

# 6种野生鱼肌肉营养成分分析与评价

贾成霞<sup>1</sup>, 杨慕<sup>1</sup>, 胡庆杰<sup>2</sup>, 曲疆奇<sup>1</sup>, 刘盼<sup>1</sup>, 张清靖<sup>1\*</sup>

(1.北京市农林科学院水产科学研究所, 渔业生物技术北京市重点实验室, 北京 100068)

(2.北京市密云区农业服务中心, 北京 101500)

**摘要:**为探讨同一水域生长野生鱼的营养成分,采用生化分析方法对密云水库鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、翘嘴鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)和鳊鱼(*Parabramis pekinensis*)肌肉的常规营养成分、矿物质、氨基酸和脂肪酸含量进行分析。结果表明,青鱼粗蛋白含量最高(21.25%),鲫鱼含量最低(17.70%);翘嘴鲌粗脂肪含量最高(5.73%),鳊鱼含量最低(1.18%)。6种鱼富含矿物质K、Na、Ca、Mg、P及Fe、Mn、Zn、Se,为优质的高钾低钠膳食来源。人体必需氨基酸均占氨基酸总量的40.00%以上,鲜味氨基酸占37.53%~39.21%,谷氨酸含量均为最高。鲤鱼、鲫鱼、草鱼、青鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中分别检出22、17、20、22、24和19种脂肪酸,饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸相对含量差异较大。结果表明6种鱼均为优良的蛋白质来源,氨基酸组成合理,有益矿物质和脂肪酸丰富,营养价值高。

**关键词:**鲤鱼; 鲫鱼; 草鱼; 青鱼; 翘嘴鲌; 鳊鱼; 营养成分

文章编号: 1673-9078(2023)06-27-36

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0871

## Analysis and Evaluation of the Nutritional Composition of Fish Muscle from Six Wild Fish Species

JIA Chengxia<sup>1</sup>, YANG Mu<sup>1</sup>, HU Qingjie<sup>2</sup>, QU Jiangqi<sup>1</sup>, LIU Pan<sup>1</sup>, ZHANG Qingjing<sup>1\*</sup>

(1.Fisheries Research Institute, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing Key Laboratory of Fishery Biotechnology, Beijing 100068, China) (2.Beijing Miyun District Agriculture Service Center, Beijing 101500, China)

**Abstract:** The conventional nutritional composition, minerals, fatty acids, and amino acids in the muscles of *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Ctenopharyngodon idella*, *Mylopharyngodon piceus*, *Erythroculter ilishaeformis*, and *Parabramis pekinensis* from the Miyun Reservoir were analyzed using biochemical methods to explore the nutritional composition of wild fish grown in the same area. The results showed that *M. piceus* had the highest crude protein content (21.25%), whereas *Carassius auratus* had the lowest content (17.70%). *Erythroculter ilishaeformis* had the highest crude fat content (5.73%), whereas *Parabramis pekinensis* had the lowest content (1.18%). The six species of fish were rich in mineral elements, including K, Na, Ca, Mg, P, Fe, Mn, Zn, and Se, thereby constituting high-potassium and low-sodium dietary sources. Essential amino acids for the human body accounted for more than 40% of the total amino acids in the fish, with umami amino acids accounting for 37.53%~39.21% and the glutamic acid content being the highest. There were 22, 17, 20, 22, 24, and 19 types of fatty acids detected in the muscles of *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Ctenopharyngodon idella*, *M. piceus*, *E. ilishaeformis*, and *P. pekinensis*, respectively. The six fish species had different relative contents of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, and polyunsaturated fatty acids. The findings indicated that all six species demonstrated optimal protein content, adequate amino acid composition, a rich abundance of beneficial minerals and fatty acids, and high nutritional value.

引文格式:

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 and Technology, 2023, 39(6): 27-36.

收稿日期: 2022-07-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0900103); 现代农业产业技术体系北京市渔业创新团队项目(BAIC07-2022-06); 河北省重点研发计划(22326701D; 19226703D)

作者简介: 贾成霞(1979-),女,博士,高级工程师,研究方向: 渔业资源与生态保护, E-mail: jia.cx@163.com

通讯作者: 张清靖(1974-),男,博士,研究员,研究方向: 渔业生态与环保, E-mail: zhangqhbs@126.com

**Key words:** *Cyprinus carpio*; *Carassius auratus*; *Ctenopharyngodon idella*; *Mylopharyngodon piceus*; *Erythroculter ilishaeformis*; *Parabramis pekinensis*; nutritional composition

鱼肉具高蛋白、低脂肪、营养丰富等优点,且其肌纤维细,结构柔软,富含可溶性成胶物质,比畜禽肉更易消化吸收,是二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic Acid, EPA)和二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic Acid, DHA)等长链  $n-3$  多不饱和脂肪酸的重要膳食来源。与养殖鱼相比,野生鱼类在必需氨基酸、有益脂肪酸以及肌肉内聚性、弹性、咀嚼性、剪切力等方面具有显著差异<sup>[1-5]</sup>。目前对鱼类营养成分的报道较多,所研究鱼类来源广、渠道多,鱼类的营养成分在种间和种内差异均十分明显<sup>[6-10]</sup>,鱼类品种、饵料来源、生活环境、养殖模式、体重、捕捞季节、水温等均会对营养成分产生影响<sup>[11]</sup>。对水产市场上 30 种淡水鱼的研究显示,鲢鱼的粗脂肪含量为 10%~17.5%,团头鲂为 8%~10%,翘嘴鲌、青鱼、草鱼和鲫鱼为 6%~8%,鲤鱼和鳊鱼为 5%~5.5%<sup>[9]</sup>。对孟加拉国和斯里兰卡数十种内陆捕捞和养殖鱼类的调查发现,鱼肉中脂肪、矿物质、脂肪酸和维生素等均差异较大<sup>[12,13]</sup>。即使同一品种鱼类,其营养成分也明显不同。文献报道中鳊鱼肌肉中粗蛋白和粗脂肪含量分别为 14.51%~24.31%和 0.34%~4.55%<sup>[14]</sup>,鲤鱼分别为 11.8%~19.28%和 1.53%~13.32%<sup>[15]</sup>,同一种鱼肌肉中多不饱和脂肪酸和 EPA+DHA 含量波动也较大。鱼肉中蛋白质和脂肪含量还与体重有关,体重较大的虹鳟肌肉中蛋白质和脂肪含量更高<sup>[16]</sup>。夏季和冬季捕获的鱼肌肉中脂肪含量差异明显,春季捕获的鱼体中  $n-3$  和  $n-6$  脂肪酸含量明显少于秋季捕获的鱼体<sup>[17]</sup>。水温升高会使鲤鱼肌肉中单不饱和脂肪酸含量增加,DHA 含量降低<sup>[18]</sup>。

密云水库是华北地区最大的水库,库区水质一直保持在国家地表水二类标准,生态系统稳定健康,是重要的鱼类栖息繁殖地和渔业资源库,年捕捞经济鱼类约  $2.2 \times 10^6$  kg。本研究以密云水库主要经济鱼类鲤鱼、鲫鱼、草鱼、青鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉为研究对象,研究了同一水域中具有不同食性的鱼类肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、矿物质元素含量以及氨基酸和脂肪酸组成。研究旨在准确、全面地评价 6 种野生鱼的营养特征,探讨影响鱼类营养成分的因素,为鱼类资源的综合利用和精深加工提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源与处理

