

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210114003

http://www.yykxjz.cn/

沈钰博, 王际英, 李宝山, 刘财礼, 王晓艳, 黄炳山, 王世信, 孙永智. 许氏平鲈幼鱼对饲料中精氨酸需求量的研究. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 33-44

SHEN Y B, WANG J Y, LI B S, LIU C L, WANG X Y, HUANG B S, WANG S X, SUN Y Z. Dietary arginine requirement of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(3): 33-44

许氏平鲈幼鱼对饲料中精氨酸需求量的研究*

沈钰博^{1,2} 王际英^{2①} 李宝山² 刘财礼^{1,2}
王晓艳² 黄炳山² 王世信² 孙永智²

(1. 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; 2. 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)

摘要 本实验旨在研究饲料中不同精氨酸含量对许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)幼鱼生长、体组成、血清生化指标及肝脏相关酶活力的影响,以确定其对精氨酸的最适需求量。在基础饲料中添加晶体L-精氨酸配制精氨酸含量分别为1.39%、1.83%、2.34%、2.80%、3.39%和4.08%的6组等氮等脂的实验饲料(D1、D2、D3、D4、D5和D6)。饲喂初始体重为(12.03±0.03)g的许氏平鲈幼鱼56d。结果显示,随着饲料中精氨酸含量的升高,实验鱼的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和蛋白质效率(PER)均先升高后降低,在D3组达到最高值,显著高于D1、D2、D5和D6组($P<0.05$);饲料系数(FCR)先降低后升高,在D3组达到最低值,显著低于D1、D2、D5和D6组($P<0.05$);D3组肌肉粗蛋白含量最高且显著高于其他组($P<0.05$),肌肉水分、粗脂肪、粗灰分和全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分无显著性差异;全鱼和肌肉总必需氨基酸(Σ EAA)和总氨基酸(Σ A)含量均先升高后降低;血清谷丙转氨酶(ALT)活力先降低后升高,D3组显著小于其他组($P<0.05$),一氧化氮(NO)含量先升高后降低,D3和D4组显著高于其他组($P<0.05$),尿素氮(BUN)含量先升高后趋于平缓;肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LZM)、总一氧化氮合酶(TNOS)和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)活力均先升高后降低,丙二醛(MDA)含量先降低后升高,D2~D4组显著低于D1、D5和D6组($P<0.05$)。在本研究条件下,以WGR为评价指标,经一元二次回归分析得出,许氏平鲈幼鱼[(12.03±0.03)g]饲料中精氨酸适宜需求量为2.78%(占5.56%饲料粗蛋白)。

关键词 许氏平鲈幼鱼;精氨酸;需求量;生长

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)03-0033-12

蛋白质是水产动物所必需的重要营养物质,是生命的物质基础,蛋白质的营养主要体现为氨基酸的营养,氨基酸在蛋白质的养分代谢中占据重要地位(任和等,2006)。必需氨基酸指动物自身不能合成或

合成量不能满足动物的需要,必须由食物提供的氨基酸,其在鱼类生长、饲料利用、抗应激和免疫等方面有重要影响。精氨酸是鱼类生长发育所必需的氨基酸之一,不仅参与了细胞蛋白质的合成,且还是肌酸

* 山东省自然科学基金(ZR2020QC206)和烟台市科技计划(2018ZHGY066)共同资助 [This work was supported by Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2020QC206), and Science and Technology Development Project of Yantai (2018ZHGY066)]. 沈钰博, E-mail: shenyubo0121@163.com

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

收稿日期: 2021-01-14, 收修改稿日期: 2021-03-30

(creatine)、多胺类(polyamines)、一氧化氮(NO)等生物活性物质的合成前体,在细胞生长、组织再生及炎症修复中起重要作用(Luo, 2004)。研究表明,饲料中适量添加精氨酸能显著提高大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) (周恒永, 2011)、银大马哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*) (Luzzana *et al*, 1998)的增重率、特定生长率和蛋白质沉积率,显著提高卵形鲳鲷(*Trachinotus ovatus*)血清和肝脏中总一氧化氮合酶(TNOS)和溶菌酶(LZM)活性,提高机体免疫力(Lin *et al*, 2015)。精氨酸的缺乏会导致鱼类生长缓慢、饲料利用率和免疫力下降等(廖英杰等, 2014)。饲料中过量的精氨酸不影响大西洋鲑(*Salmo salar*)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)和斑点叉尾鲷(*Ictalurus Punetaus*)的生长,但会抑制遮目鱼(*Chanos chanos*)和尖吻鲈(*Lates calcarifer*)的生长,并提高其死亡率(万军利等, 2006)。

许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*), 隶属于鲈形目(Scorpaeniformes)、鲈科(Scorpaenidae)、平鲈属(*Sebastes*), 又称黑鲷、黑头、黑寨等, 属冷温性近海底层肉食性鱼类, 在我国北部沿海、日本、朝鲜及俄罗斯等区域均有分布(朱龙等, 1999)。因其适应性强、易饲养、肉质鲜美等优点和多栖息于礁岩海藻丛生区域, 喜集群觅食等生物学特性, 是网箱养殖和海洋牧场增殖的理想海水鱼种之一。目前, 对许氏平鲈必需氨基酸的研究仅限于赖氨酸(严全根等, 2006)和蛋氨酸(Yan *et al*, 2007)。本研究通过在饲料中添加不同含量的精氨酸, 研究其对许氏平鲈幼鱼生长、体成分、血清相关生化指标及肝脏相关酶活力影响, 确定许氏平鲈幼鱼对精氨酸的最适需求量, 为其配合饲料的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本实验以鱼粉、玉米蛋白粉为主要蛋白源, 以鱼油为主要脂肪源, 设计粗蛋白约为 50%, 粗脂肪约为 10%的基础饲料配方(Kim *et al*, 2001; Lee *et al*, 2002)。添加混合晶体氨基酸使饲料的氨基酸组成比例与许氏平鲈幼鱼肌肉氨基酸组成比例一致(精氨酸除外)。在基础饲料中分别添加 0、0.6%、1.2%、1.8%、2.4%和 3.0%的 L-精氨酸(纯度为 98%, 购自上海麦克林生化科技有限公司), 配制 6 组精氨酸含量分别为 1.39%、1.83%、2.34%、2.80%、3.39%和 4.08%的实验饲料(表 1), 分别命名为 D1、D2、D3、D4、D5 和 D6 组。实验饲料氨基酸组成见表 2。

各固体原料经粉碎过 80 目标标准筛, 按配比称重

后, 用逐级扩大法混合均匀, 添加鱼油和适宜的蒸馏水, 再次混合均匀, 用小型饲料挤压机制成粒径为 2 mm 和 4 mm 的颗粒饲料, 60℃烘干, 用塑料袋密封后于-20℃冰箱保存备用。

1.2 实验用鱼及饲养管理

实验所用许氏平鲈幼鱼购自山东荣成裕源祥水产有限公司。正式实验前, 挑选体质健壮的许氏平鲈幼鱼暂养于蓝色圆形养殖桶(桶高为 80 cm, 直径为 70 cm, 水深为 50 cm), 投喂 D1 组饲料驯化, 14 d 后挑选 540 尾规格均匀的许氏平鲈幼鱼[(12.03±0.03) g], 随机分配至 18 个桶, 每桶 30 尾。正式养殖实验于 2019 年 11 月 15 日—2020 年 1 月 11 日在山东省海洋资源与环境研究院室内循环水养殖系统进行。养殖期间每天定时(08:00 和 16:00)定量投喂 2 次, 初始投喂量为鱼体重的 1%, 并按摄食情况及时调整投喂量, 每日记录死鱼数量和重量。养殖期间确保水质符合以下条件: 水温为 16℃~18℃, 溶氧(DO)> 8.0 mg/L, pH 为 7.5~8.2, 盐度为 27~28, 氨氮和亚硝态氮<0.05 mg/L。

1.3 样品采集及分析

养殖实验结束后, 禁食 24 h, 记录每桶鱼的数量并称总重, 每桶随机取 6 尾用于鱼体常规成分测定, 另取 8 尾测量体重及体长后, 尾静脉取血, 解剖分离内脏, 分别称量内脏团和肝胰脏的重量。全鱼置于-20℃保存, 背肌、肝胰脏及血清样品置于-80℃保存, 待测。

实验饲料及样品中水分采用 105℃恒重法测定(GB/T 6435-2014), 粗蛋白采用凯氏定氮法测定(GB/T 6432-2018), 粗脂肪采用索氏抽提法测定(GB/T 6433-2006), 粗灰分采用 550℃失重法测定(GB/T 6438-2007), 能量采用燃烧法测定(IKA, C6000, 德国), 氨基酸含量采用酸水解法(GB/T 18246-2019), 使用全自动氨基酸测定仪(HITACHI, L-8900, 日本)测定。

