

酵母水解物与小肽对大口黑鲈幼鱼生长性能、肝肠健康与抗感染能力的影响

易婉婷, 华雪铭, 颜克涛, 宓水潮, 蓝汉冰, 杭莹, 丛湘明

Effects of supplemental yeast hydrolysates and small peptides on growth performance, liver and intestinal health and anti-infection ability of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

YI Wanting, HUA Xueming, YAN Ketao, MI Shuichao, LAN Hanbing, HANG Ying, CONG Xiangming

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20211003598>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[饲料中维生素D₃含量对大口黑鲈生长和抗氧化能力的影响](#)

Effects of dietary vitamin D₃ on the growth and antioxidant capacity of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

上海海洋大学学报. 2021, 30(1): 94 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191202885>

[酵母培养物对珍珠龙胆石斑鱼生长性能、肠道形态、免疫功能和抗病力的影响](#)

Effects of Dietary Yeast Culture Supplementation on Growth, Intestinal Morphology, Immunity, and Disease Resistance in *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 1 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.001>

[不同蛋白水平下添加抗菌肽对赤点石斑鱼影响的研究](#)

Effect of antibacterial peptides supplementation in different protein level diets on grouper (*Epinephelus akaara*)

上海海洋大学学报. 2017, 26(3): 383 <https://doi.org/10.12024/jsou.20160801839>

[饲料中添加蛹肽粉或蝇蛆粉对拟穴青蟹幼蟹生长、体组成和消化酶活性的影响](#)

Effect of diets supplemented with pupa peptide or maggot powder on growth performance, body composition, and digestive enzyme activities in green mud crab (*Scylla paramamosain*) juveniles

上海海洋大学学报. 2022, 31(4): 906 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210403393>

[水解单宁对副溶血弧菌感染凡纳滨对虾血液及血细胞免疫指标的影响](#)

Effect of Hydrolyzable Tannins on Hemolymph and Cellular Immunological Responses of *Litopenaeus vannamei* Challenged by *Vibrio parahaemolyticus*

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 12 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.002>

文章编号: 1674-5566(2022)05-1097-11

DOI:10.12024/jsou.20211003598

酵母水解物与小肽对大口黑鲈幼鱼生长性能、肝肠健康与抗感染能力的影响

易婉婷^{1,2,3}, 华雪铭^{1,2,3}, 颜克涛⁴, 宓水潮⁵, 蓝汉冰⁶, 杭莹^{1,2,3}, 丛湘明^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 4. 山东省龙口市水库管理中心, 山东 龙口 265721; 5. 常州亚源生化科技有限公司, 江苏 常州 213111; 6. 广东信豚生物科技有限公司, 广东 佛山 528211)

摘要: 为研究酵母水解物与小肽在饲料中的添加效果, 在基础饲料中分别添加 1% 的酵母水解物与小肽, 配制 3 种实验饲料, 对大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 幼鱼开展为期 56 d 的饲养实验, 考察其生长性能、肝肠健康及抗感染能力。结果显示: 1% 酵母水解物与小肽对大口黑鲈幼鱼生长性能均不产生显著性影响, 酵母组能显著降低中、后肠淀粉酶活性并提升前、后肠脂肪酶活性, 小肽组能显著降低前、后肠淀粉酶活性并提升前、中、后肠脂肪酶与中肠蛋白酶活性; 且小肽组的肠道结构更加光滑清晰, 刷状缘表面细胞排列紧密, 杯状细胞更加清晰可见。血清生化指标中, 酵母组与小肽组白蛋白含量显著低于对照组, 谷丙转氨酶含量显著高于对照组; 小肽组总胆固醇、甘油三酯含量最低。肝脏总抗氧化能力与过氧化氢酶活性酵母组最强。头肾溶菌酶活性小肽组最强, 感染嗜水气单胞菌后小肽组累计死亡率最低。结果表明, 添加 1% 小肽与酵母水解物均能改善肝肠健康, 提高抗感染能力, 但各具优势, 小肽在促进大口黑鲈肠道健康、提升鱼体免疫保护能力方面优势显著; 酵母水解物在增强肝脏抗氧化能力上更为突出。因此, 在大口黑鲈幼鱼养殖阶段, 选择性地使用小肽或酵母水解物, 将更有效地提升机体健康水平。

关键词: 大口黑鲈; 小肽; 酵母水解物; 生长性能; 肝肠健康; 抗感染

中图分类号: S 963.73 **文献标志码:** A

酵母水解物 (yeast hydrolysate, YH) 富含核苷酸、甘露寡糖等免疫刺激物以及丰富的矿物质元素、B 族维生素、肽类等^[1-2], 这些物质可以促进机体生长, 改善动物免疫力。有研究表明酵母水解物能促进大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*)^[1]、花鲈 (*Lateolabrax japonicus*)^[3]、锦鲤 (*Cyprinus carpio*)^[4]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)^[5]、凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[6] 等水产动物生长发育, 增强免疫力, 对肠道黏膜具有亲和效应, 在促进消化, 降低饲料系数等方面发挥积极作用。

小肽 (small peptide, SP) 一般是由 2~3 个氨基酸组成的寡肽, 可通过天然物质和蛋白质水解

获取^[7]。小肽能在肠道中被完全消化吸收并作用于机体内环境发挥生物活性作用。通过在肠道中将信号反馈到机体相关作用系统, 从而对全身产生有益的效应^[8]。相关研究表明小肽同样具有促进牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)^[9]、真鲷 (*Pagrus major*)^[10]、大西洋鲑 (*Salmo salar* L.)^[11]、鲤^[12]、凡纳滨对虾^[13] 等水产动物的生长、消化吸收与免疫抗氧化的功效, 从而能提升动物群体健康程度和生产性能。

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*), 又名加州鲈, 因生长较快、适温较广、营养价值较高等优点在我国大面积养殖^[14]。但长期投喂人工配合饲料易出现肝功能损伤、病害频发等现象, 极大限

收稿日期: 2021-10-24 修回日期: 2022-01-18

基金项目: 广东省重点领域研发计划(2020B0202010001); 水产动物遗传育种协同创新基金(2019 科技协同创新-001-29)

作者简介: 易婉婷(1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 1311617056@qq.com