本研究中鲤鱼、鲫鱼、草鱼、青鱼、翘嘴鲌和鳊

鱼采集于密云水库,每个品种鱼样本量大于 8。鱼样捕捞后尽快冷藏运输回实验室。将鱼样用清水洗净擦干体表水,取鱼体两侧后至尾柄的全部肌肉,去皮及大骨刺,用组织捣碎机将肌肉充分捣碎搅拌均匀,-80 °C 冷冻保存待测。

### 1.2 试剂

无水乙醚、碳酸钠、碳酸氢钾、硼酸、浓硫酸、三氯乙酸、氢氧化钠、磷酸氢二钾、三水合乙酸钠、三水合磷酸二氢钾、七水合硫酸亚铁、三羟甲基氨基甲烷、15%三氟化硼甲醇溶液、铁氰化钾、抗坏血酸(均为分析纯)、硝酸、高氯酸、盐酸、硼氢化钠(均为优级纯),国药集团化学试剂有限公司。正己烷、甲醇(均为色谱纯)、37 种脂肪酸甲酯标准品、混合氨基酸标准溶液,上海安谱科技股份有限公司。钠、钾、镁、钙、铁、锌、铜、锰、硒标准溶液,国家标准物质研究中心。

### 1.3 仪器设备

Phoenix 马弗炉,美国 CEM 公司; DH-101 电热恒温干燥箱,天津市中环实验电炉有限公司; LGJ-18B 型冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂; DS-1 高速组织捣碎机,无锡杰瑞安仪器设备有限公司; BS224S 分析天平,赛多利斯科学仪器有限公司; EYELA MGS-22 型氮吹仪,日本东京理化器械株式会社; KJELTEC TM 2300 型全自动凯氏定氮仪,瑞典福斯公司; L-8900 全自动氨基酸分析仪,日本日立公司; GC-2010 Plus 气相色谱仪,日本岛津公司; Cary 60 UV-Vis 分光光度计,美国安捷伦科技公司; HITACHI L-8900 全自动氨基酸分析仪,日本日立公司; M6 型原子吸收光谱仪,美国赛默飞世尔科技公司; RF-6000 荧光分光光度计,日本岛津公司。

### 1.4 营养成分测定方法

鱼肉中营养成分测定参照《食品安全国家标准》中相关标准。水分含量测定参照 GB 5009.3-2016《水分的测定》中直接干燥法;粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5-2016《蛋白质的测定》中凯氏定氮法;粗脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《脂肪的测定》中索氏提取法;灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《灰分的测定》中烧灼重量法;磷含量测定参照 GB 5009.87-2016《食品中磷的测定》中钼酸铵分光光度法;铜、锌、铁、镁、锰、钾、钠和钙含量测定分别参照 GB 5009.13-

2017《食品中铜的测定》、GB 5009.14-2017《食品中锌的测定》、GB 5009.90-2016《食品中铁的测定》、GB 5009.241-2017《食品中镁的测定》、GB 5009.242-2017《食品中锰的测定》、GB 5009.91-2017《食品中钾、钠的测定》、GB 5009.92-2016《食品中钙的测定》中的原子吸收法；硒含量测定参照GB 5009.93-2017《食品中硒的测定》中原子荧光光谱法；氨基酸含量测定参照GB 5009.124-2016《氨基酸的测定》；脂肪酸含量测定参照GB 5009.168-2016《脂肪酸的测定》中内标法。

### 1.5 营养品质评价方法

采用粮食与农业组织/世界卫生组织 (Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO) 建议的氨基酸评分标准模式和中国疾病预防控制中心营养与食品安全所提出的全鸡蛋蛋白质氨基酸评分模式, 分别计算氨基酸评分 (Amino Acids Score, AAS)、化学评分 (Chemical Score, CS)、必需氨基酸指数 (Essential Amino Acid Index, EAAI) 和支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值  $F$  值<sup>[19,20]</sup>。计算方法如下:

$$AAS = \frac{C_A}{C_{FAO/WHO}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{C_A}{C_{Egg}} \quad (2)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \dots \times \frac{100H}{HE}} \quad (3)$$

$$F = \frac{Val + Leu + Ile}{Phe + Tyr} \quad (4)$$

式中:

$C_A$ ——样品中氨基酸含量, mg/g 蛋白质;

$C_{FAO/WHO}$ ——FAO/WHO 推荐的氨基酸评分标准中同种氨基酸含量, mg/g 蛋白质;

$C_{Egg}$ ——全鸡蛋蛋白质评分模式中同种氨基酸含量, mg/g 蛋白质;

$n$ ——比较的必需氨基酸数目;

$A, B \dots H$ ——肌肉蛋白质中必需氨基酸含量, mg/g 蛋白质;

$AE, BE \dots HE$ ——全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量, mg/g 蛋白质;

$Val$ ——缬氨酸含量, g/100 g;

$Leu$ ——亮氨酸含量, g/100 g;

$Ile$ ——异亮氨酸含量, g/100 g;

$Phe$ ——苯丙氨酸含量, g/100 g;

$Tyr$ ——酪氨酸含量, g/100 g;

$F$ ——必需氨基酸指数和支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值  $F$  值。

### 1.6 数据分析方法

采用 SPSS 22.0 进行数据处理及分析,  $P < 0.05$  为差异显著性标准, 实验数据以平行样品的平均值  $\pm$  标准差表示, 脂肪酸相关性采用 Pearson 相关性分析法进行显著分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 常规营养成分含量

6 种鱼类肌肉中常规营养成分含量见表 1。6 种鱼水分含量为 70.15%~78.80%, 灰分含量为 1.06%~1.10%, 粗蛋白含量为 17.70%~21.25%, 粗脂肪含量为 1.18%~5.73%, 均以水分含量最高, 其次为粗蛋白。鲫鱼水分含量最大, 青鱼最低。灰分含量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。青鱼和鳊鱼肌肉粗蛋白含量显著高于其它鱼 ( $P < 0.05$ ), 草鱼、鲤鱼和翘嘴鲇含量接近, 鲫鱼含量最低。翘嘴鲇粗脂肪含量显著高于其它鱼 ( $P < 0.05$ ), 其次为青鱼, 鳊鱼最低。作为膳食来源时, 需综合考虑不同品种鱼类的粗蛋白和粗脂肪含量的差异。

表 1 6 种鱼肌肉基本营养成分

Table 1 Nutritional compositions in muscles of 6 species fish (% wet weight)

品种	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪
鲤鱼	77.97 $\pm$ 1.26 <sup>ab</sup>	1.06 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	18.28 $\pm$ 0.88 <sup>b</sup>	2.20 $\pm$ 0.53 <sup>c</sup>
鲫鱼	78.80 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup>	1.10 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	17.70 $\pm$ 0.75 <sup>b</sup>	1.60 $\pm$ 0.40 <sup>cd</sup>
草鱼	75.68 $\pm$ 2.58 <sup>b</sup>	1.06 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	18.80 $\pm$ 0.64 <sup>b</sup>	3.86 $\pm$ 0.63 <sup>b</sup>
青鱼	70.15 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>	1.10 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	21.25 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	4.70 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>
翘嘴鲇	74.80 $\pm$ 2.13 <sup>b</sup>	1.05 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	18.20 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>	5.73 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>
鳊鱼	76.43 $\pm$ 0.43 <sup>ab</sup>	1.10 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	21.15 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	1.18 $\pm$ 0.56 <sup>d</sup>

注: 同列中标有不同字母者表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 标有相同字母者表示组间无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

