

• 研究简报 •

3 个广东鲂地理种群肌肉营养成分及能量密度比较研究

刘亚秋^{1,2,3}, 刘明典¹, 李新辉², 李 捷²

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所/农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 湖北 武汉 430223

2. 中国水产科学研究院珠江水产研究所/广东省水产动物免疫技术重点实验室, 广东 广州 510380

3. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070

摘要: 为比较万泉河、漠阳江和西江广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 地理种群的肌肉营养成分与能量密度差异, 采用常规生化分析方法检测了 3 个广东鲂种群肌肉中的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、脂肪酸和氨基酸含量及能量密度。结果表明, 西江种群的肌肉粗蛋白质量分数最高 [(20.2±0.5)%], 万泉河种群肌肉水分质量分数最高 [(79.0±0.5)%]。西江种群的肌肉能量密度显著高于万泉河和漠阳江种群。西江种群的肌肉总氨基酸含量 (Total amino acids, TAA) 和必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI) 高于万泉河和漠阳江种群。3 个广东鲂种群均检测出 23 种常见脂肪酸, 万泉河种群的单不饱和脂肪酸 (Monounsaturated fatty acid, MUFA) 总量最低, 而多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acids, PUFA) 含量最高。西江种群的二十二碳六烯酸 (DHA) 含量显著高于万泉河和漠阳江种群。3 个广东鲂种群肌肉中矿物元素含量最高的均为钾 (K), 最低的均为铜 (Cu)。西江种群的铁 (Fe) 和锰 (Mn) 含量显著高于漠阳江和万泉河种群, 而锌 (Zn) 含量显著低于漠阳江种群。

关键词: 广东鲂; 营养成分; 矿质元素; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: Q 955

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Comparative analysis of nutritional composition and energy density of muscle in three geographical populations of *Megalobrama terminalis*

LIU Yaqiu^{1,2,3}, LIU Mingdian¹, LI Xinhui², LI Jie²

1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science/Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of the Upper-Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430223, China

2. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Aquatic Animal Immune Technology of Guangdong Province, Guangzhou 510380, China

3. College of Fishery, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: In order to compare the nutritional composition and energy density of *Megalobrama terminalis* populations in Wangquan River, Moyang River and Xijiang River, we applied the biochemical analysis methods to determine the contents of moisture, crude protein, ash and crude fatty, as well as amino acid and fatty acid composition and energy density of the muscle of three *M. terminalis* populations. The results indicate that the Xijiang River population had the highest crude protein mass fraction [(20.2±0.5)%], while Wangquan River population had the highest water mass fraction [(79.0±0.5)%]. The energy density of Xijiang River population was significantly higher than that of Wangquan and Moyang River populations ($P<0.05$). The

收稿日期: 2021-08-13; 修回日期: 2021-11-23

基金项目: 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站开放课题 (0202020017); 广州市科技计划性项目 (202201010762); 广东省基础与应用基础研究项目 (2019B1515120064)

作者简介: 刘亚秋 (1990—), 男, 助理研究员, 硕士, 从事鱼类生理生态学研究。E-mail: liuyq1990@foxmail.com

通信作者: 刘明典 (1980—), 男, 副研究员, 博士, 从事鱼类生态学研究。E-mail: liumd@yfi.ac.cn

essential amino acid index (EAAI) of Xijiang River population was higher than that of Wanquan and Moyang River populations. We had detected 23 kinds of common fatty acids in the muscle of three *M. terminalis* populations. The content of monounsaturated fatty acid (MUFA) in the muscle of Wanquan River population was the lowest, while the content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) of Wanquan River population was the highest. The DHA content in muscle of Xijiang River population was much higher than that of Wanquan and Moyang populations. Potassium (K) and copper (Cu) had the highest and lowest contents among all the mineral elements in the muscle of three *M. terminalis* populations, respectively. The contents of ferrum (Fe) and manganese (Mn) of Xijiang River population were significantly higher than those of Moyang and Wanquan River populations, but the content of zinc (Zn) of Xijiang River population was much lower than that of Moyang River population.

