

## 饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼生长、体组成及抗氧化能力的影响

荣华, 夏优, 王晓雯, 胡青, 贾丹, 武祥伟, 孔令富, 毕保良

### Effects of dietary proline on growth, body composition and antioxidant capacity of Chu's croaker (*Nibea coibor*)

RONG Hua, XIA You, WANG Xiaowen, HU Qing, JIA Dan, WU Xiangwei, KONG Lingfu, BI Baoliang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20211003580>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

##### 饲料中维生素D<sub>3</sub>含量对大口黑鲈生长和抗氧化能力的影响

Effects of dietary vitamin D<sub>3</sub> 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>

##### 大黄素对建鲤生长性能、抗氧化指标及肝脏CYP450酶的影响

Effects of dietary emodin on antioxidant ability, growth and hepatopancreatic CYP450 enzyme activity in common carp *Cyprinus carpio* Jian

上海海洋大学学报. 2020, 35(5): 686 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-257>

##### 饲料中胆汁酸对红鳍东方脂肪组成及抗氧化能力的影响

Effect of dietary bile acid supplementation on fatty acid composition and anti-oxidative capacity of tiger puffer *Takifugu rubripes*

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 829 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191002833>

##### 酵母类产品在大口黑鲈饲料中的应用

Application of yeast products in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) feed

上海海洋大学学报. 2022, 31(6): 1394 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210503444>

##### 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>

文章编号: 1674-5566(2023)01-0089-09

DOI:10.12024/jsou.20211003580

## 饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼生长、体组成及抗氧化能力的影响

荣 华<sup>1,2</sup>, 夏 优<sup>1</sup>, 王晓雯<sup>1,2</sup>, 胡 青<sup>1,2</sup>, 贾 丹<sup>1,2</sup>, 武祥伟<sup>1,2</sup>, 孔令富<sup>1,2</sup>, 毕保良<sup>1,2</sup>

(1. 云南农业大学 动物科学技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南省高校高原渔业资源保护与可持续利用重点实验室, 云南 昆明 650201)

**摘 要:** 为了研究饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼(*Nibea coibor*)生长、体组成及抗氧化能力的影响, 试验选取 450 尾浅色黄姑鱼, 随机分为 6 个处理组, 每个处理组设 3 个重复, 分别饲喂添加 0、5、10、15、20 和 25 g/kg 脯氨酸的试验饲料, 进行为期 8 周的饲养实验。结束后进行生物学指标测定, 测定各实验组中浅色黄姑鱼的生长、体常规成分及抗氧化指标。结果表明: 脯氨酸对浅色黄姑鱼生长性能和饲料利用率没有显著的影响, 但显著影响机体的蛋白质沉积。通过全鱼粗蛋白估算出的最佳饲料脯氨酸添加量为 14.73 g/kg。另外, 饲料中添加脯氨酸显著提高了肝脏和血清中的还原性谷胱甘肽(GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和过氧化氢酶(CAT)及血清中的超氧化物歧化酶(SOD)含量, 却显著降低了浅色黄姑鱼肝脏和血清中的丙二醛(MDA)含量。综上, 饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼生长的促进作用不显著, 但可以促进蛋白沉积和增强抗氧化能力。

**关键词:** 浅色黄姑鱼; 脯氨酸; 生长性能; 体组成; 抗氧化能力

**中图分类号:** S965.325 **文献标志码:** A

脯氨酸是精氨酸家族中的一员, 它可以在哺乳动物中以组织特异性的方式从精氨酸、鸟氨酸、谷氨酰胺和谷氨酸中合成<sup>[1]</sup>。特别是动物机体处于应激、受伤、妊娠或产后等状态下, 对脯氨酸的需求会急剧增加, 导致自身内源性合成脯氨酸不足, 往往需要在饮食中提供额外的脯氨酸来满足机体的需要<sup>[2-5]</sup>。因此, 充足的脯氨酸对包括鱼<sup>[6-8]</sup>在内的许多动物(小鼠<sup>[9]</sup>、人类<sup>[10-11]</sup>、猪<sup>[12-13]</sup>、禽<sup>[14-15]</sup>、虾<sup>[16]</sup>)最大的生长性能和最佳健康都是至关重要的。有研究<sup>[6,17]</sup>指出鱼类缺乏吡咯啉-5-羧酸盐合成酶(P5CS), 利用精氨酸合成脯氨酸受阻, 导致内源合成的脯氨酸不足, 无法满足鱼类最佳生长及饲料利用。许多鱼类对脯氨酸的要求特别高, 为了满足最佳生长, 必须从饲料中获得足够的脯氨酸, 因而常将其归为鱼类的条件性必需氨基酸或功能性氨基酸<sup>[17-18]</sup>。

有研究<sup>[19-20]</sup>报道, 脯氨酸作为一种功能性氨基酸, 可以调控动物机体胶原蛋白的合成, 促进损伤组织的修复。另有研究<sup>[21]</sup>表明脯氨酸是细胞内多种生理和生化过程的关键调节因子。除此之外, 脯氨酸及其代谢产物吡咯啉-5-羧酸(P5C)可以调控氧化还原反应, 清除自由基, 增强机体抗压能力<sup>[11]</sup>。综上所述, 脯氨酸在蛋白质合成、代谢、营养、伤口愈合、抗氧化反应、免疫应答等多方面发挥重要作用。

LIN 等<sup>[22]</sup>研究发现饲料中添加脯氨酸可以促进浅色黄姑鱼胶原蛋白沉积。浅色黄姑鱼(*Nibea coibor*)俗名白奈、金丝, 属于鲈形目(Perciformes)石首鱼科(Sciaenidae)黄姑鱼属(*Nibea*), 是石首鱼科中一种主要的产胶鱼类, 生产出的“白花胶”被公认为是营养价值很高的补品, 也是我国东南沿海地区的一种重要经济鱼类

收稿日期: 2021-10-11 修回日期: 2021-12-17

基金项目: 云南省农业基础研究联合专项面上项目(2018FG001-044); 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室开发基金项目(NJTCCJSYSYS12); 云南省庄平专家工作站项目(202005AF150042)

