

虹鳟鱼各组织营养成分分析及评价

高沛^{1,2}, 葛鹏飞³, 姜启兴^{1,2*}, 于沛沛^{1,2}, 杨淑涵^{1,2},
张海锋^{1,2}, 陈家雯^{1,2}, 夏文水^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 无锡 214122;
3. 南京新诺食品科技有限公司, 南京 211226)

摘要: **目的** 综合分析和评价虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)鱼肉与副产物等各组织的营养成分情况。**方法** 通过测定虹鳟鱼的肉、肠、肝、心、肚、皮、骨、鱼板油中基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物质指标, 综合评价各组织的营养情况。**结果** 虹鳟鱼各组织之间营养成分差异较大, 其中水分含量 53.97%~78.99%, 粗蛋白含量 9.81%~26.34%, 粗脂肪含量 8.74%~25.11%, 鱼皮、鱼骨中胶原蛋白含量较高。依照氨基酸评分(amino acid score, AAS)和化学评分(chemical score, CS)来看, 除鱼皮、鱼肚、鱼骨外, 虹鳟鱼其余各组织的 AAS 均在 100%左右, CS 评分均在 60%以上。从矿物质角度来看, 鱼骨中钙、钠、镁含量最高, 鱼肉中钾含量最高, 鱼肝中铁含量最高, 其次为鱼心。从脂肪酸角度来看, 虹鳟鱼各个组成部位中的多不饱和脂肪酸含量均较高(50%左右), 除鱼肉外, 鱼肝中二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)+二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)含量最高(13.97%), 而单不饱和脂肪酸含量在 19.96%~33.47%之间, 动脉粥样硬化指数低于 0.4, 说明虹鳟鱼具有较好的健康属性。**结论** 虹鳟鱼副产物鱼皮、鱼骨、鱼肠、鱼肝富含胶原蛋白、不饱和脂肪酸、矿物质等营养成分, 具有较高的开发价值。

关键词: 虹鳟鱼; 不同组织; 基本营养成分; 氨基酸; 脂肪酸; 矿物质

Nutritional analysis and evaluation of different tissues of *Oncorhynchus mykiss*

GAO Pei^{1,2}, GE Peng-Fei³, JIANG Qi-Xing^{1,2*}, YU Pei-Pei^{1,2}, YANG Shu-Han^{1,2},
ZHANG Hai-Feng^{1,2}, CHEN Jia-Wen^{1,2}, XIA Wen-Shui^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Wuxi 214122, China;
3. Nanjing Xinnuo Food Technology Co., Ltd., Nanjing 211226, China)

ABSTRACT: Objective To comprehensively analyze and evaluate the nutrient components of different tissues such as the flesh and by-products of *Oncorhynchus mykiss*. **Methods** By measuring the basic nutrients, amino acids, fatty acids and mineral indexes in the meat, intestine, liver, heart, belly, skin, bone and fish plate oil of *Oncorhynchus mykiss*, the nutritional status of each tissue were evaluated comprehensively. **Results** There was a great difference in nutrition composition among *Oncorhynchus mykiss* tissues, including 53.97%~78.99% water content, 9.81%~26.34% crude protein content, 8.74%~25.11% crude fat content, and collagen content in fish skin

基金项目: 江苏现代农业(大宗鱼类)产业技术体系项目(JATS[2022]507)

Fund: Supported by the Jiangsu Agricultural Industry Technology System (JATS[2022]507)

*通信作者: 姜启兴, 副教授, 主要研究方向为食品加工与保藏。E-mail: qixingj@163.com

*Corresponding author: Jiang Qi-Xing, Associate Professor, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, No.1800, Lihu Avenue, Binhu District, Wuxi 214122, China. E-mail: qixingj@163.com

and bone was higher. According to amino acid score (AAS) and chemical score (CS), except skin, belly and bone, the AAS of all tissues of *Oncorhynchus mykiss* were around 100%, and the CS were above 60%. From the mineral point of view, calcium, sodium, magnesium content of fish bone was the highest, potassium content of fish was the highest, iron content of fish liver was the highest, followed by fish heart. From the perspective of fatty acids, the content of polyunsaturated fatty acids in all parts of *Oncorhynchus mykiss* was higher (about 50%), and the content of docosahexaenoic acid (DHA) + eicosapentaenoic acid (EPA) in liver was the highest except fish (13.97%), and the content of monounsaturated fatty acids ranged from 19.96% to 33.47%, and the atherosclerosis index was lower than 0.4, indicating that rainbow trout had good health attributes. **Conclusion** The by-products of *Oncorhynchus mykiss*, such as skin, bone, intestine and liver, are rich in collagen, unsaturated fatty acids, minerals and other nutrients, and have high development value.

KEY WORDS: *Oncorhynchus mykiss*; different tissues; basic nutrient components; amino acids; fatty acids; minerals

0 引言

虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*), 又称为彩虹鳟、三文鳟, 属于鲑科、太平洋鳟属, 原产于北美洲的太平洋西岸, 是冷水性鱼类, 塘养鱼中的珍贵品种, 具有世界性经济和生态重要性^[1]。由于虹鳟鱼的肉质细腻且鲜美, 且其具有生长快、产量高、生产效益好等特点, 因此在近几年来, 逐渐成为全世界最具广泛养殖前途的鱼类之一^[2]。据调查显示, 近年, 虹鳟鱼全球养殖产量达约 76.2 万 t, 以伊朗、土耳其等国家养殖量为首^[3], 其养殖区域在全世界的覆盖面分布较广。同时, 虹鳟鱼作为被联合国粮农组织向全球推广的高品质鱼种, 其蛋白质含量高, 几乎不含胆固醇, 并且还富含丰富的氨基酸、矿物质、维生素、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)等, 是优质的营养物质来源^[2]。

