

不同规格胭脂鱼的营养成分分析和安全性评价

黄小兰^{1*}, 郑容¹, 杨家贵², 王圣开¹, 何旭峰¹, 周祥德¹, 张椿翊¹, 唐秀锋²

(1. 重庆市万州食品药品检验所, 重庆 404100; 2. 重庆市万州区水产研究所, 重庆 404120)

摘要: **目的** 比较分析不同规格胭脂鱼的营养价值和安全性。**方法** 以大、中、小3种规格的胭脂鱼为研究对象, 采用国家标准方法、高效液相色谱仪、电感耦合等离子质谱仪等测定了基本营养成分、氨基酸组成、重金属含量和兽药残留量, 并利用不同的评价体系比较分析了氨基酸营养和重金属污染情况。**结果** 胭脂鱼中粗脂肪的含量随重量增大变化显著($P<0.05$)(除去最小体重), 水分、粗蛋白和粗灰分的变化不明显。不同规格胭脂鱼中均检出17种氨基酸, 总量分别为20.70、17.90、20.18 g/100 g, 其中谷氨酸平均含量(2.88 g/100 g)最高, 其次是天冬氨酸, 为1.95 g/100 g, 是鲜味氨基酸的主要组成部分, 胭脂鱼中富含7种必需氨基酸, 含量最高的为赖氨酸, 必需氨基酸与非必需氨基酸百分比为64.01%~65.45%, 均符合联合国粮农组织和世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)推荐的理想蛋白模式; 根据氨基酸评分和化学评分结果可知, 胭脂鱼第一限制性氨基酸均为甲硫氨酸+胱氨酸; 3种规格胭脂鱼的必需氨基酸指数分别为101.99、90.16和98.51。胭脂鱼中Pb、Cd、Cr、无机As和甲基Hg等5种重金属均符合食品安全国家标准, 且未检出氯霉素、硝基呋喃等兽药残留。**结论** 本研究表明胭脂鱼是一种高蛋白低脂肪、氨基酸组成理想、食用安全的高价值鱼类; 小规格的胭脂鱼粗蛋白、氨基酸总量和必需氨基酸指数最高, 营养价值相对更高, 最具食用价值。

关键词: 胭脂鱼; 规格; 营养分析; 安全性评价; 氨基酸; 重金属

Nutritional analysis and safety evaluation of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus*

HUANG Xiao-Lan^{1*}, ZHENG Rong¹, YANG Jia-Gui², WANG Sheng-Kai¹, HE Xu-Feng¹,
ZHOU Xiang-De¹, ZHANG Chun-Yi¹, TANG Xiu-Feng²

(1. Chongqing Wanzhou Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 404100, China;
2. Wanzhou District Fisheries Research Institute of Chongqing, Chongqing 404120, China)

ABSTRACT: **Objective** To compare and analyze the nutritional value and safety of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus*. **Methods** The basic nutrients, amino acid composition, heavy metal content and veterinary drug residues of small, medium and large sized *Myxocyprinus asiaticus* were determined by national standard method, high performance liquid chromatography and inductively coupled plasma mass spectrometer, and the amino acid nutrition and heavy metal pollution were compared and analyzed by different evaluation systems. **Results** The changes of crude lipid content in *Myxocyprinus asiaticus* were significant with the increase of body weight ($P<0.05$) (excluding

基金项目: 重庆市科研机构绩效激励引导专项(2021123001)

Fund: Supported by the Chongqing Scientific Research Institutions Performance Incentive and Guidance Project (2021123001)

*通信作者: 黄小兰, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品加工与安全。E-mail: 534832723@qq.com

*Corresponding author: HUANG Xiao-Lan, Master, Engineer, Chongqing Wanzhou Food and Drug Inspection Institute, No.16, Longxi Road, Wanzhou District, Chongqing 404100, China. E-mail: 534832723@qq.com

minimum body weight), but the changes of moisture, crude protein and ash were not significant. All 3 specifications of *Myxocyprinus asiaticus* had 17 kinds of amino acids, and the total amount was 20.70, 17.90, 20.18 g/100 g, respectively. The average content of glutamic acid (2.88 g/100 g) was the highest, followed by aspartic acid (1.95 g/100 g), which was the main component of amino acids of umami flavor. There were 7 kinds of essential amino acids in *Myxocyprinus asiaticus*, of which lysine was the highest, and the percentages of essential amino acids and non-essential amino acids were 64.01%–65.45%, all of which conform to the ideal protein pattern recommended by Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO). According to the results of amino acid score and chemical score, the first limiting amino acid of *Myxocyprinus asiaticus* was methionine+cysteine. The essential amino acid indexes of the 3 specifications of *Myxocyprinus asiaticus* were 101.99, 90.16 and 98.51, respectively. The 5 kinds of heavy metals, including Pb, Cd, Cr, inorganic As and methyl Hg, were all in line with the national food safety standards, and no veterinary drug residues such as chloramphenicol and nitrofurans were detected. **Conclusion** *Myxocyprinus asiaticus* is a kind of high value fish with high protein and low fat, ideal amino acid composition, and safe to eat. The crude protein, total amino acid and essential amino acid index of small size *Myxocyprinus asiaticus* are the highest, and its nutrition value is relatively higher, the most edible value.

KEY WORDS: *Myxocyprinus asiaticus*; specifications; nutritional analysis; safety evaluation; amino acids; heavy metal

0 引言

胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)属于鲤形目吸口鲤科胭脂鱼亚科鱼种,又名黄排、血排、粉排、红鱼等,该鱼体型奇特、色彩艳丽,享有“一帆风顺”“亚洲美人鱼”等美誉^[1]。目前,野生胭脂鱼资源较为稀缺,被列为二级野生保护动物,主要集中在我国长江流域^[2]。重庆市万州区地处长江流域三峡库区腹心,是胭脂鱼最适生长区及优势产区^[3],拥有全国最大的胭脂鱼繁殖基地。胭脂鱼幼鱼常作为观赏鱼,成鱼因其肉质嫩滑、味道鲜美,也作为商品鱼食用^[4],近年来,随着人工繁殖技术的不断成熟,胭脂鱼资源逐渐丰富,已成为当地重要的经济鱼类和地理标志产品。

目前,关于胭脂鱼的研究主要集中在种质资源的保护、繁殖技术的提高以及饲料配制等方面,在其营养成分分析方面还比较欠缺。虽有林郁葱等^[5]、郜卫华等^[6]学者比较了野生和人工养殖胭脂鱼、2龄胭脂鱼背部和腹部肌肉中营养成分,但不同规格胭脂鱼的营养成分分析却尚未见报道,而有学者在比较不同规格的秋刀鱼^[7]营养成分时发现,随着规格增大,粗脂肪增多,粗蛋白和水分减少,整体来说中规格的秋刀鱼营养价值相对较高;研究不同规格玉筋鱼^[8]的必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)发现小规格的营养价值最高,大规格的二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)、多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)的占比较高,二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)占比较低,这表明规格不同营养价值有所不同。所以作为胭脂鱼商品鱼,分析和评价不同规格的营养成分,将对其最佳食用大小和捕捞规格的选择具有指导意义。

近年来,随着全球气候、环境的变化,城市工业化的发展,农业现代化的加快,土壤、海洋、江河生态堪忧,重金属污染、农兽药残留等问题日益凸显,严重威胁到人体健康。郑瑞生等^[9]在对近海鱼中6种重金属的测定中发现,鱼头和鱼尾存在重金属超标现象;楚禄建等^[10]在对神农架大九湖2种鱼类重金属污染情况分析中发现,大九湖鲫鱼和麦穗鱼肌肉中As含量均超出国家标准,鲫鱼中Hg含量较高的原因或许与大九湖高山湿地的环境有关;且在潘天扬^[11]的研究中发现,胭脂鱼对水体中铅的耐受度极低;同时,华永有等^[12]发现福建省市售淡水鱼中禁用兽药孔雀石绿检出率达23.2%。综上表明鱼类产品确实存在重金属污染、兽药滥用或超标的风险,而目前国内外尚未见胭脂鱼中重金属、兽药残留的相关报道,故对其展开安全性评价很有必要。

因此,本研究将以不同规格的胭脂鱼商品鱼为研究对象,通过测定基本营养成分、氨基酸组成、重金属含量、兽药残留,比较分析不同规格胭脂鱼营养价值的同时,对其安全性进行有效评价,旨在为胭脂鱼的科学养殖、加工利用和最佳食用期提供依据,以期鱼类营养学、安全性提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

胭脂鱼由重庆市万州区水产研究所大周养殖基地提供,分为大(1500~2500 g, 编号L)、中(1000~1500 g, 编号M)和小(750~1000 g, 编号S)3种规格(重量),每种规格3条。取每种规格的胭脂鱼去头、鳞、骨和内脏,取肌肉、鱼皮等可食部分绞碎混合均匀,于-18℃下保存,备用。

17 种氨基酸混合标准溶液(1 mmol/L, 批号 A21060131)(坛墨质检科技股份有限公司); γ -氨基丁酸(纯度 $\geq 99.3\%$, 批号 F0035226)(曼哈格上海生物科技有限公司); 单元素标准溶液(1000 $\mu\text{g/mL}$) [Cd(批号 GSB04-1721-2004)、Cr(批号 GSB04-1723-2004)、Pb(批号 GSB04-1742-2004)、As(批号 GSB04-1714-2004)、Hg(批号 GSB04-1729-2004)]、砷酸根标准溶液(批号 CDHK-GBW08667)、亚砷酸根标准溶液(批号 CDHK-GBW08666)(国家有色金属及电子材料分析测试中心); 氯霉素(纯度 $\geq 99.8\%$, 批号 04ZN-ZM4K)(中国食品药品检定研究院); 硝基呋喃代谢物混合标准溶液(100 $\mu\text{g/mL}$, 批号 31011XM)、五氯酚(99.9 $\mu\text{g/mL}$, 批号 C0006985)(曼哈格上海(生物)科技有限公司); 23 种磺胺混合标准溶液(100 $\mu\text{g/mL}$, 批号 30759XM)、16 种沙星混合标准溶液(100 $\mu\text{g/mL}$, 批号 S063719)(天津阿尔塔科技有限公司); 浓硝酸(优级纯, 北京化学试剂研究所); 实验用水为去离子超纯水; 其他试剂均为优级纯(成都科龙试剂厂)。

1.2 主要仪器

ACQUITY UPLC H-Class 型超高效液相色谱仪(配有二极管阵列检测器和 Empower 色谱工作站)(美国 Waters 公司); TSQ Quantum Access Max 型液相质谱联用仪、ICAP-Q 型电感耦合等离子质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 有限公司); LC20A-AFS9560 型液相-原子荧光光度计(北京海光仪器有限公司); MARS6 型高压微波消解仪(美国 CEM 公司); SOXTEC8000 型全自动脂肪测定仪、Kjeltec 8400 型全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 分析仪器公司); Milli-Q Advantage A10 型超纯水机(美国 Millipore 公司); SQP Sartorius 型万分之一电子天平(德国 Sartorius 公司)。

1.3 方法

1.3.1 基本营养成分

水分采用 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定; 粗蛋白采用 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定, 蛋白质折算系数参照肉与肉制品 $F=6.25$; 粗脂肪采用 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定; 粗灰分采用 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中第一法测定。

1.3.2 氨基酸组成测定及评价

氨基酸水解参照黄小兰等^[13]的方法, 称取 0.5 g 样品加 6 mol/L 盐酸 12 mL 进行水解, 然后采用异硫氰酸苯酯(phenyl isothiocyanate, PITC)柱前衍生, 经超高效液相色谱仪分离检测, 标准曲线法定量。

根据世界粮农组织和世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health

Organization, FAO/WHO) 1973 年建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式, 计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和 EAAI 值^[7], 详见公式(1)~(4):

$$\text{标准模式氨基酸含量}/(\text{mg/g}) = \text{氨基酸含量}(\text{鲜样, \%}) / \text{粗蛋白含量}(\text{鲜样, \%}) \times 6.25 \times 1000 \quad (1)$$

$$\text{AAS} = \text{标准模式下被测样品中氨基酸含量} / (\text{FAO/WHO}) \text{评分标准模式中同种氨基酸含量} \quad (2)$$

$$\text{CS} = \text{标准模式下被测样品中氨基酸含量} / \text{全鸡蛋蛋白中同种氨基酸含量} \quad (3)$$

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{100a \times 100b \times \dots \times 100i} \quad (4)$$

式中: n 为比较的必需氨基酸个数, a 、 b 、……、 i 为被测样品蛋白质中某个必需氨基酸的 CS 值。

1.3.3 重金属测定

参照郑瑞生等^[9]的方法测定样品中铅、镉、铬、总砷、无机砷、总汞和甲基汞的含量。

1.3.4 兽药残留测定

参照陈兴连等^[14-15]的方法测定样品中氯霉素、硝基呋喃、磺胺类、沙星类和五氯酚酸钠等兽药残留量。

1.3.5 重金属污染评价

分别采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法^[10]对胭脂鱼重金属污染情况进行评价。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件处理测定数据, 结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示, 利用 SPSS 20.0 对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

不同规格胭脂鱼的基本营养成分含量如表 1 所示, 水分含量为 79.16%~80.01%, 与 2 龄胭脂鱼(79.64%~79.65%)^[6]中水分相当, 远高于草鱼(70.96%~75.68%)、翘嘴鲌(74.80%)、青鱼(70.15%)和鳊鱼(76.43%)^[16-17]; 鱼类作为公认的优质蛋白来源, 其粗蛋白含量高低是评价其营养成分的重要依据, 由表 1 可见, 不同规格胭脂鱼的粗蛋白含量为 17.44%~17.89%, 与其他淡水鱼和海水鱼相比, 远高于黄颡鱼(15.37%~15.87%)、长吻鮠(15.85%)、洞庭湖鲢鱼(13.81%)^[18]和鳊鱼(16.38%)^[19], 略低于秋刀鱼(21.10%~22.53%)^[7]等深海鱼类, 与罗非鱼(17.25%)^[20]和带鱼(17.39%)^[21]相当; 粗脂肪含量为 0.31%~1.21%, 远远低于大多数淡水鱼类^[17-20], 具有高蛋白低脂肪的特点; 食品中的粗灰分不仅可判断该食品是否掺杂掺假、是否受污染, 亦可评价其营养, 胭脂鱼中粗灰分含量为 0.99%~1.20%, 与秋刀鱼^[7]、黄颡鱼^[18]、罗非鱼^[20]等大部分鱼类相当, 但远低于玉筋鱼^[8]、加州鲈鱼(2.79%)^[22], 这表明胭脂鱼肌肉

中有机质含量较高, 无机物或受污染的程度低。整体来看, 不同规格胭脂鱼的 4 种基本营养成分中, 除粗脂肪的含量变化随体重增大而变化显著外($P<0.05$)(除去最小体重), 其余 3 种营养成分变化不明显。

表 1 不同规格胭脂鱼的基本营养成分(鲜样, $n=3$, %)
Table 1 Basic nutrition composition of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus* (fresh, $n=3$, %)

规格	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
S	80.01±0.28 ^a	17.89±0.08 ^a	0.37±0.02 ^b	0.99±0.03 ^a
M	79.73±0.13 ^a	17.44±0.01 ^a	0.31±0.02 ^b	1.04±0.09 ^a
L	79.16±0.36 ^a	17.65±0.13 ^a	1.21±0.18 ^a	1.20±0.02 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 氨基酸组成分析

不同规格胭脂鱼中水解氨基酸组成及含量如表 2 所示, 除胱氨酸含量低于检出限外, 其余 17 种氨基酸均检出, 且总量为 17.90~20.70 g/100 g, 平均含量 19.59 g/100 g, 小规格的胭脂鱼氨基酸总量最高, 其次是大规格, 两者总量差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于中规格($P<0.05$)。不同规格胭脂鱼中氨基酸含量最高的为谷氨酸, 含量为 2.61~3.07 g/100 g, 平均含量为 2.88 g/100 g, 其次是天冬氨酸, 含量为 1.79~2.06 g/100 g, 平均含量为 1.95 g/100 g, 分别占氨基酸总量的 14.70%和 9.95%, 这与邵卫华等^[6]对 2 龄胭脂鱼肌肉中氨基酸的研究结果一致; 含量较低的为甲硫氨酸, 平均含量仅为 0.51 g/100 g, 占比总量 2.60%。同时, 在检出的 17 种氨基酸中发现 γ -氨基丁酸的含量为 0.74~0.83 g/100 g, 平均含量 0.79 g/100 g, 占比总氨基酸含量的 4.02%。 γ -氨基丁酸作为一种非蛋白质氨基酸, 属强神经抑制性氨基酸, 具有调节免疫、抗糖尿病、降血压、保肝肾、促进睡眠等功能, 目前已被列为新食品原料广泛用于各类食品的生产中^[23-24]。

从表 2 可知, 不同规格胭脂鱼中包括 7 种人体必需氨基酸, 含量为 6.99~8.19 g/100 g, 平均含量为 7.70 g/100 g。必需氨基酸含量从高到低依次为赖氨酸>亮氨酸>苏氨酸>缬氨酸>异亮氨酸>苯丙氨酸>甲硫氨酸, 含量最高的赖氨酸占氨基酸总量的 8.92%。不同规格胭脂鱼必需氨基酸与氨基酸总量(essential amino acids/total amino acids, EAA/TAA)的百分比为 39.03%~39.56%, 3 种规格胭脂鱼百分比差异不显著($P>0.05$), 均接近于 FAO/WHO 标准中对氨基酸理想模式的规定(EAA/TAA=40%), 而三者中必需氨基酸与非必需氨基酸含量(essential amino acids/nonessential amino acid, EAA/NEAA)的百分比为 64.01%~65.45%, 差异显著($P<0.05$), 均远高于 FAO/WHO 标准中的规定(EAA/NEAA=60%), 表现为胭脂鱼中氨基酸类物质丰富、均衡, 且规格越小越理想, 这与不同规格玉筋鱼^[8]的研究

结果相似。

氨基酸的组成不仅决定物质的营养价值, 同时也影响其风味和滋味。根据氨基酸呈味的不同, 分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、芳香族氨基酸和苦味氨基酸^[25-26]。3 种规格胭脂鱼中, 鲜味氨基酸含量为 6.46~7.38 g/100 g, 高于常见淡水鱼(鲤鱼、鲫鱼、草鱼)^[17], 与石斑鱼、罗非鱼相当^[20]; 甜味氨基酸含量为 4.95~5.91 g/100 g, 芳香族氨基酸含量为 1.35~1.56 g/100 g, 苦味氨基酸含量为 5.29~6.13 g/100 g, 鲜甜味氨基酸作为水产品中主要的呈味氨基酸, 赋予鱼类圆润的鲜甜味, 苦味氨基酸则常作为风味增强剂增加其肉香味, 不同呈味氨基酸相辅相成, 为胭脂鱼提供了鲜美口感^[27]。

表 2 不同规格胭脂鱼的氨基酸组成(鲜样, $n=3$, g/100 g)
Table 2 Amino acid composition of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus* (fresh, $n=3$, g/100 g)

氨基酸名称	S	M	L
天冬氨酸 [*]	2.00±0.10 ^a	1.79±0.04 ^b	2.06±0.06 ^a
谷氨酸 [*]	2.97±0.18 ^a	2.61±0.02 ^b	3.07±0.02 ^a
组氨酸 [†]	0.60±0.01 ^a	0.53±0.01 ^a	0.59±0.04 ^a
丝氨酸 [§]	0.79±0.05 ^a	0.70±0.01 ^a	0.79±0.04 ^a
精氨酸	1.37±0.07 ^a	1.19±0.01 ^b	1.34±0.03 ^a
甘氨酸 ^{*§}	1.20±0.01 ^a	0.99±0.07 ^b	1.05±0.07 ^b
苏氨酸 ^{*§}	1.30±0.06 ^a	1.01±0.21 ^b	1.27±0.02 ^a
丙氨酸 ^{*§}	1.21±0.06 ^a	1.07±0.04 ^a	1.19±0.01 ^a
脯氨酸 [§]	0.81±0.02 ^a	0.66±0.02 ^b	0.73±0.01 ^b
酪氨酸 ^{&}	0.73±0.04 ^a	0.64±0.07 ^a	0.67±0.06 ^a
缬氨酸 ^{#†}	1.12±0.05 ^a	0.97±0.03 ^a	1.06±0.04 ^a
甲硫氨酸 [#]	0.53±0.09 ^a	0.52±0.14 ^a	0.49±0.11 ^a
异亮氨酸 ^{#†}	1.07±0.05 ^a	0.90±0.02 ^b	1.01±0.03 ^a
亮氨酸 ^{#†}	1.54±0.09 ^a	1.29±0.02 ^b	1.46±0.07 ^a
胱氨酸	ND	ND	ND
苯丙氨酸 ^{*&}	0.83±0.03 ^a	0.71±0.01 ^b	0.76±0.02 ^b
赖氨酸 ^{#†}	1.79±0.05 ^a	1.60±0.06 ^b	1.85±0.09 ^a
γ -氨基丁酸	0.83±0.00 ^a	0.74±0.03 ^a	0.79±0.03 ^a
EAA	8.19±0.23 ^a	6.99±0.12 ^c	7.91±0.19 ^b
NEAA	12.51±0.35 ^a	10.92±0.25 ^b	12.27±0.27 ^a
鲜味氨基酸	7.38±0.22 ^a	6.46±0.14 ^b	7.37±0.10 ^a
甜味氨基酸	5.91±0.12 ^a	4.95±0.09 ^c	5.62±0.09 ^b
芳香族氨基酸	1.56±0.04 ^a	1.35±0.03 ^c	1.43±0.04 ^b
苦味氨基酸	6.13±0.10 ^a	5.29±0.08 ^c	5.98±0.10 ^b
TAA	20.70±0.52 ^a	17.90±0.40 ^b	20.18±0.36 ^a
(EAA/TAA)/%	39.56 ^a	39.03 ^a	39.20 ^a
(EAA/NEAA)/%	65.45 ^a	64.01 ^c	64.47 ^b

注: ^{*}表示鲜味氨基酸, [#]表示必需氨基酸, [§]表示甜味氨基酸, [&]表示芳香族氨基酸, [†]表示苦味氨基酸。同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), ND 表示低于检出限, 表 4、5 同。

2.3 氨基酸评分

AAS 和 CS 是评价食品蛋白质营养价值高低的常用指标,其比值越接近或者高于 1.00,表明必需氨基酸的组成均衡,含量丰富,越符合 FAO/WHO 的氨基酸理想模式或全鸡蛋蛋白的标准^[17]。不同规格胭脂鱼 AAS、CS 计算结果如表 3 所示。根据 AAS 得分结果可知,3 种规格胭脂鱼中甲硫氨酸+胱氨酸 AAS 值较低,为 0.79~0.85,是胭脂鱼的第一限制性氨基酸,其余 7 种必需氨基酸均远大于 1.00,说明胭脂鱼中必需氨基酸是理想氨基酸。CS 得分结果发现,3 种规格胭脂鱼的第一限制性氨基酸也均为含硫氨基酸(甲硫氨酸+胱氨酸),小规格和中规格的第二限制性氨基酸为缬氨酸,大规格胭脂鱼的第二限制性氨基酸为苯丙氨酸+酪氨酸。3 种规格胭脂鱼中苏氨酸和赖氨酸含量均远超过 FAO/WHO 和全鸡蛋蛋白模式的推荐值,食用胭脂鱼可以很好地改善长期食用谷物导致的苏氨酸、赖氨酸缺乏,保证营养均衡。EAAI 数值的大小可判定食品蛋白利用率高,数值越大,表明利用率越高。根据 EAAI 分析结果显示,小规格胭脂鱼 EAAI 值最高为 101.99,大规格为 98.51,中规格为 90.16,远远高于秋刀鱼^[7]、玉筋鱼^[8]、淡水石斑鱼、罗非鱼^[20]、虹鳟鱼^[28],与金枪鱼^[29]相当。这一结果表明胭脂鱼为优良的蛋白来源,同时小规格胭脂鱼的蛋白营养价值相对更高。

2.4 重金属及兽药残留结果

不同规格胭脂鱼中重金属含量如表 4 所示,Cd 和 Cr 2 种重金属未检出,其余重金属均不同程度检出且差异性显著($P<0.05$)。3 种规格胭脂鱼中总 As 含量最高,分别为

1.270、1.390 和 1.600 mg/kg,考虑到总 As 由有机 As 和无机 As 两部分组成,无机 As 较有机 As 毒性强且水产品中常以天然有机 As 为主^[30],故对其进行了无机 As 含量测定,结果均未检出;其次是 Pb 元素,含量与规格呈正相关性,规格越大,含量越高,分别为 0.072、0.099 和 0.140 mg/kg;虽 3 种规格的胭脂鱼均检出总 Hg (0.040~0.065 mg/kg),但未检出毒性较大的甲基 Hg。

总的来说,不同规格胭脂鱼中重金属含量均符合 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的标准规定($Cd\leq 0.1\text{ mg/kg}$, $Cr\leq 2.0\text{ mg/kg}$, $Pb\leq 0.5\text{ mg/kg}$, 无机 $As\leq 0.1\text{ mg/kg}$, 甲基 $Hg\leq 0.5\text{ mg/kg}$);同时,在不同规格胭脂鱼中未检出氯霉素、硝基呋喃、磺胺类、沙星类和五氯酚酸钠等限用或禁用兽药,综上表明胭脂鱼食用安全性较高。

2.5 胭脂鱼重金属污染评价

因鱼类产品的总 As 和总 Hg 无限量规定,故不纳入计算,不同规格胭脂鱼重金属单因子污染指数(P_i)和综合污染指数(P_n)结果如表 5 所示,3 种规格胭脂鱼的 P_i 值分别为 0.14、0.20 和 0.28,根据单因子污染指数(P_i)评价标准(未受污染 $P_i<0.2$; 轻微污染 $0.2\leq P_i<0.6$; 中度污染 $0.6\leq P_i<1.0$, 重度污染 $P_i\geq 1.0$)可判为:小规格胭脂鱼未受重金属污染,中规格和大规格胭脂鱼受 Pb 轻微污染,这可能跟元素的富集有关;3 种规格胭脂鱼的 P_n 值分别为 0.10、0.14 和 0.20,根据内梅罗综合污染指数(P_n)评价标准($P_n\leq 1$ 无污染; $1<P_n\leq 2$ 轻度污染; $2<P_n\leq 3$ 中度污染; $P_n>3$ 重度污染)可综合评价 3 种规格胭脂鱼均未受重金属污染。

表 3 不同规格胭脂鱼的氨基酸评分
Table 3 Amino acid score of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus*

必需氨基酸	FAO/WHO	全鸡蛋	S		M		L	
			AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
苏氨酸	250	292	1.83	1.56	1.45	1.24	1.80	1.54
缬氨酸	318	410	1.24	0.96	1.10	0.85	1.18	0.92
甲硫氨酸+胱氨酸	220	386	0.85	0.48	0.85	0.48	0.79	0.45
异亮氨酸	250	331	1.50	1.14	1.29	0.98	1.43	1.08
亮氨酸	440	534	1.23	1.01	1.05	0.87	1.18	0.97
苯丙氨酸+酪氨酸	380	565	1.44	0.97	1.28	0.86	1.34	0.90
赖氨酸	340	441	1.85	1.43	1.69	1.30	1.93	1.49
EAAI	-	-	-	101.99	-	90.16	-	98.51

注: -表示无此项。

表 4 不同规格胭脂鱼的重金属含量(鲜样, $n=3$, mg/kg)
Table 4 Heavy metal content of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus* (fresh, $n=3$, mg/kg)

规格	Pb	Cd	Cr	总 As	无机 As	总 Hg	甲基 Hg
S	0.072±0.010 ^c	ND	ND	1.270±0.050 ^c	ND	0.065±0.010 ^a	ND
M	0.099±0.010 ^b	ND	ND	1.390±0.080 ^b	ND	0.050±0.000 ^b	ND
L	0.140±0.020 ^a	ND	ND	1.600±0.040 ^a	ND	0.040±0.010 ^c	ND

表 5 不同规格胭脂鱼重金属单因子污染指数和综合污染指数
Table 5 Single factor and comprehensive pollution indexes of heavy metals of different specifications of *Myxocyprinus asiaticus*

规格	P_i					P_n
	Pb	Cd	Cr	无机 As	甲基 Hg	
S	0.14	ND	ND	ND	ND	0.10
M	0.20	ND	ND	ND	ND	0.14
L	0.28	ND	ND	ND	ND	0.20

3 讨论与结论

胭脂鱼作为长江流域的珍稀鱼类, 不仅极具观赏价值, 也具有很高的食用价值。随着胭脂鱼商品鱼的上市, 其鲜美的口感和丰富的营养吸引了大量消费者。根据消费习惯, 本研究将胭脂鱼的重量作为规格分类标准, 而非非常规的鱼龄, 目的在于更好、更方便地指导养殖户进行捕捞售卖, 消费者亦可直观购买。

因此, 本研究选用大(1500~2500 g)、中(1000~1500 g)、小(750~1000 g) 3 种规格的胭脂鱼测定其基本营养成分、氨基酸组成、重金属含量和兽药残留, 结果显示 3 种规格胭脂鱼除粗脂肪含量随重量增大变化显著外($P<0.05$), 水分、粗蛋白和粗灰分的变化不明显。不同规格胭脂鱼中均检出 17 种氨基酸, 其中谷氨酸和天冬氨酸是含量最高的氨基酸同时也是主要的鲜味氨基酸, 分别占比氨基酸总量的 14.70%和 9.95%; AAS 和 CS 分析结果显示, 胭脂鱼第一限制性氨基酸为甲硫氨酸+胱氨酸。计算不同规格胭脂鱼中 EAA/NEAA 和 EAAI 值发现, 小规格(750~1000 g)胭脂鱼的氨基酸组成最理想, 营养价值最高。在目前的养殖条件下, 750~1000 g(小规格)相当于 2 龄鱼, 这一结果跟邵卫华等^[6]学者得出的 2 龄胭脂鱼具有较高的食用价值结论一致。其次是大规格, 中规格次之, 得出这种结论的原因可能与本研究注重实际应用有关, 没有考虑鱼龄和性别。

不同规格胭脂鱼中均未检出 Cd、Cr、无机 As 和甲基 Hg 等有害金属, 虽检出 Pb 元素, 但均符合食品安全国家标准, 内梅罗综合污染指数表明 3 种规格的胭脂鱼均未受重金属污染。同时, 3 种规格胭脂鱼均未检出兽药残留。综上所述, 胭脂鱼是一种高蛋白低脂肪、氨基酸含量丰富、食用安全的高价值鱼类。

参考文献

[1] 周龙艳. 长江流域几种珍稀鱼类对环境因子胁迫的生理与行为响应研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2020.
ZHOU LY. Physiological and behavioral responses to environmental stress of several endangered fish species in the Yangtze River [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2020.
[2] 张崇英, 陈脊宇, 周亚, 等. 胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)精液超低温冷冻保存及酶活性测定[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(4): 1556–1564.

ZHANG CY, CHEN JY, ZHOU Y, *et al.* Sperm cryopreservation and enzyme activities detection in *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Genom Appl Biol, 2020, 39(4): 1556–1564.
[3] 孙志禹, 张敏, 陈永柏. 水电开发背景下长江上游保护区珍稀特有鱼类保护实践[J]. 淡水渔业, 2014, 44(6): 3–8.
SUN ZY, ZHANG M, CHEN YB. Protection of the rare and endemic fish in the conservation area located in the upstream of the Yangtze River [J]. Freshwater Fish, 2014, 44(6): 3–8.
[4] 马秀慧, 易建华, 于丽娟, 等. 胭脂鱼商品鱼肌肉营养成分分析[C]. 中国西部动物学学术研讨会论文摘要汇编, 2012: 72.
MA XH, YI JH, YU LJ, *et al.* Analysis of muscle nutrients of commercial *Myxocyprinus asiaticus* [C]. Proceedings of Symposium of Zoology in West China, 2012: 72.
[5] 林郁葱, 龚媛, 龚世园, 等. 野生和人工养殖胭脂鱼肌肉营养成分的比较[J]. 淡水渔业, 2011, 41(6): 70–75.
LIN YC, GONG Y, GONG SY, *et al.* Comparison of nutrient components in muscle of wild and farmed groups of *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Freshwater Fish, 2011, 41(6): 70–75.
[6] 邵卫华, 田罗, 谢芳丽, 等. 2 龄胭脂鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(7): 176–180.
GAO WH, TIAN L, XIE FL, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient components in muscle of two-instar *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2017, 45(7): 176–180.
[7] 王琳, 赵玲, 齐祥明, 等. 不同规格秋刀鱼肌肉的营养成分分析与品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6815–6820.
WANG L, ZHAO L, QI XM, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of muscles of different specifications of *Cololabis saira* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(21): 6815–6820.
[8] 刘胜男, 王善宇, 曹荣, 等. 不同规格玉筋鱼的营养分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 188–194.
LIU SN, WANG SY, CAO R, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of different sizes of *Ammodytes personatus* [J]. Prog Fish Sci, 2022, 43(1): 188–194.
[9] 郑瑞生, 王巧燕, 张冰泉, 等. 9 种近海鱼重金属污染状况及食用安全性评价[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 353–359.
ZHENG RS, WANG QY, ZHANG BQ, *et al.* Evaluation of heavy metal pollution status and food safety of nine offshore fish species [J]. Food Sci, 2022, 43(14): 353–359.
[10] 楚禄建, 杨晓菁, 刘金铃, 等. 神农架大九湖两种鲤科鱼重金属污染状况分析[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(4): 76–83.
CHU LJ, YANG XJ, LIU JL, *et al.* Evaluation of heavy metal contamination in two cyprinid species in Dajiuhu Wetland, Shennongjia [J]. J Hydroecol, 2021, 42(4): 76–83.
[11] 潘天扬, 房树林, 闫玉莲, 等. 水体中铅对长江上游 6 种鱼类的急性中毒效应[J]. 淡水渔业, 2016, 46(3): 34–39.
PAN TY, FANG SL, YAN YL, *et al.* Acute toxic effect of water-borne lead on six fishes from the upper reaches of the Yangtze River [J]. Freshwater Fish, 2016, 46(3): 34–39.
[12] 华永有, 邱文倩, 周亮, 等. 市售淡水鱼中孔雀石绿及其代谢物残留量的调查研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(6): 563–566.
HUA YY, QIU WQ, ZHOU L, *et al.* Monitoring malachite green and its metabolites leumalachite green in retailed freshwater fish [J]. Chin J Food Hyg, 2011, 23(6): 563–566.

- [13] 黄小兰, 何旭峰, 杨勤, 等. 不同产地地参中 17 种氨基酸的测定与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 255–261.
HUANG XL, HE XF, YANG Q, *et al.* Determination of 17 amino acids in the dried Rhizome of *Lycopus lucidus* Turcz. var. *hirtus* Regel from different habitats [J]. Food Sci, 2021, 42(2): 255–261.
- [14] 陈兴连, 林涛, 刘兴勇, 等. 分散固相萃取净化-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定鱼和虾中抗生素及三苯甲烷类兽药残留[J]. 色谱, 2019, 37(9): 946–954.
CHEN XL, LIN T, LIU XY, *et al.* Simultaneous determination of antibiotics and triphenylmethanes veterinary drug residues in fish and shrimp by dispersive solid phase extraction purification-ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2019, 37(9): 946–954.
- [15] 陈兴连, 林涛, 刘兴勇, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法快速测定鱼和虾中多类禁、限用兽药残留[J]. 色谱, 2020, 38(5): 538–546.
CHEN XL, LIN T, LIU XY, *et al.* Rapid determination of multiple prohibited and restricted veterinary drug residues in fish and shrimp by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2020, 38(5): 538–546.
- [16] 胡建勇, 李晓东, 李林, 等. 两种养殖模式下草鱼幼鱼生长与肌肉组分的比较研究[J]. 饲料研究, 2021, 44(15): 62–67.
HU JY, LI XD, LI L, *et al.* Comparative study on growth and muscle composition of *Ctenopharyngodon idella* under two aquaculture patterns [J]. Feed Res, 2021, 44(15): 62–67.
- [17] 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/OL]. 现代食品科技: 1-10. [2023-03-10]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0871>
JIA CX, YANG M, HU QJ, *et al.* Nutritional compositions and evaluation of 6 species wild fish muscle [J/OL]. Mod Food Sci Technol: 1-10. [2023-03-10]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0871>
- [18] 韩庆, 马欣欣, 黄春红. 洞庭湖黄颡鱼肌肉营养成分及品质特性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(23): 9102–9108.
HAN Q, MA XX, HUANG CH. Analysis on the nutritional components and quality characteristics of *Pelteobagrus fulvidraco* muscle in Dongting Lake [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(23): 9102–9108.
- [19] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 鳊鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 41–48.
LING SN, LIU TY, CHEN XY, *et al.* Nutritional components analysis and evaluation of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(3): 41–48.
- [20] 王志芳, 郭忠宝, 罗永巨, 等. 淡水石斑鱼与 3 种罗非鱼肌肉营养成分的分析比较[J]. 南方农业学报, 2018, 49(1): 164–171.
WANG ZF, GUO ZB, LUO YJ, *et al.* Nutrient compositions in muscle of *Cichlasoma managuense* and three *Tilapia* species [J]. J South Agric, 2018, 49(1): 164–171.
- [21] 廖月琴, 吴盈茹, 杜琪, 等. 新鲜与风干带鱼肌肉品质及营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(1): 185–191.
LIAO YQ, WU YR, DU Q, *et al.* Analysis and evaluation of fresh and air-dried hairtail muscle quality and nutritional components [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(1): 185–191.
- [22] 张莉, 柳芹, 张金林. 饲料中添加抗菌肽对加州鲈鱼的生长发育的影响分析[J]. 中国饲料, 2021, 688(20): 65–68.
ZHANG L, LIU Q, ZHANG JL. Analysis of the effect of antimicrobial peptides added to feed on the growth and development of *California bass* [J]. Chin Feed, 2021, 688(20): 65–68.
- [23] 刘鸢驹, 张东星, 晏仁义, 等. γ -氨基丁酸的生物活性研究进展[J]. 现代药物与临床, 2022, 37(9): 2167–2172.
LIU ZJ, ZHANG DX, YAN RY, *et al.* Research progress on biological activities of γ -aminobutyric acid [J]. Drug Clin, 2022, 37(9): 2167–2172.
- [24] CHOI SY, LIM SY, JUNG WS, *et al.* Studies on quality characteristics and biological activities of macaroons supplemented with GABA (γ -aminobutyric acid) rice powder and xylose [J]. J East Asi Soc Diet Life, 2015, 25(5): 822–829.
- [25] 彭真汾, 王威, 叶清华, 等. 高效液相色谱-串联质谱法定量分析橄榄果实氨基酸组分[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 231–238.
PENG ZF, WANG W, YE QH, *et al.* Quantitative analysis of amino acids in Chinese olive using high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Sci, 2018, 39(24): 231–238.
- [26] 徐永霞, 李鑫晰, 赵洪雷, 等. 六种海水鱼类鱼汤的呈味物质比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 240–245.
XU YX, LI XX, ZHAO HL, *et al.* Comparative analysis of taste compounds in soup from six kinds of marine fishes [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(21): 240–245.
- [27] 程园园, 李斌, 魏坤, 等. 不同产地禾花鱼营养成分分析评价[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(23): 152–157.
CHENG YY, LI B, WEI K, *et al.* Basic nutrients and processing properties of *Procypris merus* from different habitats [J]. Food Res Dev, 2022, 43(23): 152–157.
- [28] 高沛, 葛鹏飞, 姜启兴, 等. 虹鳟鱼各组织营养成分分析及评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(17): 5578–5585.
GAO P, GE PF, JIANG QX, *et al.* Nutritional analysis and evaluation of different tissues of *Oncorhynchus mykiss* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(17): 5578–5585.
- [29] OKDAH Y, CIRNATU D, ILMENKOV S. Amino acid and fatty acid composition of the muscle tissue of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) and Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) [J]. J Food Nutr Res, 2013, 4(1): 42–45.
- [30] FU L, LU X, NIU K, *et al.* Bioaccumulation and human health implications of essential and toxic metals in freshwater products of Northeast China [J]. Sci Total Environ, 2019, 673: 768–776.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



黄小兰, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: 534832723@qq.com