作者简介: 荣 华(1986—), 男, 博士, 实验师, 研究方向为水产动物营养。E-mail: 15hrong@stu.edu.cn

通信作者: 毕保良, E-mail: 1448151770@qq.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

和海水养殖品种<sup>[23-24]</sup>。然而,目前关于浅色黄姑鱼的饲料开发鲜有研究,制约着养殖业和鱼胶产业的进一步发展。本研究通过饲料中梯度添加脯氨酸,探讨脯氨酸对浅色黄姑鱼生长、体组成及抗氧化性能的影响,分析饲料中脯氨酸最适添加量,以期为浅色黄姑鱼饲料的开发奠定理论基础,促进浅色黄姑鱼养殖业的快速健康发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

本研究仅以饲料中的脯氨酸含量为变量,综合考虑蛋白平衡、脂类平衡、无机盐平衡,以鱼粉、混合氨基酸和结晶氨基酸为主要蛋白源,鱼

油为主要脂肪源。试验饲料中脯氨酸的添加水平是参考其他鱼类脯氨酸需求量确定的<sup>[6]</sup>,用P1、P2、P3、P4、P5和P6代表6个脯氨酸梯度(0、5、10、15、20和25 g/kg干物质)的实验饲料组(表1)。用丙氨酸来平衡饲料中的氮,并参考文献<sup>[25]</sup>中大黄鱼的营养需求设计其他营养成分的含量。采用HPLC-Ultimate 3000(Thermo Scientific Dionex, USA)测定饲料氨基酸谱,见表2。饲料原料过60目筛,经充分混合,用2.5 mm直径的膨化机制粒,在自然通风环境中风干,干颗粒饲料被密封在塑料袋里于-20℃存储,直至使用。

表1 实验饲料的原料组成及近似组分(风干质量)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (air dry mass) %

原料组成 Ingredient composition	实验处理组 Experimental treatment groups					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<sup>1</sup> 鱼粉 Fish meal	24.48	24.48	24.48	24.48	24.48	24.48
发酵豆粕 Fermented soybean meal	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80	9.80
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20
鱼油 Fish oil	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60	7.60
卵磷脂 Lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
木薯淀粉 Cassava starch	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
α-淀粉 α-Starch	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
<sup>2</sup> 混合氨基酸 Mixed amino acids	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
微晶纤维素 Cellulose microcrystalline	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L-脯氨酸 L-Proline	0	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
丙氨酸 Alanine	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0
<sup>3</sup> 矿物质预混料 Mineral premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<sup>4</sup> 维生素预混料 Vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分 Proximate composition						
水分 Moisture	10.54	10.62	10.82	11.05	11.24	11.23
粗蛋白 Crude protein	47.45	47.10	47.45	47.38	47.30	47.28
粗脂肪 Crude lipid	10.45	10.68	10.52	10.18	10.15	10.33
粗灰分 Crude ash	6.96	7.32	6.58	7.45	7.64	7.14

注:<sup>1</sup>美国白鱼粉,粗蛋白含量为64.7%,粗脂肪含量为10%;<sup>2</sup>混合晶体氨基酸(g/kg日粮):甘氨酸96.09;亮氨酸13.88;异亮氨酸4.05;蛋氨酸3.47;精氨酸2.02;苯丙氨酸2.24;苏氨酸1.30;赖氨酸4.92;<sup>3</sup>矿物预混料(mg/kg日粮):NaF 1;KI 0.4;CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 25;CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 5;FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 40;ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 25;MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 30;MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 600;Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 1 500;NaCl 50;沸石粉7 725;<sup>4</sup>维生素预混剂(mg/kg日粮):硫胺素25;核黄素45;盐酸吡哆醇20;维生素B<sub>12</sub> 0.1;维生素K<sub>3</sub> 10;肌醇800;泛酸60;烟酸200;叶酸20;生物素1.20;视黄醇乙酸32;维生素D<sub>3</sub> 5;α-生育酚120;抗坏血酸2 000;乙氧喹150。

Notes: <sup>1</sup> The white fish meal of the United States: crude protein content of 64.7%, crude fat content of 10%; <sup>2</sup> Mixed crystalline amino acid (g/kg diet): Glycine 96.09; Leucine 13.88; Isoleucine 4.05; Methionine 3.47; Arginine 2.02; Phenylalanine 2.24; Threonine 1.30; Lysine 4.92; <sup>3</sup> Mineral premix (mg/kg diet): NaF 1; KI 0.4; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 25; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 5; FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 40; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 25; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 30; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 600; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 1 500; NaCl 50; zeolite 7 725; <sup>4</sup> Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin 25; riboflavin 45; pyridoxine HCl 20; vitamin B<sub>12</sub> 0.1; vitamin K<sub>3</sub> 10; inositol 800; pantothenic acid 60; niacin acid 200; folic acid 20; biotin 1.20; retinal acetate 32; cholecalciferol 5; α-tocopherol 120; ascorbic acid 2 000; ethoxyquin 150.

表 2 实验饲料的氨基酸组成(干物质)

Tab.2 Amino acid contents of experimental diets (dry matter)

氨基酸谱 Amino acid profile	实验处理组 Experimental treatment groups						%
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
精氨酸 Arg	2.45	2.44	2.44	2.42	2.46	2.50	
组氨酸 His	0.67	0.62	0.68	0.64	0.66	0.63	
缬氨酸 Val	2.43	2.47	2.43	2.43	2.47	2.43	
苯丙氨酸 Phe	1.40	1.36	1.37	1.33	1.39	1.33	
亮氨酸 Leu	3.52	3.51	3.52	3.46	3.41	3.58	
异亮氨酸 Ile	1.42	1.39	1.35	1.35	1.37	1.36	
苏氨酸 Thr	1.67	1.63	1.62	1.63	1.61	1.66	
蛋氨酸 Met	0.74	0.78	0.83	0.80	0.81	0.79	
赖氨酸 Lys	2.88	2.77	2.88	2.73	2.88	2.89	
必需氨基酸合计 Total of EAA	17.18	16.97	17.12	16.79	17.06	17.17	
半胱氨酸 Cys	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	
天冬氨酸 Asp	3.82	3.88	3.86	3.87	3.89	3.89	
丝氨酸 Ser	1.07	1.08	1.09	1.11	1.04	1.03	
谷氨酸 Glu	4.11	4.03	4.07	3.97	3.98	4.01	
丙氨酸 Ala	3.98	3.57	3.14	2.64	2.16	1.71	
甘氨酸 Gly	3.45	3.49	3.54	3.47	3.42	3.43	
酪氨酸 Tyr	0.83	0.87	0.85	0.81	0.80	0.86	
脯氨酸 Pro	0.83	1.29	1.64	2.10	2.46	2.83	
非必需氨基酸合计 Total NEAA	18.22	18.34	18.32	18.11	17.88	17.89	

