

不同生境下黄斑篮子鱼肌肉营养成分比较分析

杨育凯^{1,2}, 黄小林^{1,2}, 舒 琥³, 林黑着^{1,2}, 王 岚³, 荀鹏伟⁴, 虞 为^{1,2}, 黄 忠^{1,2},
李 涛^{1,2}

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室/广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300
2. 中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地/国家渔业资源环境大鹏观测实验站, 广东 深圳 518121
3. 广州大学 生命科学学院, 广东 广州 510006
4. 信阳农林学院 水产学院, 河南 信阳 464000

摘要: 为给黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*) 配合饲料研制提供基础数据, 采用生化分析方法分别对工厂化养殖、高位池养殖和野生黄斑篮子鱼肌肉的一般营养成分、氨基酸和脂肪酸组成进行测定, 探讨了生境对黄斑篮子鱼肌肉营养和品质的影响。结果显示, 相较于野生鱼, 2种养殖鱼肌肉粗蛋白、粗脂肪含量较高而水分、灰分较低, 其中工厂化养殖鱼粗脂肪含量显著高于其他两组 ($P<0.05$)。3种实验鱼均测得17种常见氨基酸, 其中以谷氨酸含量最高, 必需氨基酸 (Essential amino acids, EAA) 中以赖氨酸最高; 必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI) 以高位池养殖鱼最高而野生鱼最低。2种养殖鱼测得26种脂肪酸而野生鱼仅测得24种; 比较多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acids, PUFA) 组成, 养殖鱼以n-6系列的C18:2n6c (亚油酸) 为主, 而野生鱼以n-3系列的C22:6n3 (DHA)、C20:5n3 (EPA) 为主, n-3/n-6比值、EPA+DHA含量野生鱼均显著大于2种养殖鱼 ($P<0.05$)。研究表明, 养殖黄斑篮子鱼肌肉氨基酸营养和风味优于野生鱼, 但相对缺乏DHA、EPA等n-3 PUFA。

关键词: 黄斑篮子鱼; 生境; 一般营养成分; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S 963

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Comparative analysis of nutritional composition of muscle from *Siganus oramin* living in different habitats

YANG Yukai^{1,2}, HUANG Xiaolin^{1,2}, SHU Hu³, LIN Heizhao^{1,2}, WANG Lan³, XUN Pengwei⁴, YU Wei^{1,2},
HUANG Zhong^{1,2}, LI Tao^{1,2}

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China
2. Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/National Fishery Resources and Environment Dapeng Observation and Experimental Station, Shenzhen 518121, China
3. School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China
4. College of Fisheries, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China

收稿日期: 2021-11-20; **修回日期:** 2022-06-07

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金 (2019KJ143); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030002); 广东省省级科技计划项目 (2019B030316022); 广东省渔业生态环境重点实验室开放基金 (FEEL-2019-11, FEEL-2021-4); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2020CY04)

作者简介: 杨育凯 (1986—), 男, 助理研究员, 硕士, 研究方向为水产动物遗传育种。E-mail: yangyukai1986@163.com

通信作者: 林黑着 (1965—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: linheizhao@163.com

Abstract: To provide basic data for the production of *Siganus oramin* formula feed, we measured the general nutritional composition, amino acids and fatty acids in the muscle of *S. oramin* from industrial farming, high pond farming and the wild by biochemical analysis, investigated the effects of habitat on the muscle the nutrition and quality of *S. oramin*. The results show that compared with the wild fish, the contents of crude protein and crude lipid were higher but those of ash and moisture were lower in the muscle of the farmed fish, and the crude fat content in the industrial farmed fish was significantly higher than that of the other groups ($P<0.05$). Moreover, there were 17 common amino acids in the three kinds of fishes. Among them the glutamate content was the highest. For essential amino acids (EAA), lysine had the highest content. The essential amino acid index (EAAI) was highest in high pond farmed fish but lowest in the wild fish. Furthermore, there were 26 species fatty acids in the two kinds of farmed fish but only 24 species were found in the wild fish. The contents of polyunsaturated fatty acids (PUFA), n-6 series C18:2n6c were highest in the two farmed fishes, while those of the C22:6n3 (DHA) and C20:5n3 (EPA) of n-3 series were significantly higher in the wild fish. The ratio of n-3/n-6 and the content of DHA+EPA in the wild fish were significantly different from the two farmed fishes ($P<0.05$). Thus, it is revealed that the farmed *S. oramin*'s nutrition and flavor are better than the wild ones, but they lack n-3 PUFA such as DHA and EPA.

