

日粮中添加酶解小麦蛋白对南美白对虾生长及非特异性免疫功能的影响

许合金^{1,2†}, 冯 幼^{1†}, 王修启¹, 张子峰³

(1 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642; 2 广东粤海饲料集团, 广东 湛江 524017;
3 郑州新威营养技术有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要:为探讨酶解小麦蛋白(Hydrolyzed wheat gluten, HWG)对南美白对虾 *Litopenaeus vannamei* 生长性能及免疫机能的影响, 试验选用体质量为 3.0~3.5 g 的南美白对虾 750 尾, 随机分为 5 个处理组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾, 饲养于水族箱内。处理 1: 对照组(基础日粮); 处理 2: 基础日粮 + 0.05% HWG; 处理 3: 基础日粮 + 0.10% HWG; 处理 4: 基础日粮 + 0.15% HWG; 处理 5: 基础日粮 + 0.20% HWG。试验期为 53 d。结果表明: 1) 0.05% HWG 组、0.15% HWG 组和 0.20% HWG 组增质量率与对照组相比分别提高了 10.23%、7.21% 和 2.69%, 0.15% HWG 组饵料系数与对照组相比有下降趋势($P=0.07$), 0.20% HWG 组成活率显著高于对照组($P<0.05$); 2) HWG 组血清中酚氧化酶活性均高于对照组($P>0.05$), 0.20% HWG 组血清中溶菌酶活性显著高于 0.05% HWG 组($P<0.05$), 0.10% HWG 组和 0.15% HWG 组肝胰腺超氧化物歧化酶活性与对照组相比分别提高了 26.79% 和 20.19%, 0.20% HWG 组谷胱甘肽过氧化物歧化酶与对照组相比有提高的趋势($P=0.09$), 对照组肝胰腺中丙二醛含量高于 HWG 组($P>0.05$)。以上结果提示: 在南美白对虾日粮中添加 HWG 能够提高南美白对虾的成活率, 具有降低饵料系数和改善免疫机能的趋势。

关键词:酶解小麦蛋白; 南美白对虾; 生长性能; 免疫机能

中图分类号: S963.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2011)04-0086-05

Effects of Dietary Hydrolyzed Wheat Gluten Supplement on Growth Performance and Nonspecific Immunity of *Litopenaeus vannamei*

XU He-jin^{1,2†}, FENG You^{1†}, WANG Xiu-qi¹, ZHANG Zi-feng³

(1 College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Yuehai Feed Group, Zhanjiang 524017, China;

3 Zhengzhou Newwill Nutrition Technology Co., LTD., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The study was conducted to determine the effects of dietary Hydrolyzed Wheat Gluten (HWG) supplement on growth performance and immunity of *Litopenaeus vannamei*. A total 750 *Litopenaeus vannamei*s, with an average initial body mass of 3.0–3.5 g, were randomly allocated to 5 treatments, each of which having 3 polyethylene tanks of 50 *Litopenaeus vannamei*s per tank. The experiment lasted for 53 days. The *Litopenaeus vannamei*s per treatment were respectively fed on one of the experimental diets supplemented with 0%, 0.05%, 0.10%, 0.15% and 0.20% HWG. The results showed that compared with the control group, mass grain rate (MGR) of the 0.05% HWG, 0.15% HWG and 0.20% HWG group were increased by 10.23%, 7.21% and 2.69% respectively; feed conversion rate (FCR) of 0.15% HWG group tended to decrease ($P=0.07$); survival rate (SR) of 0.20% HWG group was significantly higher than that of control group ($P<0.05$). The activity of phenoloxidase (PO) in serum in-

收稿日期: 2010-11-05

作者简介: 许合金(1981—), 男, 硕士; 冯 幼(1984—), 男, 硕士; † 对本文贡献相同; 通信作者: 王修启(1968—), 男, 研究员, 博士, E-mail: xqwang@scau.edu.cn

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD12B06)

creased with HWG supplementation, and the activity of lysozyme (LSZ) in serum of 0.20% HWG group was significantly higher than that of 0.05% HWG group ($P < 0.05$). Compared with the control group, the activities of superoxide dismutase (SOD) in hepatopancreas of the 0.10% HWG and 0.15% HWG group were increased by 26.79% and 20.19% respectively and glutathione peroxidase (GSH-PX) of 0.20% HWG group increased as well ($P = 0.09$). The malondialdehyde (MDA) content of control group was higher than that of HWG groups in hepatopancreas. These results suggested that HWG could not only increase the SR, but also tend to decrease FCR and improve immunity.

