

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200917001

http://www.yykxjz.cn/

郝甜甜, 王际英, 潘金敏, 杨辉, 李宝山, 沈钰博, 刘财礼, 王成强, 黄炳山. 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能、肠道消化酶活性、免疫能力及血清生化指标影响. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 86-96  
HAO T T, WANG J Y, PAN J M, YANG H, LI B S, SHEN Y B, LIU C L, WANG C Q, HUANG B S. Effects of partial replacement of fish meal with ribose protein on growth performance, intestinal digestive enzyme activities, specific immune indices and physiological and biological indices of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(1): 86-96

## 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能、肠道消化酶活性、免疫能力及血清生化指标影响\*

郝甜甜<sup>1</sup> 王际英<sup>1①</sup> 潘金敏<sup>2</sup> 杨辉<sup>2</sup> 李宝山<sup>1</sup>  
沈钰博<sup>3</sup> 刘财礼<sup>3</sup> 王成强<sup>1</sup> 黄炳山<sup>1</sup>

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 山东 烟台 264006;  
2. 烟台市三维饲料有限公司 山东 烟台 264006; 3. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心  
农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心 上海 201306)

**摘要** 本研究旨在评价核糖蛋白替代大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)饲料中鱼粉的潜力。采用单因素实验设计, 设 6 个鱼粉替代水平。对照饲料(D1)中鱼粉含量为 45%, 通过添加核糖蛋白替代 D1 组饲料中鱼粉的 0.5% (D2)、1% (D3)、2% (D4)、3% (D5)和 4% (D6)。实验期间, 每天分 2 次按饱食量投喂初始体重为(24.00±0.30) g 大菱鲆幼鱼 56 d。结果显示, 幼鱼增重率、特定增长率、蛋白质效率随着核糖蛋白替代水平的变化呈先上升后下降趋势, 均在 D3 组达到最高值, 显著高于 D5 和 D6 组( $P<0.05$ ); 饲料系数则呈相反趋势, 在 D3 组达到最低值, 显著低于 D6 组( $P<0.05$ )。各替代组幼鱼血清胰岛素生长因子(IGF-1)和生长激素(GH)含量均显著低于对照组( $P<0.05$ ); 核糖蛋白替代 1%~3%的鱼粉后, 显著提高了幼鱼肠道胰蛋白酶活性( $P<0.05$ ); 幼鱼肠道  $\alpha$ -淀粉酶活性在 D4 和 D5 组显著高于对照组( $P<0.05$ ); 饲料中添加核糖蛋白替代鱼粉显著降低了幼鱼肠道脂肪酶活性( $P<0.05$ )。各替代组幼鱼血清总蛋白、球蛋白含量和碱性磷酸酶活性均显著高于对照组( $P<0.05$ ); D3 组溶菌酶活性显著高于 D6 组( $P<0.05$ ); 各组间幼鱼血清白蛋白含量和超氧化物歧化酶活性无显著差异( $P>0.05$ ), 但各替代组均显著提高了幼鱼血清白介素  $\beta 1$  (IL-1 $\beta$ )和肿瘤坏死因子(TNF- $\alpha$ )含量( $P<0.05$ ); 与对照组相比, D4~D6 组血清总胆固醇和甘油三酯含量显著降低( $P<0.05$ ), 低密度脂蛋白在 D5 和 D6 组显著降低( $P<0.05$ ); 高密度脂蛋白在 D4 组显著升高( $P<0.05$ )。血糖浓度呈先升高后降低的趋势, D3 组显著高于对照组( $P<0.05$ )。攻毒实验结果显示, D2 组大菱鲆幼鱼 48 h 累积死亡率最低为 56.45%。研究表明, 饲料中添加核糖蛋白替代 1%鱼粉时, 大菱鲆幼鱼生长、消化酶活力及鱼体的免疫能力和抗细菌感染能力均达到最高。

**关键词** 核糖蛋白; 大菱鲆; 生长性能; 消化酶活性; 血清生化指标

中图分类号 S963.7 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)01-0086-11

\* 烟台市科技计划(2018ZHGY066; 2020XDRH091)资助 [The work was supported by Science and Technology Development Project of Yantai (2018ZHGY066; 2020XDRH091)]. 郝甜甜, E-mail: haotiantian0805@163.com

① 通讯作者: 王际英, 研究员, E-mail: ytwjy@126.com

收稿日期: 2020-09-17, 收修改稿日期: 2020-10-19

随着水产养殖业的快速发展,我国北方重要的海水鱼养殖经济品种鲆鲽类产量不断上升,2019 年产量达 12.8 万 t (农业农村部渔业渔政管理局, 2020)。大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)是鲆鲽类养殖的主要品种之一,在欧洲及东亚具有较高的消费需求市场,其配合饲料所需蛋白质较高,而鱼粉作为其配合饲料中的主要优质蛋白源,约占饲料成本的 60%~80% (梅琳等, 2015; 贾高旺等, 2019),这是制约大菱鲆产业发展的重要瓶颈。为降低养殖成本,提高大菱鲆产业的健康发展,有必要寻找替代鱼粉的蛋白源。动物性蛋白源由于蛋白质含量较高、氨基酸含量较丰富,且富含多种动物所需的维生素和矿物质(陈水春等, 2008),成为近年来鱼粉替代蛋白源的研究重点。

核糖蛋白是一种新型生物分子的免疫蛋白,经特殊工艺加工包装而成的一种粉末状动物蛋白。核糖蛋白除了含有人们所熟知的肽、氨基酸等成分,还含有一些未知的生长因子,如促生长因子和免疫因子等。研究表明,核糖体在生物体内的主要功能为合成各种蛋白质以调节生物的生命活动,而大部分核糖蛋白在核糖体中的作用是辅助多肽链的合成,甚至可以执行核糖体外的功能(田媛等, 2011)。而多肽在生物机体中具有促生长、刺激消化酶分泌和增强机体免疫能力的作用(Kotzamanis *et al*, 2007),且因其安全无毒副作用被广泛应用于畜牧及水产饲料中。然而,核糖蛋白作为富含多肽及免疫活性物质的营养性添加剂,还未见其在水产饲料中的应用报道。鉴于此,实验以大菱鲆为研究对象,在其饲料中添加核糖蛋白替代部分鱼粉,研究其对大菱鲆生长性能、消化酶活性、非特异性免疫指标和生理生化指标的影响,以期核糖蛋白在大菱鲆配合饲料中的应用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验饲料

本研究所用核糖蛋白由山东省烟台市三维饲料有限公司提供,其加工工艺为新鲜猪脾脏经过低温匀浆,细胞破碎处理,提取其有效成分,经过特殊工艺包被,220℃高温喷雾干燥(有效成分:核糖 $\geq 1.0$  g/kg;多肽 $\geq 14$  g/kg)。以核糖蛋白分别替代基础饲料中 0 (D1 组,作为对照组)、0.5% (D2 组)、1% (D3 组)、2% (D4 组)、3% (D5 组)和 4% (D6 组)的鱼粉,配制 6 组实验饲料(粗蛋白为 49%、粗脂肪为 10.50%),鱼粉和核糖蛋白营养成分见表 1。制作饲料时,将所有饲料原料过 80 目筛,按比例称重,逐级扩大均匀,经螺旋挤压机加工成直径为 3.0 mm 的硬颗粒饲料,

