

文章编号:1000-0615(2007)02-0235-06

饲料中添加谷胱甘肽对凡纳滨对虾肝胰腺 抗氧化指标和脂质过氧化物含量的影响

刘晓华^{1,2}, 曹俊明², 吴建开², 周萌², 赵红霞², 蓝汉冰², 谢从新¹

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 广东省农业科学院畜牧研究所, 广东 广州 510640)

摘要:采用1种对照饲料和5种添加不同水平还原型谷胱甘肽(GSH)(添加量分别为60、120、180、240和300 mg·kg⁻¹)的试验饲料,饲喂初始体重约为1.12 g的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*),分别命名为G₀、G₆₀、G₁₂₀、G₁₈₀、G₂₄₀和G₃₀₀组,经8周饲养后,观察饲料中不同浓度的GSH对凡纳滨对虾生长性能、肝胰腺抗氧化指标和脂质过氧化物含量的影响。结果表明,南美白对虾的增重率随着饲料中GSH添加量的增加而增加,在G₁₈₀组达到高峰,但随着GSH添加量的进一步增加,增重率呈下降趋势($P < 0.05$);饲料转化率随饲料中GSH添加量的升高而显著升高,在G₂₄₀组达到最高($P < 0.05$);成活率随饲料中GSH添加量的增加而显著提高,提高幅度为8.53%~31.69%。饲料中添加GSH能不同程度地提高凡纳滨对虾肝胰腺中抗氧化酶活力($P < 0.05$),其中G₆₀、G₁₂₀组的谷胱甘肽还原酶,G₁₂₀、G₁₈₀和G₃₀₀组的超氧化物歧化酶,G₁₂₀、G₁₈₀和G₂₄₀组的谷胱甘肽过氧化物酶活力,分别显著高于对照组G₀($P < 0.05$)。各试验组肝胰腺中GSH含量和总抗氧化能力比对照组G₀分别提高了8.93%~52.57%和3.02%~37.03%,且呈剂量—效应关系。对虾肝胰腺中的活性氧含量随着日粮中GSH添加量的增加呈现下降的趋势,其中G₁₈₀、G₂₄₀组显著低于对照组($P < 0.05$);与对照组相比,试验各组肝胰腺丙二醛含量显著降低($P < 0.05$),抗O₂⁻能力升高,在G₁₂₀、G₁₈₀、G₂₄₀和G₃₀₀组达到显著水平($P < 0.05$)。研究结果初步表明,饲料中添加一定量的GSH能提高凡纳滨对虾生长性能和肝胰腺抗氧化能力并降低脂质过氧化物含量。

关键词:凡纳滨对虾;谷胱甘肽;生长性能;抗氧化指标;脂质过氧化物

中图分类号:S 963

文献标识码:A

Effects of dietary glutathione level on growth performance, antioxidant indexes and lipid peroxide content of hepatopancreas in *Litopenaeus vannamei*

LIU Xiao-hua^{1,2}, CAO Jun-ming², WU Jian-kai², ZHOU Meng²

ZHAO Hong-xia², LAN Han-bing², XIE Cong-xin¹

(1. Fisheries Department, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

收稿日期:2006-06-02

资助项目:广东省自然科学基金资助(05006223)

作者简介:刘晓华(1967-),女,湖北武汉人,正高级畜牧师,博士研究生,主要从事畜牧、水产营养生理生化研究。Tel:027-63345589, E-mail: liuxh101@163.com

