让一峰, 陈胜军, 赵永强, 等. 南海细鳞圆鲹肌肉的营养成分分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(13): 170−176. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070297

RANG Yifeng, CHEN Shengjun, ZHAO Yongqiang, et al. Analysis and Evaluation of Nutritional Components in the Muscles of *Decapterus macarellus* from the South China Sea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(13): 170−176. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070297

· 研究与探讨 ·

南海细鳞圆鲹肌肉的营养成分分析与评价

让一峰[1], 陈胜军[1,2,*], 赵永强[1], 黄　卉[1], 吴燕燕[1], 胡　晓[1], 李春生[1]

（1.中国水产科学研究院南海水产研究所, 国家水产品加工技术研发中心, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300;
2.三亚热带水产研究院, 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 海南 三亚 572018）

摘　要: 为探究南海细鳞圆鲹（*Decapterus macarellus*）肌肉的营养品质，测定了背侧肌肉与腹侧肌肉一般营养成分、矿物质元素、氨基酸组成和脂肪酸组成，并进行了营养价值评价。结果显示，细鳞圆鲹背腹侧肌肉的水分含量（69.35%~70.48%）、蛋白质含量（23.59%~24.60%）、灰分含量（1.65%~1.79%）均无显著差异（P>0.05），但腹侧肌肉脂肪含量（0.94%）显著高于（P<0.05）背侧肌肉（0.74%）。背腹侧肌肉中 K 含量（4599.9~4661.1 mg/kg）、Mg 含量（412.2~424.6 mg/kg）无显著差异（P>0.05），Na 含量（905.2~996.9 mg/kg）、Ca 含量（271.6~360.5 mg/kg）、Fe 含量（11.1~13.1 mg/kg）、Zn 含量（7.3~10.3 mg/kg）则存在显著（P<0.05）差异，背侧肌肉中 Zn 含量较高，而腹侧肌肉中 Na、Ca、Fe 含量较高。背腹侧肌肉氨基酸组成一致，赖氨酸含量（2.1~2.2 g/100 g）高，必需氨基酸总量与氨基酸总量之比为 0.41，必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量之比为 0.69，符合优质蛋白质标准；必需氨基酸指数在 0.75~0.86 之间，属于可用蛋白源。背腹侧肌肉脂肪酸中 DHA+EPA 含量（48.59%~50.00%）、n-6 系多不饱和脂肪酸总量与 n-3 系多不饱和脂肪酸总量之比（0.08）无显著差异（P>0.05），但腹侧肌肉脂肪酸中多不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量之比（1.51）显著高于背侧肌肉（1.44）（P<0.05）。研究结果表明，细鳞圆鲹肌肉尤其是腹侧肌肉营养价值高，是南海中具有高值化加工利用前景的优质资源。

关键词: 细鳞圆鲹, 肌肉, 营养成分, 营养评价

中图分类号: TS254.1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)13−0170−07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070297

本文网刊:

Analysis and Evaluation of Nutritional Components in the Muscles of *Decapterus macarellus* from the South China Sea

RANG Yifeng[1], CHEN Shengjun[1,2,*], ZHAO Yongqiang[1], HUANG Hui[1], WU Yanyan[1], HU Xiao[1], LI Chunsheng[1]

（1.South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, National Research and Development Center for Aquatic Product Processing, Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China;
2.Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, China）

Abstract: In order to investigate the nutritional quality of the muscle tissues of *Decapterus macarellus* from the South China Sea, the general nutritional composition, mineral elements, amino acid profile and fatty acid profile in both dorsal and ventral muscles were analyzed, and the nutritional value was evaluated. The results showed that no significant difference (P>0.05) was observed between the dorsal and ventral muscles in the content of moisture (69.35%~70.48%), protein

收稿日期: 2025−07−25

基金项目: 农业农村部财政专项（NHZX2025）; 中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目（2023TD74, 2023TD78）; 国家海水鱼产业技术体系项目（CARS-47）。

作者简介: 让一峰（1991−）, 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 水产品加工, E-mail: rangyifeng@scsfri.ac.cn。

*** 通信作者:** 陈胜军（1973−）, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工与质量安全控制, E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn。

(23.59%~24.60%) and ash (1.65%~1.79%). However, the fat content in the ventral muscles (0.94%) was significantly (P<0.05) higher than that in the dorsal muscles (0.74%). The contents of potassium (4599.9~4661.1 mg/kg) and magnesium (412.2~424.6 mg/kg) in the dorsal and ventral muscles did not differ significantly (P>0.05), while there were significant (P<0.05) differences in the contents of sodium (905.2~996.9 mg/kg), calcium (271.6~360.5 mg/kg), iron (11.1~13.1 mg/kg) and zinc (7.3~10.3 mg/kg). Specifically, the dorsal muscles exhibited higher zinc content, and the ventral muscles contained higher levels of sodium, calcium, and iron. The amino acid composition was similar between the dorsal and ventral muscles, with a high lysine content (2.1~2.2 g/100 g). The ratio of essential amino acids to total amino acids was 0.41, and the ratio of essential amino acids to non-essential amino acids was 0.69, meeting the criteria for high-quality protein. The essential amino acid index ranged from 0.75 to 0.86, indicating that *Decapterus macarellus* was an available protein source. There was no significant difference (P>0.05) in the DHA+EPA content (48.59%~50.00%) and the ratio of total n-6 polyunsaturated fatty acids to total n-3 polyunsaturated fatty acids. However, the ratio of total polyunsaturated fatty acids to total saturated fatty acids in the ventral muscles (1.51) was significantly higher than that in the dorsal muscles (1.44) (P<0.05). These results suggest that the muscle tissues of *Decapterus macarellus*, especially the ventral muscles, possess high nutritional value and represent a high-quality resource with potential for high-value processing and utilization in the South China Sea.