通信作者: 华雪铭, E-mail: xmhua@shou.edu.cn

制了大口黑鲈集约化养殖^[15]。同时大量残饵和粪便排入养殖水体,水质污染严重,水产动物病害问题突出。绿色无抗化养殖已成为当下最热门的研究重点。面对种类繁多的动保产品,如何选择成为一道难题,若盲目使用,不仅造成饲料成本的增加,也可能因此降低产品预期的功效。研究表明,酵母水解物与小肽都能作为一种绿色功能性饲料添加剂应用于部分鱼虾的养殖。本试验通过单独添加酵母水解物与小肽制备配合饲料的方法,比较研究这两种添加剂对大口黑鲈幼鱼肝肠健康及抗感染能力的影响,为大口黑鲈的健康养殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料配方及制作

试验所用小肽与酵母水解物分别由常州亚源生化科技有限公司与广东信豚生物科技有限公司提供,粗蛋白含量均为46%。其中小肽以玉

米籽实为底物,经过浸泡、酸化、浓缩、均质、喷雾干燥、半成品物理冷却、粉体包衣等多道工序精制而成。富含谷氨酰胺、有机磷、有机钾等多种矿物质,其平均分子量为1 003 u,分子量为1 000 u的小分子蛋白质占总蛋白的25%~30%。酵母水解物以特定酵母为原料,经除杂、自溶、酶解、喷雾干燥等工艺精制而成,富含8.6%的酵母核苷酸。

根据大口黑鲈的营养需求,以鱼粉、血粉、豆粕、玉米蛋白粉为蛋白质源,鱼油、大豆磷脂及菜籽油为脂肪源配制基础饲料(对照组,Control),在此基础上,根据前期预实验,分别添加1%的酵母水解物和小肽,记为酵母组(YH)与小肽组(SP)。将各饲料原料(表1)粉碎过60目筛,按表2试验饲料原料组成比例准确称重,逐级充分混匀,用制粒机制成粒径为2 mm的颗粒饲料,放置于40℃烘箱中干燥,最后将饲料成品密封后保存于-20℃冰箱中备用。

表1 饲料原料营养水平

Tab.1 Nutrient level of feed ingredients

原料 Ingredients	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash	%
鱼粉 Fish meal	65	8.4	16.4	
豆粕 Soybean meal	44	1.9	6.1	
血粉 Blood meal	85	1.5	4.0	
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	60	5.4	1.0	
小肽 Small peptides	46	2.0	17.8	
酵母水解物 Yeast hydrolysates	46	1.5	9.0	

1.2 试验对象及养殖

养殖试验在上海海洋大学滨海养殖基地静水池进行。先将大口黑鲈在静水池中投喂商品饲料暂养2周,等适应实验条件后,饥饿处理24 h,开始正式养殖试验。随机挑选720尾体质健康、大小均匀一致的大口黑鲈 $[(10.68 \pm 0.04) \text{ g}]$,每组设置6个网箱,每个网箱40尾鱼,养殖周期为8周,每天8点与16点饱食投喂相应试验饲料,定期观察并检测水质,确保溶解氧 $>7.0 \text{ mg/L}$;总氨氮浓度 $<0.5 \text{ mg/L}$;pH $=8.0 \pm 0.5$;水温为 $(24 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$;自然光照,7 d左右吸污1次并换水1/3。

1.3 样品采集

养殖结束并饥饿24 h后,分别捞取每个网箱大口黑鲈,称其总质量并计数,然后随机取10尾大口黑鲈,使用0.1 mL浓度为8 mg/L的丁香酚

麻醉后分别测其体质量和体长,用未加抗凝剂的注射器在其尾静脉取血并置于1.5 mL离心管中,在4℃条件下静置过夜后以3 500 r/min离心10 min后取上清液即为血清,保存于-20℃,用于血清生化指标分析。再解剖鱼体,称量完内脏团质量、肝脏质量后分别取其肝脏、肠道、头肾保存于-20℃,用于鱼体组织生化指标测定。另取鱼肠道用波恩氏液固定后,用于石蜡切片制作。

1.4 检测方法与分析

肠道蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性,血清总蛋白TP、白蛋白ALB、谷草转氨酶AST、谷丙转氨酶ALT、甘油三脂TG、总胆固醇T-CHO含量,肝脏总抗氧化能力T-AOC、总超氧化物歧化酶T-SOD、丙二醛MDA、过氧化氢酶CAT含量和头肾溶菌酶活力均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

表 2 饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab. 2 Composition and nutrient levels of diets (DM basis)

%

项目 Items	组别 Group		
	对照组 Control	酵母组 YH	小肽组 SP
原料 Ingredients			
鱼粉 Fish meal	45	45	45
豆粕 Soybean meal	10	10	10
血粉 Blood meal	5	5	5
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	11	11	11
小肽 Small peptides	0	0	1
酵母水解物 Yeast hydrolysates	0	1	0
α-淀粉 α- starch	10	10	10
鱼油 Fish oil	4	4	4
大豆磷脂 Soybean lecithin	3	3	3
菜籽油 Rapeseed	2	2	2
多维 Vitamin premix *	0.5	0.5	0.5
多矿 Mineral premix **	0.5	0.5	0.5
乌贼膏 Squid paste	1	1	1
胆碱 Choline	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1	1	1
牛磺酸 Taurine	0.3	0.3	0.3
纤维素 Cellulose	1	1	1
沸石粉 Zeolite powder	5.2	4.2	4.2
总计 Total	100	100	100
营养水平 Nutrient levels			
粗蛋白质 Crude protein	44.90	45.33	45.34
粗脂肪 Crude lipid	12.14	12.15	12.14
粗灰分 Crude ash	8.32	8.49	8.41
总能 Gross energy/(MJ/kg)	17.55	17.65	17.80