肌肉中水分、粗脂肪、蛋白质、灰分等指标可以反映鱼类的食用品质、营养价值和贮存性能等, 是评判鱼肉品质高低的重要标准, 其中蛋白质含量是评价营养价值的主要依据, 脂肪含量则是影响风味、嫩度的重要因素。6 种鱼粗蛋白含量均较高, 是优质的蛋白来源。鱼类的食性是影响其营养成分的重要因素之一。青鱼和翘嘴鲇为肉食性鱼类, 鲤鱼和鲫鱼为杂食性鱼类, 草鱼和鳊鱼为草食性鱼类, 鲢鱼和鳙鱼为滤食性鱼类。与文献报道<sup>[14]</sup>比较可以看出, 在相同生长环境下肉食性的青鱼和翘嘴鲇肌肉中粗脂肪含量较高, 而滤食藻类的鲢鱼和鳙鱼粗脂肪含量相对较低, 杂食性的鲤鱼和鲫鱼粗脂肪含量居中, 这说明饵料来源可能会对鱼体的脂肪含量产生重要影响; 而粗蛋白含量与

鱼类食性之间未发现规律,这可能说明影响鱼类粗蛋白含量的因素更为复杂。6种鱼粗脂肪含量普遍低于杭州<sup>[8]</sup>、广州和佛山<sup>[9]</sup>水产市场上养殖鱼类粗脂肪含量,这可能是由于密云水库水面广,鱼类种群密度低,捕食活动范围大,消耗能量较多,使得鱼体中粗脂肪含量相对较低。

## 2.2 矿物质元素含量

6种鱼肌肉中矿物质元素含量见表2,除Cu含量低于1 mg/kg外,主要元素K、P、Na、Ca、Mg和微量元素Zn、Mn、Se、Fe均被检出,矿物质元素丰富,含量与文献报告浓度范围一致,均为K和P含量较高,Mn和Cu含量较低<sup>[15]</sup>。其中K含量为3 048~4 026 mg/kg,草鱼和翘嘴鲌较高。P含量为2 160~2 350 mg/kg,最高的为青鱼。Na含量为235.0~489.6 mg/kg,最高的为草鱼。Ca含量为278.1~600.9 mg/kg,最高的为翘嘴鲌。Mg含量为336.6~393.5 mg/kg,最高的为鳊鱼。矿物质是水生生物及人体不可缺少的生命元素,密切参与生物体生长发育、新陈代谢及各种生化反应过程,6种鱼能很好地满足人体对矿物质元素的需要。6种鱼均以K含量为最高,含量与报道中同鲢、鳊鱼<sup>[14]</sup>、鲤鱼<sup>[15]</sup>含量范围一致。K和Na对于调节机体渗透压、维持机体电解质平衡和神经肌肉的应激性起着至关重要的作用。生物体中的K可以促进Na的排除,通过扩张血管

降低血管阻力来使血压降低,富K食物尤其适合高血压及心血管疾病患者食用。鲤鱼、鲫鱼、青鱼、草鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中K/Na分别为7.64、7.64、8.22、15.10、10.02和7.71,说明这6种鱼均属于高钾低钠食物,两种肉食性鱼类青鱼和翘嘴鲌的K/Na比高。此外,矿质元素是鱼类呈鲜味不可缺少的因子<sup>[21]</sup>,呈味物质如氨基酸、核苷酸只有与无机离子结合,以盐的形式存在才有较强的呈味特性,如果少了Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>,甜味和鲜味都明显降低,但二者含量过多时,咸味则会掩盖其它的味道,两者之间存在阈值,研究发现Na<sup>+</sup>的阈值为1.3 mg/g<sup>[22]</sup>,本研究中6种鱼Na<sup>+</sup>含量均低于该阈值,说明其可以有效发挥呈味特性。

6种鱼肌肉中Zn含量为4.70~24.75 mg/kg, Mn含量为0.10~0.48 mg/kg, Se含量为0.17~0.46 mg/kg,均以鲫鱼为最高; Fe含量为4.25~8.15 mg/kg,最高的为鲤鱼。Fe、Zn和Se参与机体中多种酶活性中心的构成,对蛋白质和核酸的合成以及免疫过程都有直接或间接作用,具有保护细胞膜、增强免疫功能、促进智力发育等功能。6种鱼肌肉中Fe含量与文献报道鲫鱼<sup>[23]</sup>、翘嘴鲌<sup>[24]</sup>和青鱼<sup>[25]</sup>范围相当,高于鲤<sup>[17]</sup>肌肉的Fe含量。Zn含量与青鱼、草鱼、鲤鱼、鳊鱼<sup>[25]</sup>、鲫鱼<sup>[23]</sup>和翘嘴鲌<sup>[24]</sup>范围相当。Se含量高于草鱼、鲤鱼、鲫鱼<sup>[25]</sup>、青鱼<sup>[26]</sup>和翘嘴鲌<sup>[24]</sup>的Se含量,说明这6种鱼可以作为一种优质的Se膳食来源。

表2 6种鱼肌肉中矿物质元素含量

Table 2 Mineral elements in muscles of 6 species fish (mg/kg, wet weight)

矿物质	鲤鱼	鲫鱼	草鱼	青鱼	翘嘴鲌	鳊鱼
K	3 584±3 978 <sup>ab</sup>	3 048±339 <sup>b</sup>	4 026±406 <sup>a</sup>	3 548±365 <sup>ab</sup>	4 021±357 <sup>a</sup>	3 494±215 <sup>b</sup>
P	2 183±214 <sup>a</sup>	2 250±173 <sup>a</sup>	2 160±55 <sup>a</sup>	2 350±71 <sup>a</sup>	2 167±153 <sup>a</sup>	2 300±12 <sup>a</sup>
Na	468.9±54.2 <sup>a</sup>	398.9±65.7 <sup>a</sup>	489.6±59.9 <sup>a</sup>	235.0±9.6 <sup>b</sup>	401.2±37.5 <sup>a</sup>	452.9±26.7 <sup>a</sup>
Ca	278.1±39.2 <sup>c</sup>	494.3±59.2 <sup>ab</sup>	355.0±32.6 <sup>bc</sup>	520.25±59.6 <sup>ab</sup>	600.9±53.2 <sup>a</sup>	393.9±53.1 <sup>b</sup>
Mg	341.5±26.1 <sup>b</sup>	383.4±23.1 <sup>a</sup>	336.6±49.8 <sup>b</sup>	373.6±11.7 <sup>ab</sup>	379.0±17.2 <sup>ab</sup>	393.5±19.6 <sup>a</sup>
Zn	12.82±3.56 <sup>b</sup>	24.75±2.5 <sup>a</sup>	7.36±3.34 <sup>c</sup>	4.70±0.14 <sup>c</sup>	6.50±1.18 <sup>c</sup>	5.23±0.53 <sup>c</sup>
Mn	0.18±0.05 <sup>b</sup>	0.48±0.29 <sup>a</sup>	0.27±0.15 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>	0.18±0.05 <sup>b</sup>
Se	0.44±0.23 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>a</sup>	0.35±0.26 <sup>ab</sup>	0.22±0.02 <sup>ab</sup>	0.32±0.07 <sup>ab</sup>	0.17±0.04 <sup>b</sup>
Fe	8.15±1.17 <sup>a</sup>	7.75±0.69 <sup>ab</sup>	6.36±1.27 <sup>b</sup>	4.85±0.64 <sup>bc</sup>	4.33±0.23 <sup>c</sup>	4.25±1.3 <sup>c</sup>
Cu	<1	<1	<1	<1	<1	<1