Key words: *Decapterus macarellus*; muscle; nutritional composition; nutrition evaluation

鲹科(*Decapterus* spp.)鱼类广泛分布于全球热带、亚热带和温带海域，在海洋渔业经济和生态系统中占据着重要地位。2020 年，全球鲹科鱼类的捕捞量达 1.265×10^9 t，位居海洋渔业捕捞量第 10 位。鲹科鱼类以浮游生物为食，具有生命周期短、性成熟早等特点，常被视为海洋生态系统环境变化的有效生物指标[1]。南海是我国重要的渔业资源宝库，其中最主要的圆鲹属为细鳞圆鲹(*Decapterus macarellus*)[1]。作为一种重要的经济鱼类，细鳞圆鲹广泛栖息于南海热带和亚热带水域，水深范围通常在 40~200 m[2]，偏好温暖且相对较浅的海域，以浮游生物为主要食物来源[3]。

目前，关于细鳞圆鲹的研究主要集中在资源分布[3]、资源评估[1,4]和生物学特性[5−6]等方面。近年来，细鳞圆鲹中生理活性成分及其生理功效逐渐受到关注。Shoda 等[7]研究发现，从细鳞圆鲹肌肉中提取的水溶性小分子成分能够抑制缺氧诱导因子活性，并在小鼠实验中有效缓解血管性视网膜病变。Herawati 等[8]研究显示，细鳞圆鲹鱼皮胶原蛋白具有良好的体外抗氧化活性和酪氨酸酶抑制活性。尽管对细鳞圆鲹功能成分的研究已经取得了一定进展，但细鳞圆鲹营养成分分析和评价研究仍鲜有报道。

本研究以南海细鳞圆鲹为对象，分析、比较其背侧肌肉和腹侧肌肉的营养成分，包括基本营养成分、矿物质元素、氨基酸组成和脂肪酸组成，并评价营养价值，为南海细鳞圆鲹资源的高值化加工利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

细鳞圆鲹　来源于南海水产研究所“中渔科 301”科考船，2025 年 4~5 月捕捞于南海南沙海域，挑选大小相近的细鳞圆鲹(体长 17~19 cm，体重 55~75 g)，剔除鱼皮，沿侧线分离背侧肌肉和腹侧肌肉，绞碎、分装后于−20 ℃保存备用；氢氧化钠(分析纯)、95% 乙醇(分析纯)、硫酸钾(分析纯)、石油醚(分析纯)、苯酚(分析纯)、18 种氨基酸标准品、23 种混合脂肪酸甲酯标准品、多元素混合标准溶液　上海麦克林生化科技股份有限公司；硫酸铜　分析纯，上海阿拉丁生化科技有限公司；甲醇　色谱纯，赛默飞世尔科技(中国)有限公司；盐酸、硫酸、硝酸　均为优级纯，广州化学试剂厂；氢氧化锂　分析纯，上海吉至生化科技有限公司；实验用水　一级水；其他试剂均为国产分析纯。

QSJ-E03C8 型绞肉机　小熊电器股份有限公司；DKN612C 型电热恒温干燥箱　广州德菲科学仪器有限公司；BS224S 型分析天平　德国赛多利斯公司；SH220F 型石墨消解仪　海能未来技术集团股份有限公司；3-550A 型高温马弗炉　美国 NEY VULCAAN 敦克电子公司；K1100 型自动凯氏定氮仪　济南海能仪器有限公司；SZC-101 型脂肪测定仪　上海纤检仪器有限公司；L-8900 型氨基酸分析仪　日本日立公司；AGILENT1100 型液相色谱仪、6890N 型气相色谱仪、Agilent7900 型电感耦合等离子体质谱　美国安捷伦仪器公司。

1.2　实验方法

1.2.1　基本营养成分测定　参考 GB 5009.3-2016 采用直接干燥法测定水分含量；参考 GB 5009.4-2016 采用灼烧称重法测定粗灰分含量；参考 GB 5009.5-2016 采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量；参考 GB 5009.6-2016 采用索氏抽提法测定粗脂肪含量。

1.2.2　矿物元素测定　参考 GB 5009.268-2016 采用电感耦合等离子体质谱法测定钾(K)、钠(Na)、钙(Ca)、镁(Mg)、锌(Zn)、铁(Fe)含量。

1.2.3　氨基酸测定　参考 GB 5009.124-2016 采用酸水解法测定天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸

(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、组氨酸(His)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)和半胱氨酸(Cys)含量; 参考 GB/T 15400-2018 采用碱水解法测定色氨酸(Trp)含量。

1.2.4 脂肪酸测定 参考 GB 5009.168-2016 采用内标法测定脂肪酸含量。

1.2.5 蛋白质营养品质评价方法 按照 FAO/WHO 氨基酸标准模式和鸡蛋蛋白质模式, 采用标准蛋白分析程序评价细鳞圆鲹肌肉蛋白质的营养价值[9]。氨基酸评分(Amino Acid Score, AAS)、化学评分(Chemical Score, CS)和必需氨基酸指数(Essential Amino Acid Index, EAAI)分别按公式(1)(2)和(3)计算。

$$AAS = \frac{\text{样品蛋白质中某必需氨基酸的质量分数(mg/g)}}{\text{FAO/WHO氨基酸标准模式中相应必需氨基酸的质量分数(mg/g)}} \quad \text{式(1)}$$

$$CS = \frac{\text{样品蛋白质中某必需氨基酸的质量分数(mg/g)}}{\text{鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸的质量分数(mg/g)}} \quad \text{式(2)}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{aa_1 \times aa_2 \times \cdots \times aa_n}{AA_1 \times AA_2 \times \cdots \times AA_n}} \quad \text{式(3)}$$

