24—29℃,氨氮<0.01 mg/L,pH为8.0—8.4,养殖周期为8周。

1.3 样品分析和计算

饲养试验结束后,对每个水族箱中的幼蟹进行计数并称重,以用于计算存活率和增重率等生长指标。然后从每箱中随机取出5只蟹用于体成分分析。剩余的蟹置于冰上麻醉后,用1 mL不含抗凝剂的注射器取血淋巴,4℃静置过夜后,5000 r/min离心15min后分离血清,保存于-80℃待测。同时解剖取肝胰腺,保存在-80℃备用。

体成分分析 全蟹体组营养成分的分析,参考AOAC^[18]的标准方法。水分测定采用105℃烘干至恒重法,粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(FOSS, Kjeltec8100),粗脂肪测定采用索氏抽提法,以石油醚为抽提剂(FOSS, SoxtecTM 2055, 瑞士),灰分测定采用马弗炉灼烧法(550℃, 14h)。

抗氧化酶活性和丙二醛含量的测定 肝胰腺及血清中的超氧化物歧化酶活性、谷胱甘肽过氧化物酶活性和丙二醛含量均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定。定义谷胱甘肽过氧化物酶活力为扣除非酶促反应作用后,使反应体系中还原型谷胱甘肽浓度降低1 μmol/L为一个酶活性单位;定义超氧化物歧化酶活性为在反应体系中超氧化物歧化酶抑制率达50%时所对应的酶量为一个酶活力单位;丙二醛含量的测定原理为过氧化脂质降解产物中的丙二醛可与硫代巴比妥酸缩合,形成红色产物,在532 nm处有最大吸收峰。

饲料及全体氨基酸含量的测定 饲料中氨基酸含量采用国标测定方法(GB/T18246-2000),使用L-8900全自动氨基酸分析仪(Hitachi公司,日本)进行测定。检测了各试验组饲料和蟹体中共16种氨基酸的含量,包括9种必需氨基酸,色氨酸因在酸水解中被破坏而未检测。其中,不同饲料组的氨基酸组成含量见表2。

1.4 计算方法

生长指标及氨基酸沉积率计算公式如下:

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

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

$$\text{特定生长率(Specific growth rate, \% / d)} = [(\ln W_t - \ln W_0) / d] \times 100\%$$

$$\text{饲料系数(Feed conversion ratio)} = IF / W$$

$$\text{蛋白质效率(Protein efficiency)} = W / IN$$

$$\text{蛋白质沉积率(Protein retention ratio, \%)} = IP / IN \times 100\%$$

表1 饲料配方组成及营养成分分析

Tab. 1 Formulation and proximate analysis of the basal diets (%)

成分Ingredients (%)	试验处理组Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
鱼粉Fish meal	50	25	25	25	25
发酵豆粕Fermented soybean meal		30.5			
豆粕Soybean meal			32.5		
棉粕Cottonseed meal				28	
菜粕Rapeseed meal					39
肉粉Meat meal	10	10	10	10	10
玉米淀粉Corn starch	21	16	16	21	13
鱼油Fish oil	1	2	2	2	2
豆油Soybean oil	1	2	2	2	2
大豆卵磷脂Lecitin	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
胆固醇Cholesterol	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
多维Vitamin premix	2	2	2	2	2
多矿Mineral premix	3	3	3	3	3
氯化胆碱choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
粘合剂Binder	2	2	2	2	2
纤维素Cellulose	8.5	6	4	3.5	0.5
营养成分Nutritional composition					
粗蛋白Crude protein (%)	38.24	38.00	37.80	37.82	37.93
粗脂肪Crude lipid (%)	7.56	7.40	7.16	7.24	7.05
总能Gross energy (kJ/g)	18.56	18.45	18.50	17.40	17.57

注: 矿物质混合物组成 (g/100 g混合物): KH₂PO₄, 21.5; NaH₂PO₄, 10.0; Ca(H₂PO₄)₂, 26.5; CaCO₃, 10.5; KCl, 2.8; MgSO₄·7H₂O, 10.0; AlCl₃·6H₂O, 0.024; ZnSO₄·7H₂O, 0.476; MnSO₄·6H₂O, 0.143; KI, 0.023; CuCl₂·2H₂O, 0.015; CoCl₂·6H₂O, 0.14; Ca-lactate, 16.50; Fe-citrate, 1. 维生素混合物组成 (mg/100 g混合物): 维生素A, 420000 IU; 维生素C, 6000 mg; 维生素E, 2000 mg; 维生素D₃, 120000 IU; 维生素K, 1000 mg; 维生素B₁, 1000 mg; 维生素B₂, 1000 mg; 维生素B₆, 1600 mg; 维生素B₁₂, 2 mg; 烟酸, 5000 mg; 叶酸, 400 mg; 肌醇, 6000 mg; 生物素, 10 mg; 泛酸钙, 3500 mg