注:同行中标有不同字母者表示组间有显著性差异( $P<0.05$ ),标有相同字母者表示组间无显著性差异( $P>0.05$ )。

## 2.3 氨基酸含量与组成

6种鱼肌肉中氨基酸组成及含量见表3。18种常见氨基酸在6种鱼肌肉中均被检出,均以谷氨酸含量为最高,其次为天门冬氨酸,再次为赖氨酸,色氨酸含量最低。6种鱼肌肉中氨基酸组成相似,必需氨基酸(Essential Amino Acid,  $\Sigma$ EAA)、条件必需氨基酸

(Conditionally Essential Amino Acid,  $\Sigma$ CEAA)和鲜味氨基酸(Delicious Amino Acids,  $\Sigma$ DAA)占氨基酸总量(Total Amino Acids,  $\Sigma$ TAA)的比例接近。氨基酸总量为17.59~22.30 g/100 g,必需氨基酸总量为7.18~9.03 g/100 g,条件必需氨基酸总量为1.57~2.06 g/100 g,鲜味氨基酸总量为6.63~8.37 g/100 g。其中,青鱼的氨基酸总量、必需氨基酸总量、条件必需氨基酸总量以

及鲜味氨基酸总量均为最高, 鳊鱼次之; 草鱼的氨基酸总量、必需氨基酸总量和鲜味氨基酸均为最低。必需氨基酸占氨基酸总量的 40.00%~40.82%, 草鱼最高, 鳊鱼最低; 条件必需氨基酸占氨基酸总量的 8.55%~9.24%, 鲤鱼和青鱼最高, 翘嘴鲌最低; 鲜味氨基酸占氨基酸总量的 37.53%~39.21%, 鳊鱼最高, 青鱼最低。除甘氨酸外, 青鱼肌肉中大部分氨基酸含量显著高于其它几种鱼 ( $P<0.05$ )。青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、翘嘴鲌和鳊鱼氨基酸总量与密云水库鲢鱼和鳊鱼<sup>[14]</sup>、梁子湖翘嘴鲌<sup>[24]</sup>范围相当, 高于太湖养殖青鱼<sup>[26]</sup>。

氨基酸的组成和含量是评价蛋白质品质的重要因

素。根据 FAO/WHO 提出的蛋白质评分标准, 质量较好的蛋白质其氨基酸组成中必需氨基酸占总氨基酸的比值 (EAA/TAA) 为 40% 左右, 必需氨基酸与非必需氨基酸的比值 (EAA/NEAA) 在 60% 以上<sup>[14]</sup>。本研究中青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均高于 FAO/WHO 标准, 说明这 6 种鱼是优质的蛋白质来源。谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和天门冬氨酸可以为鱼肉提供鲜美的味道, 6 种鱼的鲜味氨基酸占氨基酸总量的 37% 以上, 且鲜味最强的谷氨酸含量在所检出 18 种氨基酸中含量最高, 表明这 6 种鱼拥有很好的鲜味来源, 食用价值高。

表 3 6 种鱼肌肉中氨基酸组成及含量 (g/100 g, 湿重)

Table 3 Amino acids in muscles of 6 species fish (g/100 g, wet weight)

氨基酸	鲤鱼	鲫鱼	草鱼	青鱼	翘嘴鲌	鳊鱼
赖氨酸 Lys*	1.72±0.03 <sup>c</sup>	1.77±0.06 <sup>c</sup>	1.71±0.08 <sup>c</sup>	2.19±0.06 <sup>a</sup>	1.82±0.06 <sup>b</sup>	1.86±0.05 <sup>b</sup>
苏氨酸 Thr*	0.84±0.03 <sup>c</sup>	0.83±0.03 <sup>c</sup>	0.80±0.03 <sup>c</sup>	1.03±0.02 <sup>a</sup>	0.84±0.04 <sup>c</sup>	0.92±0.02 <sup>b</sup>
亮氨酸 Leu*	1.50±0.03 <sup>b</sup>	1.52±0.06 <sup>b</sup>	1.48±0.06 <sup>b</sup>	1.89±0.06 <sup>a</sup>	1.58±0.07 <sup>b</sup>	1.60±0.05 <sup>b</sup>
异亮氨酸 Ile*	0.78±0.03 <sup>b</sup>	0.80±0.02 <sup>b</sup>	0.81±0.04 <sup>b</sup>	0.99±0.04 <sup>a</sup>	0.79±0.02 <sup>b</sup>	0.82±0.04 <sup>b</sup>
缬氨酸 Val*	0.89±0.03 <sup>b</sup>	0.90±0.02 <sup>b</sup>	0.92±0.05 <sup>b</sup>	1.12±0.04 <sup>a</sup>	0.89±0.03 <sup>b</sup>	0.92±0.04 <sup>b</sup>
蛋氨酸 Met*	0.56±0.02 <sup>b</sup>	0.56±0.02 <sup>bc</sup>	0.53±0.02 <sup>c</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	0.56±0.03 <sup>bc</sup>	0.58±0.03 <sup>b</sup>
色氨酸 Trp*	0.17±0.02 <sup>b</sup>	0.15±0.02 <sup>bc</sup>	0.15±0.02 <sup>bc</sup>	0.19±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.03 <sup>c</sup>	0.21±0.02 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 Phe*	0.79±0.01 <sup>b</sup>	0.83±0.04 <sup>b</sup>	0.77±0.03 <sup>b</sup>	0.93±0.03 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>b</sup>	0.81±0.05 <sup>b</sup>
组氨酸 His**	0.60±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.02 <sup>b</sup>	0.55±0.06 <sup>b</sup>	0.72±0.02 <sup>a</sup>	0.48±0.02 <sup>c</sup>	0.50±0.02 <sup>c</sup>
精氨酸 Arg**	1.08±0.05 <sup>c</sup>	1.05±0.05 <sup>c</sup>	1.03±0.05 <sup>c</sup>	1.34±0.01 <sup>a</sup>	1.09±0.05 <sup>c</sup>	1.18±0.07 <sup>b</sup>
谷氨酸 Glu#	2.81±0.06 <sup>c</sup>	2.90±0.12 <sup>bc</sup>	2.74±0.14 <sup>c</sup>	3.61±0.08 <sup>a</sup>	2.99±0.13 <sup>b</sup>	3.07±0.15 <sup>b</sup>
甘氨酸 Gly#	1.00±0.08 <sup>b</sup>	1.00±0.04 <sup>b</sup>	0.92±0.06 <sup>c</sup>	1.10±0.03 <sup>b</sup>	0.92±0.07 <sup>c</sup>	1.26±0.09 <sup>a</sup>
丙氨酸 Ala#	1.14±0.04 <sup>bc</sup>	1.13±0.05 <sup>b</sup>	1.09±0.04 <sup>c</sup>	1.31±0.01 <sup>a</sup>	1.13±0.06 <sup>bc</sup>	1.20±0.06 <sup>b</sup>
天门冬氨酸 Asp#	1.91±0.03 <sup>c</sup>	1.96±0.08 <sup>bc</sup>	1.89±0.08 <sup>c</sup>	2.36±0.04 <sup>a</sup>	2.02±0.07 <sup>b</sup>	2.03±0.08 <sup>b</sup>
丝氨酸 Ser	0.75±0.04 <sup>b</sup>	0.75±0.03 <sup>b</sup>	0.72±0.03 <sup>b</sup>	0.94±0.01 <sup>a</sup>	0.78±0.04 <sup>b</sup>	0.77±0.03 <sup>b</sup>
胱氨酸 Cys	0.29±0.05 <sup>ab</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>	0.27±0.04 <sup>ab</sup>	0.32±0.04 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>ab</sup>	0.25±0.03 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	0.63±0.02 <sup>b</sup>	0.63±0.02 <sup>b</sup>	0.63±0.04 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>a</sup>	0.67±0.04 <sup>b</sup>	0.65±0.03 <sup>b</sup>
脯氨酸 Pro	0.63±0.06 <sup>b</sup>	0.58±0.03 <sup>bc</sup>	0.58±0.02 <sup>c</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	0.57±0.04 <sup>c</sup>	0.65±0.04 <sup>ab</sup>
∑TAA	18.08±0.54 <sup>c</sup>	18.17±0.64 <sup>c</sup>	17.59±0.68 <sup>c</sup>	22.30±0.43 <sup>a</sup>	18.36±0.83 <sup>bc</sup>	19.29±0.61 <sup>b</sup>
∑EAA	7.25±0.16 <sup>c</sup>	7.37±0.22 <sup>c</sup>	7.18±0.28 <sup>c</sup>	9.03±0.26 <sup>a</sup>	7.44±0.3 <sup>bc</sup>	7.72±0.15 <sup>b</sup>
∑CEAA	1.67±0.07 <sup>b</sup>	1.63±0.06 <sup>bc</sup>	1.59±0.06 <sup>c</sup>	2.06±0.03 <sup>a</sup>	1.57±0.07 <sup>c</sup>	1.69±0.09 <sup>b</sup>
∑NEAA	9.16±0.33 <sup>c</sup>	9.17±0.36 <sup>c</sup>	8.83±0.36 <sup>c</sup>	11.21±0.14 <sup>a</sup>	9.35±0.47 <sup>bc</sup>	9.89±0.37 <sup>b</sup>
∑DAA	6.86±0.21 <sup>cd</sup>	6.99±0.27 <sup>cd</sup>	6.63±0.29 <sup>d</sup>	8.37±0.1 <sup>a</sup>	7.07±0.33 <sup>c</sup>	7.56±0.37 <sup>b</sup>
EAA/TAA(%)	40.10 <sup>a</sup>	40.56 <sup>a</sup>	40.82 <sup>a</sup>	40.49 <sup>a</sup>	40.52 <sup>a</sup>	40.02 <sup>a</sup>
CEAA/TAA(%)	9.24 <sup>a</sup>	8.97 <sup>b</sup>	9.04 <sup>b</sup>	9.24 <sup>a</sup>	8.55 <sup>c</sup>	8.76 <sup>c</sup>
EAA/NEAA(%)	79.15 <sup>bc</sup>	80.37 <sup>ab</sup>	81.31 <sup>a</sup>	80.55 <sup>ab</sup>	79.57 <sup>abc</sup>	78.06 <sup>c</sup>
DAA/TAA(%)	37.94 <sup>c</sup>	38.47 <sup>b</sup>	37.69 <sup>c</sup>	37.53 <sup>c</sup>	38.51 <sup>b</sup>	39.21 <sup>a</sup>