## 1.2 实验鱼与饲养管理

养殖实验在广东省汕头市南澳县汕头大学海洋生物临海实验站进行。浅色黄姑鱼购自当地的 1 个苗种孵化场(广东,饶平)。幼鱼购回后,在 1 个大的浮动网箱中(长×宽×深=3 m×3 m×2 m)暂养 2 周使其适应新环境,其间投喂商业饲料(粗蛋白 40.0%,粗脂肪 10.0%,揭阳通威,中国)。实验前,禁食 24 h,麻醉后(30 mg/L 丁香酚)称重分鱼,以减少应激。450 尾体质量为(8.640±0.138)g 的试验鱼被随机分入 18 个网箱(长×宽×深=1.0 m×1.0 m×1.5 m),每个网箱 25 尾鱼。3 个网箱 1 组被随机分配到 6 个饲料处理组中。在 8 周的饲养期内,每天人工饱食投喂 2 次(07:00 和 16:30),记录好饲料投喂量,观察并记录鱼的健康状况及环境变化等,在实验过程中记录环境变化,温度 23~30℃,pH 7.8~8.1,氨氮低于 0.05 mg/L,盐度 31~33 g/L,溶解氧 5.2~6.0 mg/L。

## 1.3 样品采集

养殖试验结束后,所有试验鱼停食 24 h,采用丁香酚(质量体积比为 1:10 000;纯度 99%,上海试剂,中国)麻醉,称重并计数,计算鱼的生长和饲料利用率。每个网箱随机选取 4 尾鱼储存在-20℃冰箱中用于体成分分析。另外随机选取 6 尾/网,测量个体体质量、体长,并采集血液

样本,用未含抗凝剂的针管利用尾静脉采血法抽取血液后,静置低温离心(3 000 r/min,10 min,4℃),分离取上层淡黄色液体即为血清,血清样品存于-80℃直至后续检测。将采血后的试验鱼进行屠宰,称量肝脏质量和内脏质量,计算肥满度、肝体指数和脏体指数等,将肝脏保存在-20℃冰箱中,用于后续酶活检测。

## 1.4 常规成分分析

根据国际标准方法(AOAC,1995)分析饲料和鱼体常规化学成分,水分含量用烘箱(FUMA DGX-8053B,上海,中国)在 105℃常压下烘至恒重。灰分含量用马弗炉(Carbolite CWF 11/5,Hope Valley,UK)在 550℃下烘 8 h 测定。粗蛋白使用凯氏定氮仪(Kjeldahl auto sampler system 1035 analyzer,Foss,Hoganas,Sweden)根据 micro-Kjeldahl 法(Ma & Zuazaga 1942)测定。粗脂肪采用 Soxhletm 8000(Foss)萃取系统根据乙醚萃取法测定。

## 1.5 血液及肝脏生化指标测定

血清和肝脏所有生化指标[谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(GPT)、碱性磷酸酶(AKP)、乳酸脱氢酶(LDH)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、还原性谷胱甘肽(GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、尿素氮(BUN)、血氨(BA)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)和过氧化氢酶

(CAT)]均采用试剂盒(南京建成生物工程研究所,南京,中国)测定,具体方法详见各试剂盒说明书。

### 1.6 计算与统计分析

根据饲养和屠宰实验中测定的鱼体质量、内脏器官质量、体长、饲料消耗等指标,计算鱼体生长性能和饲料利用能力。特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、蛋白质储积率(PSR)、肝脏器官指数(HSI)、内脏器官指数(VSI)、鱼鳔器官指数(SBSI)、存活率(SR)和肥满度(CF)计算公式:

$$S_{GR} = 100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / d \quad (1)$$

$$F_{CR} = W_d / (W_f - W_i) \quad (2)$$

$$P_{ER} = (W_f - W_i) / W_p \quad (3)$$

$$P_{SR} = 100 \times (W_f \times E_f - W_i \times E_i) / (W_d \times E_d) \quad (4)$$

$$H_{SI} = 100 \times W_h / W_f \quad (5)$$

$$V_{SI} = 100 \times W_v / W_f \quad (6)$$

$$S_{BSI} = 100 \times W_s / W_f \quad (7)$$

$$S_R = 100 \times N_f / N_i \quad (8)$$

$$C_F = 100 \times W_f / L_f^3 \quad (9)$$

式中: $S_{GR}$ 为特定生长率, $\%/d$ ;  $F_{CR}$ 为饲料系数;  $P_{ER}$ 为蛋白质效率;  $P_{SR}$ 为蛋白质储积率, $\%$ ;  $H_{SI}$ 为肝脏器官指数, $\%$ ;  $V_{SI}$ 为内脏器官指数, $\%$ ;  $S_{BSI}$ 为鱼鳔器官指数, $\%$ ;  $S_R$ 为存活率, $\%$ ;  $C_F$ 为肥满

度, $g/cm^3$ ;  $W_i$ 和  $W_f$ 分别为实验鱼初始和终末体质量, $g$ ;  $d$ 为养殖天数, $d$ ;  $W_d$ 和  $W_p$ 分别为摄食饲料质量和摄食蛋白质质量, $g$ ;  $E_d$ 、 $E_i$ 和  $E_f$ 分别为饲料、初始和终末鱼体能量含量;  $W_h$ 、 $W_v$ 和  $W_s$ 分别为肝脏、内脏和鱼鳔质量, $g$ ;  $N_i$ 和  $N_f$ 分别为养殖开始和结束时实验鱼尾数;  $L_f$ 为养殖结束时测得的鱼体体长, $cm$ 。