注: 总能(MJ/kg) = 蛋白质 × 23.6 + 脂肪 × 39.5 + 无氮浸出物 × 17.6; * 多维(IU 或 mg/kg 干饲料): 维生素 A 16 000 IU; 维生素 D₃ 800 IU; 维生素 K₃ 14.72; 维生素 B₁ 17.8; 维生素 B₂ 48; 维生素 B₆ 29.52; 维生素 B₁₂ 0.24; 维生素 E 160; 维生素 C(35%) 800; 烟酰胺 79.2; 泛酸钙 73.6; 叶酸 6.4; 生物素 0.64; 肌醇 320; 氯化胆碱 1 500; L-肉碱 100; ** 多矿(mg/kg 干饲料): 铜(CuSO₄) 2.0; 锌(ZnSO₄) 34.4; 锰(MnSO₄) 6.2; 铁(FeSO₄) 21.1; 碘[Ca(IO₃)₂] 1.63; 硒(Na₂SeO₃) 0.18; 钴(CoCl₂) 0.24; 镁(MgSO₄ · H₂O) 52.7。Notes: Gross energy (MJ/kg) = protein × 23.6 + lipid × 39.5 + NFE × 17.6; * Vitamin premix (IU or mg/kg dry diet): vitamin A 16 000 IU; vitamin D₃ 8 000 IU; vitamin K₃ 14.72; thiamin 17.8; ribo flavine 48; pyridoxine 29.52; cyanocobalamine 0.24; tocopherol acetate 160; ascorbic acid (35%) 800; niacinamide 79.2; calcium-D-pantothenate 73.6; folic acid 6.4; biotin 0.64; inositol 320; choline chloride 1 500; L-carnitine 100; ** Mineral premix (mg/kg dry diet): Cu (CuSO₄) 2.0; Zn (ZnSO₄) 34.4; Mn (MnSO₄) 6.2; Fe (FeSO₄) 21.1; I [Ca (IO₃)₂] 1.63; Se (Na₂SeO₃) 0.18; Co (CoCl₂) 0.24; Mg (MgSO₄ · H₂O) 52.7.

组织匀浆液的蛋白质浓度采用考马斯亮蓝染色法进行测定。

肠道组织切片采用 H. E 染色: 取肠道组织, 按前、中、后肠放入波恩氏溶液中固定 24 h。经前期处理后用苏木素-伊红染液进行染色后在 100 × 光学显微镜镜头下观察拍照, 切片厚度 7 μm。

1.5 生长指标的计算

$$S_R = N_t/N_0 \times 100 \quad (1)$$

$$W_{GR} = (W_t - W_0)/W_0 \times 100 \quad (2)$$

$$S_{GR} = (\ln W_t - \ln W_0)/D \times 100 \quad (3)$$

$$F_{CR} = F_d/(W_t - W_0) \quad (4)$$

$$C_F = W_b/L_b^3 \quad (5)$$

$$H_{SI} = W_l/W_b \times 100 \quad (6)$$

$$V_{SI} = W_v/W_b \times 100 \quad (7)$$

式中: S_R 为存活率, %; N_0 为初始尾数, 尾; N_t 为终末尾数, 尾; W_{GR} 为增重率, %; W_t 为终末体质量, g; W_0 为初始体质量, g; S_{GR} 为特定生长率, %/d; D 为试验天数, d; F_{CR} 为饲料效率; F_d 为饲料摄入量, g; C_F 为肥满度, g/cm³; W_b 为鱼体质量, g; L_b 为体长, cm; H_{SI} 为肝体比, %; W_l 为肝脏质量, g; V_{SI} 为脏体比, %; W_v 为内脏质量, g。

1.6 急性攻毒试验

经预实验确定注射浓度后, 每组随机挑选个体均匀的 60 尾鱼, 设 3 个平行, 每个平行 20 尾, 每尾腹腔注射 0.2 mL 浓度为 1.85×10^7 cfu/mL 的嗜水气单胞菌, 置于溶氧充足的水体观察, 以鱼体侧翻, 鳃盖没有运动, 按压尾部没有反应判

定为死亡,并统计各时间段累计死亡率,直至死亡率趋于稳定。

1.7 数据处理和统计分析

实验结果用平均数 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示,所有数据使用 SPSS 25.0 分析软件中的单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和 Duncan 氏法多重比较进行差异显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著。

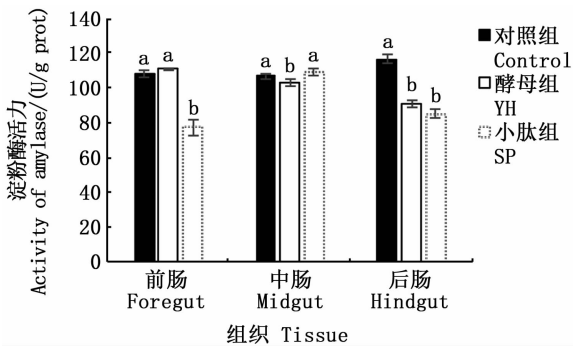
表 3 酵母水解物与小肽对大口黑鲈生长性能的影响

Tab. 3 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on the growth performance of largemouth bass

项目 Items	组别 Group		
	对照组 Control	酵母组 YH	小肽组 SP
终末均质量 Final mass/g	46.50 ± 2.14	46.98 ± 2.16	45.04 ± 1.45
增重率 WGR/%	335.41 ± 20.73	340.25 ± 20.38	321.77 ± 14.36
特定生长率 SGR/(%/d)	2.62 ± 0.09	2.65 ± 0.08	2.57 ± 0.06
存活率 SR/%	97.33 ± 1.97	96.00 ± 4.05	93.67 ± 5.00
饲料系数 FCR	0.89 ± 0.04	0.85 ± 0.07	0.88 ± 0.03
肥满度 CF/(g/cm ³)	2.28 ± 0.07	2.25 ± 0.15	2.23 ± 0.12
脏体比 VSL/%	8.23 ± 0.50	7.89 ± 0.74	7.74 ± 0.61
肝体比 HSL/%	3.48 ± 0.37	3.28 ± 0.48	3.09 ± 0.45

2.2 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道消化酶活性的影响

如图 1 所示,小肽组前肠与酵母组中肠淀粉酶活性显著低于其他组,酵母组与小肽组后肠淀粉酶活性显著低于对照组 ($P < 0.05$)。



同一组织中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
In the same tissue, values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图 1 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道淀粉酶活性的影响

Fig. 1 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on the activity of intestinal amylase of largemouth bass