Note: Mineral mixture (g/100 g): KH₂PO₄, 21.5; NaH₂PO₄, 10.0; Ca(H₂PO₄)₂, 26.5; CaCO₃, 10.5; KCl, 2.8; MgSO₄·7H₂O, 10.0; AlCl₃·6H₂O, 0.024; ZnSO₄·7H₂O, 0.476; MnSO₄·6H₂O, 0.143; KI, 0.023; CuCl₂·2H₂O, 0.015; CoCl₂·6H₂O, 0.14; Ca-lactate, 16.50; Fe-citrate, 1. Vitamin mixture (mg/100 g): Vitamin A, 420000 IU; Vitamin C, 6000 mg; Vitamin E, 2000 mg; Vitamin D₃, 120000 IU; Vitamin K, 1000 mg; Vitamin B₁, 1000 mg; Vitamin B₂, 1000 mg; Vitamin B₆, 1600 mg; Vitamin B₁₂, 2 mg; Niacin, 5000 mg; Folic acid, 400 mg; Inositol, 6000 mg; Biotin, 10 mg; Calcium pantothenic, 3500 mg

表2 不同饲料组的氨基酸组成含量

Tab. 2 Essential amino acid composition of different diet groups (%)

氨基酸种类 Amino acid types	试验处理组Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
必需氨基酸Essential amino acids					
苯丙氨酸Phenylalanine	1.46	1.66	1.77	1.72	1.46
蛋氨酸Methionine	0.92	0.71	0.75	0.74	0.76
缬氨酸Valine	1.71	1.79	1.83	1.71	1.73
精氨酸Arginine	2.23	2.47	2.59	3.26	2.21
赖氨酸Lysine	2.32	2.28	2.30	2.02	2.08
亮氨酸Leucine	2.56	2.72	2.83	2.44	2.51
苏氨酸Threonine	1.43	1.49	1.54	1.37	1.48
异亮氨酸Isoleucine	1.44	1.55	1.62	1.33	1.40
组氨酸Histidine	0.84	0.94	0.93	0.95	0.87

氨基酸沉积率(Amino acids retention rate, %)=

$$[(IW \times a) / (IF \times b)] \times 100\%$$

其中N₀和N_t分别为最初养殖时的幼蟹个数和养殖过程中死亡的个数, W_t为幼蟹终末质量(g), W₀为幼蟹初始质量(g), W为蟹体总增重(g), IF为试验期间总摄食饲料干重(g), IN为试验期间幼蟹总摄食饲料蛋白质质量(g), IP为试验期间蟹体蛋白增加量(g), IW为蟹体总增重的干重(g), a为蟹体中该种氨基酸含量(%), b为饲料中该种氨基酸含量(%)。

1.5 数据统计

试验结果均以平均值±标准差(Mean±SD)表示, 数据用SPSS 19.0软件进行处理, 经过单因素方差分析后, 若存在显著差异(P<0.05), 则采用Duncan法进行多重比较。采用Pearson Correlation (2-tailed)进行饲料氨基酸含量和蟹体氨基酸含量的相关性分析。

2 结果

2.1 生长性能

为期8周的饲养试验结果表明, 各组幼蟹的存活率介于70%—77.33%, 且各试验组之间显著差异 ($P>0.05$) (表 3)。4种植物蛋白组的增重率与FM组相比均无显著性差异 ($P>0.05$), 而RSM组略低于FM组, 显著低于SBM组 ($P<0.05$)。FSBM、SBM和CSM组的饲料系数和FM组相比均没有显著性的差异 ($P>0.05$), 而RSM组显著高于FM、FSBM及SBM组 ($P<0.05$)。RSM组的蛋白质效率显著低于其余各组 ($P<0.05$)。4种植物蛋白组的蛋白质沉积率与FM组相比均没有显著的影响 ($P>0.05$), 而RSM组要显著低于SBM和CSM组 ($P<0.05$)。由此可见, 在替代饲料中鱼粉50%的水平下, 相对于其他三种植物蛋白源, 菜粕不利于幼蟹的生长和对饲料蛋白质的利用。

2.2 全蟹体成分

幼蟹体成分的分析结果表明 (表 4), 不同试验组间水分含量、灰分含量和脂肪含量差异均不显著; 与FM组相比, 不同植物蛋白对全体蛋白含量没有显著性的影响, 其中RSM组略低于FM组, 但显著低于SBM和CSM组 ($P<0.05$)。

