

邵俊杰, 张世勇, 万金娟, 等. 配合饲料和冰鲜鱼对大口黑鲈肌肉中氨基酸、脂肪酸的组成和含量以及血清生化指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(3): 522-530.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.03.015

配合饲料和冰鲜鱼对大口黑鲈肌肉中氨基酸、脂肪酸的组成和含量以及血清生化指标的影响

邵俊杰, 张世勇, 万金娟, 赵彦华, 尹思慧, 张美琴, 王明华, 黄鸿兵
(江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017)

摘要: 为缓解因大量投喂冰鲜鱼造成的大口黑鲈养殖水体污染、病害频发和生产效益降低等问题, 加快推进优质配合饲料的开发, 开展投喂配合饲料和冰鲜鱼对大口黑鲈营养价值和健康状况影响的研究至关重要。为此, 本研究将 360 尾大口黑鲈分为 3 个试验组, 分别投喂配合饲料、冰鲜鱼和混合饲料(配合饲料和冰鲜鱼的质量各占饲料总质量的 50%), 在饲喂 90 d 后对 3 组大口黑鲈肌肉中矿物元素含量、氨基酸的组成和含量、脂肪酸的组成和含量以及血清生化指标进行分析。结果表明, 配合饲料组大口黑鲈肌肉中的 Na、Ca、Zn 含量显著高于冰鲜鱼组($P < 0.05$)。与配合饲料组和混合饲料组相比, 冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比以及必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比更高。冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中各必需氨基酸的氨基酸评分和化学评分以及必需氨基酸指数均高于配合饲料组。配合饲料组大口黑鲈肌肉中饱和脂肪酸总量显著高于混合饲料组和冰鲜鱼组($P < 0.05$), 但冰鲜鱼组的多不饱和脂肪酸(PUFA)总量、二十碳五烯酸含量和二十二碳六烯酸含量显著高于配合饲料组($P < 0.05$); 与配合饲料组相比, 冰鲜鱼组的 n-6 PUFA 含量更低, n-3 PUFA 含量更高($P < 0.05$), 并且脂肪酸品质更优。冰鲜鱼组和混合饲料组血清总蛋白质含量和碱性磷酸酶活性显著高于配合饲料组($P < 0.05$)。此外, 冰鲜鱼组大口黑鲈血清中葡萄糖含量和谷草转氨酶活性最低($P < 0.05$)。因此, 在本研究条件下, 配合饲料影响大口黑鲈肌肉的营养价值和肝脏健康, 建议参考冰鲜鱼的营养组成, 进一步优化配合饲料配方。

关键词: 大口黑鲈; 冰鲜鱼; 配合饲料; 氨基酸; 脂肪酸; 血清生化指标

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2024)03-0522-09

Effects of formulated feed and frozen fresh fish on the composition and content of amino acids and fatty acids and serum biochemical indices in the muscle of *Micropterus salmoides*

SHAO Jun-jie, ZHANG Shi-yong, WAN Jin-juan, ZHAO Yan-hua, YIN Si-hui, ZHANG Mei-qin, WANG Ming-hua, HUANG Hong-bing

(Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China)

Abstract: Extensively feeding with the frozen fresh fish can contaminate the aquaculture water with nutrients and pathogens and induce disease outbreaks, ultimately reducing production efficiency of *Micropterus salmoides*. In order to mitigate the problems caused by extensively feeding with frozen fresh fish and boost the development of high-quality formulated feed, it is vital to evaluate the nutritional value and health status of *Micropterus salmoides* fed with formulated feed and frozen fresh fish. Therefore, in this study, 360 healthy *Micropterus salmoides* were divided into three experimental groups and fed with formulated feed, frozen fresh fish and

收稿日期: 2023-08-28

基金项目: 江苏现代农业(大宗鱼类)产业技术体系项目[JATS(2023)369]; 国家特色淡水鱼产业技术体系项目(CARS-46)

作者简介: 邵俊杰(1991-), 男, 江苏赣榆人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为水产品加工与质量控制。(E-mail) shaojj0612@126.com

通讯作者: 王明华, (E-mail) w19731224@sina.com; 黄鸿兵, (E-mail) nanjingrice@163.com

mixed feed (the weight of formulated feed and frozen fresh fish accounted for 50% of the total weight of feed, respectively). The mineral element content, the composition and content of amino acids, the composition and content of fatty acids and serum biochemical indices of *Micropterus salmoides* in the three groups were evaluated after feeding for 90 days. The results showed that the contents of sodium (Na), calcium (Ca) and zinc (Zn) in the muscle of *Micropterus salmoides* fed with formulated feed were significantly higher than those in the frozen fresh fish group ($P<0.05$). Compared with formulated feed and mixed feed groups, the percentage of essential amino acids to total amino acids, and percentage of essential amino acid to non-essential amino acid in the muscle of *Micropterus salmoides* in the frozen fresh fish group were higher. Meanwhile, the amino acid score and chemical score of each essential amino acid, and essential amino acid index in the frozen fresh fish group were higher than those in formulated feed group. The total content of saturated fatty acids in the muscle of largemouth bass in the formulated feed group was significantly higher than that in the mixed feed group and the frozen fresh fish group ($P<0.05$), but the total content of polyunsaturated fatty acids (PUFA), the contents of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in the frozen fresh fish group were significantly higher than those in the formulated feed group ($P<0.05$). Compared with the formulated feed group, the n-6 PUFA content of the frozen fresh fish group was lower, the n-3 PUFA content was higher ($P<0.05$), and the fatty acid quality was better. The serum total protein content and alkaline phosphatase activity in the frozen fresh fish and mixed feed groups were significantly higher than those in the formulated feed group ($P<0.05$). The lowest glucose content and aspartate aminotransferase activity were observed in the frozen fresh fish group ($P<0.05$). Therefore, under the conditions of this study, formulated feed affected the nutritional value of muscle and liver health of *Micropterus salmoides*, it was recommended to refer to the nutritional composition of fresh-frozen fish and further optimize the formulated feed.