注: \*表示人体必需氨基酸; \*\*表示条件必需氨基酸; #表示鲜味氨基酸。同行中标有不同字母者表示组间有显著性差异 ( $P<0.05$ ), 标有相同字母者表示组间无显著性差异 ( $P>0.05$ )。

6 种鱼肌肉必需氨基酸评价结果见表 4。由 AAS 评价标准来看, 6 种鱼绝大部分必需氨基酸 AAS 评分大于 1.00, 仅部分种类鱼的缬氨酸和色氨酸 AAS 评分小于或接近 1.00, 说明 6 种鱼必需氨基酸较符合 FAO/WHO 模式, 必需氨基酸组成相对均衡, 含量较为丰富。从 CS 评价标准来看, 6 种鱼的赖氨酸均高于全鸡蛋蛋白标准, 苏氨酸和亮氨酸接近全鸡蛋蛋白标准, 其余必需氨基酸低于全鸡蛋蛋白标准。两种评分模式中, 第一限制性氨基酸均为色氨酸, 第二限制性氨基酸均为缬氨酸, 与文献中报道的研究结果相似<sup>[14]</sup>。赖氨酸是人体第一限制性氨基酸, 也是一般谷类蛋白质和人乳的第一限制性氨基酸, 而我国饮食结构中主食以谷物为主, 在谷物加工过程中赖氨酸极易流失。本

研究表明, 这 6 种鱼可以提供很好的赖氨酸来源, 弥补谷物食品中赖氨酸的不足, 均衡饮食摄入的营养结构。EAAI 是评价食物营养价值的常用指标之一, 能反映必需氨基酸含量与标准蛋白质(鸡蛋蛋白)的接近程度。6 种鱼必需氨基酸指数(EAAI)为 78.29~90.68, 青鱼最高, 鳊鱼最低, 青鱼必需氨基酸指数高达 90.68, 说明其是补充氨基酸的理想膳食。 $F$  值为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值, 高  $F$  值的食物具有保肝护肝的保健作用, 这是由于支链氨基酸具有降低胆固醇、抑制癌细胞、保护肝脏等功能, 人类及其它哺乳动物的正常  $F$  值为 3.0~3.5, 当肝脏受到损伤时  $F$  值为 1.0~1.5<sup>[14]</sup>, 6 种鱼的  $F$  值为 2.19~2.30, 接近人体的正常水平, 因此食用这些鱼类对肝脏有一定的保健作用。

表 4 6 种鱼肌肉必需氨基酸评价结果

Table 4 Evaluation of essential amino acids composition in muscles of 6 species fish

分类	品种	LYS	THR	LEU	ILE	VAL	TRP	Met+Cys	Phe+Tyr	EAAI	$F$ 值
AAS 评分	鲤鱼	1.73	1.15	1.16	1.07	0.98	0.97	1.32	1.28		
	鲫鱼	1.84	1.17	1.22	1.13	1.03	0.88	1.27	1.36		
	草鱼	1.67	1.06	1.12	1.08	0.99	0.83	1.21	1.22		
	青鱼	1.91	1.22	1.27	1.17	1.07	0.94	1.37	1.40		
	翘嘴鲌	1.84	1.15	1.23	1.09	0.99	0.80	1.30	1.35		
	鳊鱼	1.61	1.08	1.07	0.97	0.87	1.03	1.13	1.12		
CS 评分	鲤鱼	1.33	0.98	0.96	0.80	0.74	0.55	0.75	0.86	84.80	2.23
	鲫鱼	1.42	1.00	1.01	0.85	0.78	0.50	0.72	0.91	86.54	2.21
	草鱼	1.29	0.91	0.92	0.81	0.75	0.47	0.69	0.82	80.54	2.29
	青鱼	1.47	1.04	1.05	0.89	0.81	0.54	0.78	0.94	90.68	2.22
	翘嘴鲌	1.42	0.99	1.02	0.82	0.75	0.46	0.74	0.91	84.75	2.19
	鳊鱼	1.24	0.93	0.88	0.73	0.66	0.59	0.64	0.76	78.29	2.30

#### 2.4 脂肪酸含量与组成

6 种鱼肌肉中脂肪酸组成及相对含量见表 5。由表 5 可以看出, 6 种鱼肌肉中脂肪酸种类及组成明显不同。青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中分别检出 22、17、20、22、24 和 19 种脂肪酸。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)相对含量分别为 19.62%~31.09%、22.02%~44.16%和 20.44%~50.79%。