Keywords: *Megalobrama terminalis*; Nutritional composition; Mineral element; Amino acid; Fatty acid

广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 是一种江河洄游鱼类, 在我国南方水系中占有重要的渔业生产地位^[1-2]。我国南方水系复杂多样, 并经历了多次河流袭夺, 而气候变化导致的海平面波动是形成其特有河网系统的重要因素之一^[3]。由于广东鲂对淡水环境依赖性较强, 因此, 海平面波动产生的地理隔离, 对广东鲂种群的遗传结构产生了一定影响。Chen 等^[3]指出 3 个广东鲂地理遗传种群分别为珠江、漠阳江和海南岛万泉河种群, 并发现广东鲂种群在不同的淡水栖息地中表现出明显的适应性分化。刘凯等^[4]研究表明, 受地理分布、食物来源、遗传特征和栖息环境等因素的叠加影响, 鱼类的不同地理种群在肌肉营养成分上能够产生相对稳定的变异。然而, 不同广东鲂地理种群肌肉营养成分是否存在显著差异尚不清楚。目前, 对广东鲂研究多在于早期资源、资源捕捞量、性腺发育、繁殖策略、消化生理等方面^[1-3,5-8], 针对不同广东鲂种群肌肉营养成分和能量密度的研究尚未见报道。由于人类活动的不断加强 (如水利水电工程、航道治理、水污染、过度捕捞等), 珠江野生广东鲂种群数量持续下降^[2,7-8], 漠阳江和万泉河广东鲂种群则呈现规模小、片段化分布特征, 在其他陆河河流如榕江、鉴江、韩江中已难以监测到野生样本。因此, 本研究测定了万泉河、漠阳江、西江广东鲂种群肌肉营养成分和能量密度, 探究不同地理广东鲂种群肌肉营

养成分差异, 以期充实鱼类营养学和能量生态学研究材料, 也为不同广东鲂的野生地理种群的保护和合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2020 年 6—7 月分别于海南省琼海市万泉河琼海段 (QH, 110°27'36"E, 19°12'36"N)、广东省阳江市漠阳江段 (YJ, 111°42'2"E, 22°48'7"N) 以及广东省肇庆市珠江干流 (西江) 肇庆江段 (ZQ, 112°24'35"E, 23°5'24"N) 采集到 150 尾广东鲂, 各采样点 50 尾 (雌、雄各 25 尾)。采用哈希水质分析仪测量取样点的水温、盐度、溶解氧 (Dissolved oxygen, DO) 和 pH, 并测量样品的体长和体质量。采样站位的环境信息和样本生物学信息见表 1。采用液氮快速冷冻样本, 于-20 ℃ 冷冻保存, 随后带回实验室-80 ℃ 保存。采集背部中后段肌肉 (每尾在相同位置采集 20 g 肌肉) 用于检测肌肉成分。各项指标由广东省质量监督食品检验站进行检测, 各实验组均设置 3 个重复, 每个重复含 10 尾样本 (背部肌肉捣碎)。

1.2 肌肉营养成分和能量密度测定方法

样本水分测定采用 GB 5009.3—2016; 粗蛋白测定采用 GB 5009.5—2016; 脂肪测定采用 GB 5009.4—2016; 灰

表1 3个广东鲂地理种群环境信息和样本生物学信息
Table 1 Basic environmental information, biological information of three *M. terminalis* populations

指标 Index		采样点 Sampling site		
		琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
环境指标 Environmental index	水温 Water temperature/℃	30.0±0.2	29.2±0.4	28.6±0.3
	盐度 Salinity	0.03±0.01	0.01±0.02	0.01±0.01
	酸碱度 pH	7.7±0.3	7.9±0.3	7.8±0.3
	溶解氧质量浓度 DO/(mg·L ⁻¹)	6.8±0.2	6.7±0.2	7.0±0.2
生物学指标 Biological index	体长 Body length ($\bar{X}$ ±SD)/mm	233±17.6	253±20.7	271±27.3
	体质量 Body mass ($\bar{X}$ ±SD)/g	354±19.4	424±33.1	521±30.1

分测定采用 GB 5009.4—2016；氨基酸测定采用 GB T5009.124—2016；脂肪酸测定采用 GB 5009.168—2016。采用电感耦合等离子体质谱仪 (7700 Series) 依据 GB 5009—2016 测定样本中钾 (K)、钙 (Ca)、钠 (Na)、磷 (P)、镁 (Mg)、锌 (Zn)、铁 (Fe)、铜 (Cu)、锰 (Mn) 等矿质元素含量。根据联合国粮农组织/世界卫生组织 (FAO/WHO) 提出和 1991 年中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的氨基酸评分模式，计算氨基酸评分 (Amino acid score, AAS)、化学评分 (Chemical score, CS) 和必需氨基酸指数 (Essential amino acid index, EAAI)^[9-10]。Phillipson 微量能量仪 (Gentry Instruments Inc., Aiken, South Carolina, USA) 测定能量密度。