通讯作者:曹俊明, E-mail: junmcao@163.com

Abstract: A feeding experiment was conducted to determine the effects of dietary glutathione (GSH) on growth performance, antioxidant indexes and lipid peroxide content of hepatopancreas in *Litopenaeus vannamei*. The shrimp, initially weighing about 1.12 g, were fed a control diet (G_0) and five treatment diets supplemented with 60, 120, 180, 240 and 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ GSH (G_{60} , G_{120} , G_{180} , G_{240} and G_{300}) respectively. After a 8-week feeding trial, the results showed that, with the increasing of dietary GSH level, weight gain rate (WGR) of the shrimp increased, reaching the highest level at G_{180} , then significantly decreased at a higher level ($P < 0.05$). Feed conversion efficiency (FCE) increased significantly with the dietary GSH level increasing, reaching the highest at G_{240} . The shrimp survival rate of experimental groups significantly increased in comparison with that of control. Dietary GSH had a significantly effect on the activity of antioxidant enzymes in hepatopancreas: the activity of GR at G_{60} and G_{120} , SOD at G_{120} , G_{180} and G_{300} , GSH - PX at G_{120} , G_{180} and G_{240} were significantly higher than that of control ($P < 0.05$). The content of GSH and the total antioxidant ability (T-AOC) in hepatopancreas showed a dose-dependent relationship with dietary GSH level, 8.93% - 52.57% and 3.02% - 37.03% being increased of experimental groups compared with control. With dietary GSH increasing, ROS level in hepatopancreas tends to decrease, showing significant decrease at Group G_{240} and G_{300} ($P < 0.05$), MDA content of each experimental groups was significantly lower than that of control ($P < 0.05$). Dietary GSH significantly improved anti- O_2^- ability of group G_{120} , G_{180} and G_{240} ($P < 0.05$). The results of this study suggested that dietary GSH might help to improve growth performance, raise antioxidant indexes, and decrease lipid peroxide content in hepatopancreas of *Litopenaeus vannamei*.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; glutathione; growth performance; antioxidant indexes; lipid peroxide content

水生生物的健康状况与其组织中氧自由基的产生密切相关。当它们暴露于杀虫剂、重金属离子、工业污染、药物、高温、组织缺氧、氨氮(包括离子铵氮)、亚硝态氮和营养失衡等恶劣环境时,机体需氧量增加,代谢异常,引起氧化应激,最终会造成机体的氧化损伤、生长速度降低甚至死亡^[1-3]。因此,为防止氧化引起的疾病和死亡,机体必须具备一套有效的抗氧化防御机制来调节氧自由基的平衡^[4]。谷胱甘肽(glutathione, GSH)是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的含有巯基的天然三肽,作为真核细胞内普遍存在的小分子抗氧化剂,在机体内的氧自由基消除上起关键作用。目前,在仔猪^[5]、黄羽肉鸡^[6]、罗非鱼^[7]中的应用研究已经证实,饲料中添加一定量的GSH能促进动物的生长并对有关的抗氧化酶活性具有调节作用,但在甲壳动物中有关GSH对抗氧化功能的影响尚未见报道。为观察GSH对甲壳动物抗氧化能力的影响,本文以凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)为研究对象,分析了摄食不同含量GSH的饲料一定时间后,对虾生长性能、肝胰腺抗氧化指标和脂质过氧化物含量的变化。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以酪蛋白、明胶为蛋白源,鱼油和豆油为脂肪源,玉米淀粉为主要糖源配制基础饲料(表1),向基础饲料(对照组 G_0)中分别添加60、120、180、240和300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 谷胱甘肽(GSH)配制成5种试验饲料,分别称为试验 G_{60} 、 G_{120} 、 G_{180} 、 G_{240} 和 G_{300} 组。GSH购自AMRESCO公司,纯度>98.0%。饲料原料经过粉碎过60目筛,混合均匀后用SLX-80型双螺杆挤压机制成直径为1.2 mm的饲料,在45℃烘干冷却后放入密封袋中于-15℃冰箱中保存待用。

1.2 试验虾及饲养管理

凡纳滨对虾由中山大学珠海基地提供,试验开始前在循环水养殖系统中驯养2周,期间投喂基础饲料,饱食投喂,每天2次。试验开始前,停止投喂1 d,然后将始均重为每尾(1.12±0.01)g的虾随机分箱,每个水族箱放入30尾,每种饲料设4个平行。每天按体重的8%(以饲料干物质计算)投料,投喂时间为7:00、12:00、16:00和

20:00,每次投喂量为总量的30%,20%,20%和30%。观察对虾健康状况,记录死亡情况,每3周称一次体重,根据体重调整投喂量。养殖水源为天然海水用自来水稀释后,经砂滤,消毒,试验期间盐度5~8,水温25~30℃。养殖过程中不断充氧曝气,溶解氧(7.25±0.56)mg·L⁻¹,氨氮