式中, aa_n 为样品蛋白质中某必需氨基酸的质量分数(mg/g); AA_n 为鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸的质量分数(mg/g); n 为参评必需氨基酸的种类数。

1.3 数据处理

每个样品平行测定 3 次, 检测结果表示为平均值±标准差(Mean±SD)。采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。两组间的数据比较采用 Student's *t* 检验。$P<0.05$ 时认为存在显著性差异。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

如表 1 所示, 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的水分、粗蛋白和灰分含量均无显著差异($P>0.05$)。细鳞圆鲹肌肉的水分含量为 69%~71%, 低于鲢鱼、草鱼等淡水鱼肉(77%~80%)[10−11], 与蓝圆鲹、黄花鱼、金鲳鱼等海水鱼(64%~75%)相近[12−13]。粗蛋白含量(23%~25%)高于鲫鱼、草鱼、鳙鱼等淡水鱼(14%~19%)[14] 以及小黄鱼、鳀鱼、大菱鲆、黄花鱼、金鲳鱼、蓝圆鲹等海水鱼(15%~23%)[12−13], 与鲢鱼、青鱼、鳊鱼等淡水鱼(22%~27%)相近[14]。灰分含量(1.6%~1.8%)高于青鱼、草鱼、鳙鱼等淡水鱼(0.9%~1.2%)和金鲳鱼、石斑鱼等海水鱼(1.2%~1.3%)[15−16], 与鲫鱼、鳊鱼、鲢鱼等淡水鱼(1.6%~1.7%)[14] 以及蓝圆鲹、鲣鱼、三文鱼等海水鱼(1.4~1.7%)[12,17] 相近。细鳞圆鲹腹侧肌肉脂肪含量显著高于背侧肌肉($P<0.05$), 其肌肉脂肪含量分布与高体鰤相似, 而与三文鱼相反[17]。细鳞圆鲹肌肉的粗脂肪含量(0.7%~1.0%)低于青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼等淡水鱼(1.2%~3.6%)[14] 以及蓝圆鲹、小带鱼、鲅鱼、黄花鱼等海水鱼(1.3%~16.8%)[12,18]。因此, 细鳞圆鲹肌肉, 尤其是背侧肌肉, 具有“高蛋白、低脂肪”的营养特点, 符合现代健康饮食需求。

2.2 矿物质元素含量分析

本研究测定了细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉中 4 种常量元素(K、Na、Ca、Mg)和 2 种微量元素(Fe、Zn)含量(表 2)。在常量元素中, K 含量最高, 其次为 Na、Mg、Ca, 此排序与高体鰤、三文鱼一致[17]。背侧肌肉 Na、Ca 含量显著低于腹侧肌肉($P<0.05$), 而 K、Mg 含量与腹侧肌肉无显著差异($P>0.05$)。在微量元素中, 背侧肌肉 Zn 含量显著高于腹侧肌肉($P<0.05$), 而 Fe 含量显著低于腹侧肌肉($P<0.05$)。因此, 细鳞圆鲹腹侧肌肉可能具有更高的矿物质营养价值。

如表 2 所示, 细鳞圆鲹肌肉 K 含量(4599.9~4661.1 mg/kg)低于小黄鱼(9667.9 mg/kg)、大黄鱼(9848.0 mg/kg), 高于蓝圆鲹(2163.3 mg/kg), 与青鱼(3548.0 mg/kg)、草鱼(4026.0 mg/kg)相近; Na 含量(905.2~996.9 mg/kg)高于青鱼(235.0 mg/kg)、草鱼(489.6 mg/kg)、蓝圆鲹(444.1 mg/kg), 与小黄鱼(885.6 mg/kg)、大黄鱼(879.1 mg/kg)相近[19−21], 这可能与细鳞圆鲹栖息海域的盐度有关。细鳞圆鲹肌肉的 Mg 含量(412.2~424.6 mg/kg)低于小黄鱼(911.2 mg/kg)、大黄鱼(884.9 mg/kg), 与青鱼

表 1 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的基本营养成分(鲜重)

Table 1 Nutrimental components in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus* (fresh weight)

部位	水分(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	灰分(%)
背侧肌肉	69.35±1.78^a	24.60±0.28^a	0.74±0.04^b	1.65±0.12^a
腹侧肌肉	70.48±0.03^a	23.59±1.08^a	0.94±0.03^a	1.79±0.21^a

注: 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$), 表2、表4同。

表 2 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉矿物质元素含量(mg/kg, 鲜重)

Table 2 Content of minerals in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus* (mg/kg, fresh weight)

部位	K	Na	Mg	Ca	Fe	Zn
背侧肌肉	4661.1±168.1^a	905.2±31.4^b	412.2±10.9^a	271.6±7.2^b	11.1±0.2^b	10.3±0.1^a
腹侧肌肉	4599.9±46.0^a	996.9±35.9^a	424.6±14.7^a	360.5±9.5^a	13.1±0.5^a	7.3±0.2^b