自然风干储存于 $-20^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。实验饲料组分及营养水平见表 2。

表 1 鱼粉和核糖蛋白的主要营养成分含量(% ,干物质基础)  
Tab.1 Main nutritional component contents of fish meal and ribose protein (% , dry weight basis)

项目 Items	鱼粉 Fish meal	核糖蛋白 Ribose protein
粗蛋白 CP	65.58	64.48
粗脂肪 EE	6.15	8.20
必需氨基酸 EAA		
蛋氨酸 Met	1.76	1.01
缬氨酸 Val	3.12	2.79
异亮氨酸 Ile	2.79	1.72
亮氨酸 Leu	5.36	4.81
苏氨酸 Thr	2.34	3.00
苯丙氨酸 Phe	2.28	3.54
组氨酸 His	1.87	1.58
赖氨酸 Lys	4.49	4.53
精氨酸 Arg	5.16	3.58
非必需氨基酸 NEAA		
酪氨酸 Tyr	2.48	2.57
丝氨酸 Ser	3.23	2.89
谷氨酸 Glu	8.54	7.49
脯氨酸 Pro	2.79	2.7
甘氨酸 Gly	4.52	3.49
丙氨酸 Ala	4.29	3.51
半胱氨酸 Cys	0.89	2.00
天冬氨酸 Asp	6.62	5.31

### 1.2 实验用鱼和实验条件

实验用大菱鲆购自山东蓬莱宗哲养殖有限公司,养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院全封闭水循环系统进行。实验鱼用基础饲料(D1)暂养 14 d,循环水养殖,连续充气。暂养结束后,禁食 24 h,挑选健康无病,规格均一的大菱鲆幼鱼[初始体重为 $(24.00 \pm 0.30)$  g]随机分为 6 组,每组 3 个重复(30 尾/重复),共 540 尾,放养于 18 个绿色圆柱形塑料养殖桶中。每天投喂 2 次(08:00、17:00),日投喂量为鱼体重的 1.2%~1.5%,据摄食情况调整投喂量,投喂结束后,统计残饵量。整个实验期间,微水流循环水养殖,控制水温为 $(16 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , pH 为 7.8~8.0,盐度为 27~28,溶解氧(DO) $> 6$  mg/L,氨氮 $< 0.01$  mg/L,亚硝酸盐 $< 0.01$  mg/L。养殖周期为 56 d。

攻毒实验:实验结束后,每桶取 10 尾鱼进行攻毒实验。将纯化的鳃弧菌(*Vibrio anguillarum*)于 $28^{\circ}\text{C}$ ,

表2 饲料配方和主要营养成分组成(%，干重)

Tab.2 Formulation and proximate chemical composition of the tested diets (%，dry weight basis)

原料 Ingredients	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
鱼粉 Fish meal	45.0	44.5	44.0	43.0	42.0	41.0
酪蛋白 Casein	16	16	16	16	16	16
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	8	8	8	8	8	8
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	12	12	12	12	12	12
鱼油 Fish oil	7	7	7	7	7	7
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1	1	1	1	1	1
维生素预混料 Vitamin premix <sup>a</sup>	2	2	2	2	2	2
矿物质预混料 Mineral premix <sup>b</sup>	1	1	1	1	1	1
甜菜碱 Betaine	1	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化物 Antioxidant	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
羧甲基纤维素钠 CMC	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
核糖蛋白 Ribose protein	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
总计 Total	100	100	100	100	100	100
营养成分组成(%，干物质) Nutrient composition (%，DM)						
粗蛋白 Crude protein	49.01	48.63	48.93	48.75	48.74	48.66
粗脂肪 Crude lipid	10.80	10.26	10.69	10.67	10.82	10.97
灰分 Crude ash	10.88	10.75	10.89	10.66	10.64	10.68
总能量 Gross energy/( $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ )	20.87	20.65	20.86	20.78	20.26	20.67

注：a：维生素预混料(mg/kg 预混料)：视黄醇，38.0； $\alpha$ -生育酚，210.0；维生素 D<sub>3</sub>，13.2；硫胺素，115.0；核黄素，380.0；盐酸吡哆醇，88.0；泛酸，368.0；烟酸，1030.0；生物素，10.0 g；叶酸 20.0，维生素 B<sub>12</sub> 1.3；肌醇，4000.0

b：矿物质预混料(mg/kg 预混料)：七水硫酸镁，3568.0；氯化钾，3020.5；硫酸铝钾，8.3；氯化钴，28.0；七水硫酸锌，353.0；五水硫酸铜，9.0；碘化钾，7.0；四水硫酸锰，63.1；亚硒酸钠，1.5；五水合柠檬酸铁，1523；氯化钠，100.0；氟化钠，4.0；二水合磷酸二氢钠，25,568.0；乳酸钙，15,968.0

Note: a: Vitamin mixture(mg/kg vitamin premix): retinol acetate 38.0, alpha-tocopherol 210.0, vitamin D<sub>3</sub> 13.2, thiamin 115.0, riboflavin 380.0, pyridoxine HCl 88.0, pantothenic acid 368.0, niacin acid 1030.0, biotin 10.0 g, folic acid 20.0, vitamin B<sub>12</sub> 1.3, inositol 4000.0

b: Mineral mixture (mg/kg mineral premix):  $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3568.0, KCl 3020.5,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  8.3,  $\text{CoCl}_2$  28.0,  $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  353.0,  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  9.0, KI 7.0,  $\text{MnSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  63.1,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  1.5,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  1533.0, NaCl 100.0, NaF 4.0,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  25,568.0, Ca-lactate 15,968.0

200 r/min 震荡培养箱中培养 10 h，至 OD<sub>600 nm</sub> 约 0.5，4℃，8000 r/min 离心 10 min，收集菌体沉淀，用无菌 PBS 稀释，至 OD<sub>600 nm</sub> 为 1 左右，每尾注射 100  $\mu\text{L}$  的鳃弧菌( $1\times 10^7$  CFU)进行攻毒，分别放入室内塑料桶内，保证充足供氧，每 2 h 观察 1 次，捞出死鱼，于 48 h 统计累积死亡率。

### 1.3 样品采集

养殖实验结束时，禁食 24 h，以桶为单位称重，记录每桶实验鱼的尾数和质量，计算成活率、增重率和饲料系数。每桶随机选择 15 尾幼鱼，丁香酚麻醉，尾静脉采血，之后取内脏团称重，然后分离肝脏称重，

计算脏体比和肝体比。血样 4℃ 静置 4 h，4000 r/min 离心 10 min，取血清。将所有样品保存于 -20℃，待测。

### 1.4 测定指标与方法

**1.4.1 生长指标** 成活率(survival rate, SR, %)= $100\times$ 存活尾数/30

增重率(weight gain rate, WGR, %)= $100\times$ (均末体质量-均初体质量)/均初体质量

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)= $100\times$ (ln 均末体质量-ln 均初体质量)/56