血清谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、白蛋白(Alb)、NO、尿素氮(BUN)、肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、溶菌酶(LZM)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、总抗氧化物酶(T-AOC)、碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、一氧化氮合酶(TNOS)和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。血清和肝脏总蛋白(TP)含量采用考马斯亮蓝法测定。测定方法及酶活力单位参照试剂盒说明书。

表1 饲料配方及营养组成(%风干基础)

Tab.1 Formulation and nutritional composition of the experimental diets (% air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
原料 Ingredients						
白鱼粉 White fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
酪蛋白 Casein	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
混合氨基酸 Amino acid mixture ^a	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
L-精氨酸 L-Arg	0.00	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00
L-甘氨酸 L-Gly	3.00	2.40	1.80	1.20	0.60	0.00
鱼油 Fish oil	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
维生素混合物 Vitamins premix ^b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质混合物 Minerals premix ^c	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
抗氧化剂 Antioxidant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
α-淀粉 α-Starch	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
羧甲基纤维素钠 CMC-Na	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养组成 Nutrient composition						
水分 Moisture	6.94	7.65	7.02	7.23	7.51	7.28
粗蛋白 Crude protein	50.67	50.99	50.67	50.82	50.63	50.78
粗脂肪 Crude lipid	10.45	10.24	10.06	10.43	10.41	10.13
粗灰分 Crude ash	12.23	12.21	12.22	12.17	12.16	12.19
总能 Gross energy/(kJ/g)	20.39	20.38	20.44	20.34	20.45	20.43

注: a: 混合氨基酸(g/kg 饲料): 天冬氨酸 21.48 g; 苏氨酸 8.09 g; 丝氨酸 5.18 g; 谷氨酸 19.08 g; 甘氨酸 17.48 g; 丙氨酸 8.37 g; 半胱氨酸 5.75 g; 缬氨酸 6.36 g; 蛋氨酸 3.82 g; 异亮氨酸 4.90 g; 亮氨酸 13.96 g; 酪氨酸 5.07 g; 苯丙氨酸 7.64 g; 赖氨酸 19.87 g; 组氨酸 2.95 g

b: 维生素预混料(g/kg 饲料): 维生素 A 乙酸酯 0.73 g; 维生素 B₁₂ 0.003 g; 维生素 C 121.2 g; 维生素 D₃ 0.003 g; DL 维生素 E 生育酚乙酸酯 18.8 g; 维生素 K 1.8 g; 盐酸硫酸素 2.7 g; 盐酸吡哆醇 1.8 g; 烟酸 27.8 g; 叶酸(98%)0.68 g; 核黄素 9.1 g; 泛酸钙 12.7 g; 肌醇 181.8 g; 生物素 0.27 g

c: 矿物质预混料(g/kg 饲料): 硫酸镁 80 g; 磷酸二氢钠 370 g; 氯化钾 130 g; 柠檬酸铁 40 g; 硫酸锌 20 g; 氯化亚铜 0.2 g; 氯化铝 0.15 g; 碘化钾 0.15 g; 亚硒酸钠 0.01 g; 蛋氨酸锰 2.0 g; 氯化钴 1.0 g

Note: a: Amino acid mixture (g/kg diet): Aspartic acid 21.48 g; threonine 8.09 g; serine 5.18 g; glutamic acid 19.08 g; glycine 17.48 g; alanine 8.37 g; cysteine 5.75 g; valine 6.36 g; methionine 3.82 g; isoleucine 4.90 g; leucine 13.96 g; tyrosine 5.07 g; phenylalanine 7.64 g; lysine 19.87 g; histidine 2.95 g

b: Vitamin premix (g/kg diet): Vitamin A acetate 0.73 g; vitamin B₁₂ 0.003 g; vitamin C 121.2 g; vitamin D₃ 0.003 g; DL vitamin E tocopherol 18.8 g; vitamin K 1.8 g; thiamine hydrochloride 2.7 g; pyridoxine hydrochloride 1.8 g; niacin acid 27.8 g; folic acid (98%) 0.68 g; riboflavin 9.1 g; calcium pantothenate 12.7 g; inositol 181.8 g; biotin 0.27 g

c: Mineral premix (g/kg diet): Magnesium sulfate 80 g; sodium dihydrogen phosphate 370 g; potassium chloride 130 g; ferric citrate 40 g; zinc sulfate 20 g; cuprous chloride 0.2 g; aluminum chloride 0.15 g; potassium iodide 0.15 g; sodium selenite 0.01 g; manganese methionine 2.0 g; cobalt chloride 1.0 g

1.4 指标计算

增重率(weight gain rate, WGR, %)=(鱼体末重-鱼体初重)/鱼体初重×100;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=(ln 鱼体末重-ln 鱼体初重)/养殖周期×100;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)=摄食饲料量/(鱼体末重-鱼体初重);

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)=(鱼体末重-鱼体初重)/(摄食饲料量×饲料中粗蛋白的含量)×100;
摄食率(daily feed intake, DFI, %/d)=摄食饲料量/[(鱼体初重+鱼体末重)/2×养殖天数]×100;

脏器比(viscerosomatic index, VSI, %)=内脏团重/鱼体末重×100;

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)=肝胰脏重/鱼体末重×100;

表2 实验饲料氨基酸组成(%干饲料)
Tab.2 Amino acid profiles of the experimental diets (% dry diet)

氨基酸 Amino acids	组别 Groups						肌肉氨基酸组成 Muscle amino acids profiles
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
必需氨基酸 Essential amino acids							
精氨酸 Arg	1.39	1.83	2.34	2.80	3.39	4.08	2.44
苏氨酸 Thr	1.97	2.03	2.03	2.05	2.00	2.02	2.19
缬氨酸 Val	1.91	1.88	1.95	1.98	1.96	1.90	1.75
蛋氨酸 Met	0.68	0.66	0.65	0.65	0.61	0.61	1.03
异亮氨酸 Ile	1.50	1.53	1.50	1.51	1.50	1.53	1.52
亮氨酸 Leu	4.32	4.32	4.42	4.25	4.29	4.34	3.49
苯丙氨酸 Phe	3.24	3.2	3.13	3.16	3.26	3.25	1.73
赖氨酸 Lys	3.29	3.29	3.25	3.35	3.31	3.31	3.87
组氨酸 His	0.85	0.86	0.86	0.85	0.85	0.86	1.08
非必需氨基酸 Non-essential amino acids							
酪氨酸 Tyr	2.27	2.18	2.23	2.33	2.55	2.49	1.71
半胱氨酸 Cys	1.75	1.71	1.79	1.80	1.83	1.81	1.06
脯氨酸 Pro	1.88	1.84	1.85	1.83	1.85	1.92	0.99
天冬氨酸 Asp	4.23	4.43	4.48	4.44	4.33	4.30	4.72
谷氨酸 Glu	7.90	7.94	7.95	8.09	7.91	7.91	6.35
丝氨酸 Ser	2.00	2.09	2.12	2.12	2.08	2.10	1.92
甘氨酸 Gly	5.85	5.29	4.75	4.18	3.61	3.07	2.16
丙氨酸 Ala	2.89	2.79	2.85	2.82	2.83	2.83	2.67

肥满度(condition factor, CF)=鱼体末重/体长³×100;
存活率(survival rate, SR,%)=终末鱼尾数/初始鱼
尾数×100。

1.5 数据统计与分析

使用 SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 差异显著($P<0.05$)时用 Duncan's 检验进行多重比较分析, 数据用平均值±标准差

(Mean±SD)表示, 采用一元二次回归分析, 确定许氏平鲷幼鱼对饲料中精氨酸的最适需求量。

2 结果

2.1 精氨酸对许氏平鲷幼鱼生长、饲料利用和形体指标的影响

如表 3 所示, 随着精氨酸含量的升高, 实验鱼

表3 精氨酸对许氏平鲷幼鱼生长和形体指标的影响($n=3$, 平均值±标准差)

Tab.3 Effects of dietary arginine on growth performance and body indices of juvenile *S. schlegelii* ($n=3$, Mean±SD)