Keywords: *Siganus oramin*; Habitat; General nutritional composition; Amino acid; Fatty acid

黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*) 俗称泥猛、网纹臭肚鱼, 为长鳍篮子鱼 (*S. canaliculatus*) 的同物异名, 隶属鲷形目、篮子鱼科、篮子鱼属, 广泛分布于印度洋和太平洋西部, 在中国南海、东海南部及台湾海峡均有分布^[1]。黄斑篮子鱼是植食性为主的杂食性小型鱼类, 喜啃食礁石或网箱附着的藻类, 因此在生产中常被套养在养殖网箱内, 起到清洁网衣的作用。黄斑篮子鱼富含高度不饱和脂肪酸 (Highly unsaturated fatty acids, HUFA), 肉鲜味美、营养丰富、价格稳定, 深受消费者喜爱; 过去市售多以野生鱼为主, 近年来随着市场需求的不断扩大, 南方多地开始将其作为主养品种养殖, 产量逐年增加, 其品质和风味也越来越受到关注。

目前有关黄斑篮子鱼的研究集中在遗传结构^[2]、系统发育^[3]、繁殖习性^[4]、养殖模式^[5-6]、投喂策略^[7]、病害防治^[8]等领域。庄平等^[9]、徐树德等^[10]分别对野生和不同饲料养殖的黄斑篮子鱼肌肉营养成分进行了评价分析。研究表明, 养殖对象通常会随着外界环境的改变而选择相对适宜的生存策略, 因此随着养殖时间的推移, 其体质状况、产品的肉质营养和品质风味也会受到影响^[11]。黄斑篮子鱼养殖周期短 (3~5 个月), 养殖模式多样, 不同养殖模式之间、养殖鱼与野生鱼之间的肌肉品质是否存在差异、差异程度如何, 目前均未见报道。本研究通过比较分析工厂化养殖、高位池养殖以及野生黄斑篮子鱼肌肉的一般营养成分、氨基酸和脂肪酸组成, 探讨了不同生境对其肌肉品质的影响, 为今后该鱼的健康养殖和配合饲料研制提供了基础

数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

收集大亚湾斜吓海域的野生黄斑篮子鱼鱼苗, 分别在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地的高位池和工厂化车间进行人工养殖, 每日 2 餐饱食投喂配合饲料[营养成分 (质量分数): 粗蛋白 44.1%、粗脂肪 9.4%、灰分 12.8%、水分 8.0%], 100 d 后取样, 测得工厂化养殖鱼平均体质量为 (82.96±10.02) g, 高位池养殖鱼为 (73.08±12.74) g; 收集同一时期该海域野生的黄斑篮子鱼, 测得平均体质量为 (53.62±3.48) g。3 种实验鱼中各随机取 12 尾, 用丁香酚麻醉后解剖, 取其背部肌肉, -20 ℃ 保存备用。实验期间持续监测高位池、工厂化车间和野外海域的水质状况 (表 1)。

表1 3种生境水质参数
Table 1 Water quality of three habitats

指标 Index	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild
温度 Temperature/℃	29~31	28~31	29~30
盐度 Salinity/‰	31~32	29~31	31~32
溶解氧质量浓度 DO/(mg·L ⁻¹)	6.0~6.5	4.8~6.0	6.4~7.6
酸碱度 pH	7.6~8.0	7.9~8.2	8.1~8.3

1.2 检测方法

检测指标包括一般营养成分、水解氨基酸、脂肪酸。一般营养成分中, 水分采用 105 ℃ 烘干失

水法 (GB/T 5009.3—2016) 测定; 灰分采用马福炉 550 ℃ 灼烧质量法 (GB/T 5009.4—2016) 测定; 粗蛋白采用凯氏定氮法 (GB/T 5009.5—2016) 测定; 粗脂肪采用索氏抽提法 (GB/T 5009.6—2016) 测定。使用日立 L-8900 型氨基酸自动分析仪测定水解氨基酸组成及含量, 测定前用氧化酸解法对样品进行预处理。脂肪酸组成采用气相色谱分析法 (GB 5009.168—2016) 测定。

1.3 营养品质评价

根据联合国粮食及农业组织/世界卫生组织 (FAO/WHO) 氨基酸评分模式和全鸡蛋蛋白质模式对不同生境下黄斑篮子鱼肌肉品质进行评价, 按照以下公式计算氨基酸评分 (Amino acid score, AAS)、化学评分 (Chemical score, CS)、必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI) 和支链氨基酸同芳香族氨基酸的比值 (F 值)^[12-13]。

$$AAS = \frac{aa}{AA_{(FAO/WHO)}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{aa}{AA_{(Egg)}} \quad (2)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100t_1}{s_1} \times \frac{100t_2}{s_2} \times \frac{100t_3}{s_3} \times \dots \times \frac{100t_n}{s_n}} \quad (3)$$

$$F\text{值} = \frac{\text{缬氨酸} + \text{亮氨酸} + \text{异亮氨酸}}{\text{苯丙氨酸} + \text{酪氨酸}} \quad (4)$$

式中: aa 为测试样品中某氨基酸质量占比 [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (每克氮中氨基酸的毫克数, 下同)]; $AA_{(FAO/WHO)}$ 为 FAO/WHO 评分模式中同种氨基酸质量占比 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); $AA_{(Egg)}$ 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸质量占比 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); n 为参与的氨基酸数目; $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 为测试样品蛋白质各氨基酸质量占比 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$); $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ 为全鸡蛋蛋白质各氨基酸质量占比 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 软件对结果进行统计, 数据以“平均值 $\pm$ 标准差 ($\bar{X} \pm SD$)”表示; 通过 SPSS 19.0 软件对组间数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 若存在显著差异 ($P < 0.05$), 再进行 Duncan's 多重比较。

2 结果

2.1 一般营养成分

如表 2 所示, 工厂化、高位池养殖的黄斑篮子鱼肌肉粗蛋白质量分数显著高于野生鱼, 但灰分显

表2 黄斑篮子鱼肌肉一般营养成分 ($N=12$, 鲜样)