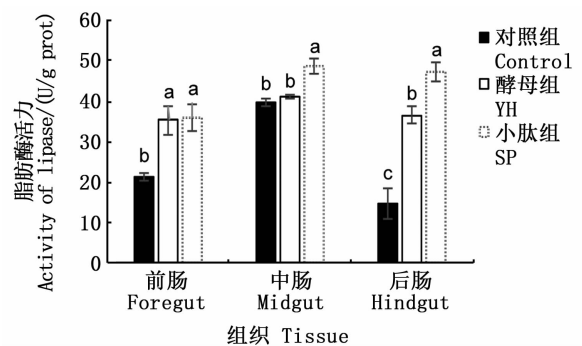
如图 2 所示,对照组前肠脂肪酶活性显著偏低,小肽组中肠脂肪酶活性显著偏高且后肠脂肪

2 结果

2.1 酵母水解物与小肽对大口黑鲈生长性能的影响

如表 3 所示,1% 添加量的酵母水解物与小肽对大口黑鲈幼鱼的增重率、特定生长率、存活率、饲料系数、肥满度、脏体比、肝体比这些生长指标均未造成显著性差异 ($P > 0.05$)。

酶活性小肽组 > 酵母组 > 对照组,3 组差异显著 ($P < 0.05$)。



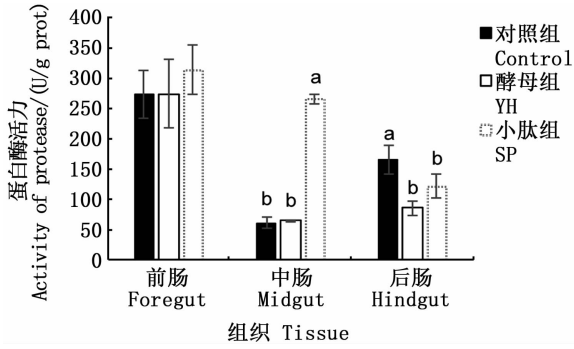
同一组织中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

In the same tissue, values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图 2 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道脂肪酶活性的影响

Fig. 2 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on the activity of intestinal lipase of largemouth bass

如图 3 所示,各组前肠蛋白酶活性无显著性差异 ($P > 0.05$),小肽组中肠蛋白酶活性显著提升,对照组后肠蛋白酶活性高于酵母组与小肽组且差异显著 ($P < 0.05$)。



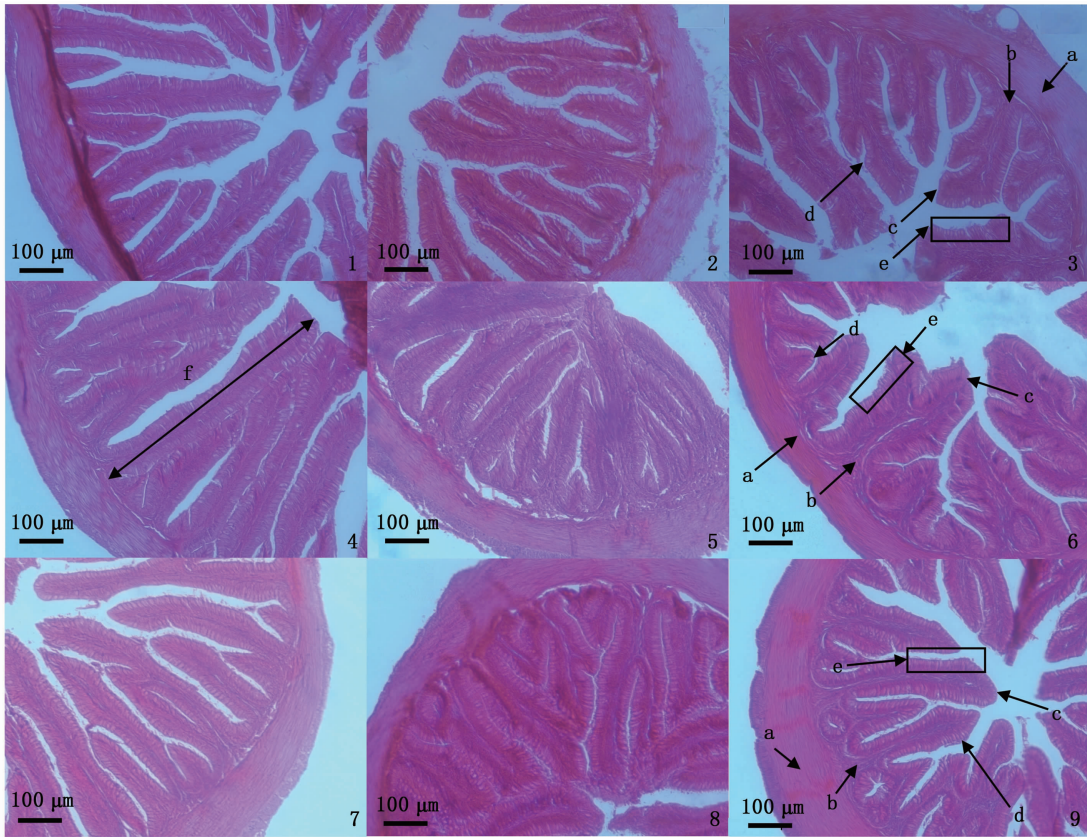
同一组织中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
 In the same tissue, values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图3 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道蛋白酶活性的影响

Fig. 3 Effects of yeast hydrolysates and lowercase peptides on the activity of intestinal protease of largemouth bass

2.3 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道组织形态的影响

由图版可以看出,在 100 倍光学显微镜下,小肽组肠道结构相比其他两组更加光滑清楚,肌肉层与固有层、上皮细胞与固有层结合更为紧密;上皮结构更加完整,肠绒毛更为发达、紧密,此特点在中肠尤为突出;前中后肠刷状缘比酵母组与对照组更为正常。刷状缘表面细胞排列紧密,杯状细胞数量明显多于其他两组且清晰可见。而酵母组与对照组相比,肠绒毛更为致密且高度更高,在前肠与中肠中表现明显。



1,2,3. 对照组前、中、后肠; 4,5,6. 酵母组前、中、后肠; 7,8,9. 小肽组前、中、后肠; a. 肌肉层; b. 固有层; c. 上皮细胞; d. 杯状细胞; e. 刷状缘; f. 绒毛长度。

1, 2, 3. Control's foregut, midgut, hindgut; 4, 5, 6. YH's foregut, midgut, hindgut; 7, 8, 9. SP's foregut, midgut, hindgut; a. Muscle layer; b. Lamina propria; c. Epithelial cells; d. Goblet cells; e. Brush border; f. Villus length.