生长性能 Growth performances	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
初始体质量 Initial body weight/g	12.01±0.05	12.04±0.00	12.03±0.02	12.00±0.03	12.04±0.04	12.02±0.03
终末体质量 Final body weight/g	17.99±0.01 ^a	19.26±0.81 ^{bc}	20.43±0.16 ^d	19.91±0.50 ^{cd}	18.71±0.64 ^{ab}	18.67±0.46 ^{ab}
增重率 WGR/%	49.24±0.36 ^a	60.48±1.74 ^c	70.72±1.36 ^d	68.34±0.03 ^d	55.72±1.56 ^b	54.91±0.76 ^b
特定生长率 SGR/(%/d)	0.69±0.01 ^a	0.81±0.02 ^{abc}	0.92±0.02 ^c	0.90±0.00 ^{bc}	0.76±0.03 ^{ab}	0.75±0.03 ^{ab}
饲料系数 FCR	1.40±0.02 ^d	1.22±0.04 ^{bc}	1.08±0.03 ^a	1.17±0.04 ^{ab}	1.23±0.07 ^{bc}	1.29±0.02 ^c
摄食率 DFI/(%/d)	0.88±0.00	0.90±0.01	0.89±0.01	0.88±0.03	0.87±0.02	0.88±0.01
蛋白质效率 PER/%	1.35±0.06 ^a	1.64±0.11 ^b	1.86±0.10 ^d	1.78±0.00 ^c	1.75±0.04 ^{bc}	1.74±0.06 ^{bc}
脏体比 VSI/%	10.41±0.03	10.58±0.26	10.67±0.11	10.79±0.29	10.33±0.15	10.28±0.12
肝体比 HSI/%	3.34±0.03	3.42±0.03	3.44±0.13	3.39±0.18	3.23±0.12	3.21±0.16
肥满度 CF	2.61±0.02 ^a	2.66±0.07 ^{ab}	2.83±0.02 ^c	2.74±0.06 ^{bc}	2.65±0.07 ^{ab}	2.67±0.04 ^{ab}
存活率 SR/%	97.78±2.22	97.78±2.22	98.89±1.17	97.78±2.22	96.67±1.93	96.67±1.93

注: 同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$), 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

WGR、SGR 均先升高后降低, 在 D3 组出现最大值且显著高于其他组($P<0.05$)。FCR 先降低后升高, D3 组显著低于其他组($P<0.05$)。PER 先升高后平稳, D3~D6 组显著高于 D1 组($P<0.05$)。VSI 和 HSI 无显著性差异($P>0.05$), CF 先升高后降低, D3~D4 组显著高于 D1 组($P<0.05$), 各组成活率无显著差异($P>0.05$)。

以 WGR 为评价指标, 经一元二次回归性分析, 许氏平鲈幼鱼对饲料中精氨酸的最适需求量为 2.78%饲料(5.56%饲料蛋白质)(图 1)。

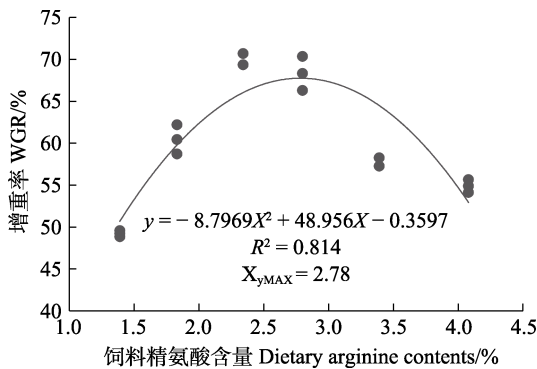


图 1 许氏平鲈幼鱼增重率与饲料精氨酸含量的相关性分析
Fig.1 Relationship between dietary arginine contents and weight gain rate of *S. schlegelii*

表 4 饲料中精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼常规成分的影响($n=3$, 平均值±标准差, %湿重)

Tab.4 Effect of dietary arginine on the conventional compositions of juvenile *S. schlegelii* ($n=3$, Mean±SD, % wet weight)

体组成 Body composition	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
全鱼 Whole body						
水分 Moisture/%	72.54±0.00	71.96±0.01	72.56±0.01	71.90±0.12	71.90±0.05	72.66±0.01
粗蛋白 Crude protein/%	15.17±0.08	15.05±0.15	15.33±0.27	15.29±0.35	15.58±0.50	15.50±0.62
粗脂肪 Crude lipid/%	6.26±0.31	6.49±0.38	6.41±0.15	6.57±0.29	6.64±0.23	5.90±0.26
粗灰分 Crude ash/%	4.63±0.05	4.62±0.03	4.65±0.02	4.78±0.03	4.51±0.07	4.88±0.03
肌肉 Muscle						
水分 Moisture/%	74.69±0.09	74.56±1.40	75.47±0.28	75.00±0.41	75.40±0.27	75.50±0.35
粗蛋白 Crude protein/%	20.26±0.01 ^b	20.33±0.12 ^b	21.19±0.03 ^c	20.09±0.08 ^b	20.03±0.19 ^{ab}	19.71±0.34 ^a
粗脂肪 Crude lipid/%	2.47±0.32	2.48±0.27	2.77±0.30	2.71±0.18	2.57±0.27	2.56±0.18
粗灰分 Crude ash/%	1.34±0.02	1.33±0.00	1.36±0.08	1.35±0.03	1.36±0.03	1.37±0.041

2.4 精氨酸对许氏平鲈幼鱼血清生化指标的影响

如表 7 所示, 随着饲料精氨酸含量的增加, 血清谷丙转氨酶(ALT)(图 2)活力先降低后升高, D3 组显著小于其他组($P<0.05$); 谷草转氨酶(AST)活力各组间无显著性差异; 白蛋白(Alb)(图 3)和 NO(图 4)含量先升高后降低; 尿素氮(BUN)(图 5)含量先升高后趋于平缓, D3~D6 组显著高于 D1 组($P<0.05$)。

2.2 精氨酸对许氏平鲈幼鱼常规成分的影响

如表 4 所示, 饲料中精氨酸含量的对全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量均无显著性影响($P>0.05$)。肌肉粗蛋白含量先升高后降低, D3 组显著高于其他组($P<0.05$)。肌肉水分、粗脂肪和粗灰分含量均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 精氨酸对许氏平鲈幼鱼全鱼及肌肉氨基酸组成的影响

如表 5 所示, 随着饲料中精氨酸含量的增加, 全鱼缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、亮氨酸(Leu), 异亮氨酸(Ile)、赖氨酸(Lys)、天冬氨酸(Asp)、总必需氨基酸(Σ EAA)和总氨基酸(Σ AA)均先升高后降低, 精氨酸(Arg)含量先升高后平稳, 其他氨基酸含量不受饲料精氨酸水平的影响。

如表 6 所示, 随着饲料精氨酸含量的增加, 肌肉蛋氨酸(Met)、精氨酸(Arg)、总必需氨基酸(Σ EAA)和总氨基酸(Σ AA)含量先升高后降低, 赖氨酸(Lys)、亮氨酸(Leu)、谷氨酸(Glu)和天冬氨酸(Asp)含量先升高后平稳, 其他氨基酸含量不受饲料精氨酸含量的影响。

2.5 精氨酸对许氏平鲈幼鱼肝脏相关酶活力的影响

如表 8 所示, 随着饲料精氨酸含量的增加, 肝脏超氧化物歧化酶(SOD)(图 6)、溶菌酶(LZM)、谷草转氨酶(AST)、总抗氧化物酶(T-AOC)、碱性磷酸酶(AKP)、总一氧化氮合酶(TNOS)(图 8)和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)(图 9)活力均先升高后降低。丙二醛(MDA)(图 7)含量先降低后升高, D2~D4 组显著低于

表5 饲料中精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼全鱼氨基酸组成的影响($n=3$, 平均值 \pm 标准差)
Tab.5 Effect of dietary arginine on amino acid profiles of whole fish of juvenile *S. schlegelii* ($n=3$, Mean \pm SD)