(0.17±0.06)mg·L⁻¹,亚硝酸氮(0.018±0.008)mg·L⁻¹,pH(7.95±0.04)。试验进行8周,于2004年9月4日至10月30日在广东省农业科学院畜牧研究所水产研究室珠海试验基地进行。

表1 基础饲料配方及营养组成

Tab.1 Formulation and nutrition composition of the basal diet

%

成份 ingredient	含量 content	成份 ingredient	含量 content
酪蛋白 casein	32.5	胆固醇 cholesterol	1.0
明胶 gelatin	8.0	α-纤维素 α-cellulose	3.0
玉米淀粉 corn starch	22.4	黏合剂 binder	1.5
鱼油 fish oil	6.5	抗氧化剂 antioxidant	0.1
乌贼粉 sepia meal	2.0	多维 1) vitamin premix ¹	5.0
大豆磷脂(50%) soybean lecithin	2.0	复合矿 ² mineral premix ²	15.0
氯化胆碱(50%) choline chloride	1.0		
营养成分 nutrition composition			
粗蛋白 crude protein	36.52	粗灰分 crude ash	8.71
粗脂肪 crude lipid	7.87	GSH (mg·kg ⁻¹)	26.41

注:1)每1kg多维预混料含:V_A,1 600 000 IU;V_D,80 000 IU;VE,4 000 IU;VK₃,400 IU;VB₁,1 200 IU;VB₂,1 200 IU;VB₆,2 000 IU;泛酸,3 000 IU;烟酸,6 000 IU;生物素,40 IU;叶酸,400 IU;VB₁₂,2 g;肌醇,6 000 IU;VC,20 000 IU,沸石粉861.12 g。2)每kg复合矿预混料含:Ca(H₂PO₄)·H₂O,265.11 g;无水CaCl₂,253.24 g;NaCl,59.34 g;KCl,114.54 g;MgSO₄·7H₂O,146.08 g;CuSO₄·5H₂O,0.84 g;FeSO₄·7H₂O,4.95 g;ZnSO₄·7H₂O,3.67 g;MnSO₄·H₂O,5.16 g;KI,0.008 g;CoCl₂·H₂O,0.053 2 g;Na₂SeO₄,0.006 6 g;沸石粉239.27 g

Notes:1) Vitamin mix(·kg⁻¹):V_A,1 600 000 IU;V_D,80 000 IU;VE,4 000 IU;VK₃,400 IU;VB₁,1 200 IU;VB₂,1 200 IU;VB₆,2 000 IU;pantothenic,3 000 IU;niacin,6 000 IU;biotin,40 IU;foliac acid,400 IU;VB₁₂,2 g;inositol,6 000 IU;V_C,20 000 IU,zeolite 861.12 g。2) Mineral premix(·kg⁻¹):Ca(H₂PO₄)·H₂O,265.11 g;CaCl₂,253.24 g;NaCl,59.34 g;KCl,114.54 g;MgSO₄·7H₂O,146.08 g;CuSO₄·5H₂O,0.84 g;FeSO₄·7H₂O,4.95 g;ZnSO₄·7H₂O,3.67 g;MnSO₄·H₂O,5.16 g;KI,0.008 g;CoCl₂·H₂O,0.053 2 g;Na₂SeO₄,0.006 6 g;zeolite 239.27 g

1.3 样品收集与分析

饲养试验结束时,称重,统计增重率、成活率、饵料转化效率。每个平行随机取15尾对虾,剥离肝胰腺,取(0.2~1.0)g在预冷的匀浆介质(w/v=1/9)中匀浆,在4℃下以3 000~4 000 r·min⁻¹离心10~15 min,取上清液分装,于-80℃保存备用。饲料中营养成分的测定参照AOAC(1990)方法;饲料中GSH测定采用四氧嘧啶分光光度法^[8];对虾组织中谷胱甘肽还原酶(GR)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、总抗氧化能力(T-AOC)水平、组织GSH、氧自由基(ROS)的测定参照南京建成生物公司试剂盒说明书;按照Lowry^[9]方法测定组织蛋白含量;抗超氧阴离子(抗O₂⁻)活力测定依照Muñoz等^[10]方法略加修改(修改如下:用各试验组肝胰腺匀浆上清液代替原文献中的呼吸爆发