Table 2 General nutritional composition of *S. oramin* muscle ($N=12$, fresh mass) %

组分 Ingredient	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild
粗蛋白 Crude protein	20.70 $\pm$ 0.17 ^a	20.63 $\pm$ 0.15 ^a	20.10 $\pm$ 0.35 ^b
粗脂肪 Crude lipid	4.53 $\pm$ 0.29 ^a	2.93 $\pm$ 0.55 ^b	2.90 $\pm$ 0.93 ^b
水分 Moisture	73.60 $\pm$ 0.87	74.23 $\pm$ 1.05	75.00 $\pm$ 1.12
灰分 Ash	1.30 $\pm$ 0.32 ^a	1.32 $\pm$ 0.19 ^a	1.58 $\pm$ 0.47 ^b

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 下表同此。

Note: Values with different lowercase letters within the same line are significantly different ($P < 0.05$). The same case in the following tables.

著低于野生鱼 ($P < 0.05$), 两种养殖模式间的差异不显著 ($P > 0.05$)。工厂化养殖鱼的粗脂肪质量分数最高, 超过其他两组的 1.5 倍 ($P < 0.05$)。各组的水分质量分数差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 氨基酸组成和营养品质评价

2.2.1 氨基酸组成分析

如表 3 所示, 不同生境下黄斑篮子鱼肌肉中均检测出 17 种常见氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸 (Essential amino acids, EAA)、2 种半必需氨基酸 (Half essential amino acids, HEAA) 和 8 种非必需氨基酸 (Non-essential amino acids, NEAA)。总量上, 除工厂化养殖鱼肌肉 HEAA 含量与野生鱼差异不显著外 ($P > 0.05$), 2 种养殖鱼在氨基酸总量 (Total amino acids, TAA) 及 EAA、NEAA、鲜味氨基酸 (Delicious amino acids, DAA) 含量上均显著高于野生鱼 ($P < 0.05$)。养殖鱼的所有 7 种 EAA 均高于野生鱼, 2 种养殖鱼间差异不明显 ($P > 0.05$); HEAA 中, 高位池养殖的精氨酸显著高于野生鱼 ($P < 0.05$), 其他差异不大 ($P > 0.05$); DAA 中, 工厂化养殖的甘氨酸、高位池养殖的谷氨酸和 2 种养殖鱼的丙氨酸含量均显著高于野生鱼 ($P < 0.05$), 各组的天冬氨酸含量差异不显著 ($P > 0.05$)。所测的氨基酸中, 工厂化、高位池养殖和野生鱼均以谷氨酸质量分数最高, 分别占 2.87%、2.90% 和 2.79%, 其次为天冬氨酸和赖氨酸; 而胱氨酸的最低, 分别为 0.30%、0.32% 和 0.29%。工厂化、高位池养殖和野生鱼肌肉中 EAA/TAA 分别为 40.39%、40.34% 和 40.51%, EAA/NEAA 分别为 79.57%、79.53% 和 80.15%; 2 种养殖鱼的 DAA/TAA 均为 37.97%, 稍高于野生鱼的 37.76%。

表3 黄斑篮子鱼肌肉氨基酸组成及含量 (N=12, 鲜样)
Table 3 Amino acids compositions and contents of *S. oramin* muscle (N=12, fresh mass) %

氨基酸 Amino acids	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild
天冬氨酸 Asp [#]	1.93±0.02	1.94±0.04	1.89±0.03
苏氨酸 Thr [*]	0.88±0.01 ^a	0.88±0.02 ^a	0.84±0.01 ^b
丝氨酸 Ser	0.79±0.01 ^a	0.78±0.02 ^a	0.76±0.01 ^b
谷氨酸 Glu [#]	2.87±0.03 ^{ab}	2.90±0.07 ^b	2.79±0.04 ^a
脯氨酸 Pro	0.60±0.02	0.58±0.03	0.59±0.01
甘氨酸 Gly [#]	1.06±0.07 ^a	1.02±0.01 ^{ab}	0.94±0.01 ^b
丙氨酸 Ala [#]	1.20±0.02 ^a	1.20±0.01 ^a	1.16±0.00 ^b
缬氨酸 Val [*]	1.03±0.02 ^a	1.00±0.02 ^{ab}	0.98±0.01 ^b
胱氨酸 Cys	0.30±0.04	0.32±0.02	0.29±0.02
蛋氨酸 Met [*]	0.57±0.01 ^a	0.57±0.01 ^a	0.55±0.01 ^b
异亮氨酸 Ile [*]	0.89±0.01 ^a	0.89±0.01 ^a	0.87±0.01 ^b
亮氨酸 Leu [*]	1.53±0.01 ^{ab}	1.56±0.04 ^a	1.50±0.01 ^b
酪氨酸 Tyr	0.69±0.00 ^a	0.69±0.02 ^a	0.66±0.01 ^b
苯丙氨酸 Phe [*]	0.81±0.00 ^a	0.80±0.01 ^{ab}	0.79±0.01 ^b
赖氨酸 Lys [*]	1.80±0.01 ^a	1.80±0.03 ^a	1.75±0.02 ^b
组氨酸 His ^{**}	0.47±0.01	0.46±0.02	0.45±0.01
精氨酸 Arg ^{**}	1.18±0.02 ^{ab}	1.20±0.01 ^a	1.15±0.01 ^b
氨基酸总量 TAA	18.59±0.21 ^a	18.59±0.23 ^a	17.95±0.10 ^b
必需氨基酸 EAA	7.51±0.03 ^a	7.50±0.12 ^a	7.27±0.04 ^b
半必需氨基酸 HEAA	1.64±0.03 ^{ab}	1.66±0.02 ^a	1.61±0.02 ^b
非必需氨基酸 NEAA	9.44±0.17 ^a	9.43±0.09 ^a	9.07±0.06 ^b
鲜味氨基酸 DAA	7.06±0.13 ^a	7.06±0.10 ^a	6.78±0.05 ^b
EAA/TAA	40.39±0.30	40.34±0.16	40.51±0.10
EAA/NEAA	79.57±1.20	79.53±0.60	80.15±0.30
DAA/TAA	37.97±0.35	37.97±0.10	37.76±0.14

