

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180525001

http://www.yykxjz.cn/

张庆功, 梁萌青, 徐后国, 卫育良. 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): 01-10
Zhang QG, Liang MQ, Xu HG, Wei YL. Dietary methionine requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 01-10

红鳍东方鲀幼鱼对饲料中蛋氨酸需求的研究*

张庆功^{1,2} 梁萌青^{2①} 徐后国² 卫育良²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 在半精制饲料中分别添加 0、0.30%、0.60%、0.90%、1.20%、1.50% 蛋氨酸制成 6 组等氮等脂饲料, 各组蛋氨酸的实际含量分别为 0.61%、0.85%、1.10%、1.39%、1.60%、1.84%, 对初始体重为(13.83±0.63) g 的红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*) 幼鱼在室内流水系统中进行了 76 d 的喂养实验, 探讨其蛋氨酸的需求量。研究表明, 当饲料中蛋氨酸水平由 0.61% 升高至 1.60% 时, 红鳍东方鲀的特定生长率(Specific growth rate, SGR)、饲料效率(Feed efficiency, FE)、蛋白效率比(Protein efficiency ratio, PER)均显著升高($P < 0.05$), 且都在 1.60% 组取得最大值。其中, 特定生长率在 1.39%、1.60% 实验组无显著差异($P > 0.05$), 但随着蛋氨酸的进一步升高, 特定生长率、饲料效率、蛋白效率比均呈现出下降的趋势; 蛋氨酸水平对于蛋白沉积率没有显著影响($P > 0.05$); 饲料中蛋氨酸水平对全鱼粗脂肪含量呈现出先升高再降低的趋势, 但各组间粗蛋白、水分和粗灰分无显著差异($P > 0.05$); 随着蛋氨酸水平升高, 肝体比(Hepatosomatic index, HSI)和脏体比(Viscerosomatic index, VSI)呈现先升高再下降, 在蛋氨酸含量为 1.60% 时达到最高, 显著高于蛋氨酸 0.61% 组($P < 0.05$), 与其他组无显著差异; 血清中甘油三酯、胆汁酸的含量, 随着蛋氨酸水平的升高呈现出先升高再降低的趋势, 饲料蛋氨酸水平对血清中总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、总蛋白水平及谷草转氨酶、谷丙转氨酶的活性无显著影响($P > 0.05$)。以特定生长率为评价指标进行一元二次回归曲线分析, 得出体重为(13.83~82.47) g 的红鳍东方鲀幼鱼的蛋氨酸需求量为 1.38%, 占饲料蛋白质的 2.71%。

关键词 红鳍东方鲀幼鱼; 蛋氨酸需求量; 生长性能; 体组成; 生理生化指标

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)04-0001-10

蛋白质是构成生命的基础物质, 是由氨基酸组成的含氮高分子化合物。饲料蛋白质被鱼体摄食后, 必须在鱼消化道中各种消化酶的作用下, 分解成氨基酸后才能被鱼体吸收利用。因此, 氨基酸构成决定了蛋白质的质量。在鱼类中的必须氨基酸组成中, 蛋氨酸是含硫氨基酸, 是鱼类 10 种必须氨基酸的一种。在鱼类的生长发育过程中, 蛋氨酸广泛的参与鱼类的代谢过程, 例如可以参与形成 S-腺苷甲硫氨酸的形成,

然后以此作为甲基供体参与机体的生理代谢过程(Baker *et al*, 2006)。还可以参与牛磺酸、硫酸酯、磷酸胆碱和其他磷脂的形成(Brosnan *et al*, 2006)。同时也是很多植物性原料的第一限制性氨基酸(Goff *et al*, 2004), 和其他营养素一样, 投喂低水平的蛋氨酸饲料会导致饲料效率和生长下降(Mai *et al*, 2006)。而且在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等鲑科鱼类中发现, 投喂蛋氨酸缺乏的饲料后, 还会患上白内障(Cowey

* 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-47)资助 [This work is supported by China Agriculture Research System (CARS-47)]. 张庆功, E-mail: 592565638@qq.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-05-25, 收修改稿日期: 2018-07-02

1992)。摄食非常高含量的蛋氨酸则可能对虹鳟的生长产生负面影响(Poppi *et al*, 2011)。相关研究表明,适宜的蛋氨酸水平可显著提高大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)(陈乃松等, 2010)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)(Mai *et al*, 2006)、建鲤(*Cyprinus carpio* var Jian)(Xiao *et al*, 2010)等的特定生长率、饲料转化效率。目前,国内外已经进行了很多关于鱼类蛋氨酸营养需求的研究,确定了牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)(Alam *et al*, 2015)、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)(Harding *et al*, 1977)、日本鳗鱼(*Anguilla japonica*)(NRC, 1993)、大黄鱼(Mai *et al*, 2006)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)(Zhou *et al*, 2011)军曹鱼(*Rachycentron canadum*)(Zhou *et al*, 2006)、建鲤(Xiao *et al*, 2010)等多种养殖鱼类的蛋氨酸需求量。

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)俗称河豚,目前对于河豚营养学方面的研究主要需求集中在蛋白质(王淑敏, 2008; Sungsam, 2009)和脂肪(孙阳等, 2013; Takii *et al*, 1995)等方面,对于蛋氨酸适宜需求量的研究还未见报道。鉴于此,本研究采用剂量-效应法,探讨不同蛋氨酸水平对于红鳍东方鲀生长性能、鱼体组成和相关生化指标的影响,为河豚专用配合饲料的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

本实验通过向基础饲料中等梯度添加 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%的 DL-蛋氨酸。其中,蛋氨酸的有效含量为 99.3%。以谷氨酸作为蛋氨酸的等氮替代物,配制成 6 种不同蛋氨酸梯度水平的等氮等脂的半精制饲料,实验饲料配方及氨基酸组成如表 1、表 2。其中,蛋白、脂肪水平分别参照 Kin 等(2009)和 Kikuchi 等(2009),氨基酸混合物的添加参照红鳍东方鲀肌肉氨基酸组成(高露姣等, 2011)。经测定,各组饲料的实际蛋氨酸含量分别为 0.61%、0.85%、1.10%、1.39%、1.60%、1.84%,对应占饲料蛋白质的 1.20%、1.67%、2.16%、2.72%、3.14%、3.61%。饲料原料经粉碎过 80 目筛,按照从小量到大量的顺序,逐步混合均匀,加水搅匀后通过小型颗粒饲料机制成直径为 3~4 mm,长度为 3~5 mm 的颗粒饲料,55℃烘干后,保存于-20℃冰箱中。