抑制剂;用试验各组OD值与对照组的比值来表示抗O₂⁻能力);脂质过氧化物MDA的测定采用Tbars法^[11]。

试验结果用平均值±标准误($\bar{X} \pm s$)表示。用SPSS12.0版软件先进行one-way avona分析,若差异显著,进行Duncan氏多重比较,显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 试验虾的增重率、饲料转化效率和成活率

饲料中添加GSH能不同程度的提高南美白对虾的增重、饲料转化效率和成活率(表2)。随着GSH添加量的增加,南美白对虾的增重率逐渐增加,在G₁₈₀组达到最高($P < 0.05$),尔后降低,除G₆₀外各试验组均显著高于对照组。饲料转化效率呈现相似的变化趋势,但最高值出现在G₂₄₀。

与对照组相比,各试验组对虾的成活率显著提高,提高幅度为 8.53% ~ 31.69%,在 G_{120} 组达到最高。以增重率为指标,得到增重率和添加量之间

的一元二次回归方程为: $y = -0.0032x^2 + 1.1144x + 270.39$, $R^2 = 0.7497$ 。经计算,饲料中 GSH 的最适添加量为 $174.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 2 试验虾 8 周饲养期的生长性能

Tab. 2 The growth performance of *Litopenaeus vannamei* for 8 weeks

分组 group	初重(g) initial weight	终末体重(g) final weight	增重率(%) WGR	饵料转化率(%) FCE	成活率(%) survival rate
G_0	1.12 ± 0.01	4.29 ± 0.34	277.47 ± 38.63^a	38.91 ± 0.08^a	68.34 ± 3.33^a
G_{60}	1.13 ± 0.06	4.54 ± 0.25	303.40 ± 20.44^{ab}	43.03 ± 0.12^{ab}	74.17 ± 5.69^b
G_{120}	1.12 ± 0.02	5.30 ± 0.06	372.05 ± 9.58^c	46.51 ± 0.11^{bc}	90.00 ± 3.85^d
G_{180}	1.13 ± 0.08	5.49 ± 0.05	387.31 ± 8.63^c	53.19 ± 0.08^{cd}	85.00 ± 1.93^{dc}
G_{240}	1.11 ± 0.02	4.71 ± 0.43	323.22 ± 39.13^b	63.29 ± 0.04^e	83.33 ± 2.72^c
G_{300}	1.13 ± 0.09	4.82 ± 0.30	325.82 ± 25.98^b	59.17 ± 0.10^{de}	81.67 ± 2.31^c

注:1) 饵料转化效率(%) FCE = 增重量 \times 100 / 摄食量; 2) 表中平均数后上标不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: 1) FCE = weight gain \times 100 / feed consumption; 2) values in each column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 试验虾肝胰腺中抗氧化酶活力、GSH 含量和总抗氧化能力

随着饲料中 GSH 浓度的升高,凡纳滨对虾肝胰腺 GR、SOD、GSH - PX 活力、GSH 含量和 T - AOC 水平基本呈现先升后降的趋势,分别在 G_{120} 、

G_{180} 、 G_{120} 、 G_{60} 和 G_{240} 水平达到最高,并显著高于对照组 ($P < 0.05$) (表 3)。其中,肝胰脏 SOD 活力和 GSH 含量在 G_{300} 组略有回升,但与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 试验虾肝胰腺中 GR、SOD、GSH - PX、GSH 活力和 T - AOC 水平

Tab. 3 GR, SOD, GSH - PX, GSH and T - AOC levels in hepatopancreas of experimental shrimp