图版 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道组织形态的影响

Plate Effects of yeast hydrolysates and small peptides on intestinal tissue morphology of largemouth bass

2.4 酵母水解物与小肽对大口黑鲈血清生化指标的影响

如表 4 所示,各组血清总蛋白含量没有显著性差异($P > 0.05$),但酵母组与小肽组血清中白

蛋白含量显著偏低,谷丙转氨酶活性显著偏高($P < 0.05$),各组谷草转氨酶活性均无明显差异。小肽组血清中胆固醇、甘油三酯含量显著低于其他两组($P < 0.05$)。

表 4 酵母水解物与小肽对大口黑鲈血清生化指标的影响

Tab. 4 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on serum biochemical indexes of largemouth bass

项目 Items	组别 Group		
	对照组 Control	酵母组 YH	小肽组 SP
总蛋白 TP/(g/L)	27.90 ± 1.04	26.00 ± 1.35	27.14 ± 2.29
白蛋白 ALB/(g/L)	13.25 ± 0.35 ^a	11.41 ± 0.53 ^b	12.26 ± 0.75 ^b
谷草转氨酶 AST/(U/mL)	11.37 ± 0.31	10.84 ± 0.22	10.89 ± 0.50
谷丙转氨酶 ALT/(IU/mL)	5.73 ± 0.28 ^b	7.62 ± 0.52 ^a	7.49 ± 0.67 ^a
甘油三酯 TG/(mmol/L)	3.98 ± 0.10 ^a	3.98 ± 0.07 ^a	3.49 ± 0.11 ^b
总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	14.13 ± 0.31 ^a	13.56 ± 0.72 ^a	11.90 ± 0.34 ^b

注:同行数据上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: In the same line, values with different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.5 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肝脏抗氧化能力的影响

如表 5 所示,总抗氧化能力与过氧化氢酶活

力酵母组 > 小肽组 > 对照组,并差异显著($P < 0.05$)。各组之间超氧化物歧化酶活性与丙二醛含量并无差异($P > 0.05$)。

表 5 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肝脏抗氧化能力的影响

Tab. 5 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on the antioxidant capacity of largemouth bass liver

项目 Items	组别 Group		
	对照组 Control	酵母组 YH	小肽组 SP
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	5.80 ± 0.15 ^c	7.17 ± 0.21 ^a	6.54 ± 0.36 ^b
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	463.89 ± 35.78	488.35 ± 17.28	481.94 ± 12.80
丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	48.61 ± 1.87	48.70 ± 0.32	50.11 ± 2.48
过氧化氢酶 CAT/(U/mg prot)	12.84 ± 0.40 ^c	22.58 ± 1.19 ^a	19.34 ± 1.70 ^b

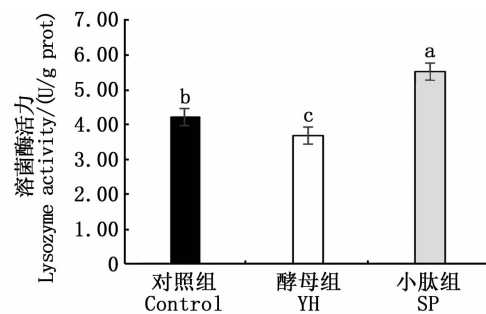
注:同行数据上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: In the same line, values with different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

2.6 酵母水解物与小肽对大口黑鲈免疫保护的影响

如图 4 所示,小肽组头肾溶菌酶活性显著高于对照组与酵母组($P < 0.05$)。

饲养实验结束后,注射嗜水气单胞菌,随着时间延长,各组累计死亡率逐渐增加,对照组在 72 h 时趋于稳定,酵母组和小肽组分别在 48 h 和 36 h 趋于稳定,96 h 内对照组、酵母组和小肽组的累计死亡率分别为 45%、33%、15% ($P < 0.05$, 图 5)。

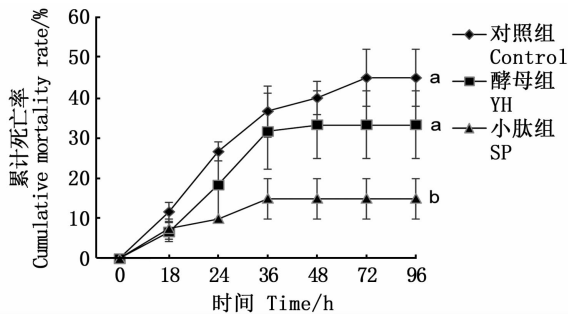


不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图 4 酵母水解物与小肽对大口黑鲈头肾溶菌酶活性的影响

Fig. 4 Effects of yeast hydrolysates and small peptides on lysozyme activity in the head kidney of largemouth bass



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图5 急性攻毒试验累计死亡率情况

Fig. 5 Accumulated mortality from acute challenge tests with *Aeromonas hydrophila*

3 讨论

3.1 酵母水解物与小肽对大口黑鲈生长性能的影响

有研究表明,酵母水解物能显著促进草鱼^[5]和凡纳滨对虾^[16]的生长发育,并降低饲料系数。0.05%植物活性小肽能使史氏鲟稚鱼(*Acipenser schrenckii*)获得一个最佳效果的饲料系数和增重率^[17]。在本实验条件下,饲料中添加1%的酵母水解物和小肽,并未引起大口黑鲈生长性能的改变,熊家等^[18]、王铨静等^[19]的研究也有类似的报道。导致实验结果不一致的原因可能有:饲料配方差异、酵母水解物与小肽成分不一、养殖环境和养殖对象的不同等。