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)= $100\times$ (终末体质量-初始体质量)/(摄食量 $\times$ 饲料粗蛋白含量)

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)=摄食量/(终末体质量-初始体质量)

肥满度(condition factor, CF)=100×体质量/体长<sup>3</sup>

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=100×内脏团重量/体质量

肠体比(intestinesomatic index, ISI, %)=100×肠道重量/体质量

血清类胰岛素生长因子(IGF-1)、生长激素(GH)采用上海酶联 ELISA 试剂盒测定。

**1.4.2 实验饲料常规成分的测定** 饲料中水分采用 105℃恒重法测定(GB/T6435-2006), 粗蛋白采用凯氏定氮法测定(GB/T6432-2018), 粗脂肪采用索氏抽提法测定(GB/T6433-2006), 粗灰分采用灰化法测定(GB/T6438-2007), 能量采用氧弹仪燃烧法测定(IKA, C6000, 德国), 饲料及原料氨基酸含量参照《GB/T 18246-2019》中方法处理, 上机液采用全自动氨基酸测定仪(Hitachi L-8900, 日本)测定分析。

**1.4.3 血清酶活性测定** 总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、溶菌酶(LZM)、碱性磷酸酶(ALP)和超氧化物歧化酶(SOD)均采用南京建成试剂盒进行测定; 血清总胆固醇(TCHO)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和血糖(GLU)均采用南京建成试剂盒微板法测定; 血清白介素 β1(IL-1β)、干扰素 γ (IFN-γ), 肿瘤坏死因子(TNF-α)均采用上海酶联 ELISA 试剂盒测定。

**1.4.4 肠道消化酶活力** 肠道胰蛋白酶(trypsin)、α-淀粉酶(α-Amylase)和脂肪酶(lipase)均采用南京建成

试剂盒进行测定。

**1.4.5 攻毒实验** 测定累积死亡率, 计算公式如下: 累积死亡率(cumulative mortality rate, %)=100×(病死鱼尾数/初感染鱼尾数)

## 1.5 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件对所得数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 差异显著, 则采用 Duncan 进行多重检验, 显著水平为 0.05, 统计数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能的影响

由表 3 可知, 随着饲料中核糖蛋白替代鱼粉比例的升高, 增重率、特定生长率和蛋白质效率均呈现先上升后下降的趋势, 而饲料系数则呈相反趋势。幼鱼增重率、特定生长率和蛋白质效率最高值均出现在 D3 组, 显著高于对照组( $P<0.05$ ); 饲料系数在 D3 组达到最低值, 显著低于 D1 组( $P<0.05$ ), 但与其他组之间差异不显著( $P>0.05$ )。随着饲料中核糖蛋白替代鱼粉水平的增加, 幼鱼肥满度呈先上升后下降趋势, D2 和 D3 组与对照组无显著差异( $P>0.05$ ), D4~D6 组显著低于对照组( $P<0.05$ )。各组间幼鱼成活率、脏体比和肠体比无显著差异( $P>0.05$ )。

由图 1 和图 2 可知, 幼鱼血清 IGF-1 和 GH 含量均在 D3 组达到最高值, 显著高于其他组( $P<0.05$ )。

表 3 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能的影响

Tab.3 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on growth performance of juvenile turbot

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
初始体质量 Initial body weight/g	24.01±0.01	24.01±0.01	24.01±0.01	24.01±0.03	23.74±0.44	24.00±0.03
终末体质量 Final body weight/g	48.96±1.31 <sup>c</sup>	51.63±0.80 <sup>ab</sup>	52.68±1.19 <sup>a</sup>	51.86±1.13 <sup>ab</sup>	51.15±1.66 <sup>abc</sup>	50.00±1.25 <sup>bc</sup>
成活率 SR/%	96.67±3.33	94.44±1.92	96.67±3.33	95.56±7.69	97.78±1.92	96.67±3.33
增重率 WGR/%	103.91±5.35 <sup>c</sup>	115.04±3.48 <sup>ab</sup>	119.41±5.14 <sup>a</sup>	115.99±4.41 <sup>ab</sup>	115.44±3.59 <sup>ab</sup>	108.35±5.25 <sup>bc</sup>
特定生长率 SGR/(%·d <sup>-1</sup> )	1.27±0.04 <sup>c</sup>	1.37±0.02 <sup>ab</sup>	1.40±0.04 <sup>a</sup>	1.37±0.03 <sup>ab</sup>	1.37±0.03 <sup>ab</sup>	1.31±0.04 <sup>bc</sup>
蛋白质效率 PER	2.53±0.14 <sup>b</sup>	2.72±0.02 <sup>a</sup>	2.82±0.04 <sup>a</sup>	2.80±0.12 <sup>a</sup>	2.75±0.06 <sup>a</sup>	2.70±0.11 <sup>ab</sup>
饲料系数 FCR	0.80±0.04 <sup>a</sup>	0.76±0.01 <sup>ab</sup>	0.73±0.01 <sup>b</sup>	0.73±0.03 <sup>b</sup>	0.75±0.02 <sup>b</sup>	0.76±0.03 <sup>ab</sup>
肥满度 CF	3.47±0.12 <sup>b</sup>	3.57±0.06 <sup>b</sup>	3.51±0.16 <sup>b</sup>	2.96±0.07 <sup>a</sup>	3.10±0.05 <sup>a</sup>	3.06±0.01 <sup>a</sup>
脏体比 VSI/%	5.75±0.64	5.94±0.15	5.78±0.28	6.04±0.16	5.67±0.31	6.13±0.35
肠体比 ISI/%	2.24±0.10	2.25±0.06	2.20±0.21	2.42±0.05	2.20±0.10	2.33±0.16

注: 同行数据肩标无字母或相同表示差异不显著( $P>0.05$ ), 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同

Note: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below

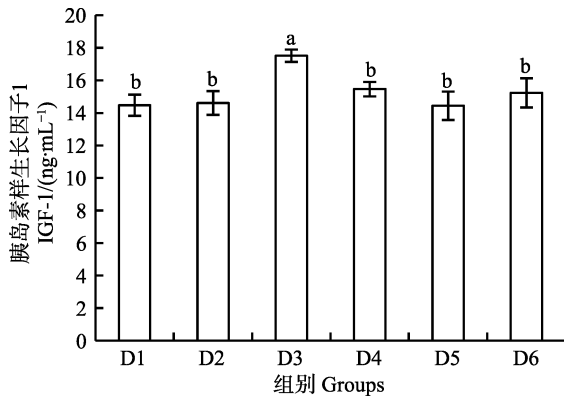


图1 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲃幼鱼血清 IGF-1 的影响  
Fig.1 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on serum IGF-1 content juvenile of turbot

不同字母表示组间存在显著差异( $P<0.05$ )。下同  
Values in each column with different letter superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ). The same as below