1.2 实验鱼和养殖管理

红鳍东方鲀为海阳黄海水产有限公司的当年鱼苗。投喂对照组实验饲料驯化 7 d,使其适应养殖系

统和实验饲料。实验开始时,统一让实验鱼饥饿 24 h,随后随机挑选体质健康、体格均匀的鱼。称重后放入 18 个桶(500 L)中,每个桶中放入 30 尾鱼[平均体重为(13.83±0.61) g]。将 6 种饲料随机分派到 18 个桶,每种饲料 3 个重复。实验期间,每天分别于 07:00、12:00、16:00、20:00 表观饱食投喂,投喂量按实验鱼体重的 3%投喂,收集残饵并计数,每 2 d 刷桶 1 次,保持桶壁和桶底清洁,实验持续 67 d。

养殖用水为浅井海水,经二级沉淀、砂滤后进入蓄水池,采用室内流水系统(每天流水总量为 4 m³),并换 1/2 水;实验期间,溶氧高于 6 mg/L,采取纸板遮挡窗户以降低室内光线强度。实验期间,水温为 22℃~27℃,盐度为 24~26, pH 为 7.90~8.05。

1.3 实验取样

实验开始前随机取 10 尾红鳍东方鲀幼鱼作为初始鱼,用于常规营养成分分析。实验结束时,饥饿 24 h,然后对每桶鱼进行计数、称重。每桶随机取 4 尾实验鱼,-20℃保存,用于体成分分析;每缸随机取 6 尾鱼,尾静脉取血,血样暂存于 1.5 ml 离心管中,静置过夜后 3000 r/min 离心获得血清样,保存于-20℃冰箱备用。取 6 尾鱼在冰盘上解剖,取出肝脏和肌肉,分装于 2 个冷冻管,迅速放入液氮中,之后转移到-80℃冰箱中,用以实验相关要求的测定。

1.4 生化分析

实验饲料、饲料原料和鱼体的粗蛋白、粗脂肪、灰分、水分的测定,均参照(AOAC, 1995)方法进行,水分含量用(105±2)℃常温干燥法;粗灰分含量用马弗炉 550℃高温灼烧法;粗脂肪含量用索氏抽提法测定(Foss Tecator, Hoganas, 瑞典);粗蛋白的含量用凯氏定氮仪测定(VELP, UDK142 automatic distillation unit, VELP, Usmate, MB, 意大利)。饲料氨基酸分析采用盐酸水解法通过氨基酸分析仪(日立 L-8900, 日本)测定。

血清酶活利用深圳迈瑞(Mindray)公司生产的 LX-20 型 Beckman 全自动生化分析仪及其配套试剂进行分析。肝脏谷丙转氨酶、谷草转氨酶酶活均采用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒。

1.5 计算方法及统计分析方法

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)= $100 \times [\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})] / \text{实验天数}$

摄食率(Feeding intake, FI, %/d)= $100 \times \text{总干物质摄入量} / [\text{实验天数} \times (\text{初始体重} + \text{终末体重}) / 2]$

饲料效率(Feed efficiency, FE)=鱼体增重(湿重)/
总干物质摄食量

蛋白效率比(Protein efficiency ratio, PER)=(终末
体重-初始体重)/蛋白摄入量

蛋白质沉积率(Protein productive value, PPV, %)=
100×鱼体蛋白质贮存量/蛋白摄入量

肥满度(Condition factor, CF)=体重/体长³ (体重
单位: g; 体长单位: cm)

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %) = 100 ×肝
重/鱼体重

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %) = 100 ×内
脏重/鱼体重

实验数据以平均值±标准误(Mean±SE)表示, 使
用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析(One-way
ANOVA), 当差异达到显著水平($P < 0.05$), 则采用邓
肯多重比较(Duncan's multiple range tests)。

表 1 实验饲料配方及化学组成(%干物质)

Tab.1 Formulation and chemical composition of the experimental diet (% dry matter)

原料 Ingredient	饲料 1 Diet1	饲料 2 Diet2	饲料 3 Diet3	饲料 4 Diet4	饲料 5 Diet5	饲料 6 Diet6
鱼粉 Fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
明胶 Gelatin	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
小麦粉 Wheat meal	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89	11.89
糊精 Dextrin	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
氨基酸混合物* ¹ Amino acid mixture	7.81	7.81	7.81	7.81	7.81	7.81
蛋氨酸 Methionine	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50
谷氨酸 Glutamate	1.50	1.20	0.90	0.60	0.30	0.00
鱼油 Fish oil	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
豆油 Soybean oil	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
卵磷脂 Lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素混合物* ² Vitamin premix	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
矿物质混合物* ³ Mineral premix	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
磷酸二氢钙 Calcium dihydrogen phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
化学组成% Chemical composition%						
粗蛋白 Crude protein	51.10	51.67	51.23	51.26	51.26	51.08
粗脂肪 Crude lipid	9.41	9.37	9.43	9.56	9.90	9.80
灰分 Ash	8.70	9.09	8.73	8.51	8.46	8.46
蛋氨酸 Methionine	0.61	0.85	1.10	1.39	1.60	1.84

*¹: 氨基酸混合物为每 kg 饲料提供以下氨基酸: 精氨酸 7.7 g; 组氨酸 1.2 g; 异亮氨酸 7.1 g; 亮氨酸 11.8 g; 赖氨酸 15.5 g; 半胱氨酸 6.7 g; 苯丙氨酸 2.3 g; 苏氨酸 6.2 g; 色氨酸 1.5 g; 缬氨酸 8.1 g; 牛磺酸 5 g; 羟脯氨酸 5 g