（373.6 mg/kg）、草鱼（336.6 mg/kg）、蓝圆鲹（329.6 mg/kg）相近[19−21]。同样地，Ca 含量（271.6~360.5 mg/kg）低于小黄鱼（855.4 mg/kg）、大黄鱼（981.1 mg/kg）、蓝圆鲹（1222.1 mg/kg），与青鱼（520.3 mg/kg）、草鱼（355.0 mg/kg）相近[19−21]。细鳞圆鲹肌肉中 K、Na、Mg、Ca 含量丰富，是常量矿物质元素的良好来源。

微量元素在机体生长发育、疾病预防等方面发挥着关键作用[22]。如表 2 所示，细鳞圆鲹肌肉中 Fe 含量（11.1~13.1 mg/kg）低于蓝圆鲹（22.3 mg/kg）、小黄鱼（23.1 mg/kg）、大黄鱼（23.7 mg/kg），但高于青鱼（4.9 mg/kg）、草鱼（6.4 mg/kg）[19−21]。Zn 含量（7.3~10.3 mg/kg）亦低于蓝圆鲹（12.7 mg/kg）、小黄鱼（19.0 mg/kg）、大黄鱼（19.4 mg/kg），但高于青鱼（4.7 mg/kg）、草鱼（7.4 mg/kg）[19−21]。细鳞圆鲹肌肉中 Fe、Zn 含量较为丰富，有助于补充膳食营养所需的 Fe、Zn 微量元素。

2.3　氨基酸组成分析

氨基酸组成与蛋白质营养价值密切相关。如表 3 所示，细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉在 18 种氨基酸含量、氨基酸总量（∑AA）、必需氨基酸总量（∑EAA）、非必需氨基酸总量（∑NEAA）、∑EAA/∑AA、∑EAA/∑NEAA、支链氨基酸总量/芳香族氨基酸总量（支/芳值）、呈味氨基酸总量（∑DAA）、∑DAA/∑AA 等指标上均无显著差异（P>0.05），表明细鳞圆鲹背腹侧肌肉的氨基酸组成一致，这与三文鱼、金枪鱼相似[17]。细鳞圆鲹肌肉中含量最高的氨基酸为 Glu（3.1~3.3 g/100 g），含量最低的氨基酸为 Cys（0.2~0.3 g/100 g）；必需氨基酸中 Lys 含量（2.1~2.2 g/100 g）最高，Trp 含量（0.3~0.4 g/100 g）最低。Lys 不仅能够弥补以谷物为主食人群 Lys 摄入的不足，还可以促进 Ca 的吸收[23]。根据 FAO/WHO 推荐的蛋白质营养评价标准，优质蛋白质的∑EAA/∑AA 约为 0.4，∑EAA/∑NEAA 不低于 0.6。本研究中细鳞圆鲹肌肉的∑EAA/∑AA 为 0.41，∑EAA/∑NEAA 为 0.69，表明细鳞圆鲹是优质蛋白质的良好来源[16]。支/芳值即支链氨基酸（Val、Ile 和 Leu）含量与芳香族氨基酸（Phe 和 Tyr）含量之比，在健康人群血清中为 3.0~3.5，肝脏受损时降至 1.0~1.5[24−25]。细鳞圆鲹肌肉的支/芳值为 2.07~2.09，高于肝脏受损时的支/芳值，因而可能具有一定的护肝作用。细鳞圆鲹肌肉的∑DAA 为 7.87~7.99，高于鲤鱼、鲫鱼、草鱼等淡水鱼（6.63~6.99）以及蓝圆鲹、带鱼、黄花鱼等海水鱼（6.66~6.76）[18−19,21]。然而，细鳞圆鲹肌肉的∑DAA/∑AA 为 34.28%~34.36%，低于鲤鱼、鲫鱼、草鱼等淡水鱼（37.69%~38.47%）以及蓝圆鲹、带鱼、黄花鱼等海水鱼（35.94%~38.93%）[18−19,21]，这是由于细鳞圆鲹肌肉中氨基酸含量较高。因此，细鳞圆鲹是一种营养美味的食物资源。

表 3　细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的氨基酸组成及含量（g/100 g，鲜重）

Table 3　Composition and content of amino acids in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus* (g/100 g, fresh weight)

氨基酸种类	背侧肌肉	腹侧肌肉
天冬氨酸Asp#	2.28±0.08a	2.24±0.08a
苏氨酸Thr	1.05±0.02a	1.04±0.01a
丝氨酸Ser	0.87±0.02a	0.87±0.03a
谷氨酸Glu#	3.25±0.06a	3.19±0.11a
甘氨酸Pro#	1.10±0.03a	1.09±0.04a
丙氨酸Ala#	1.36±0.05a	1.35±0.04a
缬氨酸Val	1.27±0.04a	1.26±0.03a
蛋氨酸Met	0.77±0.01a	0.76±0.01a
异亮氨酸Ile	1.12±0.04a	1.11±0.03a
亮氨酸Leu	1.86±0.05a	1.83±0.07a
酪氨酸Tyr	0.79±0.02a	0.77±0.03a
苯丙氨酸Phe	0.95±0.03a	0.93±0.01a
赖氨酸Lys	2.17±0.08a	2.13±0.06a
组氨酸His	1.77±0.05a	1.64±0.07a
精氨酸Arg	1.41±0.04a	1.39±0.03a
脯氨酸Pro	0.77±0.01a	0.79±0.01a
胱氨酸Cys	0.21±0.01a	0.20±0.01a
色氨酸Trp	0.31±0.01a	0.31±0.01a
氨基酸总量∑AA	23.31±0.60a	22.90±0.62a
必需氨基酸总量∑EAA	9.50±0.26a	9.37±0.21a
非必需氨基酸总量∑NEAA	13.81±0.34a	13.53±0.41a
∑EAA/∑AA	0.41±0.01a	0.41±0.01a
∑EAA/∑NEAA	0.69±0.01a	0.69±0.01a
支链氨基酸总量/芳香族氨基酸总量（支/芳值）	2.07±0.03a	2.09±0.01a
呈味氨基酸总量∑DAA	7.99±0.19a	7.87±0.24a
∑DAA/∑AA（%）	34.28±0.08a	34.36±0.13a