Key words: *Micropterus salmoides*; frozen fresh fish; formulated feed; amino acid; fatty acid; serum biochemical index

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 又称加州鲈鱼,其肉嫩味美,深受消费者欢迎。大口黑鲈 2022 年的产量突破 8×10^5 t^[1],成为中国年产量最大的特种淡水鱼类。冰鲜鱼因具有成本低、可加快大口黑鲈生长等优点,目前仍被用作大口黑鲈的主要饵料进行大量投喂,这会引发资源浪费、水环境恶化和病害频发等一系列问题^[2]。配合饲料营养全面、饵料利用率高、污染少,是环境友好型饲料,但由于大口黑鲈的摄食特性、营养需求复杂,导致大口黑鲈对配合饲料的利用效果不佳,并且有研究发现配合饲料易对大口黑鲈的生长产生负面影响^[2-3],因此在养殖过程中,配合饲料的投喂比例较低。

目前,针对大口黑鲈的研究工作主要集中在遗传育种^[4-5]、养殖模式^[6]、形态特征^[7]、肌肉营养成分^[2]等方面,关于对比投喂配合饲料和冰鲜鱼的大口黑鲈肌肉品质和健康状况的研究较少。因此,本研究拟比较投喂不同类型饲料的大口黑鲈肌肉中矿物元素含量、氨基酸的组成和含量、脂肪酸的组成和含量以及血清生化指标,以期为大口黑鲈专用配合饲料的研发和优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选用的冰鲜鱼为鲢 (*Hypophthalmichthys*

molitrix),绞碎后冻藏备用。配合饲料根据大口黑鲈的营养需求及养殖生产中常用的商品饲料设计,配方见表 1。配合饲料和冰鲜鱼的营养成分见表 2。

表 1 配合饲料组成 (风干基础)

Table 1 Composition of formulated feed (air-dry basis)

原料	含量 (%)
鱼粉	45.0
豆粕	11.0
玉米蛋白粉	10.0
血粉	5.0
α -淀粉	10.0
鱼油	4.0
菜籽油	2.5
大豆磷脂	2.0
啤酒酵母	2.0
磷酸二氢钙	1.0
氯化胆碱	0.5
乌贼膏	2.0
维生素预混料	1.0
矿物质预混料	0.5
牛磺酸	0.3
沸石粉	3.2

维生素预混料为 1.00 kg 饲料提供维生素 A 10 000 IU、维生素 B₁ 18.20 mg、维生素 B₂ 46.00 mg、维生素 B₆ 26.80 mg、维生素 B₁₂ 0.34 mg、维生素 C 600.00 mg、维生素 D₃ 800 IU、维生素 E 240.00 mg、维生素 K₃ 14.81 mg、叶酸 6.00 mg、生物素 1.00 mg、肌醇 250.00 mg、泛酸钙 50.90 mg、烟酰胺 75.60 mg。矿物质预混料为 1.00 kg 饲料提供铜 1.90 mg、锌 30.80 mg、锰 7.40 mg、铁 23.30 mg、碘 1.80 mg、硒 0.20 mg、钴 0.24 mg、镁 48.50 mg。

表 2 配合饲料和冰鲜鱼的主要营养成分(湿质量)

Table 2 The main nutritional components of formulated feed and frozen fresh fish (wet weight)

营养成分	含量(%)	
	配合饲料	冰鲜鱼
粗蛋白	49.65	19.35
粗脂肪	8.57	7.21
水分	8.85	69.96
粗灰分	9.14	3.04

1.2 试验动物与饲养管理

将 360 尾体格健壮、规格整齐、体质量平均为 (26.93 ± 0.97) g 的大口黑鲈分成 3 组,分别投喂配合饲料、冰鲜鱼和混合饲料(配合饲料和冰鲜鱼的质量各占饲料总质量的 50%),每组设 3 个重复,在 9 个规格为 $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的试验池中养殖 90 d,每个试验池放 40 尾大口黑鲈。每日投喂 2 次(8:30、16:30),以鱼群不摄食作为停食信号。试验过程中保持水温为 $24 \sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$,溶解氧含量 $6.50 \sim 9.00\text{ mg/L}$,氨氮含量 $< 0.30\text{ mg/L}$,亚硝酸盐氮含量 $< 0.05\text{ mg/L}$,pH 值 $7.1 \sim 7.5$,每 7 d 换水清污一次,每天增氧 12 h。

$$\text{氨基酸评分} = \frac{\text{待测样品中必需氨基酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}{\text{FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}$$

$$\text{化学评分} = \frac{\text{待测样品中必需氨基酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}{\text{全鸡蛋蛋白质模式中同种氨基酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A_1}{AE_1} \times \frac{100A_2}{AE_2} \times \frac{100A_3}{AE_3} \times \dots \times \frac{100A_n}{AE_n}}$$

$$F \text{ 值} = \frac{\text{缬氨酸含量}(\text{mg/g}, \text{N}) + \text{亮氨酸含量}(\text{mg/g}, \text{N}) + \text{异亮氨酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}{\text{苯丙氨酸含量}(\text{mg/g}, \text{N}) + \text{酪氨酸含量}(\text{mg/g}, \text{N})}$$

式中: n 为必需氨基酸数量; $A_1 \sim A_n$ 为待测样品中各必需氨基酸含量($\text{mg/g}, \text{N}$); $AE_1 \sim AE_n$ 为全鸡蛋蛋白质模式中各必需氨基酸含量($\text{mg/g}, \text{N}$)。FAO/WHO:联合国粮食及农业组织/世界卫生组织。

1.3.5 脂肪酸含量测定 参照《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168-2016)^[10]中的水解提取-气相色谱法测定大口黑鲈肌肉中脂肪酸含量。

$$IT = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum PUFA_{n-6} + 3.0 \times \sum PUFA_{n-3} + \frac{\sum PUFA_{n-3}}{\sum PUFA_{n-6}}}$$