6 种鱼肌肉中三类脂肪酸所占比例差异较大。SFA 含量从大到小依次为翘嘴鲌>鲤鱼>鲫鱼>鳊鱼>草鱼>青鱼; MUFA 依次为青鱼>翘嘴鲌>鲤鱼>草鱼>鳊鱼>鲫鱼; PUFA 依次为鲫鱼>鳊鱼>翘嘴鲌>鲤鱼>草鱼>青鱼。鲤鱼和草鱼均为 PUFA 含量最高, 其次为 MUFA; 鲫鱼为 PUFA 含量最高, 其次为 SFA; 青鱼为 MUFA 含量最高, 其次为 PUFA; 翘嘴鲌

为 MUFA 和 PUFA 含量接近, 高于 SFA; 鳊鱼为 PUFA 含量最高, SFA 和 MUFA 含量接近。SFA 中以棕榈酸含量最高, 其次为硬脂酸, 再次为肉豆蔻酸; MUFA 中以油酸含量最高, 其次为棕榈油酸; PUFA 中鲤鱼、鲫鱼、草鱼、青鱼和鳊鱼以亚油酸含量最高, 翘嘴鲌则以 DHA 含量为最高。6 种鱼 EPA 和 DHA 含量差异较大。翘嘴鲌 EPA 含量最高, 其次为鲫鱼, 青鱼最低; 鳊鱼和鲫鱼 DHA 含量最高。EPA+DHA 相对含量差异较大, 为 2.26%~18.2%, 鲫鱼最高, 其次为鳊鱼, 青鱼最低; EPA+DHA 相对含量比相同生长环境中鲢鱼和鳙鱼低<sup>[14]</sup>。林婉玲等<sup>[10]</sup>对鳊鱼、青鱼、翘嘴鲌等 6 种鲤科鱼的研究也发现, 鳊鱼 EPA+DHA 含量最高, 青鱼含量较低, 仅为 1.70%, 翘嘴鲌含量居中, 与本研究结果一致。青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中  $n-6$  PUFA/ $n-3$  PUFA 有显著差异 ( $P<0.05$ ), 分别为 1.53、1.06、1.25、3.80、0.66 和 0.69。研究显示, 鱼肉中 SFA、MUFA 和 PUFA 在不同物种间和物

种内均变化较大, SFA、MUFA 和 PUFA 相对含量分别为 16.32%~64.71%、8.5%~55.34% 和 10.67%~67.4%<sup>[16]</sup>。水体中浮游生物的脂肪酸组成会对野生鲤科鱼类脂肪酸组成产生明显的影响, *n*-3 PUFA 和 *n*-6 PUFA 含量随浮游生物中相应脂肪酸含量的增加而增加<sup>[28]</sup>。繁殖行

为也会对鱼类脂肪酸组成产生影响, 秋季(产卵前)捕获的梭鱼主要含不饱和脂肪酸(74.30%), 而春季(即产卵后)捕获的鱼类主要含饱和脂肪酸(64.71%)<sup>[17]</sup>。鱼类脂肪酸组成还会受水温的影响<sup>[29]</sup>, 这可能是由于鱼类对寒冷的代谢适应造成的<sup>[28]</sup>。

表 5 6 种鱼肌肉中脂肪酸组成及相对含量(%, 以总脂肪酸计)

Table 5 Composition and relative content of fatty acid in muscles of 6 species fish

脂肪酸	鲤鱼	鲫鱼	草鱼	青鱼	翘嘴鲌	鳊鱼
月桂酸 C12:0	0.04±0.01	ND	ND	ND	0.05±0.01	ND
肉豆蔻酸 C13:0	ND	ND	ND	ND	0.04±0.01	ND
豆蔻酸 C14:0	1.46±0.12 <sup>c</sup>	1.78±0.14 <sup>b</sup>	1.49±0.08 <sup>c</sup>	0.68±0.07 <sup>d</sup>	4.02±0.21 <sup>a</sup>	1.34±0.1 <sup>c</sup>
十五碳烷酸 C15:0	0.51±0.02 <sup>b</sup>	0.40±0.04 <sup>b</sup>	0.18±0.02 <sup>c</sup>	0.11±0.01 <sup>c</sup>	0.98±0.09 <sup>a</sup>	0.08±0.15 <sup>d</sup>
棕榈酸 C16:0	20.32±2.06 <sup>ab</sup>	18.26±1.84 <sup>b</sup>	19.31±1.44 <sup>ab</sup>	14.16±0.74 <sup>c</sup>	20.8±0.34 <sup>a</sup>	19.02±1.02 <sup>ab</sup>
十七碳烷酸 C17:0	0.54±0.09 <sup>b</sup>	0.63±0.02 <sup>a</sup>	0.36±0.07 <sup>c</sup>	ND	0.63±0.04 <sup>a</sup>	0.47±0.03 <sup>b</sup>
硬脂酸 C18:0	6.37±0.56 <sup>a</sup>	6.11±0.63 <sup>a</sup>	5.02±0.36 <sup>b</sup>	3.58±0.15 <sup>c</sup>	4.12±0.2 <sup>c</sup>	5.85±0.43 <sup>a</sup>
花生酸 C20:0	0.13±0.05 <sup>b</sup>	ND	0.03±0.01 <sup>c</sup>	0.23±0.01 <sup>a</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>	ND
二十一碳酸 C21:0	0.21±0.05	ND	ND	0.52±0.03	ND	ND
山萘酸 C22:0	0.07±0.02 <sup>c</sup>	ND	0.15±0.03 <sup>b</sup>	0.34±0.04 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>b</sup>	0.09±0.02 <sup>c</sup>
∑SFA	29.64±1.87 <sup>a</sup>	27.19±2.55 <sup>b</sup>	26.54±1.67 <sup>b</sup>	19.62±0.74 <sup>c</sup>	31.09±0.46 <sup>a</sup>	26.84±1.14 <sup>b</sup>
肉豆蔻油酸 C14:1	ND	ND	ND	ND	0.05±0.01	ND
棕榈油酸 C16:1	7.65±0.85 <sup>b</sup>	5.27±0.35 <sup>c</sup>	7.47±0.56 <sup>b</sup>	3.51±0.13 <sup>d</sup>	9.55±0.61 <sup>a</sup>	7.15±0.6 <sup>b</sup>
十七碳烯酸 C17:1	0.38±0.07 <sup>b</sup>	0.31±0.03 <sup>b</sup>	0.33±0.03 <sup>b</sup>	0.11±0.01 <sup>c</sup>	0.97±0.05 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>c</sup>
油酸 C18:1n9c	23.87±0.91 <sup>b</sup>	15.57±0.85 <sup>d</sup>	24.16±1.44 <sup>b</sup>	37.54±1.18 <sup>a</sup>	23.45±1.02 <sup>b</sup>	18.65±1.24 <sup>c</sup>
二十碳烯酸 C20:1	1.38±0.27 <sup>b</sup>	0.87±0.06 <sup>d</sup>	1.13±0.11 <sup>b</sup>	2.13±0.04 <sup>a</sup>	0.43±0.07 <sup>b</sup>	0.51±0.03 <sup>c</sup>
芥子酸 C22:1n9	ND	ND	ND	0.73±0.06	ND	ND
神经酸 C24:1	ND	ND	ND	0.13±0.03	0.03±0.01	ND
∑MUFA	33.27±1 <sup>b</sup>	22.02±1.08 <sup>d</sup>	33.08±1.07 <sup>b</sup>	44.16±1.41 <sup>a</sup>	34.48±1.07 <sup>b</sup>	26.39±0.92 <sup>c</sup>
亚油酸 C18:2n6c	15.94±1.14 <sup>b</sup>	19.28±1.03 <sup>a</sup>	16.87±1.02 <sup>b</sup>	10.9±0.28 <sup>d</sup>	6.79±0.56 <sup>e</sup>	11.44±0.43 <sup>c</sup>
α-亚麻酸 C18:3n3	3.31±0.29 <sup>c</sup>	6.03±0.22 <sup>b</sup>	6.96±0.61 <sup>b</sup>	1.73±0.07 <sup>d</sup>	4.37±0.53 <sup>c</sup>	9.92±0.59 <sup>a</sup>
γ-亚麻酸 C18:3n6	0.19±0.02 <sup>ab</sup>	0.17±0.02 <sup>ab</sup>	0.24±0.04 <sup>ab</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.03 <sup>ab</sup>	0.06±0.01 <sup>b</sup>
二十碳二烯酸 C20:2	0.94±0.11 <sup>a</sup>	0.83±0.07 <sup>ab</sup>	0.86±0.1 <sup>ab</sup>	0.66±0.04 <sup>ab</sup>	0.42±0.02 <sup>b</sup>	0.52±0.04 <sup>b</sup>
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.25±0.03 <sup>b</sup>	ND	0.63±0.08 <sup>ab</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.44±0.02 <sup>ab</sup>	1.02±0.06 <sup>a</sup>
二聚-γ-亚麻酸 C20:3n6	0.82±0.06 <sup>b</sup>	0.93±0.11 <sup>b</sup>	1.18±0.05 <sup>ab</sup>	1.57±0.05 <sup>a</sup>	0.59±0.05 <sup>b</sup>	1.47±0.07 <sup>a</sup>
花生四烯酸 C20:4n6	4.85±0.44 <sup>ab</sup>	5.33±0.96 <sup>ab</sup>	3.67±0.23 <sup>b</sup>	2.82±0.13 <sup>b</sup>	5.98±0.47 <sup>a</sup>	5.99±2.01 <sup>a</sup>
二十碳五烯酸(EPA) C20:5n3	5.56±0.48 <sup>a</sup>	7.16±0.46 <sup>a</sup>	5.4±0.45 <sup>a</sup>	0.23±0.03 <sup>b</sup>	7.3±0.17 <sup>a</sup>	5.25±0.28 <sup>a</sup>
二十二碳六烯酸(DHA) C22:6n3	5.18±0.49 <sup>b</sup>	11.04±0.61 <sup>a</sup>	4.6±0.63 <sup>b</sup>	2.03±0.11 <sup>b</sup>	8.38±0.46 <sup>a</sup>	11.17±0.97 <sup>a</sup>
∑PUFA	37.06±1.55 <sup>b</sup>	50.79±1.31 <sup>a</sup>	40.41±1.16 <sup>b</sup>	20.44±0.08 <sup>c</sup>	34.49±1.48 <sup>b</sup>	46.85±3.39 <sup>a</sup>
∑ <i>n</i> -3PUFA	14.31±0.76 <sup>c</sup>	24.23±0.81 <sup>a</sup>	17.59±1.02 <sup>b</sup>	4.12±0.14 <sup>d</sup>	20.49±0.93 <sup>b</sup>	27.36±1.96 <sup>a</sup>
∑ <i>n</i> -6PUFA	21.8±1.34 <sup>b</sup>	25.72±1.09 <sup>a</sup>	21.95±0.89 <sup>b</sup>	15.65±0.1 <sup>d</sup>	13.59±0.76 <sup>d</sup>	18.97±2.16 <sup>c</sup>
∑ <i>n</i> -6PUFA/∑ <i>n</i> -3PUFA	1.53±0.13 <sup>b</sup>	1.06±0.06 <sup>d</sup>	1.25±0.1 <sup>c</sup>	3.80±0.15 <sup>a</sup>	0.66±0.03 <sup>e</sup>	0.69±0.05 <sup>e</sup>
EPA+DHA	10.75±0.67 <sup>b</sup>	18.2±0.66 <sup>a</sup>	10.0±0.9 <sup>b</sup>	2.26±0.08 <sup>c</sup>	15.68±0.55 <sup>a</sup>	16.42±1.22 <sup>a</sup>
∑PUFA/∑SFA	1.26±0.12 <sup>cd</sup>	1.88±0.17 <sup>a</sup>	1.53±0.15 <sup>b</sup>	1.04±0.04 <sup>d</sup>	1.11±0.07 <sup>d</sup>	1.75±0.22 <sup>a</sup>