3.2 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肠道消化酶活性与组织形态的影响

消化酶主要作用于鱼类胃肠道,其活性与机体的生长发育、生理代谢密不可分,活性越强机体消化吸收率越高^[20]。本研究中,添加1%小肽显著提高了大口黑鲈肠道脂肪酶与中肠蛋白酶活性,这与在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[21]、凡纳滨对虾^[13]中的研究结果一致。酵母水解物富含酵母核苷酸与甘露聚糖,虽然饲料中补充适量的酵母核苷酸与甘露寡糖,可以在促进肠道绒毛生长发育并改善肠道形态结构的条件下,增加消化酶活性^[18,22-23],但相比之下,添加1%小肽在维持和改善肠道形态结构、增强消化酶活性上比添加1%酵母水解物更为有效。产生该现象的原因可能有:小肽作为肠道的吸收底

物,相比酵母提取物能更直接地被机体吸收,减少氨基酸吸收竞争压力,促进肠道刷状缘酶活性上升以及肠道组织进一步发育,从而提高消化酶的活性^[24-25];而酵母提取物则是补充了肠上皮组织DNA和RNA合成所需要的氨基酸与核苷酸,进而改善肠道形态、促进肠道发育^[26]。另一方面,小肽兼有营养和功能性物质的作用。其含有的类似神经递质的活性肽类^[27-28]能刺激肠道受体分泌激素,也可以直接吸收输送至机体全身,产生协同作用,调控并促进肠道分泌,提高肠道内消化酶的含量^[29]。本研究也发现,添加酵母水解物与小肽会降低肠道淀粉酶的活性,作为肉食性鱼类,大口黑鲈对碳水化合物的耐受性较低。因此,添加上述两种添加剂有助于减轻机体的糖代谢负担。

3.3 酵母水解物与小肽对大口黑鲈血清生化指标的影响

鱼类血液生化指标反映机体营养水平、生理代谢情况及免疫疾病信息,是衡量鱼体健康与否的重要依据^[30]。血清总蛋白包含白蛋白与球蛋白,其在肝脏中合成并表征鱼体的营养代谢、生理免疫等状况,白蛋白具有维持内环境渗透压的作用,而球蛋白参与鱼体免疫反应^[31]。本实验显示各组总蛋白含量无差异,但酵母组与小肽组白蛋白含量显著偏低,与其对应的球蛋白量则相应增加,从而增强其机体免疫能力。酵母组与小肽组血清谷丙转氨酶活性显著高于对照组,在一定程度上表征肝脏细胞受损的风险增大。机体脂代谢紊乱表现在血清总胆固醇、甘油三酯含量的升高,过高时可引起动脉粥样硬化和脂肪肝^[32]。胆固醇在肝脏中生成,随血液循环过程作用于机体,为维持胆固醇的稳定,过多的胆固醇则会被运输回肝脏进行分解清除。小肽组血清中更低含量的胆固醇则相应减少肝脏工作的负荷。甘油三酯能被一类特殊的酯解水解酶(脂肪酶)催化水解后利用,在本研究中小肽组和酵母组前中后肠的脂肪酶活性均不同程度高于对照组,因此能有效促进鱼体对脂肪的吸收利用,降低血脂。在维持机体脂质平衡,预防脂肪肝这方面,小肽比酵母水解物更为有效。

3.4 酵母水解物与小肽对大口黑鲈肝脏抗氧化能力的影响

总抗氧化能力、总超氧化物歧化酶、过氧化

氢酶作为重要的抗氧化酶,可以有效地清除机体氧自由基,保护细胞免受损伤,提高机体免疫力^[33]。在氧自由基参与下,机体内脂质过氧化产生的丙二醛易对细胞造成损伤^[34],其含量常与总抗氧化能力一起来评判机体氧化健康程度。酵母水解物与小肽均具有提升机体抗氧化能力的功能,此机能在鲤^[35]、星斑川鲮 (*Platichthys stellatus*)^[36]、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)^[37]、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[38]、大口黑鲈^[39-40]中都有验证。在本研究中,总抗氧化能力与过氧化氢酶活力表明,在饲料等氮等能条件下添加 1% 酵母水解物比添加小肽能获得更佳的抗氧化效果。但曾本和等^[40]发现在等氮等能条件下能提高机体抗氧化能力的酵母水解物最适添加水平为 1.7%,该研究中大口黑鲈的初始体质量为 (3.92 ± 0.15) g,饲料粗蛋白含量为 40%,与本研究相比,实验鱼规格小且饲料粗蛋白含量低;LI 等^[39]发现在降低饲料粗蛋白含量条件下,添加 2% 小肽能显著提高大口黑鲈抗氧化水平。因此,就提高抗氧化能力而言,酵母水解物和小肽的适宜添加量,要综合考虑大口黑鲈的规格大小和饲料的营养水平。

3.5 酵母水解物与小肽对大口黑鲈免疫保护的影响

研究^[41]表明,饲料中添加 200 mg/kg 小肽能增强团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 的抗氧化能力,抵抗嗜水气单胞菌的感染,促进机体生长。同时小肽也能显著增加成鲤血清中免疫球蛋白 IgM 和补体 C4 含量与头肾质量,表明小肽具有促进免疫器官发育、提高免疫应答能力的功效^[12]。对尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[42] 的研究表明,饲料中添加 1、2 和 5 g/kg 酵母产品可以增强对嗜水气单胞菌的抵抗力;1.51% ~ 1.69% 的酵母水解物能大幅提高大口黑鲈幼鱼生长性能,增强其免疫能力^[40]。在本研究中,酵母水解物有效发挥抗感染作用的用量比已报道的文献低,除其本身可能存在的成分差异外,或与大口黑鲈的规格大小、饲料营养水平有关。由大口黑鲈头肾溶菌酶活力、血清球蛋白含量以及对嗜水气单胞菌的抗感染能力表明,添加 1% 小肽与酵母水解物均能提高鱼体的免疫能力,且小肽组免疫功能作用优势显著,极大地保护了鱼体健康。