2.3 幼蟹全蟹必需氨基酸的沉积

不同处理组幼蟹全蟹必需氨基酸沉积率的结果表明 (表 5), FSBM组和SBM组中各个必需氨基酸

沉积率与FM组相比均没有显著性差异 ($P>0.05$); CSM组中除精氨酸沉积率显著的低于FM组外 ($P<0.05$), 其他必需氨基酸沉积率与FM组相比无显著差异 ($P>0.05$), 或显著的高于FM组 ($P<0.05$); RSM组的必需氨基酸沉积率均低于其他各组, 其中赖氨酸和蛋氨酸沉积率显著的低于FM组 ($P<0.05$)。不同植物蛋白组的总必需氨基酸沉积率与FM组相比均没有显著性差异 ($P>0.05$), 其中, RSM组显著的低于FSBM和CSM组 ($P<0.05$), 各组由高到低依次为CSM、FSBM、FM、SBM和RSM组。不同处理组饲料氨基酸和蟹体氨基酸的相关性关系表现为极显著的正相关 ($P<0.01$), 相关性系数由大到小依次为SBM、FSBM、FM、CSM和RSM组 (表 6)。

2.4 抗氧化酶活性和丙二醛含量

不同处理组对幼蟹血清和肝胰腺超氧化物歧化酶活性、谷胱甘肽过氧化物酶活性和丙二醛含量的影响结果见表 7, 与FM组相比, 不同植物蛋白组对蟹血清和肝胰腺的抗氧化酶活性和肝胰腺丙二醛含量并没有显著的影响。而RSM组血清丙二醛含量显著的高于其他各组 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 四种植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能的影响

发酵豆粕、豆粕、棉粕和菜粕替代饲料中鱼

表 3 不同植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能和饲料利用率的影响

Tab. 3 Growth performance, feed utilization of *E. sinensis* fed on the experimental diets ($n=4$; $x\pm SD$)

测定项目Parameter	试验处理组Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
存活率Survival (%)	73.33±8.82	74.67±8.74	77.33±4.37	75.56±7.70	70±8.82
增重率Weight gain (%)	781.23±33.99 ^{ab}	753.37±56.32 ^{ab}	825.71±28.14 ^b	763.20±45.83 ^{ab}	706.78±37.15 ^a
特定生长率Specific growth rate (%)	3.89±0.07 ^{ab}	3.83±0.12 ^{ab}	3.97±0.05 ^b	3.85±0.10 ^{ab}	3.73±0.08 ^a
饲料系数Feed conversion ratio	1.4±0.09 ^a	1.54±0.05 ^a	1.44±0.07 ^a	1.59±0.07 ^{ab}	1.78±0.14 ^b
蛋白质效率Protein efficiency	1.7±0.08 ^b	1.77±0.06 ^b	1.86±0.09 ^b	1.74±0.07 ^b	1.51±0.12 ^a
蛋白质沉积率Protein retention rate (%)	15.88±1.59 ^{ab}	16.46±3.70 ^{ab}	17.04±4.44 ^b	16.69±1.32 ^b	11.76±2.79 ^a

注: 表中同一列数据中不同字母上标表示显著性差异 ($P<0.05$); 下同

Note: Different superscript letters in the same column donate significant differences between treatments ($P<0.05$); the same applies below

表 4 不同植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹全蟹体成分的影响

Tab. 4 The whole body composition of *E. sinensis* fed on the experimental diets ($n=4$; $x\pm SD$)

测定项目Parameter	试验处理组Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
水分Moisture (%)	67.18±3.92	64.74±2.57	67.1±2.69	63.26±1.96	66.89±3.40
粗蛋白Crude protein (%)	12.25±0.71 ^{ab}	12.48±1.32 ^{ab}	13.36±1.23 ^b	12.56±1.30 ^b	11.00±1.34 ^a
粗脂肪Crude lipid (%)	5.65±1.06	5.75±0.74	5.02±0.66	5.98±0.51	5.11±0.88
灰分Ash (%)	21.05±3.33	23.09±2.26	22.27±2.44	21.27±2.19	21.76±2.39

表5 不同植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹必需氨基酸沉积率的影响

Tab. 5 The whole body essential amino acids retention rate of *E. sinensis* fed on the experimental diets ($n=4$; $\bar{x}\pm\text{SD}$)