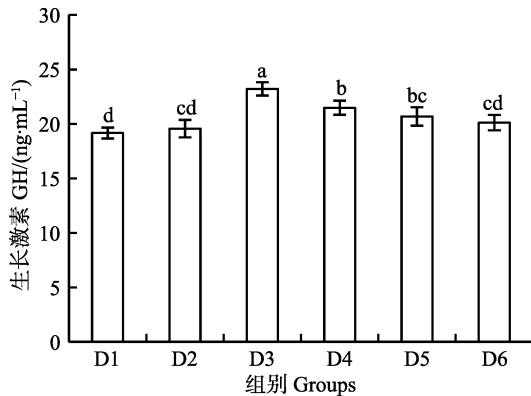


图2 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲃幼鱼血清 GH 的影响  
Fig.2 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on serum GH content of juvenile turbot

## 2.2 饲料中添加不同水平核糖蛋白对大菱鲃幼鱼肠道消化酶活力的影响

由表4可知,肠道胰蛋白酶和 $\alpha$ -淀粉酶活力均在D4组达到最高值,与对照组差异显著( $P<0.05$ )。与对照组相比,核糖蛋白替代鱼粉后降低了幼鱼脂肪酶活性( $P<0.05$ ),在D6组达到最低值,显著低于对照组( $P<0.05$ )。

表4 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲃幼鱼肠道消化酶活力影响

Tab.4 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on digestive enzyme activities in intestinal of juvenile turbot

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
胰蛋白酶 Trypsin/(U· $\mu\text{g}^{-1}$ prot)	2.11 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	2.09 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	2.68 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.74 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.42 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	1.97 $\pm$ 0.06 <sup>d</sup>
$\alpha$ -淀粉酶 $\alpha$ -Amylase/(U·mg <sup>-1</sup> prot)	0.25 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.34 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.33 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.26 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>
脂肪酶 Lipase/(U·g <sup>-1</sup> prot)	2.76 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	2.32 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	2.39 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	2.52 $\pm$ 0.22 <sup>ab</sup>	2.44 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	1.90 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>

## 2.3 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲃幼鱼免疫能力的影响

由表5可知,幼鱼血清TP含量在D3组出现最高值,与对照组差异显著( $P<0.05$ );血清GLB含量在D2组显著高于对照组( $P<0.05$ );各组间ALB含量和总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性无显著差异( $P>0.05$ );LZM活性在D1~D5组显著高于D6组( $P<0.05$ );D2~D6组血清ALP活性显著高于对照组( $P<0.05$ )。幼鱼血清IL- $\beta$ 1含量在D2组达到最高值,显著高于对照组( $P<0.05$ );IFN- $\gamma$ 含量在D3和D5组与对照组无显著差异( $P>0.05$ ),但其他组均显著低于对照组( $P<0.05$ );饲料中添加核糖蛋白显著增加了幼鱼血清TNF- $\alpha$ 浓度( $P<0.05$ ),其中在D2组达到最高值。

## 2.4 饲料中添加不同水平核糖蛋白对大菱鲃幼鱼生化指标的影响

由表6可知,幼鱼血清总胆固醇含量在D3组达到最高值,与对照组无显著差异( $P>0.05$ ),但显著高于D4~D6组( $P<0.05$ );随着饲料中核糖蛋白含量的增加,幼鱼血清甘油三酯呈下降趋势,在D6组达到最低值,显著低于对照组( $P<0.05$ );血清低密度脂蛋白胆固醇含量在D5组达到最低值,显著低于对照组( $P<0.05$ );高密度脂蛋白胆固醇含量在D4组达到最高值,显著高于对照组( $P<0.05$ );血糖含量呈先上升后下降趋势,在D3组达到最高值,显著高于其他各组( $P<0.05$ )。

## 2.5 饲料中添加不同水平核糖蛋白对大菱鲃幼鱼累积死亡率的影响

在大菱鲃幼鱼饲料中添加核糖蛋白替代不同比例鱼粉喂养大菱鲃幼鱼56d后,进行鳃弧菌注射感染实验,感染48h各实验组累积死亡率统计结果见图3。各组感染之后,在12h即出现死亡情况,在24h内死亡率急剧增加,36h减缓,48h即达到平稳。与对照组相比,D2组累积死亡率达56.45%,达到最低值,显著低于对照组和其他实验组( $P<0.05$ )。

表 5 饲料中添加不同水平核糖蛋白对大菱鲆幼鱼血清免疫能力的影响

Tab.5 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on serum immune indices of juvenile turbot

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
总蛋白 TP/(g·L <sup>-1</sup> )	28.86±0.046 <sup>b</sup>	32.76±1.75 <sup>a</sup>	33.21±0.54 <sup>a</sup>	29.26±1.08 <sup>a</sup>	29.26±1.16 <sup>a</sup>	31.19±2.24 <sup>ab</sup>
白蛋白 ALB/(g·L <sup>-1</sup> )	15.70±0.37	15.64±0.90	14.66±1.02	14.99±0.23	15.18±0.75	14.70±0.61
球蛋白 GLB/(g·L <sup>-1</sup> )	13.16±0.81 <sup>d</sup>	16.44±0.61 <sup>a</sup>	15.55±1.18 <sup>ab</sup>	14.04±0.19 <sup>d</sup>	14.74±0.57 <sup>bc</sup>	14.82±0.28 <sup>bc</sup>
溶菌酶 LZM/(μg·mL <sup>-1</sup> )	120.81±0.85 <sup>a</sup>	118.96±2.02 <sup>a</sup>	124.21±3.16 <sup>a</sup>	121.17±1.39 <sup>a</sup>	119.88±3.78 <sup>a</sup>	105.60±5.55 <sup>b</sup>
碱性磷酸酶 ALP/(金氏单位·100 mL <sup>-1</sup> )	2.47±0.23 <sup>c</sup>	4.86±0.10 <sup>a</sup>	4.46±0.28 <sup>a</sup>	3.44±0.20 <sup>b</sup>	3.68±0.25 <sup>b</sup>	3.51±0.44 <sup>b</sup>
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U·mL <sup>-1</sup> )	23.06±0.16	22.81±0.47	22.87±0.65	22.22±0.60	22.73±0.69	22.58±0.71
白介素 β1 IL-1β/(pg·mL <sup>-1</sup> )	57.02±3.19 <sup>a</sup>	122.54±13.20 <sup>c</sup>	73.21±15.75 <sup>a</sup>	92.63±7.45 <sup>b</sup>	110.32±6.63 <sup>c</sup>	112.18±4.86 <sup>c</sup>
干扰素 γ IFN-γ/(pg·mL <sup>-1</sup> )	453.47±55.40 <sup>c</sup>	200.48±12.24 <sup>a</sup>	427.42±52.66 <sup>c</sup>	264.07±67.71 <sup>ab</sup>	422.44±10.15 <sup>c</sup>	320.74±47.87 <sup>b</sup>
肿瘤坏死因子 TNF-α/(pg·mL <sup>-1</sup> )	21.21±4.02 <sup>a</sup>	69.83±2.00 <sup>c</sup>	32.86±3.52 <sup>b</sup>	34.97±4.81 <sup>bc</sup>	41.97±4.42 <sup>c</sup>	50.50±7.22 <sup>d</sup>

表 6 饲料中添加不同水平核糖蛋白对大菱鲆幼鱼血清生化指标的影响

Tab.6 Effects of partial replacement of fish meal by ribose protein on serum biochemical indices of juvenile turbot