注：#表示呈味氨基酸，同行不同字母表示差异显著（P<0.05），表5同。

图 1A~图 1B 为基于 FAO/WHO 氨基酸标准模式、鸡蛋蛋白质模式计算的细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉必需氨基酸的 AAS 和 CS，能够反映蛋白质的构成和利用率。细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的 AAS、CS 均无显著差异（P>0.05）。Lys 的 AAS（1.60~1.64）和 CS（1.38~1.41）均最高。第一限制性氨基酸为 Val（AAS：1.04~1.06；CS：0.71~0.73），第二

2.4　蛋白质营养价值评价

将蛋白质中必需氨基酸与 FAO/WHO 氨基酸标准模式、鸡蛋蛋白质模式进行比较是评价蛋白质营养价值的常用方法[26]。如表 4 所示，细鳞圆鲹背腹侧肌肉的必需氨基酸含量、总必需氨基酸含量（TEAA）无显著差异（P>0.05），且均高于 FAO/WHO 氨基酸标准模式。除 Lys 外，细鳞圆鲹背腹侧肌肉的必需氨基酸含量、TEAA 均低于鸡蛋蛋白质模式。这些结果表明，细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉蛋白质的营养价值相同，低于鸡蛋蛋白质，但高于 FAO/WHO 标准。细鳞圆鲹肌肉中 Lys 含量分别是 FAO/WHO 氨基酸标准模式和鸡蛋蛋白质模式中 Lys 含量的 1.6~1.7 倍和 1.3~1.4 倍，进一步表明细鳞圆鲹是 Lys 的丰富来源。

表 4 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉中必需氨基酸含量(mg/g protein)

Table 4 Content of essential amino acids in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus* (mg/g protein)

必需氨基酸种类	Ile	Leu	Lys	Thr	Val	Trp	Met+Cys	Phe+Tyr	TEAA
背侧肌肉	46±2[a]	76±2[a]	88±3[a]	43±1[a]	52±2[a]	13±1[a]	40±1[a]	71±2[a]	427±12[a]
腹侧肌肉	47±1[a]	78±3[a]	90±2[a]	44±1[a]	53±1[a]	13±1[a]	41±1[a]	72±2[a]	438±10[a]
FAO/WHO模式[27]	40	70	55	40	50	10	35	60	360
鸡蛋蛋白[27]	66	88	64	51	73	16	55	100	513

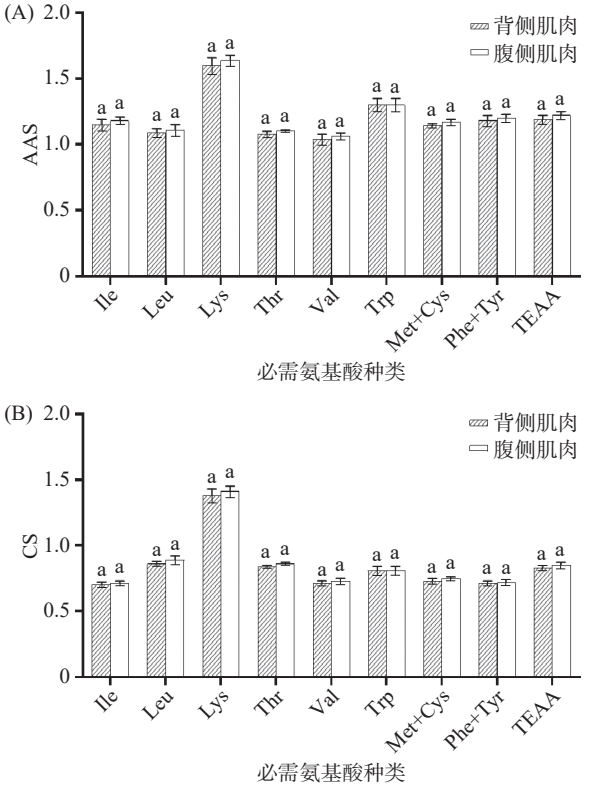


图 1 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)

Fig.1 Amino acid score (AAS) and chemical score (CS) of amino acids in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus*

注:(A)AAS;(B)CS。相同字母表示差异不显著(P>0.05)。

限制性氨基酸为 Thr(AAS:1.08~1.10;CS:0.84~0.86)。EAAI 是评价蛋白质营养价值的另一常用指标[28]。细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉的 EAAI 分别为 0.8152±0.0228、0.8390±0.0196,无显著差异(P>0.05)。细鳞圆鲹肌肉的 EAAI 值在 0.75~0.86 之间,属于可用蛋白源,营养价值较好[29]。

