

· 热带海洋生物 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240038



主持人:郭志强、李秀保

不同饵料对大刺鲃生长和肌肉中氨基酸、脂肪酸的影响

蒋嘉梁,傅 祥,顾志峰

(海南大学 海洋生物与水产学院,海口 570228)

摘 要: 为了了解生物饵料添加对大刺鲃 (*Mastacembelus armatus*) 养殖效果的影响,在大刺鲃的饲料中添加了红虫 (*Chironomidae*)、黄粉虫 (*Tenebrio molitor*) 和大麦虫 (*Zophobas atratus*), 结果发现: 30 d时,添加大麦虫组的鱼体质量显著高于其他3组 ($P < 0.05$), 饲料组最低。60 d时,添加大麦虫组鱼体质量依然显著高于其他3组 ($P < 0.05$)。通过氨基酸检测,添加黄粉虫组的鱼总氨基酸显著高于其他3组 ($P < 0.05$), 而在鲜味氨基酸上,添加大麦虫组鱼体质量显著高于其他3组 ($P < 0.05$)。4组二十碳五烯酸 (EPA) 与二十二碳六烯酸 (DHA) 均无显著差异,添加大麦虫的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸均显著高于其他3组。实验结果表明,投喂添加大麦虫的大刺鲃饵料,鱼的增重效果、肥满度和鲜味氨基酸含量等重要指标上均为最佳。

关键词: 氨基酸; 脂肪酸; 大刺鲃; SFA; MUFA; PUFA

中图分类号: S965.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7054 (2024) 05-0577-09

蒋嘉梁,傅祥,顾志峰. 不同饵料对大刺鲃生长和肌肉中氨基酸、脂肪酸的影响 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(5): 577-585. doi:10.15886/j.cnki.rdswwb.20240038

水产品富含蛋白质和不饱和脂肪酸,是重要的优质食物。多肽类、氨基酸、有机酸等不但反映水产品的营养价值,还可以揭示产品风味参数的差异,尤其是肌肉中氨基酸、脂肪酸的种类和含量决定了水产品口感鲜美的程度。鱼肌肉的鲜美很大程度上取决于鲜味氨基酸 (Asp、Glu、Gly、Ala、Phe、Tyr) 的组成比例^[1]。不饱和脂肪酸成分增加不仅能显著增加香味、反映肌肉的多汁性^[2],还具有降血压、降血脂、免疫调节、降低脑血栓和动脉粥样硬化等心血管疾病的发病几率的作用^[3]。生物饵料自身不仅富含大量的营养成分,在其增殖代谢过程中还可以通过分泌酶类和脂肪酸等营养物质,对鱼类营养物质的消化吸收、生长和水产品质量方面有重要影响^[4]。黄粉虫 (*Tenebrio molitor*) 粉、大麦虫 (*Zophobas atratus*) 粉粗蛋白和粗脂肪含量高,富含微量元素和维生素,饲用价值高,是优质蛋白饲料源^[5]。红虫 (*Chironomidae*)

是黄颡鱼 (*Tachysurus fulvidraco*) 等鱼类的理想开口饵料^[6]。在南美白对虾 (*Litopenaeus Vannamei*)^[7]、黄颡鱼^[8]等水产品上已有相关报道。Paraskevi 等^[9]研究了利用大麦虫替代10%的鱼粉对鱼菜共生养殖下海鲈鱼和生菜生长的影响,结果表明,大麦虫替代组具有更高的增重率;Norat 等^[10]也发现,在饲料中添加大麦虫对亚洲鲈鱼 (*Lates calcarifer*) 生长性能、饲料利用率、营养物表观消化系数和血液生化状况均具有显著的提高或增强效果。Tsion 等^[11]进行了12周太平洋鲑 (*Oncorhynchus*) 的黄粉虫添加投喂试验,结果表明,相较于对照组,投喂组存活率显著提高,但终体质量、饲料利用率、粪便稳定性等指标差异不显著。熊阳等^[6]研究发现,在YY超雄黄颡鱼大规格苗种培育过程中,早期投喂红虫有助于保证性腺发育及后续受精率的正常。

大刺鲃 (*Mastacembelus armatus*) 隶属于合鳃目

收稿日期: 2024-03-11

修回日期: 2024-03-26

基金项目: 海南省院士创新平台建设项目 (HD-YSZX-202011); 海南省自然科学基金项目 (323QN197); 海南大学科研启动基金项目 (KYQD(ZR)22050)

第一作者: 蒋嘉梁 (1996-), 男, 海南大学海洋生物与水产学院2021级硕士研究生。E-mail: 513703775@qq.com

通信作者: 顾志峰 (1972-), 男, 教授, 硕导。研究方向: 贝类养殖、观赏水族与休闲渔业。E-mail: hnugu@163.com

(Symbranchiformes)刺鳅科(Mastacembelidae),通常栖息在有沙石或巨石基质的溪流中^[12],主要分布于我国长江以南,包括云南、贵州、广东、福建和海南等省。其肌肉蛋白质含量高,含有17种氨基酸、24种脂肪酸、多种矿物质与不饱和脂肪酸(UFA)^[13],无肌间刺,具有良好的口感和营养价值,是优质食用水产品,深受我国南方消费者喜爱。因此,大刺鳅具有重要的经济价值^[14]。近年来,由于市场供不应求造成的过度捕捞,和城市、水利设施建设导致的江河环境破坏,致使大刺鳅种质资源日益枯竭^[12],一些地区出台政策对野生种群种质资源进行保护和管理,在一定程度上使得大刺鳅的种群数量有所回升^[15]。目前,有关大刺鳅的研究主要涉及生物学特性^[16]、遗传多样性^[17]、人工繁育及养殖技术^[18-19]、营养成分分析^[13,20]等方面,人工投喂采用的主要是人工配合饲料,尚未见生物饵料添加对大刺鳅生长和肌肉营养成分影响的相关报道。为此,本研究以人工配合饲料中添加红虫、黄粉虫、大麦虫投喂大刺鳅幼苗,比较大刺鳅生长和氨基酸与脂肪酸的组成,旨在揭示生物饵料添加对大刺鳅养殖效果的影响,为研发适宜大刺鳅的人工饵料提供资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料 实验用鱼来自海南省文昌市东路镇养殖场(19°47'13"N, 110°41'00"E),大刺鳅暂养7 d并经过24 h饥饿处理,其平均每尾体质量为 (1.70 ± 0.16) g、平均体长为 (8.26 ± 0.29) cm。人工配合饲料选用福建天马科技集团股份有限公司产品^[21],其主要营养成分有粗蛋白($\geq 43.0\%$)、灰分($\leq 18.0\%$)、水分($\leq 10.0\%$)、粗脂肪($\geq 4.0\%$)、粗纤维($\leq 4.0\%$)、总磷($\geq 1.0\%$)。红虫、黄粉虫、大麦虫购自广州熙怡生物科技有限公司。饵料捣碎后以1:1:1质量比与人工配合饲料和水混匀并揉搓成型。