氨基酸种类 Amino acid types	试验处理组 Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
苯丙氨酸 Phenylalanine	24.80±3.59	25.93±0.97	22.84±0.2	25.97±1.18	21.04±4.69
蛋氨酸 Methionine	21.74±2.8 ^b	24.09±1.24 ^b	23.11±1.74 ^b	24.92±2.67 ^b	12.39±2.42 ^a
缬氨酸 Valine	22.18±2.71 ^{ab}	24.76±0.48 ^{bc}	22.68±0.86 ^{bc}	27.10±1.52 ^c	18.94±4.15 ^a
精氨酸 Arginine	24.33±2.1 ^b	24.63±1.32 ^b	22.54±0.93 ^{ab}	19.01±1.17 ^a	20.30±4.14 ^{ab}
赖氨酸 Lysine	19.91±1.65 ^b	20.25±0.69 ^b	19.67±0.5 ^b	23.53±1.03 ^c	14.67±2.75 ^a
亮氨酸 Leucine	20.04±2.55 ^{ab}	21.53±0.83 ^{bc}	19.42±0.36 ^{ab}	25.09±1.08 ^c	16.74±3.44 ^a
苏氨酸 Threonine	22.97±2.95 ^{ab}	26.22±0.73 ^{bc}	24.03±0.59 ^{ab}	29.84±1.49 ^c	19.97±4.24 ^a
异亮氨酸 Isoleucine	22.51±2.85 ^{ab}	24.06±0.96 ^b	21.43±0.5 ^{ab}	28.92±1.42 ^c	18.80±3.99 ^a
组氨酸 Histidine	24.99±3.04	28.04±2.72	23.72±0.79	28.29±3.02	22.44±4.93
总必需氨基酸 Total essential amino acids	21.56±3.60 ^{ab}	24.84±1.06 ^b	20.85±2.16 ^{ab}	25.71±2.63 ^b	15.68±5.67 ^a

表6 不同处理组饲料氨基酸和蟹体氨基酸相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis between diets amino acids and the whole body amino acids of *E. sinensis* fed on the experimental diets ($n=4$; $\bar{x}\pm\text{SD}$)

项目 Item	试验处理组 Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
相关系数 Correlation factor	0.955 **	0.965 **	0.969 **	0.916 **	0.845 **
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

注: **表示相关性为显著; 显著水平为0.01

Note: ** Indicates a significant correlation; the significance level is 0.01

粉的50%对幼蟹的生长影响各不相同。其中, 发酵豆粕和棉粕表现出与鱼粉对照组相接近的效果, 豆粕略高于鱼粉, 而菜粕略低于鱼粉。由此可见, 相对其他几种植物蛋白, 豆粕是一种比较优质的蛋白原料。研究表明, 在一些鱼类饲料中可以添加较高比例的豆粕, 甚至完全用豆粕替代鱼粉而不影响其生长性能^[19]。在有关甲壳动物如中华绒螯蟹^[15]、罗氏沼虾^[20]、红螯螯虾^[21]及斑节对虾^[22]的研究中也得到了相似的结果。不同植物蛋白对凡纳滨对虾^[23]和罗非鱼^[24]影响的研究发现, 豆粕替代组的生长情况最佳。这可能是由于豆粕的蛋白质含量高、氨基酸组成合理以及消化利用率较高等所致。但豆粕中含有抗营养因子, 适口性欠佳, 缺乏一些必需氨基酸和脂肪酸会限制其在水生饲料中的应用^[25-27], 微生物发酵技术能够在一定程度上改善这种状况。豆粕经微生物发酵之后, 其原有的抗营养因子被降解或破坏, 大分子蛋白被降解为较小的片段, 同时还会产生一些具有未知生长因子的发酵产物。因此, 发酵豆粕具有较高的营养价值和较高的可利用性^[28, 29]。目前, 国内生产发酵豆粕的厂家众

多, 导致产品营养成分和品质差别较大。同时, 关于豆粕发酵前后品质的改善和优化程度(比如抗营养因子的减少程度等)尚无完善的评估体系^[30]。在本试验中, 发酵豆粕和豆粕替代饲料中鱼粉的50%后均未对幼蟹的生长造成不利影响, 而有关发酵豆粕和豆粕之间营养成分的差异和使用效果仍有待进一步的研究。

棉粕作为另一种常见的植物蛋白源也被广泛的用于饲料行业中, 但是由于其赖氨酸含量不足, 在中华绒螯蟹配合饲料中, 常常与豆粕等赖氨酸含量高的植物蛋白源配伍使用, 或者是额外添加赖氨酸使用^[16, 17]。在本试验中, 单独添加棉粕的水平为28%时, 并未对幼蟹的生长造成任何不利的影响, 但会降低其饲料效率。陈亮等^[31]研究表明棉粕替代鱼粉的比例高于24%就会影响幼蟹的生长和饲料利用率。对凡纳滨对虾^[32]和一些鱼类的研究^[33]也表明, 饲料中棉粕的用量不应超过30%, 原因可能是棉粕中含有大量的游离棉酚, 与赖氨酸结合而降低赖氨酸的活性, 从而限制了棉粕的有效利用, 降低了饲料利用率^[31]。综合考虑生长性能和饲料利用效率可知, 幼蟹配合饲料中棉粕可作为一种鱼粉的候选替代蛋白源, 但需要合理添加和使用。