式中, $C_{20:5n-3}$ 为二十碳五烯酸含量; $C_{22:6n-3}$ 为二十

1.3 样品采集及分析方法

1.3.1 样品采集 饲养结束后,将试验鱼停食 24 h。从每个试验池随机选取 6 尾鱼,用于肌肉中矿物元素含量、氨基酸的组成和含量、脂肪酸的组成和含量等指标的测定;从每个试验池随机选取 6 尾大口黑鲈,用 1 ml 注射器于尾静脉取血, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下静置 4 h 后离心 ($4\,000\text{ r/min}$, 10 min),收集血清于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻存。

1.3.2 矿物元素含量的测定 参照《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268-2016)^[8]进行矿物元素含量测定。

1.3.3 氨基酸含量测定 胱氨酸含量采用过甲酸氧化法进行测定。参照《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)^[9],采用酸水解法测定大口黑鲈肌肉中其他氨基酸含量。

1.3.4 氨基酸营养价值评价 按照联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)建议的氨基酸评分标准模式和中国预防医学科学院提出的全鸡蛋蛋白质模式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、支链氨基酸含量与芳香族氨基酸含量的比值(F 值),比较 3 组大口黑鲈肌肉中氨基酸营养价值。各项指标计算公式如下:

1.3.6 脂肪酸营养价值评价 采用多烯指数(PI)、动脉粥样硬化指数(IA)和血栓形成指数(IT)评价大口黑鲈肌肉脂肪酸营养价值。

$$PI = \frac{C_{20:5n-3} + C_{22:6n-3}}{C_{16:0}}$$

$$IA = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum PUFA_{n-6} + \sum PUFA_{n-3} + \sum MUFA}$$

二碳六烯酸; $C_{16:0}$ 为棕榈酸含量; $C_{12:0}$ 为月桂酸含量;

$C_{14:0}$ 为肉豆蔻酸含量; $C_{18:0}$ 为硬脂酸含量; $PUFA_{n-6}$ 为n-6系列多不饱和脂肪酸含量; $PUFA_{n-3}$ 为n-3系列多不饱和脂肪酸含量; $MUFA$ 为单不饱和脂肪酸含量。

1.3.7 血清生化指标测定 测定前,冷冻的血清于4℃条件下解冻。血清中总蛋白质(TP)、白蛋白(ALB)、葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)含量及谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)活性测定委托南京建成生物工程研究所完成。

1.4 数据分析

利用SAS(Statistics analysis system, Version 9.2)软件对试验数据进行统计分析,在单因素方差分析的基础上,采用Duncan's法进行组间的多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同饲料对大口黑鲈肌肉中矿物元素含量的影响

表3显示,常量元素中钾的含量最高。微量元素中锌的含量最高,铜的含量最低。钾、镁、磷、铜、铁、硒含量的组间差异不显著($P>0.05$);配合饲料组的钠、钙、锌含量最高,其次是混合饲料组,冰鲜鱼组最低($P<0.05$)。

表3 不同饲料对大口黑鲈肌肉中矿物元素含量的影响

Table 3 Effects of different feeds on the contents of mineral elements in the muscle of *Micropterus salmoides*

项目	配合饲料组	混合饲料组	冰鲜鱼组
钾含量(mg/kg)	3 425.28±166.59a	3 502.36±155.60a	3 599.14±186.61a
钠含量(mg/kg)	621.32±50.96a	490.18±31.33b	402.24±25.67c
钙含量(mg/kg)	451.36±41.36a	376.15±44.26b	254.35±30.88c
镁含量(mg/kg)	285.36±16.39a	299.50±20.62a	306.82±22.32a
磷含量(mg/kg)	2 015.30±169.55a	2 259.61±286.92a	2 296.34±177.19a
铜含量(mg/kg)	0.01±0a	0.01±0a	0.01±0a
铁含量(mg/kg)	2.96±0.31a	3.05±0.27a	2.94±0.21a
锌含量(mg/kg)	5.16±0.22a	4.72±0.20b	4.08±0.13c
硒含量(mg/kg)	0.24±0.03a	0.20±0.02a	0.21±0.02a

同行数据后不同小写字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)。

2.2 不同饲料对大口黑鲈肌肉中氨基酸的组成及含量的影响

表4显示,3组大口黑鲈肌肉中氨基酸的组成

一致,均含有17种氨基酸(色氨酸被水解未测定),包括7种必需氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸)、2种半必需氨基酸(组氨酸、精氨酸)以及8种非必需氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、胱氨酸、丝氨酸、脯氨酸)。3组大口黑鲈肌肉中的谷氨酸含量均最高,胱氨酸含量最低。配合饲料组的谷氨酸、缬氨酸、亮氨酸含量显著低于冰鲜鱼组($P<0.05$),丝氨酸含量显著高于冰鲜鱼组($P<0.05$)。

表4 不同饲料对大口黑鲈肌肉中氨基酸组成及含量的影响(湿质量)

Table 4 Effects of different feeds on amino acid composition and content in the muscle of *Micropterus salmoides* (wet weight)