1.2 实验设置 实验共设置了4组(共12个水族箱),配合饲料组(CF)、红虫+配合饲料组(CCF)、黄粉虫+配合饲料组(TCF)、大麦虫+配合饲料组(ZCF)。将其随机分为4组,每组3个平行,每个平行15尾。每组的每个平行投喂相同质量的饲料。养殖周期为60 d,在饲养30、60 d时,测量其体长、体质量,并在60 d时取其肌肉检测其氨基酸与脂肪酸。实验结束停食24 h后,活鱼于解剖盘上解剖剥皮后,迅速取鱼体两侧头后至尾柄前的全部肌肉,每组的每个平行,取3尾实验鱼肌肉组织混为1个样本,每组3个样本,经液氮

速冻后置于-80℃冰箱保存。样品送上海美吉生物医药科技有限公司分析检测。

1.3 养殖管理 水族箱规格为100 cm×40 cm×60 cm,缸中铺设管径和长短适宜的PVC管供实验鱼栖息,水温控制在26~28℃,溶氧保持 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,采用实验室循环水系统养殖。每天15:00和21:00进行喂食,投喂量为其体质量的5%,每组每个平行投喂相同质量的饲料。

1.4 检测与计算 生长指标测定:喂养30 d后测量大刺鳅体质量、体长作为中期数据,喂养60 d后测量大刺鳅体质量、体长作为末期数据,并计算其生长速度。

$$\text{特定生长率}(SGR) = (\ln W_f - \ln W_0) / D \times 100\%,$$

$$\text{肥满度}(CF) = W_f / L^3 \times 100\%,$$

式中, W_0 为初始体质量(g); W_f 为测量体质量(g); D 为养殖实验时间(d); L 为实验鱼体长(cm)。特定生长率的单位为%/d,肥满度的单位为%。

氨基酸检测分析:采用LC-MS靶向代谢组学进行定性定量分析。称取21种氨基酸标品适量标品,加 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl水溶解定容至1 mL,用 $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ TCA溶液稀释成10个不同浓度的工作液,以配制氨基酸标准液。样品称取约20 mg,处理后采用LC-ESI-MS/MS(UHPLC-Qtrap)对样品中的目标物进行定性定量检测。在AB Sciex定量软件OS中,采用默认参数对各离子碎片进行自动识别和积分,以分析物浓度为横坐标,分析物质谱峰面积为纵坐标绘制线性回归标准曲线,将样品分析物质谱峰面积代入线性方程中计算样本浓度。

脂肪酸检测分析:取1 mL二氯甲烷,溶解100 mg 36种脂肪酸甲酯混标,即可得36种脂肪酸甲酯的混标储备溶液A。取100 μL 的A溶液,加入900 μL 二氯甲烷,即可得36种脂肪酸甲酯的混标中间液B。将取上述混标中间液B溶液稀释成工作液,装入进样小瓶中,进GC-MS分析。精准称取50 mg样品经研磨加试剂处理提取后使用安捷伦公司(Agilent Technologies Inc. CA, UAS)的8890-7000DGC/MSD气质联用仪进行GC-MS分析。在Masshunter定量软件(美国Agilent公司,版本号:v10.0.707.0)中采用默认参数对各离子碎片进行自动识别和积分,线性回归标准曲线和计算方式同氨基酸检测一致。

1.5 数据处理 采用SPSS软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),使用其LSD算法进行计

算分析,结果以平均值 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)表示,设置 $P < 0.05$ 为显著差异,使用 origin 绘图。

2 结果与分析

2.1 大刺鳅体长和体质量 从图 1-A 可见,30 d 时,添加生物饵料组均与没有添加生物饵料的对照组(CF 组)体长没有显著差异,但是,添加红虫的处理组(CCF 组)与添加大麦虫的处理组(ZCF 组)间的体长差异显著($P < 0.05$);而添加黄粉虫的处理组(TCF 组)与 CCF 组、ZCF 组彼此间大刺鳅体长差异均不显

著。添加生物饵料组的体质量均高于对照组,CCF 组高于对照组但低于 TCF 组,且与 TCF 组没有显著差异。ZCF 是 4 组最高的,且显著高于其他 3 组($P < 0.05$)。实验 60 d 时(图 1-B),添加生物饵料组均高于对照组的体长,但 CCF、TCF 组与对照组有差异但不显著。ZCF 组体长最高,显著高于对照组($P < 0.05$),但与 CCF、TCF 组差异不显著。添加生物饵料组均高于对照组的体质量,但 CCF、TCF 组与对照组差异不显著。ZCF 组体质量最高,显著高于对照组($P < 0.05$),但与 CCF、TCF 组差异不显著(图 1-B)。