所有数据均采用 SPSS 20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) 进行单因素方差分析 (ANOVA), 并采用 Tukey 进行组间显著性检验。数据以“平均值  $\pm$  标准误” ( $n=3$ ) 呈现,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。采用分段回归分析方法, 以全鱼粗蛋白含量为基础, 评价饲料中脯氨酸的最佳添加水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 脯氨酸对浅色黄姑鱼生长性能的影响

由表 3 可知: 仅肝体比和脏体比受饲料添加脯氨酸水平的影响显著 ( $P < 0.05$ ), 且随着脯氨酸添加水平的增加而降低; 其余指标包括特定生长率 (SGR)、饲料系数 (FCR)、蛋白质效率 (PER)、蛋白质储积率 (PSR)、肥满度 (CF) 及鱼鳔器官指数 (SBSI) 等指标相对稳定, 基本不受脯氨酸水平的影响 ( $P > 0.05$ ); 各组存活率均大于 90%, 且组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 3 饲料中添加不同水平的脯氨酸对浅色黄姑鱼生长性能的影响

Tab. 3 Growth performance of *Nibea coibor* fed diets with different levels of proline

生长性能 Growth performance	实验处理组 Experimental treatment groups					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
存活率 Survival rate (SR)/%	97.33 $\pm$ 1.33	94.67 $\pm$ 1.33	92.00 $\pm$ 4.62	89.33 $\pm$ 5.81	97.33 $\pm$ 2.67	89.33 $\pm$ 8.74
初始体质量 Initial body mass (IBW)/g	8.70 $\pm$ 0.07	8.67 $\pm$ 0.12	8.61 $\pm$ 0.10	8.66 $\pm$ 0.07	8.56 $\pm$ 0.07	8.63 $\pm$ 0.09
终末体质量 Final body mass (FBW)/g	41.76 $\pm$ 0.71	44.16 $\pm$ 0.20	47.33 $\pm$ 1.27	46.61 $\pm$ 2.24	41.14 $\pm$ 1.80	41.90 $\pm$ 1.16
特定生长率 Specific growth rate (SGR)/(%/d)	2.80 $\pm$ 0.03	2.91 $\pm$ 0.02	3.04 $\pm$ 0.06	3.00 $\pm$ 0.08	2.80 $\pm$ 0.08	2.82 $\pm$ 0.06
肥满度 Condition factor (CF)/(g/cm <sup>3</sup> )	2.22 $\pm$ 0.07	2.21 $\pm$ 0.04	2.16 $\pm$ 0.05	2.19 $\pm$ 0.04	2.26 $\pm$ 0.06	2.23 $\pm$ 0.06
内脏器官指数 Visceral somatic index (VSI)/%	6.69 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	6.18 $\pm$ 0.22 <sup>ab</sup>	6.00 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>	5.52 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	5.50 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	4.61 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
肝脏器官指数 Hepatosomatic index (HSI)/%	3.44 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	3.57 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	3.46 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	3.05 $\pm$ 0.19 <sup>ab</sup>	3.13 $\pm$ 0.10 <sup>ab</sup>	2.97 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>
鱼鳔器官指数 Swim bladder somatic index (SBSI)/%	0.39 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.01	0.44 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.01
饲料系数 Feed conversion ratio (FCR)	1.68 $\pm$ 0.06	1.64 $\pm$ 0.06	1.55 $\pm$ 0.11	1.72 $\pm$ 0.24	1.77 $\pm$ 0.15	1.99 $\pm$ 0.27
蛋白质效率 Protein efficiency ratio (PER)	1.28 $\pm$ 0.04	1.32 $\pm$ 0.05	1.39 $\pm$ 0.11	1.26 $\pm$ 0.11	1.21 $\pm$ 0.10	1.20 $\pm$ 0.04
蛋白质储积率 Protein storage rate (PSR)/%	23.96 $\pm$ 0.50	24.12 $\pm$ 1.19	24.75 $\pm$ 1.59	24.67 $\pm$ 2.18	22.27 $\pm$ 0.97	22.73 $\pm$ 0.53

注: 同行数据中无相同小写字母标注者表示相互间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

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

### 2.2 脯氨酸对浅色黄姑鱼体成分的影响

如表 4 所示, 体常规成分各项指标中, 仅粗蛋白水平受饲料中添加脯氨酸影响显著 ( $P <$

0.05), 随着脯氨酸水平的增加, 粗蛋白水平整体呈现先升高后降低的趋势, 且 P4 组与 P1 组间的差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 而其他组之间差

异均不显著( $P > 0.05$ )。通过分段回归分析得到,在基础饲料(P1 组)中添加 14.73 g/kg(干物质)脯氨酸时,全鱼中蛋白(占湿质量)积累量最

高(图 1)。另外,饲料中添加不同水平脯氨酸对浅色黄姑鱼水分、粗脂肪和灰分均无显著影响( $P > 0.05$ )。

表 4 饲料中添加不同水平的脯氨酸对浅色黄姑鱼鱼体成分的影响(湿质量)

常规成分 Proximate composition	实验处理组 Experimental treatment groups					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
水分 Moisture	71.85 ± 0.39	71.28 ± 0.73	72.48 ± 0.70	70.07 ± 0.25	72.32 ± 1.06	71.22 ± 0.81
粗蛋白 Crude protein	16.26 ± 0.11 <sup>a</sup>	16.50 ± 0.28 <sup>ab</sup>	16.80 ± 0.16 <sup>ab</sup>	17.15 ± 0.08 <sup>b</sup>	16.61 ± 0.33 <sup>ab</sup>	16.46 ± 0.27 <sup>ab</sup>
粗脂肪 Crude lipid	8.90 ± 0.56	10.15 ± 0.67	9.01 ± 0.63	10.05 ± 0.64	9.17 ± 0.49	9.64 ± 0.66
粗灰分 Crude ash	4.40 ± 0.03	4.27 ± 0.08	4.35 ± 0.04	4.42 ± 0.04	4.11 ± 0.10	4.35 ± 0.19