注: 同行中标有不同字母者表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 标有相同字母者表示组间无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

表 6 6 种鱼肌肉中脂肪酸相关系数矩阵

Table 6 Correlation matrix of fatty acids in muscles of 6 species fish

	C12:0	C13:0	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C21:0	C22:0	C14:1	C17:1	C18:1n9c	C20:1	C22:1n9	C24:1	C18:2n6c	C18:3n3	C18:3n6	C20:4n6	
C14:0	-	0.948**																		
C15:0	0.889*	0.868*	0.914*																	
C17:0	-	-	-	-	0.860*															
C21:0	-	-	-	-	-	-0.817*	-													
C22:0	-	-	-	-	-	-0.815*	-0.929**	-												
C14:1	-	1.000**	0.948**	0.868*	-	-	-	-	-											
C16:1	-	-	-	-	0.932**	-	-	-	-	-										
C17:1	0.822*	0.922**	0.953**	0.959**	-	-	-	-	-	0.922**										
C18:1n9c	-	-	-	-	-	-0.877*	-	0.889*	0.932**	-	-									
C20:1	-	-	-	-	-	-0.822*	-	0.915*	-	-	-	0.816*								
C22:1n9	-	-	-	-	-0.924**	-0.902*	-	0.919**	0.830*	-	-	0.890*	0.820*							
C24:1	-	-	-	-	-0.838*	-0.828*	-	0.871*	0.896*	-	-	0.901*	-	0.973**						
C18:3n6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.856*	-	-	-	-	-	-0.831*		
C20:2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.888*	-	-		
C20:3n6	-	-	-	-0.921**	-	-	-	-	-	-	-0.866*	-	-	-	-	-	-	-	-	
C20:4n6	-	-	-	-	-	0.866*	-	-	-	-	-	-	-0.907*	-	-	-	-	-	-	
C20:5n3	-	-	-	-	0.876*	0.973**	-	-0.904*	-	-	-	-0.881*	-0.852*	-0.937**	-0.859*	-	-	-	-	
C22:6n3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.888*	-0.852*	-	-	-	-	-0.841*	0.885*	

注：“-”表示隐去的相关系数数据；“\*”和“\*\*”分别表示显著（相关系数 $|r|=0.800\sim0.899$ ）和极显著（ $|r|=0.900\sim1.000$ ）相关。