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
总胆固醇 TCHO/(mmol·L <sup>-1</sup> )	4.21±0.16 <sup>a</sup>	4.27±0.16 <sup>a</sup>	4.36±0.03 <sup>a</sup>	3.82±0.21 <sup>b</sup>	3.72±0.33 <sup>b</sup>	2.99±0.19 <sup>c</sup>
甘油三酯 TG/(mmol·L <sup>-1</sup> )	2.79±0.08 <sup>a</sup>	2.58±0.13 <sup>a</sup>	1.84±0.18 <sup>b</sup>	1.67±0.27 <sup>b</sup>	1.30±0.19 <sup>c</sup>	1.28±0.18 <sup>c</sup>
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol·L <sup>-1</sup> )	0.81±0.08 <sup>a</sup>	0.97±0.08 <sup>a</sup>	0.94±0.04 <sup>a</sup>	0.84±0.18 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>b</sup>
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol·L <sup>-1</sup> )	2.02±0.01 <sup>bc</sup>	1.95±0.06 <sup>c</sup>	2.13±0.02 <sup>ab</sup>	2.22±0.08 <sup>a</sup>	2.09±0.11 <sup>b</sup>	1.79±0.04 <sup>d</sup>
血糖 GLU/(mmol·L <sup>-1</sup> )	2.42±0.15 <sup>b</sup>	2.40±0.05 <sup>b</sup>	2.68±0.23 <sup>a</sup>	2.18±0.02 <sup>c</sup>	2.11±0.02 <sup>c</sup>	2.15±0.04 <sup>c</sup>

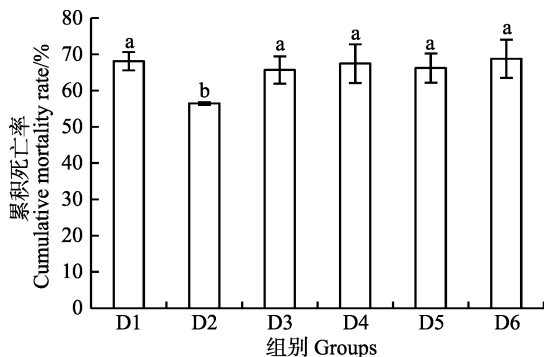


图 3 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼累积死亡率的影响

Fig.3 Effect of fishmeal replacement by ribose protein on cumulative mortality rate of juvenile turbot

### 3 讨论

#### 3.1 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能及形体指标的影响

本研究发现,核糖蛋白替代大菱鲆幼鱼饲料中 1%鱼粉可提高幼鱼增重率、特定生长率和蛋白质效率,降低饲料系数,说明添加适量核糖蛋白替代鱼粉可以增加鱼体内蛋白质的合成与沉积,促进营养物质的利用率和鱼体的生长,这可能与核糖蛋白中的多肽

能增加蛋白质吸收速率,提高蛋白质消化率有关(冯健等,2004)。这与家禽副产品多肽(Yigit *et al*, 2006)、家禽副产物酶解肽(贾高旺等,2019)等在大菱鲆中的应用有相似的结果。另有研究表明,在果蝇(*Drosophila melanogaster*)核糖体重要基因表达因子不足或缺失会降低核糖体的数量和蛋白质的合成,从而导致果蝇生长发育缓慢(Jorgensen *et al*, 2002),说明核糖体对动物机体蛋白质的合成、生长发育具有重要的作用(Marygold *et al*, 2007)。在本研究中,大菱鲆饲料中添加 1%核糖蛋白提高了幼鱼的生长性能,这可能与增加了鱼体核糖体重要基因的表达量有关,具体机理还需进一步验证。但当核糖蛋白添加水平高于 1%时,其增重率、特定生长率、蛋白质效率均受到显著抑制,可能是低分子量的多肽产生过多氨基酸,使肠道中的氨基酸转运系统饱和造成的,也可能是核糖蛋白中的肽类与其他原料中的氨基酸吸收不同步造成的(路晶晶等,2018),这与在海鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*) (Cahu *et al*, 1999)的研究结果一致。

肥满度、脏体比和肠体比是衡量鱼体能量状态的重要指标,增加摄食营养物质和能量均会引起肥满度、脏体比和肠体比的升高(Daudpota *et al*, 2016)。本研究中,随着饲料中核糖蛋白替代鱼粉比例的增加,

肥满度呈先上升后下降趋势,这表明饲料中添加适量的核糖蛋白替代鱼粉可以改善鱼体的营养状况,这与本研究中生长指标相一致;大菱鲂幼鱼肠体比和脏体比在添加组均稍高于对照组,但无显著差异,可能与核糖蛋白中的有效成分影响了鱼体的肝脏和肠道代谢有关(Boza *et al*, 2000)。

类胰岛素生长因子是一种生长内分泌激素,能增加机体或细胞对氨基酸的摄取和利用,促进蛋白质和RNA的合成,促进肌肉生长(孙伟等, 2011)。本研究中,随着核糖蛋白替代鱼粉比例的增加,鱼体类胰岛素生长因子在1%组与对照组无显著差异,其他替代组均显著低于对照组。研究表明,在花鲈(*Lateolabrax japonicus*) (Men *et al*, 2014)、军曹鱼(*Rachycentron canadum*) (Luo *et al*, 2013)、金头鲷(*Sparus aurata*) (Gómez-Requena *et al*, 2004)饲料中添加动、植物蛋白替代鱼粉会导致鱼体类胰岛素生长因子基因表达量下降,这是由饲料营养成分不同造成的(Hevrøy *et al*, 2011),这也有可能是本研究中,核糖蛋白替代鱼粉降低了大菱鲂幼鱼血清IGF-1浓度的原因之一。生长激素在动物的生长发育过程中起决定性的作用,生长激素通过由垂体分泌的生长因子刺激合成并释放出IGF-1作用于靶细胞进而促进机体的生长(王连生等, 2016)。本研究表明,饲料中添加核糖蛋白替代鱼粉降低了血清中生长激素含量,与血清中IGF-1浓度变化趋势一致,表明饲料中添加核糖蛋白替代鱼粉降低了血清GH和IGF-1浓度,从而降低了鱼体的生长,但添加适量核糖蛋白替代鱼粉(1%组)可提高幼鱼血清GH和IGF-1浓度,这对鱼体生长及降低鱼粉添加量都具有一定的意义。

### 3.2 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲂幼鱼肠道消化酶活力的影响

本研究发现,核糖蛋白适量替代鱼粉对大菱鲂肠道胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均有显著影响,但能提高幼鱼胰蛋白酶和淀粉酶活性,降低脂肪酶活性。这与一些肽类物质在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) (冯健等, 2004)、美洲黑石斑鱼(*Centropristis striata*) (邱金海等, 2009)等研究结果类似。推测其作用机理与多肽蛋白可刺激鱼体肠道中开放型细胞分泌激素调节消化酶的分泌有关(李加儿等, 2015)。但在核糖蛋白替代量为4%时显著降低了肠道胰蛋白酶活性,说明随着核糖蛋白替代鱼粉比例的增加,核糖蛋白能使肠道胰蛋白酶活性呈先上升后下降的趋势。此外,饲料中添加核糖蛋白替代鱼粉降低了幼鱼脂肪酶的活性,其机理可能是核糖蛋白中某些有效成分下