注:同行数据中无相同小写字母标注者表示相互间差异显著( $P < 0.05$ )。

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

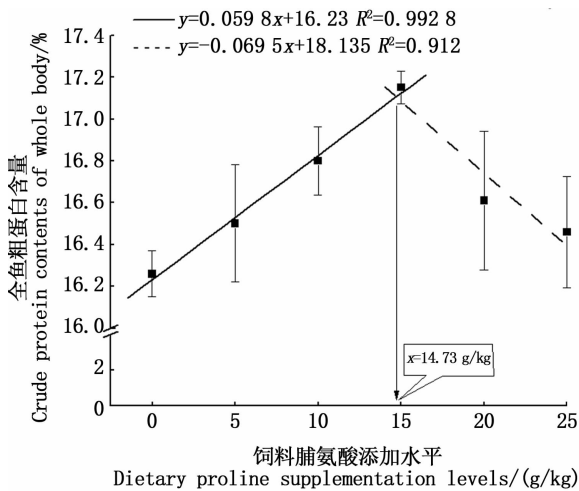


图 1 采用分段回归分析饲料中不同脯氨酸水平对浅色黄姑鱼全鱼中粗蛋白含量的影响

Fig. 1 Piecewise regression analysis of crude protein in whole-body against different dietary proline levels in diets of *Nibea coibor*

### 2.3 脯氨酸对浅色黄姑鱼血液及肝脏生化指标的影响

由表 5 和表 6 可知,摄食不同水平脯氨酸饲料后,浅色黄姑鱼的许多生化指标均发生了显著的变化。抗氧化指标受影响较大,血清 GSH、GSH-PX、SOD、MDA、CAT 和肝脏 GSH、GSH-PX、CAT 均受脯氨酸水平的显著影响( $P < 0.05$ )。血清 GSH、GSH-PX、SOD、CAT 和肝脏 GSH、GSH-PX、CAT 均随脯氨酸水平的增加而增加( $P < 0.05$ ),相反血清 MDA 水平随脯氨酸水平的增加而降低( $P < 0.05$ )。同时,与生长及蛋白代谢相

关的常规生化指标仅肝脏 AST、GPT 和血清 AST 受脯氨酸水平的显著影响( $P < 0.05$ ),且肝脏 AST、GPT 和血清 AST 随脯氨酸添加水平的增加先升高,并在 P4 组达到最高后,随脯氨酸水平继续增加而略有下降。其他指标(如血清 GPT、GPT/AST、AKP、LDH、TP、ALB、BUN、BA 和肝脏 GPT/AST、AKP、MDA)均相对稳定,不受脯氨酸水平的显著影响( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

脯氨酸虽然可以通过精氨酸酶途径及吡咯啉-5-羧酸盐合成酶(P5CS)途径进行生物合成,但不同物种之间的合成效率差异很大(哺乳动物 > 鸟类 > 鱼类)<sup>[4]</sup>。有研究<sup>[17]</sup>指出鱼类缺乏 P5CS 途径,内源合成的脯氨酸无法满足鱼类最适生长及饲料利用。也有研究<sup>[26]</sup>发现脯氨酸合成 Arg 对许多动物的生长健康至关重要,这都源于脯氨酸参与细胞的氧化还原反应,在鸟氨酸、精氨酸、多胺、谷氨酸代谢和机体抗氧化、抗应激及抗衰老等方面发挥着重要作用<sup>[11]</sup>。因此,脯氨酸是满足许多动物,特别是鱼类最大生长性能、饲料利用率及组织抗氧化必不可少的营养物质。本研究旨在探讨饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼生长及抗氧化性能的影响,发现脯氨酸对浅色黄姑鱼生长性能(包括特定生长率、饲料系数、蛋白质效率和肥满度等)的影响不显著。这些结果与在大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)<sup>[7]</sup>和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)<sup>[16]</sup>上的研究结果相似,一致认为饲料中添加脯氨酸对水生动物生

长性能和饲料利用率没有显著影响。另外,也说明了本研究基础饲料中的脯氨酸能够满足浅色黄姑鱼生长的最低需求,此结果对浅色黄姑鱼饲料的开发具有一定指导意义。机体组织中的常规成分分析反映了饲料的组成,蛋白质作为组织结构的主要成分,常被用来评估组织的质量<sup>[27]</sup>。本研究发现饲料中添加脯氨酸显著提高了鱼体粗蛋白含量,以粗蛋白含量估算出饲料中脯氨酸的最适添加量为 14.73 g/kg(干物质)。可能因为添加脯氨酸在一定程度上影响了蛋白质合成,支持了蛋白质沉积主要与鱼类氨基酸(AA)代谢有关的观点。HOLECEK<sup>[28]</sup>的研究报道,平衡的膳食 AA 组分通过影响氨的形成、AA 的保留和用来促进蛋白质合成。但 ZHANG 等<sup>[7]</sup>在对大菱

鲆的研究中发现饲料中添加脯氨酸对全鱼水分、粗蛋白和粗脂肪含量未产生显著影响。异速生长分析表明,鱼体蛋白质含量主要与鱼体大小有关,而与饲料组成关系不显著<sup>[29]</sup>。本实验初始体质量、终末体质量和特定生长率均无显著差异,可以排除体质量对鱼体蛋白质的影响。在其他鱼类上关于饲料中脯氨酸对鱼体成分的影响研究鲜有报道,由于缺乏相关研究对比,仅能根据营养学理论知识推测,因饲料组成不同,导致脯氨酸对饲料中平衡氨基酸理想模式的贡献不一,致使不同脯氨酸水平促进蛋白合成的作用存在差异。总的来说,脯氨酸对鱼生长和蛋白合成的影响潜在归因于鱼的大小、饲料氨基酸组成、实验时间及环境因素等共同影响。

表 5 饲料中添加不同水平的脯氨酸对浅色黄姑鱼血液生化指标的影响

Tab. 5 Biochemical indices in serum of *Nibea coibor* fed diets with different levels of proline