Key words: hydrolyzed wheat gluten; *Litopenaeus vannameis*; growth performance; immunity

近年来,随着对虾养殖规模的不断扩大,引起养殖环境日益恶化,病害频繁发生,导致成活率过低,给对虾养殖业造成严重经济损失.因此,如何提高对虾成活率及免疫机能是目前对虾养殖业亟待解决的关键问题.小麦蛋白俗称谷朊粉,又称活性面筋蛋白,主要由富含谷氨酸和脯氨酸的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白组成^[1-2].酶解小麦蛋白(Hydrolyzed wheat gluten, HWG)是根据小麦蛋白质的特性,经独特的生物技术采用多种酶协同作用制成的一种无抗原植物性蛋白源,不仅含有免疫调节肽、抗菌肽等多种免疫活性肽,而且还富含谷氨酰胺(肽)^[3-4],可作为动物补充谷氨酰胺(肽)的优质原料来源.在罗非鱼 *Oreochromis niloticus* 和哲罗鱼 *Hucho taimen* 上的研究显示,饲料中添加谷氨酰胺(肽)有提高成活率的功效^[5-6].杨小军^[7]研究发现,HWG 能够显著促进免疫器官的生长、增强巨噬细胞吞噬能力、提高淋巴细胞转化增殖,对于免疫功能能够起到重要的调节作用.然而,目前有关 HWG 研究模型主要集中于鼠、鸡,而对南美白对虾 *Litopenaeus vannamei* 的研究报道较少.作为富含多种免疫活性肽及谷氨酰胺(肽)的 HWG,是否会对南美白对虾的免疫力和生长性能尤其是成活率产生显著影响?一直是人们关注的问题.本试验拟通过日粮中添加不同比例的 HWG,观察其对南美白对虾免疫机能及生长性能尤其是成活率的影响,旨在为 HWG 在南美白对虾养殖生产中的应用提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验虾由广东某虾场提供;酶解小麦蛋白(HWG)由郑州新威营养技术有限公司提供,营养成分见表 1,HWG 中谷氨酰胺含量测定参考文献[8-9]方法进行,其他氨基酸含量及肽相对分子质量分布的检测参考 Wang 等^[4,10]方法进行. HWG 添加方式(模拟实际生产工艺):先与基础日粮超微粉(过 80 目筛)通过 V 型混合机充分混匀,接着添加油脂和水

在圆桶式搅拌机中继续混合均匀,通过挤条机压制成条状饲料,然后通过一系列烘箱熟化、干燥、冷却、破碎机等制成颗粒试验饲料.

表 1 酶解小麦蛋白主要成分及相对分子质量分布
Tab.1 Ingredients and relative molecule mass distribution of HWG

组成成分	w/%	组成成分	w/%	相对分子质量	w/%
谷氨酸	33.93	缬氨酸	3.41	<180	4.59
天冬氨酸	2.78	蛋氨酸	2.59	180~500	33.03
丝氨酸	3.93	苯丙氨酸	3.25	500~1 000	17.92
组氨酸	1.76	异亮氨酸	3.89	1 000~2 000	10.22
甘氨酸	2.84	亮氨酸	5.84	2 000~3 000	4.03
苏氨酸	2.18	赖氨酸	1.22	3 000~5 000	7.78
精氨酸	2.79	脯氨酸	11.54	5 000~10 000	16.31
丙氨酸	2.21	CP ¹⁾	75.00	10 000~20 000	5.14
酪氨酸	2.98	ΣEAA ¹⁾	26.92	>20 000	0.96
谷氨酰胺	26.80				

1) CP:粗蛋白质;EAA:必需氨基酸.