注: *. 必需氨基酸; **. 半必需氨基酸; #. 鲜味氨基酸; 色氨酸在酸水解中被破坏, 故未测得。

Note: *. Essential amino acid; **. Half-essential amino acid; #. Delicious amino acid. Tryptophan was not detected because it was destroyed in acid hydrolysis.

2.2.2 氨基酸营养品质评价

3 种实验鱼肌肉氨基酸评分均接近或大于 1, 化学评分均大于 0.5, 其中评分最高的 EAA 均为赖氨酸 (表 4)。根据氨基酸评分, 工厂化、高位池养殖和野生鱼的第一限制性氨基酸均为缬氨酸, 第二限制性氨基酸分别为亮氨酸、苏氨酸和苏氨酸; 根据化学评分, 各组第一限制性氨基酸均为蛋氨

酸+胱氨酸, 第二限制性氨基酸均为缬氨酸。比较氨基酸质量占比, 各组虽然低于鸡蛋蛋白质的氨基酸模式, 却高于 FAO/WHO 模式, 其中赖氨酸的质量占比均超过以上 2 种氨基酸模式。EAAI 为高位池>工厂化>野生, *F* 值为高位池>工厂化=野生。

2.3 脂肪酸组成

如表 5 所示, 2 种模式养殖的黄斑篮子鱼肌肉中均检测出 26 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 (Saturated fatty acids, SFA) 10 种、不饱和脂肪酸 (Unsaturated fatty acids, UFA) 16 种, 包括 6 种单不饱和脂肪酸 (Monounsaturated fatty acids, MUFA) 和 10 种多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acids, PUFA); 野生鱼检测出 24 种脂肪酸, C10:0 和 C22:2 未检出 (检测精度 0.003 3%)。在脂肪酸总量上, SFA、MUFA、PUFA 分别以野生鱼、工厂化养殖鱼和高位池养殖鱼最高, 且均与其他两组差异显著 (*P*<0.05)。3 种实验鱼肌肉中检出含量最高的 SFA 均为 C16:0 (棕榈酸), 含量最高的 MUFA 均为 C18:1n9c (油酸); 在 PUFA 中, 2 种养殖鱼以 C18:2n6c (亚油酸) 为主, 而野生鱼以 C22:6n3 (DHA) 含量最高。野生鱼 EPA (C20:5n3) + DHA 质量分数 (20.29%) 超过 2 种养殖鱼的 3 倍; EPA/DHA 野生鱼 (0.22)>工厂化 (0.13)>高位池 (0.09), 差异均显著 (*P*<0.05)。此外, 野生鱼肌肉中 n-3 PUFA 质量分数 (20.68%) 超过 2 种养殖鱼 2.5 倍, 而 n-6 PUFA (4.66%) 仅为 2 种养殖鱼的 1/3~1/5, 野生鱼的 n-3/n-6 也显著高于养殖鱼 (*P*<0.05)。

3 讨论

3.1 不同生境下黄斑篮子鱼肌肉一般营养特征

就一般水生经济动物而言, 在经过人工养殖后, 由于生存环境、活动空间等因素的改变, 其营养特性、品质风味与野生群体均存在较大差异^[14]。黄斑篮子鱼也不例外, 本实验中经人工养殖的黄斑篮子鱼表现出高蛋白质、高脂肪而低水分、低灰分的营养特点。野外环境中的黄斑篮子鱼由于受食物匮乏、天敌追捕、水流涌动等多种因素影响, 摄食量少、运动量大、能量消耗多, 造成脂肪等营养物质无法在体内大量留存; 相较之下, 由于较少受到自然条件的限制, 养殖鱼多采取“饱食寡动”的摄食策略, 特别是以“高密度、精细化”著称的工厂化养殖, 实验鱼活动量小、生长快, 营养物质积累迅速, 肌肉中粗蛋白、粗脂肪含量均最高, 其中粗

表4 黄斑篮子肌肉必需氨基酸组成的评价
Table 4 Evaluation of essential amino acids compositions of *S. oramin* muscle mg·g⁻¹