相对其他几种植物蛋白, 添加39%菜粕替代同等蛋白质含量的鱼粉时, 幼蟹的生长性能、饲料系数和蛋白质效率都是最差的。这与在凡纳滨对虾^[23]、奥尼罗非鱼^[24]和花鲈^[34]中的研究结果是一致的。提示菜粕在水生动物饲料中的使用具有局限性, 一方面是由于菜粕的蛋白质消化率较低^[35], 另一方面菜粕中存在的大量抗营养因子和较高的纤维素含量, 限制了其在水产动物中的添加量。建议使用菜籽粕前应适当进行脱毒处理, 或者其他

表 7 不同植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹血清和肝胰腺的抗氧化相关指标的影响

Tab. 7 Specific activity of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-PX) and malonaldehyde (MDA) content in serum and hepatopancreas of *E. sinensis* fed on the experimental diets ($n=4$; $x\pm SD$)

测定项目Item	试验处理组Treatment				
	FM组	FSBM组	SBM组	CSM组	RSM组
血清SOD serum SOD (U/mL)	15.01±1.87	15.19±2.19	15.31±1.73	15.84±0.56	13.40±2.23
血清GSH-PX serum GSH-PX (U/mL)	132.78±36.49 ^{ab}	105.00±41.94 ^{ab}	160.56±29.45 ^b	161.39±31.18 ^b	92.22±41.16 ^a
血清MDA serum MDA (nmol/mL)	6.59±2.14 ^a	7.72±1.29 ^a	5.80±1.86 ^a	6.95±2.00 ^a	11.78±2.22 ^b
肝胰腺SOD hepatopancreas SOD (U/mgprot)	30.01±4.64	25.66±5.51	26.75±5.33	29.18±6.70	25.59±2.18
肝胰腺GSH-PX hepatopancreas GSH-PX (U/gprot)	152.21±31.02	176.66±52.14	205.82±60.72	152.89±14.57	163.56±53.90
肝胰腺MDA hepatopancreas MDA (mmol/mgprot)	2.91±0.42	2.59±0.68	2.99±0.45	3.48±1.50	4.32±1.19

植物蛋白配伍使用。

3.2 四种植物蛋白对幼蟹体成分和氨基酸沉积率的影响

各种植物蛋白替代50%的鱼粉后并没有对全蟹水分、粗脂肪和灰分含量造成显著性的差异,而全蟹体蛋白含量是有差异的,其中,豆粕组和棉粕组最高,发酵豆粕组次之,菜粕组最低。同时,幼蟹体蛋白含量的差异导致了蛋白质沉积率也有所不同,表现为菜粕组的蛋白质沉积率显著的低于其他各组。实际上,不同植物蛋白对各种氨基酸可利用价值也不是均等的,这将导致氨基酸在机体内的沉积情况也有所不同。并且饲料中氨基酸在机体内的沉积效率能够进一步反映饲料的质量^[36]。在本研究中,不同植物蛋白替代50%的鱼粉后,并不会影响蟹体总必需氨基酸沉积效率。其中,棉粕组和发酵豆粕组总必需氨基酸沉积率比鱼粉组有所提高,结合植物蛋白替代组中若干种单一氨基酸沉积率的显著升高,提示添加一定比例的植物蛋白源有可能使饲料中的氨基酸配比更趋合理,从而提高氨基酸在机体内的沉积效率,已有学者的试验研究支持了本文的结果^[13, 14]。而菜粕组的总必需氨基酸沉积率要低于鱼粉组,由此可见,不论从蟹的生长、饲料利用,还是氨基酸沉积效率,菜粕的蛋白品质和使用效果都是最差的。

在配制幼蟹饲料时,我们不仅要关注所选饲料组分中各种氨基酸的沉积情况,还要了解以植物蛋白为蛋白源的配合饲料提供的氨基酸能否满足幼蟹的需求。常用的研究方法是通过分析动物体氨基酸组成,来估算必需氨基酸的需求量^[37],一些研究表明机体组织的必需氨基酸组成和饲料中的氨基酸的需要存在明显的相关关系^[38, 39]。在本实验中,不同试验组饲料氨基酸和全体氨基酸之间的相关性系数介于0.845—0.969,均为显著的正相关关系,表明不同植物蛋白替代鱼粉的50%后能够满足幼蟹对于氨基酸的需求。且相关性系数的高低反