*²: 维生素混合物(mg/kg 混合物): 硫胺素, 2.5 mg; 核黄素, 4.5 mg; 盐酸吡哆醇, 2 mg; 维生素 B₁₂, 0.01 mg; 生物素, 0.12 mg; 维生素 K₃, 1 mg; 肌醇, 80 mg; 泛酸, 6 mg; 烟酸, 20 mg; 叶酸, 2 mg; 维生素 A, 3.2 mg; 维生素 D, 0.5 mg; 维生素 E, 12 mg; 次粉 867 mg

*³: 矿物质混合物(mg/kg 混合物): 氟化钠, 0.2 mg; 碘化钾, 0.08 mg; 氯化钴, 5 mg; 硫酸铜, 1 mg; 硫酸铁, 8 mg; 硫酸锌, 5 mg; 硫酸镁, 120 mg; 磷酸二氢钙, 300 mg; 氯化钠, 10 mg; 沸石粉, 551 mg

*¹: Amino acid mixture provides the following amino acids for every kg feed: arginine 7.7 g; histidine 1.2 g; isoleucine 7.1 g; leucine 11.8 g; lysine 15.5 g; cysteine 6.7 g; phenylalanine 2.3 g; threonine 6.2 g; tryptophan 1.5 g; valine 8.1 g; taurine 5 g; hydroxyproline 5 g

*²: Vitamin premix (mg/kg premix): thiamine 2.5 mg; riboflavin 4.5 mg; pyridoxine 2 mg; vitamin B₁₂ 0.01 mg; biotin 0.12 mg; menadione 1 mg; inositol 80 mg; pantothenate 6 mg; tocopherol acetate 20 mg; folic acid 2 mg; vitamin A 3.2 mg; vitamin D 0.5 mg; vitamin E 12 mg; wheat flour 867 mg

*³: Mineral premix (mg/kg premix): NaF 0.2 mg; KI 0.08mg; CoCl₂·6H₂O 5mg; CuSO₄·5H₂O 1mg; FeSO₄·7H₂O 8 mg; ZnSO₄·7H₂O 5 mg; MnSO₄·4H₂O 120 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 300 mg; NaCl 10mg ; Mordenzeo 551 mg

表2 实验饲料的氨基酸组成(%干物质)
Tab.2 The amino acid composition of the experiment diets (% dry matter)

氨基酸 Amino acid	饲料 1 Diet1	饲料 2 Diet2	饲料 3 Diet3	饲料 4 Diet4	饲料 5 Diet5	饲料 6 Diet6
缬氨酸 Val	2.00	2.01	2.15	2.19	2.02	2.10
蛋氨酸 Met	0.61	0.85	1.10	1.39	1.60	1.84
异亮氨酸 Ile	1.87	1.81	1.81	1.89	1.82	1.90
亮氨酸 Leu	2.97	2.91	3.04	3.02	2.95	3.09
苏氨酸 Thr	1.54	1.55	1.67	1.79	1.55	1.79
苯丙氨酸 Phe	1.61	1.67	1.71	1.79	1.70	1.74
赖氨酸 Lys	3.08	3.11	3.23	3.12	3.10	3.15
组氨酸 His	0.89	0.88	0.91	0.97	0.90	0.94
精氨酸 Arg	2.51	2.60	2.66	2.68	2.58	2.58
半胱氨酸 Cys	0.89	0.86	0.88	0.91	0.89	0.82
牛磺酸 Tau	0.75	0.70	0.71	0.76	0.71	0.70
天冬氨酸 Asp	2.92	2.94	3.08	3.10	2.81	3.09
酪氨酸 Tyr	0.99	0.97	1.07	1.11	1.08	1.10
丝氨酸 Ser	1.26	1.28	1.35	1.43	1.27	1.45
谷氨酸 Glu	6.43	6.22	6.20	6.12	5.82	5.35
丙氨酸 Ala	2.35	2.48	2.60	2.64	2.43	2.60
甘氨酸 Gly	2.00	1.98	1.97	2.08	1.95	2.10

2 结果

2.1 饲料中蛋氨酸水平对红鳍东方鲀生长、饲料利用和鱼体组成的影响

表3为饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀生长性能的影响,饲料中的蛋氨酸水平显著影响红鳍东方鲀的成活率、摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率($P<0.05$)。特定生长率、饲料效率和蛋白效率比随着蛋

氨酸水平的升高先升高后下降,到蛋氨酸水平为1.60%时达到最高,显著高于0.61%处理组($P<0.05$)。其中,特定生长率在1.39%组和1.60%组无显著差异;对于成活率,1.10%处理组显著高于1.60%处理组($P<0.05$),其他各组无显著差异($P>0.05$);摄食率随饲料蛋氨酸水平的升高先升高后下降,蛋氨酸1.39%处理组达到最高,显著高于0.61%处理组($P<0.05$),与其他各组无显著差异($P>0.05$);饲料蛋氨酸水平对蛋白沉积率没有显著影响($P>0.05$)。

表3 饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀生长性能的影响
Tab.3 Effect of dietary methionine levels on growth performance of *T. rubripes*

指标 Index	饲料蛋氨酸水平 Dietary methionine level (%)					
	0.61	0.85	1.10	1.39	1.60	1.84
鱼体初重 IBW(g)	13.73±0.06	13.72±0.05	13.78±0.06	14.03±0.25	13.84±0.11	13.74±0.10
鱼体末重 FBW(g)	70.73±3.34 ^a	79.91±1.77 ^b	82.38±2.52 ^b	90.34±2.70 ^c	91.84±1.06 ^c	79.59±1.33 ^b
成活率 SR(%)	88.89±4.01 ^{ab}	94.44±5.56 ^b	97.78±1.11 ^b	87.78±2.94 ^{ab}	76.67±6.94 ^a	94.44±2.22 ^b
摄食率 FI(%/d)	1.88±0.01 ^a	1.91±0.01 ^{ab}	1.92±0.01 ^{ab}	1.95±0.02 ^b	1.90±0.01 ^{ab}	1.90±0.01 ^{ab}
特定生长率 SGR(%/d)	2.15±0.02 ^a	2.32±0.02 ^b	2.35±0.04 ^b	2.47±0.04 ^c	2.49±0.03 ^c	2.31±0.03 ^b
饲料效率 FE(%)	0.95±0.01 ^a	0.96±0.01 ^{ab}	0.98±0.01 ^{ab}	0.99±0.02 ^{ab}	1.01±0.02 ^b	0.99±0.02 ^{ab}
蛋白效率比 PER	1.85±0.01 ^a	1.90±0.01 ^{ab}	1.91±0.02 ^{ab}	1.92±0.04 ^{ab}	1.97±0.03 ^b	1.94±0.03 ^{ab}
蛋白沉积率 PPV(%)	34.62±0.48	34.61±0.46	36.02±0.60	35.73±1.16	36.66±0.69	35.94±0.65

