

工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼营养成分、食用安全性和质构特性分析

李红艳^{1,2}, 刘天红^{1,2}, 姜晓东¹, 王颖^{1,2*}, 李晓^{1,2}, 纪蕾¹, 孙元芹¹, 于晓清¹
(1. 山东省海洋生物研究院, 青岛 266104; 2. 青岛市海洋生物种质资源发掘与利用工程实验室, 青岛 266104)

摘要: 目的 分析和评价工厂化循环水养殖模式下珍珠龙胆石斑鱼(♀*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus lanceolatus*)的营养价值、质构特性和食用安全性。**方法** 根据相关检测标准, 测定珍珠龙胆石斑鱼的主要营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、维生素、重金属、农残药残等的含量和质构特性, 并进行营养评价。**结果** 该养殖模式下, 珍珠龙胆石斑鱼蛋白质含量高达 19.51%, 氨基酸种类齐全, 必需氨基酸占氨基酸总量的 40.68%, 符合国际通用的理想模式; 呈味氨基酸占氨基酸总量的 37.76%, 必需氨基酸指数 95.79, 氨基酸平衡效果好, 营养价值和保健价值高; 脂肪含量高, 多不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的 45.47%; 维生素 E 含量十分丰富; 重金属、农残等安全性指标均符合相关标准要求, 食用安全性高。**结论** 工厂化循环水养殖的珍珠龙胆石斑鱼是一种高蛋白、高不饱和脂肪酸、氨基酸组成均衡的海产鱼类, 具有较高的食用和保健价值。

关键词: 珍珠龙胆石斑鱼; 营养成分; 工厂化循环水养殖

Study of nutritional quality, edible safety and texture properties of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* in industrial recirculating aquaculture systems

LI Hong-Yan^{1,2}, LIU Tian-Hong^{1,2}, JIANG Xiao-Dong¹, WANG Ying^{1,2*}, LI Xiao^{1,2}, JI Lei¹, SUN Yuan-Qin¹, YU Xiao-Qing¹

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China; 2. Engineering Laboratory For Exploration and Utilization of Marine Germplasm Resources of Qingdao, Qingdao 266104, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the nutritional value, texture properties and food safety of the ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* in industrial recirculating aquaculture systems. **Methods** According to related testing standards, the general nutrient composition, amino acids, fatty acids, vitamins, heavy metals, pesticide residues and texture properties of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* were determined, and the nutritional evaluation was carried out. **Results** Under this culture mode, the protein content of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* was as high as 19.51%, with a complete variety of amino acids, and the essential amino acids accounted for 40.68% of the total amino acids, which conformed to the international ideal

基金项目: “十三五”海洋经济创新发展示范城市项目、山东省现代农业产业技术体系虾蟹类创新团队项目(SDAIT-13)

Fund: Supported by “13th Five Year Plan” Marine Economic Innovation and Development Demonstration City Project and Project of Shandong Provincial Department of Agriculture (SDAIT-13-07)

*通讯作者: 王颖, 研究员, 主要研究方向为水产资源综合利用。E-mail: food_rc@sina.com

*Corresponding author: WANG Ying, Professor, Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China. E-mail: food_rc@sina.com

mode. The delicious amino acids accounted for 37.76% of total amino acids. The essential amino acids index (EAAI) was 95.79, which indicated balanced amino acids and high nutritional as well as health care value. The fat content was high with polyunsaturated fatty acids accounting for 45.57% of total acids. The content of vitamin E was rich. The safety indicators such as heavy metals and pesticide residues all met the requirements of relevant standards, and the food safety was high. **Conclusion** The ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* in industrial recirculating aquaculture systems is a kind of marine fish with high protein, high unsaturated fatty acid and balanced amino acid composition, which has high edible and health value.

KEY WORDS: ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*; nutritional components; industrial recirculating aquaculture systems

1 引言

珍珠龙胆石斑鱼(♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*), 又称龙虎斑或珍珠斑, 是鞍带石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*, 父本)与棕点石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*, 母本)杂交培育的新品种石斑鱼^[1], 继承了鞍带石斑鱼肉质细腻、生长速度快和棕点石斑鱼抗病能力强等优点, 深受养殖户和消费者青睐, 市场潜力巨大。工厂化循环水养殖, 是通过增氧、过滤、消毒、温度控制、氨氮、亚硝酸盐调控等多项技术集成, 实现水产养殖过程的集成化、智能化控制, 从而使养殖生物在优质稳定的环境中达到高密度、快速生长^[2]。工厂化循环水养殖作为现代渔业的一种新型养殖模式, 因其具有环境友好、资源节约和产品质量可追溯等特点, 是公认的现代海水养殖产业的重要发展方向^[3,4]。

目前已有珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养评价的研究报道^[5-9], 但是除张旭^[6]比较分析了室外水泥池、池塘和海水网箱 3 种养殖模式下珍珠龙胆石斑鱼的营养成分外, 鲜有提供石斑鱼的养殖模式, 也鲜有对其维生素含量和肌肉的质构特性进行分析; 有关珍珠龙胆石斑鱼在工厂化循环水养殖模式下营养成分的分析评价报道较少。为此, 本研究对该养殖模式下珍珠龙胆石斑鱼的肌肉营养成分、营养价值、质构特性和食用安全性进行分析和评价, 以期为其养殖技术、营养学的研究以及加工利用提供基础资料和理论依据。