不同脂肪酸间相关性分析结果见表 6, 由于数据较多, 表 6 中仅取显著相关的数据, 其它数据隐去。以往的研究发现, 鱼体中 MUFA 与 PUFA 呈良好的相互转化关系, 其中 C18:1 与 EPA 和 DHA 有显著负相关性, 说明这三种脂肪酸在鱼体中可稳定而快速地互相转化以达到平衡<sup>[10]</sup>, 本研究中也发现 C18:1 与 EPA 和 DHA 具有良好的负相关性 ( $r=-0.881$  和  $-0.888$ )。中国营养学会在《中国居民膳食营养素参考摄入量》中提出最佳的 $\Sigma$ SFA: $\Sigma$ MUFA: $\Sigma$ PUFA 为 $<1:1:1$ <sup>[30]</sup>, 然而当前我国居民饮食结构中饱和脂肪酸摄入比例偏高, 多不饱和脂肪酸摄入偏低。鲫鱼、草鱼和鳊鱼肌肉中不饱和脂肪酸含量较高, 尤其是鲫鱼 PUFA 含量超过 50%, 而且这三种鱼类富含 EPA 和 DHA, 其具有提高记忆力和保护视力等作用, 可以很好的平衡饮食结构, 补充有益脂肪酸。PUFA 主要分为  $n-3$  和  $n-6$  系列, 由于这两个系列的脂肪酸在机体内不能相互转化, 因此膳食中合理均衡的 $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 摄入比例也十分重要。研究显示,  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 为 4:1 时可以使心血管疾病的死亡率降低 70%, 2.5:1 时可以使结肠癌患者结肠细胞增生降低, (2~3):1 时可以抑制风湿性关节炎患者炎症发生, 低比例 $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 对乳腺癌患者的康复也有帮助<sup>[31]</sup>。6 种鱼肌肉中 $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 均低于中国营养学会在《中国居民膳食营养素参考摄入量》中提出 $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 比值(4~6):1<sup>[30]</sup>, 脂肪酸组成结构合理。此外,  $\Sigma n-6$  PUFA/ $\Sigma n-3$  PUFA 还受到饵料、环境条件等的影响<sup>[32]</sup>, 需进一步深入的研究。

### 3 结论

对密云水库鲤鱼、鲫鱼、草鱼、青鱼、翘嘴鲌和鳊鱼肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、矿物质元素含量以及氨基酸和脂肪酸组成的研究显示: 6 种鱼肌肉均具有较高的蛋白含量, 其中鳊鱼粗蛋白含量高, 粗脂肪含量低, 青鱼粗蛋白和粗脂肪含量均较高; 富含 K、Se 等有益矿物质元素, 均具有高钾低钠的特点; DHA 和 EPA 等多不饱和脂肪酸丰富,  $\Sigma n-6$ PUFA/ $\Sigma n-3$ PUFA 值较低; 氨基酸种类丰富, 组成合理, 必需氨基酸和鲜味氨基酸含量高, 能很好的弥补当前饮食结构中赖氨酸的不足。综上, 本研究中的 6 种鱼是营养丰富、味道鲜美、保健价值高的膳食来源。

### 参考文献

[1] 郭全友, 邢晓亮, 姜朝军, 等. 野生和养殖大黄鱼(*Larimichthys crocea*)品质特征与差异性探究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10):92-101.

[2] Ning J, Hu P, Li B, et al. Nutritional comparison in muscle of wild, pond and factory cultured Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) adults [J]. Aquaculture Research, 2018, 49(7): 2572-2578.

[3] Gong Y, Lu J, Huang Y, et al. Nutrient compositional differentiation in the muscle of wild, inshore and offshore cage-cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2019, 18(3): 497-506.

[4] Fuentes A, Fernandez-Segovia I, Serra J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality [J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1514-1518.

[5] Grigorakis K, Taylor K D A, Alexis M N. Organoleptic and volatile aroma compounds comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*): sensory differences and possible chemical basis [J]. Aquaculture, 2003, 225(1-4): 109-119.

[6] 胡芬. 淡水鱼营养综合评价体系的建立[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

[7] 杨京梅, 夏文水. 大宗淡水鱼类原料特性比较分析[J]. 食品科学, 2012, 33(7):51-54.

[8] 盛晓风, 孙晓杰, 丁海燕, 等. 七种养殖淡水鱼类肌肉营养成分及对比研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3):359-363.

[9] 韩迎雪. 我国主要淡水鱼品种脂质特征分析及其鱼肉凝胶性能研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.

[10] 林婉玲, 韩迎雪, 李来好, 等. 6 种鲤科鱼肌肉脂肪的脂肪酸组成比较及相关性分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(10):29-34.

[11] Pyz-Lukasik R, Chalabis-Mazurek A, Gondek M. Basic and functional nutrients in the muscles of fish: a review [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 1941-1950.

[12] Bogard J R, Thilsted S H, Marks G C, et al. Nutrient composition of important fish species in Bangladesh and potential contribution to recommended nutrient intakes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 42: 120-133.

[13] Reksten A M, Somasundaram T, Kjelleve M, et al. Nutrient composition of 19 fish species from Sri Lanka and potential contribution to food and nutrition security [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 91: 103508.

[14] 贾成霞, 曲疆奇, 李永刚, 等. 密云水库鲢鱼、鳊鱼营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2019, 38(1):40-47.

[15] Skalecki P, Florek M, Pyc A, et al. Comparison of physicochemical properties, fatty acid composition and mineral contents in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fillet and the native traditional product carp ham [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 66(4): 311-319.

- [16] Skalecki P, Florek M, Litwińczuk A, et al. Utility value and meat quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with regard to the weight of fish [J]. Scientific Annals Polish Society Animal Product, 2013, 9(1): 69-73.
- [17] Zakęś Z, Pietrzak-Fiećko R, Szczepkowski M, et al. Slaughter yield and fatty acid profiles of fillets of pike (*Esox Lucius* L.) caught before and after spawning [J]. Archives of Polish Fisheries, 2015, 23(4): 231-235.
- [18] Ligaszewski M, Węglarzy K, Pilarczyk A, et al. Relation between the profile of major fractions of unsaturated fatty acids in common carp meat (*Cyprinus carpio* L.) in the second year of life and their profile in zooplankton [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2007, 57(3A): 77-81.
- [19] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement [R]. Rome: World Health Organization, 1973.
- [20] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所.食物成分表[M].北京:人民卫生出版社,1991.
- [21] Hayashi T, Yamaguchi K, Konosu S. Sensory analysis of taste-active components in the extract of boiled snow crab meat [J]. Journal of Food Science, 1981, 46(2): 479-483.
- [22] Salles C, Herve C, Septier C, et al. Evaluation of taste compounds in water-soluble extract of goat cheeses [J]. Food Chemistry, 2000, 68(4): 429-435.
- [23] 王小平,王鑫,黄泽伟,等.鲫鱼、鲢鱼和乌鱼的元素分布分析[J].中国酿造,2019,38(8):163-167.
- [24] 喻亚丽,李清,何力,等.2种产卵类型翘嘴鲌肌肉营养成分分析与评价[J].南方农业学报,2021,52(12):3311-3319.
- [25] 贾丹.青鱼肌肉蛋白质及其凝胶特性的研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [26] 蔡宝玉,王利平,王树英.甘露青鱼肌肉营养分析和评价[J].水产科学,2004,23(9):34-35.
- [27] 刘拓,赵禹,白金,等.新疆博斯腾湖鱼类肌肉硒含量及生物累积效应研究[J].西北地质,2021,54(3):236-243.
- [28] Calabretti A, Cateni F, Procida G, et al. Influence of environmental temperature on composition of lipids in edible flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(14): 1493-1498.
- [29] Jankowska B, Zakęś Z, Żmijewski T, et al. Fatty acid composition of wild and cultured northern pike (*Esox lucius*) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2008, 24(2): 196-201.
- [30] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M].北京:中国标准出版社,2014.
- [31] Marventano S, Kolacz P, Castellano S, et al. A review of recent evidence in human studies of n-3 and n-6 PUFA intake on cardiovascular disease, cancer, and depressive disorders: does the ratio really matter? [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2015, 66(6): 611-622.
- [32] Wang F, Ma X, Wang W, et al. Comparison of proximate composition, amino acid and fatty acid profiles in wild, pond- and cage-cultured longsnout catfish (*Leiocassis longirostris*) [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(8): 1772-1776.