1.2 试验方法

1.2.1 试验分组 选用健康状况良好、个体均匀的南美白对虾 750 尾,随机分为 5 个处理组,每组 3 个重复,每个重复 50 尾,各重复平均体质量不存在差异,饲养于水族箱内.处理 1:对照组(基础日粮);处理 2:0.05% HWG 组(基础日粮 + 0.05% HWG);处理 3:0.10% HWG 组(基础日粮 + 0.10% HWG);处理 4:0.15% HWG 组(基础日粮 + 0.15% HWG);处理 5:0.20% HWG 组(基础日粮 + 0.20% HWG).基础日粮组成及营养水平见表 2.每天按体质量的 8%~10% 投饵,分 4 次定时、定量投喂,每天换水、清污,记录采食量,试验期为 53 d.

1.2.2 生产性能测定 试验末期称质量,计数.计算成活率、饵料系数、增质量率以及特定生长率.计算公式:成活率(Survival rate, SR) = (试验结束时虾尾数/试验开始时投放的虾尾数) × 100%;饵料系数(Feed conversion rate, FCR) = 饲料摄入量/(终末体质量 - 初始体质量);增质量率(Mass gain rate, MGR) = (终末体质量 - 初始体质量)/初始体质量 × 100%;特定

生长率(Specific growth rate, SGR) = $(\ln \text{终末平均体质量} - \ln \text{初始平均体质量}) / \text{饲养时间(d)} \times 100\%$.

表2 基础日粮组成及营养成分

Tab.2 Ingredient and nutritional composition of the basic diet

组成成分	比例/%	营养成分	w/%
鱼粉	27.0	粗蛋白质	39.97
豆粕	22.0	钙	1.92
面粉	20.0	总磷	1.27
小麦	2.0	赖氨酸	1.91
花生粕	8.0	蛋氨酸	0.93
酵母类	4.0		
其他	8.0		
鱼油	1.0		
豆油	1.0		
磷脂	2.0		
无机盐预混料 ¹⁾	3.5		
维生素预混料 ²⁾	1.5		

1) 无机盐预混料(每千克含量): NaF 2 mg; KI 0.08 mg; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1 mg; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 mg; $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 74 mg; $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 50 mg; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 60 mg; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 000 mg; $\text{K}_2\text{HPO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 6 000 mg; $\text{NaH}_2\text{PO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 5 000 mg; NaCl 100 mg; CaCO_3 4 g; 2) 维生素预混料(每千克含量): 维生素 B_1 20 mg; 维生素 B_2 40 mg; 维生素 B_6 20 mg; 维生素 B_{12} 0.1 mg; 维生素 K_3 10 mg; 肌醇 1 000 mg; 泛酸 60 mg; 烟酸 200 mg; 生物素 H 1.23 mg; 维生素 A 25 000 IU; 维生素 D 2 500 IU; 维生素 E 120 mg; 维生素 C 2 112 mg; 氯化胆碱 2 500 mg.

1.2.3 血清免疫指标测定 在试验结束当天,每个重复选取 20 尾虾进行血样采集.取血时用 1 mL 一次性注射器自虾头胸甲后插入心脏抽取血液,然后置于无菌的 Eppendorf 管中,2 500 r/min 4 ℃ 离心 10 min,收集上清液用于酚氧化酶(PO)、超氧化物歧化

酶(SOD)和溶菌酶(LSZ)指标测定,PO 的酶活性以 L-dopa 为底物,参考 Ashida^[11]的方法进行测定,SOD 和 LSZ 的测定方法参照南京建成生物工程研究所试剂盒进行.

1.2.4 肝胰腺免疫指标测定 在试验结束的当天,每重复选取 5 尾虾进行肝胰腺采集,合并后放置于 -80 ℃ 冰箱冷藏待用.分析时,将肝胰腺样品取出,称取一定质量后,按照 9 倍体积($m:V$)加入提前在 0 ℃ 冰箱中预冷的 0.1 mol/L pH6.4 的磷酸缓冲液稀释,在冰浴中用匀浆器匀浆,将匀浆液在 0 ℃、2 500 r/min 离心 10 min 后,取上清液,用于 PO、SOD、LSZ、谷胱甘肽过氧化酶(GSH-PX)、碱性磷酸酶(ALP)和丙二醛(MDA)指标测定. PO 活性参考 Ashida^[11]的方法进行,SOD、LSZ、GSH-PX、ALP、MDA 以及匀浆液中总蛋白含量测定和计算方法参照南京建成生物工程试剂盒进行.