随着虹鳟鱼的食用价值逐渐被消费者发现, 其市场需求量日益增加。虹鳟鱼作为“淡水三文鱼”, 其食用方式多以生鱼片为主^[4], 但鱼类的肌肉部分通常仅占整体 30%~50%, 而大量的鱼头、鱼骨、鱼皮、鱼内脏等加工副产物, 约占鱼体的 50%~70%, 却往往被作为废弃物丢弃^[5]。研究表明, 鱼类副产物中富含大量的优质蛋白质、脂肪等营养成分, 例如鱼骨中富含蛋白, 可以发酵制作鱼露^[5]; 鱼皮中富含丰富的胶原蛋白^[6], 可以用作美容养颜成分。截止目前, 虹鳟鱼肌肉营养成分已经有相关报道, 但是其加工副产物的营养成分尚不明确, 需要深入解析。综上, 为更好的对虹鳟鱼资源全利用, 本研究将对虹鳟鱼各组织的营养成分进行综合分析检测与评价, 以期为后续的产品开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*): 三倍体虹鳟鱼(新疆天

蕴有机农业有限公司), (3.5±0.5) kg, 冷冻恒温箱航运, 原料无质变。

硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠、95%乙醇、乙酸镁、石油醚(沸程 30~60℃)、硝酸、氯仿、甲醇、正己烷、三氟化硼乙醚、氯化钠(分析纯)、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂(国药集团化学试剂上海有限公司)。

1.2 仪器与设备

T10 均质机(德国 IKA 公司); DHG-9070A 鼓风干燥箱、DK-8AXX 型电热恒温水槽(上海一恒科学仪器有限公司); AX223ZH/E 电子天平(精度 0.001 g, 美国奥豪斯仪器有限公司); K9840 自动凯氏定氮仪、SH220F 石墨消解仪(山东海能科学仪器有限公司); SX2-4-10T 马弗炉(上海习仁科学仪器有限公司); SZF-06A 脂肪测定仪(上海洪纪仪器设备有限公司); S433D 全自动氨基酸分析仪(德国赛卡姆 Sykam 公司); RE-52AA 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); GC-2010 气相色谱仪(日本岛津公司); iCAP TQ 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

虹鳟鱼的肉、肠、肝、心、肚、皮、骨、鱼板油均质分别装入塑封袋中, 放入-18℃冷冻保藏, 测定营养成分前, 拿出适量常温下化冻 1 h。

1.3.2 基本营养成分的测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》直接干燥法测定水分含量; 参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》总灰分方法测定灰分含量; 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定粗脂肪含量; 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定粗蛋白质含量。

1.3.3 氨基酸含量测定及营养评价

氨基酸含量测定采用 GB 5009.124—2016《食品安全

国家标准《食品中氨基酸的测定》中的方法,以全自动氨基酸分析仪对虹鳟鱼各个组织中的 17 种常见氨基酸进行分析,并测定了鱼皮和鱼骨中的羟脯氨酸含量。

根据 1973 年联合国粮农组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)建议的每克氮氨基酸评分标准模式和鸡蛋蛋白质模式进行营养价值评定,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, EAAl)按文献^[7]计算。

1.3.4 矿物质元素含量测定

参考 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,采用电感耦合等离子体质谱仪测定虹鳟鱼各组织部位中的常见矿质元素及重金属元素的含量。

1.3.5 脂肪酸组成测定及营养评价

参考邹舟等^[8]的方法进行总脂肪的提取及甲酯化,并稍作修改。分别取虹鳟鱼各部位组织 20 g,冻干后加入 50 mL 氯仿-甲醇溶液(2:1, V:V),静置提取 12 h,过滤后于 45°C 旋转蒸发。在旋蒸后得到的样品中加入 30 mL 石油醚(沸程 30~60°C),静置提取 12 h,取上清液吹氮气除去多余的石油醚,−20°C 保存备用。取 50 mg 上述样品,加入 2 mL 0.5 mol/L 的氢氧化钠-甲醇溶液,于 60°C 水浴溶解后冷却至室温。冷却后的样品加入 2 mL 25% 的三氟化硼乙醚-甲醇溶液,于 60°C 水浴 20 min,冷却后加入 2 mL 正己烷,振荡 2 min,加入 2 mL 饱和氯化钠溶液。取上层有机相采用气相色谱法进行测定。

饱和度和(saturation, S/P)、动脉粥样硬化指数(atherosclerosis index, AI)和凝血指数(thrombin index, TI)根据 ULBRICHT 等^[9]的方法计算。降胆固醇/致高血脂比率(high-density lipoprotein/ high blood fat ratio, HH)根据 SANTOS-SILVA 等^[10]计算。

1.4 数据处理

数据以“平均值±标准偏差”表示,采用 Excel 2016 进行数据处理,Origin 2021 进行绘图,SPSS 进行沃勒-邓肯显著性分析, $P < 0.05$ 表示显著性差异。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分

水产品的主要营养成分(水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白)是衡量水产品营养和品质的重要指标^[11]。虹鳟鱼各部分(除鱼板油外)的基本营养成分如表 1 所示,可见虹鳟鱼各组分中鱼骨水分含量最低,而心脏中水分含量最高。整体而言,相对于其他鱼类,虹鳟鱼的水分含量偏低,这主要是由于虹鳟鱼粗脂肪含量偏高。虹鳟鱼各组织粗脂肪含量在 8.74%~25.11%之间,心脏中最低,而鱼肚中最高,鱼肉中的粗脂肪含量居于各组织中上等,这也是虹鳟鱼肉嫩滑多汁、口感清爽的主要原因。鱼皮中的粗蛋白含量最高为 26.34%,其次为鱼肉达 20.38%,与已报道结果一致^[12-14],高于常见淡水鱼 18%左右的数据。灰分含量中,除去鱼骨中灰分含量最高为 5.81%外,其他组织灰分含量均较低处于 0.52%~1.79%之间,因此可能在矿物质方面贡献较少。