2 材料与方 法

2.1 材 料

2.1.1 原 料

珍珠龙胆石斑鱼于 2018 年 3 月从厦门新颖佳集团工厂化循环水养殖池中随机采集。石斑鱼自 2017 年 10 月底放苗(鱼苗来自厦门新颖佳生物科技公司, 苗种大小约 12 cm), 养殖 5 个月, 投喂福星石斑鱼饲料。样品石斑鱼体质量 504 ~ 607 g, 体长 28.9 ~ 31.6 cm, 共 6 尾鱼。将样品鱼解剖去皮后取背部与尾部肌肉切成 2 cm×2 cm×1 cm 的

长方体用于质构测定; 将其余肌肉和内脏解剖取出, 分别用高速组织匀浆机捣碎, 各自混合均匀, 装入样品袋中 -20 °C 冻存, 肌肉样品用于营养成分分析和安全性指标检测, 内脏样品进行农残药残检测, 所有检测于 15 d 之内完成。

2.1.2 仪器与试剂

日立 LA8080 氨基酸自动分析仪(日立高新技术公司); 安捷伦 1100 液相色谱仪(美国安捷伦有限公司); Kjeltac 8400 全自动蛋白测定仪、Soxtec 8000 全自动脂肪测定仪(丹麦 FOSS 公司); GC6890 气相色谱仪(美国安捷伦有限公司); ICE3500 石墨炉原子吸收光谱(赛默飞世尔科技有限公司); AP-50-LC 液相色谱-AFS9230 原子荧光光谱仪(北京吉天仪器有限公司); LC-20AD XR 液相色谱-AB4000+串联质谱(日本岛津公司); CT3-4500 质构仪(美国 Brookfield 公司)。

甲苯、石油醚、氯仿、无水乙醚、氢氧化铵、盐酸、硫酸、硫酸钠、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 混合氨基酸标准品(纯度 ≥ 99%, wako 日本和光纯药工业株式会社); 十一碳酸甘油三酯、37 种脂肪酸甲酯混标(纯度 ≥ 98%, 美国 NU-CHEK 公司); 视黄醇、 α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚、 δ -生育酚、钙化醇、胆钙化醇(纯度 ≥ 98%, 美国 Sigma 公司); 三氧化二砷、砷酸二氢钾、硝酸铅、氯化汞、氯化甲基汞、重铬酸钾(分析纯)、镉标准溶液(1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$)(中国计量科学研究院); 土霉素、甲砒霉素、17 种磺胺(纯度 ≥ 98%, 德国 Dr. Ehrenstorfer 公司); 氘代磺胺邻二甲氧嘧啶、氘代磺胺间二甲氧嘧啶、氘代诺氟沙星、氘代环丙沙星、氘代恩诺沙星(纯度 ≥ 98%, 德国 WITEGA 公司)。

2.2 测定方法

2.2.1 营养成分

(1)常规营养成分测定: 水分采用 105 °C 直接干燥法(GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[10]), 灰分采用高温(550 °C)灰化法(GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[11]), 粗蛋白质采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的

测定》^[12], 粗脂肪采用索式抽提法(GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[13])。

(2)氨基酸测定: 参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[14]和 GB/T 18246-2000《饲料中氨基酸的测定》^[15]对样品进行前处理, 采用氨基酸自动分析仪检测其含量。各氨基酸的质控方法为测试样品加标后, 测定回收率。

(3)脂肪酸成分测定: 参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》^[16], 样品经酸水解后, 加入甘油三酯和 C11:0 作为内标, 以乙醚萃取脂质, 然后于甲醇中以 BF₃ 转化为脂肪酸甲酯, 气相色谱(安捷伦 GC6890)分析。

(4)脂溶性维生素 A、E 的测定: 反相高效液相色谱法(GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》^[17]第一法)。

(5)维生素 D 的测定: 高效液相色谱法(GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》^[17]第四法)。

(6)无机砷、甲基汞、铅、镉、铬含量的测定: 分别按 GB 5009.11-2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》^[18]第一法、GB 5009.17-2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》^[19]第二篇、GB 5009.12-2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》^[20]第一法、GB 5009.15-2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》^[21]、GB 5009.123-2014《食品安全国家标准 食品中铬的测定》^[22]测定。无机砷、铅、镉、铬的质控方法为测试样品加标后, 测定回收率。甲基汞质控样品为鱼肉中甲基汞及总汞质控样品, 编号: BQC1220139580。

(7)农残与药残测定: 土霉素 GB/T 21317-2007《动物源性食品中四环素类兽药残留量检测方法 液相色谱-质谱/质谱法与高效液相色谱法》^[23]、氟甲砜霉素 GB/T 20756-2006《可食动物肌肉、肝脏和水产品中氯霉素、甲砜霉素和氟苯尼考残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》^[24]、多氯联苯 GB 5009.190-2014《食品安全国家标准 食品中指示性多氯联苯含量的测定》^[25]第二法、17 种磺胺类《农业部 1077 号公告-1-2008 水产品中 17 种磺胺类及 15 种喹诺酮类药物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》^[26]。质控方法为测试样品加标后, 测定回收率。所有检测均按国标要求进行 3 次平行实验和必要的空白实验, 以保证结果的准确性。