映了饲料的氨基酸组成与蟹体氨基酸组成的匹配程度。结合生长的结果可知,四种植物蛋白使用效果依次为豆粕、发酵豆粕、棉粕和菜粕。

3.3 四种植物蛋白对幼蟹抗氧化性能的影响

有很多研究将水生动物所承受的氧化胁迫和自身抗氧化机能的变化情况作为水生动物对植物蛋白利用的重要评价指标^[17, 23, 24]。超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶是抗氧化体系中重要的两种酶类,其活性的大小能够反映生物体生长发育、体内代谢状态和外界环境胁迫的变化等^[40]。丙二醛是脂质过氧化的产物,根据其含量高低可以间接判断机体细胞所承受氧自由基损伤的程度^[41]。在本研究中,发酵豆粕、豆粕和棉粕分别替代50%的鱼粉后并未对幼蟹的抗氧化性能产生负面的影响,这可能与饲料中这几种植物蛋白的添加量较为合适有关(30%左右)。菜粕替代50%的鱼粉后,幼蟹血清中丙二醛含量显著升高,结合其生长性能较差,提示添加水平为39%的菜粕可能会引起幼蟹细胞氧化损伤,而影响了机体健康和生长。这可能是由于菜粕中含有一些有害物质如硫代葡萄糖苷及其代谢产物导致机体产生了氧化胁迫,降低了机体的抗氧化能力和免疫性能^[42]。由此可见,无论从生长、氨基酸沉积,还是抗氧化性能等方面,相对于其他几种植物蛋白,菜粕的使用效果都是最差的。

参考文献:

- [1] Chen K, Li E C, Yu N, *et al.* Biochemical composition and nutritional value analysis of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, grown in pond [J]. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 2013, 2(6): 165—174
- [2] Muzinic L A, Thompson K R, Metts L S, *et al.* Use of turkey meal as partial and total replacement of fish meal in practical diets for sunshine bass (*Morone chrysops*×*Morone saxatilis*) grown in tanks [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(1): 71—81

- [3] Amaya E A, Davis D A, Rouse D B. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions [J]. *Aquaculture*, 2007, **262**(2): 393—401
- [4] Samocha T M, Davis D A, Saoud I P, *et al.* Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2004, **231**(1): 197—203
- [5] Kong Q H. The fishmeal market review in 2014 and the outlook for demand [J]. *Ocean and Fishery*, 2015, **3**: 89—93 [孔庆辉. 2014年鱼粉市场回顾及后期供需展望. 海洋与渔业, 2015, **3**: 89—93]
- [6] Cheng Z J, Hardy R W, Usry J L. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion [J]. *Aquaculture*, 2003, **218**(1): 553—565
- [7] Shimeno S, Masumoto T, Hujita T, *et al.* Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1993, **59**(1): 137—143
- [8] Shimeno S, Mima T, Imanaga T, *et al.* Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal and corn gluten meal to yellowtail diets [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1993, **59**(11): 1889—1895
- [9] Sans A, Morales A E, De la Higuera M, *et al.* Sunflower meal compared with soybean meal as partial substitutes for fishmeal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization [J]. *Aquaculture*, 1994, **128**(3): 287—300
- [10] Eusebio P S, Coloso R M. Nutritional evaluation of various plant protein sources in diets for Asian sea bass *Lates calcarifer* [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2000, **16**(2): 56—60
- [11] Millamena O M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides* [J]. *Aquaculture*, 2002, **204**(1): 75—84
- [12] Floreto E A, Bayer R C, Brown P B. The effects of soybean based diets, with and without amino acids supplementation, on growth and biochemical composition of juvenile American lobster, *Homarus americanus* [J]. *Aquaculture*, 2000, **189**(3): 211—235
- [13] Song Z D, Wang J Y, Li P Y, *et al.* Effects of replacement fishmeal with soy protein hydrolysates on growth, blood biochemistry, body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus pallas* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(1): 165—172 [宋志东, 王际英, 李培玉, 等. 酶解大豆蛋白替代鱼粉对星斑川鲈幼鱼生长、血液生化和体组成的影响. 水生生物学报, 2016, **40**(1): 165—172]
- [14] Ai Q H, Xie X J. The nutrition of *Silurus meridionalis*: effects of different levels of dietary soybean protein on growth [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(1): 57—75 [艾庆辉, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对生长的影响. 水生生物学报, 2002, **26**(1): 57—75]
- [15] Chen L Q, Du N S, Lai W. Evaluation of soybean cake as a substitute for partial fish meal in formulated diets for juvenile Chinese mitten-handed crab [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1994, **18**(1): 24—31 [陈立侨, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹种配饵中的豆饼替代部分鱼粉的适宜含量. 水产学报, 1994, **18**(1): 24—31]
- [16] Jiang H B, Chen L Q, Qin J G, *et al.* Partial or complete substitution of fish meal with soybean meal and cottonseed meal in Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* diets [J]. *Aquaculture International*, 2013, **21**(3): 617—628
- [17] Sun L M, Chen L Q, Li E C, *et al.* Effects of dietary methionine supplementation on feeding, growth and antioxidant ability of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(2): 336—343 [孙立梅, 陈立侨, 李二超, 等. 高比例棉粕饲料中补充蛋氨酸对中华绒螯蟹幼蟹摄食, 生长及抗氧化酶活性的影响. 水生生物学报, 2013, **37**(2): 336—343]
- [18] AOAC. Official Methods of Analysis: 930. 15,930.29, 920.39c [M]. 16th ed. Arlington, VA: AOAC. 1995
- [19] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, *et al.* Partial or total replacement of fishmeal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, **133**(3): 257—274
- [20] Dong Y W, Niu C J. Effects of dietary protein sources on growth and activities of digestive enzymes of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2000, **36**(2): 260—26 [董云伟, 牛翠娟. 豆粕替代鱼粉对罗氏沼虾生长和消化酶活性的影响. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2000, **36**(2): 260—263]
- [21] Muzinic L A, Thompson K R, Morris A, *et al.* Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and brewer's grains with yeast in practical diets for Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Aquaculture*, 2004, **230**(1): 359—376
- [22] Piedad-Pascual F, Cruz E M, Sumalangcay J A. Supplemental feeding of *Penaes monodon* juveniles with diets containing various levels of defatted soybean meal [J]. *Aquaculture*, 1990, **89**(2): 183—191
- [23] Wu D Y, Ye Y T, Zhang B T, *et al.* Effects of four plant protein ingredients on the growth performance, non-specific immunity and body composition of shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, **18**(2): 174—180 [伍代勇, 叶元土, 张宝彤,