2.2 氨基酸组成及分析

2.2.1 呈味氨基酸分析

呈味氨基酸的组成和含量决定了鱼肉的鲜美程度^[15],主要呈现鲜、甜、苦 3 种味道,由于其含量的不同会使水产品呈现出不同滋味^[16]。在虹鳟鱼各组织中呈味氨基酸所占的比例较大,其中鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸,总量基本在 20~30 g/100 g 蛋白之间,其中鱼肉的呈味氨基酸和谷氨酸之和最高为 24.32 g/100 g 蛋白,鱼皮最低为 13.40 g/100 g 蛋白;甜味氨基酸包括甘氨酸和丙氨酸,两者之和占氨基酸总量差异较大,在鱼皮中最高,为 18.32 g/100 g 蛋白,鱼骨中最低,为 10.09 g/100 g 蛋白,但综合来看,虹鳟鱼各组织的呈味氨基酸与苦味氨基酸比值均大于 1,可以看出鲜味和甜味能有效掩盖其苦味(表 2)。文献报道挪威三文鱼肉中的谷氨酸 3.12 g/100 g 蛋白、甘氨酸 4.33 g/100 g 蛋白、丙氨酸 1.22 g/100 g 蛋白^[12],明显小于本研究中虹鳟鱼的谷氨酸 14.59 g/100 g 蛋白、甘氨酸 4.59 g/100 g 蛋白、丙氨酸 5.55 g/100 g 蛋白,并且虹鳟鱼的鲜味和甜味氨基酸含量也高于草鱼^[17]和石斑鱼^[18],表明虹鳟鱼具有良好的水产品鲜美品质。

表 1 虹鳟鱼各组织基本营养成分(以湿基计, %, $n=3$)

Table 1 Basic nutrient components in different tissues of *Oncorhynchus mykiss* (wet basis, %, $n=3$)

营养成分	肉	肠	肝	心	肚	皮	骨
水分	66.73±1.88 ^{bc}	71.92±1.46 ^{ab}	73.76±0.01 ^{ab}	78.99±0.02 ^a	63.35±9.10 ^c	60.01±0.90 ^{cd}	53.97±0.05 ^d
灰分	1.09±0.10 ^c	1.79±0.25 ^b	1.54±0.04 ^b	1.03±0.15 ^c	0.52±0.04 ^d	1.19±0.05 ^c	5.81±0.04 ^a
粗脂肪	11.58±0.96 ^{cd}	15.67±0.69 ^b	10.26±0.91 ^{cd}	8.74±0.81 ^d	25.11±2.72 ^a	12.43±1.72 ^{bc}	22.91±1.83 ^a
粗蛋白	20.38±1.83 ^b	11.07±0.85 ^{dc}	14.02±1.62 ^{cd}	11.50±0.33 ^{de}	9.81±0.89 ^c	26.34±1.46 ^a	16.25±1.23 ^c

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下表 2~4 同。

表 2 虹鳟鱼各组织的氨基酸含量(以湿基计, g/100 g 蛋白质, n=3)
Table 2 Amino acids content in different tissues of *Oncorhynchus mykiss* (wet basis, g/100 g pro, n=3)

氨基酸	肉	肠	肝	心	肚	皮	骨
天冬氨酸 [#]	9.73±2.14 ^a	8.77±1.14 ^b	8.73±0.25 ^b	7.79±0.08 ^c	7.28±0.94 ^{cd}	5.17±0.83 ^c	7.19±0.75 ^d
谷氨酸 [#]	14.59±3.27 ^a	13.40±1.78 ^b	12.92±0.33 ^{bc}	12.04±0.08 ^c	11.26±1.66 ^{cd}	8.23±1.43 ^c	11.08±1.28 ^d
丝氨酸 [#]	3.30±0.68 ^{ab}	4.19±0.52 ^a	3.79±0.06 ^a	3.49±0.23 ^{ab}	3.55±0.50 ^{ab}	2.86±0.53 ^b	2.77±0.30 ^b
组氨酸 [*]	3.03±0.49 ^a	2.19±0.54 ^b	2.41±0.14 ^{ab}	2.52±0.31 ^a	1.73±0.11 ^b	1.19±0.17 ^c	2.08±0.18 ^b
甘氨酸 [#]	4.59±0.97 ^c	9.55±1.03 ^c	5.10±0.13 ^d	10.44±6.52 ^b	9.82±1.79 ^b	12.88±2.73 ^a	5.33±0.70 ^d
苏氨酸 ^{#△}	4.40±0.88 ^a	4.52±0.67 ^a	4.23±0.00 ^a	4.36±0.05 ^a	3.47±0.34 ^b	2.27±0.37 ^c	3.33±0.34 ^b
精氨酸	5.59±1.17 ^{ab}	6.16±0.96 ^a	5.67±0.15 ^{ab}	5.47±0.38 ^{ab}	5.50±0.86 ^a	5.29±1.03 ^b	4.63±0.72 ^c
丙氨酸 [#]	5.55±1.12 ^b	5.69±0.72 ^b	5.38±0.01 ^b	6.41±1.49 ^a	5.65±0.97 ^b	5.44±1.04 ^b	4.76±0.60 ^c
酪氨酸 ^{*△}	2.60±0.23 ^a	2.12±0.37 ^b	2.86±0.27 ^a	2.98±0.71 ^a	1.39±0.18 ^c	0.54±0.04 ^d	2.35±0.85 ^{ab}
半胱氨酸 [△]	0.33±0.00 ^a	0.26±0.05 ^a	0.30±0.21 ^a	0.16±0.05 ^b	0.15±0.05 ^b	0.04±0.00 ^b	0.23±0.07 ^{ab}
缬氨酸 ^{*△}	5.71±1.24 ^{ab}	4.87±0.81 ^c	6.31±0.15 ^a	5.75±0.39 ^{ab}	4.00±0.56 ^d	2.09±0.29 ^c	4.13±0.49 ^{cd}
蛋氨酸 [△]	1.77±0.56 ^{ab}	0.79±0.53 ^b	1.98±0.81 ^a	0.71±0.67 ^b	0.78±0.47 ^b	0.72±0.09 ^b	2.36±0.72 ^a
苯丙氨酸 ^{*△}	4.10±0.89 ^a	3.53±0.60 ^{ab}	4.38±0.11 ^a	3.55±0.14 ^{ab}	2.89±0.48 ^b	1.75±0.24 ^c	2.95±0.35 ^b
异亮氨酸 ^{*△}	4.91±1.07 ^a	3.98±0.61 ^b	4.38±0.07 ^{ab}	3.83±0.31 ^b	3.16±0.44 ^c	1.54±0.17 ^d	3.38±0.40 ^{bc}
亮氨酸 ^{*△}	7.36±1.50 ^a	6.14±0.90 ^b	7.39±0.11 ^a	6.90±0.19 ^{ab}	5.02±0.68 ^c	2.57±0.30 ^d	5.37±0.66 ^{bc}
赖氨酸 ^{*△}	9.08±2.10 ^a	5.89±0.87 ^{cd}	7.08±0.06 ^b	6.08±0.59 ^c	4.82±0.70 ^d	2.97±0.38 ^c	5.84±0.82 ^{cd}
脯氨酸	2.79±0.43 ^d	4.81±0.29 ^b	3.36±0.50 ^c	4.64±1.77 ^b	5.21±0.98 ^{ab}	6.88±1.41 ^a	3.88±0.70 ^c
呈味氨基酸/ 苦味氨基酸	1.14±0.02 ^c	1.61±0.04 ^{bc}	1.15±0.02 ^{dc}	1.41±0.19 ^{cd}	1.76±0.03 ^b	2.75±0.24 ^a	1.35±0.05 ^{cd}