氨基酸 Amino acids	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
必需氨基酸 Essential amino acids						
缬氨酸 Val	2.27 \pm 0.05 ^a	2.35 \pm 0.05 ^{abc}	2.36 \pm 0.05 ^{bc}	2.41 \pm 0.02 ^c	2.34 \pm 0.02 ^{abc}	2.29 \pm 0.05 ^{ab}
蛋氨酸 Met	0.60 \pm 0.04 ^a	0.81 \pm 0.03 ^c	0.85 \pm 0.01 ^c	0.83 \pm 0.03 ^c	0.83 \pm 0.04 ^c	0.72 \pm 0.03 ^b
异亮氨酸 Ile	1.53 \pm 0.05 ^a	1.64 \pm 0.04 ^b	1.63 \pm 0.05 ^b	1.67 \pm 0.01 ^b	1.48 \pm 0.04 ^a	1.54 \pm 0.06 ^a
亮氨酸 Leu	3.50 \pm 0.07 ^a	3.73 \pm 0.04 ^b	3.67 \pm 0.06 ^b	3.76 \pm 0.07 ^b	3.54 \pm 0.06 ^a	3.51 \pm 0.04 ^a
赖氨酸 Lys	3.70 \pm 0.12 ^a	3.94 \pm 0.08 ^b	3.95 \pm 0.95 ^b	3.91 \pm 0.04 ^b	3.68 \pm 0.05 ^a	3.74 \pm 0.12 ^a
精氨酸 Arg	3.03 \pm 0.09 ^a	3.18 \pm 0.05 ^{ab}	3.18 \pm 0.02 ^{ab}	3.24 \pm 0.10 ^b	3.08 \pm 0.06 ^{ab}	3.11 \pm 0.10 ^{ab}
组氨酸 His	0.99 \pm 0.01	1.07 \pm 0.01	1.06 \pm 0.02	1.07 \pm 0.03	0.98 \pm 0.06	1.05 \pm 0.04
苯丙氨酸 Phe	2.99 \pm 0.01	3.14 \pm 0.06	3.10 \pm 0.07	3.10 \pm 0.04	2.95 \pm 0.07	3.11 \pm 0.11
苏氨酸 Thr	2.26 \pm 0.10	2.40 \pm 0.02	2.41 \pm 0.03	2.38 \pm 0.06	2.29 \pm 0.14	2.26 \pm 0.13
总必需氨基酸 Σ EAA	20.86 \pm 0.33 ^a	22.27 \pm 0.27 ^b	22.35 \pm 0.21 ^b	22.38 \pm 0.27 ^b	21.37 \pm 0.31 ^a	21.34 \pm 0.67 ^a
非必需氨基酸 Non-essential amino acids						
天冬氨酸 Asp	4.81 \pm 0.20 ^a	5.14 \pm 0.06 ^b	5.13 \pm 0.08 ^b	5.12 \pm 0.12 ^b	4.99 \pm 0.12 ^a	4.97 \pm 0.11 ^a
丝氨酸 Ser	2.61 \pm 0.12	2.73 \pm 0.09	2.69 \pm 0.06	2.68 \pm 0.10	2.76 \pm 0.05	2.67 \pm 0.10
谷氨酸 Glu	6.73 \pm 0.11	7.00 \pm 0.04	6.98 \pm 0.17	6.99 \pm 0.02	6.81 \pm 0.14	6.97 \pm 0.14
脯氨酸 Pro	2.21 \pm 0.10	2.26 \pm 0.19	2.33 \pm 0.04	2.32 \pm 0.07	2.29 \pm 0.13	2.19 \pm 0.08
甘氨酸 Gly	4.18 \pm 0.15	4.33 \pm 0.18	4.21 \pm 0.07	4.32 \pm 0.09	4.43 \pm 0.13	4.18 \pm 0.14
丙氨酸 Ala	3.33 \pm 0.06	3.50 \pm 0.03	3.42 \pm 0.09	3.50 \pm 0.07	3.44 \pm 0.14	3.41 \pm 0.14
半胱氨酸 Cys	1.92 \pm 0.03	1.93 \pm 0.09	1.90 \pm 1.87	1.86 \pm 0.04	1.88 \pm 0.09	1.97 \pm 0.05
酪氨酸 Tyr	2.42 \pm 0.01	2.58 \pm 0.02	2.42 \pm 0.08	2.38 \pm 0.02	2.42 \pm 0.00	2.51 \pm 0.03
总非必需氨基酸 Σ NEAA	28.22 \pm 0.51	28.97 \pm 0.31	29.26 \pm 0.17	28.95 \pm 0.38	28.38 \pm 0.38	26.68 \pm 0.45
总氨基酸 Σ AA	49.08 \pm 0.83 ^a	51.23 \pm 0.09 ^{bc}	51.61 \pm 0.39 ^c	50.32 \pm 0.49 ^c	50.21 \pm 1.04 ^{abc}	48.02 \pm 0.14 ^{ab}

表6 饲料中精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼肌肉氨基酸组成的影响($n=3$, 平均值 \pm 标准差)
Tab.6 Effect of dietary arginine on amino acid profiles of dorsal muscle of juvenile *S. schlegelii* ($n=3$, Mean \pm SD)

氨基酸 Amino acids	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
必需氨基酸 Essential amino acids						
缬氨酸 Val	3.70 \pm 0.08	3.67 \pm 0.10	3.63 \pm 0.03	3.67 \pm 0.09	3.71 \pm 0.05	3.60 \pm 0.00
蛋氨酸 Met	1.70 \pm 0.42 ^a	1.73 \pm 0.08 ^a	1.88 \pm 0.06 ^b	2.20 \pm 0.11 ^d	2.05 \pm 0.11 ^c	1.92 \pm 0.08 ^b
苯丙氨酸 Phe	4.63 \pm 0.02	4.58 \pm 0.10	4.67 \pm 0.16	4.66 \pm 0.05	4.55 \pm 0.07	4.52 \pm 0.00
赖氨酸 Lys	6.83 \pm 0.06 ^a	6.81 \pm 0.21 ^a	6.94 \pm 0.08 ^b	6.94 \pm 0.10 ^b	7.17 \pm 0.10 ^b	6.93 \pm 0.12 ^b
精氨酸 Arg	4.21 \pm 0.10 ^a	4.19 \pm 0.06 ^a	4.31 \pm 0.01 ^b	4.35 \pm 0.10 ^b	4.38 \pm 0.12 ^b	4.19 \pm 0.10 ^a
组氨酸 His	1.64 \pm 0.05	1.59 \pm 0.07	1.63 \pm 0.05	0.65 \pm 0.06	1.65 \pm 0.08	1.59 \pm 0.00
亮氨酸 leu	6.24 \pm 0.17 ^a	6.18 \pm 0.22 ^a	6.28 \pm 0.06 ^a	6.24 \pm 0.07 ^a	6.60 \pm 0.19 ^b	6.41 \pm 0.16 ^{ab}
异亮氨酸 Ile	2.88 \pm 0.01	2.80 \pm 0.09	2.77 \pm 0.05	2.88 \pm 0.10	2.82 \pm 0.21	2.79 \pm 0.10
苏氨酸 Thr	3.67 \pm 0.09	3.63 \pm 0.13	3.74 \pm 0.07	3.64 \pm 0.11	3.75 \pm 0.05	3.64 \pm 0.18
总必需氨基酸 Σ EAA	35.51 \pm 0.48 ^{ab}	35.18 \pm 0.66 ^a	35.85 \pm 0.29 ^{abc}	36.24 \pm 0.40 ^{bc}	36.69 \pm 0.82 ^c	35.50 \pm 0.44 ^a
非必需氨基酸 Non-essential amino acids						
脯氨酸 Pro	2.23 \pm 0.10	2.16 \pm 0.06	2.23 \pm 0.05	2.29 \pm 0.03	2.36 \pm 0.05	2.25 \pm 0.04
酪氨酸 Tyr	3.96 \pm 0.14	3.99 \pm 0.05	4.09 \pm 0.10	4.06 \pm 0.16	4.05 \pm 0.12	3.96 \pm 0.03
丝氨酸 Ser	3.67 \pm 0.13	3.63 \pm 0.07	3.76 \pm 0.15	3.61 \pm 0.12	3.82 \pm 0.05	3.64 \pm 0.10
谷氨酸 Glu	11.48 \pm 0.30 ^a	11.81 \pm 0.10 ^{ab}	11.55 \pm 0.22 ^a	12.00 \pm 0.84 ^{bc}	12.22 \pm 0.20 ^c	12.20 \pm 0.17 ^c
甘氨酸 Gly	3.93 \pm 0.10	3.96 \pm 0.07	4.00 \pm 0.08	3.88 \pm 0.02	3.86 \pm 0.03	4.02 \pm 0.02
丙氨酸 Ala	4.82 \pm 0.15	4.83 \pm 0.09	4.89 \pm 0.10	4.82 \pm 0.16	5.07 \pm 0.12	4.92 \pm 0.14
半胱氨酸 Cys	2.72 \pm 0.18	2.71 \pm 0.19	2.73 \pm 0.06	2.71 \pm 0.07	2.62 \pm 0.04	2.81 \pm 0.07
天冬氨酸 Asp	8.07 \pm 0.17 ^a	8.11 \pm 0.20 ^{ab}	8.26 \pm 0.19 ^{abc}	8.29 \pm 0.10 ^{abc}	8.44 \pm 0.06 ^c	8.40 \pm 0.16 ^{bc}
总非必需氨基酸 Σ NEAA	40.88 \pm 1.16 ^a	41.19 \pm 0.54 ^a	41.77 \pm 0.80 ^{ab}	41.67 \pm 0.31 ^{ab}	42.45 \pm 0.45 ^b	42.17 \pm 0.41 ^b
总氨基酸 Σ AA	76.39 \pm 1.57 ^a	76.37 \pm 1.14 ^a	77.63 \pm 1.04 ^{ab}	77.91 \pm 0.56 ^b	78.39 \pm 0.02 ^b	77.44 \pm 0.49 ^{ab}