调了鱼体脂肪代谢相关基因表达,影响了脂肪的消化吸收及转运代谢过程(田许等, 2019)。综上,适量的核糖蛋白替代鱼粉可提高大菱鲂幼鱼的消化能力,但高剂量的核糖蛋白替代鱼粉将影响大菱鲂的消化能力,表现为胰蛋白酶和脂肪酶活力降低,其深层机制还需要进一步的研究。

### 3.3 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲂幼鱼免疫能力的影响

本研究中,饲料中添加核糖蛋白适量替代鱼粉显著提高了幼鱼血清总蛋白、球蛋白、溶菌酶含量和碱性磷酸酶的活性,说明饲料中添加一定量的核糖蛋白替代鱼粉可以增加鱼体的非特异免疫能力,与凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) (刘丽波等, 2010)、中华鳖(*Trionyx Sinensis*) (张海琪等, 2013)研究一致。推测其机理是:一、核糖蛋白里面有效成分多糖可通过激活NF- $\kappa$ B途径来激活鱼体的免疫功能(钱隆等, 2019);二、核糖蛋白中的有效成分多肽具有抗菌、抗病毒和增强鱼体免疫力的作用。

白介素-1 $\beta$ 是白细胞介素1的一种亚型,是一种重要的炎症和免疫原性细胞因子,在诱发炎症、造血及免疫调节代谢等过程中发挥重要作用(高珊等, 2014; Bird *et al*, 2002)。肿瘤坏死因子作为重要的炎症因子,在抵抗细菌和病毒感染以及清除被感染的细胞等方面发挥着重要的作用(田佳音等, 2020)。本研究表明,饲料中添加核糖蛋白替代鱼粉显著提高了幼鱼血清白介素-1 $\beta$ 和TNF- $\alpha$ 含量,均在0.5%替代组达到最高值,表明饲料中添加核糖蛋白可以提高幼鱼的免疫能力,与小鼠(樊乃境等, 2020)研究结果一致。

### 3.4 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲂幼鱼血清生化指标的影响

本研究表明,饲料中添加核糖蛋白替代大菱鲂幼鱼饲料中2%~4%的鱼粉可降低血清中总胆固醇和低密度脂蛋白含量,说明核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲂幼鱼脂代谢有一定的影响。若脂类在体内运输发生障碍,则会造成血清中总胆固醇等指标的上升(路晶晶等, 2018),替代组血清中总胆固醇和低密度脂蛋白含量较对照组下降,表明核糖蛋白可以促进血清中脂质的代谢,加速脂代谢产物的清除,也有可能是核糖蛋白中的一些活性物质可以调控鱼体脂肪代谢相关基因表达,从而影响血清脂肪代谢酶活变化,但具体调控受核糖蛋白成分剂量影响(张秀媛等, 2019)。血糖含量是反应生物碳水化合物代谢水平的重要指标,一般鱼体摄食积极,血糖浓度较高,则表明鱼体健康状况良好(Almeida *et al*, 2005)。本研究表明,幼鱼血清

血糖浓度随核糖蛋白替代水平变化呈先上升后下降趋势,与本研究中生长趋势相一致。在1%替代组显著高于对照组,表明饲料中核糖蛋白替代1%鱼粉具有一定的摄食诱食性。但当核糖蛋白替代量在2%~4%时,幼鱼血清血糖含量显著低于对照组,与其他动物蛋白源替代鱼粉可降低鱼体血糖浓度结果一致(曹晓莉等,2020)。

### 3.5 核糖蛋白替代鱼粉对大菱鲆幼鱼累积死亡率的影响

鳃弧菌是海水鱼常见的代表性致病菌之一,通常可引起大菱鲆发生弧菌病。因此,可采用攻毒感染后的累积死亡率来判断大菱鲆幼鱼的抗病力强弱(郝甜甜等,2014)。在本研究中,攻毒后大菱鲆幼鱼死亡高峰期出现在12~24 h,36~48 h出现减缓并趋于稳定。研究表明,饲料中添加0.5%核糖蛋白替代鱼粉显著降低了幼鱼的累积死亡率,提高了免疫保护率,与本研究中的血清免疫指标白介素-1 $\beta$ 和TNF- $\alpha$ 的变化趋势一致。Wu等(2013)研究表明,多肽类可以通过下调肠道炎症因子含量或者抑制NF- $\kappa$ B信号通路来减轻炎症反应。本研究中,添加适量核糖蛋白替代鱼粉可能是通过改善肠道健康来发挥抗炎作用从而达到提高免疫保护率的作用,具体机理还需进一步验证。另有研究表明,水生动物在受到细菌感染时,可通过提高机体的白细胞数目和溶菌酶含量来增强机体免疫能力(Liu *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; 敖秋枢等, 2020)。在本研究中,0.5%替代组幼鱼累积死亡率达到最低值,溶菌酶活性达到最高,表明核糖蛋白替代适宜比例鱼粉可通过提高鱼体溶菌酶活性来增加鱼体免疫能力(Zhou *et al.*, 2010)。

## 4 结论

在本研究条件下,以生长性能为基础,综合考虑消化和免疫等指标,核糖蛋白替代大菱鲆幼鱼饲料中鱼粉的适宜比例为1%。

## 参 考 文 献

ALMEIDA J S, MELETTI P C, MARTINEZ C B. Acute effects of sediments taken from an urban stream on physiological and biochemical parameters of the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C: Toxicology and Pharmacology*, 2005, 140(3): 356–363

AO Q Z, LUO Y J, LÜ M, *et al.* Effects of *Streptococcus agalactiae* infection on blood and hepatopancreatic tissue biochemical indices in different species of tilapia. *Progress*

*in Fishery Sciences*, 2020, 41(4): 167–173 [敖秋枢, 罗永巨, 吕敏, 等. 不同罗非鱼品系感染无乳链球菌后对血液和肝胰腺生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2020, 41(4): 167–173]

BIRD S, ZOU J, WANG T H, *et al.* Evolution of interleukin-1 beta. *Cytokine and Growth Factor Reviews*, 2002, 13(6): 483–502

BOZA J J, MOËNNOZ D, VUICHOU D, *et al.* Protein hydrolysate vs free amino acid-based diets on the nutritional recovery of the starved rat. *European Journal of Nutrition*, 2000, 39(6): 237–243

Bureau of Fisheries Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China fishery statistical yearbook*. Beijing: China Agriculture Press, 2020, 44 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. *中国渔业统计年鉴*. 北京: 中国农业出版社, 2020, 44]

CAHU C L, INFANTE J L Z, QUAZUGUEL P, *et al.* Protein hydrolysate vs fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Aquaculture*, 1999, 171(1/2): 109–119

CAO X L, ZHONG L, DAI Z Y, *et al.* Effects of fish meal replacement by pet grate poultry by-product meal on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and serum biochemical indexes of rice filed eel (*Monopterus albus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(5): 2352–2360 [曹晓莉, 钟蕾, 戴振炎, 等. 宠物级鸡肉粉替代鱼粉对黄鳝鱼生长性能、肠道消化酶活性及血清生化指标的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(5): 2352–2360]