注:同一列数值中右上角不同小写字母表示组间存在显著差异($P<0.05$),下同

Note: Data within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$), the same as below

表4为饲料蛋氨酸水平对鱼体组成和形体指标的影响。饲料的蛋氨酸水平对全鱼的粗蛋白、灰分、肥满度无显著影响($P>0.05$); 对于鱼体粗脂肪、肝体比、脏体比, 蛋氨酸1.60%组显著高于0.61%处理组($P<0.05$), 但随着蛋氨酸水平的进一步升高, 呈现出下降的趋势, 但与其他各组差异不显著($P>0.05$)。

表4 饲料蛋氨酸水平对鱼体组成和形体指标的影响(%湿重)

Tab.4 Effect of dietary methionine levels on body composition and physical indicators of *T. rubripes* (%wet weight)

指标 Index	饲料蛋氨酸水平 Dietary methionine level					
	0.61	0.85	1.10	1.39	1.60	1.84
粗蛋白 Crude protein(%)	19.63±0.42	19.67±0.33	19.46±0.25	19.21±0.30	18.94±0.32	19.14±0.12
粗脂肪 Crude lipid(%)	5.40±0.25 ^a	5.54±0.14 ^{ab}	5.75±0.05 ^{ab}	6.01±0.21 ^{ab}	6.22±0.30 ^b	5.63±0.35 ^{ab}
灰分 Ash(%)	2.98±0.09	2.98±0.06	2.89±0.04	2.98±0.08	2.83±0.08	2.85±0.03
水分 Moisture(%)	71.37±0.55	70.98±0.41	71.37±0.24	71.14±0.58	70.86±0.61	71.49±0.34
肝体比 Hepatosomatic index(%)	7.70±0.33 ^a	7.68±0.24 ^{ab}	8.53±0.40 ^{ab}	8.16±0.16 ^{ab}	9.05±0.50 ^b	8.08±0.29 ^{ab}
脏体比 Viscerasomatic index(%)	11.90±0.35 ^a	12.02±0.17 ^{ab}	12.98±0.49 ^{ab}	12.61±0.08 ^{ab}	13.72±0.52 ^b	12.73±0.36 ^{ab}
肥满度 Condition factor	4.34±0.15	4.09±0.07	4.14±0.09	4.01±0.21	4.19±0.13	4.10±0.13

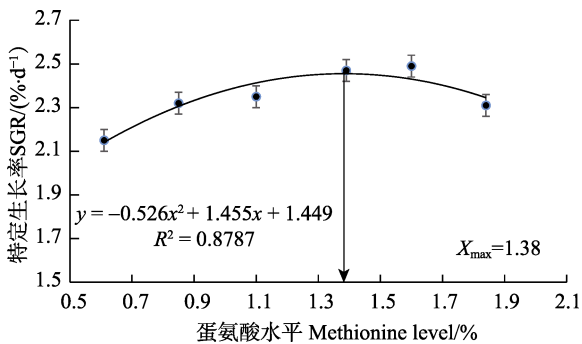


图1 红鳍东方鲀特定生长率与饲料中蛋氨酸水平的二次曲线关系

Fig.1 Second-order polynomial relationship between SGR of *T. rubripes* and dietary methionine levels

2.2 饲料中蛋氨酸水平对红鳍东方鲀血清、肝脏相关生化指标的影响

表5为饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀血清和肝脏生理生化指标的影响。如表5所示, 饲料蛋氨酸水平对肝脏中的谷丙转氨酶没有显著影响($P>0.05$), 1.10%处理组中的肝脏谷草转氨酶活性显著高于0.85%和1.60%处理组($P<0.05$), 与其他处理组无显著差异; 饲料蛋氨酸水平显著影响血清中甘油三酯的含量, 蛋氨酸含量为1.39%的处理组最高, 蛋氨酸含量为1.10%、1.39%、1.60%处理组显著高于1.84%处理组($P<0.05$), 其他各组间无显著差异($P>0.05$); 饲料蛋氨酸水平还对血清中的胆汁酸含量产生显著影响, 蛋氨酸含量为1.39%、1.60%处理组显著高于0.61%、

将红鳍东方鲀的特定生长率数据与饲料中的蛋氨酸水平进行二次回归曲线分析, 得到特定生长率与蛋氨酸水平的二次曲线关系为: $y = -0.526x^2 + 1.455x + 1.449$ ($R^2 = 0.8787$)。由图1可知, 当蛋氨酸水平为1.38%, 即占饲料蛋白的2.71%时, 红鳍东方鲀的特定生长率达到最高。

0.85%、1.84%处理组($P<0.05$), 其他组间无显著差异($P>0.05$); 饲料蛋氨酸水平还对血清中的血糖含量产生显著差异, 0.61%组显著高于0.85%、1.10%、1.60%、1.84%处理组($P<0.05$); 蛋氨酸水平对红鳍东方鲀中血清中的总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、总蛋白、谷丙转氨酶、谷草转氨酶无显著影响($P>0.05$)。

表6为饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀肌肉氨基酸组成的影响。如表6所示, 饲料蛋氨酸水平对肌肉中的半胱氨酸的含量没有显著影响($P>0.05$), 对其他氨基酸均随饲料蛋氨酸水平增加先升高, 然后趋于平稳。