1.3 数据分析

试验数据均用 SPSS 17.0 分析软件 One-way ANOVA 模型来分析,多重比较采用 LSD 法,数据以平均数 ± 标准误表示.

2 结果

2.1 酶解小麦蛋白对南美白对虾生长性能的影响

由表 3 可知,0.05%、0.15% 和 0.20% HWG 组南美白对虾的增质量率与对照组相比数值上分别提高了 10.23%、7.21% 和 2.69%,0.15% HWG 组显著高于 0.10% HWG 组($P < 0.05$).在整个试验过程中我们发现,HWG 组南美白对虾的成活率均高于对照组,其中 0.20% HWG 组与对照组相比高出 8 个百分点($P < 0.05$).0.15% HWG 组饵料系数与对照组相比有下降的趋势($P = 0.07$),0.10% HWG 组显著高于 0.15% HWG 组($P < 0.05$).

表3 酶解小麦蛋白对南美白对虾生长性能的影响¹⁾

Tab.3 Effects of dietary HWG supplementation on growth performance¹⁾

组别	初始质量/ (g · 尾 ⁻¹)	末质量/ (g · 尾 ⁻¹)	增质量 率/%	特定生长 率/%	成活率 /%	饵料 系数
对照组	3.00 ± 0.01a	11.30 ± 0.43ab	276.64 ± 14.29ab	2.55 ± 0.07ab	92.00 ± 1.15b	1.67 ± 0.11ab
0.05% HWG	3.01 ± 0.02a	12.15 ± 0.15a	304.96 ± 5.14a	2.69 ± 0.02a	93.33 ± 4.06ab	1.49 ± 0.05ab
0.10% HWG	2.98 ± 0.01a	10.74 ± 0.45b	257.84 ± 15.29b	2.45 ± 0.08b	95.33 ± 0.67ab	1.74 ± 0.12a
0.15% HWG	2.98 ± 0.02a	11.89 ± 0.14a	296.56 ± 4.52a	2.65 ± 0.02a	98.00 ± 1.15ab	1.46 ± 0.04b
0.20% HWG	2.99 ± 0.01a	11.54 ± 0.30ab	284.07 ± 10.01ab	2.59 ± 0.05ab	100.00 ± 0.00a	1.49 ± 0.05ab

1) 表中数据均以平均值 ± 标准误表示,同列数据后凡有一个字母相同者表示差异不显著($P > 0.05$, LSD 法).

2.2 酶解小麦蛋白对南美白对虾血清酶活性的影响

由表 4 可知,日粮中添加 HWG 后虾血清中 PO 活性较对照组高,但各组间差异不显著($P > 0.05$).

其中 0.15% HWG 组活性最高.对照组 SOD 活性最高,各组间无显著性差异($P > 0.05$).0.20% HWG 组 LSZ 活性显著高于 0.05% HWG 组($P < 0.05$),对

照组与 HWG 组间无显著性差异 ($P > 0.05$).

表4 酶解小麦蛋白对南美白对虾血清酶活性的影响¹⁾

Tab. 4 Effects of dietary HWG supplementation on biochemical indexes of haemolymph

组别	PO 活性/ ($\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$)	SOD 活性/ ($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$)	LSZ 活性/ ($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$)
对照组	$2.78 \pm 1.74\text{a}$	$135.59 \pm 2.49\text{a}$	$32.29 \pm 3.87\text{ab}$
0.05% HWG	$4.92 \pm 2.45\text{a}$	$128.90 \pm 9.46\text{a}$	$15.70 \pm 4.07\text{b}$
0.10% HWG	$3.15 \pm 1.54\text{a}$	$124.13 \pm 8.72\text{a}$	$23.84 \pm 3.66\text{ab}$
0.15% HWG	$5.24 \pm 1.28\text{a}$	$133.92 \pm 4.13\text{a}$	$38.32 \pm 7.08\text{ab}$
0.20% HWG	$3.03 \pm 0.86\text{a}$	$126.99 \pm 8.06\text{a}$	$59.00 \pm 27.00\text{a}$

1) 表中数据均以平均值 $\pm$ 标准误表示, 同列数据后凡有一个字母相同者表示差异不显著 ($P > 0.05$, LSD 法)