CHEN S C, HU J R, LI J Y, *et al.* Progress in research on replacer as fish meal applied to aquatic animals. *Fishery Information and Strategy*, 2008, 23(11): 20–23 [陈水春, 胡俊茹, 李军勇, 等. 鱼粉替代物在水生动物上的研究进展. *渔业信息与战略*, 2008, 23(11): 20–23]

DAUDPOTA A M, ABBAS G, KALHORO I B, *et al.* Effect of feeding frequency on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) reared in low salinity water. *Pakistan Journal of Zoology*, 2016, 48(1): 171–177

FAN N J, WANG D M, GAO Y, *et al.* Immunomodulatory effects of the iron yam peptides on mice with immunocompromised. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(6): 101–107 [樊乃境, 王冬梅, 高悦, 等. 山药蛋白肽对免疫能力低下小鼠的免疫调节作用. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 101–107]

FENG J, GAO L, LIU Y J, *et al.* The effect of small peptides from shrimp waste in diet on growth performance of grass carps *Ctenopharyngodon idella*. *ACTA Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(2): 100–103 [冯健, 高玲, 刘永坚, 等. 草鱼日粮中虾蛋白肽对幼龄草鱼生长性能的影响. *中山大学学报(自然科学版)*, 2004, 43(2): 100–103]



- GAO S, YU T, ZHOU J X, *et al.* A review of interleukin and receptors in fish. *Chinese Journal of Fisheries*, 2014, 27(3): 62–64 [高珊, 余涛, 周景祥, 等. 鱼类白介素及其受体的研究. *水产学杂志*, 2014, 27(3): 62–64]
- GÓMEZ-REQUENIA P, MINGARROA M, CALDUCH-GINERA J A, *et al.* Protein growth performance, amino acid utilization and somatotrophic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 2004, 232(1/2/3/4): 493–510
- HAO T T, WANG J Y, LI B S, *et al.* Effect of dietary supplementation of sacchariterpenin on growth, immunity and heat shock protein 70 content of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2014, 40(3): 338–347 [郝甜甜, 王际英, 李宝山, 等. 饲料中添加糖萜素对大菱鲂幼鱼生长、免疫及热休克蛋白 70 含量的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2014, 40(3): 338–347]
- HEVRØY E M, AZPELETA C, SHIMIZU M, *et al.* Effects of short-term starvation on ghrelin, GH-IGF system, and IGF binding proteins in Atlantic salmon. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2011, 37(1): 217–232
- JIA G W, GUO R, ZHANG Y, *et al.* Effects of partial replacement of fish meal by peptides hydrolyzed from poultry by-products on growth performance, digestive indices and specific immune indices of turbot. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5): 2201–2211 [贾高旺, 郭冉, 张宇, 等. 家禽副产物酶解肽部分替代鱼粉对大菱鲂生长性能、消化指标和特异性免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(5): 2201–2211]
- JORGENSEN P, NISHIKAWA J L, BREITKREUTZ B J, *et al.* Systematic identification of pathways that couple cell growth and division in yeast. *Science*, 2002, 297(5580): 395–400
- KOTZAMANIS Y P, GISBERT E, GATESOUBE F J, *et al.* Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2007, 147(1): 205–214
- LI J E, WU S Q, QU Y J, *et al.* Study on mucous and gastrin cells of digestive tract in Qinglong grouper (*Epinephelus coioides*♀ × *E. lanceolatus*♂) juveniles. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(3): 67–73 [李加儿, 吴水清, 区又君, 等. 斜带石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代幼鱼消化道粘液细胞和胃泌素细胞的研究. *南方水产科学*, 2015, 11(3): 67–73]
- LIU F, GENG C H, QU Y K, *et al.* The feeding of dietary codonopsis pilosula polysaccharide enhances the immune responses, the expression of immune-related genes and the growth performance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Fish and Shellfish Immunology*, 2020, 103: 321–331
- LIU L B, LI S D, CHEN J H, *et al.* Effect of fresh housefly larva on growth and immunity in pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries Science*, 2010, 29(12): 721–724 [刘丽波, 李色东, 陈镜华, 等. 鲜活蝇蛆对凡纳滨对虾生长和免疫的影响. *水产科学*, 2010, 29(12): 721–724]
- LU J J, GUO R, XIA H, *et al.* Effects of peptides hydrolyzed from poultry by-products on growth performance, digestive indices and non-specific immune indices of *Litopenaeus vannamei*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(2): 797–806 [路晶晶, 郭冉, 夏辉, 等. 家禽副产物酶解肽对凡纳滨对虾生长性能、消化指标和非特异性免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(2): 797–806]
- LUO Y W, AI Q H, MAI K S, *et al.* Effects of dietary corn gluten meal on growth performance and protein metabolism in relation to IGF- I and TOR gene expression of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Journal of Ocean University of China*, 2013, 12(3): 418–426
- MARYGOLD S J, ROOTE J, REUTER G, *et al.* The ribosomal protein genes and minute loci of *Drosophila melanogaster*. *Genome Biology*, 2007, 8(10): 1–26
- MEI L, ZHOU H H, MAI K S, *et al.* Effects of dietary substitution of fishmeal by fermented silkworm pupae on the growth, feed intake, digestion and immunity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 85–92 [梅琳, 周慧慧, 麦康森, 等. 蛹肽蛋白替代鱼粉对大菱鲂(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼生长、饲料利用、消化代谢酶及免疫性能的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(3): 85–92]
- MEN K K, AI Q H, MAI K S, *et al.* Effects of dietary corn gluten meal on growth, digestion and protein metabolism in relation to IGF- I gene expression of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 2014, 428–429: 303–309
- QIAN L, LIU Y, LI B X, *et al.* Atractylodes macrocephala koidz may alleviate liver injury induced by cyclophosphamide via toll-like receptor 4 signaling pathway in goslings. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(2): 764–774 [钱隆, 刘洋, 李冰心, 等. 白术多糖可能通过 Toll 样受体 4 信号通路缓解环磷酰胺诱导的雏鹅肝脏损伤. *动物营养学报*, 2019, 31(2): 764–774]
- QIU J H, LIN X, WU D F. Study on the effects of phytase, small peptide and Chinese herbal medicine for growth of juvenile *Centropristis striata*. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2009, 30(5): 74–80 [邱金海, 林星, 吴德峰. 饲料中添加植酸酶、小肽和中草药制剂对美洲黑石斑幼鱼生长影响的研究. *家禽生态学报*, 2009, 30(5): 74–80]
- SUN W, MA W J, SONG E L, *et al.* Effect of feeding different levels of heat-treated soybeans on levels of different hormones in longissimus dorsi muscle, back fat, liver and serum of beef cattle. *Grass Feeding Livestock*, 2011(2): 35–39 [孙伟, 马文建, 宋恩亮, 等. 饲喂不同水平热处理大豆对肉牛体组织和血清中类胰岛素生长因子-I、生长激素、胰岛素和瘦素水平的影响. *草食家畜*, 2011(2): 35–39]