3 讨论

3.1 饲料中不同蛋氨酸水平对红鳍东方鲀生长和饲料利用的影响

本研究采用剂量-效应法来确定红鳍东方鲀饲料中最适蛋氨酸需求量。在实验中, 蛋氨酸缺乏组显示较低的生长速度, 而随着蛋氨酸水平的提高, 其特定生长率、饲料转化效率和蛋白质效率均得到了显著提高, 但随着蛋氨酸水平的进一步升高, 则呈现出下降的趋势, 这与红鳍东方鲀血清中的甘油三酯、胆汁酸含量和肌肉氨基酸组成的变化趋势一致。在本研究中, 当蛋氨酸的需求量超过或者低于最适需求量时, 其生长遭到抑制。这与五条鲷(Ruchimat *et al*, 1997)、

表5 饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀血清和肝脏生理生化指标的影响
Tab.5 Effect of dietary methionine levels on physiological and biochemical parameters in serum and liver

指标 Index	饲料蛋氨酸水平 Dietary methionine level(%)					
	0.61	0.85	1.10	1.39	1.6	1.84
肝脏 Liver						
谷丙转氨酶 GPT(U/g prot)	75.34±1.25	76.89±4.10	81.54±9.17	70.34±1.92	75.99±3.90	78.72±2.48
谷草转氨酶 GOT(U/g prot)	73.07±6.23 ^{ab}	69.07±2.46 ^a	85.48±4.79 ^b	72.39±2.92 ^{ab}	69.39±5.72 ^a	73.17±1.94 ^{ab}
血清 Serum						
谷丙转氨酶 GPT(U/L)	33.00±4.73	24.67±2.33	32.00±5.13	41.00±5.03	30.33±1.45	26.67±6.67
谷草转氨酶 GOT(U/L)	49.5±10.5	57.67±11.84	57.50±12.5	77.00±4.58	57.00±12.34	49.00±3.00
甘油三酯 TG(mmol/L)	2.09±0.13 ^{ab}	2.10±0.09 ^{ab}	2.32±0.08 ^b	2.36±0.09 ^b	2.32±0.08 ^b	1.87±0.05 ^a
总胆汁酸 TBA(μmol/L)	1.67±0.07 ^{ab}	1.73±0.09 ^{abc}	1.85±0.05 ^{abc}	2.10±0.10 ^c	2.03±0.12 ^{bc}	1.60±0.10 ^a
总胆固醇 TC(mmol/L)	2.57±0.17	2.34±0.14	2.39±0.07	2.26±0.12	2.48±0.13	2.37±0.12
总蛋白 TP(g/L)	37.81±2.65	36.38±1.88	37.79±1.10	38.94±1.20	38.72±1.19	35.00±0.63
血糖 GLU(mmol/L)	1.85±0.14 ^b	1.36±0.08 ^a	1.32±0.12 ^a	1.50±0.07 ^{ab}	1.30±0.12 ^a	1.30±0.11 ^a
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C(mmol/L)	3.61±0.16	3.43±0.11	3.51±0.03	3.37±0.08	3.62±0.09	3.67±0.22
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C(mmol/L)	0.41±0.07	0.51±0.08	0.52±0.06	0.47±0.05	0.52±0.06	0.45±0.06

表6 饲料蛋氨酸水平对红鳍东方鲀肌肉氨基酸组成的影响(%)
Tab.6 Effects of dietary methionine levels on amino acid composition in muscle of *T. rubripes*

氨基酸 Amino acid	饲料蛋氨酸水平 Dietary methionine level(%)					
	0.61	0.85	1.10	1.39	1.60	1.84
半胱氨酸 Cys	0.96±0.08	1.1±0.12	1.1±0.15	1.1±0.01	1.16±0.16	1.13±0.22
缬氨酸 Val	2.07±0.21 ^a	3.1±0.34 ^b	3.39±0.26 ^b	3.3±0.01 ^b	3.65±0.4 ^b	3.56±0.44 ^b
蛋氨酸 Met	0.99±0.04 ^a	1.6±0.19 ^{ab}	1.71±0.24 ^b	1.43±0.01 ^{ab}	1.87±0.27 ^b	1.84±0.29 ^b
异亮氨酸 Ile	2.07±0.18 ^a	2.83±0.3 ^{ab}	3.15±0.14 ^b	3.02±0.03 ^b	3.35±0.38 ^b	3.38±0.39 ^b
亮氨酸 Leu	3.29±0.29 ^a	4.82±0.61 ^b	5.35±0.36 ^b	5.12±0.12 ^b	5.65±0.47 ^b	5.61±0.54 ^b
苏氨酸 Thr	1.86±0.19 ^a	2.88±0.4 ^b	3.24±0.24 ^b	3.06±0.1 ^b	3.31±0.26 ^b	3.26±0.31 ^b
苯丙氨酸 Phe	2.4±0.17 ^a	3.02±0.51 ^{ab}	3.64±0.34 ^b	3.34±0.36 ^{ab}	3.46±0.32 ^{ab}	3.64±0.21 ^b
赖氨酸 Lys	4.3±0.47 ^a	6.22±0.7 ^b	6.66±0.38 ^b	6.19±0.31 ^b	6.76±0.44 ^b	6.74±0.41 ^b
组氨酸 His	1.12±0.09 ^a	1.53±0.2 ^b	1.81±0.04 ^b	1.7±0.04 ^b	1.8±0.14 ^b	1.77±0.19 ^b
精氨酸 Arg	2.48±0.23 ^a	3.81±0.47 ^b	4.22±0.35 ^b	4.08±0.15 ^b	4.47±0.36 ^b	4.35±0.39 ^b
牛磺酸 Tau	0.88±0.02 ^a	1.29±0.12 ^b	1.49±0.08 ^b	1.5±0.06 ^b	1.71±0.18 ^b	1.54±0.21 ^b
天冬氨酸 Asp	3.72±0.43 ^a	5.76±0.76 ^b	6.48±0.52 ^b	6.15±0.17 ^b	6.85±0.7 ^b	6.61±0.9 ^b
酪氨酸 Tyr	1.7±0.09 ^a	2.37±0.38 ^{ab}	2.96±0.27 ^b	2.58±0.19 ^b	2.74±0.17 ^b	2.87±0.1 ^b
丝氨酸 Ser	1.6±0.17 ^a	2.5±0.38 ^b	2.9±0.21 ^b	2.7±0.16 ^b	2.93±0.19 ^b	2.87±0.24 ^b
谷氨酸 Glu	5.96±0.67 ^a	9.41±1.23 ^b	10.46±0.95 ^b	10±0.25 ^b	11.2±1.1 ^b	10.77±1.43 ^b
丙氨酸 Ala	2.14±0.2 ^a	3.17±0.37 ^b	3.53±0.3 ^b	3.55±0.24 ^b	3.69±0.23 ^b	3.65±0.28 ^b
甘氨酸 Gly	2.83±0.22 ^a	3.79±0.4 ^b	4.32±0.23 ^b	4.16±0.11 ^b	4.42±0.25 ^b	4.34±0.35 ^b