表5 酶解小麦蛋白对南美白对虾肝胰腺酶活性的影响¹⁾

Tab. 5 Effects of dietary HWG supplementation on biochemical indexes of hepatopancreases¹⁾

组别	PO 活性/ ($\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1}$)	SOD 活性/ ($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$)	LSZ 活性/ ($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$)	GSH-PX 活性/ U	ALP 活性/ ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$)	MDA 活性/ ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$)
对照组	$0.43 \pm 0.05\text{a}$	$32.54 \pm 1.88\text{a}$	$44.98 \pm 22.04\text{a}$	$213.19 \pm 23.47\text{ab}$	$233.94 \pm 4.63\text{ab}$	$23.09 \pm 3.19\text{a}$
0.05% HWG	$0.46 \pm 0.26\text{a}$	$33.65 \pm 9.52\text{a}$	$56.52 \pm 20.82\text{a}$	$145.94 \pm 27.91\text{b}$	$202.62 \pm 21.49\text{ab}$	$11.41 \pm 2.69\text{a}$
0.10% HWG	$0.35 \pm 0.02\text{a}$	$41.26 \pm 8.94\text{a}$	$55.85 \pm 33.03\text{a}$	$285.02 \pm 55.97\text{ab}$	$294.81 \pm 37.27\text{a}$	$11.88 \pm 1.96\text{a}$
0.15% HWG	$0.54 \pm 0.25\text{a}$	$39.11 \pm 9.59\text{a}$	$61.61 \pm 35.30\text{a}$	$310.62 \pm 69.67\text{a}$	$223.02 \pm 41.81\text{ab}$	$13.01 \pm 1.91\text{a}$
0.20% HWG	$0.59 \pm 0.28\text{a}$	$33.70 \pm 6.02\text{a}$	$62.17 \pm 5.66\text{a}$	$331.44 \pm 27.65\text{a}$	$154.86 \pm 75.25\text{b}$	$11.07 \pm 1.43\text{a}$

1) 表中数据均以平均值 $\pm$ 标准误表示, 同列数据后凡有一个字母相同者表示差异不显著 ($P > 0.05$, LSD 法).

3 讨论与结论

3.1 酶解小麦蛋白对南美白对虾生长性能的影响

成活率反映生产性能, 是决定养殖效益的关键指标之一. 本研究结果显示, 添加 HWG 组南美白对虾成活率均高于对照组, 且随着日粮中 HWG 添加量的增加而增加, 其中 0.20% HWG 组与对照组之间差异显著 ($P < 0.05$). 我们推测 HWG 提高南美白对虾的成活率可能跟 HWG 富含谷氨酰胺 (肽) 等小肽有关. 徐奇友等^[12] 研究表明, 日粮中添加谷氨酰胺 (肽) 可显著提高哲罗鱼仔鱼肠道 Na^+/K^+ -ATPase 活性, 这与 Yan 等^[13] 在幼建鲤鱼 *Carpinus carpio* var. *jian* 上研究结果相类似. 叶均安等^[14] 研究结果显示, 日粮中添加谷氨酰胺 (肽) 可显著增加日本对虾 *Marsupenaeus japonicus* 肠道绒毛高度. 徐奇友等^[12] 研究发现, 饲喂添加谷氨酰胺 (肽) 日粮的哲罗鱼仔鱼肠道蛋白酶、脂肪酶的酶活性显著高于对照组. 此外, 本试验所用 HWG 相对分子质量在 500 以下的蛋白占 37.62%, 相对分子质量为 500 ~ 2 000 占 28.14%. 水产动物消化道分化简单, 消化道较短, 肠道内酶数量和转载体数量相对较少, 这些小分子肽一方面可消除与游离氨基酸的吸收竞争, 促进游离氨基酸的吸收, 提高氨基酸特别是一些共用氨基酸转运载体的氨基酸的利用率; 另一方面, 这些小分子肽还可能直接参与蛋白质合成, 提高蛋白质沉积

2.3 酶解小麦蛋白对南美白对虾肝胰腺酶活性的影响

由表 5 可知, 0.10% HWG 组和 0.15% HWG 组 SOD 活性与对照组相比数值上分别提高了 26.79% 和 20.19%. LSZ 活性对照组最低, 0.20% HWG 组最高, 各组之间差异不显著 ($P > 0.05$). 0.15% HWG 组和 0.20% HWG 组 GSH-PX 活性显著高于 0.05% HWG 组 ($P < 0.05$), 0.20% HWG 组与对照组相比也有提高的趋势 ($P = 0.09$). 对照组肝胰腺中 MDA 含量最高, 0.20% HWG 组最低, 各组间差异不显著 ($P > 0.05$).