项目	配合饲料组	混合饲料组	冰鲜鱼组
天冬氨酸 [△] (Asp)含量(mg/kg)	0.50±0.05a	0.47±0.02a	0.44±0.04a
谷氨酸 [△] (Glu)含量(mg/kg)	2.77±0.07b	2.86±0.04b	3.08±0.06a
甘氨酸 [△] (Gly)含量(mg/kg)	0.86±0.06a	0.89±0.05a	0.86±0.08a
丙氨酸 [△] (Ala)含量(mg/kg)	1.09±0.07a	1.13±0.10a	1.02±0.04a
苏氨酸 [▲] (Thr)含量(mg/kg)	0.93±0.08a	0.97±0.03a	0.99±0.06a
缬氨酸 [▲] (Val)含量(mg/kg)	0.86±0.03b	0.90±0.04ab	0.93±0.04a
蛋氨酸 [▲] (Met)含量(mg/kg)	0.52±0.02a	0.51±0.05a	0.55±0.02a
异亮氨酸 [▲] (Ile)含量(mg/kg)	0.88±0.04a	0.83±0.07a	0.89±0.09a
亮氨酸 [▲] (Leu)含量(mg/kg)	1.37±0.02b	1.43±0.04a	1.47±0.04a
赖氨酸 [▲] (Lys)含量(mg/kg)	2.14±0.07a	2.10±0.09a	2.22±0.11a
苯丙氨酸 [▲] (Phe)含量(mg/kg)	0.76±0.05a	0.75±0.04a	0.80±0.04a
酪氨酸 [△] (Tyr)含量(mg/kg)	0.58±0.02a	0.59±0.04a	0.54±0.03a
胱氨酸 [△] (Cys)含量(mg/kg)	0.09±0.01a	0.06±0a	0.07±0.01a
丝氨酸 [△] (Ser)含量(mg/kg)	0.87±0.05a	0.83±0.04a	0.73±0.04b
脯氨酸 [△] (Pro)含量(mg/kg)	0.57±0.05a	0.52±0.03a	0.49±0.05a
组氨酸 [△] (His)含量(mg/kg)	0.48±0.05a	0.43±0.01a	0.45±0.02a
精氨酸 [△] (Arg)含量(mg/kg)	2.11±0.12a	2.13±0.15a	2.06±0.08a
氨基酸总量(mg/kg)	17.38±0.62a	17.40±0.49a	17.59±0.82a
必需氨基酸总量(mg/kg)	7.46±0.16b	7.49±0.09b	7.85±0.15a
非必需氨基酸总量(mg/kg)	7.33±0.21a	7.35±0.25a	7.23±0.10a
半必需氨基酸总量(mg/kg)	2.59±0.16a	2.56±0.06a	2.51±0.08a
鲜味氨基酸总量(mg/kg)	5.22±0.31a	5.35±0.22a	5.40±0.19a
必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比(%)	42.92±1.05b	43.05±0.85b	44.63±1.17a
必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比(%)	101.77±2.69b	101.90±2.87b	108.58±1.98a
非必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比(%)	42.17±1.09a	42.24±0.54a	41.10±0.67a
半必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比(%)	14.90±0.56a	14.71±0.79a	14.27±0.91a
鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的百分比(%)	30.03±1.22a	30.75±0.42a	30.70±0.88a

[▲]表示鲜味氨基酸;[▲]表示必需氨基酸;[△]表示非必需氨基酸;[△]表示半必需氨基酸。同行数据后不同小写字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)。

3 组大口黑鲈肌肉中的氨基酸总量 (TAA)、非必需氨基酸总量 (TNEAA)、半必需氨基酸总量 (TSEAA) 和鲜味氨基酸总量 (TDAA) 无显著差异 ($P>0.05$), 但冰鲜鱼组的必需氨基酸总量 (TEAA)、TEAA 占 TAA 的百分比和 TEAA 占 TNEAA 的百分比显著高于其他 2 组 ($P<0.05$)。

大口黑鲈肌肉氨基酸营养价值评价结果 (表 5)

表 5 不同饲料对大口黑鲈肌肉的必需氨基酸含量、氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS)、必需氨基酸指数 (EAAI) 及支链氨基酸含量与芳香族氨基酸含量的比值 (F 值) 的影响

Table 5 Effects of different feeds on essential amino acid content in muscle of *Micropterus salmoides*, amino acid score (AAS), chemistry score (CS), essential amino acid index (EAAI) and the ratio of branched chain amino acid content to aromatic amino acid content (F value)

项目	FAO/WHO 模式	全鸡蛋 蛋白质 模式	配合 饲料组	混合 饲料组	冰鲜 鱼组	氨基酸评分			化学评分		
						配合 饲料组	混合 饲料组	冰鲜 鱼组	配合 饲料组	混合 饲料组	冰鲜 鱼组
苏氨酸含量 (mg/g, N)	250.00	292.00	317.82	328.98	340.63	1.27	1.32	1.36	1.09	1.13	1.17
缬氨酸含量 (mg/g, N)	310.00	411.00	295.17	305.87	319.92	0.95	0.99	1.03	0.72	0.74	0.78
蛋氨酸含量 (mg/g, N) + 胱氨酸含量 (mg/g, N)	220.00	386.00	209.36	193.38	211.21	0.95	0.88	0.96	0.54	0.50	0.55
异亮氨酸含量 (mg/g, N)	250.00	331.00	300.32	283.10	307.50	1.20	1.13	1.23	0.91	0.86	0.93
亮氨酸含量 (mg/g, N)	440.00	534.00	470.21	486.00	506.28	1.07	1.10	1.15	0.88	0.91	0.95
赖氨酸含量 (mg/g, N)	340.00	441.00	733.11	713.36	765.46	2.16	2.10	2.25	1.66	1.62	1.74
苯丙氨酸含量 (mg/g, N) + 酪氨酸含量 (mg/g, N)	380.00	565.00	458.88	455.07	464.52	1.21	1.20	1.22	0.81	0.81	0.82
必需氨基酸指数	-	-	89.43	88.52	93.50	-	-	-	-	-	-
F 值	-	-	2.32	2.36	2.44	-	-	-	-	-	-