组别 group	GR ($U \cdot g^{-1} \text{prot}$)	SOD ($U \cdot mg^{-1} \text{prot}$)	GSH - PX ($U \cdot mg^{-1} \text{prot}$)	GSH ($mg \cdot g^{-1} \text{prot}$)	T - AOC ($U \cdot mg^{-1} \text{prot}$)
G_0	2.94 ± 0.86^a	22.91 ± 7.31^a	7.16 ± 1.21^a	31.46 ± 2.09^a	7.94 ± 1.55^a
G_{60}	4.55 ± 0.88^b	32.85 ± 5.65^{ab}	9.23 ± 1.96^{ab}	48.00 ± 4.03^d	8.18 ± 1.65^{ab}
G_{120}	4.91 ± 0.98^b	43.54 ± 3.87^c	14.32 ± 2.72^c	43.94 ± 6.71^{cd}	9.19 ± 1.10^{ab}
G_{180}	3.65 ± 1.22^{ab}	66.70 ± 6.76^d	12.24 ± 2.56^{bc}	41.25 ± 4.41^{bcd}	9.91 ± 2.07^{ab}
G_{240}	4.15 ± 0.67^{ab}	22.81 ± 7.22^a	13.76 ± 4.42^c	34.27 ± 5.71^{ab}	10.88 ± 1.54^b
G_{300}	2.87 ± 0.55^a	39.51 ± 7.32^{bc}	6.82 ± 1.86^a	37.71 ± 5.00^{abc}	8.20 ± 1.93^{ab}

注:平均数后上标不同的同栏数据间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: values in each column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.3 试验虾肝胰腺中氧自由基、抗超氧阴离子和脂质过氧化物含量

凡纳滨对虾肝胰腺 ROS 含量随着饲料 GSH 含量的升高呈现下降趋势,在 G_{180} 和 G_{240} 组显著降低 ($P < 0.05$),在 G_{300} 组又明显升高,但与对照组差异不显著 ($P > 0.05$) (表 4)。凡纳滨对虾肝胰腺抗 O_2^- 能力随饲料 GSH 浓度的升高呈先升后降的趋势,在 G_{180} 组达到最高 ($P < 0.05$)。与对照组相比,试验组对虾肝胰腺的 MDA 含量显著降低,在 G_{300} 组达到最低 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 GSH 对凡纳滨对虾生长性能的影响

动物机体的抗氧化水平,在一定程度上反映

表 4 试验虾肝胰腺氧自由基、抗 O_2^- 能力和 MDA 含量

Tab. 4 Oxygen radicals, anti- O_2^- ability and MDA content in hepatopancreas of experimental shrimp

组别 group	ROS ($U \cdot mL^{-1}$)	抗 O_2^-	MDA ($nmol \cdot mg^{-1} \text{prot}$)
G_0	265.71 ± 23.91^{cd}	1.00 ± 0.66^a	0.54 ± 0.083^c
G_{60}	240.44 ± 22.30^{bc}	1.23 ± 0.48^{ab}	0.44 ± 0.050^b
G_{120}	252.87 ± 10.31^{cd}	1.80 ± 0.68^c	0.35 ± 0.082^{ab}
G_{180}	215.54 ± 14.67^b	2.36 ± 1.02^d	0.38 ± 0.066^{ab}
G_{240}	189.50 ± 14.91^a	2.25 ± 1.22^d	0.35 ± 0.066^{ab}
G_{300}	267.93 ± 9.67^d	1.51 ± 0.70^{bc}	0.31 ± 0.033^a

注:上标不同的同栏数据间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: values in each column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

了机体的健康状况。机体在代谢过程中不可避免

产生自由基。过量的自由基与不饱和脂肪酸发生脂质过氧化,会损伤细胞膜及细胞内的大分子蛋白和核酸,对机体造成损伤。近年来,添加外源性抗氧化物提高动物机体抗氧化能力的研究受到了越来越多的重视。低等动物的非酶类抗氧化物质如 GSH、VC、VE 等在机体中发挥的作用远远大于高等动物。