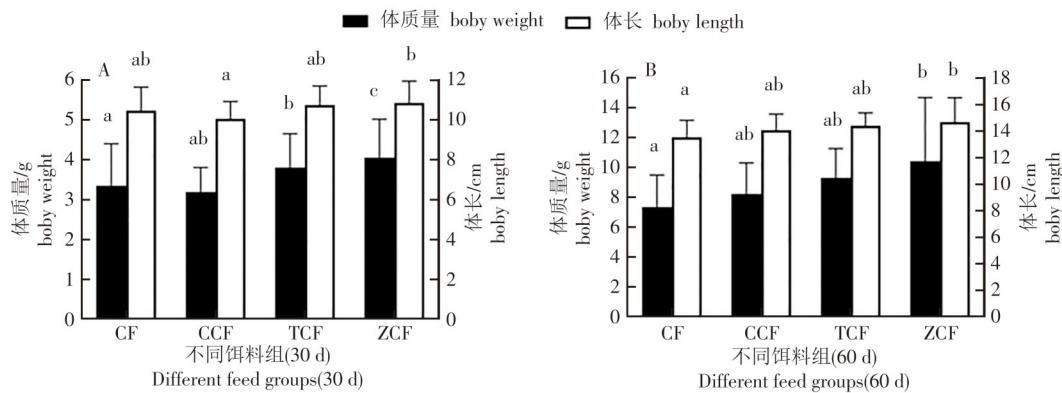


图1 不同饵料添加组大刺鳅的体质量和体长

图柱上不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 1 Body weight and body length of *Mastacembelus armatus* in different feeding groups

Different lowercase letters on the chart column in the same survey area indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.2 大刺鳅特定生长率和肥满度 从表 1 可知,饵料添加组均高于对照组的生长速率。大麦虫组(ZCF)生长速率最高,但与黄粉虫组(TCF)没有显著差异。TCF 组高于红虫组(CCF)但没有显著差异,TCF 组与对照组同样没有显著差异。而在肥满度上,饵料添加组与对照组则没有差异。实验 60 d

时,添加生物饵料组均高于对照组的生长速率。TCF 组高于其他 3 组,且与对照组有显著差异($P < 0.05$),但与 CCF 组、ZCF 组的差异不显著。在肥满度上,对照组高于 CCF 组、低于 ZCF 组与 TCF 组但均差异不显著,ZCF 与 TCF 组为同一水平,且均显著高于 CCF 组($P < 0.05$)。

表1 不同饵料添加组对大刺鳅生长、形态的影响

Tab. 1 Effects of different feeding groups on growth and morphology of *Mastacembelus armatus*

项目 items		组别 group			
		配合饲料组 compound feed group CF	红虫+配合饲料组 blood worm + com- pound feed group CCF	黄粉虫+配合饲料组 meal worm + com- pound feed group TCF	大麦虫+配合饲料组 barely worm + com- pound feed group ZCF
特定生长率 (WGR)/(%/d) Specific growth rate	喂养 30 d feeding 30 days	1.86 $\pm$ 0.63 ^a	2.04 $\pm$ 0.68 ^{ab}	2.60 $\pm$ 0.79 ^{bc}	2.81 $\pm$ 0.79 ^c
	喂养 60 d feeding 60 days	2.37 $\pm$ 0.49 ^a	2.58 $\pm$ 0.42 ^{ab}	2.80 $\pm$ 0.36 ^{ab}	2.89 $\pm$ 0.70 ^b
肥满度(CF)/% Condition factor	喂养 30 d feeding 30 days	0.29 $\pm$ 0.04	0.32 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.03	0.31 $\pm$ 0.03
	喂养 60 d feeding 60 days	0.29 $\pm$ 0.03 ^a	0.29 $\pm$ 0.02 ^a	0.31 $\pm$ 0.02 ^b	0.31 $\pm$ 0.03 ^b

注:表格中同一行上标的不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Notes: In the same row, values with different superscripts mean significant differences ($P < 0.05$). similarly hereinafter.

2.3 不同饵料组大刺鲃氨基酸组成差异 60 d 后,测定不同饵料组大刺鲃氨基酸组成(表2)。从表2可知,不同组的氨基酸构成差异较大,CCF组与ZCF组鲜味氨基酸明显高于CF组与TCF组($P < 0.05$)。TCF组在总氨基酸量上明显高于其他3组($P < 0.05$),而CF组最低。而在必需氨基酸中,CF组最低($P < 0.05$),TCF组最高($P < 0.05$),其他2组差距不大($P > 0.05$)。酸性氨基酸与芳香氨基酸各组差距不大,无显著差异($P > 0.05$)。ZCF的甜味氨基酸显著高于其他3组($P < 0.05$),而TCF组的苦味氨基酸显著高于其他3组($P < 0.05$)。

表2 不同饵料组对大刺鲃氨基酸的影响
Tab. 2 Effect of different diet groups on amino acids of *Mastacembelus armatus* ng·mg⁻¹