2.5 脂肪酸组成分析

脂肪酸组成直接影响着脂肪酸的营养价值[30]。如表 5 所示,本研究共检测了 23 种脂肪酸,在细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉中分别检测出 11 种、12 种脂肪酸。背侧肌肉含有 4 种饱和脂肪酸(SFA)、3 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 4 种多不饱和脂肪酸(PUFA);腹侧肌肉含有 5 种 SFA、3 种 MUFA 和 4 种 PUFA。除了 $C_{17:0}$ 仅在腹侧肌肉中检出外,背侧肌肉与腹侧肌肉的脂肪酸种类一致。在脂肪酸含量方面,背侧肌肉的 $C_{14:0}$、$C_{15:0}$、$C_{18:1}$ n-9 显著高于腹侧肌肉(P<0.05),$C_{24:1}$ n-9 显著低于腹侧肌肉(P<0.05)。细鳞圆鲹肌肉脂肪酸中含量最高的 SFA 为 $C_{16:0}$(19.91%~20.19%),其次为 $C_{18:0}$(11.22%~11.37%);含量最高的 MUFA 为 $C_{18:1}$ n-9(5.25%~

表 5 细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉脂肪酸组成及含量(%,占总脂肪酸)

Table 5 Composition and content of fatty acids in dorsal muscles and abdominal muscles of *Decapterus macarellus* (%, total fatty acids)

脂肪酸组成	背侧肌肉质量分数(%)	腹侧肌肉质量分数(%)
十四碳烷酸($C_{14:0}$)	2.48±0.04[a]	2.29±0.07[b]
十五碳烷酸($C_{15:0}$)	1.04±0.04[a]	0.83±0.01[b]
十六碳烷酸($C_{16:0}$)	20.19±0.20[a]	19.91±0.53[a]
十七碳烷酸($C_{17:0}$)	ND	1.45±0.04
十八碳烷酸($C_{18:0}$)	11.37±0.30[a]	11.22±0.30[a]
二十碳烷酸($C_{20:0}$)	ND	ND
二十三碳烷酸($C_{23:0}$)	ND	ND
二十四碳烷酸($C_{24:0}$)	ND	ND
9-十六碳一烯酸($C_{16:1}$ n-7)	1.93±0.07[a]	1.93±0.07[a]
10-十七碳一烯酸($C_{17:1}$ n-7)	ND	ND
9-十八碳一烯酸($C_{18:1}$ n-9)	5.57±0.06[a]	5.25±0.19[b]
11-二十碳一烯酸($C_{20:1}$ n-9)	ND	ND
13-二十二碳一烯酸($C_{22:1}$ n-9)	ND	ND
15-二十四碳一烯酸($C_{24:1}$ n-9)	0.78±0.02[b]	0.86±0.01[a]
9,12-十八碳二烯酸($C_{18:2}$ n-6)	1.32±0.05[a]	1.27±0.03[a]
11,14-二十碳二烯酸($C_{20:2}$ n-6)	ND	ND
13,16-二十二碳二烯酸($C_{22:2}$ n-6)	ND	ND
9,12,15-十八碳三烯酸($C_{18:3}$ n-3)	ND	ND
6,9,12-十八碳三烯酸($C_{18:3}$ n-6)	ND	ND
11,14,17-二十碳三烯酸($C_{20:3}$ n-3)	ND	ND
5,8,11,14-二十碳四烯酸($C_{20:4}$ n-6)	2.45±0.09[a]	2.51±0.09[a]
5,8,11,14,17-二十碳五烯酸($C_{20:5}$ n-3, EPA)	7.55±0.20[a]	7.52±0.27[a]
4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸($C_{22:6}$ n-3, DHA)	41.04±1.42[a]	42.48±1.53[a]
DHA+EPA	48.59±0.20[a]	50.00±1.90[a]
总饱和脂肪酸∑SFA	37.26±0.90[a]	36.38±0.99[a]
总单不饱和脂肪酸∑MUFA	8.73±0.20[a]	8.39±0.31[a]
总多不饱和脂肪酸∑PUFA	53.54±0.23[a]	54.90±1.88[a]
总不饱和脂肪酸∑UFA	62.27±0.41[a]	63.29±2.19[a]
∑PUFA/∑SFA	1.44±0.03[b]	1.51±0.01[a]
n-3系∑PUFA	48.59±0.20[a]	50.00±1.90[a]
n-6系∑PUFA	3.77±0.04[a]	3.78±0.03[a]
n-6系∑PUFA/n-3系∑PUFA	0.08±0.01[a]	0.08±0.01[a]

注:ND表示未检出。

5.57%）；含量最高的 PUFA 为 DHA（41.04%~42.48%），其次为 EPA（7.52%~7.55%）。背侧肌肉和腹侧肌肉脂肪酸中 DHA+EPA 含量、∑SFA、∑MUFA、∑PUFA、∑UFA、n-3 系∑PUFA、n-6 系∑PUFA、n-6 系∑PUFA/n-3 系∑PUFA 均无显著差异（$P>0.05$），但腹侧肌肉脂肪酸中∑PUFA/∑SFA 显著高于背侧肌肉（$P<0.05$）。

DHA、EPA 具有促进大脑发育、维持心脏健康等生理功效[31−32]。细鳞圆鲹肌肉脂肪酸中 DHA+EPA 含量（48.59%~50.00%）远高于三文鱼（18.12%~26.21%）和金枪鱼（29.27%~29.45%）[17]，具有较高的营养价值。由于 PUFA 具有降血脂、抗炎和预防动脉粥样硬化等作用，联合国健康部门推荐∑PUFA/∑SFA 的最低安全限值为 0.4[33]。此外，在摄入大量 n-6 系 PUFA 的同时摄入少量 n-3 系 PUFA 可能存在健康风险[34]，因而我国推荐 n-6 系∑PUFA/n-3 系∑PUFA 的最大安全上限为 4.0。细鳞圆鲹肌肉脂肪酸中∑PUFA/∑SFA 为 1.44~1.51，n-6 系∑PUFA/n-3 系∑PUFA 为 0.08，均在安全范围内。因此，细鳞圆鲹肌肉脂肪酸，尤其是腹侧肌肉脂肪酸，能够很好地满足营养与健康需求。