生化指标 Biochemical indices	实验处理组 Experimental treatment groups					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
谷草转氨酶 AST/(U/L)	7.51 ± 0.39 <sup>a</sup>	8.56 ± 0.53 <sup>ab</sup>	9.50 ± 0.48 <sup>abc</sup>	11.74 ± 0.71 <sup>d</sup>	11.40 ± 0.29 <sup>cd</sup>	10.33 ± 0.06 <sup>bcd</sup>
谷丙转氨酶 GPT/(U/L)	10.47 ± 0.66	11.49 ± 0.75	12.20 ± 0.06	13.70 ± 1.12	14.12 ± 0.48	12.37 ± 1.19
谷丙转氨酶 GPT/谷草转氨酶 AST	1.39 ± 0.02	1.36 ± 0.16	1.29 ± 0.06	1.18 ± 0.16	1.24 ± 0.03	1.20 ± 0.11
碱性磷酸酶 AKP/(kU/L)	21.62 ± 1.53	20.46 ± 0.93	21.15 ± 1.09	24.30 ± 1.89	23.60 ± 2.91	22.90 ± 4.81
乳酸脱氢酶 LDH/(U/mL)	2.63 ± 0.08	2.77 ± 0.07	2.95 ± 0.12	2.86 ± 0.05	2.95 ± 0.10	3.07 ± 0.14
总蛋白 TP/(mg/mL)	21.40 ± 1.10	19.62 ± 1.09	20.74 ± 2.28	19.43 ± 0.92	20.22 ± 0.83	20.81 ± 1.32
白蛋白 ALB/(g/L)	7.88 ± 0.32	7.24 ± 0.35	8.24 ± 0.87	7.32 ± 0.63	8.84 ± 0.18	7.24 ± 0.86
还原性谷胱甘肽 GSH/(μmol/L)	39.80 ± 4.68 <sup>a</sup>	44.82 ± 4.42 <sup>ab</sup>	44.15 ± 4.60 <sup>ab</sup>	51.17 ± 6.05 <sup>ab</sup>	67.56 ± 8.03 <sup>b</sup>	68.23 ± 5.53 <sup>b</sup>
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/U	68.05 ± 9.60 <sup>a</sup>	67.13 ± 1.66 <sup>a</sup>	66.67 ± 5.30 <sup>a</sup>	68.05 ± 6.87 <sup>a</sup>	80.00 ± 11.15 <sup>ab</sup>	105.75 ± 1.66 <sup>b</sup>
尿素氮 BUN/(mmol/L)	4.39 ± 0.97	4.73 ± 0.17	5.29 ± 0.94	5.71 ± 0.43	5.07 ± 0.58	4.88 ± 0.40
血氨 BA/(μmol/L)	227.60 ± 2.43	220.86 ± 3.09	245.13 ± 5.84	238.39 ± 11.67	249.18 ± 12.31	251.20 ± 10.71
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	88.01 ± 0.47 <sup>a</sup>	88.37 ± 1.02 <sup>a</sup>	90.99 ± 0.42 <sup>ab</sup>	92.48 ± 0.98 <sup>b</sup>	93.55 ± 0.27 <sup>b</sup>	94.09 ± 0.72 <sup>b</sup>
丙二醛 MDA/(μmol/L)	9.20 ± 0.80 <sup>a</sup>	8.00 ± 0.80 <sup>ab</sup>	7.60 ± 1.06 <sup>ab</sup>	7.20 ± 1.39 <sup>ab</sup>	6.40 ± 1.06 <sup>ab</sup>	4.40 ± 0.40 <sup>b</sup>
过氧化氢酶 CAT/(U/mg)	1.82 ± 0.37 <sup>a</sup>	2.20 ± 0.44 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.82 ± 0.36 <sup>ab</sup>	3.21 ± 0.34 <sup>ab</sup>	4.40 ± 0.46 <sup>b</sup>

注:同行数据中无相同小写字母标注者表示相互间差异显著( $P < 0.05$ )。

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

表 6 饲料中添加不同水平的脯氨酸对浅色黄姑鱼肝脏生化指标的影响

Tab. 6 Biochemical indices in liver of *Nibea coibor* fed diets with different levels of proline

生化指标 Biochemical indices	实验处理组 Experimental treatment groups					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
谷草转氨酶 AST/(U/g prot)	3.73 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.83 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.16 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.25 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.81 ± 0.00 <sup>a</sup>
谷丙转氨酶 GPT/(U/g prot)	7.89 ± 0.04 <sup>abc</sup>	7.50 ± 0.18 <sup>ab</sup>	7.49 ± 0.06 <sup>ab</sup>	8.70 ± 0.12 <sup>c</sup>	8.32 ± 0.26 <sup>bc</sup>	7.38 ± 0.28 <sup>b</sup>
谷丙转氨酶 GPT/谷草转氨酶 AST	2.12 ± 0.02	1.93 ± 0.07	1.95 ± 0.03	2.09 ± 0.02	1.96 ± 0.07	1.94 ± 0.07
碱性磷酸酶 AKP/(kU/g prot)	42.74 ± 2.75	46.85 ± 7.35	46.13 ± 1.98	40.84 ± 2.04	38.72 ± 3.70	37.58 ± 3.74
还原性谷胱甘肽 GSH/(μmol/g prot)	20.81 ± 1.23 <sup>a</sup>	20.20 ± 0.26 <sup>a</sup>	28.02 ± 3.91 <sup>ab</sup>	29.13 ± 0.53 <sup>b</sup>	32.37 ± 0.23 <sup>b</sup>	28.20 ± 0.72 <sup>ab</sup>
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/U	5.85 ± 0.48 <sup>a</sup>	5.36 ± 0.66 <sup>a</sup>	5.32 ± 0.17 <sup>a</sup>	6.61 ± 0.28 <sup>a</sup>	9.13 ± 0.90 <sup>b</sup>	11.13 ± 0.14 <sup>b</sup>
丙二醛 MDA/(μmol/g prot)	1.81 ± 0.10	1.78 ± 0.10	1.56 ± 0.06	1.42 ± 0.41	1.27 ± 0.40	1.16 ± 0.07
过氧化氢酶 CAT/(U/mg prot)	6.97 ± 1.92 <sup>a</sup>	8.34 ± 2.35 <sup>ab</sup>	10.02 ± 1.61 <sup>ab</sup>	11.18 ± 2.81 <sup>ab</sup>	15.48 ± 1.83 <sup>ab</sup>	19.83 ± 3.70 <sup>b</sup>