必需氨基酸 Essential amino acids	氨基酸质量占比 aa			FAO/WHO模式 FAO/WHO pattern	鸡蛋蛋白 Egg protein
	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild		
苏氨酸 Thr	264.73±5.73	265.58±6.26	262.27±3.97	250	292
缬氨酸 Val	310.00±5.70	303.94±6.05	304.79±6.13	310	411
异亮氨酸 Ile	269.73±2.05	269.61±4.57	269.52±2.88	250	331
亮氨酸 Leu	462.98±3.37	472.60±13.87	465.45±6.29	440	534
赖氨酸 Lys	542.49±2.81	546.28±10.41	543.17±5.16	340	441
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	264.67±12.94	268.57±1.74	259.22±11.88	220	386
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	452.92±3.81	451.38±10.99	451.92±2.16	380	565
合计 Total	2 567.52±24.91	2 577.96±50.09	2 556.36±34.87	2 190	2 960
必需氨基酸指数 EAAI	85.22±0.96	85.49±1.54	84.70±1.32		
F值 F value	2.30±0.02	2.32±0.01	2.30±0.02		

必需氨基酸 Essential amino acids	氨基酸评分 AAS			化学评分 CS		
	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild
苏氨酸 Thr	1.06±0.02	1.06±0.03**	1.05±0.02**	0.91±0.02	0.91±0.02	0.90±0.01
缬氨酸 Val	1.00±0.02*	0.98±0.02*	0.98±0.02*	0.75±0.01**	0.74±0.01**	0.74±0.01**
异亮氨酸 Ile	1.08±0.01	1.08±0.02	1.08±0.01	0.81±0.01	0.81±0.01	0.81±0.01
亮氨酸 Leu	1.05±0.01**	1.07±0.03	1.06±0.01	0.87±0.01	0.89±0.03	0.87±0.01
赖氨酸 Lys	1.60±0.01	1.61±0.03	1.60±0.02	1.23±0.01	1.24±0.02	1.23±0.01
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	1.20±0.06	1.22±0.01	1.18±0.05	0.69±0.03*	0.70±0.00*	0.67±0.03*
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.19±0.01	1.19±0.03	1.19±0.01	0.80±0.01	0.80±0.02	0.80±0.00

注：*，第一限制性氨基酸；**，第二限制性氨基酸。
Note: *. First limiting amino acid; **. Second limiting amino acid.

脂肪质量分数高达 4.53%。研究证实，组织脂肪含量与肉类的柔软程度、多汁性、香味显著相关，当脂肪质量分数为 3.5%~4.5% 时口感最佳^[15]，因此工厂化养殖的黄斑篮子鱼要比高位池养殖鱼和野生鱼更鲜嫩多汁。

食物的营养组成是影响鱼类营养成分的重要因素之一^[16]。野生的肉食性鱼类如牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)^[17]、欧洲鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[18]、赤点石斑鱼 (*Epinephelus akaara*)^[19] 等多以鱼虾为食，食物的蛋白质含量和营养价值高于配合饲料，因此鱼肉中蛋白质含量也较高；而野生的黄斑篮子鱼主要以海藻为食，食物蛋白质含量远低于配合饲料^[11]，因此，肌肉中的蛋白质含量也显著低于养殖鱼 ($P<0.05$)，类似结果在鳙 (*Aristichthys nobilis*) 中也有发现^[20]。鱼类营养价值的高低主要由肌肉中蛋白质和脂肪含量决定^[21]，黄斑篮子鱼肉质总

体呈现高蛋白低脂肪的特点，符合现代人们对高品质膳食的营养需求。

3.2 不同生境下黄斑篮子鱼肌肉氨基酸组成与品质评价

研究表明，蛋白质的营养价值取决于其所含氨基酸的种类和数量^[17]。3 种不同生境下黄斑篮子鱼肌肉中均检测出 17 种常见氨基酸，TAA 为 17.95%~18.59%，高于豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*, 17.51%)^[22]、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*, 16.81%)^[23]、大麻哈鱼 (*Oncorhynchus keta*, 16.28%)^[24] 等诸多高档鱼类，可见黄斑篮子鱼是一种营养价值较高的优质鱼类。EAA 在人体中不能自身合成而必须从食物中摄取，根据 FAO/WHO 的理想模式，质量较好的蛋白质 EAA/TAA 约为 40%，EAA/NEAA 应大于 60%^[12]，黄斑篮子鱼两项指标均符合理想氨基酸模式的要求，氨基酸的平衡

表5 黄斑篮子鱼肌肉脂肪酸组成与含量 (N=12, 鲜样)
Table 5 Fatty acids compositions and contents of *S. oramin* muscle (N=12, fresh mass) %