1.3 数据分析

采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 检验不同广东

鲂地理种群肌肉营养成分差异显著性。如差异显著，则采用多重比较方法比较平均数之间的差异，显著性水平为 0.05。数据分析采用 SPSS 19.0 统计软件进行。实验数据均用“平均值±标准差 ($\bar{X}\pm SD$)”表示。采用 R (3.1.14) 对 3 个广东鲂种群肌肉生化分析结果进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。

2 结果

2.1 一般营养成分和能量密度分析

万泉河广东鲂肌肉水分质量分数显著高于西江种群，而粗蛋白质质量分数则显著低于西江种群 ($P<0.05$ ，表 2)。粗脂肪和灰分质量分数在 3 个地理种群中均无显著性差异。西江种群肌肉能量密度显著高于万泉河和漠阳江种群 ($P<0.05$)。

表2 3个广东鲂地理种群肌肉中的一般营养成分和能量密度
Table 2 Nutritional composition of muscle of three *M. terminalis* populations

项目 Item	广东鲂种群 <i>M. terminalis</i> population		
	琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
水分质量分数 Moisture mass fraction/%	79.0±0.5 ^a	78.2±0.9 ^{ab}	77.0±0.6 ^b
粗蛋白质质量分数 Crude protein mass fraction/%	18.3±0.5 ^b	19.1±0.7 ^{ab}	20.2±0.5 ^a
粗脂肪质量分数 Crude lipid mass fraction/%	1.2±0.1	1.1±0.1	1.3±0.1
粗灰分质量分数 Ash mass fraction/%	1.1±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1
能量密度 Energy density/(kJ·g ⁻¹)	3.1±0.1 ^b	3.2±0.2 ^b	3.6±0.2 ^a

注：同行不同上标字母表示差异显著 ($P<0.05$)，下表同此。
Note: Different superscript letters within the same row indicate significant difference ($P<0.05$). The same case in the following tables.

2.2 氨基酸组成分析与评价

3 个广东鲂地理种群共检测出 18 种常见氨基酸 (表 3)。西江种群肌肉中的总氨基酸含量 (Total amino acids, TAA) 最高，漠阳江种群次之，万泉河种群最低。在必需氨基酸 (Essential amino acid, EAA) 中，西江种群的赖氨酸和亮氨酸含量显著高于万泉河种群 ($P<0.05$)，漠阳江种群介于两者之间。呈味氨基酸中，西江种群肌肉中的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量均显著高于万泉河种群 ($P<0.05$)。漠阳江种群肌肉中必需氨基酸/总氨基酸 (EAA/TAA) 最高，而西江种群最低。呈味氨基酸/总氨基酸 (DAA/TAA) 在 3 个广东鲂地理种群肌肉中无明显差异。芳香氨基酸/支链氨基酸 (BCAA/AAA) 在万泉河种群肌肉中最高，漠阳江种群次之，西江种群最低。将 3 个广东鲂地理种群肌肉的 EAAI 进行标准模式 (FAO/WHO) 及全鸡蛋蛋白质模式 2 种评价 (表 3)，分别计算出各 EAA 的 AAS、CS 和 EAAI (表 4)。万泉河、漠阳江和西江种群肌肉中的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+半胱氨酸，第二限制性氨基酸为缬氨酸，其

余各 EAA 的 AAS 均高于 1；各 EAA 的 CS 与 AAS 结果保持一致。3 个广东鲂地理种群肌肉中的 EAAI 达 80 以上，说明其氨基酸组成十分均衡。其中西江种群肌肉 EAAI 最高 (85.05)。

2.3 脂肪酸组成分析

3 个广东鲂地理种群肌肉中共检测出 23 种常见脂肪酸 (表 5)，其中包括 7 种饱和脂肪酸 (Saturated fatty acid, SFA) 7 种单不饱和脂肪酸 (Monounsaturated fatty acid, MUFA) 和 9 种多不饱和脂肪酸 (Polyunsaturated fatty acids, PUFA)。SFA 中 C14:0、C16:0 和 C22:0 在万泉河种群肌肉中的含量显著高于漠阳江和西江种群 ($P<0.05$)。万泉河种群肌肉中 MUFA 总量显著低于西江和漠阳江种群 ($P<0.05$)。其中，C16:1、C18:1 n-9t、C18:1 n-9c 漠阳江种群肌肉中含量最高，而在万泉河种群肌肉中含量最低。C22:1 n-9、C24:1 在漠阳江种群肌肉中含量显著低于西江和万泉河种群。西江种群肌肉中二十二碳六烯酸 (DHA) 含量最高，显著高于万泉河和漠阳江种群 ($P<0.05$)。PUFA 在万泉河种群肌肉中