注: *苦味氨基酸, #呈味氨基酸, △必需氨基酸。

2.2.2 氨基酸评分和化学评分分析

氨基酸是蛋白质的基本组成成分,蛋白质在机体内的消化和吸收是通过氨基酸来完成的^[12],其组成比例越接近人体必需氨基酸组成比例,表明其质量越优良,蛋白质的吸收利用率及营养价值就越高^[19]。AAS 和 CS 是由 1973 年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)与联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)及中国预防医学科学院营养与食品卫生研究提出,将样品中氨基酸换算为每 g 蛋白质中氨基酸 mg 数,再与参考蛋白质中同种氨基酸的推荐值进行比较,是营养学中对蛋白质进行营养评价的重要指标^[14],分数约接近 100,说明样品中的必需氨基酸含量与评分模式中该必需氨基酸含量比值越接近,蛋白的营养价值也就越高^[20]。

除色氨酸未检测以外,虹鳟鱼各组织检测到 17 种氨基酸,各组织必需氨基酸含量占蛋白质含量从大到小依次为:鱼肉>鱼肝>鱼心>鱼肠>鱼骨>鱼肚>鱼皮,其中鱼肉中的必需氨基酸含量最高(40.27 g/100 g 蛋白),鱼皮中的必需氨基酸含量最低(14.48 g/100 g 蛋白)。鱼肉、鱼肝高于 FAO/WHO 模式,但均低于鸡蛋蛋白模式。

以 AAS 为评价标准时结果如表 3,除鱼皮、鱼肚、鱼骨 AAS 总评分值为 41.26%、73.39%、85.53%外,虹鳟鱼其余各组织的 AAS 均在 100%左右,这是由于鱼骨、鱼皮的蛋白主要是胶原蛋白,而鱼肚的胶原蛋白含量也相对较

高。从限制氨基酸来看,蛋氨酸为虹鳟鱼全组织的第一限制氨基酸。以 CS 为评价标准时结果如表 4,除鱼皮、鱼肚 CS 总评分值为 29.13%、51.68%较低以外,其他组织均在 60%以上。此外,鱼肉、鱼肝、鱼肠、鱼心和鱼骨的赖氨酸的 AAS 和 CS 评分均高于 90%,赖氨酸在中枢神经组织功能中起着至关重要的作用,摄入赖氨酸来源丰富的食物有助于增加机体对钙、铁等矿物质元素的吸收^[21]。因此,对于以谷物为主食的人群来讲,虹鳟鱼是补充赖氨酸的重要途径,可提高膳食蛋白质的营养价值。

2.2.3 营养价值评价

EAAI 是同时考虑待测蛋白中所有必需氨基酸相对于一种高价参比蛋白质(一般为标准鸡蛋白或 FAO/WHO 计)中必需氨基酸的比率,EAAI 值越大,代表氨基酸组成越平衡,蛋白质质量和利用率越高^[22]。如表 5 所示,虹鳟鱼各组织的 EAAI 值从大到小依次为:鱼肉>鱼肝>鱼心>鱼骨>鱼肠>鱼肚>鱼皮,以 FAO/WHO 计,肉肉的 EAAI 值最高为 108.70%,鱼皮的 EAAI 值最低为 39.42%;以鸡蛋蛋白模式计,肉肉的 EAAI 值最高为 76.43%,鱼皮的 EAAI 值最低为 27.72%。当以 FAO/WHO 计算时 EAAI>100%,或以鸡蛋蛋白模式计时 EAAI>70%,均表明此物质易于人体吸收。从结果上来看,肉、肝大于上述数值,因此说明其组织的氨基酸含量和种类均衡性较好,利于人体吸收和消化,而对鱼皮而言,虽然含有较高的胶原蛋白含量,但其氨基酸组成并不均衡。

表 3 虹鳟鱼各组织氨基酸评分(% , n=3)
Table 3 Amino acid scores for different tissues of *Oncorhynchus mykiss* (% , n=3)