注:同行数据中无相同小写字母标注者表示相互间差异显著( $P < 0.05$ )。

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

目前,关于脯氨酸对鱼类血清和肝脏生化指标影响的研究较少,谷氨酸草酰乙酸转氨酶(AST)和谷氨酸丙酮酸转氨酶(GPT)是蛋白质和氨基酸分解代谢以及血浆氨生成中最重要的转氨酶,这两种酶的活性直接反映了蛋白质代谢水平<sup>[30]</sup>。本研究发现肝脏AST、GPT和血清AST均受饲料中脯氨酸水平的影响,且随脯氨酸水平的增加,呈现出先升高后降低的趋势,其最高水平出现在P4或P5组。之前也有研究<sup>[31]</sup>报道,AST和GPT的活性受膳食蛋白的数量和质量以及膳食AA谱的影响。这些结果也间接反映了脯氨酸在一定程度上影响机体蛋白质合成。有研究<sup>[2,32]</sup>表明,脯氨酸及其代谢产物吡咯啉-5-羧酸(P5C)在清除氧自由基中发挥重要作用,参与人类和动物的氧化还原反应。谷胱甘肽是体内重要的抗氧化剂和自由基清除剂,谷胱甘肽还原酶(GSH)是一种利用还原型NAD(P)将氧化型谷胱甘肽(GS-SG)催化反应生成还原型GSH的酶,缺失谷胱甘肽还原酶会使细胞对氧化剂和抗生素更为敏感。谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和过氧化氢酶(CAT)是机体广泛存在的一种重要的催化过氧化氢分解的酶。本研究发现脯氨酸具有明显的抗氧化作用,其中肝脏和血液中的GSH、GSH-PX和CAT均受脯氨酸水平的显著影响,随脯氨酸水平的增加而增加,表明随饲料中添加脯氨酸,浅色黄姑鱼抗氧化能力也随着增加。另外,超氧化物歧化酶(SOD)是机体内天然存在的超氧自由基清除因子,也是生物体内清除自由基的首要物质。生物体内,自由基作用于脂质发生过氧化反应,终产物为丙二醛(MDA),它是膜脂过氧化最重要的产物之一,它的产生还能加剧膜的损伤。本研究中血清SOD随脯氨酸水平的增加显著增加,而MDA则相反(显著降低),这正好也反映鱼体的抗氧化能力在增强。通过对碱性磷酸酶(AKP)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(BUN)、血氨(BA)等指标的研究发现,脯氨酸对免疫和蛋白质代谢等方面的作用要次于脯氨酸的抗氧化作用。这与之前学者的研究报道<sup>[2,5,10-11]</sup>相吻合,脯氨酸促进抗氧化、免疫和胶原合成超过对生长的作用,特别是对一些受伤、应激的动物及压力大的人类。

综上所述,饲料中添加脯氨酸对浅色黄姑鱼的生长无显著的促进作用,但能显著影响鱼体蛋

白质沉积和增强抗氧化能力,以鱼体蛋白合成能力估算出饲料中最佳脯氨酸添加水平为14.73 g/kg(干物质)。本试验结果将对浅色黄姑鱼饲料研发提供必要的理论指导。

感谢汕头大学理学院海洋生物研究所为本实验提供实验场所,感谢温小波教授和林帆博士对文稿所提的宝贵意见。

## 参考文献:

- [1] WU G Y, MORRIS S M JR. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond [J]. *Biochemical Journal*, 1998, 336 (1): 1-17.
- [2] PHANG J M, LIU W, ZABIRNYK O. Proline metabolism and microenvironmental stress [J]. *Annual Review of Nutrition*, 2010, 30: 441-463.
- [3] WU G, BAZER F W, BURGHARDT R C, et al. Impacts of amino acid nutrition on pregnancy outcome in pigs: mechanisms and implications for swine production [J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(S13): E195-E204.
- [4] HOU Y Q, YAO K, YIN Y L, et al. Endogenous synthesis of amino acids limits growth, lactation, and reproduction in animals [J]. *Advances in Nutrition*, 2016, 7(2): 331-342.
- [5] ALBAUGH V L, MUKHERJEE K, BARBUL A. Proline precursors and collagen synthesis: biochemical challenges of nutrient supplementation and wound healing [J]. *The Journal of Nutrition*, 2017, 147(11): 2011-2017.
- [6] RONG H, LIN F, ZHANG Y L, et al. Effects of dietary proline on growth, physiology, biochemistry and TOR pathway-related gene expression in juvenile spotted drum *Nibea diacanthus* [J]. *Fisheries Science*, 2020, 86(3): 495-506.
- [7] ZHANG K K, MAI K, XU W, et al. Proline with or without hydroxyproline influences collagen concentration and regulates prolyl 4-hydroxylase  $\alpha$  (1) gene expression in juvenile turbo (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2015, 14(3): 541-548.
- [8] RONG H, LIN F, LIMBU S M, et al. Effects of dietary proline on swim bladder collagen synthesis and its possible regulation by the TGF- $\beta$ /Smad pathway in spotted drum, *Nibea diacanthus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2020, 26(5): 1792-1805.
- [9] SHIMIZU J, ASAMI N, KATAOKA A, et al. Oral collagen-derived dipeptides, prolyl-hydroxyproline and hydroxyprolyl-glycine, ameliorate skin barrier dysfunction and alter gene expression profiles in the skin [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2015, 456(2): 626-630.
- [10] WU G, BAZER F W, DATTA S, et al. Proline metabolism in the conceptus: implications for fetal growth and