表3 3个广东鲂地理种群肌肉氨基酸组成
Table 3 Comparison of amino acid composition of muscles of three *M. terminalis* populations

项目 Item	广东鲂种群 <i>M. terminalis</i> population		
	琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
天冬氨酸 [*] Asp	1.80±0.04 ^b	1.82±0.07 ^b	1.99±0.05 ^a
苏氨酸 [#] Thr	0.80±0.02	0.80±0.03	0.86±0.04
丝氨酸 Ser	0.72±0.02	0.73±0.03	0.80±0.04
谷氨酸 [*] Glu	2.78±0.06 ^b	2.68±0.10 ^b	2.99±0.14 ^a
脯氨酸 Pro	0.61±0.02	0.63±0.02	0.66±0.04
甘氨酸 [*] Gly	0.83±0.04 ^b	0.87±0.04 ^{ab}	0.97±0.06 ^a
丙氨酸 [*] Ala	1.06±0.02 ^b	1.09±0.03 ^b	1.18±0.08 ^a
缬氨酸 ^{#△} Val	0.85±0.02	0.87±0.03	0.92±0.04
蛋氨酸 Met	0.53±0.01	0.53±0.02	0.57±0.03
异亮氨酸 ^{#△} Ile	0.78±0.02	0.79±0.02	0.83±0.03
亮氨酸 ^{#△} Leu	1.41±0.03 ^b	1.41±0.05 ^{ab}	1.52±0.05 ^a
半胱氨酸 Cys	0.11±0.07	0.19±0.03	0.43±0.15
酪氨酸 [◆] Tyr	0.62±0.02	0.61±0.02	0.66±0.02
苯丙氨酸 [#] Phe	0.72±0.02	0.74±0.02	0.80±0.03
赖氨酸 [#] Lys	1.73±0.05 ^a	1.73±0.09 ^{ab}	1.87±0.03 ^b
组氨酸 [○] His	0.42±0.01	0.45±0.04	0.48±0.05
精氨酸 [○] Arg	1.07±0.04	1.07±0.04	1.17±0.07
色氨酸 [#] Trp	0.27±0.04	0.35±0.03	0.37±0.05
氨基酸总量 TAA	17.11±0.58 ^a	17.37±0.69 ^a	19.07±0.57 ^b
呈味氨基酸总量 DAA	6.47±0.06 ^a	6.46±0.08 ^a	7.13±0.07 ^b
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA/%	72.41	73.03	69.95
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA/%	38.34	38.51	37.60
半必需氨基酸/总氨基酸 SEAA/TAA/%	8.36	8.41	8.26
芳香氨基酸/支链氨基酸 BCAA/AAA/%	4.90	5.03	4.05

注：#. 必需氨基酸；○. 半必需氨基酸；*. 呈味氨基酸；△. 支链氨基酸；◆. 芳香氨基酸。
Note: #. Essential amino acid; ○. Semiessential amino acid; *. Delicious amino acid; △. Branched chain amino acid; ◆. Aromatic amino acid.

含量最高，西江种群次之，漠阳江种群最低。

2.4 矿质元素组成分析

3 个广东鲂地理种群肌肉中均含有丰富的矿质元素，其中 K 质量分数最高，Ca 次之 (表 6)。西江种群肌肉中 K 和 Ca 质量分数显著高于万泉河种群，而 Na 和 Mg 质量分数则显著低于万泉河种群 ($P<0.05$)。万泉河种群肌肉 Zn 质量分数显著高于漠阳江和西江种群，而 Mn 和 Fe 质量分数显著低于漠阳江和西江种群 ($P<0.05$)。

2.5 3 个广东鲂种群生化分析结果的主成分分析

综合 3 个广东鲂种群生化分析结果，并进行 PCA。西江种群分布距均万泉河和漠阳江种群较远，万泉河种群和漠阳江种群相对较近。PCA 共提取了 2 个主成分，对变异