氨基酸	肉	肠	肝	心	肚	皮	骨	FAO/WHO 模式/(g/100 g)
苏氨酸	110.12±0.22 ^a	112.93±0.17 ^a	105.87±0.00 ^a	108.92±0.01 ^a	86.71±0.08 ^b	56.78±0.09 ^c	83.20±0.08 ^b	4.00
缬氨酸	114.20±0.25 ^b	97.35±0.16 ^c	126.16±0.03 ^a	115.04±0.08 ^b	79.95±0.11 ^d	41.86±0.06 ^c	82.51±0.10 ^d	5.00
半胱氨酸+蛋氨酸	59.88±0.16 ^b	29.94±0.17 ^c	65.10±0.29 ^{ab}	24.88±0.21 ^c	26.60±0.15 ^c	21.45±0.02 ^c	74.04±0.23 ^a	3.50
异亮氨酸	122.84±0.27 ^a	99.52±0.15 ^c	109.51±0.02 ^b	95.74±0.08 ^c	79.07±0.11 ^d	38.40±0.04 ^c	84.55±0.10 ^d	4.00
亮氨酸	105.20±0.21 ^a	87.72±0.13 ^c	105.60±0.02 ^a	98.52±0.03 ^{ab}	71.75±0.10 ^d	36.72±0.04 ^c	76.77±0.09 ^d	7.00
苯丙氨酸+酪氨酸	111.62±0.19 ^b	94.25±0.16 ^c	120.60±0.06 ^a	108.91±0.14 ^b	71.32±0.11 ^d	38.15±0.05 ^c	88.26±0.20 ^{cd}	6.00
赖氨酸	165.10±0.38 ^a	107.08±0.16 ^c	128.80±0.01 ^b	110.47±0.11 ^c	87.72±0.13 ^d	53.94±0.07 ^e	106.19±0.15 ^c	5.50
总计	115.05±1.68 ^a	91.71±1.10 ^b	111.18±0.43 ^a	98.05±0.65 ^{ab}	73.39±0.79 ^d	41.36±0.38 ^c	85.53±0.95 ^{bc}	35.00

表 4 虹鳟鱼各组织化学评分(% , n=3)
Table 4 Chemical scores for different tissues of *Oncorhynchus mykiss* (% , n=3)

氨基酸	肉	肠	肝	心	肚	皮	骨	鸡蛋蛋白模式/(g/100 g)
苏氨酸	86.37±0.17 ^a	88.57±0.13 ^a	83.04±0.00 ^a	85.43±0.01 ^a	68.01±0.07 ^b	44.54±0.07 ^c	65.26±0.07 ^b	5.10
缬氨酸	78.22±0.17 ^b	66.68±0.11 ^c	86.41±0.02 ^a	78.80±0.05 ^b	54.76±0.08 ^d	28.67±0.04 ^c	56.52±0.07 ^d	7.30
半胱氨酸+蛋氨酸	38.10±0.10 ^a	19.05±0.11 ^b	41.43±0.18 ^a	15.83±0.13 ^b	16.93±0.10 ^b	13.65±0.02 ^b	47.11±0.14 ^a	5.50
异亮氨酸	74.45±0.16 ^a	60.31±0.09 ^b	66.37±0.01 ^{ab}	58.02±0.05 ^b	47.92±0.07 ^c	23.28±0.03 ^d	51.24±0.06 ^{bc}	6.60
亮氨酸	83.68±0.17 ^a	69.78±0.10 ^{ab}	84.00±0.01 ^a	78.37±0.02 ^a	57.07±0.08 ^c	29.21±0.03 ^d	61.07±0.07 ^b	8.80
苯丙氨酸+酪氨酸	66.97±0.11 ^a	56.55±0.10 ^b	72.36±0.04 ^a	65.35±0.08 ^a	42.79±0.07 ^c	22.89±0.03 ^d	52.95±0.12 ^b	10.00
赖氨酸	141.88±0.33 ^a	92.03±0.14 ^c	110.69±0.01 ^b	94.93±0.09 ^c	75.39±0.11 ^d	46.36±0.06 ^c	91.26±0.13 ^c	6.40
总计	81.02±1.22 ^a	64.58±0.77 ^b	78.30±0.27 ^a	69.05±0.44 ^b	51.68±0.56 ^c	29.13±0.28 ^d	60.23±0.66 ^b	49.70

表 5 虹鳟鱼各组织营养价值评价(% , n=3)
Table 5 Essential amino acid indexes for different tissues of *Oncorhynchus mykiss* (% , n=3)

虹鳟鱼各组织	EAAI (以鸡蛋蛋白计)	EAAI (以 FAO/WHO 计)
肉	76.43±3.04 ^a	108.70±3.63 ^a
肠	58.92±2.12 ^b	83.79±1.48 ^b
肝	74.94±2.37 ^a	106.58±4.98 ^a
心	60.62±3.10 ^b	86.21±0.94 ^b
肚	47.63±1.19 ^c	67.74±1.64 ^c
皮	27.72±0.93 ^d	39.42±0.99 ^d
骨	59.46±3.47 ^b	84.56±2.68 ^b

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2.4 羟脯氨酸及胶原蛋白含量

羟脯氨酸是胶原蛋白的特征氨基酸, 胶原蛋白能够作为细胞、生长因子和药物的载体, 具有结合能力^[23], 还能够充当组织支架, 有助于机体组织器官的修复和重建; 通过羟脯氨酸含量乘以相应系数(水产动物一般采用 11.1)可以推算出胶原蛋白含量^[24]。虹鳟鱼皮鱼骨及中羟脯氨酸含量分

别为 1.82、1.50 g/100 g, 经过换算, 鱼骨及鱼皮中的胶原蛋白含量分别为 20.20、16.65 g/100 g。可以看出, 鱼骨和鱼皮中的胶原蛋白含量相对较高, 因此在蒸煮鱼皮鱼骨时, 由于高含量的胶原析出, 鱼皮、鱼骨在蒸煮后其表面质地黏腻软烂, 也表明了食用鱼皮、鱼骨汤可能实现美容养颜的说法。同时, 也可以看出, 鱼皮和鱼骨因其较高的胶原含量, 可以用于开发鱼胶原、明胶或胶原肽等产品。

2.3 矿物质及重金属含量分析

矿物元素不仅影响鱼体物质代谢、生长发育和疾病防治, 也影响鱼肉营养价值及鱼肉产品的货架期和风味^[25]。虹鳟鱼各组织矿质元素的含量测定结果可知, 总体而言, 鱼骨中钙、钠、镁的含量均最高, 分别为 31084.65、1498.66、613.81 mg/kg, 与已报道结果一致^[3], 钙含量高于已报道的鲟鱼骨^[26]; 钙元素是动物骨骼和牙齿的重要组成成分, 镁能够激活生物体内的多种酶, 其中对骨骼生长发育较为重要的有碱性磷酸酶和焦磷酸酶等及所有受 ATP 催化的酶都要有 Mg^{2+} 存在^[5], 并且镁元素在保护人体心血管、预防心脏病等方面起着积极的作用, 可以利用鱼骨开发补充钙、镁元素的系列健康休闲食

品。鱼肉中钾含量最高达 3816.97 mg/kg, 而钙含量 (240.63 mg/kg) 明显大于挪威三文鱼 (60.01 mg/kg)^[27], 鱼骨、鱼皮、鱼肉中富含丰富的镁元素, 明显大于挪威三文鱼 (28.22 mg/kg)^[27]。同时, 铁元素在鱼肝中含量也最高达到 272.24 mg/kg, 而鱼心中铁元素含量也较高, 可开发相关儿童补铁产品, 对于预防贫血症方面起到一定的作用^[25], 并且有利于生理期女性健康^[28]。硒作为一种能够有效抗癌的微量元素, 一直以来备受关注, 淡水鱼中的平均浓度是 0.169 mg/kg^[29]。鱼肝中的硒含量远超同体其余组织, 是其 20~30 倍, 是极为优异的富硒原料, 且鱼肉的硒大于挪威三文鱼 (0.15 mg/kg)^[27]。而鱼肠中含有较为丰富的锌元素, 有利于儿童智力和男性性功能发育^[28]。因此, 从矿物质的角度来评价虹鳟鱼, 其能够较好地满足人体对于矿物质元素的需要。

2.4 脂肪酸组成分析

虹鳟鱼各组织共检出 24 种脂肪酸, 脂肪酸组成集中在 C12~C22 之间, 其中饱和脂肪酸 8 种, 单不饱和脂肪酸 5 种, 多不饱和脂肪酸 11 种。总体上, 虹鳟鱼各个组成部位中的多不饱和脂肪酸含量均较高, 在 50% 左右, 其中又以鱼皮中的多不饱和脂肪酸占比最高, 达 55.20%; 而单不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的占比大都在 19%~34% 之间。

在虹鳟鱼各组织检测到的多不饱和脂肪酸中, 亚油酸 (C18:2) 含量最高, 亚油酸在人体内科被转化为 γ -亚麻酸、二高- γ -亚麻酸和花生四烯酸, 可以使胆固醇脂化, 从而降低血清和肝脏中的胆固醇水平, 对糖尿病也有着预防的作用^[30]。除鱼肝外, 其他组织的占比都在 30% 以上, 是张雯等^[12]报道的养殖虹鳟鱼肉 (13.80%) 和市售挪威三文鱼肉 (15.14%) 的 2 倍及以上, 造成脂肪酸差异的原因是具有不同的遗传背景、饲喂情况等^[31-33]; 其次为 DHA (C22:6), 在鱼肉、鱼肝和鱼心中的含量都在 10% 以上。鱼肉和鱼肝中的 EPA (C20:5) 含量也高于其他组织。对于各部位间 DHA+EPA 的总量进行分析, 发现鱼肉 (14.85%) 最高, 其次是鱼肝 (13.97%) 和鱼心 (12.57%), 而其他部位中的含量相对较少^[34]。DHA 和 EPA 可以改善人类健康并预防许多疾病, 在降低人类脂肪蓄积、减少心血管疾病、减缓炎症反应、促进神经发育和抗击癌症等方面发挥积极的作用^[35]。因富含较高的不饱和脂肪酸, 鱼肝可以综合利用开发鱼肝油产品。

在检测到的单不饱和脂肪酸含量在 19.96%~33.47% 之间, 其中以油酸 (C18:1) 含量最高, 各组织中均达 20% 左右, 明显高于挪威三文鱼肉 (10.13%)^[12]。饱和脂肪酸中则以棕榈酸 (13%~17%) 和硬脂酸 (3%~7%) 为主。另外, 高水平的动脉粥样硬化指数 (arteriosclerosis index, AI) 和凝血

指数 (coagulation index, TI) 大于 1, 会对人体的健康造成危害^[12]。AI 表示促动脉粥样硬化的能力, 从而预防冠心病。TI 表示在血管中形成凝块的倾向^[13]。本研究中, 虹鳟各组织的数值均小于 0.4, 进一步表明此虹鳟鱼在脂肪酸组成上属于优质鱼类。作为副产物的鱼板油其总饱和脂肪酸含量、AI 值均最低, 表明其健康属性较好, 可以开发成健康食用油脂。

因此从脂肪酸的营养组成考量, 虹鳟鱼各组织中除直接做生鱼片鲜食的鱼肉外, 鱼板油、鱼肝和鱼心等均有较高的利用价值。

3 结 论

虹鳟鱼各组分中鱼骨水分含量最低, 而心脏中水分含量最高。虹鳟鱼各组织粗脂肪含量为 8.74%~25.1%, 心脏中最低, 而鱼肚中最高, 鱼肉中的粗脂肪含量居于各组织中上等。鱼皮中的粗蛋白含量最高为 26.34%, 其次为鱼肉达 20.38%。灰分含量中, 除去鱼骨中灰分含量最高为 5.8% 外, 其他组织灰分含量均较低处于 0.51%~1.78% 之间。从氨基酸角度来看, 除色氨酸未检测以外, 虹鳟鱼各组织检测到 17 种氨基酸, 各组织必需氨基酸含量占蛋白质含量从大到小依次为: 鱼肉>鱼肝>鱼心>鱼肠>鱼骨>鱼肚>鱼皮, 其中鱼肉中的必需氨基酸含量最高 (40.27 g/100g 蛋白), 鱼皮中的必需氨基酸含量最低 (14.48 g/100g 蛋白)。依照 AAS 和 CS 评分来看, 除鱼皮、鱼肚、鱼骨外, 虹鳟鱼其余各组织的 AAS 均在 100% 左右, CS 评分均在 60% 以上。而鱼皮、鱼骨中胶原蛋白含量较高, 可作为鱼胶原、明胶或胶原肽等产品。从矿物质角度来看, 鱼骨中钙、钠、镁含量最高, 鱼肉中钾含量最高, 鱼肝中铁含量最高, 其次为鱼心。从脂肪酸角度来看, 虹鳟鱼各组织中的多不饱和脂肪酸含量均较高, 占 50% 左右; 单不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的占比大部分在 19%~34% 之间; AI、TI 数值均小于 0.4, 进一步表明此虹鳟鱼在脂肪酸组成上属于优质鱼类。综上所述, 虹鳟鱼各部位营养特性各不相同, 食品加工企业可以根据各部位的食用特性并结合其营养特点开发合适的开袋即食、方便休闲食品以及营养健康的胶原肽、食用油脂等产品。

参考文献

- [1] LI WN, LIU Y, JIANG W, et al. Proximate composition and nutritional profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) heads and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) heads [J]. *Molecules*, 2019, 24(17): 3189-3200.
- [2] 王金娜, 邵定敏, 安苗. 虹鳟鱼养殖发展研究概况 [J]. *河北渔业*, 2015, (3): 62-65.
- WANG JN, TAI DM, AN M, et al. Research progress of *Oncorhynchus mykiss* aquaculture [J]. *Hebei Fish*, 2015, (3): 62-65.

- [3] 窦玉龙, 吴立新. 虹鳟鱼营养与摄食研究进展[J]. 中国水产, 2021, (4): 64-72.
DOU YL, WU LX. Research progress in nutrition and feeding of *Oncorhynchus mykiss* [J]. China Fish, 2021, (4): 64-72.
- [4] 陈俊杰, 陈季旺, 谭玲, 等. 富硒虹鳟鱼冷藏过程中食用和营养品质的变化[J]. 武汉轻工大学学报, 2021, 40(3): 1-9.
CHEN JJ, CHEN JW, TAN L, *et al.* Change in edible and nutritional qualities of se-rich rainbow trout during cold storage [J]. J Wuhan Poly Univ, 2021, 40(3): 1-9.
- [5] 赵楠, 李学科, 张春晖, 等. 虹鳟鱼骨营养成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2016, (1): 141-146.
ZHAO N, LI XK, ZHANG CH, *et al.* Nutritional components of trout bone [J]. China Food Addit, 2016, (1): 141-146.
- [6] 张治国, 肖朝耿, 唐宏刚, 等. 虹鳟鱼皮胶原蛋白提取及其性质研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(8): 148-154.
ZHANG ZG, XIAO CG, TANG HG, *et al.* Studies on extraction and characterisation of acid-soluble collagen from skin of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(8): 148-154.
- [7] 孙中武, 李超, 尹洪滨, 等. 不同品系虹鳟的肌肉营养成分分析[J]. 营养学报, 2008, 30(3): 298-298.
SUN ZW, LI C, YIN HB, *et al.* Analysis of the nutritional composition in muscle of five varieties of *Oncorhynchus mykiss* [J]. Acta Nutr Sin, 2008, 30(3): 298-298.
- [8] 邹舟, 王琦, 于刚, 等. 鲢鱼各部位磷脂组分及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 105-109.
ZOU Z, WANG Q, YU G, *et al.* Lipid classes and fatty acid composition of phospholipids from different parts of silver carp [J]. Food Sci, 2014, 35(24): 105-109.
- [9] ULBRICHT TLV, SOUTHGATE DAT. Coronary heart disease: Seven dietary factors [J]. Lancet, 1991, 338: 985-992.
- [10] SANTOS-SILVA J, MENDES IA, BESSA RJB. The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs: 1. Growth, carcass composition and meat quality [J]. Livest Prod Sci, 2002, 76(1-2): 17-25.
- [11] 凌胜男, 刘特元, 陈雪叶, 等. 鲢鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2021, 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, 2021, 38(3): 41-48.
- [12] 张雯, 韦玲冬, 张玉明, 等. 养殖虹鳟与大西洋鲑肉质和营养成分比较研究[J]. 家畜生态学报, 2021, 42(1): 74-78.
ZHANG W, WEI LD, ZHANG YM, *et al.* Comparative analysis of the fillet quality and composition between cultured rainbow trout and *Atlantic salmon* [J]. J Domest Anim Ecol, 2021, 42(1): 74-78.
- [13] MILENA B, LENKA K, MILAN T. Fatty acids profile, atherogenic and thrombogenic indices in freshwater fish common carp (*Cyprinus carpio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from market chain [J]. Cent Eur J Pub Health, 2020, 28(4): 313-319.
- [14] 邓士秋, 段青源, 申屠基康. 饲料脂质对养殖鱼类品质的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(5): 301-306.
DENG SQ, DUAN QY, SHENTU JK. Effect of dietary lipids on flesh quality in farmed fish [J]. Fish Sci, 2011, 30(5): 301-306.
- [15] 许丹, 朱剑, 严忠雍, 等. 加工方式对金枪鱼糜制品氨基酸组成和营养价值影响研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(11): 74-80.
XU D, ZHU J, YAN ZY, *et al.* Amino acid composition and nutritional value of tuna surimi products prepared by different processing methods [J]. China Cond, 2020, 45(11): 74-80.
- [16] 韩昕苑, 樊震宇, 从娇娇, 等. 冻融循环过程中冷冻罗非鱼片呈味物质的变化[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 269-275.
HAN XY, FAN ZY, CONG JJ, *et al.* Changes of taste substances in frozen tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during freeze-thaw cycles [J]. Food Sci, 2022, 43(2): 269-275.
- [17] 毛东东, 张凯, 欧红霞, 等. 2种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2226-2234.
MAO DD, ZHANG K, OU HX, *et al.* Comparative analysis on flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed with two kinds of feeds [J]. Chin J Anim Nutr, 2018, 30(6): 2226-2234.
- [18] 赵亭亭, 张岩, 陈超, 等. 3种养殖石斑鱼的肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 89-96.
ZHAO TT, ZHANG Y, CHEN C, *et al.* Analysis of nutrient components and evaluation of nutritive quality in flesh of three species of cultured groupers [J]. Prog Fish Sci, 2018, 39(6): 89-96.
- [19] 陈宏靖, 李鑫. 鲜活水产品氨基酸成分分析及营养评价[J]. 海峡药学, 2020, 32(1): 76-78.
CHEN HJ, LI X. Amino acid analysis and nutritional evaluation of fresh aquatic products [J]. J Strait Pharm, 2020, 32(1): 76-78.
- [20] 陈志婧, 廖成松. 7个不同品种藜麦营养成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 266-271.
CHEN ZJ, LIAO CS. Comparative of 7 different varieties of chenopodium quinoa [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(23): 266-271.
- [21] 王玉林, 林婉玲, 李来好, 等. 4目13种淡水鱼肌肉基本营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 277-283.
WANG YL, LIN WL, LI LH, *et al.* Basic nutrient composition analysis of freshwater fish muscles based on four orders and thirteen species [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(11): 277-283.
- [22] 曹平. 棘头梅童鱼营养成分分析及其亲鱼营养状态研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
CAO P. Analysis of nutritional components of *Collichthys lucidus* and nutritional status of its broodstocks [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [23] SCHUPPAN D, SCHMID M, SOMASUNDARAM R, *et al.* Collagens in the liver extracellular matrix bind hepatocyte growth factor [J]. Gastroenterology, 1998. DOI: 10.1016/s0016-5085(98)70642-0