FAO/WHO: 联合国粮食及农业组织/世界卫生组织; F 值: 支链氨基酸含量与芳香族氨基酸含量的比值。

2.3 不同饲料对大口黑鲈肌肉中脂肪酸组成及含量的影响

表 6 显示, 配合饲料组大口黑鲈肌肉中饱和脂肪酸 (SFA) 总量最高, 冰鲜鱼组最低 ($P<0.05$)。配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的 SFA 组分均以棕榈酸 (C16:0) 占比最高, 并且其含量在组间差异显著 ($P<0.05$)。配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的单不饱和脂肪酸 (MUFA) 总量无显著差异, 其中油酸 (C18:1) 占比最高, 其次是棕榈油酸 (C16:1)。冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的多不饱和脂肪酸 (PUFA) 总量显著高于配合饲料组 ($P<0.05$); PUFA 以亚油酸、二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA) 和 α -亚麻酸 (ALA) 为主, 配合饲料组大口黑鲈肌肉中的亚油酸、ALA 含量显著高于混合饲料组和冰鲜鱼组 ($P<0.05$), 冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的 EPA、DHA 含量显著高于配合饲料组和混合饲料组 ($P<0.05$)。在

表明, 配合饲料组、混合饲料组和冰鲜鱼组的大口黑鲈肌肉中特定必需氨基酸总量均高于 FAO/WHO 模式, 但均低于全鸡蛋蛋白质模式。冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的必需氨基酸总量最高。与配合饲料组和混合饲料组相比, 冰鲜鱼组各必需氨基酸的氨基酸评分、化学评分以及 EAAI、 F 值均最高。

配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组中, 冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中的 n-3 PUFA 总量最高 ($P<0.05$), n-6 PUFA 总量最低 ($P<0.05$), n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量最高。

表 7 显示, 配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉的 PI 差异显著 ($P<0.05$), 其中冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉的 PI 是配合饲料组的 2.61 倍, 是混合饲料组的 1.48 倍。冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉的 IT 显著低于配合饲料组 ($P<0.05$), 与混合饲料组差异不显著 ($P>0.05$)。配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉的 IA 无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 不同饲料对大口黑鲈血清生化指标的影响

表 8 显示, 冰鲜鱼组大口黑鲈血清中的 TP 含量、ALB 含量和 ALP 活性最高, 并显著高于配合饲料组、混合饲料组 ($P<0.05$), GLU 含量和 AST 活性最低, 并显著低于其他 2 组 ($P<0.05$), 其他指标在组间无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 6 不同饲料对大口黑鲈肌肉中脂肪酸组成及含量的影响
Table 6 Effects of different feeds on fatty acid composition and content in muscle of *Micropterus salmoides*

项目	配合饲料组	混合饲料组	冰鲜鱼组
月桂酸(C12:0)含量(%)	0.03±0.01a	0.03±0.01a	0.02±0a
肉豆蔻酸(C14:0)含量(%)	1.25±0.02c	3.19±0.10b	3.98±0.12a
十五碳烷酸(C15:0)含量(%)	0.37±0.04a	0.31±0.02a	0.32±0.02a
棕榈酸(C16:0)含量(%)	30.49±1.44a	25.25±0.69b	21.63±1.54c
十七碳烷酸(C17:0)含量(%)	0.41±0.04a	0.40±0.05a	0.33±0.04a
硬脂酸(C18:0)含量(%)	2.89±0.15a	2.81±0.08a	2.73±0.10a
二十碳烷酸(C20:0)含量(%)	0.25±0.02a	0.29±0.03a	0.26±0.03a
二十四烷酸(C24:0)含量(%)	0.25±0.02a	0.06±0.01b	0.06±0b
饱和脂肪酸(SFA)总量(%)	35.94±1.61a	32.34±1.09b	29.33±1.82c
棕榈油酸(C16:1)含量(%)	5.36±0.46b	6.65±0.34b	10.60±0.99a
十七碳烯酸(C17:1)含量(%)	1.78±0.26a	1.76±0.24a	1.55±0.20a
油酸(C18:1)含量(%)	24.61±1.29a	22.69±2.08a	17.30±0.97b
二十碳烯酸(C20:1)含量(%)	0.39±0.05b	0.56±0.05b	2.38±0.26a
芥酸(C22:1)含量(%)	0.35±0.02c	2.26±0.13b	2.88±0.11a
单不饱和脂肪酸(MUFA)总量(%)	32.49±2.06a	33.92±1.25a	34.71±2.71a
亚油酸(C18:2n-6)含量(%)	13.99±0.63a	9.85±0.51b	6.90±0.46c
γ-亚麻酸(C18:3n-6)含量(%)	0.15±0.01a	0.17±0.02a	0.14±0.01a
α-亚麻酸(C18:3n-3,ALA)含量(%)	2.20±0.15a	1.26±0.08b	1.17±0.08b
顺式-11,14,17-二十碳三烯酸(C20:3n-3)含量(%)	0.14±0.02a	0.15±0.01a	0.14±0.02a
顺式-8,11,14-二十碳三烯酸(C20:3n-6)含量(%)	0.19±0.02c	0.62±0.03a	0.45±0.06b
花生四烯酸(C20:4n-6)含量(%)	0.49±0.03b	0.72±0.02a	0.80±0.03a
二十二碳二烯酸(C22:2)含量(%)	0.20±0.01a	0.16±0.01a	0.24±0.02a
二十碳五烯酸(C20:5n-3,EPA)含量(%)	2.29±0.16c	4.51±0.22b	7.86±0.30a
二十二碳六烯酸(C22:6n-3,DHA)含量(%)	11.77±0.59c	15.98±1.06b	18.06±0.97a
多不饱和脂肪酸(PUFA)总量(%)	31.42±1.18b	33.42±2.27ab	35.76±1.36a
n-3 PUFA 总量(%)	16.40±0.98c	21.90±1.62b	27.23±1.01a
n-6 PUFA 总量(%)	14.82±0.72a	11.36±0.86b	8.29±0.86c
n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量	1.11	1.93	3.28

同行数据后不同小写字母表示组间存在显著差异 ($P<0.05$) ; n-3 PUFA; n-3 系列不饱和脂肪酸; n-6 PUFA; n-6 系列不饱和脂肪酸。