的累积贡献率为 80.25%。其中主成分 1 的贡献率为 50.75%，主成分 2 的为 29.50% (图 1)。

3 讨论

鱼类肌肉中蛋白质和脂肪含量是评价其营养价值的重要指标^[11]。3 个广东鲂地理种群肌肉的粗蛋白质量分数 (18.3%~20.2%) 高于团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*H. nobilis*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)，与翘嘴鲇 (*Culter alburnus*) 接近^[12-13]。3 个广东鲂地理种群肌肉粗脂肪质量分数 (1.1%~1.3%) 较团头鲂、翘嘴鲇、鲢、鳙、斑鳅 (*Siniperca scherzeri*) 等低^[12-14]，与常见的海水鱼类如牙鲆

表4 3个广东鲂地理种群肌肉氨基酸评价
Table 4 Evaluation of essential amino acids composition of muscle of three *M. terminalis* populations

评价模式 Evaluation method	氨基酸 Amino acids	广东鲂种群 <i>M. terminalis</i> population		
		琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
氨基酸评分 AAS	苏氨酸 Thr	1.09	1.05	1.07
	缬氨酸 Val	0.94	0.92	0.92
	色氨酸 Trp	1.53	1.91	1.91
	异亮氨酸 Ile	1.06	1.03	1.03
	亮氨酸 Leu	1.09	1.05	1.07
	赖氨酸 Lys	1.73	1.66	1.70
	苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	1.20	1.17	1.19
	蛋氨酸 Met+半胱氨酸 Cys	0.82	0.78	0.80
	苏氨酸 Thr	0.93	0.90	0.91
	缬氨酸 Val	0.71	0.69	0.69
化学评分 CS	色氨酸 Trp	0.96	1.24	1.31
	异亮氨酸 Ile	0.80	0.78	0.78
	亮氨酸 Leu	0.90	0.86	0.88
	赖氨酸 Lys	1.34	1.28	1.31
	苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	0.81	0.78	0.80
	蛋氨酸 Met+半胱氨酸 Cys	0.47	0.45	0.46
	必需氨基酸指数 EAAI	83.31	83.37	85.05

表5 3个广东鲂地理种群肌肉脂肪酸组成
Table 5 Comparison of fatty acids of muscles of three *M. terminalis* populations %

项目 Item	广东鲂种群 <i>M. terminalis</i> population		
	琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
肉豆蔻酸 C14:0	5.36±0.85 ^a	3.53±0.41 ^b	3.40±0.32 ^b
十五碳酸 C15:0	1.02±0.25	0.66±0.05	0.70±0.13
棕榈酸 C16:0	27.33±1.47 ^a	21.83±1.16 ^b	21.80±1.99 ^b
珠光脂酸 C17:0	2.03±0.35	0.99±0.18	1.13±0.33
硬脂酸 C18:0	11.34±1.79 ^a	5.97±1.03 ^b	8.14±1.65 ^{ab}
花生酸 C20:0	0.29±0.05 ^a	0.15±0.02 ^b	0.21±0.07 ^{ab}
花生酸 C22:0	0.30±0.08 ^a	0.10±0.01 ^c	0.17±0.01 ^b
Σ饱和脂肪酸 SFA	47.67±2.12 ^a	33.23±2.85 ^b	35.56±4.35 ^b
肉豆蔻烯酸 C14:1	0.06±0.02	0.12±0.02	0.08±0.01
棕榈油酸 C16:1	6.21±1.22 ^b	10.45±1.73 ^a	8.10±0.52 ^{ab}
顺-11-二十碳一烯酸 C20:1	2.32±0.36	1.85±0.08	2.06±0.15
顺-15-二十四碳一烯酸 C24:1	0.27±0.09 ^a	0.06±0.01 ^b	0.24±0.10 ^a
反式油酸 C18:1 n-9t	0.21±0.05 ^b	0.43±0.07 ^a	0.35±0.07 ^{ab}
油酸 C18:1 n-9c	16.73±3.87 ^b	35.53±4.35 ^a	31.80±3.65 ^a
二十二碳一烯酸 C22:1 n-9	1.09±0.36 ^a	0.11±0.03 ^b	1.03±0.61 ^a
Σ单不饱和脂肪酸 MUFA	26.89±3.93 ^a	48.54±5.20 ^b	43.66±7.08 ^b
亚油酸 C18:2 n-6c	4.30±0.64 ^a	2.23±0.33 ^b	1.59±0.64 ^b
α-亚麻酸 C18:3 n-3	5.54±0.86 ^a	4.03±1.56 ^{ab}	2.35±0.51 ^b
γ-亚麻酸 C18:3 n-6	0.14±0.02 ^a	0.08±0.02 ^{ab}	0.01±0.00 ^b
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸 C20:2	0.39±0.08	0.34±0.01	0.36±0.04
顺-11,14,17-二十碳三烯酸 C20:3 n-3	0.32±0.05	0.27±0.06	0.21±0.08
顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20:3 n-6	0.39±0.09 ^a	0.22±0.03 ^b	0.14±0.01 ^c
花生四烯酸 C20:4 n-6 (ARA)	5.27±0.89 ^a	2.94±0.42 ^b	4.88±0.95 ^a
二十碳五烯酸 C20:5 n-3 (EPA)	3.16±0.72	4.06±0.10	4.09±0.87
二十二碳六烯酸 C22:6 n-3 (DHA)	5.74±1.03 ^b	3.95±0.13 ^c	7.03±1.28 ^a
Σ多不饱和脂肪酸 PUFA	25.11±2.83 ^a	18.04±2.47 ^b	20.64±5.61 ^{ab}