大黄鱼(Mai *et al.*, 2006)、军曹鱼(Zhou *et al.*, 2006)等结果一致。原因则可能是蛋氨酸缺乏时,引起了氨基酸的不平衡,限制了其他氨基酸的充分利用,导致了生长受到了抑制,也使得饲料和蛋白的利用受到了影响

(任和等, 2006)。当蛋氨酸过量时,过量的蛋氨酸可能会氧化产生酮或者其他代谢产物,引起了毒害作用而导致了鱼类生长受阻(Murthy *et al.*, 2015)。

由于蛋氨酸能够转化成半胱氨酸,所以,半胱氨酸

酸的含量会影响鱼类对于蛋氨酸的需要量。因此,有研究者认为将此表示为动物对于含硫氨基酸的总需要量或者表述为蛋氨酸+半胱氨酸的形式。但有一些研究发现,饲料中的半胱氨酸的含量低于3g/kg(0.3%)时,才能作为鱼类含硫氨基酸的有效补给源,这就表明当半胱氨酸的含量超过该用量时,半胱氨酸就不存在节省蛋氨酸需要量的作用(Kim *et al.*, 1992; Pack *et al.*, 1995)。在本研究中,半胱氨酸的含量为0.86%左右,占饲料蛋白的1.67%左右。本次结果显示,初始体重为13.83g的红鳍东方鲀,以特定生长率为评价指标通过二次曲线回归分析,得出对蛋氨酸的需求量为占饲料干物质的1.38%,占饲料蛋白的2.71%(胱氨酸0.86%,占饲料蛋白的1.67%)。高于初始体重为11.61g,以特定生长率为评价指标的军曹鱼(Zhou *et al.*, 2006)蛋氨酸需求量占饲料蛋白2.64%(胱氨酸1.49%);同样也低于初始重量为1.23g,以特定生长率为评价指标,得出蛋氨酸需求量占饲料蛋白的大黄鱼(Mai *et al.*, 2006)的3.34%(胱氨酸0.67%);同初始体重为37.88g,以特定生长率为评价指标得出蛋氨酸需求量占饲料蛋白的大口黑鲈(陈乃松等, 2010)的2.75%(胱氨酸0.30%)接近。现有报道的鱼类蛋氨酸的需求量的差异是多方面的因素,其一可能是不同种属间的差异,同时也可能是受到不同养殖环境的影响,如鱼的大小、年龄、水温、养殖密度和饲料的种类,水流、投喂频率、氨基酸模式和饲料中其他营养物质的相互作用等(Chiu *et al.*, 1988; Cowey, 1995; Simmons *et al.*, 2015)。

3.2 蛋氨酸水平对于鱼体组成和形体指标的影响

本研究中,蛋氨酸水平对于鱼体粗蛋白、灰分、水分没有显著性差异($P>0.05$),但对鱼体的粗脂肪含量产生了显著差异,表明了蛋氨酸可能参与了红鳍东方鲀体内的脂肪调控过程,同在大菱鲆(*Psetta maxima*)中(Ma *et al.*, 2013)的发现相似,随着蛋氨酸的水平上升,鱼体粗脂肪也随之增高;但是在大黄鱼(Mai *et al.*, 2006)和军曹鱼(Zhou *et al.*, 2006)的蛋氨酸需求研究中蛋氨酸水平并没有显著影响鱼体粗脂肪含量;而在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)(Luo *et al.*, 2005)中发现,蛋氨酸水平的升高会降低鱼体粗脂肪的含量。本研究发现,鱼体中的肝体比和脏体比随着蛋氨酸水平呈现先升高后下降的趋势,蛋氨酸水平为1.60%时达到最高。这与在大菱鲆中(Klatt *et al.*, 2016)的发现一致,肝体比会随着蛋氨酸水平的上升而随之增大;与在大口黑鲈(陈乃松等, 2010)和大西洋鲑(*Salmo salar*)(Espe *et al.*, 2008)研究中的不一致,饲料的蛋氨

酸水平较低时,肝体比、脏体比较大。Espe等(2008)认为蛋氨酸引起的肝体比降低是对机体的有益行为;Walton等(1982)在虹鳟中的研究认为,肝体比的增加是因为饲料中过多的游离氨基酸转化为肝糖原的结果。

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。本研究中,肌肉中的氨基酸基本呈现出一种先升高再趋于平稳的趋势。Alam(2015),研究证实,饲料的不同氨基酸模式会影响到牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的生长和体蛋白结合态氨基酸的组成。在大黄鱼(Mai *et al.*, 2006)的研究中发现,肌肉中的蛋氨酸水平会随着饲料中蛋氨酸水平的升高呈现出一种先升高后稳定的趋势;在胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)(林郁葱, 2012)中发现,肌肉中的精氨酸、组氨酸、亮氨酸和赖氨酸都会随着饲料中蛋氨酸水平的增加而呈现出一种先升后降的趋势;在吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)(向泉等, 2014)中,肌肉中的半胱氨酸、丝氨酸和组氨酸没有表现出显著差异,其余的氨基酸含量都基本呈现了一种先升高后降低的趋势,上述结果与本研究结果基本一致。鱼体肌肉中各种氨基酸含量的上升,说明了随着饲料中蛋氨酸含量的上升,饲料中的氨基酸含量会趋于平衡,所摄食的这些氨基酸就能够更大比例的用于体内蛋白质的合成。