表 7 不同饲料对大口黑鲈肌肉的多烯指数、动脉粥样硬化指数和血栓形成指数的影响

Table 7 Effects of different feeds on polyene index (PI), index of atherogenicity (IA) and index of thrombogenicity (IT) of *Micropterus salmoides*

项目	配合饲料组	混合饲料组	冰鲜鱼组
多烯指数	0.46±0.03c	0.81±0.02b	1.20±0.03a
动脉粥样硬化指数	0.56±0.04a	0.57±0.03a	0.53±0.04a
血栓形成指数	0.47±0.02a	0.35±0.02ab	0.27±0.01b

同行数据后不同小写字母表示组间存在显著差异 ($P<0.05$)。

表 8 不同饲料对大口黑鲈血清生化指标的影响

Table 8 Effects of different feeds on serum biochemical indices of *Micropterus salmoides*

项目	配合饲料组	混合饲料组	冰鲜鱼组
总蛋白质含量(g/L)	35.29±1.65c	40.51±2.48b	47.34±2.66a
白蛋白含量(g/L)	13.30±1.06b	14.95±1.14b	18.19±1.42a
葡萄糖含量(mmol/L)	22.68±1.66a	20.12±3.03a	15.28±1.29b
甘油三酯含量(mmol/L)	17.69±2.84a	19.04±3.09a	17.95±2.57a
总胆固醇含量(mmol/L)	8.19±2.04a	7.86±1.98a	9.30±2.11a
谷丙转氨酶活性(U/L)	7.39±1.59a	6.96±0.96a	7.55±1.97a
谷草转氨酶活性(U/L)	78.56±6.36a	75.36±5.80a	55.21±4.25b
碱性磷酸酶活性(U/L)	70.93±8.86c	90.69±10.37b	129.63±11.36a

同行数据后不同小写字母表示组间存在显著差异 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同饲料对大口黑鲈肌肉中矿物元素含量的影响

本研究结果表明,大口黑鲈肌肉中除了富含人体必需的 K、Na、Ca、Mg 和 P 等常量元素外,还含有 Cu、Fe、Zn 和 Se 等微量元素。微量元素在人体内含量虽然极少,但对维持机体正常的生命活动具有重要意义。在本研究中,配合饲料组 Na、Ca、Zn 含量显著高于混合饲料组、冰鲜鱼组,这与马林等^[11]的研究结果相近。Na 在调节机体水电解质平衡、维持正常渗透压和稳定血压等方面发挥重要作用;Ca²⁺ 参与人体骨骼发育、酶的活化、凝血和细胞信号传导;Zn 是多种酶的功能成分和激活剂,对人体组织修复和再生、基因表达调控具有重要意义^[12]。有研究结果表明,水产动物对水环境和饲料中的矿物元素有较强的富集能力^[13-14]。本研究的水环境相同,因此推测冰鲜鱼、混合饲料中 Na、Ca、Zn 含量低于配合饲料是导致混合饲料组和冰鲜鱼组大口黑鲈体内富集的 Na、Ca、Zn

含量低于配合饲料组的主要原因。

3.2 不同饲料对大口黑鲈肌肉中氨基酸的组成及含量的影响

氨基酸的组成尤其是必需氨基酸的组成,决定了水产品中蛋白质营养价值的高低^[15-16]。在本研究中,3 组间 TAA、TNEAA、TSEAA 和 TDAA 差异不显著,但冰鲜鱼组的 TEAA、TEAA 占 TAA 的百分比、TEAA 占 TNEAA 的百分比显著高于配合饲料组和混合饲料组,说明冰鲜鱼组的必需氨基酸组成最优,用配合饲料部分替代或全部替代冰鲜鱼会对大口黑鲈的蛋白质品质造成负面影响。饲料中氨基酸含量越高、组成越全面,鱼体内必需氨基酸的沉积率就越高^[17-18],故推测本研究中冰鲜鱼的氨基酸组成与大口黑鲈氨基酸积累的需求更接近。此外,动物性鲜活饵料中含有的某些活性物质可以诱导大口黑鲈蛋白酶分泌,并且鲜活饵料体内的消化酶能够参与食物消化,加快大口黑鲈对饵料中必需氨基酸的消化吸收,提升肌肉中蛋白质品质^[19-20]。李志斐等^[19]研究发现冰鲜鱼组大口黑鲈肌肉中氨基酸总量显著高于配合饲料组,但必需氨基酸含量差异不显著。在比较配合饲料和冰鲜鱼对珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* ♂×*Epinephelus fuscoguttatus* ♀)、刀鲚(*Coilia nasus* Schlegel)和乌鳢(*Ophiocephalus argus* Cantor)肌肉氨基酸组成影响时发现,配合饲料组的 3 种鱼肌肉氨基酸营养价值均高于冰鲜鱼组^[11,21-22]。因此,同一类饲料对同种或不同种鱼类肌肉中氨基酸组成的影响均存在差异,这可能是饲料的氨基酸组成不同导致的。本研究中,配合饲料组、混合饲料组、冰鲜鱼组 TEAA 占 TAA 的百分比均超过 40.00%,TEAA 占 TNEAA 的百分比远高于 60.00%,均符合 FAO/WHO 对优质蛋白质的要求。冰鲜鱼组的氨基酸评分、化学评分、EAAI 及 F 值均高于其他 2 组,再次说明投喂冰鲜鱼的大口黑鲈肌肉蛋白质营养价值更高。

3.3 不同饲料对大口黑鲈肌肉中脂肪酸的组成及含量的影响

脂肪酸的组成可以反映水产品的脂肪营养价值、机体摄食状况及健康水平。PUFA 在抑制癌细胞生长、调节血压和血脂、预防心脑血管疾病、促进免疫调节和生长发育等方面发挥重要的作用^[23]。本研究中,配合饲料组的 PUFA 含量显著低于冰鲜鱼组,这可能是由于冰鲜鱼有着更丰富的脂肪源,促进了大口黑鲈 PUFA 的积累。n-3 PUFA 和 n-6 PUFA 是必需

脂肪酸,人体自身无法合成,需要通过食物链的富集作用在体内积聚。ALA 在增强智力、保护视力、抑制血栓形成等方面发挥作用,虽然配合饲料组的 ALA 含量最高,但经膳食进入体内的 ALA 必须转化为 EPA 和 DHA 才能被人体利用,研究发现这种转化的速度很慢,且转化率很低,通常不到 10%^[24]。EPA 和 DHA 在促进智力发育、预防心血管疾病等方面发挥重要作用^[25]。本研究中,配合饲料组 n-6 PUFA 总量最高,但混合饲料组和冰鲜鱼组的 n-3 PUFA、EPA 和 DHA 含量均显著高于配合饲料组,这与黄爱霞等^[26]的研究结果相近。当今人类膳食中 n-6 PUFA 过量, n-3 PUFA 不足,低 n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量将诱发心血管疾病、癌症等慢性疾病,平衡膳食中 n-3 PUFA 和 n-6 PUFA 的比例非常重要。本研究结果表明摄食冰鲜鱼能够优化大口黑鲈 PUFA 组成。一般情况下,鱼类肌肉脂肪的 n-3 PUFA 含量高于 n-6 PUFA 含量,鱼体内高 n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量有利于鱼类维持细胞膜良好的通透性和调节渗透压^[27-28]。水产品脂肪酸组成能体现饲料脂肪酸组成,水产品脂肪酸含量与饲料脂肪酸含量呈正相关^[29-31]。因此,本研究中造成配合饲料组大口黑鲈肌肉中 n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量低于混合饲料组和冰鲜鱼组的原因,可能是配合饲料的油脂中 n-6 PUFA 含量相对较高,其 n-3 PUFA 总量/n-6 PUFA 总量低于冰鲜鱼饵料。对此,后期应进一步研究如何调整配合饲料中的脂肪酸组成,以满足人们在食用鱼肉过程中对 n-3 PUFA 的需求。

与配合饲料组相比,冰鲜鱼组和混合饲料组的 PI 更高,说明摄食冰鲜鱼的大口黑鲈 PUFA 降解及氧化程度更小^[32-33]。本研究 3 组大口黑鲈的 IA 和 IT 低于吉红等^[34]所述的 IA 和 IT 大于 1.00 对人体有害的限值范围。冰鲜鱼组的 IT 低于配合饲料组,表明冰鲜鱼组脂肪酸不饱和度更高,具有更好的降血脂、抑制心血管疾病等功能,食用价值更高^[33]。

3.4 不同饲料对大口黑鲈血清生化指标的影响

血清生化指标是评价水产品健康状况的重要依据^[35-37]。血清中 TP 和 ALB 能用来评估机体蛋白质代谢状况,其含量升高利于机体蛋白质沉积,稳定血液渗透压,提高免疫力^[38],其含量降低则会严重破坏血液渗透压平衡,进而导致肝脏代谢异常。本研究中,冰鲜鱼组大口黑鲈血清的 TP、ALB 含量显著高于混合饲料组和配合饲料组,与李志斐等^[19]的研

究结果相近,这可能是因为配合饲料营养不均衡引起机体蛋白质合成障碍,从而导致配合饲料组、混合饲料组大口黑鲈血清中 TP、ALB 含量较低。AST 富存于肝脏中,其活性是衡量肝脏功能的重要指标。正常情况下,血液中 AST 活性较低,但当肝细胞受损坏死严重时,大量的 AST 被释放进入血液,导致血清中 AST 活性升高^[34,39]。本研究中,与冰鲜鱼组相比,配合饲料组和混合饲料组大口黑鲈血清中 AST 活性显著升高,说明摄食配合饲料对大口黑鲈的肝脏造成了较大损伤。ALP 是鱼体代谢过程中重要的调控酶,与机体免疫功能密切相关,其活性能够反映磷代谢强度。本研究中,冰鲜鱼组和混合饲料组大口黑鲈血清中的 ALP 活性显著高于配合饲料组,牟明明等^[3]认为磷含量与 ALP 活性呈正相关,摄食冰鲜鱼能够提高大口黑鲈血清中磷含量,导致 ALP 活性升高,进而提升了大口黑鲈的免疫能力。

4 结 论

在本研究条件下,投喂冰鲜鱼的大口黑鲈肌肉氨基酸、脂肪酸的组成更优,营养价值更高。配合饲料能提高大口黑鲈肌肉中的 Na、Ca 和 Zn 等矿物元素含量,但会对肝脏造成损伤,引起大口黑鲈肝脏代谢异常,免疫功能下降。综合考虑,建议今后进一步优化配合饲料配方,提高配合饲料中必需氨基酸和多不饱和脂肪酸等物质的比例,均衡营养,以提升大口黑鲈的肌肉品质和健康状况,促进产业持续健康发展。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2023.
- [2] 邵俊杰,钟立强,朱昱璇,等. 配合饲料和冰鲜鱼对大口黑鲈生长和品质的影响[J]. 水产科学,2023, 42(1):81-88.
- [3] 牟明明,蒋余,罗强,等. 配合饲料和冰鲜鱼对大口黑鲈生长、血浆生化指标、抗氧化能力和组织学的影响[J]. 水产学报,2018,42(9):1408-1416.
- [4] AUSTIN J D, JOHNSON A, MATTHEWS M, et al. An assessment of hatchery effects on Florida bass (*Micropterus salmoides floridanus*) microsatellite genetic diversity and sib-ship reconstruction[J]. Aquaculture Research,2012,43(4):628-638.
- [5] WANG D, YAO H, LI Y H, et al. Global diversity and genetic landscape of natural populations and hatchery stocks of largemouth bass *micropterus salmoides* across American and Asian regions[J]. Scientific Reports,2019(9):16697.
- [6] 原居林,刘梅,倪蒙,等. 不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J]. 江西农业大学学报,2018,40(6):1276-1285.
- [7] 魏怡飞. 大口黑鲈两性形态、生长差异与性别分子标记开发[D]. 武汉:华中农业大学,2022.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017:1.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017:1.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定:GB 5009.168-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017:1.
- [11] 马林,李明泽,郑艳坤,等. 人工配合饲料与冰鲜饵料对珍珠龙胆石斑肌肉营养成分的影响[J]. 饲料研究,2020,43(5):22-27.
- [12] 刘波,周群兰,缪凌鸿,等. 水产动物营养与免疫研究进展[J]. 水产学报,2022,46(10):1761-1775.
- [13] 关文志,许晓军,牛宝龙,等. 浙江地区不同养殖模式下大口黑鲈肌肉组织及生化组成特性分析[J]. 水产科技情报,2022,49(4):187-192.
- [14] 何志刚,伍远安,徐永福,等. 野生与养殖黑斑蛙肌肉营养品质的比较分析[J]. 水产科学,2019,38(4):506-513.
- [15] ZHANG Z, XU W, TANG R, et al. Thermally processed diet greatly affects profiles of amino acids rather than fatty acids in the muscle of carnivorous *Silurus meridionalis* [J]. Food Chemistry, 2018, 256:244-251.
- [16] 崔茜,王伟,谢益韬,等. 不同养殖模式金刚虾(斑节对虾)肌肉营养成分比较分析[J]. 食品工业科技,2022,43(23):276-281.
- [17] 陈军,邹鹏,王煜恒,等. 不同饵料对大鲵稚体生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报,2017,29(10):3726-3736.
- [18] WILSON R P, POE W E. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1985, 80(2):385-388.
- [19] 李志斐,龚望宝,王金陵,等. 冰鲜杂鱼和人工配合饲料对大口黑鲈肌肉品质及健康状况影响的评价[J]. 动物营养学报,2017,29(11):4180-4188.
- [20] 张丽,许国煊,郭慧青,等. 摄食不同饵料对加州鲈生长性能及体成分的影响[J]. 淡水渔业,2011,41(6):60-63.
- [21] 施永海,张根玉,张海明,等. 配合饲料和活饵料喂养刀鲚肌肉营养品质分析与比较[J]. 动物营养学报,2014,26(2):427-436.
- [22] 张延华,马国红,宋理平. 工厂化养殖饲料冰鲜鱼和配合饲料对乌鳢肌肉品质的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版),2019,16(5):72-77.

- [23] 孙翔宇,高贵田,段爱莉,等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 食品工业科技,2012,33(7):418-423.
- [24] BURDGE G C, JONES A E, WOOTTON S A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of α -linolenic acid metabolism in young men[J]. British Journal of Nutrition, 2002,88(4):355-363.
- [25] KIM Y J, CHUNG H Y. Antioxidative and anti-inflammatory actions of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in renal epithelial cells and macrophages[J]. Journal of Medicinal Food, 2007,10(2):225-231.
- [26] 黄爱霞,陈建明,沈斌乾,等. 摄食不同饲料对大口黑鲈全鱼及肌肉营养组成的影响[J]. 科技通报,2019,35(2):42-45,53.
- [27] OH-I S, SHIMIZU H, SATO T, et al. Molecular mechanisms associated with leptin resistance: n-3 polyunsaturated fatty acids induce alterations in the tight junction of the brain[J]. Cell Metabolism, 2005,1(5):331-341.
- [28] 段叶辉,李凤娜,李丽立,等. n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例对机体生理功能的调节[J]. 天然产物研究与开发,2014,26(4):626-631,479.
- [29] XUE M, LUO L, WU X, et al. Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. Aquaculture, 2006,260(1/2/3/4):206-214.
- [30] 类延菊,徐文思,杨品红,等. 饲料不同脂肪源对鳙鱼生长性能及肉品质的影响[J]. 动物营养学报,2022,34(11):7317-7331.
- [31] 陈艳婷,贾小巍,钱鹏丞,等. 饲料中不同脂肪源对青鱼生长性能、血清生化指标及肌肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2022,34(7):4657-4673.
- [32] RODRÍGUEZ A, LOSADA V, LARRAÍN M A, et al. Development of lipid changes related to quality loss during the frozen storage of farmed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2007,84(8):727-734.
- [33] 李松,郭全友,李保国,等. 养殖模式和饵料对养殖大黄鱼体色、质构和营养成分评价的影响[J]. 食品与发酵工业,2019,45(21):118-125.
- [34] 吉红,程小飞,李杰,等. 蚕蛹替代鱼粉对框鳞镜鲤幼鱼生长性能、体成分及健康状况的影响[J]. 水产学报,2012,36(10):1599-1611.
- [35] 覃宝利,王信海,王宣朋,等. 不同养殖参数对克氏原螯虾生长及生理生化的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(5):183-190.
- [36] 何琴,王利,段荟芹,等. 枯草芽孢杆菌和粪肠球菌对鲫鱼生长性能、血清学指标和肠道微生物多样性的影响[J]. 江苏农业学报,2023,39(1):142-147.
- [37] 佟延南,肖蕊,郭忠宝,等. 饲料中添加板蓝根复方对吉富罗非鱼生长性能及抗病力的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):181-186.
- [38] SU Y L, CHEN G, CHEN L S, et al. Effects of antimicrobial peptides on serum biochemical parameters, antioxidant activity and non-specific immune responses in *Epinephelus coioides* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018,86:1081-1087.
- [39] 周越,王伟隆,李松林,等. 饲料中胆碱对大口黑鲈幼鱼生长性能、体成分和血清抗氧化机能的影响[J]. 水产学报,2022,46(2):224-237.

(责任编辑:王妮)