脂肪酸 Fatty acids	工厂化 Industrial	高位池 High pond	野生 Wild
癸酸 C10:0	0.03±0.00	0.02±0.00	—
月桂酸 C12:0	0.59±0.03	0.64±0.07	0.52±0.06
十三碳酸 C13:0	0.03±0.02	0.04±0.01	0.04±0.00
豆蔻酸 C14:0	2.92±0.10 ^a	2.49±0.17 ^b	5.60±0.17 ^c
豆蔻油酸 C14:1	0.07±0.01	0.08±0.02	0.11±0.05
十五碳酸 C15:0	0.31±0.01 ^a	0.40±0.04 ^a	0.69±0.04 ^b
棕榈酸 C16:0	30.23±0.29	30.23±2.06	30.10±0.92
棕榈油酸 C16:1	6.95±0.07 ^a	5.14±0.24 ^b	10.25±0.74 ^c
珍珠酸 C17:0	0.38±0.03 ^a	0.45±0.04 ^a	0.82±0.06 ^b
硬脂酸 C18:0	6.01±0.19 ^a	6.35±0.41 ^a	7.18±0.30 ^b
油酸 C18:1n9c	23.40±0.30 ^a	21.90±1.04 ^a	15.33±0.80 ^b
亚油酸 C18:2n6c	14.37±0.51 ^a	19.67±1.25 ^b	1.79±0.31 ^c
γ-亚麻酸 C18:3n6	1.03±0.12 ^a	1.17±0.15 ^a	0.34±0.06 ^b
α-亚麻酸 C18:3n3	1.27±0.07 ^a	1.66±0.12 ^b	0.31±0.04 ^c
花生酸 C20:0	0.40±0.08 ^a	0.28±0.05 ^b	0.36±0.01 ^a
花生一烯酸 C20:1	0.85±0.03 ^a	0.85±0.08 ^a	0.50±0.08 ^b
花生二烯酸 C20:2	0.72±0.04 ^a	1.05±0.12 ^b	0.32±0.05 ^c
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.94±0.08 ^a	1.29±0.15 ^b	0.31±0.06 ^c
花生四烯酸 C20:4n6 (ARA)	0.66±0.06 ^a	0.72±0.08 ^a	2.21±0.07 ^b
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.28±0.03 ^a	0.41±0.07 ^b	0.08±0.01 ^c
二十碳五烯酸 C20:5n3 (EPA)	0.78±0.03 ^a	0.49±0.08 ^b	3.66±0.20 ^c
山嵛酸 C22:0	0.25±0.04	0.31±0.13	0.28±0.11
芥酸 C22:1n9	0.50±0.16 ^a	0.70±0.27 ^a	2.41±0.46 ^b
二十二碳二烯酸 C22:2	0.08±0.01	0.13±0.05	—
二十二碳六烯酸 C22:6n3 (DHA)	5.85±0.40 ^a	5.61±0.38 ^a	16.63±0.06 ^b
神经酸 C24:1	0.19±0.03 ^a	0.20±0.02 ^a	0.24±0.01 ^b
饱和脂肪酸 SFA	41.14±0.57 ^a	41.20±2.39 ^a	45.60±0.59 ^b
单不饱和脂肪酸 MUFA	31.96±0.36 ^a	28.87±0.58 ^b	28.84±1.08 ^b
多不饱和脂肪酸 PUFA	25.98±1.01 ^a	32.18±1.87 ^b	25.65±0.60 ^a
n-3 PUFA	8.18±0.50 ^a	8.16±0.49 ^a	20.68±0.19 ^b
n-6 PUFA	16.99±0.49 ^a	22.84±1.47 ^b	4.66±0.44 ^c
n-3/n-6	0.48±0.02 ^a	0.36±0.03 ^a	4.46±0.38 ^b
EPA+DHA	6.63±0.42 ^a	6.09±0.43 ^a	20.29±0.15 ^b

效果较好。青木隆子等^[25]认为, 不同的饵料及栖息地可能影响鱼体游离氨基酸的组成, 进而影响

TAA。比较不同生长环境下的黄斑篮子鱼, 以配合饲料为食的 2 种养殖鱼肌肉中 TAA、EAA 含量显著高于以藻类为主食的野生鱼 ($P<0.05$), 说明其氨基酸营养也优于野生鱼。

食物的风味主要取决于肌肉中 DAA 的组成和含量, 且味道的鲜美程度和 DAA 比重正相关^[26]。黄斑篮子鱼 DAA 占比较高 (6.78%~7.06%), 其中呈鲜味特征的谷氨酸、天冬氨酸是其第一、第二大氨基酸; 谷氨酸不仅能提高食物鲜味, 还是参与脑组织代谢和多种生理活性物质合成的重要氨基酸, 天冬氨酸对心脏和肝脏具有保护作用, 且具有显著的抗疲劳功效^[27]; 因此食用黄斑篮子鱼有助于改善人体心脑血管健康, 增强肝脏功能, 消除疲劳。比较不同生境, 2 种养殖鱼肌肉 DAA 总量、DAA/TAA 均高于野生鱼, 说明其鲜美程度已超过野生鱼, 这在经济鱼类中比较少见, 同时说明通过均衡的饲料营养和适宜的养殖模式, 一些种类养殖品种的营养价值和风味也可以超过野生鱼, 如刀鲚 (*Coilia nasus*)^[28]、大刺鲃 (*Mastacembelus armatus*)^[29] 等。