表 7 饲料精氨酸对许氏平鲉幼鱼血清生化指标的影响($n=6$, 平均值 \pm 标准差)

Tab.7 Effects of dietary arginine on serum biochemical parameters of juvenile *S. schlegelii* ($n=6$, Mean \pm SD)

血清生化指标 Serum biochemical parameters	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	16.42 \pm 0.30 ^d	15.13 \pm 0.60 ^{cd}	8.13 \pm 0.81 ^a	12.15 \pm 0.48 ^b	14.51 \pm 0.45 ^c	15.92 \pm 0.40 ^d
谷草转氨酶 AST/(U/L)	10.91 \pm 0.10	12.25 \pm 1.10	12.07 \pm 1.10	11.22 \pm 0.85	12.24 \pm 0.45	11.80 \pm 1.19
白蛋白 Alb/(g/L)	10.20 \pm 0.73 ^a	11.58 \pm 1.05 ^b	13.92 \pm 0.81 ^c	10.62 \pm 0.92 ^{ab}	10.43 \pm 0.88 ^{ab}	10.28 \pm 0.88 ^a
一氧化氮 NO/(μ mol/L)	4.82 \pm 0.42 ^a	14.45 \pm 0.21 ^c	18.83 \pm 0.62 ^d	19.26 \pm 0.62 ^d	13.68 \pm 0.24 ^c	7.88 \pm 0.42 ^b
尿素氮 BUN/(mmol/L)	4.22 \pm 0.43 ^a	4.98 \pm 0.21 ^{ab}	5.29 \pm 0.26 ^{bc}	5.29 \pm 0.54 ^{bc}	5.53 \pm 0.13 ^{bc}	6.06 \pm 0.77 ^c

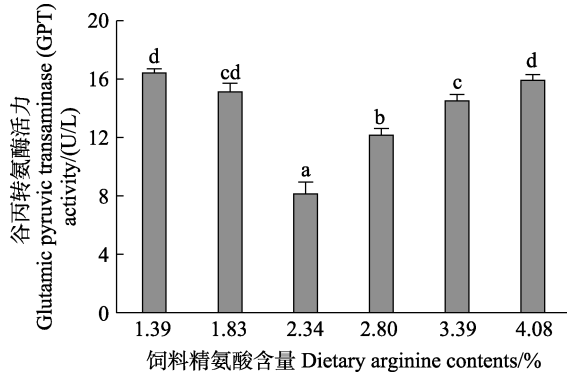


图 2 血清谷丙转氨酶活力

Fig.2 Activities of glutamic pyruvic transaminase (ALT) in serum

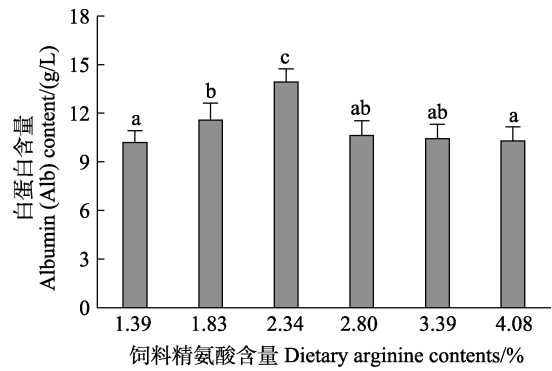


图 3 血清白蛋白含量

Fig.3 Contents of albumin (Alb) in serum

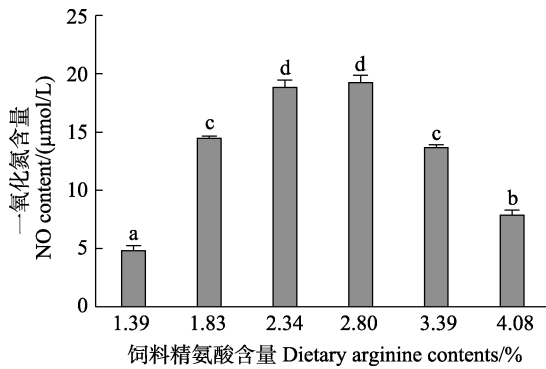


图 4 血清一氧化氮含量

Fig.4 Contents of NO in serum

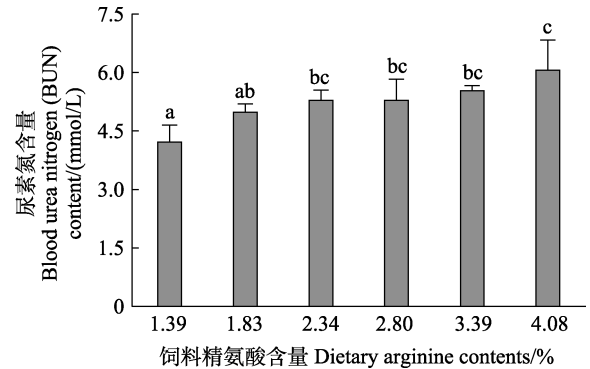


图 5 血清尿素氮含量

Fig.5 Contents of blood urea nitrogen (BUN) in serum

表 8 饲料精氨酸对许氏平鲉幼鱼肝脏相关酶活力的影响($n=6$, 平均值 \pm 标准差)

Tab.8 Effects of dietary arginine on liver enzyme activities of juvenile *S. schlegelii* ($n=6$, Mean \pm SD)

肝脏酶活力 Liver enzyme activities	组别 Groups					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
超氧化物歧化酶 SOD /(U/mg prot)	3756.61 \pm 61.38 ^a	4503.34 \pm 79.20 ^b	5602.27 \pm 64.45 ^d	5395.70 \pm 64.45 ^d	5034.56 \pm 84.57 ^c	4924.36 \pm 94.83 ^c
丙二醛 MDA /(nmol/mg prot)	0.91 \pm 0.02 ^c	0.46 \pm 0.02 ^a	0.42 \pm 0.02 ^a	0.46 \pm 0.01 ^a	0.55 \pm 0.03 ^b	0.59 \pm 0.02 ^b
溶菌酶 LZM/(U/mg prot)	45.20 \pm 1.91 ^{ab}	48.58 \pm 3.84 ^b	78.75 \pm 2.39 ^d	62.22 \pm 0.63 ^c	60.35 \pm 0.63 ^c	40.50 \pm 0.07 ^a
谷丙转氨酶 ALT/(U/g prot)	68.63 \pm 2.04	67.68 \pm 3.21	67.11 \pm 2.16	67.01 \pm 2.34	69.06 \pm 2.13	69.80 \pm 2.47
谷草转氨酶 AST/(U/g prot)	144.96 \pm 5.69 ^b	144.80 \pm 5.62 ^b	156.20 \pm 7.28 ^c	110.31 \pm 2.31 ^a	110.09 \pm 3.90 ^a	113.09 \pm 5.27 ^a
总抗氧化酶 T-AOC (nmol/L/mg prot)	0.81 \pm 0.05 ^a	0.87 \pm 0.53 ^{abc}	1.02 \pm 0.05 ^d	0.98 \pm 0.03 ^{cd}	0.96 \pm 0.03 ^{bcd}	0.84 \pm 0.06 ^{ab}
碱性磷酸酶 AKP (U/g prot)	14.49 \pm 0.98 ^a	20.55 \pm 0.63 ^b	29.64 \pm 1.74 ^c	22.77 \pm 0.83 ^b	14.71 \pm 1.10 ^a	14.30 \pm 1.13 ^a
酸性磷酸酶 ACP (U/g prot)	200.01 \pm 10.15	196.41 \pm 8.33	203.65 \pm 9.68	209.89 \pm 13.49	209.37 \pm 9.70	195.08 \pm 6.02
总一氧化氮合酶 TNOS (U/mg prot)	1.39 \pm 0.03 ^{bc}	1.45 \pm 0.03 ^{bc}	1.48 \pm 0.08 ^c	1.38 \pm 0.03 ^{bc}	1.30 \pm 0.16 ^{ab}	1.19 \pm 0.02 ^a
诱导型一氧化氮合酶 iNOS (U/mg prot)	1.10 \pm 0.01 ^b	1.09 \pm 0.02 ^b	1.14 \pm 0.01 ^b	1.24 \pm 0.03 ^c	1.16 \pm 0.11 ^{bc}	0.74 \pm 0.03 ^a

