

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17353

酵母水解物对凡纳滨对虾生长、消化酶活性和肠道形态的影响

熊家¹, 袁野¹, 罗嘉翔¹, 陆游¹, 马红娜¹, 周歧存¹, 梁超², 邹青²

1. 宁波大学 海洋学院 鱼类营养研究室, 浙江 宁波 315211;

2. 广东海纳川生物科技股份有限公司, 广东 广州 510275

摘要: 本实验旨在研究饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性能、血清生化指标、肝胰腺消化酶活性以及肠道形态的影响。酵母水解物添加量分别为 0%、1%、3%和 5%, 配制 4 种等氮等脂(42.5%粗蛋白和 8.5%粗脂肪)的实验饲料。选取初始体重为(1.86±0.02) g 的凡纳滨对虾 480 尾, 随机分为 4 组, 每组 4 个重复, 每个重复 30 尾, 进行为期 8 周的养殖实验。结果表明饲料中添加 5%酵母水解物组的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和蛋白质效率(PER)显著高于对照组($P<0.05$), 而该组饲料系数(FCR)最低($P<0.05$)。对虾全虾粗蛋白含量随饲料中酵母水解物的增加而呈上升趋势, 且 5%酵母水解物添加组显著高于对照组($P<0.05$)。添加 5%的酵母水解物显著提高了凡纳滨对虾血清总蛋白(TP)和甘油三酯(TG)含量, 降低了谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的活性($P<0.05$)。各处理组肝胰腺淀粉酶活性和对照组相比差异不显著($P>0.05$), 但 3%酵母水解物添加组的胰蛋白酶和脂肪酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。3%酵母水解物添加组的对虾肠道皱襞高度和皱襞宽度显著高于对照组($P<0.05$), 而 5%添加组的微绒毛高度显著高于对照组($P<0.05$)。综上所述, 在本实验条件下, 饲料中添加 3%~5%的酵母水解物能有效改善凡纳滨对虾生长性能、提高饲料利用率、促进消化吸收以及改善肠道形态学指标。

关键词: 酵母水解物; 凡纳滨对虾; 生长性能; 血清生化指标; 消化酶; 肠道形态

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)05-1012-10

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是一种经济价值较高的养殖品种, 具有生长速度快、抗病力强、适于高密度养殖等优点^[1]。鱼粉具有蛋白质含量高、氨基酸组成平衡等特点, 是水产动物的优质蛋白源。但随着水产养殖行业的快速发展, 鱼粉资源匮乏, 供不应求, 导致鱼粉价格不断上升。所以降低饲料成本、寻求部分或者完全替代鱼粉的新型高效饲料蛋白源, 并保持水产养殖业可持续发展成为当前研究的重要课题^[2-3]。酵母水解物(yeast hydrolysate)作为一种新型的蛋白质原料, 其蛋白含量高(蛋白含量不低于 35%), 并富含核酸、核苷酸、小肽、甘露寡糖(MOS)、细胞壁多糖、游离氨基酸及丰富的 B 族维生素等多种功能性物质和营养成分^[4], 是鱼粉的有效替代品

之一。

酵母类产品主要包括酵母细胞壁、酵母提取物、酵母培养物和酵母水解物等, 其蛋白质含量高, 营养物质丰富, 是常用的微生物饲料蛋白源^[5-6]。酵母类产品在水产饲料中的应用广泛。有研究报道, 酵母细胞壁能够通过刺激生长因子和消化系统以及维持肠道有益的微生物菌群环境来改善花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[7]和鲤(*Cyprinus carpio*)^[8]的生产性能、饲料利用和免疫功能。Sheikhzadeh 等^[9]发现酿酒酵母可以提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的生长和非特异性免疫能力。王武刚^[10]研究表明, 饲料中添加酵母提取物替代鱼粉可以提高凡纳滨对虾的生长性能、肠道消化机能和免疫抗病能力。酵母提取物替代凡纳滨对虾饲料中

收稿日期: 2017-09-27; 修订日期: 2018-03-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41476125).

作者简介: 熊家(1994-), 硕士研究生, 从事水生动物营养与饲料研究. E-mail: 460212581@qq.com

通信作者: 周歧存, 教授, 博士生导师, 从事水生动物营养与饲料研究. E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

45%的鱼粉并不会降低凡纳滨对虾的抗菌能力。酵母培养物可以提高罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[11]的生产性能,促进肠道的消化吸收和改善机体健康状况。迟淑艳等^[12]研究发现,使用酵母水解物替代 16.67%的鱼粉可以改善凡纳滨对虾的消化率,提高机体的消化酶活性,并且不会对其增重率和特定生长率产生负面影响。本实验旨在研究酵母水解物对凡纳滨对虾生长性能、饲料利用、血清生化指标、肝胰腺消化酶活性以及肠道形态的影响,探讨酵母水解物对凡纳滨对虾生长及生理调控机制,并为酵母水解物在对虾养殖生产应用中提供基础数据和理论指导。

1 材料与方法

1.1 饲料配方与制作

以鱼粉、鸡肉粉、虾壳粉、豆粕和花生粕为主要蛋白源,鱼油、豆油和大豆卵磷脂为主要脂肪源,添加不同含量酵母水解物 YT500(表 1)(由广东海纳川生物科技股份有限公司提供,甘露寡糖 6.75%,核酸 14.0%,核苷酸 5.12%),其添加量分别为 1%、3%和 5%,以不添加酵母水解物为对照组,配制成 4 组等氮等脂的实验饲料;实验饲

表 1 酵母水解物(YT500)的营养水平及必需氨基酸组成(干物质基础)

Tab. 1 The nutrient levels and essential amino acid composition of yeast hydrolysate (YT500) (dry matter)		%
主要成分 proximate composition	酵母水解物 yeast hydrolysate	
营养水平 nutrient level		
粗蛋白 crude protein		56.50
粗脂肪 crude lipid		0.50
水分 moisture		4.38
灰分 ash		9.60
必需氨基酸 essential amino acid composition		
苏氨酸 threonine		2.24
缬氨酸 valine		0.26
异亮氨酸 isoleucine		2.14
亮氨酸 leucine		3.27
苯丙氨酸 phenylalanine		1.89
赖氨酸 lysine		3.47
组氨酸 histidine		1.36
精氨酸 arginine		2.17

料组成及营养成分见表 2。按照表 2 将各种固态原料粉碎后过 80 目筛,按配方比例准确称重,并混合均匀,其中维生素和矿物质等微量组分采用逐级扩大法混合,再加入鱼油、豆油和磷脂以及水混合,用双螺杆挤条机压制成粒径为 1.0 mm 和 1.5 mm 的颗粒状饲料,90℃烘箱中熟化 30 min 后自然风干,封口袋密封后放入-20℃冰箱中保存备用。

1.2 实验动物养殖管理

凡纳滨对虾虾苗购自广东恒兴集团虾苗厂,实验前先将所需虾苗于 1000 L 玻璃钢桶中暂养 2 周,以暂养料(蛋白含量 42%,脂肪含量 8%)饱食投喂。正式实验前 24 h 停止投料,挑选规格一致的健康对虾,初始体重为(1.86±0.02) g,随机分于 16 个养殖桶中(养殖桶的规格为 300 L),共设置 4 个处理,每个处理 4 个重复,每个养殖桶饲养 30 尾对虾,在广东恒兴 863 基地进行为期 8 周的养殖实验。投喂量为体重的 8%~10%,每天分 4 次投喂,早晚的投喂量占总投饵量的 60%~70%。分别在 7:00、11:00、17:00 和 21:00 进行投喂,并根据当日对虾的进食情况和天气情况调整具体投喂量。实验用水为经沙滤、沉淀后的海水,连续充氧,每天记录水温、盐度、溶解氧浓度及 pH。实验期间水温 27~30℃,pH 8.0~8.2,盐度 28~32,溶解氧浓度为 6 mg/L 以上,氨氮浓度不高于 0.05 mg/L。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 样品采集与常规营养分析 在 8 周养殖实验结束后饥饿 24 h,对每个桶的对虾进行计数和称重,计算成活率、增重率、特定生长率和饲料系数等生长指标。每桶随机取 6 尾虾,保存于-20℃冰箱,用于常规营养成分分析。参照 AOAC 方法,饲料、全虾及肌肉干物质含量采用 105℃常压干燥法测定,粗蛋白含量采用蛋白测定仪(Leco FB-528)测定,粗脂肪含量采用脂肪含量测定仪(OPSIS SX-360)测定,粗灰分含量采用 550℃马弗炉灼烧法测定。

1.3.2 血清生化和肝胰腺消化酶活性指标测定与分析 每桶取 8 尾虾于第 5 步足基部血窦取血,盛于 1.5 mL 离心管中于 4℃冰箱放置过夜后,5000 r/min 离心 10 min,取其上清液置于-80℃冰

表 2 实验饲料组成及营养水平(风干基础)

Tab. 2 Ingredients and proximate composition of the experimental diet (air-dry basis)

项目 item	饲料组 diet group				%
	Y0	Y1	Y3	Y5	
原料 ingredient					
鱼粉 fish meal (Peru)	25.0	24.0	22.0	20.0	
鸡肉粉 poultry by-product meal	5.0	5.0	5.0	5.0	
虾壳粉 shrimp shell meal	3.0	3.0	3.0	3.0	
豆粕 soybean meal	22.0	22.0	22.0	22.0	
花生粕 peanut meal	10.0	10.0	10.0	10.0	
面粉 wheat flour	27.75	27.75	27.75	27.75	
鱼油 fish oil	1.0	1.0	1.0	1.0	
豆油 bean oil	1.0	1.0	1.0	1.0	
大豆卵磷脂 soybean lecithin	2.0	2.0	2.0	2.0	
维生素预混料 ¹ vitamin premix ¹	0.5	0.5	0.5	0.5	
矿物质预混料 ¹ mineral premix ¹	1.0	1.0	1.0	1.0	
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5	1.5	1.5	1.5	
氯化胆碱 choline chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	
酵母水解物 yeast hydrolysate	0.0	1.0	3.0	5.0	
合计 total	100.0	100.0	100.0	100.0	
营养水平 ² nutrient level ²					
干物质 dry matter	90.2	90.2	89.1	89.5	
粗蛋白 crude protein	42.9	42.6	42.7	42.2	
粗脂肪 crude lipid	8.6	8.4	8.5	8.5	
粗灰分 ash	11.0	10.2	10.6	10.5	

注: 1. 维生素预混料和矿物质预混料均参照 Huang 等^[13]实验配制。2. 营养水平为实测值。
Notes: 1. Mineral premix and vitamin premix were prepared according to Huang et al^[13]. 2. Nutrient levels were measured values.

箱用于血清生化指标分析。对虾血清中葡萄糖 (GLU)、总蛋白(TP)、总胆固醇(TC)和甘油三酯 (TG)含量以及谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶 (ALT)活性均在 Olympus 600 型(日本)全自动生化分析仪上测定。每桶随机取 5 尾虾, 取出肝胰腺并放入冻存管, 液氮保存, 用于消化酶活性分析。对虾肝胰腺淀粉酶(amylase)、胰蛋白酶(trypsin)和脂肪酶(lipase)的活性采用南京建成生物工程研究所的试剂盒经全波长酶标仪(Thermo, Multiskan GO 1510)测定。

1.3.3 肠道组织形态观察与分析 随机从桶中挑选 4 尾虾并取其完整肠道, 用 4%的多聚甲醛固定液固定, 在固定 72 h 后, 制备肠道组织切片, 用苏木精-曙红(HE)染液染色, 中性树胶封片, 并在光学显微镜(Olympus, DP72)下观察肠道的皱襞高宽和微绒毛高度。最后用 Image J 软件进一步分析电子图像以评估不同组的肠道组织形态结构的

差异。

1.4 计算公式与数据统计分析

成活率(survival rate, SR, %)=100×终末尾数/初始尾数;

增重率(weight gain rate, WGR, %)=100×(终末均重-初始均重)/初始均重;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=100×[ln(终末均重)-ln(初始均重)]/实验天数;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)=摄食饲料干重/(终末总重-初始总重);

蛋白质效率(protein efficiency rate, PER)=(终末体重-初始体重)/摄入饲料蛋白总量;

实验数据以平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示, 实验结果用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。当处理之间差异显著时($P < 0.05$), 进行 Turkey 多重比较。

2 结果与分析

2.1 酵母水解物对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

由表 3 数据可知, 各处理组间成活率无显著性差异($P>0.05$), 但随着酵母水解物添加水平的提高呈先升高后下降趋势, 且在 Y3 组达最大值。Y5 组的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和蛋白效率(PER)均显著高于对照组($P<0.05$), 而饲料系数显著低于对照组($P<0.05$)。

2.2 酵母水解物对凡纳滨对虾全虾和肌肉营养成分的影响

由表 4 可知, 饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾全虾的干物质、粗脂肪和粗灰分含量及肌

肉的干物质、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量均无显著影响($P>0.05$), 但显著影响全虾粗蛋白含量($P<0.05$), 并随着酵母水解物水平的提高, 其粗蛋白含量不断上升, 在 Y5 组达最大值。

2.3 酵母水解物对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

由表 5 可知, 酵母水解物显著影响对虾血清总蛋白(TP)和甘油三酯(TG)的含量以及谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的活性($P<0.05$), 但对血清葡萄糖(GLU)和总胆固醇(TC)的含量影响不显著($P>0.05$)。Y5 组的 TP 和 TG 含量显著高于对照组($P<0.05$), 而 AST 和 ALT 活性显著低于对照组($P<0.05$)。

表 3 酵母水解物对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响
Tab. 3 Effects of dietary yeast hydrolysate supplementation on growth performance and feed utilization of *Litopenaeus vannamei*

n=4; $\bar{x} \pm SE$

项目 item	饲料组 diet group			
	Y0	Y1	Y3	Y5
初始体重/g IBW	1.86±0.04	1.87±0.01	1.89±0.02	1.87±0.03
终末体重/g FBW	9.28±0.42 ^a	10.2±0.17 ^{ab}	10.54±0.14 ^{ab}	11.37±0.63 ^b
成活率/% SR	80.00±1.92	84.45±6.19	90.00±2.94	88.34±1.11
增重率/% WGR	402.01±12.97 ^a	443.42±6.99 ^{ab}	453.50±6.95 ^{ab}	514.11±28.25 ^b
特定生长率/(%/d) SGR	2.78±0.05 ^a	2.92±0.02 ^{ab}	2.95±0.02 ^{ab}	3.13±0.08 ^b
饲料系数 FCR	1.71±0.05 ^b	1.53±0.01 ^{ab}	1.68±0.02 ^{ab}	1.47±0.03 ^a
蛋白质效率 PER	1.34±0.04 ^a	1.49±0.01 ^{ab}	1.42±0.02 ^{ab}	1.58±0.04 ^b

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Notes: Values in the same line with different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$).

表 4 酵母水解物对凡纳滨对虾全虾和肌肉营养成分(湿重)的影响
Tab. 4 Effects of dietary yeast hydrolysate supplementation on nutrition components (wet weight) of *Litopenaeus vannamei* body and muscle

%; n=4; $\bar{x} \pm SE$

项目 item	饲料组 diet group			
	Y0	Y1	Y3	Y5
全虾 whole shrimp				
干物质 dry matter	22.68±0.46	23.50±0.70	23.18±0.46	23.58±0.11
粗蛋白 crude protein	17.01±0.38 ^a	17.54±0.23 ^{ab}	17.64±0.16 ^{ab}	18.43±0.16 ^b
粗脂肪 crude lipid	1.88±0.09	1.85±0.06	1.92±0.09	1.97±0.08
粗灰分 ash	3.12±0.22	3.26±0.07	3.37±0.04	3.32±0.15
肌肉 muscle				
干物质 dry matter	22.82±0.29	23.28±0.28	23.31±0.15	23.44±0.43
粗蛋白 crude protein	19.91±0.28	20.46±0.19	20.42±0.14	20.69±0.24
粗脂肪 crude lipid	0.77±0.03	0.68±0.04	0.75±0.03	0.69±0.02
粗灰分 ash	1.60±0.04	1.62±0.03	1.65±0.03	1.66±0.02

注: 同行数据肩注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Notes: Values in the same line with different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$).

表 5 酵母水解物对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

Tab. 5 Effects of dietary yeast hydrolysate supplementation on serum biochemical indices of *Litopenaeus vannamei*

$n=4; \bar{x} \pm SE$

项目 item	饲料组 diet group			
	Y0	Y1	Y3	Y5
总蛋白/(g/L) TP	57.03±2.06 ^a	58.83±2.03 ^{ab}	56.21±3.35 ^{ab}	68.24±1.97 ^b
葡萄糖/(g/L) GLU	0.85±0.15	0.73±0.13	0.91±0.12	0.97±0.02
甘油三酯/(mmol/L) TG	0.98±0.03 ^a	1.13±0.17 ^{ab}	1.06±0.19 ^{ab}	1.58±0.13 ^b
总胆固醇/(mmol/L) TC	0.72±0.05	0.80±0.06	1.00±0.15	1.05±0.06
谷草转氨酶/(U/L) AST	174.77±1.43 ^b	125.78±1.40 ^{ab}	163.80±0.90 ^{ab}	119.14±10.51 ^a
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	166.29±11.34 ^b	156.76±15.84 ^{ab}	153.20±13.60 ^{ab}	115.29±5.44 ^a

注：同行数据肩注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Values in the same line with different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$)

2.4 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺消化酶活性的影响

由表 6 可知, 酵母水解物作用下, 凡纳滨对虾肝胰腺的淀粉酶活性无显著性差异($P>0.05$); 而显著影响对虾肝胰腺胰蛋白酶和脂肪酶的活性($P<0.05$), Y3 组的胰蛋白酶和脂肪酶活性显著高于对照组($P<0.05$), 且随着酵母水解物的添加, 呈先上升后下降的趋势。

2.5 酵母水解物对凡纳滨对虾肠道形态的影响

由表 7 可知, 酵母水解物显著影响凡纳滨对虾肠道皱襞高度、皱襞宽度和微绒毛高度($P<0.05$)。Y3 组的肠道皱襞高度和宽度显著高于对照

组($P<0.05$), 且随着酵母水解物水平的增加, 对虾肠道皱襞高宽呈先上升后下降的趋势。Y5 组的肠道微绒毛高度显著高于对照组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 酵母水解物对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

有关酵母水解物的相关研究在陆生动物中比较多, 它能够通过提高猪、鸡等的消化吸收和免疫抗病能力来提高机体的生长性能^[14-17]。同时也有研究报道, 酿酒酵母可以提高鱼类如金头鲷(*Sparus aurata*)^[18]、罗氏沼虾^[19]和虹鳟^[20]等水产

表 6 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺消化酶活力的影响

Tab. 6 Effects of dietary yeast hydrolysate supplementation on digestive enzyme activities of *Litopenaeus vannamei* hepatopancreas

$n=4; \bar{x} \pm SE$

项目 item	饲料组 diet group			
	Y0	Y1	Y3	Y5
淀粉酶/[U/(mg(prot))] amylase	1.85±0.26	2.27±0.26	1.97±0.24	1.71±0.13
胰蛋白酶/[U/(mg(prot))] trypsin	188.05±4.64 ^a	210.00±3.50 ^{ab}	242.65±11.58 ^b	198.78±13.27 ^{ab}
脂肪酶/[U/(g(prot))] lipase	102.92±9.48 ^a	149.92±8.79 ^{ab}	179.95±1.93 ^b	147.97±7.95 ^{ab}

注：同行数据肩注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: Values in the same line with different small letters superscripts are significantly different ($P<0.05$).

表 7 酵母水解物对凡纳滨对虾肠道形态的影响

Tab. 7 Effects of dietary yeast hydrolysate supplementation on intestinal morphology of *Litopenaeus vannamei*

$n=4; \bar{x} \pm SE$

项目 item	饲料组 diet group			
	Y0	Y1	Y3	Y5
皱襞高度/ μm fold height	20.34±2.46 ^a	23.36±1.94 ^{ab}	30.25±3.77 ^b	26.70±6.3 ^{ab}
皱襞宽度/ μm fold width	19.08±1.69 ^a	21.72±1.46 ^{ab}	28.00±1.84 ^b	21.48±1.63 ^{ab}
微绒毛高度/ μm microvillus height	3.65±0.30 ^a	5.34±0.63 ^{ab}	4.59±0.39 ^{ab}	5.37±0.52 ^b

注：同行数据肩注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: Values in the same line with different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$).

动物的生长性能、消化吸收和饲料利用。研究显示, 饲料中添加适量的酵母水解物能够显著提高中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)^[21]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[22]、加州鲈(*Micropterus salmoides*)^[23]和凡纳滨对虾^[12]等水产动物的增重率和特定生长率, 并显著降低饲料系数。本研究中, 添加 5% 酵母水解物显著提高了凡纳滨对虾的增重率、特定生长率和蛋白质效率, 同时饲料系数也显著低于对照组。同样也验证了酵母类产品对凡纳滨对虾的生长促进作用。杨凡等^[24]用 1% 的酵母水解物作用于异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)时, 也有类似的效果, 异育银鲫的增重率较对照组提高了 8.16%。曾本和等^[22]得出适量的酵母水解物可以提高草鱼鱼体的粗蛋白含量, 而在本实验中各添加组全虾粗蛋白含量也均高于对照组。本实验结果表明, 酵母水解物可以替代部分鱼粉, 并能提高凡纳滨对虾的生长性能和饲料利用。

3.2 酵母水解物对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

研究表明, 正常生理条件下, 水产动物血液生化组成的变化, 一定程度上可以反映动物的健康水平^[25-26]。血清总蛋白含量可以反映出机体对蛋白质的合成能力, 本研究表明, Y5 组的对虾血清中总蛋白含量显著高于鱼粉对照组, 说明一定量的酵母水解物可以在一定程度上提供机体正常生理代谢所需的能量, 使更多蛋白储存于机体, 全虾蛋白质含量同血清总蛋白质含量呈现正相关关系。血清中甘油三酯的含量能够反映机体利用储存脂肪的能力^[27], 此外, 甘油三酯还可以为新的细胞膜和细胞器合成提供脂类^[28], 本实验中, 对虾血清甘油三酯随着饲料酵母水解物水平的升高呈上升趋势, 表明饲料中酵母水解物影响了机体的脂类运输。血糖是反映动物对糖类代谢和吸收的重要指标^[29], 本研究中添加酵母水解物对虾葡萄糖含量表现出的差异不显著, 这一结果表明, 适宜水平的酵母水解物不会影响凡纳滨对虾肠道对糖类的代谢和吸收。AST 和 ALT 是两种重要的氨基酸转氨酶, 在平衡机体氨基酸以及蛋白质、脂肪与糖之间的物质转化过程中发挥非常重要的作用^[30], 同时血清中 ALT 和 AST 活性可

以很敏感地反映肝细胞受损状况^[31]。在本研究中, 各添加组的 AST 和 ALT 活性均低于对照组, 表明适宜酵母水解物并不会对凡纳滨对虾造成肝胰腺的损伤。

3.3 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺消化酶活性的影响

肝胰腺是甲壳动物重要的消化器官和消化酶分泌器官, 肝壁细胞可以分泌消化酶, 研究表明不同蛋白源替代饲料中的鱼粉, 会影响动物的消化酶活性, 而机体消化酶活性的高低, 可以衡量对虾对营养物质的消化吸收能力^[32]。有研究表明, 酵母水解物中含有丰富的氨基酸和核苷酸, 可以增强肝胰腺消化酶活性, 从而促进其对饲料营养物质的消化、吸收和利用^[33]。本实验结果显示, 3% 酵母水解物添加组对虾的肝胰腺胰蛋白酶和脂肪酶活性显著高于对照组, 此结果可能是由于添加的酵母水解物补充了机体所需的氨基酸和核苷酸, 从而改善了对虾对营养物质的消化吸收。这与添加酵母提取物在罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)中的研究结果一致^[10]。同时, 还可能与酵母水解物中的甘露寡糖(MOS)和营养小肽有关。有研究表明, 添加 2% MOS 可以显著增加凡纳滨对虾肝胰腺胰蛋白酶、肠蛋白酶和脂肪酶活性^[34]。在星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)^[35]幼鱼基础饲料中添加适量的小肽可有效提高幼鱼胃、肠和肝胰腺的消化酶活性。本实验中, 对虾淀粉酶活性无显著性差异, 但随着酵母水解物的添加呈下降趋势, 迟淑艳等^[12]也曾获得类似结果, 这可能是酵母提取物在一定程度上影响了凡纳滨对虾对饲料中淀粉的消化吸收。

3.4 酵母水解物对凡纳滨对虾肠道形态的影响

肠道是水产动物对饲料营养物质消化吸收的主要场所, 肠道的形态学变化能反映机体对营养物质的消化吸收和肠道的健康状况^[36]。有研究报道, 酵母水解物对早期断奶仔猪^[16]和肉鸡^[17]的肠道黏膜形态有一定影响, 可以促进肠道生长和吸收^[14-15]。饲料中补充一定含量的酵母核苷酸, 可以改善肠道形态结构, 促进肠道生长发育^[37]。本实验中, 饲料中添加 3%~5% 的酵母水解物可以提高对虾皱襞高宽, 促进肠微绒毛修复, 增加肠道

的吸收面积, 肠道形态结构的变化可能是由于饲料中的酵母水解物可以补充维持对虾肠道生长发育所需的核苷酸。许丹丹等^[38]研究显示, 添加 0.1~0.8 g/kg 的酵母核苷酸可以显著提高对虾肠皱襞厚度。朱天和等^[39]研究表明, 在无鱼粉饲料中添加酵母核苷酸可以显著提高鲤的肠绒毛高度。乐国伟等^[40]在纯合饲料中添加酵母核苷酸可以显著提高雏鸡肠道黏膜的蛋白质和核酸的含量, 并能够促进肠绒毛的生长, 增加肠皱襞的厚度、微绒毛高度以及肠道的蛋白质合成率。在本实验中, 酵母水解物显著提高了凡纳滨对虾肠道皱襞高度、皱襞宽度和微绒毛高度。究其原因, 可能是饲料酵母水解物的补充, 增加了肠细胞核苷酸池中的核苷酸含量, 大多数被吸收的核苷酸和碱基在肠细胞内迅速降解, 促进了肠道黏膜 DNA 和 RNA 的合成, 从而改善了肠道形态^[41-42]。在其他研究中, 也表明外源核苷酸的添加可以改善罗非鱼(*Oreochromis niloticus*, ♀ × *Oreochromis aureus*, ♂)^[43]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[44]和凡纳滨对虾^[45]的肠道形态结构, 以及促进慢性腹泻期间正常肠形态的快速恢复^[46]。核苷酸影响肠道的机制目前还不太清楚, 还需更深入的探讨。

4 结论

本实验结果表明, 饲料添加 5% 的酵母水解物显著影响了凡纳滨对虾的生长(WGR、SGR、FCR、PER)等指标; 而添加 3% 的酵母水解物显著影响了对虾消化酶活性及肠道形态结构等指标。综上所述, 饲料中添加 3%~5% 的酵母水解物可以有效改善凡纳滨对虾生长性能、提高饲料利用率、促进消化以及改善肠道形态健康。

参考文献:

- [1] Gao W H, Tan B P, Mai K S, et al. Profiling of differentially expressed genes in hepatopancreas of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exposed to long-term low salinity stress[J]. Aquaculture, 2012, 364-365: 186-191.
- [2] Davis D A, Arnold C R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2000, 185(3-4): 291-298.
- [3] Delbertmiii G, Frederict B, Paul B, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review[J]. Aquaculture Research, 2007, 38(6): 551-579.
- [4] Liu X, Yang W J, Wu Z, et al. Effects of yeast hydrolysate on non-specific immunity and anti-stress abilities of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. Feed Industry, 2015, 36(18): 33-37. [柳茜, 杨文娇, 吴振, 等. 酵母水解物对大菱鲆幼鱼非特异性免疫及抗应激能力的影响[J]. 饲料工业, 2015, 36(18): 33-37.]
- [5] Ferreira I M P L V O, Pinho O, Vieira E, et al. Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(2): 77-84.
- [6] Thomasl W, Chhorn L, Mediha Y A, et al. Immune response and resistance to stress and *Edwardsiella ictaluri* challenge in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed diets containing commercial whole-cell yeast or yeast subcomponents[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2007, 38(1): 24-35.
- [7] Yu H H, Han F, Xue M, et al. Efficacy and tolerance of yeast cell wall as an immunostimulant in the diet of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. Aquaculture, 2014, 432: 217-224.
- [8] Gopalakannan A, Arul V. Enhancement of the innate immune system and disease-resistant activity in *Cyprinus carpio* by oral administration of β -glucan and whole cell yeast [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(6): 884-892.
- [9] Sheikhzadeh N, Heidarieh M, Pashaki A K, et al. Hilyses[®], fermented *Saccharomyces cerevisiae*, enhances the growth performance and skin non-specific immune parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 32(6): 1083-1087.
- [10] Wang W G. The study on replacement of yeast extract in diet of *Litopenaeus vannamei*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012. [王武刚. 酵母提取物替代鱼粉在凡纳滨对虾饲料中的应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.]
- [11] Meshram S J, Murthy H S, Ali H, et al. Effect of dietary β -glucan on immune response and disease resistance against *Aeromonas hydrophila*, in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man. 1879)[J]. Aquaculture International, 2015, 23(2): 439-447.
- [12] Chi S Y, Nie Q, Huang W W, et al. Study on suitable proportion of yeast hydrolyzate replacement of fishmeal in feed of *Litopenaeus vannamei*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(4): 728-735. [迟淑艳, 聂琴, 黄吴文, 等. 凡纳滨对虾饲料中酵母水解物替代鱼粉适宜比例的研究[J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 728-735.]
- [13] Huang X L, Xia M H, Wang H L, et al. Dietary thiamin

- could improve growth performance, feed utilization and non-specific immune response for juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(3): 364-372.
- [14] Pan S D, Li X J, Bian L Q. Study the effects of yeast nucleic on the performance and intestinal flora of weanling pigs[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2008, 44(5): 37-40. [潘树德, 李学俭, 边连全. 酵母核酸对断奶仔猪生产性能及肠道菌群影响的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2008, 44(5): 37-40.]
- [15] Guo X Y, Wu X, Xie C Y, et al. Feed effects of dietary supplementation with yeast extract on growth performance, hormone level and jejum mucosal morphology of early weaned piglets[J]. *Feed Industry*, 2015, 36(8): 61-64. [郭小云, 吴信, 谢春艳, 等. 酵母水解物对早期断奶仔猪生长性能、血清生理生化指标和激素水平以及肠道黏膜形态的影响[J]. *饲料工业*, 2015, 36(8): 61-64.]
- [16] Molist F, van Eerden E, Parmentier H K, et al. Effects of inclusion of hydrolyzed yeast on the immune response and performance of piglets after weaning[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 195: 136-141.
- [17] Frankič T, Pajk T, Rezar V, et al. The role of dietary nucleotides in reduction of DNA damage induced by T-2 toxin and deoxynivalenol in chicken leukocytes[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2006, 44(11): 1838-1844.
- [18] Ortuño J, Cuesta A, Rodríguez A, et al. Oral administration of yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, enhances the cellular innate immune response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.)[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2002, 85(1): 41-50.
- [19] Parmar P V, Murthy H S, Tejpal C S, et al. Effect of brewer's yeast on immune response of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, and its resistance to white muscle disease[J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(5): 951-964.
- [20] [20] Siwicki A K, Anderson D P, Rumsey G L. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protection against furunculosis[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1994, 41(1-2): 125-139.
- [21] Chen C F, Wang S H, Wang X, et al. Attractant effects of adding yeast hydrolyzate on *Pelodiscus sinensis*[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2007(4): 54-56. [陈昌福, 王绍辉, 王茜, 等. 饵料中替代酵母水解物对中华鳖成鳖的诱食效果[J]. *养殖与饲料*, 2007(4): 54-56.]
- [22] Zeng B H, Xiang X, Yang W J, et al. Effects of yeast hydrolysate on growth and body composition of juvenile *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Feed Industry*, 2015, 36(16): 16-19. [曾本和, 向泉, 杨文娇, 等. 酵母水解物对草鱼生长性能和体成分的影响[J]. *饲料工业*, 2015, 36(16): 16-19.]
- [23] Zeng B H, Yang W J, Wu Z, et al. Effects of yeast hydrolysate on growth and immune enzyme index of juvenile *Micropterus salmoides*[J]. *Feed Industry*, 2016, 37(14): 11-15. [曾本和, 杨文娇, 吴振, 等. 酵母水解物对加州鲈幼鱼生长性能及免疫酶指标的影响[J]. *饲料工业*, 2016, 37(14): 11-15.]
- [24] Yang F, Chen C F, Yi J H, et al. Effects of Yeast Hydrolysate on the Growth Performance and Immune index of *Carassius auratus gibelio*[J]. *Feed Industry*, 2015, 36(4): 60-64. [杨凡, 陈昌福, 易建华, 等. 酵母水解物对异育银鲫生长和免疫性能的影响[J]. *饲料工业*, 2015, 36(4): 60-64.]
- [25] Cao J M, Xu D D, Huang Y H, et al. Effects of dietary nucleotides on growth performance, tissue biochemical composition and non-specific immunity of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(4): 594-603. [曹俊明, 许丹丹, 黄燕华, 等. 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、组织生化组成及非特异性免疫功能的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(4): 594-603.]
- [26] Djangmah J S. The effects of feeding and starvation on copper in the blood and hepatopancreas, and on blood proteins of *Crangon vulgaris* (Fabricius)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1970, 32(4): 709-731.
- [27] Zhu B K, Cao W X. Fatty acid composition and their changes during early life stage of silver carp hypophthalmichthys molitrix[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(2): 130-135. [朱邦科, 曹文宣. 鲢早期发育阶段鱼体脂肪酸组成变化[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(2): 130-135.]
- [28] Shen T, Wang J Y. *Biochemistry*[M]. Beijing: Higher Education Press, 1996: 200. [沈同, 王镜岩. *生物化学*[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996: 200.]
- [29] Zhao W P, Liu Y J, Pan Q, et al. Changes of blood sugar and liver glycogen levels after feeding in grass carp[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2002, 41(3): 64-67. [赵万鹏, 刘永坚, 潘庆, 等. 草鱼摄食后血糖和肝糖原质量分数的变化[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2002, 41(3): 64-67.]
- [30] Lin L, Zeng X L, Zhang J. Effect of profenofos poisoning on liver lipid peroxidation and liver function in rabbits[J]. *Chinese Journal of Clinical Rehabilitation*, 2004, 8(21): 4380-4381.
- [31] Palanivelu V, Vijayavel K, Balasubramanian S E, et al. Influence of insecticidal derivative (cartap hydrochloride) from the marine polychaete on certain enzyme systems of the fresh

- water fish *Oreochromis mossambicus*[J]. Journal of Environmental Biology, 2005, 26(2): 191-194.
- [32] Zhao L, Wang W, Huang X, et al. The effect of replacement of fish meal by yeast extract on the digestibility, growth and muscle composition of the shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Research, 2015, 48: 311-320.
- [33] He M, Huang X, Chen Z P, et al. Digestion, absorption and nutrition physiological role of yeast hydrolysate[J]. China Feed, 2014(9): 38-41. [贺森, 黄鑫, 陈中平, 等. 酵母水解物的消化吸收及营养作用[J]. 中国饲料, 2014(9): 38-41.]
- [34] Aktas M, Ciger O, Genc E, et al. Effects of mannan oligosaccharide and serotonin on molting, growth, body composition and hepatopancreas histology of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931)[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 14: 205-211.
- [35] Wang J Y, Jiang K J, Xia B, et al. Effects of small peptides on digestive enzyme activity, anti-oxidant capacity and biochemical composition of juvenile *Platichthys stellatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(6): 1154-1164. [王际英, 姜柯君, 夏斌, 等. 小肽对星斑川鲷幼鱼消化酶活性、抗氧化能力和生化组成的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1154-1164.]
- [36] Cheng Z, Buentello A, Gatlin III D M. Dietary nucleotides influence immune responses and intestinal morphology of red drum *Sciaenops ocellatus*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2011, 30(1): 143-147.
- [37] Tsujinaka T, Kishibuchi M, Iijima S, et al. Nucleotides and intestine[J]. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 1999, 23(5S): S74-S77.
- [38] Xu D D, Cao J M, Huang Y H, et al. Effects of dietary nucleotides on growth performance, intestinal morphology and anti-oxidative activities of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1115-1124. [许丹丹, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中替代核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、肠道形态及抗氧化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1115-1124.]
- [39] Zhu T H, Ji H, Wang L H, et al. Effects of yeast nucleotides on growth performance, biochemical index and intestinal development of *Cyprinus carpio*[J]. Feed Research, 2010(9): 1-4. [朱天和, 吉红, 王丽宏, 等. 酵母核苷酸对鲤鱼生长性能、生化指标和肠道发育的影响[J]. 饲料研究, 2010(9): 1-4.]
- [40] Yue G W, Shi Y H, Wu X B, et al. Effects of dietary nucleic on growth performance of broilers[C]//China Animal Husbandry and Veterinary Association Animal Nutrition Seminar, 2000. [乐国伟, 施用晖, 邬小兵, 等. 日粮补充核酸对肉鸡生长发育的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会学术研讨会, 2000.]
- [41] Ortega M A, Nun  z M C, Gil A, et al. Dietary nucleotides accelerate intestinal recovery after food deprivation in old rats[J]. The Journal of Nutrition, 1995, 125(6): 1413-1418.
- [42] Sonoda T, Tatibana M. Metabolic fate of pyrimidines and purines in dietary nucleic acids ingested by mice[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Nucleic Acids and Protein Synthesis, 1978, 521(1): 55-66.
- [43] Xu L, Ran C, He S, et al. Effects of dietary yeast nucleotides on growth, non-specific immunity, intestine growth and intestinal microbiota of juvenile hybrid tilapia *Oreochromis niloticus*, ♀ × *Oreochromis aureus*, ♂[J]. Animal Nutrition, 2015, 1(3): 244-251.
- [44] Miao X, Cao J J, Xu W, et al. Effects of dietary nucleotides on growth performance, intestinal morphology and anti-oxidative capacities of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(8): 1140-1148. [苗新, 曹娟娟, 徐玮, 等. 核苷酸对大黄鱼生长性能、肠道形态和抗氧化能力的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(8): 1140-1148.]
- [45] Guo J, Guo B, Zhang H, et al. Effects of nucleotides on growth performance, immune response, disease resistance and intestinal morphology in shrimp *Litopenaeus vannamei*, fed with a low fish meal diet[J]. Aquaculture International, 2016, 24(4): 1007-1023.
- [46] Bueno J, Torres M, Almendros A, et al. Effect of dietary nucleotides on small intestinal repair after diarrhoea. Histological and ultrastructural changes[J]. Gut, 1994, 35(7): 926-933.

Effects of yeast hydrolysate on the growth performance, digestive enzyme activity, and intestinal morphology of *Litopenaeus vannamei*

XIONG Jia¹, YUAN Ye¹, LUO Jiaxiang¹, LU You¹, MA Hongna¹, ZHOU Qicun¹, LIANG Chao², ZOU Qing²

1. Laboratory of Fish Nutrition, School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Guangdong Hinabiotech Co, Ltd., Guangzhou 510275, China

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of yeast hydrolysate (YH) on the growth performance, serum biochemical indices, digestive enzyme activity, and intestinal morphology of *Litopenaeus vannamei*. Four isonitrogenous and isolipidic practical diets (42.5% crude protein and 8.5% crude lipid) were formulated to contain 0%, 1%, 3%, and 5% YH (named Y0, Y1, Y3, and Y5, respectively). A total of 480 *Litopenaeus vannamei*, with an average initial body weight of about 1.86 ± 0.01 g, were randomly allocated to four groups with four replicates per group and 30 shrimps per replicate. The results indicated that the shrimp fed the diet containing 5% YH had a significantly higher weight gain rate, specific growth rate, and protein efficiency rate than those fed the control diet ($P < 0.05$), and that the lowest feed conversion ratio occurred in the Y5 group ($P < 0.05$). Crude protein of whole shrimp significantly increased with increasing YH levels in the diet ($P < 0.05$). Dietary supplementation with 5% YH significantly increased the contents of total protein and triglyceride and decreased the activities of aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase ($P < 0.05$). However, serum glucose and total cholesterol were not significantly influenced by YH ($P > 0.05$). Shrimp fed the Y3 diet had higher hepatopancreas trypsin and lipase activities than those fed the control diet ($P < 0.05$), but there were no significant differences in amylase activity among all the treatments ($P > 0.05$). Shrimp fed the Y3 diet had significantly higher fold heights and widths in their intestines than those fed the control diet ($P < 0.05$), and microvillus height in the Y5 group was significantly higher than that in the Y0 group. In conclusion, a 3%–5% YH supplementation in shrimp diet can effectively promote digestion and improve the growth performance, feed utilization, and intestinal morphology of *Litopenaeus vannamei*.

Key words: yeast hydrolysate; *Litopenaeus vannamei*; growth performance; serum biochemical indices; digestive enzyme; intestinal morphology

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