- 等. 4种植物蛋白对凡纳滨对虾生长, 非特异性免疫和体成分的影响. 上海海洋大学学报, 2009, **18**(2): 174—180]
- [24] Lin S, Mai K, Tan B, *et al.* Effects of four vegetable protein supplementation on growth, digestive enzyme activities, and liver functions of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, **41**(4): 583—593
- [25] Davis S J, Morris P C. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya based diets [J]. *Aquaculture Research*, 1997, **28**(1): 65—74
- [26] Olli J J, Krogdahl A, Vabeno A. Dehulled solvent-extracted soybean meals as a protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L [J]. *Aquaculture Research*, 1995, **26**(3): 167—177
- [27] Kikuchi K. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**(1): 3—11
- [28] Xu Y Q, Zhu X Y, Yan P S. Effects of biological fermented feeds on growth, feeding and antioxidant ability of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, **42**(7): 237—240 [徐奕晴, 祝向阳, 颜培实. 生物发酵饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长, 饲料利用及抗氧化酶活性的影响. 江苏农业科学, 2014, **42**(7): 237—240]
- [29] Leng X J, Wang W L, Li X Q. Experiment on feeding *Penaeus Vannamei* Boones with fermented soybean meal as partial substitute for fish meal [J]. *Cereal and Feed Industry*, 2007, **3**: 40—41 [冷向军, 王文龙, 李小勤. 发酵豆粕部分替代鱼粉对凡纳滨对虾的影响. 粮食与饲料工业, 2007, **3**: 40—41]
- [30] Fan C G, Yin Q Q, Wang P, *et al.* Production status of fermented soybean meal and its production quality assessment [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, **24**(7): 156—159 [樊春光, 尹清强, 王鹏, 等. 发酵豆粕的生产现状及产品质量评定研究. 江西农业学报, 2012, **24**(7): 156—159]
- [31] Chen L. Effect of Dietary Cottonseed meal level on growth, some physiological and biochemical indices related in juvenile Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* [D]. Thesis for Master of Science. East China Normal University, 2010 [陈亮. 不同棉籽粕水平饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长和相关生理生化指标的影响. 硕士学位论文, 2010]
- [32] Lim C. Substitution of cottonseed meal for marine animal protein in diets for *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1996, **27**(4): 402—409
- [33] Lü J Z. Progress of cottonseed cake in fish and shrimp feed [J]. *Journal of Aquaculture*, 1993, **1**: 13—15 [吕忠进. 棉籽饼在鱼虾配合饲料中的应用进展. 水产养殖, 1993, **1**: 13—15]
- [34] Wang G X, Fu J J, Huang Y H, *et al.* Effects of partial replacement of fish meal by five plant proteins on growth performance and digestive enzymes activities of *Lateolabrax japonicus* [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, **53**(4): 866—870 [王国霞, 付晶晶, 黄燕华, 等. 5种植物蛋白源替代鱼粉对花鲈生长性能和消化酶活性的影响. 湖北农业科学, 2014, **53**(4): 866—870]
- [35] Fang J G, Liang X F, Liu L W, *et al.* Comparative research on apparent digestibility of twelve ingredients for juvenile *Cirrhinus mrigala* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(6): 1178—1186 [房进广, 梁旭方, 刘立维, 等. 麦瑞加拉鲮幼鱼对12种原料表观消化率的比较研究. 水生生物学报, 2016, **40**(6): 1178—1186]
- [36] Wu D Y, Ye Y T, Zhang B T, *et al.* Effects of four plant protein ingredients on essential amino acid retention and content in the muscle of shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Feed Industry*, 2009, **30**(10): 25—28 [伍代勇, 叶元土, 张宝彤, 等. 四种植物蛋白对凡纳滨对虾肌肉必需氨基酸组成和氨基酸沉积率的影响. 饲料工业, 2009, **30**(10): 25—28]
- [37] Phillips A M, Brockway D R. The nutrition of trout: II. Protein and carbohydrate [J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 1956, **18**(4): 159—164
- [38] Cowey C B, Tacon A G J. Fish nutrition-relevance to invertebrates [A]. In: Pruder G D, Langdon C J, Conklin D E (Eds.), Proceedings of the second international conference on aquaculture nutrition: biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition [C]. Lewes: Louisiana State University. 1983, 13—30
- [39] Wilson R P, Poe W E. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology*, 1985, **80**(2): 385—388
- [40] Holmblad T, Söderhäll K. Cell adhesion molecules and antioxidative enzymes in a crustacean, possible role in immunity [J]. *Aquaculture*, 1999, **172**(1): 111—123
- [41] Chao X M. The effect of Lipid oxidation on cell and the body [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 1986, **2**: 17—23 [曹锡清. 脂质过氧化对细胞与机体的作用. 生物化学与生物物理进展, 1986, **2**: 17—23]
- [42] Sitjà-Bobadilla A, Peña-Llopis S, Gómez-Requeni P, *et al.* Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**(1—4): 387—400