根据氨基酸评分和化学评分, 黄斑篮子鱼肌肉 EAA 中赖氨酸含量已同时超过 FAO/WHO 标准和鸡蛋蛋白标准。赖氨酸在谷物中含量极低, 是人体第一限制性氨基酸, 其最重要的生理功能就是参与体蛋白的合成, 因此食用黄斑篮子鱼不仅可以弥补谷物食品中赖氨酸的不足, 还可以提高人体对蛋白质的利用率。缬氨酸、蛋氨酸和胱氨酸等黄斑篮子鱼的主要限制性氨基酸是决定和限制其营养价值的关键氨基酸, 在配合饲料研发时应考虑增加配比。EAAI 代表了样品中 EAA 含量与标准蛋白质的相符程度, 是评价氨基酸营养的重要指标, EAAI 越大说明氨基酸组成越平衡, 蛋白质质量和利用率越高。本实验中, 工厂化养殖、高位池养殖和野生黄斑篮子鱼 EAAI 分别为 85.22、85.49 和 84.70, 高于杂交鲟 (♀*Acipenser schrenckii* × ♂*A. baeri*)^[30]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[31]、棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*)^[32]、红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*)^[14]、金钱鱼 (*Scatophagu sargus*)^[33] 等多数鱼类, 表明黄斑篮子鱼肌肉 EAA 组成较为合理, 蛋白质品质较高, 其中以高位池养殖鱼 EAAI 最高, 原因可能是受到养殖环境和饵料的影响。支链氨基酸具有降低胆固醇和保肝抗癌等功能, F 值是人体重要的健康指标^[34], 黄斑篮子鱼肌肉 F 值 (2.30~2.32) 接近于人类健康标准 (3.0), 具有一定的保健功效。

3.3 不同生境下黄斑篮子鱼肌肉脂肪酸营养

多项研究表明,食物的脂肪酸组成和环境因素影响鱼体脂肪酸的组成,受影响的脂肪酸以UFA为主,对SFA的影响较小^[35]。比较不同生境下的黄斑篮子鱼,2种养殖鱼肌肉中的UFA均以C18的油酸、亚油酸为主,而野生鱼在DHA、EPA、花生四烯酸(ARA)等C20—C22的HUFA含量上明显占优($P<0.05$)。自然环境中DHA、EPA主要在硅藻、红藻、褐藻等藻类中合成,野生黄斑篮子鱼通过摄食这些藻类使HUFA在体内聚集;养殖生产中为节约成本,投喂的配合饲料通常用大豆油、菜油等含有较高油酸、亚油酸的植物性油脂替代海产鱼油;食物链的富集作用造成了养殖与野生黄斑篮子鱼肌肉脂肪酸组成的差异。类似差异在瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[36]、中华鲟(*A. sinensis*)^[37]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[38]等鱼类中也有发现。

脂肪酸的营养价值主要体现在一些重要的UFA含量上,如DHA、EPA等n-3系列脂肪酸。研究表明,食物中n-6 PUFA含量过高会造成营养不良的问题,但n-3 PUFA能够在一定范围内消除n-6 PUFA的负面效应^[39-40]。在日常饮食中,n-3 PUFA的摄入量通常远低于n-6 PUFA,根据WHO推荐,食物中n-3/n-6大于0.1对人体健康有益^[41],黄斑篮子鱼n-3/n-6(0.36~4.66)大于该参考值,说明该鱼能够弥补人类日常膳食中n-3和n-6系列脂肪酸摄入的不均衡,满足人们对食品营养的需求。DHA和EPA是n-3 PUFA的重要种类,能够降低心血管疾病、糖尿病及肿瘤的发生,具有抗氧化、抗衰老的作用,同时DHA能促进大脑及视神经发育、提高智力,被称为“脑黄金”^[27]。野生黄斑篮子鱼肌肉中EPA+DHA含量占比超20%,远远高于养殖品种(6.09%~6.63%)和多数淡水鱼类,说明其具有较高的营养和药用价值。有研究发现,黄斑篮子鱼有将亚油酸和亚麻酸合成高度不饱和脂肪酸(ARA、EPA和DHA)的能力^[10],但在本实验的养殖鱼中表现并不明显,因此为使食品营养更全面,应考虑在饲料中增加DHA、EPA等n-3 PUFA,从而改善养殖黄斑篮子鱼的脂肪酸品质和营养。

4 结论

综上,黄斑篮子鱼肉质总体呈现高蛋白低脂肪的特点,营养价值较高;两种模式养殖鱼肌肉粗蛋

白、粗脂肪高于野生鱼,氨基酸品质和风味也优于野生鱼,尤其以高位池养殖鱼氨基酸营养价值最高;养殖鱼肌肉油酸、亚油酸等C18 UFA含量较高,而野生鱼EPA、DHA、ARA等C20—C22 HUFA明显占优,且n-3/n-6显著大于养殖鱼($P<0.05$),表明养殖饲料配方中n-3 PUFA的添加量可能不足。

参考文献:

- [1] 马强. 中国海篮子鱼科 Family Siganidae 分类和动物地理学特点 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2006: 1-8.
- [2] 黄小林, 李文俊, 林黑着, 等. 基于线粒体 DNA D-loop 序列的黄斑篮子鱼群体遗传多样性分析 [J]. 热带海洋学报, 2018, 37(4): 45-51.
- [3] 黄小林, 杨育凯, 李涛, 等. 黄斑篮子鱼仔、稚、幼鱼形态观察与生长研究 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(5): 88-94.
- [4] 黄小林, 杨育凯, 李涛, 等. 池塘养殖黄斑篮子鱼初次性成熟性腺发育研究 [J]. 南方水产科学, 2020, 16(5): 99-107.
- [5] 梁前才. 长鳍篮子鱼池塘单养试验 [J]. 科学养鱼, 2018(2): 48-49.
- [6] 冯广朋, 章龙珍, 庄平, 等. 海水网箱养殖长鳍篮子鱼的摄食与生长特性 [J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 37-42.
- [7] 杨育凯, 黄小林, 林黑着, 等. 黄斑篮子鱼幼鱼适宜投喂频率的研究 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(4): 1809-1816.
- [8] JIANG B, DU J J, LI Y W, et al. Transcriptome analysis provides insights into molecular immune mechanisms of rabbitfish, *Siganus oramin* against *Cryptocaryon irritans* infection [J]. Fish Shellfish Immunol, 2019, 88: 111-116.
- [9] 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 黄斑篮子鱼肌肉营养成分与品质的评价 [J]. 水产学报, 2008, 32(1): 77-83.
- [10] 徐树德, 刘雪兵, 王树启, 等. 不同类型饲料对黄斑篮子鱼幼鱼生长及肌肉蛋白质和脂肪酸组成的影响 [J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 529-535.
- [11] 王志锦, 杨磊, 朱卫东. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1385-1392.
- [12] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements [R]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973: 40-73.
- [13] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表 (全国代表值) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 30-82.
- [14] 于久翔, 高小强, 韩岑, 等. 野生和养殖红鳍东方鲀营养品质的比较分析 [J]. 动物营养学报, 2016, 28(9): 2987-2997.
- [15] 江伟珣, 刘毅. 营养与食品卫生学 [M]. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1992: 4-14.
- [16] XIE R T, AMENYOGBE E, CHEN G, et al. Effects of feed fat level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus polyphekadion*) [J]. Aquaculture, 2021, 530(1/2/3/4): 735813.

- [17] 韩现芹, 贾磊, 王群山, 等. 野生与养殖牙鲆肌肉营养成分的比较[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(6): 94-99.
- [18] FUENTES A, FERNÁNDEZ-SEGOVIA I, SERRA J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. Food Chem, 2010, 119: 1514-1518.
- [19] 陈学豪, 林利民, 洪惠馨. 野生与饲养赤点石斑鱼肌肉营养成分的比较研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(1): 1-5.
- [20] 王金娜, 唐黎, 刘科强, 等. 人工养殖与野生鳙鱼肌肉营养成分的比较分析[J]. 河北渔业, 2013(2): 8-14, 16.
- [21] HAARD N F. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish[J]. Food Res Int, 1992, 25(4): 289-307.
- [22] 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃棘鲈肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 水生生物学报, 2014, 38(6): 1168-1172.
- [23] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖模式大黄鱼肌肉营养成分比较[J]. 福建农业学报, 2015, 30(8): 736-744.
- [24] 王继隆, 刘伟, 李培伦, 等. 野生和养殖大麻哈鱼肌肉营养成分与品质评价[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(2): 126-132.
- [25] 青木隆子, 鷹田馨, 國崎直道. 天然および養殖魚種の一般成分, 無機質, 脂肪酸, 遊離アミノ酸, 筋肉硬度および色差について[J]. 日本水産學會誌, 1991, 57(10): 1927-1934.
- [26] 胡园, 周朝生, 胡利华, 等. 海淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较[J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 730-739.
- [27] 陈道海, 文菁, 赵玉燕, 等. 野生与人工养殖的虎斑乌贼肌肉营养成分比较[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 217-222.
- [28] 唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析[J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514-520.
- [29] 樊海平, 邱曼丽, 钟全福, 等. 不同生长阶段野生和养殖大刺鳅营养成分的比较[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(8): 92-96.
- [30] 张美彦, 曾圣, 杨星, 等. 不同生长阶段杂交鲟肌肉营养成分的比较研究[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4378-4386.
- [31] 李志斐, 龚望宝, 王金林, 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.
- [32] 曹平, 宋炜, 陈佳, 等. 闽东海域棘头梅童鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 海洋渔业, 2021, 43(4): 453-463.
- [33] 施永海, 张根玉, 张海明, 等. 金钱鱼肌肉营养成分的分析和评价[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 346-350.
- [34] 邱德林, 张木子, 刘嘉欣, 等. 野生、池塘及工厂化养殖马口鱼肌肉营养成分比较研究[J]. 水产学报, 2022, 46(8): 1449-1457.
- [35] 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.
- [36] 马旭洲, 温旭, 王武. 野生与人工养殖瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分及品质评价[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(1): 26-31.
- [37] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510.
- [38] GRIGORAKIS K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and seabass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: a review[J]. Aquaculture, 2007, 272(1/2/3/4): 55-75.
- [39] BARROS R, MOREIRA A, FONSECA J, et al. Dietary intake of alpha-linolenic acid and low ratio of n-6: n-3 PUFA are associated with decreased exhaled NO and improved asthma control[J]. Br J Nutr, 2011, 106(3): 441-450.
- [40] DANESHMAND R, KURL S, TUOMAINEN T. Associations of serum n-3 and n-6 PUFA and hair mercury with the risk of incident stroke in men: the Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study (KIHD)[J]. Br J Nutr, 2016, 115(10): 1851-1859.
- [41] SÁNCHEZ-MACHADO D I, LÓPEZ-CERVANTES J, LÓPEZ-HERNÁNDEZ J, et al. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds[J]. Food Chem, 2004, 85(3): 439-444.