3　结论

南海细鳞圆鲹背侧肌肉和腹侧肌肉均具有“高蛋白、低脂肪”的营养特性，且富含多种矿物质元素。背腹侧肌肉氨基酸组成一致，Lys 含量高，符合优质蛋白质标准，属于可用蛋白源。背腹侧肌肉脂肪酸中 DHA+EPA 含量高，具有潜在的健康益处。背腹侧肌肉营养成分差异在于矿物质元素、粗脂肪和脂肪酸组成。腹侧肌肉的常量矿物质元素 Na、Ca 含量、微量元素 Fe 含量、粗脂肪含量以及∑PUFA/∑SFA 更高，因而可能具有更高的营养价值。总体而言，细鳞圆鲹肌肉中矿物质元素丰富，蛋白质和脂肪酸的营养价值高，是南海中极具开发利用潜力的经济鱼类资源。本研究有助于准确评价细鳞圆鲹背腹侧肌肉的营养价值，能够为其日常膳食和高值化加工等提供理论依据。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] XU Y W, ZHANG P, PANHWAR S K, et al. The initial assessment of an important pelagic fish, Mackerel Scad, in the South China Sea using data-poor length-based methods[J]. Marine and Coastal Fisheries, 2023, 15(5): e10258.

[2] RETNONINGTYAS H, AGUSTINA S, NATSIR M, et al. Reproductive biology of the mackerel scad, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833), in the Sulawesi Sea, Indonesia[J]. Regional Studies in Marine Science, 2024, 69: 103300.

[3] SHEN Q K, ZHANG P, YU W M, et al. Impact of climate change on the habitat distribution of *Decapterus macarellus* in the South China Sea[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2025, 13(1): 156.

[4] HINO H, KUROTA H, MUKO S, et al. Estimation of preferred habitats and total catch amount of the round scad *Decapterus maruadsi* and five other scad species in the East China Sea and sea of Japan[J]. Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 2023, 57(2): 153−163.

[5] ZHANG Liyan, ZHANG Jing, SONG Puqing, et al. Reidentification of *Decapterus macarellus* and D. *Macrosoma* (Carangidae) reveals inconsistencies with current morphological taxonomy in China[J]. ZooKeys, 2020, 995: 81−96.

[6] ZOU Keshu, CHEN Zuozhi, ZHANG Peng, et al. Mitochondrial genome of the Mackerel scad *Decapterus macarellus* (Perciformes: Carangidae)[J]. Mitochondrial DNA Part A, 2016, 27(3): 2151−2152.

[7] SHODA C, MIWA Y, NIMURA K, et al. Hypoxia-inducible factor inhibitors derived from marine products suppress a murine model of neovascular retinopathy[J]. Nutrients, 2020, 12(4): 1055.

[8] HERAWATI E, AKHSANITAQWIM Y, AGNESIA P, et al. *In vitro* antioxidant and antiaging activities of collagen and its hydrolysate from Mackerel Scad skin (*Decapterus macarellus*)[J]. Marine Drugs, 2022, 20(8): 516.

[9] YIN M Y, CHEN M, YANAGISAWA T, et al. A comparative study on the nutritional evaluation of the head, meat, roe, and viscera of rainbow smelt (*Osmerus mordax*)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 109: 104469.

[10] 韦盛孙, 李军生, 李荫展, 等. 淡水鱼鱼肉品质特征与产品改良提升策略分析[J]. 农产品加工, 2025(12): 98−102. [WEI Shengsun, LI Junsheng, LI Yinzhan, et al. Analysis on the quality characteristics of freshwater fish meats and strategies for their product improvement and enhancement[J]. Agricultural Products Processing, 2025(12): 98−102.]

[11] 阎霞. 三赞胶复合保鲜剂对草鱼鱼肉保鲜效果的研究[J]. 食品安全导刊, 2025(6): 74−77. [YAN Xia. Study on the preservation effect of sanzan gum composite preservative on grass carp fillets[J]. China Food Safety Magazine, 2025(6): 74−77.]

[12] 黄茂坤, 赖谱富. 人工养殖蓝圆鲹肌肉营养成分的分析与评价[J]. 武汉轻工大学学报, 2022, 41(6): 44−52. [HUANG Maokun, LAI Pufu. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of cultured *Decapterus maruadsi*[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2022, 41(6): 44−52.]

[13] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 鳀鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 41−48. [LING Shengnan, LIU Teyuan, CHEN Xueye, et al. Nutritional components analysis and evaluation of anchovy (*Engraulis encrasicholus*)[J]. Modern Food Science & Technology, 2022, 38(3): 41−48.]

[14] 邓梅, 梅强根, 谢星, 等. 七种大宗淡水鱼酶解物抗氧化活性比较及其肽组成鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(16): 110−117. [DENG Mei, MEI Qianggen, XIE Xing, et al. Comparison of antioxidant ability of enzymatic hydrolysates from seven conventional freshwater fish and identification of peptide composition [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(16): 110−117.]