4 结论

添加 1% 小肽与酵母水解物均能改善大口黑鲈肝肠健康,提高抗感染能力,但各具优势。小肽在促进肠道健康、提升鱼体免疫保护能力方面优势显著;酵母水解物在增强肝脏抗氧化能力上更为突出。因此,在大口黑鲈幼鱼养殖阶段,选择性地使用小肽或酵母水解物,将更有效地提升机体健康水平。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
ZENG B H, XIAO X, YANG W J, et al. Effects of yeast hydrolyzate on growth and body composition of juvenile *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Feed Industry, 2015, 36(16): 16-19.
- [6] 陈永康,陈泽恩,梁武辉,等. 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[J]. 水产学报, 2021, 45(12): 2061-2071.
CHEN Y K, CHEN Z E, LIANG W H, et al. Effect of yeast hydrolysate on non-specific immunity and antioxidant ability of *Litopenaeus vannamei* under low salinity stress [J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(12): 2061-2071.
- [7] 胡敏华,胡民强. 小肽营养作用及最新研究进展[J]. 饲料研究, 2008(6): 29-31.
HU M H, HU M Q. Nutritional effect of small peptides and the latest research progress [J]. Feed Research, 2008(6): 29-31.
- [8] ZHANGHI B M, MATTHEWS J C. Physiological importance

- and mechanisms of protein hydrolysate absorption [M]// PASUPULETI V K, DEMAİN A L. Protein hydrolysates in biotechnology. Dordrecht: Springer, 2008.
- [9] ZHENG K, XU T, QIAN C, et al. Effect of low molecular weight fish protein hydrolysate on growth performance and IGF-I expression in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed high plant protein diets [J]. Aquaculture Nutrition, 2014, 20(4): 372-380.
- [10] KHOSRAVI S, RAHIMNEJAD S, HERAULT M, et al. Effects of protein hydrolysates supplementation in low fish meal diets on growth performance, innate immunity and disease resistance of red sea bream *Pagrus major* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 45(2): 858-868.
- [11] KOUSOULAKI K, OLSEN H J, ALBREKTSEN S, et al. High growth rates in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed 7.5% fish meal in the diet. Micro-, ultra- and nano-filtration of stickwater and effects of different fractions and compounds on pellet quality and fish performance [J]. Aquaculture, 2012, 338-341: 134-146.
- [12] 李清, 肖调义, 毛华明. 小肽对鲤鱼免疫力的影响[J]. 饲料研究, 2005(5): 1-3.
- LI Q, XIAO T Y, MAO H M. Effect of small peptide on immune function of common carp [J]. Feed Research, 2005 (5): 1-3.
- [13] 钟国防, 石磊, 张彦俊. 大豆肽产品替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能、消化酶活力及肠道组织结构的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(5): 120-126, 183.
- ZHONG G F, SHI L, ZHANG Y J. Effects of replacement of fish meal by soybean peptide on growth, digestive enzyme activity and gut structure of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(5): 120-126, 183.
- [14] 王广军, 吴锐全, 谢骏, 等. 人工配合饲料饲养大口黑鲈效果研究[J]. 饲料工业, 2005, 26(4): 22-23.
- WANG G J, WU R Q, XE J, et al. Study on effects of artificial feed to culture *Micropterus salmoides* [J]. Feed Industry, 2005, 26(4): 22-23.
- [15] 王秀娟, 胡嘉雯, 王悦, 等. 大口黑鲈营养需求的研究进展[J]. 饲料研究, 2019, 42(8): 112-116.
- WANG X J, HU J W, WANG Y, et al. Research progress of nutritional requirement for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Feed Research, 2019, 42(8): 112-116.
- [16] 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.
- 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.
- [17] 邓岳松. 饲料中添加植物活性小肽对史氏鲟稚鱼生长的影响[J]. 内陆水产, 2004, 29(10): 43.
- DENG Y S. Add plant active peptides to feed effect on the growth of juvenile sturgeon (*Acipenser schrenckii*) [J]. Current Fisheries, 2004, 29(10): 43.
- [18] 熊家, 袁野, 罗嘉翔, 等. 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[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1012-1021.
- XIONG J, YUAN Y, LUO J X, et al. Effects of yeast hydrolysate on the growth performance, digestive enzyme activity, and intestinal morphology of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1012-1021.
- [19] 王铎静, 杨奇慧, 谭北平, 等. 大豆酶解蛋白对凡纳滨对虾幼虾生长性能、血清生化指标、非特异性免疫力和抗病力的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(1): 14-21.
- WANG A J, YANG Q H, TAN B P, et al. Effects of enzymolytic soybean meal on growth performance, serum biochemical indices, non-specific immunity and disease resistance of juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2018, 38(1): 14-21.
- [20] 江永明, 付天玺, 张丽, 等. 微生物制剂对奥尼罗非鱼生长及消化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(6): 998-1004.
- JIANG Y M, FU T X, ZHANG L, et al. Effects of feeding microorganisms on growth performance and the activities digestive enzymes of *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(6): 998-1004.
- [21] ZHAI S W, SUN X W, CHEN X H. Effects of antimicrobial peptides surfactin administration on growth performance, intestinal digestive enzymes activities and some serum biochemical parameters of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) juveniles [J]. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2017, 69: 1380-1387.
- [22] AKTAŞ M, CİĞER O, GENÇ 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(1): 205-211.
- [23] 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.
- 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.
- [24] BAMBATA T, FUSE K, OBATA H, et al. Effects of small peptides as intraluminal substrates on transport carriers for amino acids and peptides [J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 1993, 15(1): 33-42.
- [25] EZQUERRA J M, GARCÍA-CARREO F L, CARRILLO O. In vitro digestibility of dietary protein sources for white shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Aquaculture, 1998, 163(1/2):