- development[J]. *Amino Acids*, 2008, 35(4): 691-702.
- [11] WU G Y, BAZER F W, BURGHARDT R C, et al. Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition [J]. *Amino Acids*, 2011, 40(4): 1053-1063.
- [12] BARBUL A. Proline precursors to sustain mammalian collagen synthesis[J]. *The Journal of Nutrition*, 2008, 138(10): 2021S-2024S.
- [13] KIRCHGESSNER M, FICKLER J, ROTH F X. Effect of dietary proline supply on N-balance of piglets, 3: The importance of non-essential amino acids for protein retention [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Germany)*, 1995, 73(2): 57-65.
- [14] BAKER D H. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry[J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 29-41.
- [15] GRABER G, ALLEN N K, SCOTT H M. Proline essentiality and weight gain[J]. *Poultry Science*, 1970, 49(3): 692-697.
- [16] XIE S W, TIAN L X, LI Y M, et al. Effect of proline supplementation on anti-oxidative capacity, immune response and stress tolerance of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2015, 448: 105-111.
- [17] LI P, WU G Y. Roles of dietary glycine, proline, and hydroxyproline in collagen synthesis and animal growth[J]. *Amino Acids*, 2018, 50(1): 29-38.
- [18] LI P, MAI K S, TRUSHENSKI J, et al. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds [J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 43-53.
- [19] 荣华, 王正阳, 郝亭亭, 等. 甘氨酸、脯氨酸及羟脯氨酸介导胶原蛋白代谢研究进展[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(11): 53-61.  
RONG H, WANG Z Y, HAO T T, et al. Research progress of glycine, proline and hydroxyproline mediated collagen metabolism: A Review [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(11): 53-61.
- [20] KARNA E, SZOKA L, HUYNH T Y L, et al. Proline-dependent regulation of collagen metabolism[J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2020, 77(10): 1911-1918.
- [21] PHANG J M, DONALD S P, PANDHARE J, et al. The metabolism of proline, a stress substrate, modulates carcinogenic pathways [J]. *Amino Acids*, 2008, 35(4): 681-690.
- [22] LIN F, RONG H, LIN J L, et al. Enhancement of collagen deposition in swim bladder of Chu's croaker (*Nibea coibor*) by proline: view from in-vitro and in-vivo study [J]. *Aquaculture*, 2020, 523: 735175.
- [23] 古群红, 罗志平, 吴缥飘, 等. 浅色黄姑鱼的池塘养殖试验[J]. *中国水产*, 2011(8): 27-29.  
GU Q H, LUO Z P, WU P P, et al. Pond culture experiment of *Nibea coibor* [J]. *China Fisheries*, 2011(8): 27-29.
- [24] WEN J, ZENG L, CHEN Z M, et al. Comparison of nutritional quality in fish maw product of croaker *Protonibea diacanthus* and perch *Lates niloticus* [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2016, 15(4): 726-730.
- [25] JOBLING M. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp [J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(3): 601-602.
- [26] WU Z L, HOU Y Q, HU S D, et al. Catabolism and safety of supplemental L-arginine in animals[J]. *Amino Acids*, 2016, 48(7): 1541-1552.
- [27] DENG J M, WANG K, MAI K, et al. Effects of replacing fish meal with rubber seed meal on growth, nutrient utilization, and cholesterol metabolism of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2017, 43(4): 941-954.
- [28] HOŁECEK M. Branched-chain amino acids in health and disease: Metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements[J]. *Nutrition & Metabolism*, 2018, 15: 33.
- [29] SHEARER K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. *Aquaculture*, 1994, 119(1): 63-88.
- [30] METÓN I, MEDIAVILLA D, CASERAS A, et al. Effect of diet composition and ration size on key enzyme activities of glycolysis-gluconeogenesis, the pentose phosphate pathway and amino acid metabolism in liver of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 1999, 82(3): 223-232.
- [31] PERES H, OLIVA-TELES A. Effect of the dietary essential amino acid pattern on growth, feed utilization and nitrogen metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1/4): 119-128.
- [32] SRIVASTAVA D, ZHU W D, JOHNSON W H JR, et al. The structure of the proline utilization a proline dehydrogenase domain inactivated by N-propargylglycine provides insight into conformational changes induced by substrate binding and flavin reduction[J]. *Biochemistry*, 2009, 49(3): 560-569.

## Effects of dietary proline on growth, body composition and antioxidant capacity of Chu's croaker (*Nibea coibor*)

RONG Hua<sup>1,2</sup>, XIA You<sup>1</sup>, WANG Xiaowen<sup>1,2</sup>, HU Qing<sup>1,2</sup>, JIA Dan<sup>1,2</sup>, WU Xiangwei<sup>1,2</sup>, KONG Lingfu<sup>1,2</sup>, BI Baoliang<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan, China; 2. Key Laboratory of Protection and Sustainable Utilization of Plateau Fishery Resources in University of Yunnan Province, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** To evaluate the effects of dietary proline supplement on growth, body composition and antioxidant capacity of *Nibea coibor*, a total of 450 *Nibea coibor* were randomly assigned into six treatments and fed with diets supplemented with different levels of proline (0, 5, 10, 15, 20 and 25 g/kg of dry diet) for eight weeks. After feeding, growth, body composition and antioxidant capacity of *Nibea coibor* were determined. The result showed that dietary proline levels had no significant effect on the growth of *Nibea coibor*. However, proline affected significantly the crude protein of whole-body in *Nibea coibor*. The optimum amount of dietary proline was estimated to be 14.73 g/kg based on the crude protein of whole-body. Increasing proline levels supplementation enhanced significantly glutathione (GSH), glutathione-peroxidase (GSH-PX) and catalase (CAT) in liver and serum of *Nibea coibor* and superoxide dismutase (SOD) in the serum. Contrary, increasing proline levels supplementation decreased significantly the malondialdehyde (MDA) in *Nibea coibor*. In conclusion, proline supplementation does not affect growth performance of *Nibea coibor*. However, it promotes protein synthesis and enhance antioxidant capacity of *Nibea coibor*.

**Key words:** *Nibea coibor*; proline; growth performance; body composition; antioxidant capacity