表6 3个广东鲂地理种群肌肉矿质元素组成

Table 6 Mineral element of muscle of three *M. terminalis* populations $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

元素 Element	广东鲂种群 <i>M. terminalis</i> population		
	琼海 QH	阳江 YJ	肇庆 ZQ
钾 K	3 340.05±105.36 ^b	3 460.04±192.92 ^{ab}	3 820.36±221.12 ^a
钙 Ca	1 050.12±28.87 ^b	1 100.25±40.02 ^{ab}	1 200.11±34.64 ^a
钠 Na	487.34±58.96 ^a	345.35±7.23 ^b	385.57±30.66 ^b
镁 Mg	298.65±3.79	303.05±2.65	332.31±5.51
磷 P	241.59±25.97	230.45±2.08	247.78±4.04
锌 Zn	6.47±0.15 ^a	4.16±0.18 ^b	3.82±0.17 ^b
铁 Fe	3.06±0.13 ^c	4.75±0.14 ^b	6.43±0.18 ^a
铜 Cu	0.12±0.00	0.12±0.01	0.13±0.01
锰 Mn	0.21±0.01 ^c	0.38±0.02 ^b	0.64±0.01 ^a

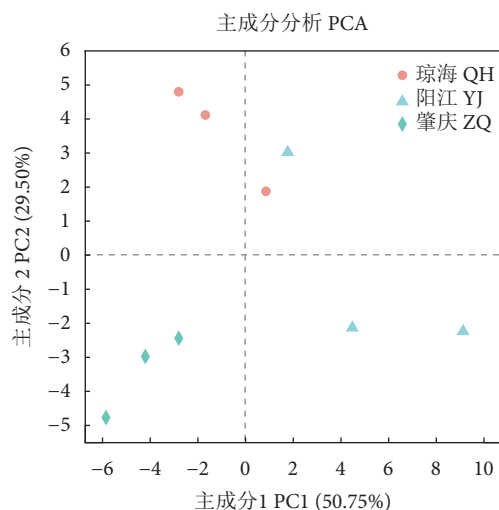


图1 3个广东鲂种群肌肉生化成分主成分分析散点图

Fig. 1 Scattering diagram of principal components for biochemical analysis parameters of muscle of three *M. terminalis* populations

(*Paralichthys olivaceus*)^[15]、黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*)^[16] 和日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[17] 类似, 表现出典型的低脂肪、高蛋白的特点。本研究发现, 3 个广东鲂种群肌肉生化 PCA 结果显示西江种群分布距万泉河和漠阳江种群较远, 可能是由于栖息地环境因子以及饵料生物种类存在明显差异。本研究还发现, 西江种群能量密度显著高于漠阳江和万泉河种群。能量密度被认为是衡量鱼体能量储备水平的重要指标, 能直接反映鱼类发育状况以及对外界环境因子的适应性^[18]。鱼类生殖洄游是主动的、定期定向的高耗能运动, 且鱼体自身能量储备有限, 因此鱼类洄游须尽可能地调节自身身体结构、能量储备和代谢能力以适应生殖洄游的需要^[19-20]。3 个广东鲂种群生殖洄游距离

存在明显差异, 可能是导致种群间肌肉中能源物质的积累程度不同的主要原因之一。有研究发现鱼类肌肉能量累积和消耗与其洄游能力密切相关^[21-22]。

鱼类肌肉中蛋白质的营养价值由各种 EAA 含量和组成比例决定^[23-24]。本研究显示, 在 3 个广东鲂种群肌肉中谷氨酸含量均最高, 谷氨酸作为一种重要呈味氨基酸, 具有促进脑发育、治疗神经系统疾病等作用^[25]。3 个广东鲂种群肌肉中谷氨酸含量均高于团头鲂与翘嘴鲌^[12]。西江种群肌肉中谷氨酸含量显著高于漠阳江和万泉河种群, 表明西江种群肌肉较万泉河和漠阳江种群风味更佳。3 个广东鲂种群肌肉中赖氨酸含量均较高, 其中, 西江种群肌肉中赖氨酸含量最高。赖氨酸是人体 EAA 之一, 不仅具有提高蛋白质利用率和促进人体生长发育的作用, 还可以增强免疫力、改善神经系统、预防骨质疏松^[24,26]。在 FAO/WHO 提出的人体均衡蛋白需求理想模式中, EAA/NEAA>60% 的蛋白质质量较好^[27], 3 个野生广东鲂种群肌肉均属于良好的蛋白源。西江种群肌肉中的 EAAI 最高 (85.05), 说明其肌肉中 EAA 组成最为平衡, 蛋白质营养价值最高。肌肉中的脂肪酸含量是影响肌肉风味的重要因素之一^[28]。本研究发现, 西江和漠阳江种群肌肉均表现出 MUFA 的高占比。有研究表明, MUFA 在调节人体脂质代谢方面具有重要的生理作用^[29]。PUFA 中 DHA 与 EPA 含量是评价鱼类营养成分的关键指标^[30]。西江种群肌肉中的 DHA 含量显著高于漠阳江和万泉河种群, 表明西江种群肌肉的脂肪质量较高。

矿物质元素是构成人体组织的重要成分, 参与人体内多种物质的代谢和生理活动^[31]。3 个广东鲂种群肌肉中 Na、K、Ca 等常规矿质元素以及 Fe、Zn、Cu、Mn 等微量元素均有检出。K、Fe、Zn 等矿质元素含量低于异齿裂腹鱼 (*Schizothorax connori*)^[32]。Ca 含量显著高于褐点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*) 和青石斑鱼 (*E. awoara*) 等多种海鱼^[31]。西江种群肌肉中 Fe 含量显著高于漠阳江和万泉河种群, 而 Zn 含量则显著低于万泉河种群。Fe 具有造血功能和促进人体生长的作用等, Zn 可以促进儿童智力的正常发育^[33]。3 个广东鲂地理种群肌肉多种微量元素含量差异显著, 这可能是由于栖息水环境的差异所致。万泉河种群相对西江种群, 其主要栖息水域为河口, 盐度相对较高, 易受潮汐影响。有研究发现淡水环境中 Fe 含量均显著高于海水, Zn 含量明显低于海水环境^[34-35]。因此, 栖息地环境差异导致了 Zn 在万泉河种群肌肉中富集度更高, Fe 和 Mn 则在西江种群肌肉中富集度更高。

参考文献:

- [1] 谭细畅, 李新辉, 林建志, 等. 基于水声学探测的两个广东鲂产卵群体繁殖生态的差异性 [J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1756-