- 123-136.
- [26] HESS J R, GREENBERG N A. The role of nucleotides in the immune and gastrointestinal systems: potential clinical applications[J]. *Nutrition in Clinical Practice*, 2012, 27(2): 281-294.
- [27] 邓华彬. 小肽在动物生产中应用及研究进展[J]. *广东饲料*, 2019, 28(9): 33-35.
- DENG H B. Application and research progress of small peptide in animal production[J]. *Guangdong Feed*, 2019, 28(9): 33-35.
- [28] HOU H W, WANG J, WANG J, et al. A review of bioactive peptides: chemical modification, structural characterization and therapeutic applications [J]. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2020, 16(12): 1687-1718.
- [29] KAIYA H, KOJIMA M, HOSODA H, et al. Peptide purification, cDNA and genomic DNA cloning, and functional characterization of ghrelin in rainbow trout [J]. *The Endocrine Society*, 2003, 144: 5215-5226.
- [30] SILVEIRA-COFFIGNY R, PRIETO-TRUJILLO A, ASCENCIO-VALLE F. Effects of different stressors in haematological variables in cultured *Oreochromis aureus* S [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2004, 139(4): 245-250.
- [31] 强俊, 杨弘, 王辉, 等. 饲料蛋白水平对低温应激下吉富罗非鱼血清生化指标和 HSP70 mRNA 表达的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(3): 434-443.
- QIANG J, YANG H, WANG H, et al. Effects of different dietary protein levels on serum biochemical indices and expression of liver HSP70 mRNA in gift tilapia (*Oreochromis niloticus*) under low temperature stress [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(3): 434-443.
- [32] 刘忆梅, 陈朝晖. 大豆蛋白肽降血脂功能性的研究[J]. *大豆通报*, 2004(3): 22.
- LIU Y M, CHEN C H. Study on functionaloty of soybean peptide reducing blood fat[J]. *Soybean Bulletin*, 2004(3): 22.
- [33] REYES-BECERRIL M, TOVAR-RAMÍREZ D, ASCENCIO-VALLE F, et al. Effects of dietary live yeast *Debaryomyces hansenii* on the immune and antioxidant system in juvenile leopard grouper *Mycteroperca rosacea* exposed to stress[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1/4): 39-44.
- [34] 刘晓华, 曹俊明, 吴建开, 等. 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[J]. *水产学报*, 2007, 31(2): 235-240.
- LIU X H, CAO J M, WU J K, et al. Effects of dietary glutathione level on growth performance, antioxidant indexes and lipid peroxide content of hepatopancreas in *Litopenaeus vannamei*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(2): 235-240.
- [35] 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.
- ZHU T H, JI H, WANG L H, et al. Effect of yeast nucleotide on carp's growth performance, biochemical indexes and intestinal development[J]. *Feed Research*, 2010(9): 1-4.
- [36] 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.
- WANG J Y, JIANG K J, XIA B, et al. Effects of small dietary peptides on digestive enzyme activity, antioxidative capability, and biochemical composition in tissues of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(6): 1154-1164.
- [37] 蒋敏敏, 叶金云, 邵仙萍, 等. 酵母水解物对青鱼幼鱼生长性能, 肌肉品质及肝胰腺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, hepatopancreas antioxidant indexes and tissue morphology of Juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(5): 2326-2341.
- [38] 李杰. 日粮中大豆蛋白小肽添加水平对虹鳟生产性能、消化及免疫功能的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017: 28-31.
- LI J. Effects of dietary soybean protein peptide levels on production performance, digestion and immune function of *Oncorhynchus mykiss* [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2017: 28-31.
- [39] LI X, WEI X, GUO X, et al. Enhanced growth performance, muscle quality and liver health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) were related to dietary small peptides supplementation[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2020, 26(6): 2169-2177.
- [40] 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.
- ZENG B H, YANG W J, WU Z, et al. Effects of yeast hydrolyzate on growth and immune enzyme index of juvenile *Micropterus salmoides* [J]. *Feed Industry*, 2016, 37(14): 11-15.
- [41] 潘良坤, 慈丽宁, 刘波, 等. 小肽对团头鲂生长、免疫及抗病力的影响[J]. *科学养鱼*, 2012(5): 51-53.
- PAN L K, CI L N, LIU B, et al. Effects of small peptides on the growth, immunity and disease resistance of bream *Megalobrama amblycephala* [J]. *Scientific Fish Farming*, 2012(5): 51-53.
- [42] ABDEL-TAWWAB M, ABDEL-RAHMAN A M, ISMAEL N E M. Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila* [J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1/4): 185-189.

Effects of supplemental yeast hydrolysates and small peptides on growth performance, liver and intestinal health and anti-infection ability of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

YI Wanting^{1,2,3}, HUA Xueming^{1,2,3}, YAN Ketao⁴, MI Shuichao⁵, LAN Hanbing⁶, HANG Ying^{1,2,3}, CONG Xiangming^{1,2,3}

(1. Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shandong Longkou Reservoir Management Center, Longkou 265721, Shandong, China; 5. Changzhou Yayuan Biochemical Co., Ltd., Changzhou 213111, Jiangsu, China; 6. Guangdong Sintun Bio-technology Co., Ltd, Foshan 528211, Guangdong, China)

Abstract: To compare the effects of supplemental yeast hydrolysates and small peptides in the feed of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*), the fish were fed with basal diet, diet supplemented with 1% yeast hydrolysates (YH) or 1% small peptides (SP) respectively to conduct 56-day feeding trial. Then the growth performance, liver-intestine health and anti-infection ability were investigated. The results showed that 1% yeast hydrolysates and small peptides had no significant effect on growth performance of juvenile largemouth bass. However the YH significantly reduced the amylase activity of mid- and hindgut, and increased the lipase activity of fore- and hindgut, while the SP significantly reduced the amylase activity of fore- and hindgut, and increased the lipase and protease activity of fore-, mid- and hindgut. In the SP group, the intestinal structure was smoother and clearer, and the cells on the surface of brush border were closely arranged, then the cup-shaped cells were more clearly visible. As for the serum biochemical indexes, the albumin content in YH and SP groups was significantly lower than the control group, and the alanine aminotransferase content was significantly higher than the control group. Also the lowest cholesterol and triglyceride content was observed in SP group. There was the strongest total antioxidant capacity and catalase activity of the liver in YH group. The strongest lysozyme activity of the head kidney and the lowest cumulative mortality rate after infection with *Aeromonas hydrophila* were shown in SP group. In summary, the addition of both 1% SP and 1% YH could improve liver and intestinal health and anti-infection ability, but each had its own advantages. SP had significant advantages in promoting the intestinal health and the immune protection of largemouth bass. While YH was more prominent in enhancing the antioxidant capacity of the liver. Consequently, it would be more beneficial to the overall health of juvenile largemouth bass when YH and SP were added in the feed selectively.

Key words: largemouth bass; small peptides; yeast hydrolysates; growth performance; liver and intestinal health; anti-infection