3.3 蛋氨酸水平对血清和肝脏中相关生化指标的影响

通过研究胆汁酸、甘油三酯、血糖、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇来研究饲料中蛋氨酸水平对红鳍东方鲀机体脂肪代谢的影响。胆汁酸是胆固醇代谢过程产生的一系列固醇类物质,胆汁酸能促进脂肪乳化,促进脂类物质的消化吸收,调节脂类代谢(Romański *et al.*, 2007; Sirvent *et al.*, 2004)。在牛蛙(*Rana catesbiana shaw*)(胡田恩等, 2015)中发现,添加适量胆汁酸能够降低血清中血糖的含量,在本研究中,也发现了随着蛋氨酸水平的升高,胆汁酸含量会上升,血清中的血糖则呈现出下降的趋势。血清中甘油三酯含量的上升,表明蛋氨酸水平的上升能够加速脂肪代谢的过程,同罗非鱼(向泉等, 2014)相似,适量的蛋氨酸能够显著提高甘油三酯的含量,但在异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(Wang *et al.*, 2016)中发现,随着蛋氨酸含量的上升,血清中的甘油三酯则没有显著差异。血清中的血糖,随着蛋氨酸水平的增加则呈现了一种降低的趋势,这同胭脂鱼(林郁葱, 2012)中随着蛋氨酸水平的升高,血清中的血糖含量呈现的趋势一致。

谷丙转氨酶和谷草转氨酶常用来评价机体肝脏功能的受损情况,其酶活性升高说明肝脏功能出现了问题。在本研究中,血清中的谷草转氨酶、谷丙转氨酶均无显著差异,但是在肝脏中的谷草转氨酶则呈现了一种先升高再降低的趋势,这同在异育银鲫(Wang *et al.*, 2016)中的发现类似,随着蛋氨酸水平的升高,也是呈现了一种先升高再降低的趋势,说明蛋氨酸的升高会加速脂肪调控,加大肝脏的负担;有研究证明,在蛋氨酸不足或者过量时,都会影响鱼类的转氨酶活性,例如建鲤(Feng *et al.*, 2011)和金鲳鱼(*Xenobrama*) (Niu *et al.*, 2013)。

4 结论

本研究结果表明,饲料中的蛋氨酸水平对红鳍东方鲀幼鱼的生长、饲料利用效率、蛋白质效率产生了显著的影响。在本次实验中,以特定生长率为评价指标,经过二次回归曲线分析:体重为(13.83~82.47) g 的红鳍东方鲀幼鱼对饲料中的蛋氨酸需求量为 1.38%,占饲料蛋白的 2.71%。

参 考 文 献

- Alam MS, Teshima S, Ishikawa M, *et al.* Methionine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* estimated by the oxidation of radioactive methionine. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 7(3): 201–209
- AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 14th edn. Williams S(Eds), Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 1984, 1141
- Baker DH. Comparative species utilization and toxicity of sulfur amino acids. *Journal of Nutrition*, 2006, 136(6 Suppl): 1636S
- Brosnan JT, Brosnan ME. The sulfur-containing amino acids: An overview. *Journal of Nutrition*, 2006, 136(6 Suppl): 1636S
- Chen NS, Ma JZ, Zhou HY, *et al.* Assessment of dietary methionine requirement in largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(8): 1244–1253 [陈乃松, 马建忠, 周恒永, 等. 大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定. *水产学报*, 2010, 34(8): 1244–1253]
- Chiu YN, Austic RE, Rumsey GL. Effect of feeding level and dietary electrolytes on the arginine requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 1988, 69(1–2): 79–91
- Cowey CB. Protein and amino acid requirements: A critique of methods. *Journal of Applied Ichthyology*, 1995, 11(3–4): 199–204
- Cowey CB. Nutrition: Estimating requirements of rainbow trout. *Aquaculture*, 1992, 100(1–3): 177–189
- Espe M, Hevrøy EM, Liaset B, *et al.* Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 132–141
- Feng L, Xiao WW, Liu Y, *et al.* Methionine hydroxy analogue prevents oxidative damage and improves antioxidant status of intestine and hepatopancreas for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio*, var. Jian). *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(6): 595–604
- Gao LJ, Huang YQ, Xia LJ, *et al.* Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(11): 1668–1676 [高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. *水产学报*, 2011, 35(11): 1668–1676]
- Goff JB, Dmiii G. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine. *Aquaculture*, 2004, 241(1–4): 465–477
- Harding DE, Jr AO, Wilson RP. Sulfur amino acid requirement of channel catfish: L-methionine and L-cystine. *The Journal of nutrition*, 1977, 107(11): 2031–2035
- Hu TE, Wang L, Zhang CX, *et al.* Effects of dietary bile acid supplementation on the growth, whole-body composition and apparent nutrient digestibility of Bullfrog (*Rana Catesbelana*). *Acta Hydrobiology Sinica*, 2015, 39(4): 677–685 [胡田恩, 王玲, 张春晓, 等. 饲料中添加胆汁酸对牛蛙生长性能、体组成和营养物质表观消化率的影响. *水生生物学报*, 2015, 39(4): 677–685]
- Kikuchi K, Furuta T, Iwata N, *et al.* Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Aquaculture*, 2009, 298(1–2): 111–117
- Kim KI, Kayes TB, Amundson CH. Requirements for sulfur amino acids and utilization of D-methionine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 1992, 101(1–2): 95–103
- Kim SS, Lee KJ. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 2009, 287(1–2): 219–222
- Klatt SF, Danwitz AV, Hasler M, *et al.* Determination of the lower and upper critical concentration of Methionine + Cystine in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 2016(452): 12–23
- Lin YC. Study on lysine and methionine requirements for juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University, 2012 [林郁葱. 胭脂鱼幼鱼对赖氨酸和蛋氨酸的最适需要量. 华中农业大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Luo Z, Liu YJ, Mai KS, *et al.* Dietary L-methionine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* at a constant dietary cystine level. *Aquaculture*, 2005, 249(1–4): 409–418
- Ma R, Hou H, Mai KS, *et al.* Comparative study on the effects of