- 1762.
- [2] 刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 西江广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 繁殖生物学及繁殖策略 [J]. 湖泊科学, 2021, 33(1): 232-242.
- [3] CHEN W, LI C, LI X H et al. Phylogeographic analyses of a migratory freshwater fish (*Megalobrama terminalis*) reveal a shallow genetic structure and pronounced effects of sea-level changes[J]. Gene, 2020, 737: 1-10.
- [4] 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江下游产卵期凤鲚、刀鲚和湖鲚肌肉生化成分及能量密度 [J]. 动物学杂志, 2009, 44(4): 118-128.
- [5] 刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 广东鲂性腺发育组织学研究 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(1): 113-118.
- [6] LIU Y, LI X, LI J, et al. The gut microbiome composition and degradation enzymes activity of black Amur bream (*Megalobrama terminalis*) in response to breeding migratory behavior[J]. Ecol Evol, 2021, 11(10): 5150-5163.
- [7] 李跃飞, 李新辉, 杨计平, 等. 珠江禁渔对广东鲂资源补充群体的影响分析 [J]. 水产学报, 2014, 38(4): 502-508.
- [8] 李跃飞, 李策, 朱书礼, 等. 基于单位补充量模型的两江广东鲂种群资源利用现状评价 [J]. 水生生物学报, 2018, 42(5): 975-983.
- [9] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements[R]. Rome: FAO, 1973, 52: 40-73.
- [10] 杨月欣. 中国食物成分表 (第一册)[M]. 6版. 北京: 北京大学医学出版社, 2018: 127-165.
- [11] 施永海, 根玉, 永士, 等. 野生及养殖哈氏仿对虾肌肉营养成分的分析与比较 [J]. 水产学报, 2013, 37(5): 768-776.
- [12] 蒋文枰, 贾永义, 刘士力, 等. 鲢鲂 F_1 、 F_2 及其亲本肌肉营养成分的比较分析 [J]. 浙江农业学报, 2020, 32(7): 1166-1175.
- [13] 刘健康. 东湖生态学 (一)[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 307-311.
- [14] 冉辉, 姚俊杰, 梁正其, 等. 锦江河大眼鲈和斑鲈肌肉营养成分及氨基酸组成分析 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(14): 3072-3075.
- [15] 王远红, 吕志华, 郑桂香, 等. 大菱鲆的营养成分分析 [J]. 营养学报, 2003, 25(4): 438-440.
- [16] 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.
- [17] 王志铮, 付英杰, 杨磊, 等. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成晶体色和肌肉品质的差异 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1042-1049.
- [18] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法 [J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369-383.
- [19] PENNEY Z, MOFFITT C. Proximate composition and energy density of stream-maturing adult steelhead during upstream migration, sexual maturity, and kelt emigration[J]. Trans Am Fish Soc, 2014, 143(2): 399-413.
- [20] WEATHERLEY A, GILL H. Protein, lipid, water and caloric contents of immature rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, growing at different rates[J]. J Fish Biol, 2010, 23(6): 653-673.
- [21] 吴利红, 唐文乔, 张亚. 从体内脂肪的转移过程探讨凤鲚和刀鲚溯河产卵洄游距离的差异性 [J]. 水产学报, 2017, 41(2): 212-220.
- [22] SLOTTE A. Differential utilization of energy during wintering and spawning migration in Norwegian spring-spawning herring[J]. J Fish Biol, 1999, 54(2): 338-355.
- [23] 刘芳芳, 杨少玲, 林婉玲, 等. 七种海水鱼背部肌肉营养成分及矿物元素分布与健康评价 [J]. 水产学报, 2019, 43(11): 2414-2423.
- [24] 曹平, 宋伟, 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.
- [25] 龚洋洋, 黄艳青, 陆建学, 等. 锈斑鲷肌肉氨基酸和脂肪酸组成分析及营养品质评价 [J]. 海洋渔业, 2014, 36(2): 177-182.
- [26] 周胜杰, 杨蕊, 于刚, 等. 美济礁附近海域3种金枪鱼肌肉成分检测与营养评价 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(2): 51-59.
- [27] 代应贵, 范家佑, 王晓辉. 鳊结鱼肌肉营养成分分析 [J]. 营养学报, 2006, 28(4): 361-363.
- [28] 秦志清, 林建斌, 梁萍, 等. 侧条厚唇鱼肌肉营养成分分析与营养价值评价 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(5): 111-116.
- [29] 童铃, 金毅, 徐坤华, 等. 3种鲢鱼背部肌肉的营养成分分析及评价 [J]. 南方水产科学, 2014, 10(5): 51-59.
- [30] 王立改, CORNEL A, 楼宝, 等. 四个地域小黄鱼肌肉营养成分分析与评价 [J]. 营养学报, 2018, 40(2): 203-205.
- [31] 陈晓婷, 林瑜, 路海霞, 等. 4种石斑鱼肌肉中营养成分分析与评价 [J]. 渔业研究, 2020, 42(5): 463-472.
- [32] 李梁, 郑晓敏, 任瑛, 等. 异齿裂腹鱼肌肉营养成分及评价 [J]. 营养学报, 2019, 41(6): 620-622.
- [33] 孙远明, 余群力, 甄润英, 等. 食品营养学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 112-147.
- [34] 雷志洪, 徐小清, 惠嘉玉, 等. 鱼体微量元素的生态化学特征研究 [J]. 水生生物学报, 1994, 18(4): 309-315.
- [35] 刘凯, 徐东坡, 段金荣, 等. 长江口凤鲚产卵群体肌肉及卵巢生化组成和能量密度 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3): 302-307.