氨基酸 Amino acid	组别 group			
	配合饲料组 compound feed group CF	红虫+配合饲料组 blood worm + com- pound feed group CCF	黄粉虫+配合饲料组 meal worm + compound feed group TCF	大麦虫+配合饲料组 barely worm + com- pound feed group ZCF
异亮氨酸 Ile	21.70 ± 4.38	27.38 ± 6.75	23.21 ± 5.72	21.24 ± 3.52
亮氨酸 Leu	75.42 ± 14.99	92.34 ± 11.96	78.16 ± 14.93	96.46 ± 28.83
色氨酸 Trp	26.62 ± 3.19	23.97 ± 2.19	23.82 ± 2.50	27.53 ± 4.21
赖氨酸 Lys	273.72 ± 74.70 ^a	456.93 ± 160.59 ^{ab}	679.81 ± 126.51 ^b	326.12 ± 150.27 ^a
蛋氨酸 Met	21.10 ± 3.57	27.60 ± 5.95	25.84 ± 6.07	19.23 ± 3.11
苯丙氨酸 Phe	38.14 ± 6.30	52.94±7.48	42.62 ± 12.24	45.73±1.66
苏氨酸 Thr	198.12 ± 13.29 ^a	197.94 ± 34.01 ^a	189.90 ± 65.92 ^a	326.91 ± 89.44 ^b
缬氨酸 Val	31.81 ± 3.94	39.32 ± 8.21	36.99 ± 7.00	30.84 ± 4.72
精氨酸 Arg	618.82 ± 108.89	672.56 ± 71.42	693.87 ± 148.77	858.50 ± 262.23
组氨酸 His	3 557.25 ± 277.73 ^b	3 341.03 ± 37.24 ^b	4 235.69 ± 250.34 ^c	2 418.33 ± 189.65 ^a
丙氨酸 Ala	1 300.73 ± 104.32	1 299.23 ± 180.41	1 356.18 ± 57.24	1 234.00 ± 38.86
天冬酰胺 Asn	34.98 ± 7.85 ^{ab}	50.91 ± 17.00 ^{ab}	83.16 ± 49.62 ^b	21.74 ± 6.71 ^a
天冬氨酸 Asp	69.73 ± 14.20	84.21 ± 13.33	65.58 ± 20.21	80.66 ± 26.20
谷氨酰胺 Gln	1 097.74 ± 361.85 ^a	1 516.03 ± 355.11 ^a	2 117.64 ± 234.36 ^b	1 152.83 ± 285.02 ^a
谷氨酸 Glu	142.69 ± 36.09	157.37 ± 9.29	144.56 ± 33.45	210.91 ± 57.36
甘氨酸 Gly	508.14±87.12 ^a	1 077.95±182.56 ^c	621.58 ± 110.70 ^{ab}	965.99 ± 295.09 ^{bc}
半胱氨酸 Cys	7.60 ± 1.21	8.63 ± 1.64	7.85 ± 2.23	8.54 ± 1.97
羟脯氨酸 Hyd	181.74 ± 8.34 ^a	192.46 ± 24.16 ^a	206.16 ± 18.71 ^{ab}	232.32 ± 26.89 ^c
脯氨酸 Pro	163.03 ± 62.92	133.30 ± 38.55	116.26 ± 28.34	265.16 ± 165.02
丝氨酸 Ser	293.54 ± 19.34 ^a	317.23 ± 60.64 ^a	376.38 ± 67.59 ^{ab}	521.28 ± 128.54 ^b
酪氨酸 Tyr	30.45 ± 7.58 ^a	52.88 ± 10.26 ^b	41.43 ± 8.88 ^{ab}	33.59 ± 2.46 ^a
酸性氨基酸	212.42 ± 30	241.58 ± 22.61	210.14 ± 33.26	291.57 ± 51.16
碱性氨基酸	4 449.79 ± 148.28 ^b	4 470.52 ± 139.93 ^b	5 609.37 ± 355.59 ^c	3 602.95 ± 40.57 ^a
芳香氨基酸	95.21 ± 12.05	129.79 ± 19.24	107.87 ± 22.7	106.85 ± 5.64
甜味氨基酸	3 416.6 ± 157.62 ^a	4 230.68 ± 166.65 ^{bc}	4 104.66 ± 187.01 ^b	4 556.57 ± 183.03 ^c
苦味氨基酸	5 015.45 ± 151.83 ^b	5 075.45 ± 136.41 ^b	6 148.41 ± 305.39 ^c	4 429.41 ± 262.58 ^a
Σ TEAA 必需氨基酸	686.62 ± 66.86 ^a	918.4 ± 133.67 ^{ab}	1 100.34 ± 118.25 ^b	894.06 ± 134.17 ^{ab}
Σ TNEAA 非必氨基酸	3 648.63 ± 382.33 ^a	4 697.74 ± 362.8 ^b	4 930.62 ± 399.63 ^b	4 494.7 ± 366.41 ^b
Σ TAA 总氨基酸	9 379.68 ± 424.69 ^a	10 740.29 ± 625.46 ^b	12 267.03 ± 680.57 ^c	9 791.98 ± 447.98 ^{ab}
Σ DAA 鲜味氨基酸	2 089.88 ± 26.06 ^a	2 724.57 ± 15.91 ^b	2 271.96 ± 176.54 ^a	2 570.88 ± 222.63 ^b

2.4 不同饵料组大刺鲃脂肪酸组成差异 从表3可知,60 d后,对照组中 $C_{6:0}$ 均高于饵料添加组,且有显著性差异($P < 0.05$),而饵料组间无显著差异。对照组与CCF、TCF组中 $C_{6:0}$ 均无显著差异,而ZCF

高于这3组,且有显著差异($P < 0.05$)。对照组中 $C_{11:0}$ 高于CCF与TCF组、低于ZCF组且饵料添加组与对照组间的差异均并不显著。 $C_{14:0}$ 、 $C_{16:0}$ 与 $C_{16:1}$ 情况相同,对照组与TCF无显著差异,CCF组高于

表3 不同饵料组对大刺鲃脂肪酸的影响

Tab. 3 Effects of different diet groups on fatty acids of *Mastacembelus armatus* $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$

脂肪酸 Fatty acid	组别 Group			
	配合饲料组 compound feed group CF	红虫+配合饲料组 blood worm + compound feed group CCF	黄粉虫+配合饲料组 meal worm + compound feed group TCF	大麦虫+配合饲料组 barely worm + compound feed group ZCF
$C_{6:0}$	0.51 ± 0.1^b	0.28 ± 0.12^a	0.31 ± 0.02^a	0.28 ± 0.06^a
$C_{8:0}$	0.43 ± 0.03^a	0.39 ± 0.02^a	0.36 ± 0.01^a	1.03 ± 0.14^b
$C_{10:0}$	0.73 ± 0.11	0.91 ± 0.14	0.69 ± 0.11	2.52 ± 1.56
$C_{11:0}$	0.81 ± 0.01^{ab}	0.74 ± 0.05^a	0.73 ± 0.04^a	0.86 ± 0.03^b
$C_{12:0}$	2.33 ± 0.77	3.72 ± 2.23	2.01 ± 0.26	4.37 ± 1.32
$C_{13:0}$	1.46 ± 0.19	1.94 ± 0.78	1.25 ± 0.14	2.15 ± 0.47
$C_{14:0}$	74.56 ± 5.6^a	119.6 ± 12.25^b	85.59 ± 21.24^a	293.02 ± 18.55^c
$C_{14:1}$	20.69 ± 1.47	20.66 ± 2.95	19.01 ± 0.54	23.96 ± 2.8
$C_{15:0}$	11.22 ± 4.83	21.19 ± 14.82	9.87 ± 2.28	24.32 ± 10.63
$C_{15:1}$	19.18 ± 0.58	18.25 ± 1.39	17.81 ± 0.75	21.21 ± 2.21
$C_{16:0}$	435.52 ± 38.52^a	668.2 ± 73.11^b	532.76 ± 55.08^a	$1\ 692.34 \pm 39.04^c$
$C_{16:1}$	256.72 ± 9.51^a	361.11 ± 43.98^b	279.59 ± 43.91^a	$1\ 155.42 \pm 36.24^c$
$C_{17:0}$	31.72 ± 4.76	43.57 ± 17.35	29.67 ± 1.21	51.72 ± 11.11
$C_{17:1}$	26.09 ± 2.98	30.84 ± 8.87	24.17 ± 1.05	36.67 ± 6.1
$C_{18:0}$	225.76 ± 36.35^a	363.89 ± 17.48^b	298.83 ± 36.96^b	883 ± 46.43^c
$C_{18:1n9c}$	610.99 ± 43.58^a	$1\ 117.05 \pm 153.78^b$	884.46 ± 149.16^b	$3\ 393.29 \pm 169.23^c$
$C_{18:2n6c}$	555.93 ± 89.63^a	$1\ 199.53 \pm 140.96^b$	671.19 ± 66.06^a	$3\ 081.02 \pm 177.6^c$
$C_{18:3n6}$	25.07 ± 2.41^a	29.14 ± 5.96^a	24.22 ± 2.3^a	44.24 ± 10.3^b
$C_{18:3n3}$	58.03 ± 2.31^a	95.83 ± 11.62^b	54.12 ± 4.01^a	214.02 ± 17.21^c
$C_{18:0}$	25.39 ± 2.65	28.52 ± 6.26	24.09 ± 1.38	36.66 ± 7.01
$C_{20:1n9}$	41.94 ± 0.9^a	68.58 ± 1^b	49.76 ± 7.83^a	175.27 ± 11.03^c
$C_{20:2}$	30.52 ± 5.84	52.76 ± 16.46	28.5 ± 2.79	48 ± 10.33
$C_{21:0}$	2.52 ± 0.9	2.8 ± 0.77	1.93 ± 0.2	3.63 ± 0.64
$C_{20:3n6}$	24.99 ± 3.26^a	24.33 ± 2.66^a	22.92 ± 0.23^a	31.54 ± 3.19^b
$C_{20:4n6}$	34.66 ± 3.05	45.7 ± 11.31	38.34 ± 1.28	44.63 ± 9.89
$C_{20:3n3}$	22.75 ± 1.67	26.9 ± 4.82	21.35 ± 2.87	32.61 ± 6.7
$C_{22:0}$	20.44 ± 0.6	20.9 ± 2.63	19.25 ± 0.64	23.94 ± 2.9
$C_{20:5n3}$	34.46 ± 5.87	48.04 ± 18.67	33.26 ± 2.45	43.46 ± 12.44
$C_{22:1n9}$	25.52 ± 2.23	23.06 ± 2.42	22.8 ± 0.45	28.55 ± 3.27
$C_{24:0}$	2.25 ± 0.28	2.83 ± 0.46	2.31 ± 0.18	2.24 ± 2.18
$C_{24:1n9}$	97.18 ± 10.51	170.44 ± 26.1	148.79 ± 24.78	159.41 ± 54.4
$C_{22:6n3}$	214.27 ± 35.53	377.31 ± 28.49	271.33 ± 9.29	375.23 ± 137.16
SFA	835.62 ± 86.83^a	$1\ 279.47 \pm 113.93^b$	$1\ 009.65 \pm 117.47^a$	$3\ 022.08 \pm 49.97^c$
MUFA	$1\ 072.79 \pm 47.21^a$	$1\ 786.93 \pm 223.45^c$	$1\ 423.6 \pm 192.64^b$	$4\ 965.23 \pm 185.61^d$
PUFA	$1\ 000.69 \pm 140.37^a$	$1\ 899.55 \pm 206.1^b$	$1\ 165.23 \pm 67.28^a$	$3\ 914.76 \pm 323.32^c$

这两组且有显著性差异,而ZCF组最高,与各组均有显著性差异($P < 0.05$)。对照组中 $C_{18:0}$ 与 $C_{18:1n9c}$ 情况相同,均低于饵料添加组,而CCF组与TCF为同一水平且与对照组有显著性差异($P < 0.05$),而ZCF组最高,与其他3组间均有显著性差异($P < 0.05$)。对照组和TCF组的 $C_{18:2n6c}$ 没有显著性差异,CCF高于对照组与TCF组且有显著性差异($P < 0.05$),而ZCF组最高且与CCF组有显著性差异($P < 0.05$)。对照组、TCF与CCF组在 $C_{18:3n3}$ 上没有显著性差异,ZCF则高于这3组,且有显著性差异($P < 0.05$)。对照组与TCF组的 $C_{18:3n3}$ 和 $C_{20:1n9}$ 没有显著性差异,CCF组高于这两组且有显著性差异($P < 0.05$),而ZCF组最高并与其他3组均有显著性差异($P < 0.05$)。

对照组、CCF组和TCF组的 $C_{20:3n6}$ 没有显著性差异,而ZCF组最高,且与其他3组有显著性差异($P < 0.05$)。对照组和TCF组的饱和氨基酸(SFA)无显著性差异,CCF组高于这两组且有显著性差异($P < 0.05$),ZCF组最高且与其他3组均有显著性差异($P < 0.05$)。在单不饱和脂肪酸(MUFA)上,4组间均有显著性差异($P < 0.05$),大小顺序是:ZCF > CCF > TCF > 对照组。对照组与TCF组的多不饱和脂肪酸(PUFA)没有显著性差异,CCF组高于这两组且有显著性差异($P < 0.05$),而ZCF组最高,与3组均有显著性差异($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 添加生物饵料对大刺鲃稚鱼生长的影响 营养美味的大刺鲃作为近几年刚刚兴起的人工养殖淡水鱼类,其繁育、养殖与饲喂技术都还待研究。饵料因其营养丰富、高蛋白且可持续性越来越多地应用于水产动物饲料中替代鱼粉,具有较高的研究前景。丁海峰^[22]在实验中比较了3种常用生物饵料,结果发现,红虫对性成熟之前的大刺鲃投喂能够使其增重效果最佳。王孝宇^[23]将黄粉虫作为蛋白原对草鱼进行饲喂实验,结果表明,与对照组相比,添加了41.09%的黄粉虫组的草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)的增重率得到了显著的提高。任顺^[24]等的研究也显示,饲料中添加黄粉虫组与对照组相比对锦鲤(*Cyprinus carpio*)幼鱼生长最有利,且添加量在40%时效果最佳。以上研究的结果与本实验相似,本试验中3组饵料添加组的大刺

鲃在增重率上相较于未添加组的大刺鲃均有显著提升,其中,尤其以大麦虫最为显著,在30 d和60 d时均是生长性能最佳的一组,与对照组均有显著差异。由此可见,大麦虫在大刺鲃人工养殖过程对提高生长速率、增加肥满度都具有良好效果。潘红平^[25]等发现,在饲养锯缘青蟹(*Scylla serrata*)15 d和30 d时,添加组与饵料添加组的增重率没有显著差异,但在45 d结束养殖时,添加10%大麦虫组比对照组显著高于对照组($P < 0.05$),这与本实验结果相似。莫兆莉^[26]等通过进一步研究发现,在饲养15 d时添加不同浓度的大麦虫组之间的增重率没有显著差异,在饲养30 d时浓度在4%的大麦虫组增重率最高,而在45 d时大麦虫添加量在32%的增重率最高。吴凡^[27]的研究结果表明,在饲料中添加大麦虫与黑水虻(*Hermetia illucens*)的翘嘴鲃(*Siniperca chuatsi*)的增重率明显高于对照组,而大麦虫添加组的效果又高于黑水虻添加组。本实验中,大麦虫组的增重率在30 d和60 d时也均高于其他组,可见大麦虫作为水生生物的饵料在增重效果上更佳。

3.2 不同饵料对大刺鲃稚鱼氨基酸组成和含量的影响 肉质的鲜味主要由挥发性味道物质和非挥发性的风味物质决定。目前,已经确定的肉品味道成分主要包括醇、醛、酮、内脂以及杂环物质,其中游离氨基酸和蛋白质等是主要的味道成分^[28]。本研究发现,饵料添加组大刺鲃的呈味氨基酸(Glu、Asp、Gly和Ala)与甜味氨基酸显著高于未添加组($P < 0.05$),这与邹洁明^[29]的研究结果一致,与对照组相比,黄粉虫混合饲料投喂能够提高鱼肌肉鲜味氨基酸的含量,提高肉质鲜味。马林等^[30]发现,与对照组相比,生物饵料添加组中亮氨酸、必需氨基酸和总氨基酸含量显著高于饵料组($P < 0.05$),这与本实验中结果相似。Li等^[31]的研究结果表明,添加黄粉虫能显著增加镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis*)肌肉中甘氨酸和羟脯氨酸含量,与本实验结果相似。黄旺^[32]的试验表明,与对照组相比,黄粉虫会降低鱼类肌肉必需氨基酸含量,这与本实验中总黄粉虫组显著高于其他3组,红虫组次之,饲料组最低的结果具有一定差异,可能的原因是中华倒刺鲃人工配合饲料相较于成熟,饲料氨基酸含量显著高于鲜活昆虫,而大刺鲃人工配合饲料起步较晚,氨基酸含量尚未达

到最适含量,添加的昆虫进而对饲料进行了氨基酸含量补充以满足大刺鲃生长需求;同时与对照组相比,黄粉虫添加组的 Ala、Cys、Val、Met、Ile、Phe、Arg 含量无显著差异($P > 0.05$),在本实验中这几种氨基酸与对照组相比黄粉虫组同样没有显著差异,甚至与其他饵料添加组相比也没有显著差异,可见这几类氨基酸在鱼体内比较稳定,受饵料影响不大。刘敏等^[5]发现,与已知常见昆虫饵料相比,大麦虫的必需氨基酸含量较高,这与本实验结果相似。根据实验结果,同种鱼类投喂不同种饵料会影响其肌肉中的氨基酸含量^[33],且大刺鲃人工配合饲料仍需根据大刺鲃生长状况改进。

3.3 不同饵料对大刺鲃稚鱼脂肪酸组成和含量的影响

脂肪酸是生物体内不可或缺的营养成分之一^[34]。其组成与含量不仅能体现机体的营养水平,同时还能反映鱼类摄食与健康状况^[35]。不饱和脂肪酸有着降低甘油三酯、胆固醇、低密度脂蛋白水平的作用,能降低心脑血管疾病的发生。是人体不可或缺却又无法自主合成的脂肪酸,必须从食物中获取。多不饱和脂肪酸(PUFA)不仅是食物香味的主要来源之一,也是人类机体在正常生活下不可或缺的营养物质。其中n-3系列PUFA作为人体PUFA重要的一员,主要来源于富含n-3系列PUFA的肉类等食物,其中水产养殖动物是最为主要的来源之一。目前,人们获取该脂肪酸主要依靠于深海鱼油,但是随着近年来的海洋环境污染和自然资源短缺问题的加剧,鱼油越来越不能满足市场的需求。邹洁明^[29]的实验表明,在饲料中添加黑水虻幼虫能够有效提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)肌肉中PUFA含量。这与本试验的结果相似,本试验中混合饵料的饲料也能够有效提高大刺鲃肉质中PUFA含量。单不饱和脂肪酸(MUFA)作为膳食脂肪酸的一类,主要由豆蔻油酸、棕榈油酸、油酸等组成。马林等^[30]通过投喂翘嘴鲃对比人工饲料与生物饵料发现投喂生物饵料的翘嘴鲃肌肉中MUFA含量显著高于投喂人工饲料的翘嘴鲃肌肉,本实验中饵料添加组的MUFA均显著高于对照组($P < 0.05$),且饵料组间均有显著差异($P < 0.05$),顺序是大麦虫>黄粉虫>红虫。郑金宇^[28]在其研究中发现饲料中添加黄粉虫会显著提高凡纳滨对虾(*Litopenaeus Vannamei*)肉质中MUFA含量,这与本研究结果相似。周

根来等^[36]通过实验发现与传统的人工饲料相比,大麦虫的脂肪酸含量更加丰富,这在本实验中大麦虫组的MUFA与PUFA均显著高于其他组得到体现。

饱和脂肪酸(SFA)是含饱和键的脂肪酸,是心脑血管杀手,是导致慢性疾病的罪魁祸首之一。本研究中发现大麦虫组的SFA显著高于其他组,这与周根来^[36]对大麦虫脂肪酸的研究相一致。马林^[30]发现与对照组相比,投喂生物饵料的翘嘴鲃肌肉中富含更高的棕榈酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)更高,这与本实验相似,且这两种饱和脂肪酸大麦虫组的含量显著高于其他饵料组($P < 0.05$);马林的实验中生物饵料组的SFA同样显著高于对照组,而本实验中饵料组与黄粉虫组没有显著差异且显著低于红虫与大麦虫组,大麦虫组含量最高,与其他饵料组均有显著差异。郑金宇^[28]在用黄粉虫替代鱼粉投喂凡纳滨对虾的实验中,黄粉虫含量低于80%的鱼粉组中SFA与对照组没有显著差异,这进一步佐证了本研究中黄粉虫组与对照组无显著差异的结论。

综上,大麦虫组在SFA、PUFA、MUFA均显著高于其他3组。但SFA对人体的负面影响使得投喂黄粉虫更加健康。

本研究采用不同饵料饲喂的策略,通过对养殖30 d和60 d大刺鲃的生长性能、氨基酸和脂肪酸含量进行测定。结果显示,各组成活率均为100%。配合大麦虫投喂的大刺鲃表现出更为优越的生长态势,特别是在SFA、MUFA和PUFA的提升方面表现最为显著。同时,投喂大麦虫与黄粉虫的大刺鲃在肥满度上明显高于其他两组。此外,在鲜味氨基酸的表现上,红虫和大麦虫的效果相媲美且明显优于其他2组。这些研究结果为更深入理解大刺鲃科学饲养的配制提供了思路,并为实际生产养殖过程提供了可操作的理论依据。

参考文献:

- [1] 王裕玉. 乌苏里拟鲿 *Pseudobagrus ussuriensis* 品质评价、适宜蛋白能量水平和氨基酸需要量及对豆粕的利用研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [2] STEPHAN A, STEINHART H. Bitter taste of unsaturated free fatty acids in emulsions: contribution to the off-flavour of soybean lecithins[J]. European Food Research and Technology, 2000, 212(1): 17-25.
- [3] DEN RUIJTER H M, BERECKI G, VERKERK A O, et al.

- Acute administration of fish oil inhibits triggered activity in isolated myocytes from rabbits and patients with heart failure[J]. *Circulation*, 2008, 117(4): 536–544.
- [4] TREME T, WANG A, XIE M, et al. Paraprobiotics and Postbiotics of Probiotic Lactobacilli, Their Positive Effects on the Host and Action Mechanisms: A Review[J]. *Front Nutr*, 2020, 7: 570344.
- [5] 刘敏, 张海涛, 孙广文. 水产饲料中动物性蛋白源替代鱼粉的研究进展[J]. *饲料工业*, 2019, 40(22): 48–54.
- [6] 熊阳, 王帅, 郭稳杰, 等. 不同动物饵料对YY超雄黄颡鱼性腺发育的影响[J]. *水产学报*, 2020, 44(2): 245–252.
- [7] 赵海运, 赵斌, 张玲, 等. 大麦虫蛋白粉在南美白对虾幼体开口饵料中的应用[J]. *天津农学院学报*, 2011, 18(4): 20–23.
- [8] 苏时萍, 杨启超, 苏雷, 等. 2种虫源性蛋白替代鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长、体成分和蛋白酶活性的影响[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2010, 39(6): 608–613.
- [9] STATHOPOULOU P, ASIMAKI A, BERILLIS P, et al. Aqua-ento-ponics: effect of insect meal on the development of sea bass, *Dicentrarchus labrax*, in co-culture with lettuce[J]. *Fishes*, 2022, 7(6): 397.
- [10] PRACHOM N, BOONYOUNG S, HASSAAN M S, et al. Preliminary evaluation of Superworm (*Zophobas morio*) larval meal as a partial protein source in experimental diets for juvenile Asian Sea bass, *Lates calcarifer*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2021, 27(5): 1304–1314.
- [11] HABTE-TSION H M, HAWKYARD M, SEALEY W M, et al. Effects of fishmeal substitution with mealworm meals (*Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus*) on the growth, physiobiochemical response, digesta microbiome, and immune genes expression of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2024: 6618117.
- [12] HOSSAIN M Y, HOSEN M A, YAHYA K, et al. Threatened fishes of the world: *Mastacembelus armatus* (lacepede, 1800) (Synbranchiformes: Mastacembelidae) [J]. *Croatian Journal of Fisheries*, 2015, 73(3): 137–139.
- [13] 樊海平, 邱曼丽, 钟全福, 等. 不同生长阶段野生和养殖大刺鲃营养成分的比较[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(8): 92–96.
- [14] LI Q, XU R, SHU H, et al. The complete mitochondrial genome of the Zig-zag eel *Mastacembelus armatus* (Teleostei, Mastacembelidae)[J]. *Mitochondrial DNA Part A, DNA Mapping, Sequencing, and Analysis*, 2016, 27(1): 330–331.
- [15] 何美峰, 袁定清, 崔利峰, 等. 汀江大刺鲃国家级水产种质资源保护区鱼类群落结构及其影响因子[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(1): 121–129.
- [16] 赵子明, 刘美剑. 我国刺鲃生物学研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(4): 9–12.
- [17] 林婷婷. 大刺鲃(*Mastacembelus armatus*)微卫星标记开发及野生群体遗传多样性分析[D]. 广州: 广州大学, 2017.
- [18] 薛凌展. 外源激素、温度和亲本规格对大刺鲃人工催产及孵化的影响[J]. *水生生物学报*, 2018, 42(2): 333–341.
- [19] ALI M R, RAHMAN M M, SARDER M, et al. Histological study of the developing gonads of endangered freshwater spiny eel, *Mastacembelus armatus* during the reproductive cycle[J]. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 2017, 14(2): 261–269.
- [20] 伍远安, 梁志强, 李传武, 等. 两种刺鲃肌肉营养成分分析及评价[J]. *营养学报*, 2010, 32(5): 499–502.
- [21] 张坤, 樊海平, 张蕉南, 等. 大刺鲃幼鱼配合饲料中适宜蛋白质、蛋氨酸和脂肪水平研究[J]. *中国饲料*, 2018(9): 67–71.
- [22] 丁海峰. 海南地区大刺鲃人工繁育技术探究[D]. 海口: 海南大学, 2019.
- [23] 王孝宇. 豆粕和黄粉虫作为蛋白源对草鱼摄食、生长、肉质和健康的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [24] 任顺, 于宏, 初宇轩, 等. 黄粉虫代替鱼粉对锦鲤血浆及肝脏生化指标的影响[J]. *饲料研究*, 2021, 44(18): 53–57.
- [25] 潘红平, 莫兆莉, 苏以鹏, 等. 大麦虫粉替代鱼粉对锯缘青蟹的影响[J]. *饲料工业*, 2014, 35(6): 47–49.
- [26] 莫兆莉, 潘红平, 苏以鹏, 等. 不同水平大麦虫粉对锯缘青蟹的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2014(5): 160–162.
- [27] 吴凡, 吴遵霖, 黄永涛, 等. 昆虫蛋白部分替代鱼粉对鲃生长、肌肉营养及血清生化指标的影响[J]. *科学养鱼*, 2022(5): 68–70.
- [28] 郑金宇. 黑水虻、黄粉虫替代鱼粉对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长与肉质的影响及其营养改进策略[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- [29] 邹洁明. 两种昆虫部分替代饲料对虹鳟生长和肌肉成分的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
- [30] 马林, 李明泽, 毕相东, 等. 摄食不同饵料对翘嘴鲃生长性能、肌肉营养成分及消化酶活性的影响[J]. *饲料研究*, 2023, 46(6): 44–49.
- [31] LI H, HU Z, LIU S, et al. Influence of dietary soybean meal replacement with yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) on growth performance, antioxidant capacity, skin color, and flesh quality of mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*)[J]. *Aquaculture*, 2022, 561: 738686.
- [32] 黄旺. 黄粉虫在中华倒刺鲃和大鲈饲料中的应用效果评价[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [33] 周飘苹, 金敏, 吴文俊, 等. 不同养殖模式、投喂不同饵料及不同品系大黄鱼营养成分比较[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(4): 969–980.
- [34] COTTIN S C, ALSALEH A, SANDERS T A B, et al. Lack of effect of supplementation with EPA or DHA on platelet-monocyte aggregates and vascular function in healthy men[J]. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD*, 2016, 26(8): 743–751.
- [35] 陈星星, 柯爱英, 潘齐存, 等. 珍珠龙胆石斑鱼营养成分分析与品质评价[J]. *海洋湖沼通报*, 2018(1): 90–95.
- [36] 周根来, 殷洁鑫. 大麦虫的营养价值及其在动物生产中的应用[J]. *中国饲料*, 2021(21): 112–117.

Effects of different biological feeds on the growth and the amino acids and fatty acids contents in the muscle of *Mastacembelus armatus*

JIANG Jialiang, FU Xiang, GU Zhifeng

(College of Marine Biology and Fisheries, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: An attempt was made to analyze the effects of biological feeds on the cultivation of *Mastacembelus armatus*. Bloodworms (*Chironomidae*), yellow mealworms (*Tenebrio molitor*), and superworms (*Zophobas atratus*) were added to the compound feed (CF) to feed *Mastacembelus armatus* and the fish growth and its contents of amino acids and fatty acids in muscle were observed and determined. The results showed that after 30 days of feeding, the fish body mass was significantly higher in the CF + superworms group than in the other three groups ($P < 0.05$), with the lowest body mass observed in the control group without supplementation of any worms. After 60 days of feeding, the CF+ superworms group still had a significantly higher fish body mass compared to the other three groups ($P < 0.05$). Amino acid testing showed the total amino acids in the fish muscle were significantly higher in the CF+ yellow mealworms group than in the other three groups ($P < 0.05$). The CF+ superworms group was significantly higher in flavor amino acids content than the other three groups ($P < 0.05$). There were no significant differences in EPA and DHA levels among all the groups, but the contents of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, and polyunsaturated fatty acids in the fish were all significantly higher in the CF+ superworms than in the other three groups. The experimental results indicate that the feed for *M. armatus* added with super worms produced the best results in terms of weight gain, condition factor, and flavor amino acid content in the fish.

Keywords: amino acids; fatty acids; *Mastacembelus armatus*; SFA; MUFA; PUFA

(责任编辑: 潘学峰)