2.2.2 质构特性测定

取鱼背部和尾部肌肉, 切成 2 cm×2 cm×1 cm 小块, 采用 TA44 圆柱探头; 探头下压速度 2 mm, 触发后测试速度 0.50 mm/s, 返回速度: 0.50 mm/s, 触发点负载: 5.0 g, 压缩比 40%, Tag 基台, 数据频率 50 points/s, 循环次数 2 次, 每个样品测定 5 次, 取平均值。

2.2.3 营养价值评价

(1)氨基酸品质评价

将所测得必需氨基酸换算成 1 g 蛋白质中含氨基酸 mg 数, 与 2007 年 FAO/WHO 建议的氨基酸计分模式和以鸡蛋蛋白质作为理想蛋白质进行比较, 按下式计算珍珠龙胆石斑鱼的氨基酸分(amino acid score, AAS)^[27]、化学分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[28]:

$$AAS = \frac{M_1}{M_0} \times 100$$

$$CS = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{A} \times \frac{100b}{B} \times \frac{100c}{C} \times \dots \times \frac{100h}{H}}$$

式中: M_1 为待评蛋白质中必需氨基酸的含量, mg/g N; M_0 为 FAO/WHO 模式中蛋白质相应必需氨基酸的含量, mg/g N; M_2 为鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸的含量, mg/g N; n 为比较的氨基酸种数; a 、 b 、 c ... h 分别为待评蛋白质的氨基酸含量, mg/g N; A 、 B 、 C ... H 分别为鸡蛋蛋白质的氨基酸含量, mg/g N。

(2)脂肪酸品质评价

血栓形成指数(thrombosis index, IT)是评估肌肉脂肪酸对人类心血管疾病发生影响的指标, 其计算公式^[28,29]为:

$$IT = \frac{SFA}{0.5 \times MUFA + 0.5 \times \omega - 6PUFA + 3 \times \omega - 3PUFA + \frac{\omega - 6PUFA}{\omega - 3PUFA}}$$

式中, SFA 为饱和脂肪酸, $MUFA$ 为单不饱和脂肪酸, $PUFA$ 为多不饱和脂肪酸。

2.3 数据处理

采用 EXCEL2010 进行统计分析, 结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

3 结果与分析

3.1 常规营养成分分析

实验样品常规营养成分测定结果如表 1 所示。珍珠龙胆石斑鱼肌肉中粗蛋白含量高, 脂肪含量丰富, 灰分含量较低。与前人研究相比, 所检测珍珠龙胆石斑鱼蛋白含量高于于宏等^[9], 低于王际英等^[5]和张旭^[6]的检测结果。从粗脂肪和粗灰分含量来看, 珍珠龙胆石斑鱼脂肪含量高于前人所测数据^[5-7,9]。于宏采用的鱼体质量(358±110) g, 王际英等采用的鱼体质量 897.7~960.2 g, 张旭采用的鱼体质量 609.7~629.7 g, 而本实验采用鱼体质量 504~607 g, 高于张旭而低于其余二者, 常规营养成分含量的差异可能是由鱼体规格的差别导致的, 鱼体小时蛋白含量偏低, 脂肪含量略高; 也可能与养殖环境、采样季节、养殖过程中饲

表 1 珍珠龙胆石斑鱼肌肉基本营养成分比较(g/100 g, 湿重, n=3)

Table 1 Nutritional composition in muscle of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* (g/100 g wet weight, n=3)

样品	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
珍珠龙胆石斑鱼	70.62±1.07	19.51±0.15	7.98±0.16	1.52±0.08
珍珠龙胆石斑鱼 ^[5]	75.55±0.56	19.95±0.61	2.29±0.16	1.24±0.07
珍珠龙胆石斑鱼 ^[6]	74.20±3.20	21.70±0.55	3.33±0.15	1.40±0.00
珍珠龙胆石斑鱼 ^[9]	80.19	17.05	4.18	1.24
棕点石斑鱼 ^[30]	77.10	18.80	2.20	1.16
大菱鲆 ^[31]	79.76	17.72	0.78	0.95
鞍带石斑鱼 ^[32]	70.50	19.50	7.69	1.01

料成分的差异有关。冬季鱼类肌肉脂肪含量远高于夏季, 以助于鱼类的抗寒越冬, 工厂化循环水养殖模式下由于养殖空间有限, 养殖密度相对较大, 鱼的活动量少, 能量消耗较少; 加之采样季节刚过冬季, 多余能量转化为脂肪贮存起来, 因此检测脂肪含量偏高。

与其他经济鱼类相比, 珍珠龙胆石斑鱼的粗蛋白、粗脂肪和灰分含量高于棕点石斑鱼^[30]和大菱鲆^[31], 粗蛋白、粗脂肪含量与鞍带石斑鱼^[32]含量较为相近。肌间脂肪含量升高, 肌肉的柔嫩度、多汁性和香味都会有所增加^[7]。珍珠龙胆石斑鱼很好地继承了鞍带石斑鱼蛋白含量高, 肉质细腻、柔嫩多汁的优点。

3.2 氨基酸组成与营养品质评价

3.2.1 氨基酸组成分析

食物中蛋白质的营养价值高低主要取决于 3 方面: 所含必需氨基酸种类的齐全性; 必需氨基酸含量的多少和各必需氨基酸的组成比例^[33]。实验样品的氨基酸组成如表 2 所示, 共检出 18 种氨基酸, 含有 8 种必需氨基酸, 2 种半必需氨基酸和 6 种非必需氨基酸。从氨基酸组成上看, Glu 含量最高(2.97%鲜重), 其次为 Asp、Lys 和 Leu; Trp 含量最低, 仅占鲜重的 0.19%。这点与前人研究结果^[5-9]较为一致, 只是在氨基酸含量方面有所差异, 可能与养殖方式、鱼体所处成长阶段、取样部位和检测偏差等有关。根据 FAO/WHO 的理想模式, 质量较好的蛋白质其必需氨基酸与非必需氨基酸比值(essential amino acids/nonessential amino acids, EAA/NEAA)为 60%以上, 必需氨基酸与氨基酸总量(total amino acid content, TAA)比值(EAA/TAA)为 40%左右^[34]。珍珠龙胆石斑鱼 EAA/NEAA 为 81.06%远高于 60%, EAA/TAA 为 40.68%, 符合 FAO/WHO 的理想模式要求, 氨基酸平衡效果好, 是优质的蛋白来源。

从风味方面来看, 珍珠龙胆石斑鱼呈味氨基酸与氨基酸总量比值(delicious amino acids/total amino acids, DAA/TAA)为 37.76%, 其中呈鲜味的 Asp 和 Glu^[35]含量较高, 分别为 2.97%±0.13%和 2.07%±0.12%鲜重, 呈甘味的 Gly 和 Ala^[35]含量也十分丰富, 为其鲜美风味奠定了一定基础。

表 2 珍珠龙胆石斑鱼肌肉氨基酸组成(n=3)

Table 2 Amino acids composition in the muscle of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*(n=3)

氨基酸	占鲜重的百分比 占干重的百分比	
	/%	/%
天门冬氨酸(Asp)*	2.07±0.12	7.05±0.51
苏氨酸(Thr)#	0.93±0.05	3.17±0.21
丝氨酸(Ser)	0.8±0.03	2.72±0.15
谷氨酸(Glu)*	2.97±0.13	10.11±0.59
脯氨酸(Pro)	0.66±0.05	2.25±0.21
甘氨酸(Gly) *	1.01±0.07	3.44±0.29
丙氨酸(Ala) *	1.18±0.07	4.02±0.28
缬氨酸(Val) #	0.94±0.06	3.20±0.26
胱氨酸(Cys-Cys)	0.28±0.02	0.95±0.08
蛋氨酸(Met) #	0.56±0.05	1.91±0.20
异亮氨酸(Ile) #	0.87±0.06	2.96±0.27
亮氨酸(Leu) #	1.55±0.09	5.28±0.42
酪氨酸(Tyr)	0.64±0.05	2.18±0.21
苯丙氨酸(Phe) #	0.82±0.05	2.79±0.21
组氨酸(His) △	0.48±0.03	1.63±0.15
色氨酸(Trp) #	0.19±0.01	0.65±0.04
赖氨酸(Lys) #	1.93±0.04	6.57±0.16
精氨酸(Arg) △	1.27±0.08	4.32±0.34
氨基酸总量(TAA)	19.15±0.46	65.18±1.96
必需氨基酸总量(EAA)	7.79±0.27	26.51±1.20
半必需氨基酸总量 (semi-essential amino acid, HEAA)	1.75±0.11	5.96±0.53
非必需氨基酸总量(NEAA)	9.61±0.41	32.71±1.87
呈味氨基酸总量(DAA)	7.23±0.29	24.61±1.42
EAA/TAA		40.68%
EAA/NEAA		81.06%
DAA/TAA		37.76%
MAA/TAA		68.41%

注: #表示必需氨基酸; *表示呈味氨基酸; △表示半必需氨基酸。

3.2.2 氨基酸营养品质评价

氨基酸评分(amino acid score, AAS)和化学评分(chemical score, CS)可以反映蛋白质构成和利用率关系。从表 3 可知, 本实验样品的 AAS 和 CS 均以 Lys 最高, Trp 最低, Val 得分略高于 Trp。以 AAS 为标准, 珍珠龙胆石斑鱼各必需氨基酸得分均非常接近或高于 FAO/WHO 模式值, 氨基酸平均分 120.69, 表明其氨基酸含量相对均衡合理。以 CS 为标准, 珍珠龙胆石斑鱼的第一限制性氨基酸为 Trp, 第二限制性氨基酸为 Val。为了保持饮食平衡, 在食用珍珠龙胆石斑鱼时, 建议搭配富含 Trp 和 Val 的食物进行相应的补充, 如黑米、小米、香蕉、蘑菇、豆腐等。

必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)是评价食物蛋白质质量的重要指标, 数值越接近 100, 食物蛋白与标准蛋白的必需氨基酸组成就越接近, 其营养价值就越高。根据相关 EAAI 值适用评价标准^[36], EAAI > 95 为优质蛋白源, 86 < EAAI < 95 为良好蛋白源, 75 < EAAI < 86 为可用蛋白源, EAAI < 75 为不适用蛋白源。如表 3, 珍珠龙胆石斑鱼的 EAAI 值为 95.79, 高于王际英等(77.21)^[5]和张旭检测结果(分别为 73.99、75.48、76.51)^[6], 高于美洲黑石斑鱼(91.18)^[37], 低于点带石斑鱼(103)^[38]和棕点石斑鱼(514)^[30], 属优质蛋白源。综上, 工厂化循环水养殖的珍珠龙胆石斑鱼肌肉中, 氨基酸种类丰富, 组成合理, 营养价值和保健价值高。

3.3 脂肪酸组成

脂肪酸含量和组成也是评价肌肉质量的重要指标之一。饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸

(polyunsaturated fatty acid, PUFA)都是人体生长发育必需的营养物质, 提高不饱和脂肪酸, 特别是高不饱和脂肪酸的摄入, 是人们膳食结构的发展趋势^[39]。由表 4 数据可知, 本实验样品的粗脂肪含量较高, 肌肉脂肪酸的含量关系为 PUFA > SFA > MUFA。PUFA 可以增加食物加热过程中的香味, 具有改善血液循环、降低血液粘稠度、增强人体免疫力等多种生理活性^[40]。珍珠龙胆石斑鱼肌肉 PUFA 含量 45.47%, 高于美洲黑石斑鱼(24.46%)^[37]、棕点石斑鱼^[30](36.19%)、大菱鲆(45.34%)^[31]。由表 4 数据计算可得, 珍珠龙胆石斑鱼肌肉脂肪酸的血栓形成指数(IT)为 0.26, 大大低于羊肉、牛肉和猪肉(IT 分别为 1.58、1.06 和 1.37)^[29], 表明其肌肉脂肪酸不饱和度高, 具有抑制血栓形成的功能。

由于动物体内只能合成 SFA 和 MUFA, 不能合成亚麻酸、不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, DHA)、EPA 等 PUFA^[41], 鱼体必须通过摄取含高度多不饱和脂肪酸的饵料补充体内之需, 脂肪酸组成受所摄食饵料的脂肪酸成分影响较大。后期饲养过程中, 可以选择脂肪含量较低, 高不饱和脂肪酸含量相对较高的饵料投喂珍珠龙胆石斑鱼, 以期适当降低其脂肪含量的同时保障其脂肪酸品质。

3.4 脂溶性维生素含量

由表 5 可知, 本实验样品中只检出维生素 D₃ 和维生素 E; 维生素 A 含量低于检测限, 未检出。维生素 D 具有调节免疫力, 防治心脑血管疾病、肾脏疾病、糖尿病等作用^[42]; 维生素 E 具有抗自由基氧化、抗衰老、增强免疫等作用^[43]。珍珠龙胆石斑鱼维生素 E 含量较为丰富, 营养价值较高。

表 3 珍珠龙胆石斑鱼肌肉必需氨基酸组成的评价

Table 3 Evaluation of essential amino acids composition in the muscles of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus*

氨基酸/(mg/g N)	FAO/WHO 模式	鸡蛋蛋白质	氨基酸评分 AAS	化学分 CS
异亮氨酸(Ile)	250	331	111.48	84.20
亮氨酸(Leu)	440	534	112.86	92.99
赖氨酸(Lys)	340	441	181.84	140.19
半胱氨酸 + 蛋氨酸(Cys+Met)	220	386	122.30	69.71
苏氨酸(Thr)	250	292	119.18	102.03
色氨酸(Trp)	63	106	96.63	57.43
缬氨酸(Val)	310	441	97.14	68.28
酪氨酸 + 苯丙氨酸(Tyr+Phe)	380	565	123.08	82.78
氨基酸平均分 average score			120.69	
必需氨基酸指数 EAAI			95.79	

表 4 珍珠龙胆石斑鱼肌肉脂肪酸组成($n=3$)Table 4 Fatty acids composition in the muscle of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* ($n=3$)

脂肪酸种类	珍珠龙胆石斑鱼/%
饱和脂肪酸 SFA	28.87±1.63
单不饱和脂肪酸 MUFA	25.66±0.56
多不饱和脂肪酸 PUFA	45.47±0.78
ω -3 脂肪酸 ω -3 PUFA	20.57±0.35
ω -6 脂肪酸 ω -6 PUFA	24.91±0.39
ω -9 脂肪酸 ω -9 PUFA	22.26±0.48
EPA	3.77±0.12
DHA	8.30±0.24

表 5 珍珠龙胆石斑鱼肌肉维生素含量($n=3$)Table 5 Vitamins contents in the muscle of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* ($n=3$)

维生素	A	D ₂	D ₃	E
珍珠龙胆石斑鱼/(mg/kg)	—	—	0.15±0.03	20.85±0.15

注: —表示未检出。

3.5 安全性指标检测

实验对肌肉中的重金属含量和农残药残及内脏中的农残药残进行了检测,结果见表 6。本实验样品中无机砷、甲基汞、铬、多氯联苯未检出,铅 0.0062 mg/kg、甲基汞 0.036 mg/kg,符合 GB2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[44]铅 < 0.5 mg/kg、甲基汞 < 1.0 mg/kg 的规定;按土霉素、氟甲砜霉素、17 种磺胺类各自的定量限进行加标回收,回收率均在农业部 235 号公告文件《动物性食品中兽药最高残留限量》规定范围内,肌肉和内脏中三类药残均未检出,表明在该工厂化循环水养殖模式下的珍珠龙胆石斑鱼是安全食品。

3.6 肌肉质构特性分析

珍珠龙胆石斑鱼背部与尾部肌肉的质构分析结果见表 7。硬度是描述鱼肉变形或穿透鱼肉所需的力,是鱼肉保持形状的内部结合力;粘性表示当食品表面与其他物体(舌、牙齿和口腔)附着时,剥离它们所需的力,它能反应鱼肉细胞间结合力的大小,结合力越小,粘性值越大;内聚性是鱼体肌肉抵抗外界因素的损伤并紧密连接,使自身保

持完整的性质,比值在 0 到 1 之间时,内聚性越大肌肉口感越好,越细腻;弹性反映鱼体受外力作用时变形,去除外力后的恢复程度,一定条件下,含水率越高,弹性越大,弹性还受蛋白质含量的影响,蛋白含量尤其是胶原蛋白含量越高,弹性越强;咀嚼性即所说的咬劲,为模拟鱼肉咀嚼成吞咽状态所需的能量。由表 7 结果来看,珍珠龙胆石斑鱼背部肌肉硬度、粘性和咀嚼性显著小于尾部肌肉,且差异显著;弹性和内聚性显著高于尾部肌肉,且差异显著($P<0.05$),这表明背部肌肉口感较细腻,易咀嚼,弹性好;尾部肌肉细胞间结合力相对较小,肌肉硬度偏高,咀嚼性高,这与 Sigurgisladottir 等^[45]研究大西洋鲑鱼的结果类似。

表 6 珍珠龙胆石斑鱼安全指标($n=3$)Table 6 Safety indexes of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* ($n=3$)

安全指标	肌肉/(mg/kg)	内脏/(mg/kg)
Cd	—	*
无机 As	—	*
Pb	0.0062±0.0000	*
甲基 Hg	0.036±0.000	*
Cr	—	*
氟甲砜霉素	—	—
土霉素	—	—
多氯联苯	—	—
17 种磺胺类	—	—

注: —表示未检出; *表示为检测。

4 结论

工厂化循环水养殖模式下,珍珠龙胆石斑鱼蛋白含量高达 19.51%,必需氨基酸占氨基酸总量的 40.63%,符合 FAO/WHO 的理想模式;必需氨基酸指数 95.79,氨基酸种类齐全,组成合理,营养价值和保健价值高,是优质蛋白源;粗脂肪含量较高,多不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的 45.47%,血栓形成指数 IT 较低;维生素 E 含量十分丰富;重金属、农残等安全性指标均符合有关标准规定,食用安全性高。综上,工厂化循环水养殖的珍珠龙胆石斑鱼是一种高蛋白、高不饱和脂肪酸、氨基酸组成均衡,营养价值高的优质海产鱼类。

表 7 珍珠龙胆石斑鱼肌肉肌肉 TPA 测定结果($n=3$)Table 7 TPA analysis results of muscle of ♀*Epinephelus fuscoguttatus* × ♂*Epinephelus lanceolatus* ($n=3$)

样品	第一循环硬度/g	粘性/mJ	弹性	第二循环硬度/g	内聚性	咀嚼性/mJ
背部肌肉	133.0±23.3 ^a	0.023±0.015 ^a	0.26±0.05 ^a	113.8±21.2 ^a	0.51±0.09 ^a	1.62±0.41 ^a
尾部肌肉	371.8±6.0 ^b	0.1±0.07 ^b	0.14±0.03 ^b	301.0±18.2 ^b	0.31±0.04 ^b	3.03±0.43 ^b

注: 同列数据右上角字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)。

参考文献

- [1] 于欢欢, 李炎璐, 陈超, 等. 棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交 F1 仔、稚、幼鱼的摄食与生长特性分析[J]. 中国水产科学, 2015, 22(5): 968-977.
Yu HH, Li YL, Chen C, et al. Feeding habits and growth characteristics of larval, juvenile, and young F1 of *Epinephelus fuscoguttatus* (♀)×*E. lanceolatus* (♂) [J]. J Fishery Sci China, 2015, 22(5): 968-977.
- [2] 胡金城, 于学权, 辛乃宏, 等. 工厂化循环水养殖研究现状及应用前景[J]. 中国水产, 2017, (6): 94-97.
Hu JC, Yu XQ, Xin NH, et al. Research status and application prospect of industrial circulating aquaculture [J]. China Fisher, 2017, (6): 94-97.
- [3] 刘克明, 马林, 尤宏争, 等. 3 种养殖模式下北极红点鲑肌肉营养成分分析与评价[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(3): 387-392.
Liu KM, Ma L, You HZ, et al. Comparative analysis of muscular nutrients in Arctic char *Salvelinus alpinus* cultured under three different modes [J]. J Dalian Ocean Univ, 2019, 34(3): 387-392.
- [4] 仇登高, 温凭, 林琪, 等. 投喂频率对工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼生长和血浆抗应激酶活力的影响[J]. 渔业研究, 2018, 40(6): 441-448.
Qiu DG, Wen P, Lin Q, et al. The effect of feeding frequency on the growth and plasma anti-stress enzyme activities of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂) in industrial recirculating aquaculture systems [J]. J Fisher Res, 2018, 40(6): 441-448.
- [5] 王际英, 张德瑞, 马晶晶, 等. 珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 海洋湖沼通报, 2015, (4): 61-69.
Wang JY, Zhang DR, Ma JJ, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation of ♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*E. lanceolatus* muscles [J]. Transact Oceanol Limnol, 2015, (4): 61-69.
- [6] 张旭. 不同养殖模式下珍珠龙胆石斑鱼的品质比较[J]. 河北渔业, 2017, (8): 5-8, 17.
Zhang X. Comparison of flesh quality of farmed grouper, ♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*E. lanceolatus* from different culture models [J]. Hebei Fisher, 2017, (8): 5-8, 17.
- [7] 范秀萍, 秦小明, 章超桦, 等. 珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养成分与挥发性风味成分的分析与评价[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(1): 39-46.
Fan XP, Qin XM, Zhang CH, et al. Nutritional and volatile flavor components of dorsal and ventral muscle from hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂) [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2018, 38(1): 39-46.
- [8] 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.
Chen XX, Ke AY, Pan QC, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation of ♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*E. lanceolatus* [J]. Transact Oceanol Limnol, 2018, (1): 90-95.
- [9] 于宏, 万刚涛, 程民杰, 等. 龙虎斑鱼肌肉营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 34(6): 83-87.
Yu H, Wan GT, Cheng MJ, et al. Analysis of the nutritive components of muscle from pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*E. lanceolatus* ♂) [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2014, 34(6): 83-87.
- [10] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
GB 5009.3-2016 National food safety standard-Determination of water in food [S].
- [11] GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
GB 5009.4-2016 National food safety standard-Determination of ash in food [S].
- [12] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5-2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].
- [13] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
GB 5009.6-2016 National food safety standard-Determination of fat in food [S].
- [14] GB 5009.124-2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S].
GB 5009.124-2016 National food safety standard-Determination of amino acid in food [S].
- [15] GB/T 18246-2000 饲料中氨基酸的测定[S].
GB/T 18246-2000 Determination of amino acids in feeds [S].
- [16] GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S].
GB 5009.168-2016 National food safety standard-Determination of fatty acids in food [S].
- [17] GB 5009.82-2016 食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定[S].
GB 5009.82-2016 National food safety standard-Determination of vitamins A, D and E in food [S].
- [18] GB 5009.11-2014 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定[S].
GB 5009.11-2014 National food safety standard-Determination of total and inorganic arsenic in food [S].
- [19] GB 5009.17-2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定[S].
GB 5009.17-2014 National food safety standard-Determination of total and organic mercury in food [S].
- [20] GB 5009.12-2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].
GB 5009.12-2017 National food safety standard-Determination of lead in food [S].
- [21] GB 5009.15-2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定[S].
GB 5009.15-2014 National food safety standard-Determination of cadmium in food [S].
- [22] GB 5009.123-2014 食品安全国家标准 食品中铬的测定[S].
GB 5009.123-2014 National food safety standard-Determination of chromium in food [S].
- [23] GB/T 21317-2007 动物源性食品中四环素类兽药残留量检测方法 液相色谱-质谱/质谱法与高效液相色谱法[S].
GB/T 21317-2007 Determination of tetracyclines residues in food of animal origin LC-MS/MS method and HPLC method [S].
- [24] GB/T 20756-2006 可食动物肌肉、肝脏和水产品中氯霉素、甲砒霉素和氟苯尼考残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
GB/T 20756-2006 Method for the determination of chloramphenicol, thiamphenicol, and florfenicol residues in edible animal muscles, liver and aquatic products—LC-MS-MS method [S].
- [25] GB 5009.190-2014 食品安全国家标准 食品中指示性多氯联苯含量的测定[S].
GB 5009.190-2014 National food safety standard-Determination of indicator polychlorinated biphenyls in food [S].
- [26] 农业部 1077 号公告-1-2008 水产品中 17 种磺胺类及 15 种喹诺酮类药物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].
Announcement No.1077 of the Ministry of Agriculture-1-2008-Simultaneous determination of 17 sulfonamides and 15 quinolones residues in aquatic products by-LC-MS/MS method [S].

- [27] FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Amino acid requirements of adults. In Protein and amino acids requirements in human nutrition [M]. FAO/WHO/UNU: Rome, Italy, 2007, 35–159.
- [28] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(19): 6637–6644.
Yan SA, Yao QH, Lin XX, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional component of *Pelteobagrus vachelli* cultured with different stocking density [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(19): 6637–6644.
- [29] 叶蕾, 张文, 阎洁, 等. 东海中华小公鱼的营养成分分析及营养评价[J]. 营养学报, 2018, 40(5): 512–514.
Ye L, Zhang W, Yan J, *et al.* Nutritional analysis and evaluation of *Stolephorus chinensis* in East sea of China [J]. Acta Nutr Sin, 2018, 40(5): 512–514.
- [30] 郭永军, 邢克智, 徐大为, 等. 棕点石斑鱼的肌肉营养成分分析[J]. 水产科学, 2009, 28(11): 635–638.
Guo YJ, Xing KZ, Xu DW, *et al.* Evaluation of nutritive quality and components in muscle of Brownmarbled Grouper *Epinephelus fuscoguttatus* [J]. Fish Sci, 2009, 28(11): 635–638.
- [31] 宋理平, 王春生, 曾宪富. 大菱鲆肌肉基本成分分析与营养价值评价[J]. 长江大学学报(自然科学版)自然科学版, 2013, 10(8): 45–49.
Song LP, Wang CS, Zeng XF. Basic components analysis and nutritive value evaluation of *Scophthalmus maximus* muscle [J]. J Yangtze Univ (Nat Sci Ed), 2013, 10(8): 45–49.
- [32] 黎祖福, 付倩倩, 张以顺. 鞍带石斑鱼肌肉营养成分及氨基酸含量分析[J]. 南方水产科学, 2008, 4(5): 61–64.
Li ZF, Fu QQ, Zhang YS. An analysis of the nutritive composition and the contents of amino acids in muscle of *Epinephelus lanceol* [J]. South China Fisher Sci, 2008, 4(5): 61–64.
- [33] 王福田, 赖年悦, 程华峰, 等. 比较分析三种不同环境下的中华鳖肌肉营养品质及其挥发性风味物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 253–261.
Wang FT, Lai NY, Cheng HF, *et al.* Comparative analysis of the nutritional quality and volatile flavor constituents in the muscle of Chinese soft-shelled turtle from three different environments [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(22): 253–261.
- [34] 朱羽庄, 梅光明, 严忠雍, 等. 舟山小黄鱼的营养成分测定与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1184–1190.
Zhu YZ, Mei GM, Yan ZY, *et al.* Determination and analysis of the nutritional components of Zhoushan *Larimichthys polyactis* [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(5): 1184–1190.
- [35] 陈晓婷, 吴靖娜, 许旻, 等. 四种河鲢鱼皮和鱼肉的营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 69–77.
Chen XT, Wu JN, Xu W, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional components in fish skin and fish meat of four species of puffer fish [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(1): 69–77.
- [36] 陈巧玲, 李忠海, 陈素琼. 5种地产食用菌氨基酸组成比较及营养评价[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 43–46.
Chen QL, Li ZH, Chen SQ. Analysis of amino acid composition and nutritional evaluation in five local edible fungus [J]. Food Mach, 2014, 30(6): 43–46.
- [37] 党冉, 竺俊全, 邱新志. 美洲黑石斑鱼含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 海洋学研究, 2010, 28(2): 60–66.
Dang Y, Zhu JQ, Qiu XZ. Analysis of flesh content and nutrient components in the muscle of *Centropristis striata* [J]. J Mar Sci, 2010, 28(2): 60–66.
- [38] 徐大为, 邢克智, 张树森, 等. 点带石斑鱼的肌肉营养成分分析[J]. 水利渔业, 2008, (3): 54–56.
Xu DW, Xing KZ, Zhang SS, *et al.* Analysis of muscle nutrients in grouper *Epinephelus malabaricus* [J]. Reserv Fisher, 2008, (3): 54–56.
- [39] Harris WS, Mozaffarian D, Rimm E, *et al.* Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease a science advisory from the American heart association nutrition subcommittee of the Council on nutrition physical activity, and metabolism; council on cardiovascular nursing; and council on epidemiology and prevention [J]. Circulation, 2009, 119(6): 902–907.
- [40] 郑婷婷, 周静, 翁欣, 等. 四种海产鱼卵的营养成分差异性分析及评价[J]. 食品与发酵工业, 2020. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023891>
Zheng TT, Zhou J, Weng X, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components of four kinds of marine aquatic roes [J]. Food Ferment Ind, 2020. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023891>
- [41] 吴水清, 罗辉玉, 郑乐云, 等. 赤点石斑鱼与鞍带石斑鱼杂交子一代肌肉营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2020, 39(2): 245–250.
Wu SQ, Luo HY, Zheng LY, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition in muscle of hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ [J]. Fisher Sci, 2020, 39(2): 245–250.
- [42] 王昌博, 黄远英, 殷光玲. 维生素D生物学功能研究进展及意义[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(8):145–148.
Wang CB, Huang YY, Yin GL. Review of biological function of vitamin D and its marketing opportunity [J]. Food Res Dev, 2015, 36(8): 145–148.
- [43] 周筱丹, 董晓芳, 佟建明. 维生素 E 的生物学功能和安全性评价研究进展[J]. 动物营养学报, 2010, 22(4): 817–822.
Zhou XD, Dong XF, Tong JM. Research advances in biological functions and safety evaluation of vitamin E [J]. Chin J Animal Nutr, 2010, 22(4): 817–822.
- [44] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2017 National food safety standard-Limit of pollutants in food [S].
- [45] Sigurgisladdottir S, Hafsteinsson H, Jonsson A. Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method [J]. J Food Sci, 1999, 64(1): 99–104.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



李红艳, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工及贮藏。

E-mail: aqlhy2008@126.com



王颖, 研究员, 主要研究方向为水产资源综合利用。

E-mail: food_rc@sina.com