- TIAN J Y, CHEN K Y, ZHANG C, *et al.* Expression analysis of zebrafish tumor necrosis factor (*tnfa*) and its receptor (*tnfrsfla*) in response to bacterial and viral infections. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(2): 171–179 [田佳音, 陈康勇, 张畅, 等. 斑马鱼肿瘤坏死因子(*tnfa*)及其受体(*tnfrsfla*)应答细菌和病毒感染的表达. 上海海洋大学学报, 2020, 29(2): 171–179]
- TIAN X, YANG Y H, WANG Y N, *et al.* Effects of fish collagen peptides on hepatic lipid metabolism and redox status in mice fed with high-fat diet. *Food Science*, 2019, 40(3): 149–157 [田许, 杨玉辉, 王雅楠, 等. 鱼胶原蛋白肽对高脂膳食小鼠肝脏脂肪代谢和氧化还原状态的影响. 食品科学, 2019, 40(3): 149–157]
- TIAN Y, ZHANG J P. The extra ribosomal functions of ribosomal proteins and the related diseases. *Chemistry of Life*, 2011, 31(4): 488–491 [田媛, 张俊平. 核糖体蛋白质的新功能及其与相关疾病的关系. 生命化学, 2011, 31(4): 488–491]
- WANG L S, XU Q Y, CHEN D, *et al.* Effects of dietary  $\alpha$ -ketoglutarate supplementation on liver glutamine content, antioxidant capacity and the expressions of growth hormone and insulin-like growth factor genes of juvenile hybrid sturgeon fed different protein source diets. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(12): 3917–3924 [王连生, 徐奇友, 陈迪, 等. 不同蛋白质源饲料中添加 $\alpha$ -酮戊二酸对杂交鲟幼鱼肝脏谷氨酰胺含量、抗氧化能力及生长激素、胰岛素样生长因子-I基因表达的影响. 动物营养学报, 2016, 28(12): 3917–3924]
- WU Z, PAN D D, GUO Y X, *et al.* Structure and anti-inflammatory capacity of peptidoglycan from *Lactobacillus acidophilus* in RAW-264.7 cell. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 96(2): 466–473
- YIGIT M, ERDEM M, KOSHIO S, *et al.* Substituting fish meal with poultry by-product meal in diets for black sea turbot *Psetta maotica*. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(5): 340–347
- ZHANG H Q, ZHOU F, WANG W P, *et al.* Effects of housefly maggots instead of fish meal on growth performance, textural mechanical properties, serum parameters in *Pelodiscus sinensis* Japanese strain. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(2): 225–229 [张海琪, 周凡, 王卫平, 等. 蝇蛆蛋白粉替代鱼粉对中华鳖日本品系生长、肌肉品质、免疫及抗氧化指标的影响. 浙江农业学报, 2013, 25(2): 225–229]
- ZHANG W N, ZHANG M X, CHENG A Y, *et al.* Immunomodulatory and antioxidant effects of astragalus polysaccharide liposome in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Fish and Shellfish Immunology*, 2020, 100: 126–136
- ZHANG X Y, LI S Y, WANG C F, *et al.* Effects of *Allium mongolicum* regel and its extract on growth performance and lipid metabolism related indices of small tail *Han* sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(1): 334–341 [张秀媛, 李书仪, 王翠芳, 等. 沙葱及其提取物对小尾寒羊生长性能和脂肪代谢相关指标的影响. 动物营养学报, 2019, 31(1): 334–341]
- ZHOU F, XIONG W, XIAO J X, *et al.* Optimum arginine requirement of juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus*. *Aquaculture Research*, 2010, 41(10): 418–430

(编辑 陈 辉)

## Effects of Partial Replacement of Fish Meal with Ribose Protein on Growth Performance, Intestinal Digestive Enzyme Activities, Specific Immune Indices and Physiological and Biological Indices of Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus* L.)

HAO Tiantian<sup>1</sup>, WANG Jiyong<sup>1①</sup>, PAN Jinmin<sup>2</sup>, YANG Hui<sup>2</sup>, LI Baoshan<sup>1</sup>,  
SHEN Yubo<sup>3</sup>, LIU Caili<sup>3</sup>, WANG Chengqiang<sup>1</sup>, HUANG Bingshan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resources and Environment Research Institute, Yantai, Shandong 264006, China; 2. Yantai Three Dimensional Feed Co. LTD, Yantai, Shandong 264006, China; 3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract** This study was conducted to evaluate the potential of replacing fish meal with ribose protein in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). A single factor experiment -with six fish meal levels was used. A control diet (D1) was formulated to contain 45% fish meal. In other five diets, 0.5% (D2), 1% (D3), 2% (D4), 3% (D5), and 4% (D6) of the fish meal in the diet control were replaced with ribose protein, respectively. Each diet was randomly fed to triplicate groups of 30 fish per tank. The experimental period was 56 d. The results showed that as the replacement ratio of fish meal by ribose protein increased, the weight gain rate (WG), specific growth rate (SGR), and protein efficiency ratio (PER) showed a trend of first rising and then decreasing, they were all significantly higher in the D3 group than in the D5 and D6 groups ( $P<0.05$ ). However, the feed conversion ratio reached a minimum in the D3 group. Compared with the control group, the serum IGF-1 and GH contents in the replacement groups were significantly decreased ( $P<0.05$ ). Trypsin activities of the intestine in D3, D4, and D5 groups were significantly higher than in other groups ( $P<0.05$ ). Amylase activities in the intestine of the D3 and D4 groups were significantly higher than that in the control group ( $P<0.05$ ). Lipase activity reached a minimum in the D3 group ( $P<0.05$ ). The total protein, globulin, and alkaline phosphatase contents in the replacement groups were significantly higher than those in the control group ( $P<0.05$ ). The lysozyme activity in the D3 group was significantly higher than that in the D6 group ( $P<0.05$ ). The albumin content and the activity of superoxide dismutase were not significantly different among all the groups ( $P>0.05$ ), while the serum IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$  contents were significantly increased ( $P<0.05$ ). Compared with the control group, the total cholesterol and triglyceride contents in the D4, D5, and D6 groups were significantly decreased ( $P<0.05$ ). The serum low-density lipoprotein cholesterol content of the D5 and D6 groups was significantly decreased ( $P<0.05$ ), and the serum high-density lipoprotein cholesterol content of the D4 group was significantly increased ( $P<0.05$ ). Glucose content first increased and then decreased as the replacement ratio of fish meal by ribose protein increased, and it was the highest in the D3 group ( $P<0.05$ ). The challenge study showed that the D2 group had a lower cumulative mortality rate than other groups after 48 hours ( $P<0.05$ ). It can be concluded that the optimum level of replacing fish meal in turbot diet with ribose protein is 1% based on growth performance, and simultaneously considers the indices of digestion and specific immune, and disease resistance in *S. maximus* under this experimental condition.

**Key words** Ribose protein; *Scophthalmus maximus* L.; Growth performance; Activity of intestinal enzymes; Physiological and biological indices

① Corresponding author: WANG Jiyong, E-mail: ytwjy@126.com