率; 再者, 这些小分子肽还可能与某些矿物元素结合, 通过提高这些矿物元素的溶解度, 从而提高它们的吸收率^[15]. 这提示 HWG 中小肽可能通过上述方式来促进动物肠道发育, 加速绒毛生长, 提高消化酶活性以及机体消化、吸收功能, 从而提高生产性能. 这与本研究中 0.05% HWG、0.15% HWG 以及 0.20% HWG 组的增质量率、特定生长率均高于对照组的结果基本一致, 并且 0.15% HWG 组与对照组相比有降低饵料系数的趋势 ($P = 0.07$). 虽然, HWG 对提高哺乳动物如小鼠、大鼠和猪的平均日增质量、平均日采食量效果显著^[16-18], 但在哺乳动物上得到的结果并不能反映虾上的情况, 毕竟甲壳动物跟哺乳动物消化系统的生理结构有所不同, 这也可能是 HWG 对提高虾生产性能效果没有哺乳动物显著的原因之一.

3.2 酶解小麦蛋白对南美白对虾非特异性免疫指标的影响

小麦蛋白在酶解过程中通常伴随有重要结构的重排, 释放出许多如谷氨酰胺 (肽)、免疫调节肽以及阿片肽等生物活性肽^[3-4, 19-20] 以及抗氧化活性物质^[21-22], 日粮中添加 HWG 可在不同程度上提高动物机体免疫机能. 方娜等^[23] 用含 HWG 的日粮连续饲喂小鼠 28 d, 结果发现 HWG 能够显著提高血清中 GSH-PX、IgM 和 IgG 的水平. 周亚飞^[24] 的研究结果表明, 小麦蛋白酶解物能够不同程度提高 AA 肉鸡脾

脏、胸腺和法氏囊等免疫器官的质量,各免疫器官指数也有不同程度的提高。

与脊椎动物不同,对虾在抵抗入侵的病原微生物过程中,不是由免疫球蛋白介导的特异性免疫系统来清除异物,而是依靠非特异性免疫系统来完成。该系统由参与免疫反应的血淋巴细胞和体液因子组成。相对于细胞免疫而言,虾类的体液免疫研究要多一些。通常将体液中的 PO、LSZ、GSH-PX 和 MDA 等酶活力作为衡量对虾免疫活力高低的参照指标。

在本试验中,除 0.20% HWG 组肝胰腺 GSH-PX 活性与对照组相比有下降趋势外($P=0.09$),0.10% HWG 组和 0.15% HWG 组 SOD 活性与对照组相比数值上虽然分别提高了 26.79% 和 20.19%,但差异不显著。血清中各组之间酶活性也无显著性差异($P>0.05$)。目前关于 HWG 对南美白对虾体内免疫酶活性影响的报道不多,推测上述试验结果产生的原因可能跟南美白对虾自身健康状况有关。成活率不仅是反映生产性能的一个关键指标,同时还可作为虾群健康状况的参考。从本次试验生产性能数据看,虽然成活率随 HWG 添加量的增加而增加,但最低的那一组即对照组也有 92% 的成活率,说明在本次试验过程中南美白对虾整体健康状况比较好,而且试验是在养殖基地的室内进行,养殖环境较室外的好,这就在一定程度上掩盖了 HWG 提高免疫机能的功效,这也提示在较为恶劣养殖环境下使用 HWG 可能会起到较好的效果。