研究表明,日粮 GSH 对断奶仔猪、黄羽肉鸡和罗非鱼的生长性能和生长激素水平及与生长轴相关基因的 mRNA 表达有明显的影[5-7]。本试验结果也证明,在饲料中添加一定量的 GSH 能够提高凡纳滨对虾增重率、饲料效率、成活率。谷胱甘肽中的半胱氨酸的中间代谢产物半胱胺是辅酶 A 的组成成分,可破坏生长抑素分子的二硫键,解除生长抑素对生长激素等激素的抑制,说明谷胱甘肽可以通过破坏生长抑素而发挥提高动物生长性能的作用。GSH 提高对虾生长性能的作用机制是否与之一致,还有待于进一步探讨。

3.2 GSH 对凡纳滨对虾肝胰腺抗氧化能力的影响

刘平祥^[5]在仔猪饲料中添加 200 mg · kg⁻¹的 GSH 能显著影响回肠粘膜 GSH 含量,而回肠粘膜 GSH 含量与 MDA 水平呈强的负相关 ($R = -0.954$)。吴觉文^[6]在肉鸡饲料中添加 GSH 80、120 mg · kg⁻¹,饲喂 92 d 后,血清中 GSH - PX 活力和 T - AOC 显著提高,但随添加剂量的增加,反而呈剂量依赖地降低。焦彩虹^[7]在罗非鱼饲料中添加 GSH 8 周后,发现肝脏中 SOD 活性出现差异,饲料中添加 200 mg · kg⁻¹剂量组肝脏中 GSH - PX 和 GR 活力显著高于对照组。

多不饱和脂肪酸在水生生物中发挥重要作用,对虾饲料中脂质含量所占的比例较大,极易发生脂质过氧化^[12]。目前,关于 GSH 对甲壳动物抗氧化能力影响的研究尚未见报道。在甲壳动物中,用 T - AOC 作为衡量对盐度和热应激^[13]、对氨氮应激^[14]和弧菌攻毒应激^[15]的反应指标,草虾摄入抗氧化剂能提高机体总的抗氧化能力。本试验中,在饲料中添加一定量的 GSH 能够提高肝胰腺中 3 种酶的活性、总抗氧化能力(T - AOC),但饲料中 GSH 含量过高(300 mg · kg⁻¹)时,对虾肝胰腺中的抗氧化酶 GR、GSH - Px 活性和 T - AOC 量有下降趋势,这和吴觉文等^[6]的研究结果有相似的趋势。这可能是由于过量的抗氧化剂

的促脂质过氧化作用的结果^[16],而过量的抗氧化剂如 α - 生育酚在体内和体外模型中也起着促氧化和促进脂质过氧化物生成作用^[17]。

过量的 ROS 会损伤生物分子,而生物分子受损后产生更多的 ROS,呈现出一种恶性循环。脂质过氧化会产生醛、酮、醇和环氧化物,典型的代表产物是 MDA,它可以衡量机体的抗氧化状态又间接反应细胞损伤水平。本试验结果表明,外源性 GSH 能清除凡纳滨对虾肝胰腺的自由基,阻止脂质的过氧化作用。

GSH 提高动物机体抗氧化功能的作用机制是综合性的,一方面 GSH 在 GSH - Px 作用下,直接与过氧化氢作用,阻断链式反应,另一方面通过与其它抗氧化剂如 VE、VC、辅酶 Q10、硫辛酸等协同作用发挥抗氧化作用,形成一个动态的抗氧化体系,再者通过对金属离子和异生物质(如杀虫剂等)引起的细胞毒性的解毒作用,降低了机体的氧化应激^[18]。

将本试验的结果与其它抗氧化剂进行比较发现,饲料中添加 GSH 后,凡纳滨对虾肝胰腺脂质过氧化水平的变化与在对虾等动物的饲料中添加 VE^[17]和叶黄素^[13-15]所呈现的变化趋势相似,但本试验添加 GSH 后的效果更明显。究其原因,可能是饲料中添加 VE 和叶黄素后,凡纳滨对虾肝胰腺中脂质过氧化水平的降低是通过提高肝胰腺中 GSH 含量来实现的^[13-15,17],而本试验在饲料中添加 GSH,减少了抗氧化剂在体内的转化过程,减少了因为代谢所造成的损失,呈现出更高的抗氧化效率。关于 GSH 对凡纳滨对虾抗氧化酶活性调节的作用机制,有待于通过对离体肝胰腺细胞内相关酶类的基因表达研究进一步阐明。