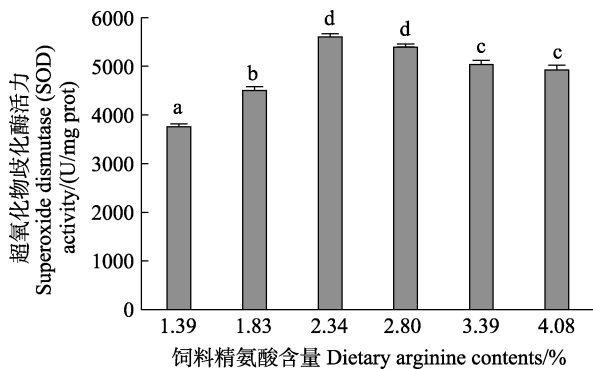


图6 肝脏超氧化物歧化酶活力

Fig.6 Activities of superoxide dismutase (SOD) in liver

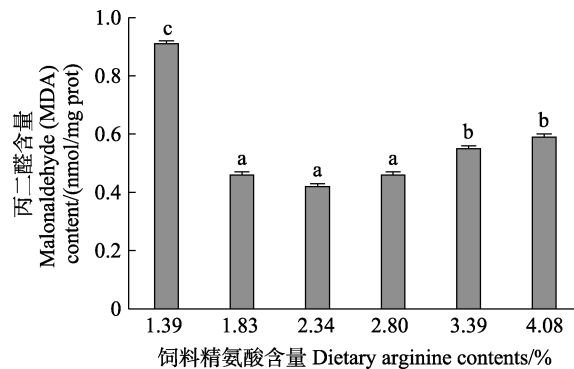


图7 肝脏丙二醛含量

Fig.7 Contents of malonaldehyde (MDA) in liver

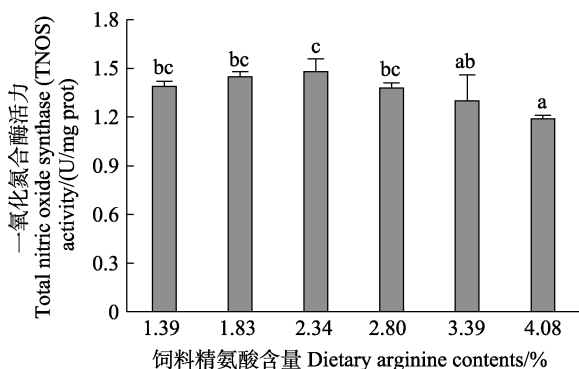


图8 肝脏一氧化氮合酶活力

Fig.8 Activities of total nitric oxide synthase (TNOS) in liver

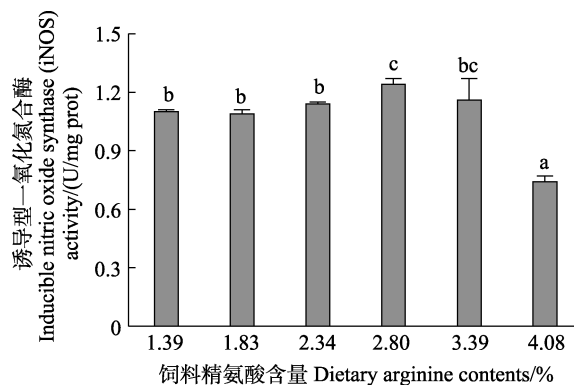


图9 肝脏诱导型一氧化氮合酶活力

Fig.9 Activities of inducible nitric oxide synthase (iNOS) in liver

D1、D5 和 D6 组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼生长性能和饲料利用的影响

精氨酸作为鱼类生长所必需的一种氨基酸,直接参与了鱼体蛋白质合成和鸟氨酸循环,促进了机体生长及蛋白质沉积(Wilson, 1986)。本研究中,各组存活率无显著差异,低精氨酸组未出现因精氨酸缺乏而产生的病理症状。随着饲料中精氨酸含量增加至适宜水平,许氏平鲈幼鱼的增重率和蛋白沉积率显著提高,精氨酸含量继续增加又使其部分生长指标产生下降趋势。表明过低或过高含量的精氨酸均对许氏平鲈幼鱼生长性能、饲料利用和蛋白沉积产生不利影响。研究发现,饲料中精氨酸的缺乏会导致海鲈(*Dicentrarchus labrax*)和牙鲆的增重率和蛋白质保留率处于较低水平,随着精氨酸含量增加至适宜水平,增重率和蛋白保留率均显著增加(Tibaldi *et al*, 1994; Alam *et al*, 2002); 饲料精氨酸过量时,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、遮目鱼、斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)

增重率和饲料利用率均受到抑制(Borlongan, 1990; Fournier *et al*, 2003; 韩凤禄等, 2016)。Walton 等(1986)研究认为,饲料中精氨酸过量引起鱼类生长减缓原因可能是鱼类需要消耗额外的能量用于脱氨基和排氨,从而导致毒害作用和增加鱼类生存压力。精氨酸和赖氨酸同为碱性氨基酸,目前,精氨酸-赖氨酸之间的拮抗作用也被部分学者认为是高精氨酸水平下鱼类生长缓慢的一个重要因素。精氨酸-赖氨酸的拮抗作用在哺乳动物和鸟类中普遍存在,但在鱼类研究中尚无定论(万军利等, 2006)。高精氨酸水平对牙鲆、斑点叉尾鲷和欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)的增重率均无显著影响。精氨酸-赖氨酸拮抗现象可能出现在氨基酸的消化、吸收阶段,也可能出现在吸收后的代谢阶段。此外,过低或过高的精氨酸造成了氨基酸的不平衡,影响鱼类对蛋白源的有效利用,使蛋白质的合成受阻,冗余的氨基酸经脱氨基作用,含氮部分以尿素、氨等形式排出体外,不含氮的部分分解成水和 CO_2 ,释放能量。

本实验条件下,以增重率为评价指标,许氏平鲈幼鱼对精氨酸的最适需求量为2.78%饲料(5.56%饲料蛋白)。这一结果与斜带石斑鱼(6.07%饲料蛋白)、卵

形鲳鲆(6.32%~6.35%饲料蛋白)和牙鲆(6.25%饲料蛋白)的研究结果相近(Lin *et al*, 2015; 韩凤禄等, 2016; Han *et al*, 2013), 高于真鲷(*Pagrus major*)(4.74%饲料蛋白)、遮目鱼(5.25%饲料蛋白)、银大马哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)(4.90%饲料蛋白)(Klein, 1970; Fournier *et al*, 2003; Rahimnejad *et al*, 2014), 低于黑鲷(*Sparus macrocephalus*)(7.74%饲料蛋白)、青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)(6.5%饲料蛋白)(Zhou *et al*, 2010、2012)。不同鱼种对精氨酸的需求量存在差异可能与鱼种、饲料蛋白源、饲料蛋白水平、实验环境、饲养方式和评估标准等有关。

3.2 饲料精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼体成分的影响

本研究中, 饲料精氨酸水平对全鱼粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分无显著影响。与斜带石斑鱼, 大口黑鲈(周恒永, 2011)、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)(张庆功, 2019)的研究结果一致。随着饲料精氨酸含量的增加, 实验鱼肌肉粗蛋白含量先升高后降低, 与吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)(武文一, 2016)的研究结果一致。精氨酸提高肌肉蛋白质含量的原因可能是由于精氨酸代谢产生的谷氨酰胺和 NO 可激活肌肉中雷帕霉素靶蛋白(mTOR)信号途径, mTOR 激活后会促进磷酸化核糖体 S6 蛋白激酶(p70s6 激酶)和真核生物启动子 4E-结合蛋白 1(eIF4E-BP1)磷酸化, 形成用于多肽合成的激活启动复合物, 促进蛋白质合成(Pervin *et al*, 2007)。韩凤禄等(2016)研究发现, 随着饲料精氨酸含量的增加, 斜带石斑鱼幼鱼肌肉粗蛋白和粗灰分含量先升高后趋于平缓, 粗脂肪含量呈下降趋势。产生差异的原因可能与饲料原料组成和鱼种不同有关。研究证实, 随着饲料精氨酸含量的升高, 全鱼蛋白质的合成效率和沉积率也会显著提高, 在精氨酸添加量超过其最适需求量之后, 蛋白质合成效率和沉积率会显著下降, 这是因为过量的精氨酸导致其他氨基酸的降解加快, 而降低蛋白质合成和沉积, 但在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)中发现, 当饲料精氨酸含量超过其最适需求量, 蛋白质合成和沉积未受到显著影响(赵红霞等, 2007), 这可能是鱼种及其规格不同导致的差异。