本试验结果表明,在南美白对虾日粮中添加酶解小麦蛋白能够提高对虾成活率,有降低饵料系数和改善免疫机能的趋势,这些结果为酶解小麦蛋白在虾饲料中的应用提供初步参考,其最佳添加剂量和作用机制尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 彭海萍,彭凤霞. 可食性小麦蛋白膜的研究[J]. 现代商贸工业, 2003(3): 42-44.
- [2] 王章存,康艳玲,王绍锋. 谷朊粉研究进展[J]. 粮食与油脂, 2006(6): 3-5.
- [3] ZIOUDROU C, STREATY R A, KLEE W A. Opioid peptides derived from food proteins[J]. Journal of Biological Chemistry, 1979, 254(7): 2446-2449.
- [4] WANG Jin-shui, ZHAO Mou-ming, ZHAO Qiang-zhong, et al. Characterization of hydrolysates derived from enzymatic hydrolysis of wheat gluten[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(2): 103-107.
- [5] 杨奇慧,周岐存,谭北平,等. 谷氨酰胺对杂交罗非鱼生长、饲料利用及抗病力的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1016-1023.
- [6] 徐奇友,王常安,许红,等. 丙氨酰-谷氨酰胺对哲罗鱼仔鱼生长和抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(6): 1012-1017.
- [7] 杨小军. 灌喂大豆蛋白、面筋蛋白的胃蛋白酶酶解物对大鼠免疫功能的影响[D]. 南京:南京农业大学动物医学院, 2003.
- [8] 刘文萍. HPLC 法测定甘氨酸-L-谷氨酰胺有关物质[J]. 中国医药导报, 2008, 5(11): 42-43.
- [9] 周荣艳. 饲料中谷氨酰胺及丙氨酰谷氨酰胺的测定[J]. 饲料研究, 2004(1): 30-32.
- [10] WANG Jing-shui, ZHAO Mou-ming, BAO Yang, et al. Preparation and characterization of modified wheat gluten by enzymatic hydrolysis-ultrafiltration[J]. Journal of Food Biochemistry, 2008, 32(3): 316-334.
- [11] ASHIDA M. Purification and characterization of prophe-noloxidase from hemolymph of the silkworm *Bombyx mori* [J]. Archs Biochem Biophys, 1971, 144: 749-762.
- [12] 徐奇友,王常安,许红,等. 饲料中添加谷氨酰胺二肽对哲罗鱼仔鱼肠道抗氧化活性及消化吸收能力的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 351-356.
- [13] YAN Lin, ZHOU Xiao-qiu. Dietary glutamine supplementation improves structure and function of intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. jian)[J]. Aquaculture, 2006, 256: 389-394.
- [14] 叶均安,王冰心,孙红霞,等. 谷氨酰胺二肽对日本对虾血清生化指标、肝胰腺细胞凋亡及肠粘膜形态的影响[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(3): 347-352.
- [15] 明建华,刘波,刘文斌. 小肽吸收机制极其在水产动物饲料中的应用[J]. 水产养殖, 2008(4): 44-47.
- [16] 洪瑾芳. 酶解小麦蛋白对热应激小鼠生理功能的影响[D]. 福州:福建农林大学动物科学学院, 2009.
- [17] 杨小军,左伟勇,陈伟华,等. 面筋蛋白的胃蛋白酶酶解物对大鼠免疫功能的影响[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(4): 69-72.
- [18] RICHERT B T, HANCOCK J D, MORRILL J L. Effects of replacing milk and soybean products with wheat gluteins on digestibility of nutrients and growth performance in nursery pigs[J]. Journal of Animal Science, 1994, 72: 151-159.
- [19] 王修启,张兆敏,阎祥洲,等. 麦谷蛋白源外啡肽研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(1): 75-78.
- [20] 张亚飞. 小麦蛋白 Alcalase 水解物中免疫活性肽的研究[D]. 无锡:江南大学食品学院, 2006.
- [21] 黄达明,张玲,管国强,等. 谷朊粉活性肽的分离及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2010, 4(31): 108-110.
- [22] 郭红英. 麦胚蛋白酶解物的制备极其抗氧化功能研究[D]. 镇江:江苏大学食品与生物工程学院, 2009.
- [23] 方娜,王卫国. 谷朊粉酶解物对小鼠免疫功能的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2009(5): 37-38.
- [24] 周亚飞. 面筋蛋白酶解物调节肉鸡免疫器官及 ND 抗体水平的研究[J]. 动物医学进展, 2006, 27(3): 65-68.