- L-methionine or 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid as dietary methionine source on growth performance and anti-oxidative responses of turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 2013, 412–413(6): 136–143
- Mai, KS, Wan, JL, Ai, QH, *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile yellow croaker *Pseudosciaena crocea* R. *Aquaculture*, 2006, 251: 564–572
- Murthy HS, Varghese TJ. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition*, 2015, 4(1): 61–65
- National Research Council (NRC). Nutrient requirements of Fishes. National Academy of Sciences, Washington, DC. 1993
- Niu J, Du Q, Lin HZ, *et al.* Quantitative dietary methionine requirement of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(5): 677–686
- Pack M, Rodehutsord M, Jacobs S, *et al.* Amino acid requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) II. Protein deposition as function of dietary methionine, threonine and arginine. *Journal of Applied Ichthyology*, 1995, 11(3–4): 390–393
- Poppi DA, Quinton VM, Hua K, *et al.* Development of a test diet for assessing the bioavailability of arginine in feather meal fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2011, 314(1–4): 100–109
- Ren H, Zhan XA. Advances in 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]
- Romański KW. The role and mechanism of action of bile acids in the digestive system - Bile acids in the gut. *Advances in Clinical & Experimental Medicine*, 2008, 17(1): 83–89
- Ruchimat T, Masumoto T, Hosokawa H. *et al.* Quantitative methionine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture* 1997, 150(1–2): 113–122
- Sungsam K. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 2009, 287(1–2): 219–222
- Sun Y, Jiang ZQ, Li YQ, *et al.* Effects of dietary lipid on the liver antioxidant capacity and histology of *Takifugu rubripes* juvenile. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2013, 33(3): 27–32 [孙阳, 姜志强, 李艳秋, 等. 饲料脂肪水平对红鳍东方鲀幼鱼肝脏抗氧化酶活力及组织结构的影响. *广东海洋大学学报*, 2013, 33(3): 27–32]
- Simmons L, Moccia RD, Bureau DP, *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.). *Aquaculture Nutrition*, 2015, 5(2): 93–100
- Sirvent A, Claudel T, Martin G, *et al.* The farnesoid X receptor induces very low density lipoprotein receptor gene expression. *FEBS Letters*, 2004, 566(1–3): 173–177
- Takii K, Ukawa M, Nakamura M, *et al.* Suitable lipid level in brown fish meal diet for tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Fisheries Science*, 1995, 61(5): 841–844
- Walton MJ, Cowey CB, Adron JW. Methionine metabolism in rainbow trout fed diets of differing methionine and cystine content. *Journal of Nutrition*, 1982, 112(8): 1525–35
- Wang XM. Study on the optimum dietary protein level of juvenile tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Master's Thesis of Hebei Normal University, 2008, 14–27 [王淑敏. 红鳍东方鲀幼鱼饲料最适蛋白质含量的研究. 河北师范大学硕士研究生学位论文, 2008, 14–27]
- Wang X, Xue M, Figueiredo-Silva C, *et al.* Dietary methionine requirement of the pre-adult gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(3): 509–516
- Xiang X, Zhou XH, Luo L, *et al.* Effects of dietary methionine levels on the growth performance, feed utilization and body composition of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 538–549 [向象, 周兴华, 罗莉, 等. 饲料蛋氨酸水平对吉富罗非鱼生长、饲料利用率和体成分的影响. *水产学报*, 2014, 38(4): 538–549]
- Xiao WW, Feng L, Liu Y, *et al.* Effects of dietary methionine hydroxyl analogue supplement on growth, protein deposition and intestinal enzymes activities of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. jian). *Aquaculture Nutrition* 2010, 17(4): 408–417
- Zhou F, Xiao JX, Hua Y, *et al.* Dietary L-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(5): 469–481
- Zhou QC, Wu ZH, Tan BP, *et al.* Optimal dietary methionine requirement for Juvenile Cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 2006, 258(1–4): 551–557

(编辑 江润林)

Dietary Methionine Requirement of Juvenile Tiger Puffer (*Takifugu rubripes*)

ZHANG Qinggong^{1,2}, LIANG Mengqing^{2①}, XU Houguo², WEI Yuliang²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract A 67-days feeding experiment was conducted to investigate the effects different levels on the growth performance and biochemical parameters of tiger puffer [average body weight: (13.83±0.63) g], and to determine the dietary methionine requirement for tiger puffer. There were six experimental isonitrogenous and isolipidic semipurified diets which were formulated with the graded levels of methionine (0.61%, 0.85%, 1.10%, 1.39%, 1.60%, 1.84%, respectively). Each diet was randomly assigned to triplicate groups, and each group contained 30 individuals. Fish were fed fourth daily(07:00, 12:00, 16:00, 20:00) to apparent satiation. The result showed that no significant differences in protein productive value (PPV) were found among dietary treatments ($P>0.05$). Specific growth rate (SGR), feed conversion ratio(FCR) and protein efficiency ratio (PER) increased with increasing dietary methionine levels from 0.61% to 1.60%($P<0.05$), the highest group was observed in methionine levels 1.60% group, and there after showed a declining tendency with increasing dietary methionine levels from 1.60% to 1.84%. Hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) of the 1.60% methionine diets was significantly higher than that of 0.61% groups ($P<0.05$), with further increase from 1.60% to 1.84%, HSI and VSI decreased. The crude lipid contents of whole body were significantly affected by dietary methionine levels ($P<0.05$), the 1.60% methionine diets was significantly higher than 0.61% groups ($P<0.05$), with further increase from 1.60% to 1.84%, crude lipid decreased. while moisture, crude protein and ash showed no significant differences ($P>0.05$). Dietary methionine levels significantly influenced the contents of triglyceride, bile acid and blood glucose in serum ($P<0.05$), There were no significant difference in total cholesterol, high density lipoprotein cholesterol, low density lipoprotein cholesterol, total protein, activity of glutamic-pyruvic transaminase and glutamic-oxaloacetic transaminase ($P>0.05$) in serum. Second-order regression analysis on the basis of SGR indicated that the optimum dietary methionine requirements of tiger puffer were estimated to be 1.38% of diet (2.71% of dietary protein).

Key words Tiger puffer (*Takifugu rubripes*); Methionine requirement; Growth; Body composition; Physiological and biochemical indices

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn