



酵母水解物对低盐胁迫凡纳滨对虾非特异性免疫及抗氧化能力的影响

陈永康¹, 陈泽恩¹, 梁武辉¹, 黎国勇¹, 胡骏鹏²,
杨志龙², 聂琴², 迟淑艳^{1*}

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088;

2. 安琪酵母股份有限公司, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 为研究饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾在低盐胁迫条件下非特异性免疫和抗氧化能力的影响, 选取凡纳滨对虾 [初始体质量 (15.82±0.08) g] 进行实验。实验用对虾平均分为 2 组, 对照组投喂基础饲料 (Y0), 实验组投喂添加了 3% 酵母水解物的实验饲料 (Y3), 在室内养殖 (盐度为 28) 15 d 后分别放入盐度为 4(S4) 和 28(S28) 的水体中进行低盐胁迫实验, 每个处理组 3 个重复, 每个重复 30 尾虾 (根据饲料和盐度不同组合, 分组命名为 Y0S4、Y0S28、Y3S4、Y3S28)。结果显示, 饲料中添加 3% 酵母水解物对凡纳滨对虾血清酚氧化酶 (PO)、总一氧化氮合成酶 (TNOS) 活性没有显著影响, 但低盐胁迫 1.0 h 时, Y3S4 组 PO、TNOS 活性显著高于 Y0S4 组; 盐度因素对 PO、TNOS 活性产生显著影响, 低盐胁迫 1.0 h 时, S28 组 PO、TNOS 活性显著高于 S4; 饲料中添加 3% 酵母水解物显著提高了凡纳滨对虾肝胰腺超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; 盐度对酸性磷酸酶 (ACP) 活性产生了显著影响, S28 组 ACP 活性显著高于 S4。研究表明, 在饲料中添加酵母水解物能够提高凡纳滨对虾肝胰腺 SOD 活性, 提高对虾的抗氧化能力; 凡纳滨对虾在低盐胁迫时, 能迅速恢复 PO、TNOS 活性至正常水平, 从而提高对虾抵抗不良环境的能力。

关键词: 凡纳滨对虾; 酵母水解物; 低盐胁迫; 非特异性免疫; 抗氧化能力

中图分类号: S 963.32⁷

文献标志码: A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 耐盐度广, 可生活在盐度为 1~50 的水体中^[1]。在室外养殖系统中, 暴雨造成的盐度突降可能引起严重的氧化应激, 使对虾体内的活性氧 (ROS) 增加。ROS 主要来源于线粒体, 在能量产生过程中, 氧气在电子传递链中被还原形成氧自由基^[2]。一定浓度的 ROS 有利于激活对虾的自主防御能力, 抵抗不良环境变化; 但当 ROS 过量时, 则会攻击细胞膜, 改变细胞膜的通透性, 甚至使细胞凋

亡^[3]。超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 等是对虾抗氧化系统中的关键组成部分, 可清除氧化应激反应中生成的 ROS。其中, SOD 通过歧化作用, 催化 2 个分子 ROS 生成 1 分子过氧化氢和 1 个分子氧气; CAT 则是催化过氧化氢分解为水和氧气, 2 种酶在动物的抗氧化能力中起了关键作用^[2]。

水产动物饲料不仅要为动物提供足够的营养和能量, 还通过其中的活性物质调节动物的

收稿日期: 2020-09-26 修回日期: 2020-11-06

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0900200)

第一作者: 陈永康 (照片), 从事水产动物营养与饲料研究, E-mail: chenyonkang777@126.com

通信作者: 迟淑艳, E-mail: chishuyan77@163.com



生理代谢, 减少环境变化时产生的不良反应。研究表明, 日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 肌肉中的游离氨基酸, 如甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸在一定盐度范围内随着盐度的升高而显著增加^[4], 在饲料中补充 2.58% 甘氨酸能够显著提高凡纳滨对虾遭遇盐度突降时的存活率^[5]。酵母类物质作为一种新型的蛋白质原料, 含有核酸、小肽、寡糖、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, 可以改善斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)^[6]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[7]、斑节对虾 (*Penaeus monodon*)^[8] 的生长性能和健康。以往研究表明, 饲料中添加酵母水解物能够提高凡纳滨对虾的非特异性免疫力, 改善肠道菌群的多样性^[9-10], 提高消化酶活性及利用糖类和脂类物质的能力^[11]。

研究表明, 补充富硒酵母能够改善中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 在亚硝酸盐胁迫条件下的抗氧化和免疫水平^[12]; 补充酵母水解物能够提高凡纳滨对虾在氨氮胁迫条件下的存活率^[13]。推测酵母类物质在水生动物对环境胁迫的免疫调节反应中发挥着重要作用。但在低盐度胁迫条件下, 酵母水解物对凡纳滨对虾非特异性免疫力和抗氧化能力是否具有调节作用尚不得知。越来越频繁的台风带来大量降水, 使得水体盐度急剧变化, 对水产动物造成应激, 应激产生的大量自由基可能导致动物死亡^[14]。凡纳滨对虾虽然对 1~50 的盐度有较强的耐受性, 但剧烈的盐度变化可能会对其健康状况造成损害^[15]。本实验旨在探讨在低盐度胁迫条件下, 饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾非特异性免疫和抗氧化能力的影响。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以红鱼粉、去皮豆粕、玉米蛋白粉、花生粕为主要蛋白质源, 鱼油、豆油、大豆卵磷脂为主要脂肪源, 配制 2 组等氮等脂的实验饲料 (记作 Y0、Y3)。其中对照组 (Y0) 鱼粉用量为 25%, 不添加酵母水解物; 实验组 (Y3) 鱼粉用量为 20%, 添加 3% 酵母水解物 (安琪酵母股份有限公司, 粗蛋白 49%、粗脂肪 0.5%)。饲料原料经粉碎后过 60 目筛, 按配方称重, 逐级放大混合均匀, 用双螺杆挤压机 (F-75, 华南理工大学科技实业总厂) 加工制成 1.5 mm 的颗粒状饲料,

在 60 °C 烘箱中后熟化 30 min, 晾干后于 -20 °C 冰箱中储存备用。实验饲料配方和营养水平见表 1。

表 1 实验饲料组成及营养水平 (干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (dry matter basis) %

项目 items	饲料 diets	
	Y0	Y3
原料 ingredient		
红鱼粉 brown fish meal	25	20
去皮豆粕 peeled soybean meal	21.55	21.80
玉米蛋白粉 corn gluten meal	5	6
花生粕 peanut meal	6	7
虾头粉 shrimp head meal	3	3
酵母水解物 yeast hydrolysate	0	3
面粉 wheat flour	26	26
大豆卵磷脂 soybean lecithin	2	2
豆油 soybean oil	2	2
鱼油 fish oil	2.00	2.25
维生素预混料 vitamin premix ¹	0.5	0.5
矿物质预混料 mineral premix ¹	2	2
维生素C vitamin C	0.03	0.03
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.8	2.9
微晶纤维素 cellulose	1.99	1.36
蛋氨酸 DL-methionine	0.05	0.08
氯化胆碱 choline chloride	0.03	0.03
抗氧化剂 antioxidant	0.05	0.05
合计 total	100	100
营养水平 nutrition level²		
粗蛋白 crude protein	40.42	39.8
粗脂肪 crude fat	9.03	10.00

注: 1. 维生素预混料和矿物质预混料均由青岛玛斯特生物科技有限公司提供; 2. 营养水平为实测值

Notes: 1. Vitamin premix and mineral premix were provided by Qingdao Master Bio-Tech. Co., Ltd., China; 2. nutrition levels are measured values

1.2 实验动物养殖管理

养殖管理 凡纳滨对虾虾苗购自广东湛江粤海水产种苗有限公司, 在水泥池中标粗备用。实验开始前禁饲 24 h, 随机挑选健康虾 [初

始体质量 (15.82 ± 0.08) g] 平均分为 2 组, 对照组 Y0 投喂不含酵母水解物的基础饲料, 实验组 Y3 投喂添加 3% 酵母水解物的实验饲料, 养殖 15 d。实验在广东海洋大学东海岛海洋科技园室内养殖系统中进行。分别在 7:00、11:00、17:00 和 21:00 饱食投喂, 并根据对虾的进食情况和天气情况调整具体投喂量。实验期间水温 29~31 °C, pH 值 8.0~8.2, 盐度 28。

低盐胁迫 15 d 养殖实验结束后, 禁食 24 h。将 Y0 和 Y3 分别移入盐度为 4(S4) 和 28(S28) 的海水中, 每个处理 3 个重复, 每个重复 30 尾虾, 共 360 尾。根据饲料 (Y0、Y3) 和盐度 (S4、S28) 的不同组合, Y0 为投喂对照组饲料, Y3 为投喂添加 3% 酵母水解物饲料的实验组; S4 为盐度 4 的胁迫条件, S28 为盐度 28 的胁迫条件, 将 4 组命名为 Y0S4、Y0S28、Y3S4 和 Y3S28。

1.3 样品采集与分析

在低盐胁迫实验的 0、0.5、1.0、3.0、6.0 和 9.0 h, 共 6 个时间点取样, 每次每桶取 4 尾实验虾, 无菌注射器取血置于 1.5 mL 离心管中, 4 °C 静置过夜后, 4 °C、8 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液于冰箱 -80 °C 保存, 备测血清酶活性。冰浴中剥离肝胰腺, 置于冻存管中, 液氮保存, 用于相关酶活性分析。血清酚氧化酶 (PO) 活性测定使用比色法, 总一氧化氮合成酶 (TNOS) 活性测定使用钼酸铵法; 肝胰腺超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定使用比色法, 过氧化氢酶 (CAT) 活性测定使用可见光法, 酸性磷酸酶 (ACP) 和碱性磷酸酶 (AKP) 活性测定使用微板法, 以上酶活性检测使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定, 具体方法参见说明书。

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 19.0 统计软件对实验数据进行双因素方差分析 (Two-Way ANOVA)。若单个因素作用显著 ($P < 0.05$), 则对单个因素的平均值进行 Duncan 氏多重比较; 若交互因素作用显著 ($P < 0.05$), 则对每个处理的平均值进行 Duncan 氏多重比较。

2 结果

2.1 饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾低盐胁迫条件下存活率的影响

将凡纳滨对虾分别转移至盐度 4 和 28 的水

体 0.5、1.0、3.0 和 6.0 h 后, 各组均未出现死亡; 9.0 h 时, Y3S4 组出现死亡, 但各组的存活率无显著差异 ($P > 0.05$) (图 1)。

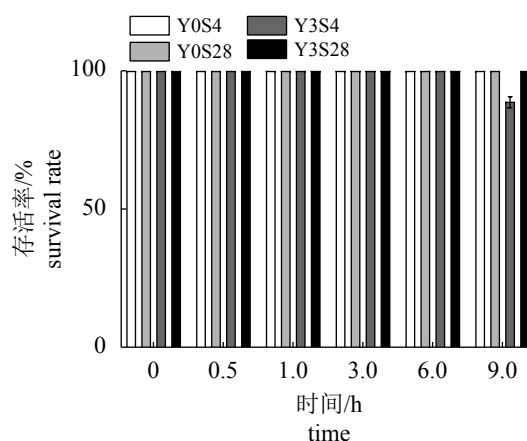


图 1 饲料中添加酵母水解物对凡纳滨对虾低盐度胁迫后存活率的影响

Fig. 1 Effect of yeast hydrolysate on survival rate of *L. vannamei* under low salinity stress

2.2 酵母水解物对凡纳滨对虾血清非特异性免疫酶活性的影响

Y0 和 Y3 组饲料对对虾血清 PO 活性没有产生显著影响 ($P > 0.05$)。低盐胁迫 0.5 h 时, 相比于 S28 组, S4 组凡纳滨对虾血清 PO 活性显著下降 ($P < 0.05$)。1.0 h 时, 饲料和盐度因素交互作用显著影响 PO 活性, 其中, S28 组 PO 活性显著高于 S4 ($P < 0.05$), Y3 组 PO 活性显著高于 Y0 组 ($P < 0.05$)。3.0 和 9.0 h 时, S28 组 PO 活性显著高于 S4 ($P < 0.05$) (表 2)。

2 组饲料对对虾血清 TNOS 活性的影响无显著差异 ($P > 0.05$)。低盐胁迫 0.5、1.0 和 3.0 h 时, S4 组 TNOS 活性显著下降 ($P < 0.05$), 而饲料因素对 TNOS 活性影响不显著 ($P > 0.05$)。6.0 和 9.0 h 时, 饲料和盐度因素均对 TNOS 活性无显著影响 ($P > 0.05$) (表 3)。

2.3 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺抗氧化和非特异性免疫相关酶活性的影响

相比于 Y0 组, Y3 组显著提高了对虾肝胰腺 SOD 活性 ($P < 0.05$)。低盐胁迫 0.5 h 时, Y0 组 SOD 活性显著高于 Y3 组 ($P < 0.05$)。3.0 h 时, 饲料因素和盐度因素均对 SOD 活性产生显著影响 ($P < 0.05$), 但无交互作用, Y3 和 S28 的 SOD 活性分别显著高于 Y0 和 S4 ($P < 0.05$)。9.0 h 时, 饲料

表 2 酵母水解物对凡纳滨对虾血清酚氧化酶活性的影响
Tab. 2 Effect of yeast hydrolysate on PO activity in serum of *L. vannamei*

		U/mL						
项目 items		时间/h time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	11.91±2.22	5.33±0.75	3.20±1.51 ^c	7.20±2.64	13.87±2.32	12.00±2.64	
	S28	13.87±0.53	10.67±1.07	14.67±0.38 ^a	14.58±0.81	14.22±1.34	13.51±2.68	
Y3	S4	13.69±2.16	6.76±1.11	9.60±0.751 ^b	8.80±1.13	12.27±2.32	11.56±2.16	
	S28	12.27±0.53	12.00±0.38	12.80±1.60 ^a	13.51±1.63	14.04±0.62	16.53±1.41	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		12.89±1.64	8.00±2.72	8.93±5.78 ^B	10.89±3.84	14.04±1.56	12.76±2.20	
Y3		12.98±1.46	9.38±2.67	11.20±1.90 ^A	11.16±2.58	13.16±1.65	14.04±2.90	
	S4	12.80±1.99	6.04±1.04 ^x	6.40±3.31 ^x	8.00±1.65 ^x	13.07±2.06	11.78±1.82 ^y	
	S28	13.07±0.91	11.33±0.95 ^y	13.73±1.37 ^y	14.04±1.18 ^y	14.13±0.86	15.02±2.31 ^y	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.925	0.066	0.047	0.802	0.418	0.376	
	盐度因素 salinity factor	0.779	0	0	0.001	0.335	0.049	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.104	0.945	0.005	0.238	0.514	0.244	

注：同列中不同字母代表差异显著($P<0.05$)；A、B代表饲料因素，x、y代表盐度因素，下同

Notes: Means in the same column with same superscript indicates nonsignificant($P<0.05$), diet factor is represented by A and B, salinity factor is represented by x and y, the same below

表 3 酵母水解物对凡纳滨对虾血清总一氧化氮合成酶活性的影响
Tab. 3 Effect of yeast hydrolysate on TNOS activity in serum of *L. vannamei*

		U/mL						
项目 items		时间/h time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	11.19±1.55	9.11±1.62	6.12±0.91 ^b	8.48±1.82	12.93±1.94	13.13±1.54	
	S28	12.47±0.18	11.36±0.70	12.36±2.15 ^a	13.13±0.47	13.45±0.77	12.45±1.91	
Y3	S4	12.99±1.49	8.56±1.04	9.98±0.79 ^a	10.82±2.36	12.62±1.33	12.70±1.69	
	S28	12.19±0.13	12.05±1.54	12.76±1.30 ^a	12.50±0.60	12.73±0.25	13.93±0.67	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		11.83±1.11	10.23±1.52	9.24±3.37	10.81±2.44	13.19±1.23	12.79±1.45	
Y3		12.59±0.95	10.31±2.04	11.37±1.63	11.66±1.64	12.68±0.78	13.32±1.21	
	S4	12.09±1.54	8.83±1.14 ^x	8.05±2.02 ^x	9.65±2.05 ^x	12.78±1.36	12.92±1.34	
	S28	12.33±0.19	11.70±1.03 ^y	12.56±1.47 ^y	12.82±0.54 ^y	13.09±0.59	13.19±1.38	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.260	0.925	0.075	0.380	0.494	0.565	
	盐度因素 salinity factor	0.708	0.005	0.004	0.010	0.673	0.766	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.134	0.430	0.131	0.149	0.788	0.309	

和盐度的交互作用对 SOD 活性的影响显著，Y0S28 组活性显著高于其余各组 ($P<0.05$) (表 4)。

Y0 和 Y3 两组饲料对对虾肝胰腺 CAT 活性没有产生显著影响 ($P>0.05$)。1.0 h 时，S28 组

表 4 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺超氧化物歧化酶活性的影响
 Tab. 4 Effect of yeast hydrolysate on SOD activity in hepatopancreas of *L. vannamei*

项目		时间/h						
items		time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	5.66±0.49	9.89±0.07 ^a	6.89±1.53	3.99±0.55	8.67±2.07	9.75±1.68 ^b	
	S28	4.08±2.14	7.82±0.75 ^a	11.85±2.77	7.52±1.89	9.47±0.90	12.60±1.32 ^a	
Y3	S4	9.81±1.58	3.30±1.20 ^b	8.16±0.92	7.40±1.58	10.38±1.89	7.67±0.70 ^{bc}	
	S28	10.92±0.67	5.20±1.22 ^b	9.85±2.55	10.82±1.02	10.00±0.98	6.28±0.77 ^c	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		4.87±1.35 ^B	8.85±1.10 ^A	9.37±3.07	5.76±2.02 ^B	9.07±1.42	11.18±1.85 ^A	
Y3		10.36±1.14 ^A	4.25±1.33 ^B	9.01±1.86	9.11±1.93 ^A	10.19±1.29	6.97±0.92 ^B	
	S4	7.73±2.28	6.59±3.35	7.52±1.10	5.70±1.90 ^x	9.53±1.83	8.71±1.48	
	S28	7.50±3.51	6.51±1.54	10.85±2.39	9.17±1.93 ^y	9.74±0.72	9.44±3.19	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.001	0.001	0.815	0.012	0.345	0.001	
	盐度因素 salinity factor	0.797	0.907	0.065	0.011	0.855	0.342	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.169	0.032	0.311	0.952	0.611	0.021	

CAT 活性显著高于 S4 ($P<0.05$)。9.0 h 时, 饲料因素和盐度因素的交互作用对 CAT 活性产生显著影响 ($P<0.05$), Y3S4 组 CAT 活性显著高于 Y0S4 组、Y3S28 组 ($P<0.05$)。低盐胁迫 0.5 h、3.0 h、

6.0 h 时, 饲料和盐度因素均对 CAT 活性无显著影响 ($P>0.05$)(表 5)。

相比于 Y0 组, Y3 组对虾肝胰腺 AKP 活性显著降低 ($P<0.05$); 相比于 S4 组, S28 组 AKP 活

表 5 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺过氧化氢酶活性的影响
 Tab. 5 Effect of yeast hydrolysate on CAT activity in hepatopancreas of *L. vannamei*

项目		时间/h						
items		time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	0.14±0.01	0.14±0.01	0.19±0.00	0.22±0.02	0.26±0.19	0.13±0.06 ^b	
	S28	0.19±0.03	0.21±0.01	0.24±0.03	0.25±0.14	0.10±0.08	0.20±0.08 ^{ab}	
Y3	S4	0.15±0.02	0.17±0.11	0.19±0.03	0.17±0.03	0.29±0.04	0.26±0.02 ^a	
	S28	0.13±0.02	0.20±0.01	0.33±0.07	0.17±0.04	0.19±0.09	0.18±0.08 ^b	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		0.17±0.03	0.18±0.03	0.21±0.03	0.23±0.07	0.18±0.14	0.20±0.07	
Y3		0.14±0.02	0.19±0.07	0.26±0.08	0.17±0.03	0.24±0.07	0.14±0.10	
	S4	0.15±0.01	0.15±0.07	0.19±0.02 ^B	0.19±0.03	0.28±0.12	0.17±0.08	
	S28	0.16±0.03	0.21±0.08	0.28±0.07 ^A	0.21±0.08	0.15±0.08	0.17±0.08	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.175	0.811	0.198	0.302	0.472	0.885	
	盐度因素 salinity factor	0.485	0.252	0.026	0.779	0.160	0.165	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.070	0.760	0.222	0.870	0.755	0.010	

性显著提高 ($P<0.05$)。低盐胁迫 0.5 和 6.0 h 时, Y3 6.0 和 9.0 h 时, 盐度因素均对 AKP 活性无显著组 AKP 活性显著低于 Y0 ($P<0.05$)。0.5、1.0、3.0、影响 ($P>0.05$)(表 6)。

表 6 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺碱性磷酸酶活性的影响
Tab. 6 Effect of yeast hydrolysate on AKP activity in hepatopancreas of *L. vannamei*

项目 items		时间/h time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	106.21±6.50	134.78±32.46	104.15±17.13	78.15±0.31	120.65±1.04	94.71±8.52	
	S28	121.32±4.97	127.19±3.36	125.36±6.32	114.28±36.48	145.95±5.50	85.01±2.95	
Y3	S4	90.27±12.45	69.31±24.86	125.23±6.86	89.60±22.44	91.24±11.31	73.55±10.43	
	S28	103.07±10.58	83.67±0.66	123.43±14.00	86.87±10.35	104.21±19.34	84.23±10.09	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		113.77±8.75 ^A	130.99±16.75 ^A	114.76±15.27	96.22±29.08	133.30±12.95 ^A	89.86±7.11	
Y3		96.67±11.40 ^B	76.49±14.36 ^B	124.33±7.84	88.23±14.33	97.72±14.47 ^B	78.89±9.93	
	S4	98.24±11.37 ^Y	102.05±38.59	114.69±15.28	83.87±15.26	105.95±16.09	84.13±13.12	
	S28	112.19±11.39 ^X	105.43±21.82	124.40±7.74	100.58±25.83	125.08±23.96	84.62±6.08	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.023	0.020	0.333	0.597	0.006	0.057	
	盐度因素 salinity factor	0.049	0.827	0.327	0.285	0.065	0.923	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.850	0.491	0.254	0.220	0.495	0.073	

2 组饲料对对虾肝胰腺 ACP 活性产生了影响, Y3 组 ACP 活性显著低于 Y0 组 ($P<0.05$)。低盐胁迫 1.0 h 时, S28 组 ACP 活性显著高于 S4 组 ($P<0.05$)。3.0 h 时, 饲料因素和盐度因素及两者的交互作用对 ACP 活性产生了影响, Y0 和 S28 的 ACP 活性显著高于 Y3 和 S4 ($P<0.05$), Y0S28 组 ACP 活性显著高于其余各组 ($P<0.05$)。6.0 h 时, Y0 组 ACP 活性显著高于 Y3 组 ($P<0.05$)。9.0 h 时, 饲料因素和盐度因素的交互作用对 ACP 活性产生了显著影响, Y0S4 组 ACP 活性显著高于 Y3S4 组 ($P<0.05$)(表 7)。

3 讨论

在甲壳动物中, PO 和 TNOS 在一定程度上反映了机体的免疫防御状态, 在对虾的非特异性免疫中占有非常重要的地位^[16]。酚氧化酶原激活系统是甲壳动物体内重要的异物识别系统, 入侵的异物将该系统激活后, PO 可将酚催化形成具有抗微生物活性的黑色素, 可将一些病原体杀死^[17]。TNOS 是催化一氧化氮 (NO) 合成的关键酶, NO 能够杀灭胞内病原体, 胞外寄生虫

和细菌^[18-19], 并且能够快速有效地杀死哈维氏弧菌 (*Vibrio harveyi*), 是凡纳滨对虾对抗哈维氏弧菌感染的重要潜在抗菌分子^[20]。Zheng 等^[21]和 Moullac 等^[22]发现, 在遭遇急性低盐胁迫或低氧胁迫的过程中, 凡纳滨对虾肠道 PO 基因表达或血淋巴 PO 活性显著提高; Jiang 等^[23]发现, 在氨氮或硫化物胁迫的过程中, 凡纳滨对虾体内 NO 一直维持在高水平, 同时 SOD 和 CAT 活性显著上调。这说明, 在遭遇不良环境时, 动物体能够有限度地调节自身免疫水平以适应环境变化。在本实验中, 当经历低盐胁迫后, 凡纳滨对虾的血清 PO 活性随着时间先降低后升高; 与 PO 相似, 在 1.0 h 时, Y3S4 组 TNOS 活性显著高于 Y0S4 组, 这可能是由于在遭遇低盐胁迫时, 对虾 PO 和 TNOS 的活性先被抑制, 随着实验时间的延长, 仍然需要免疫系统帮助动物体抵抗不良环境。酵母水解物的添加有助于 PO 和 TNOS 活性迅速提高, 为机体维持一定的免疫防御能力。酵母水解物中含有大量的 β -葡聚糖和甘露寡糖, 研究表明, β -葡聚糖能够提高凡纳滨对虾在低盐胁迫下的存活率^[24]; 甘露寡糖能够提高

表 7 酵母水解物对凡纳滨对虾肝胰腺酸性磷酸酶活性的影响
 Tab. 7 Effect of yeast hydrolysate on ACP activity in hepatopancreas of *L. vannamei*

项目 items		时间/h time						
饲料 diet	盐度 salinity	0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	
每个处理的平均值 individual treatment means								
Y0	S4	86.99±7.98	92.31±5.05	84.90±8.81	85.57±5.65 ^b	103.10±11.55	84.36±3.85 ^a	
	S28	103.29±12.18	87.48±21.29	129.74±17.64	135.02±11.55 ^a	118.47±8.82	72.92±7.93 ^{ab}	
Y3	S4	77.36±10.05	60.40±3.64	99.51±4.73	74.95±13.56 ^b	91.83±14.31	66.74±7.15 ^b	
	S28	84.03±13.64	81.62±9.95	114.72±23.69	84.16±10.10 ^b	98.29±13.59	81.08±8.93 ^{ab}	
单个因子的平均值 means of single factor								
Y0		95.14±11.71 ^A	89.90±11.20	107.32±25.14	110.29±25.55 ^A	110.79±10.70 ^A	78.64±7.72	
Y3		80.69±9.40 ^B	71.01±11.86	107.11±13.30	79.56±9.89 ^B	95.06±11.84 ^B	73.91±9.75	
	S4	82.17±8.84	76.36±16.25	92.21±9.31 ^a	80.26±9.06 ^a	97.47±11.79	75.55±9.90	
	S28	93.66±13.63	84.55±12.11	122.23±17.05 ^a	109.59±26.23 ^a	108.38±13.76	77.00±8.01	
P值 P value	饲料因素 diet factor	0.065	0.093	0.981	0.008	0.076	0.342	
	盐度因素 salinity factor	0.125	0.394	0.010	0.009	0.192	0.765	
	饲料因素×盐度因素 diet×salinity	0.490	0.204	0.129	0.037	0.574	0.027	

红鲷鱼 (*Pagrus major*) 和军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 幼鱼的耐盐性^[25-26]。酵母水解物中 β -葡聚糖^[27-28] 和甘露寡糖^[29] 等免疫刺激物可通过提高对虾的免疫力, 保持内环境稳态, 而提高了存活率。

当对虾受到外界环境的胁迫时会使体内发生氧化应激。适量的 ROS 能够增强机体免疫, 帮助机体抵抗应激; 但过量的 ROS 会与生物分子 DNA 和蛋白质发生反应, 通过激活多个连锁反应最终导致氧化损伤^[30]。因此, 急性应激或长期慢性胁迫产生的自由基易造成动物体细胞结构的严重损伤, 甚至死亡^[31]。SOD 作为一种胞质酶, 负责清除 ROS 和保护吞噬作用后损伤的组织^[32]。在本实验中, 经过低盐胁迫后, Y0 和 Y3 组 SOD 活性经历了不同的变化趋势, Y0 组先升后降, Y3 则是先降后升, 2 组在 6.0 h 到 9.0 h 逐步恢复到稳定水平; 饲料因素对 SOD 活性产生了显著影响, 酵母水解物的添加使对虾 SOD 活性显著升高, 改善了对虾在低盐胁迫时的抗氧化能力。研究表明, 饲料中添加 0.5% 水解酵母能够改善对虾在氨氮胁迫下的存活率, 显著提高凡纳滨对虾肝胰腺 SOD 和 ACP 活性^[12]; 饲料中添加 1.5% 的酵母水解物能够显著提高青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 肝脏 SOD 活性^[33]。酵母

水解物能够提高 SOD 活性可能与其含有甘露寡糖和核苷酸等物质有关。甘露寡糖和核苷酸能够刺激机体的免疫应答, 增强 SOD 活性, 提高动物体非特异性免疫力^[34-35]。研究表明, 添加 0.4~0.8 g/kg 的核苷酸混合物或 4 g/kg 甘露寡糖能够分别显著提高对虾血清总抗氧化能力^[36] 和 SOD 与 PO 活性^[29], 从而改善对虾的免疫能力。

CAT 能够有效地清除 SOD 催化 ROS 分解产生的过氧化氢, 在维持动物体免疫系统平衡中发挥着重要作用^[37-38]。饲料中添加酵母提取物能够显著提高凡纳滨对虾^[39] 和建鲤 (*Cyprinus carpio* var. Jian) CAT 活性^[40]。在本实验中, 对虾 CAT 活性随着应激时间的变化先升后降, 说明酵母水解物在其中起了一定的积极作用, 能够提高动物的抗氧化性能。Wang 等^[31] 研究结果表明, 经历低盐度和氨氮的联合胁迫作用后, 凡纳滨对虾 CAT 的活性在 48 h 内先是急剧降低, 然后稍有回升。虽然未恢复到胁迫前水平, 但 CAT 相关基因表达仍然维持一定的水平, 这可能是由于 CAT 基因的转录速度落后于翻译速度。Liu 等^[14] 的研究表明, 将凡纳滨对虾从盐度为 30 水体转移到盐度为 5 的水体时, 对虾肝胰腺 CAT 活性降低。在本实验中, 对虾肝胰腺 CAT 活性在 9 h

内先升后降,说明对虾在遭遇低盐度胁迫时,CAT活性提高有利于清除机体短时间内积累的过氧化氢,肝胰腺抗氧化酶SOD和CAT对于动物抵抗低盐胁迫有积极作用。与对照组相比,实验组中酵母水解物的添加可能持续刺激动物体产生CAT,从而维持高CAT活性,提高动物体的抗氧化水平。

磷酸酶是关键的溶酶体酶,在细胞溶解和分化过程中发挥关键作用,也可以作为生物系统环境胁迫评价的标记物,评估对虾免疫状态^[41]。AKP和ACP直接参与磷酸基团的催化、代谢和水解,在对虾的免疫防御中起重要作用^[42]。血清ACP和AKP的活性在0.5h时升高,同肝胰腺抗氧化酶的变化趋势相似,说明肝胰腺细胞可能是对虾抵抗低盐胁迫的主要场所。从总体趋势来看,Y0组AKP活性随时间变化呈现双峰变化,Y3组则是先降后升,在1.0h时达到峰值。这与ACP活性结果相似。胁迫实验开始时,虽然酵母水解物对ACP和AKP活性影响不大或稍降低其活性;但在实验中,酵母水解物的作用体现出来,能够及时提高AKP和ACP活性到正常水平,直到实验结束。从盐度因素分析,在1.0和3.0h时,正常盐度下对虾ACP活性显著高于低盐度,说明低盐胁迫会降低对虾的ACP活性。这与Shen等^[43]对凡纳滨对虾的研究结果相似,海水中许多离子是磷酸酶的催化剂或抑制剂,造成这种趋势变化的原因可能是盐度变化导致水体离子浓度变化导致磷酸酶的活性下降。

4 结论

综上所述,在饲料中添加3%酵母水解物通过提高凡纳滨对虾SOD、PO、TNOS活性,提高对虾在低盐胁迫环境下的抗氧化能力和免疫能力,从而提高凡纳滨对虾的抵抗低盐胁迫的能力。

参考文献 (References):

- [1] Saoud I P, Davis D A, Rouse D B. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. *Aquaculture*, 2003, 217(1-4): 373-383.
- [2] Ighodaro O M, Akinloye O A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): their fundamental role in the entire antioxidant defence grid[J]. *Alexandria Journal of Medicine*, 2018, 54(4): 287-293.
- [3] Qiu J, Wang W N, Wang L J, et al. Oxidative stress, DNA damage and osmolality in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* exposed to acute low temperature stress[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2011, 154(1): 36-41.
- [4] Wang W N, Wang A L, Bao L, et al. Changes of protein-bound and free amino acids in the muscle of the freshwater prawn *Macrobrachium nipponense* in different salinities[J]. *Aquaculture*, 2004, 233(1-4): 561-571.
- [5] Xie S W, Tian L X, Jin Y, et al. Effect of glycine supplementation on growth performance, body composition and salinity stress of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* fed low fishmeal diet[J]. *Aquaculture*, 2014, 418-419: 159-164.
- [6] Yang X Y, He Y F, Chi S Y, et al. Supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysate in a complex plant protein, low-fishmeal diet improves intestinal morphology, immune function and *Vibrio harveyi* disease resistance in *Epinephelus coioides*[J]. *Aquaculture*, 2020, 529: 735655.
- [7] 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.
- 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(in Chinese).
- [8] Subramanian M, Alikunhi N M, Kandasamy K. Immunostimulatory effect of mangrove-derived marine yeasts in *Penaeus monodon*[J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45(3): 389-396.
- [9] 何远法, 郁欢欢, 迟淑艳, 等. 酵母培养物对凡纳滨对虾生长性能、非特异性免疫力和抗病力的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(12): 4063-72.
- He Y F, Yu H H, Chi S Y, et al. Effects of yeast culture on growth performance, nonspecific immunity and disease resistance of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(12): 4063-72(in Chinese).
- [10] 何远法, 迟淑艳, 谭北平, 等. 酵母培养物对凡纳滨对虾肠道菌群结构的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2017, 37(04): 21-7.
- He Y F, Chi S Y, Tan B P, et al. Effects of yeast culture

- on intestinal microbiota of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2017, 37(04): 21-7(in Chinese).
- [11] Yang X Y, Chi S Y, Tan B P, *et al.* Yeast hydrolysate helping the complex plant proteins to improve the growth performance and feed utilization of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 17: 100375.
- [12] Wang X D, Shen Z H, Wang C L, *et al.* Dietary supplementation of selenium yeast enhances the antioxidant capacity and immune response of juvenile *Eriocheir Sinensis* under nitrite stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 87: 22-31.
- [13] Chen M, Chen X Q, Tian L X, *et al.* Enhanced intestinal health, immune responses and ammonia resistance in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed dietary hydrolyzed yeast (*Rhodotorula mucilaginosa*) and *Bacillus licheniformis*[J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 17: 100385.
- [14] Liu Y, Wang W N, Wang A L, *et al.* Effects of dietary vitamin E supplementation on antioxidant enzyme activities in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) exposed to acute salinity changes[J]. *Aquaculture*, 2007, 265(1-4): 351-358.
- [15] Li E, Chen L Q, Zeng C, *et al.* Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities[J]. *Aquaculture*, 2007, 265(1-4): 385-390.
- [16] Cerenius L, Jiravanichpaisal P, Liu H P, *et al.* Crustacean immunity[M]//Söderhäll K. *Invertebrate Immunity*. Boston, MA: Springer, 2010: 239-259.
- [17] Ratcliffe N A, Rowley A F, Fitzgerald S W, *et al.* Invertebrate immunity: basic concepts and recent advances[J]. *International Review of Cytology*, 1985, 97: 183-350.
- [18] Yano T, Kurata S. Intracellular recognition of pathogens and autophagy as an innate immune host defence[J]. *The Journal of Biochemistry*, 2011, 150(2): 143-149.
- [19] Gobert A P, Daulouede S, Lepoivre M, *et al.* L-arginine availability modulates local nitric oxide production and parasite killing in experimental trypanosomiasis[J]. *Infection and Immunity*, 2000, 68(8): 4653-4657.
- [20] Chen T, Wong N K, Jiang X, *et al.* Nitric oxide as an antimicrobial molecule against *Vibrio harveyi* infection in the hepatopancreas of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, 42(1): 114-120.
- [21] Zheng X T, Duan Y F, Dong H B, *et al.* Effects of dietary *Lactobacillus plantarum* in different treatments on growth performance and immune gene expression of white shrimp *Litopenaeus vannamei* under normal condition and stress of acute low salinity[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 62: 195-201.
- [22] Moullac G L, Soyeux C, Saulnier D, *et al.* Effect of hypoxic stress on the immune response and the resistance to Vibriosis of the shrimp *Penaeus stylirostris*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 1998, 8(8): 621-629.
- [23] Jiang L, Feng J X, Ying R, *et al.* Individual and combined effects of ammonia-N and sulfide on the immune function and intestinal microbiota of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 92: 230-240.
- [24] Li H F, Xu C, Zhou L, *et al.* Beneficial effects of dietary β -glucan on growth and health status of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 91: 315-324.
- [25] Dawood M A O, Koshio S, Fadl S E, *et al.* The modulatory effect of mannanoligosaccharide on oxidative status, selected immune parameters and tolerance against low salinity stress in red sea bream (*Pagrus major*)[J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 16: 100278.
- [26] Salze G, McLean E, Schwarz M H, *et al.* Dietary mannan oligosaccharide enhances salinity tolerance and gut development of larval cobia[J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 148-152.
- [27] Rodríguez J, Espinosa Y, Echeverría F, *et al.* Exposure to probiotics and β -1, 3/1, 6-glucans in larviculture modifies the immune response of *Penaeus vannamei* juveniles and both the survival to White Spot Syndrome Virus challenge and pond culture[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(4): 405-415.
- [28] Söderhäll K, Cerenius L. Role of the prophenoloxidase-activating system in invertebrate immunity[J]. *Current Opinion in Immunology*, 1998, 10(1): 23-28.
- [29] Zhang J, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effects of dietary mannan oligosaccharide on growth performance, gut morphology and stress tolerance of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 33(4): 1027-1032.
- [30] 刘文珍, 邱德全. 溶藻弧菌对凡纳滨对虾血清中一氧化氮及氧自由基的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2007,

- 27(3): 60-63.
- Liu W Z, Qiu D Q. Effect of *Vibrio alginolyticus* on nitric oxide and oxygen free radical in serum of *Penaeus vannamei* boone[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2007, 27(3): 60-63(in Chinese).
- [31] Wang Y, Li Z, Li J, *et al.* Effects of dietary chlorogenic acid on growth performance, antioxidant capacity of white shrimp *Litopenaeus vannamei* under normal condition and combined stress of low-salinity and nitrite[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, 43(2): 337-345.
- [32] 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.
- [33] 蒋敏敏, 叶金云, 邵仙萍, 等. 酵母水解物对青鱼幼鱼生长性能、肌肉品质及肝胰脏抗氧化指标和组织形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(5): 2326-2341.
- Jiang M M, Ye J Y, Shao X P, *et al.* Effects of yeast hydrolysate on growth performance, muscle quality, hepatopancreases antioxidant indexes and tissue morphology of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*)[J]. *Chinese journal of animal nutrition*, 2020, 32(5): 2326-2341(in Chinese).
- [34] Selim K M, Reda R M. Beta-glucans and mannan oligosaccharides enhance growth and immunity in Nile tilapia[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2015, 77(1): 22-30.
- [35] 卢建挺. 几种免疫增强剂改善中华绒螯蟹幼蟹生长、抗氧化和免疫性能的研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- Lu J T. Several immunostimulants improved growth, antioxidant ability and immunity of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[D]. Shanghai: East China Normal University, 2019 (in Chinese).
- [36] 许丹丹, 黄燕华, 曹俊明, 等. 饲料中添加核苷酸混合物对凡纳滨对虾幼虾非特异性免疫和抗氧化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 828-835.
- Xu D D, Huang Y H, Cao J M, *et al.* Nucleotide mixture supplementation affects non-specific immune and antioxidant indices of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 828-835(in Chinese).
- [37] Wang C, Yue X, Lu X, *et al.* The role of catalase in the immune response to oxidative stress and pathogen challenge in the clam *Meretrix meretrix*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2013, 34(1): 91-99.
- [38] Ha E M, Oh C T, Ryu J H, *et al.* An antioxidant system required for host protection against gut infection in *Drosophila*[J]. *Developmental Cell*, 2005, 8(1): 125-132.
- [39] Zheng L, Xie S W, Zhuang Z X, *et al.* Effects of yeast and yeast extract on growth performance, antioxidant ability and intestinal microbiota of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735941.
- [40] Yang X Y, Jiang G Z, Wang C C, *et al.* Effects of partial replacement of fish meal by yeast hydrolysate on antioxidant capability, intestinal morphology, and inflammation-related gene expression of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2019, 45(1): 187-197.
- [41] Murti R, Omkar, Shukla G S. Mercuric chloride intoxication in freshwater prawn: II. effect on phosphatases activity[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1984, 8(6): 581-586.
- [42] 朱春华, 李郁娇, 陈奕奕, 等. 壬基酚对罗氏沼虾血清中免疫酶活力的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2012, 32(6): 17-20.
- Zhu C H, Li Y J, Chen L L, *et al.* Effects of nonylphenol (NP) on the activities of immunologic enzyme in blood serum of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, 32(6): 17-20(in Chinese).
- [43] Shen M, Cui Y T, Wang R J, *et al.* Acute response of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* to high-salinity reductions in osmosis-, metabolism-, and immune-related enzyme activities[J]. *Aquaculture International*, 2020, 28(1): 31-39.

Effect of yeast hydrolysate on non-specific immunity and antioxidant ability of *Litopenaeus vannamei* under low salinity stress

CHEN Yongkang¹, CHEN Zeen¹, LIANG Wuhui¹, LI Guoyong¹, HU Junpeng²,
YANG Zhilong², NIE Qin², CHI Shuyan^{1*}

(1. Laboratory of Aquatic Economic Animal Nutrition and Feed, College of Fisheries,

Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Angel Yeast Co., Ltd., Yichang 443003, China)

Abstract: Frequent typhoons bring large amounts of precipitation, causing drastic changes in water salinity and stress to aquatic animals. The large number of free radicals generated by stress may lead to aquatic animal mortality, which causes huge economic losses. Although Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* is tolerant to salinities of 1 to 50, drastic salinity changes may be detrimental to their health status. As a new type of protein, yeast-like substances contain a variety of functional substances and nutrients such as nucleic acids, small peptides, oligosaccharides, free amino acids, and rich B vitamins, which can improve the growth performance and health of animals, for example *Epinephelus coioides*, *Scophthalmus maximus*, *Penaeus monodon*. Previous studies have shown that the addition of yeast hydrolysate to feed can improve the non-specific immunity, the diversity of intestinal flora, the digestive enzyme activity, and the ability to utilize sugars and lipids in *L. vannamei*. It is interesting that yeast-like substances seem to play an active role in the immunoregulation response of aquatic animals to environmental stresses. This study aimed to investigate the effect of yeast hydrolysate addition to feed on the non-specific immune and antioxidant capacity of *L. vannamei* under salinity stress conditions. Shrimps [initial weight (15.82 ± 0.08) g] were randomly divided into 2 groups. The control group was fed with basic feed (Y0), and the experimental group was fed with experimental feed (Y3) supplemented with 3% yeast hydrolysate. After 15 days of culture, they were transferred to the water of salinity 4 (S4) and salinity 28 (S28) for low salinity stress with 3 replicates tanks of each group and 30 individuals in each tank. Groups were named Y0S4, Y0S28, Y3S4, Y3S28 according to different combinations of feed and salinity conditions. The results showed that there was no significant difference in the survival rate of the groups after transferring the shrimp to water with salinities of 4 and 28. The addition of yeast hydrolysate to the feed had no significant effect on serum phenoloxidase (PO) and total nitric oxide synthase (TNOS) activities in *L. vannamei*. At 1.0 h of low salinity stress, PO and TNOS activities were significantly higher in the Y3S4 group than in the Y0S4 group. The salinity factor had a significant effect on PO and TNOS activities, PO, TNOS activities were significantly higher in the S28 group than in the S4 group at 1.0 h. What's more, the addition of 3% yeast hydrolysate to the feed significantly increased the hepatopancreas superoxide dismutase (SOD) activity of the shrimps. The studies have shown that the addition of yeast hydrolysate to the feed can increase the hepatopancreas SOD activity of *L. vannamei* and improve the antioxidant capacity of the shrimp. In the event of low salinity stress, the shrimp can quickly restore the PO and TNOS activities to normal levels, thus improving the resistance of *L. vannamei* to adverse environments.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; yeast hydrolysate; low salinity stress; non-specific immunity; antioxidant capacity

Corresponding author: CHI Shuyan. E-mail: chishuyan77@163.com

Funding project: National Key Research and Development Program of China (2019YFD0900200)