EFFECTS OF FOUR COMMONLY USED PLANT PROTEIN SOURCES ON GROWTH PERFORMANCE, AMINO ACIDS RETENTION AND ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES IN JUVENILE CHINESE MITTEN CRAB, *ERIOCHIER SINENSIS*

CUI Yan-Yan, ZHANG Nan-Nan, MA Qian-Qian, CHEN Qing, SHEN Zhen-Hua, DU Zhen-Yu and CHEN Li-Qiao
(School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) is an importantly economic species for aquaculture in China due to its desirable taste and nutrient content. In the past decades, with the continuous expansion of crab farm and artificial feed development, the increasing demand for fish meal by aquaculture industry makes fish meal an increasingly expensive and limiting commodity. This study investigated the effects of dietary partial replacement of fishmeal (FM) by four commonly used plant protein sources on juvenile Chinese mitten crab, with a basic diet containing 50% fishmeal as the control, and other four diets with 50% fishmeal replaced by 30.50% fermented soybean meal (FSBM), 32.50% soybean meal (SBM), 28% cottonseed meal (CSM), and 39% rapeseed meal (RSM). Each diet was fed to four replicates of juvenile *E. sinensis* (0.249 ± 0.003 g) for 8 weeks. The results showed that no differences were found in weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio, protein efficiency, and protein retention when compared crab fed the three test diets (FSBM, SBM, CSM) with the FM diet. The weight gain of *E. sinensis* fed RSM was not different from crab fed FM, but was lower than crab fed SBM ($P < 0.05$). Feed conversion ratio of *E. sinensis* fed RSM was higher than those fed FM, FSBM and SBM. Protein efficiency of *E. sinensis* fed RSM was lower than all other groups ($P < 0.05$). Protein retention of *E. sinensis* fed RSM was lower than crab fed SBM or CSM ($P < 0.05$). No differences were found in the contents of the whole crab body moisture, ash, crude lipid, and total essential amino acid retention rate of the four plant protein sources groups relative to the FM group. However, the whole crab crude protein content of crab fed RSM was lower than crab fed SBM or CSM ($P < 0.05$). The total essential amino acid retention of crab fed RSM was lower than crab fed FSBM or CSM ($P < 0.05$). Superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities in both serum and hepatopancreas of crab were not different when compared the groups of the four plant protein sources with the FM group. The serum malonaldehyde content of crab fed RSM was higher than crab fed all other diets ($P < 0.05$). The results indicates that partial replacement of fish meal with FSBM, SBM or CSM will not lead to any negative effects on growth performance, amino acid retention and antioxidant enzyme activities in juvenile Chinese mitten crab. Thus, FSBM, SBM or CSM can be used as alternative plant protein sources to replace fishmeal in diet for Chinese mitten crab up to 30%. However, rapeseed meal is not a suitable protein source due to the lower protein digestibility, anti-nutritional factor contents. In case where rapeseed meal must be used in the diet of *E. sinensis*, it should be used in combination with other plant protein sources, and adequate process should be conducted to lower contents of the anti-nutritional factors.

Key words: *Eriocheir sinensis*; Plant protein sources; Fishmeal; Growth; Amino acid retention; Antioxidant