- [24] 张殿福, 吴雷, 张学振, 等. 大西洋鲑、三倍体虹鳟和金鳟的肌肉营养成分与品质特性[J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 186–194.
ZHANG DF, WU L, ZHANG XZ, *et al.* Nutrient components and texture profiles in the flesh of *Atlantic salmon*, triploid rainbow trout, and golden trout [J]. *J Fish Sci Chin*, 2020, 27(2): 186–194.
- [25] 谌芳, 刘晓娜, 吉维舟, 等. 5 种淡水鱼的肌肉及肝脏营养成分测定及比较[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(11): 108–111.
SHEN F, LIU XN, JI WZ, *et al.* Detection of nutritional components in muscle and liver of five freshwater fishes [J]. *J Guizhou Agric Sci*, 2016, 44(11): 108–111.
- [26] 郝淑贤, 石红, 杨贤庆, 等. 鲟鱼软骨成分分析及营养评价[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(9): 72.
HAO SX, SHI H, YANG XQ, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient composition of sturgeon cartilage [J]. *Food Ferment Ind*, 2006, 32(9): 72.
- [27] 岑剑伟, 郝淑贤, 魏涯, 等. 不同来源鲑科鱼肌肉营养组成比较[J]. 南方农业学报, 2020, 51(1): 176–182.
CEN JW, HAO SX, WEI Y, *et al.* Comparison of nutrition components difference of salmonidae from different countries [J]. *J South Agric*, 2020, 51(1): 176–182.
- [28] 施晓玲, 蒋林惠, 程晓宏, 等. 鲟鱼软骨中微量元素含量分析及营养评价[J]. 水产养殖, 2017, 38(10): 38–41.
SHI XL, JIANG LH, CHENG XH, *et al.* Analysis of trace elements in sturgeon's cartilage and nutrition evaluation [J]. *J Aquacult*, 2017, 38(10): 38–41.
- [29] YANG LP, GUO MC, XIN CL, *et al.* Comparison of trace element concentrations in freshwater fish and marine fish consumed in Shandong province, China, and their potential risks to human health [J]. *Mar Pollut Bull*, 2021, 165: 112114.
- [30] 姜启兴, 吴佳芮, 许艳顺, 等. 鳙鱼不同部位的成分分析及营养评价[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 183–187.
JIANG QX, WU JR, XU YS, *et al.* Composition analysis and nutritional evaluation of different parts of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. *Food Sci*, 2014, 35(5): 183–187.
- [31] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 286–291.
LIN LM, WANG QR, WANG ZY, *et al.* Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* [J]. *China Fish Sci*, 2006, 13(2): 286–291.
- [32] SIMOES T, FONSECA SB, AUGUSTO A, *et al.* Changes in fatty acid profile and chemical composition of meagre (*Argyrosomus regius*) fed with different lipid and selenium levels [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2017, 119(6): 1600016.
- [33] TOCHER DR. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish [J]. *Rev Fish Sci*, 2003, 11(2): 107–184.
- [34] MIELCAREK K, PUŚCION-JAKUBIK A, GROMKOWSKA-KĘPKA KJ, *et al.* Proximal composition and nutritive value of raw, smoked and pickled freshwater fish [J]. *Foods*, 2020, 9(12): 1879.
- [35] TOCHER DR, BETANCOR MB, SPRAGUE M, *et al.* Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand [J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 89.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



高 沛, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工与保藏。
E-mail: g_pei1988@163.com



姜启兴, 副教授, 主要研究方向为食品加工与保藏。
E-mail: qixingj@163.com