鱼体对于蛋白质的沉积是通过外源氨基酸的供给来合成的(张庆功等, 2019)。研究发现, 黑鲷和大口黑鲈肌肉必需氨基酸含量随着饲料精氨酸摄入的增多而上升(Zhou *et al*, 2010; 周恒永, 2011)。本研究中, 许氏平鲈幼鱼全鱼和肌肉的必需氨基酸含量随着饲料精氨酸含量的增加先升高后降低。当精氨酸达到其最适需求量时, 饲料中各氨基酸含量达到平衡, 此

时, 鱼体吸收的氨基酸以最大的效率进行机体蛋白的合成。摄入精氨酸过量后, 氨基酸平衡被打破, 多余的氨基酸被氧化分解, 同时耗能, 使得全鱼和肌肉的必需氨基酸含量下降。这种趋势与增重率和蛋白质效率一致。

3.3 饲料精氨酸水平对许氏平鲈幼鱼血清生化指标的影响

鱼类的血清生化指标在一定程度上反映了鱼体的生理和健康状况(魏佳丽等, 2016)。在硬骨鱼类中, 尿素的产生主要来源于蛋白质或氨基酸的分解代谢。血清尿素氮是氨基酸代谢的重要产物, 可准确的反映鱼体内蛋白质代谢和氨基酸代谢的平衡状况。研究发现, 牙鲆血清尿素氮含量随饲料中精氨酸含量的上升而显著上升并趋于稳定(Alam *et al*, 2002), 虹鳟和大菱鲆血清尿素氮的浓度和机体摄入的精氨酸水平也存在正相关关系(Fournier *et al*, 2003)。本研究中, 低精氨酸水平下, 血清尿素氮含量偏低, 随着饲料精氨酸含量的增加, 血清尿素氮含量显著增加, 表明随着精氨酸水平上升至其最适需求量, 氨基酸达到平衡状态, 精氨酸在鸟氨酸循环中的作用增强, 蛋白质代谢最旺盛, 代谢产物尿素氮含量显著上升, 当精氨酸添加量高于最适需求量时, 氨基酸平衡被打破, 限制了其他氨基酸的有效利用, 多余的氨基酸经脱羧和转氨作用被当作能量消耗掉, 从而造成了蛋白质利用率的下降和氮排泄增加等生理现象。谷草转氨酶和谷丙转氨酶的联合脱氨基作用是肝脏氨基酸代谢的主要途径, 在健康动物的血清中含量很少, 当动物受到生理或病理刺激, 肝细胞膜的通透性会发生改变, 使肝脏中的谷草转氨酶和谷丙转氨酶释放到血清中。本研究中, 血清谷丙转氨酶活力随饲料精氨酸含量的增加先降低后升高, 与欧洲鲈和黑鲷的研究结果一致(Peres *et al*, 2007; Zhou *et al*, 2010)。但在卵形鲳鲆的研究中发现, 饲料精氨酸水平对血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力无显著性影响(谭小红, 2015)。除去鱼种差异, 一些研究认为鱼类血清生化指标的变化更多的是应激反应等造成的。NO 是一种近年来新发现的重要的免疫调节因子, 在体内具有调节 T 淋巴细胞增殖以及抗体免疫应答反应的作用。精氨酸作为 NO 合成的前体物质, 经 NO 合酶合成 NO, 使得精氨酸在免疫调节方面具有一定的功能。Buentello 等(1999)研究发现, 在斑点叉尾鲷腹腔注射脂多糖(LPS)后, 腹腔巨噬细胞 NO 的产生可随饲料精氨酸含量的增加而增多。在塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)饲料中添加

0.8%、1.5%精氨酸时,正常养殖条件下,头肾 NO 含量分别提高 25.0%和 55.6%,应激条件下分别提高 100%和 245%,表明精氨酸可促进鱼体组织 NO 的产生(Costas *et al.*, 2013)。Wang 等(2015)发现,饲料中添加 1.41%精氨酸后提高了草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)鳃组织 Nrf2 mRNA 的丰度,组织 Nrf2 基因表达,可促进抗氧化酶合成,提高组织抗氧化能力。本研究中,血清 NO 含量随着饲料精氨酸水平的上升而显著增加,与吉富罗非鱼和红鳍东方鲀的研究结果一致(武文一, 2016; 张庆功, 2019)。

3.4 饲料精氨酸水平对许氏平鲉幼鱼肝脏相关酶活力的影响

溶菌酶是重要的抗菌物质,能溶解细菌细胞壁,破坏细菌肽聚糖支架,激活补体旁路和吞噬细胞活性,参与非特异性免疫防御,常用来作为鱼类非特异性免疫能力的评价指标(Zhu *et al.*, 2013)。不同种类的鱼其适宜的精氨酸需求量存在差异,过高水平的精氨酸会降低鱼类血清中溶菌酶活力(Chen *et al.*, 2015)。本研究中,肝脏溶菌酶活力受到精氨酸水平的显著影响,呈现先升高后降低的趋势,与卵形鲳鲹和大口黑鲈的研究结果相同(周恒永, 2011; 谭小红, 2015),表明适量的精氨酸可显著提高鱼类的非特异性免疫能力。关于精氨酸影响溶菌酶活力的机制已有相关报道,但精氨酸调控溶菌酶基因表达的机制有待研究。

超氧化物歧化酶活力的高低间接反映了机体清除氧自由基的能力,丙二醛是脂肪的氧化产物,其含量的高低能间接反映肌体细胞的氧化损伤程度(Wen *et al.*, 2014)。本研究中,肝脏超氧化物歧化酶活力随着饲料精氨酸水平的增加先升高后降低,与红鳍东方鲀和斑点叉尾鲴的研究结果相同(张庆功, 2019; Buentello *et al.*, 1999)。但谭小红(2015)研究发现,饲料精氨酸含量对卵形鲳鲹的血清和肝脏中总超氧化物歧化酶活力无显著影响。研究结果的差异可能是实验鱼种类和实验条件等不同造成。本研究中,肝脏丙二醛含量受精氨酸水平的显著影响,呈先降低后升高的趋势,与吉富罗非鱼的研究结果一致(武文一, 2016)。超氧化物歧化酶和丙二醛的结果相互验证,表明精氨酸可通过增加抗氧化酶活力从而减少自由基氧化对机体的损伤,增强机体抗氧化能力。

4 结论

饲料中适宜含量的精氨酸能显著提升许氏平鲉幼鱼的生长性能,提高蛋白质沉积,降低饲料系数,

增强氨基酸代谢及非特异性免疫能力。以增重率为评价指标,许氏平鲉幼鱼[(12.03±0.03)g]精氨酸的适宜需求量为 2.78%(占 5.56%饲料粗蛋白)。

参 考 文 献

- ALAM M S, TESHIMA S I, KOSHIO S, *et al.* Arginine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* estimated by growth and biochemical parameters. *Aquaculture*, 2002, 205(1/2): 127–140
- BORLONGAN I G. Arginine and threonine requirements of juveniles milkfish (*Chanos chanos* Forsskal). *Aquaculture*, 1990, 93(4): 313–322
- BUENTELLO J A, GATLIN III D M. Nitric oxide production in activated macrophages from channel catfish (*Ictalurus punctatus*): Influence of dietary arginine and culture media. *Aquaculture*, 1999, 179: 513–521
- CHEN G F, LIU Y, JIANG J, *et al.* Effect of dietary arginine on the immune response and gene expression in head kidney and spleen following infection of Jian carp with *Aeromonas hydrophila*. *Fish and Shellfish Immunology*, 2015, 44(1): 195–202
- COSTAS B, REGO P C N P, CONCEICA L E C, *et al.* Dietary arginine supplementation decreases plasma cortisol levels and modulates immune mechanisms in chronically stressed turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(s1): 25–38
- FOURNIER V, GOUILLOU-COUSTANS M F, MÉTAILLER R, *et al.* Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilisation in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and turbot *Psetta maxima*. *Aquaculture*, 2003, 217(1/2/3/4): 559–576
- HAN F L, ZHANG Q, HUANG G Q, *et al.* Requirement of dietary arginine for juvenile orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(3): 584–593 [韩凤禄, 张琴, 黄国强, 等. 斜带石斑鱼幼鱼的饲料精氨酸需求量. *中国水产科学*, 2016, 23(3): 584–593]
- HAN Y Z, KOSHIO S, ISHIKAWA M, *et al.* Interactive effects of dietary arginine and histidine on the performances of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* juveniles. *Aquaculture*, 2013, 414/415(15): 173–182
- KIM K W, WANG X J, BAI S C. Reevaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquaculture Research*, 2001, 32: 119–125
- KLEIN R G, HALVER J E. Nutrition of salmonoid fishes: arginine and histidine requirements of chinook and coho salmon. *The Journal of Nutrition*, 1970, 100(9): 1105–1110
- LEE S M, JEON I G, LEE J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes*

- schlegeli*). *Aquaculture*, 2002, 211: 227–239
- LIAO Y J, LIU B, REN M C, *et al.* Effects of dietary arginine level on growth performance, free essential amino acids, hematological characteristics, and immune response in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(3): 549–559 [廖英杰, 刘波, 任鸣春, 等. 精氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清游离精氨酸和赖氨酸、血液生化及免疫指标的影响. *中国水产科学*, 2014, 21(3): 549–559]
- LIN H Z, TIAN X H, ZHOU C P, *et al.* Effect of dietary arginine levels on the growth performance, feed utilization, non-specific immune response and disease resistance of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 2015, 437: 382–389
- LUO Z, LIU Y J, MAI K S, *et al.* Advance in researches on arginine requirement for fish: A review. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(4): 450–459
- LUZZANA U, HARDY R W, HALVER J E. Dietary arginine requirement of fingerling coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 1998, 163(1): 137–150
- PERES H, OLIVA-TELES A. Effect of the dietary essential amino acid pattern on growth, feed utilization and nitrogen metabolism of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 2007, 267(1/2/3/4): 119–128
- PERVIN S, SINGH R, HERNANDEZ E, *et al.* Nitric oxide in physiological concentrations targets the translational machinery to increase the proliferation of human breast cancer cells: Involvement of mammalian target of rapamycin/eIF4E pathway. *Cancer Research*, 2007, 67(1): 289–299
- RAHIMNEJAD S, LEE K J. Dietary arginine requirement of juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture*, 2014, 434: 418–424
- REN H, ZHAN X A. Research progress on amino acid nutrition of aquatic animals. *Feed Research*, 2006(2): 41–43 [任和, 占秀安. 水产动物氨基酸营养研究进展. *饲料研究*, 2006(2): 41–43]
- TAN X H. Assessment of arginine and leucine requirement for juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2015, 19–23 [谭小红. 卵形鲳鲹幼鱼对饲料中精氨酸和亮氨酸需求量的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2015, 19–23]
- TIBALDI E, TULLI F, LANARI D. Arginine requirement and effect of different dietary arginine and lysine levels for fingerling seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1994, 127: 207–218
- WALTON M J, COWEY C B, Coloso R M. Dietary requirements of rainbow trout for tryptophan, lysine and arginine determined by growth and biochemical measurements. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1986(2): 161–169
- WAN L J, MAI K S, AI Q H, *et al.* The recent advance on arginine nutritional physiology in fish. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(4): 679–685 [万军利, 麦康森, 艾庆辉, 等. 鱼类精氨酸营养生理研究进展. *中国水产科学*, 2006, 13(4): 679–685]
- WANG B, FENG L, JIANG W D, *et al.* Copper-induced tight junction mRNA expression changes, apoptosis and antioxidant responses via NF- κ B, TOR and Nrf2 signaling molecules in the gills of fish: Preventive role of arginine. *Aquatic Toxicology*, 2015, 158: 125–137
- WEI J L, WANG J Y, SONG Z D, *et al.* Effects of the partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on growth performance, the body composition and the serum biochemical parameters of juvenile pearl gentian grouper. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(1): 100–110 [魏佳丽, 王际英, 宋志东, 等. 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能、体组成及血清生化的影响. *渔业科学进展*, 2016, 37(1): 100–110]
- WEN H L, FENG L, JIANG W D, *et al.* Dietary tryptophan modulates intestinal immune response, barrier function, antioxidant status and gene expression of TOR and Nrf2 in young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Fish and Shellfish Immunology*, 2014, 40(1): 275–287
- WILSON R P. Protein and amino acid requirements of fishes. *Annual Review of Nutrition*, 1986, 6(1): 225–244
- WU W Y. Studies on the requirements of arginine, phenylalanine and valine in the diet to GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2016, 21–26 [武文一. 吉富罗非鱼对饲料精氨酸、苯丙氨酸和缬氨酸的需要量研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2016, 21–26]
- YAN Q G, XIE S Q, LEI W, *et al.* Quantitative dietary lysine requirement for juvenile *Sebastes schlegeli*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(4): 459–465 [严全根, 解绥启, 雷武, 等. 许氏平鲈幼鱼的赖氨酸需求量. *水生生物学报*, 2006, 30(4): 459–465]
- YAN Q G, XIE S Q, ZHU X. Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(3): 163–169
- ZHANG Q G, LIANG M Q, XU H G, *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(4): 1–10 [张庆功, 梁萌青, 徐后国, 等. 红鳍东方鲀幼鱼对饲料中蛋氨酸需求的研究. *渔业科学进展*, 2019, 40(4): 1–10]
- ZHANG Q G. Studies on nutritional physiology of lysine, methionine and arginine for juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2019, 53–58 [张庆功. 红鳍东方鲀幼鱼赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸营养生理研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2019, 53–58]
- ZHAO H X, CAO J M, WU J K, *et al.* Studies of arginine requirement for juvenile cobia. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, 28(4): 87–90 [赵红霞, 曹俊明, 吴建开, 等. 军曹鱼幼鱼对饲料中精氨酸的需要量. *华南农业大学学报*, 2007, 28(4): 87–90]
- 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
- ZHOU H Y. Assessment of arginine requirement for largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2010, 40–43 [周恒永. 大口黑鲈对饲料中精氨酸需求量的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2011, 40–43]
- ZHOU Q C, ZENG W P, Wang H L, *et al.* Dietary arginine requirement of juvenile yellow grouper *Epinephelus awoara*. *Aquaculture*, 2012, 350–353: 175–182
- ZHU L Y, LI N, ZHU G, *et al.* Advances in research of fish immune-relevant genes: A comparative overview of innate and adaptive immunity in teleosts. *Developmental and Comparative Immunology*, 2013, 39(1/2): 39–62
- ZHU L, SUI F M. Biology and artificial culture of *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf). *Modern Fisheries Information*, 1999, 14(4): 21–25 [朱龙, 隋风美. 许氏平鲈的生物学特征及其人工养殖. 现代渔业信息, 1999, 14(4): 21–25]

(编辑 陈 辉)

Dietary Arginine Requirement of Juvenile Rockfish (*Sebastes schlegelii*)

SHEN Yubo^{1,2}, WANG Jiyong^{2①}, LI Baoshan², LIU Caili^{1,2}, WANG Xiaoyan²,
HUANG Bingshan², WANG Shixin², SUN Yongzhi²

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

Abstract An eight week experiment was conducted to investigate the effects of dietary arginine on the growth performance, body composition, serum biochemical parameters, and liver enzyme activities of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*) and to determine the dietary arginine requirement. Six isonitrogenous and isolipidic diets were formulated to contain graded dietary arginine (1.5%, 1.0%, 2.0%, 2.5%, 3.5%, and 4.5% dry diet). The crystalline amino acid mixture was supplemented in the test diets to simulate the amino acid profile of the juvenile *S. schlegelii* muscle protein, except for arginine. The initial average body weight of the juvenile *S. schlegelii* was (12.03±0.03) g. The results showed that, with increasing dietary arginine, the weight gain rate (WGR), specific growth rate, and protein efficiency ratio significantly increased at first and then decreased; these were significantly higher in the 2.34% and 2.80% arginine diets than the 1.39% arginine diet, but the feed conversion ratio showed the opposite trend. The crude protein content of the muscle was significantly affected by dietary arginine levels and was significantly higher in the 2.34% arginine diet than the other groups. The concentrations of both total essential amino acids and total amino acids first increased and then decreased in the whole fish and muscle tissues. The levels of albumin and nitrogen oxide in the serum significantly increased first and then decreased ($P<0.05$), whereas the serum blood urea nitrogen content first increased and then plateaued. However, the glutamic pyruvic transaminase in the serum significantly decreased at first and then increased, and was significantly lower in the 2.34% arginine diet than in other groups. The activities of superoxide dismutase, lysozyme, aspartate aminotransferase, total antioxidant enzymes, alkaline phosphatase, total nitric oxide synthase, and inducible nitric oxide synthase in the liver first significantly increased and then decreased, whereas the content of malonaldehyde first significantly decreased and then increased. With WGR as an evaluation index, the optimal arginine requirement of juvenile *S. schlegelii* was 2.78% (5.56% dietary protein).

Key words Juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*); Arginine; Requirement; Growth

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