[15] 袁可怡, 赵甜甜, 焦文娟, 等. 不同烹饪方式对金鲳鱼片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(12): 81−90. [YUAN Keyi, ZHAO Tiantian, JIAO Wenjuan, et al. Effects of different cooking methods on the quality of golden pomfret fillets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(12): 81−90.]

[16] 王钢, 尚晓迪, 霍文慧, 等. 细点石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 科学养鱼, 2025(5): 82−84. [WANG G, SHAGN X

D, HUO W H, et al. Analysis of nutritional composition and quality evaluation of the muscle of fine-spotted grouper[J]. Scientific Fish Farming, 2025(5): 82−84.]
[17] 王进芳, 钟洪亮, 刘颖琳, 等. 高体鰤、三文鱼和金枪鱼背腹部营养成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(7): 278−285. [WANG Jinfang, ZHONG Hongliang, LIU Yinglin, et al. Analysis of nutritional components in back and abdomen of *Seriola dumerili, Oncorhynchus*, and *Thunnus albacares*[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(7): 278−285.]
[18] 李佳蔚, 丁玉竹, 薛敬林, 等. 莱州湾 6 种海水鱼肌肉营养成分与健康评价[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 319−322. [LI J W, DING Y Z, XUE J L, et al. Muscle nutrients and health evaluation of six species of marine fish in Laizhou bay[J]. The Food Industry, 2023, 44(11): 319−322.]
[19] 贾成霞, 杨慕, 胡庆杰, 等. 6 种野生鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 27−36. [JIA Chengxia, YANG Mu, HU Qingjie, et al. Analysis and evaluation of the nutritional composition of fish muscle from six wild fish species[J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(6): 27−36.]
[20] 郭丹丹, 刘峰, 谢庆平, 等. 小黄鱼、大黄鱼及其正反杂交种肌肉营养品质评价[J]. 水生生物学报, 2025, 49(4): 32−39. [GUO Dandan, LIU Feng, XIE Qingping, et al. Assessment of muscular nutritional quality in *Larimichthys polyactis, Larimichthys crocea*, and their reciprocal hybrids[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2025, 49(4): 32−39.]
[21] 陈晓婷, 吴靖娜, 路海霞, 等. 蓝圆鲹肌肉中营养成分分析与评价[J]. 渔业现代化, 2016, 43(1): 56−61. [CHEN Xiaoting, WU Jingna, LU Haixia, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of *Decapterus maruadsi*[J]. Fishery Modernization, 2016, 43(1): 56−61.]
[22] SINGH P, PRASAD S. A review on iron, zinc and calcium biological significance and factors affecting their absorption and bioavailability[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 123: 105529.
[23] GUNARATHNE R, GUAN X, FENG T, et al. L-lysine dietary supplementation for childhood and adolescent growth: Promises and precautions[J]. Journal of Advanced Research, 2025, 70: 571−586.
[24] 梁庚云, 蒋运生, 孙菲菲, 等. 青饲料植物肥牛草、肥牛树不同部位营养成分对比分析[J]. 中国饲料, 2023(7): 141−147. [LIANG Gengyun, JIANG Yunsheng, SUN Feifei, et al. Comparison and analysis of nutrient composition in different parts of *Chirita hedyotidea* and *Cephalomappa sinensis*[J]. China Feed, 2023(7): 141−147.]
[25] WANG Tianyi, ZHANG Yalian, JIA Luan, et al. LC-MS/MS-based bioanalysis of branched-chain and aromatic amino acids in human serum[J]. Bioanalysis, 2024, 16(13): 693−704.
[26] GAUDICHON C. Evolution and significance of amino acid scores for protein quality[J]. Frontiers in Nutrition, 2024, 11: 1437853.
[27] 李敬辰, 关颖贤, 江洁, 等. 香菇大豆分离蛋白素肠的研制及其蛋白质营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2025, 46(23): 50−60. [LI Jingchen, GUAN Yingxian, GANG Jie, et al. Development and evaluation of protein nutrition value of vegetarian sausage prepared from *Lentinus edodes* and soy protein isolate[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(23): 50−60.]
[28] LI Z Q, HONG T N, SHEN G H, et al. Amino acid profiles and nutritional evaluation of fresh sweet–waxy corn from three different regions of China[J]. Nutrients, 2022, 14(19): 3887.
[29] 景炳年, 常霞, 魏磊, 等. 博爱县赤松茸营养成分、生物活性物质及重金属含量分析与评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 278−285. [JING Bingnian, CHANG Xia, WEI Lei, et al. Analysis and evaluation of nutrient components, bioactive substances and heavy metal content of *Stropharia rugosoannulata* in Bo'ai County[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 278−285.]
[30] KHALED B M, BISWAS M, SINA A A, et al. Detection of the changes in fatty acid composition and physicochemical properties in selected edible oils heated at different degrees of time[J]. Food Chemistry Advances, 2024, 4: 100716.
[31] LI J, PORA B L R, DONG K, et al. Health benefits of docosahexaenoic acid and its bioavailability: A review[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(9): 5229−5243.
[32] XIAO Baoping, LI Yuanyuan, LIN Yanqi, et al. Eicosapentaenoic acid (EPA) exhibits antioxidant activity via mitochondrial modulation[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131389.
[33] BIERY L, PAULY D. A global review of species-specific shark-fin-to-body-mass ratios and relevant legislation[J]. Journal of Fish Biology, 2012, 80(5): 1643−1677.
[34] LIPUT K P, LEPCZYŃSKI A, OGŁUSZKA M, et al. Effects of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in inflammation and cancerogenesis[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(13): 6965.