4 结论

饲料中添加一定量的谷胱甘肽能显著提高凡纳滨对虾的生长性能,提高肝胰腺谷胱甘肽还原酶、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶等抗氧化酶的活性,增强总抗氧化能力和抗超氧阴离子能力,降低脂质过氧化产物 MDA 的含量。

本试验是在导师谢从新教授,副导师曹俊明研究员的精心指导下,在广东省农业科学院畜牧研究所水产研究室科研人员的协助下,在中山大学珠海试验基地完成的。研究工作期间得到了武

汉市农科院畜牧所领导的关心和支持。在此一并致以衷心感谢!

参考文献:

- [1] Chow C K. Vitamin E and oxidantive stress[J]. *Free Rad Biol Med*, 1991, 11:215 - 232.
- [2] Winston G W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals [J]. *Comp Biochem Physiol C*, 1991 (100C): 173 - 176.
- [3] Henrique M M F, Gomes E F, Gouillou-Coustans M F, *et al.* Influence of supplementation of practical diets with vitamin C on growth and response to hypoxic stress of seabream, *Sparus aurata*[J]. *Aquaculture*, 1998, 161:415 - 426.
- [4] Mourente G, Diaz-Salvago E, Bell J G, *et al.* Increased activities of hepatic antioxidant defense enzymes in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed dietary oxidized oil: attenuation by dietary vitamin E [J]. *Aquaculture*, 2002, 214:343 - 361.
- [5] 刘平祥. 谷胱甘肽对断奶仔猪的促生长作用及其机制[D]. 华南农业大学博士学位论文, 2002.
- [6] 吴觉文. 谷胱甘肽对黄羽肉鸡的促生长作用及其机制[D]. 华南农业大学硕士学位论文, 2003.
- [7] 焦彩虹. 谷胱甘肽对罗非鱼促生长作用及其作用机制[D]. 华南农业大学硕士学位论文, 2004.
- [8] 刘娟, 王雅琴, 刘刚, 等. 发酵液中还原型谷胱甘肽三种测定方法的改进及其比较[J]. *北京化工大学学报*, 2004, 31(3):35 - 38.
- [9] Lowry O H, Resebrough N J, Farr A L, *et al.* Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. *Biol Chem*, 1951, 193:265 - 275.
- [10] Muñoz M, Cedeño R, Rodriguez J, *et al.* Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2000, 191:89 - 107.
- [11] Ohkawa H, Ohishi N, Yagi K, *et al.* Assay for lipid peroxides in animal tissue by thiobarbituric acid reaction [J]. *Anal Biochem*, 1979, 95:351 - 358.
- [12] Winston G W, Di Giulio R T. Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organize [J]. *Aquat Toxicol*, 1991, 19:137 - 161.
- [13] Chien Y H, Pan C H, Hunter B. The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* juveniles fed diets supplemented with astaxanthin [J]. *Fish Soc Taiwan*, 1991, 26:85 - 93.
- [14] Pan C H, Chien Y H, Hunter B. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin [J]. *Exp Mar Biol Ecol*, 2003, 297:107 - 118.
- [15] Pan C H, Chien Y H, Hunter B. Alterations of antioxidant capacity and hepatopancreatic enzymes in *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles fed diets supplemented with astaxanthin and exposed to *Vibrio damsela* challenge [J]. *Fish Soc Taiwan*, 2003, 30(4):279 - 290.
- [16] 高姝娟, 刘东波, 罗贵民, 等. 抗氧化剂抗脂质过氧化机制的 ESR 研究 [J]. *波谱学杂志*, 1998, 15(2):139 - 143.
- [17] Jagneshwar D, Gagan B N, Chainy K, *et al.* Dietary vitamin E modulates antioxidant defensive system in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosebergi* [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2000, 127:101 - 115.
- [18] Stephensen E, Sturve J, Forlin L. Effects of redox cycling compounds on glutathione content and activity of glutathione-related enzymes in rainbow trout liver [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2002, 133(3):435 - 442.