

## 几种鱼卵营养成分对比分析

马双<sup>1,2</sup>, 郝淑贤<sup>1</sup>, 李来好<sup>1</sup>, 杨贤庆<sup>1</sup>, 黄卉<sup>1</sup>, 魏涯<sup>1</sup>, 岑剑伟<sup>1</sup>, 翟红蕾<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东广州 510300;

2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘要:** 为了解不同种类鱼卵营养组成特征, 文章分别测定了大西洋鲑 (*Salmon solar*)、飞鱼 (*Exocoetidae cypselurus*)、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)、西伯利亚鲟 (*Acipenser baeri*)、施氏鲟 (*A. schrenckii*)、俄罗斯鲟 (*A. gueldenstaedti*) 和达氏鳇 (*Huso dauricus*) 鱼卵的基本成分、氨基酸、脂肪酸及矿物质元素。结果显示, 飞鱼鱼卵水分质量分数 ( $813.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 最高, 灰分 ( $16.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和粗蛋白 ( $133.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 最低; 施氏鲟鱼卵粗蛋白 ( $281.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和粗脂肪 ( $166.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 最高; 大西洋鲑卵粗脂肪 ( $54.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 最低。俄罗斯鲟鱼卵总氨基酸 (TAA) ( $276.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和鲜味氨基酸 (DAA,  $93.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 最高; 除色氨酸外, 7 种鱼卵氨基酸评分均高于 FAO/WTO 标准, 且必需氨基酸 (EAA) 与 TAA 比为 41.34%~43.89%。鱼卵中饱和脂肪酸 (SFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和多不饱和脂肪酸 (PUFA) 的含量分别为 25.83%~35.41%、21.39%~26.65% 和 41.84%~47.77%, 其中 EPA+DHA 总量高达 20.06%~40.59%。鱼卵中常量元素磷 (P) 和微量元素铁 (Fe)、锌 (Zn) 含量较高。结果表明, 7 种鱼卵均含有各种丰富的营养成分, 但从粗脂肪、不饱和脂肪酸含量和氨基酸评价来看, 4 种鲟鱼卵的营养价值优于其他 3 种鱼卵。

**关键词:** 鱼卵; 氨基酸; 脂肪酸; 营养评价

中图分类号: R 151.3

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Comparative analysis of nutritional components of several roes

MA Shuang<sup>1,2</sup>, HAO Shuxian<sup>1</sup>, LI Laihao<sup>1</sup>, YANG Xianqing<sup>1</sup>, HUANG Hui<sup>1</sup>, WEI Ya<sup>1</sup>, CEN Jianwei<sup>1</sup>, ZHAI Honglei<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to analyze the nutrition characteristics of different kinds of roes, we determined the proximate composition, amino acids, fatty acids and mineral elements of roes of *Salmon solar*, *Exocoetidae cypselurus*, *Pseudosciaena crocea*, *Acipenser baeri*, *A. gueldenstaedti*, *A. schrenckii* and *Huso dauricus*. The results show that *E. cypselurus* roe had the highest moisture content ( $813.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), lowest ash content ( $16.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and lowest crude protein content ( $133.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). *A. schrenckii* roe had the highest crude protein content ( $281.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and crude fat content ( $166.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), and *S. solar* roe have the lowest crude fat content ( $54.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). The contents of total amino acids (27.67%) and delicious amino acids (9.31%) in *A. gueldenstaedti* roe were the highest. The amino acid score (AAS) of the seven kinds of roes were higher than the FAO/WTO standard except tryptophan, and the ratio of essential amino acids to total amino acids ranged from 41.34% to 43.89%. The contents of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty

收稿日期: 2018-11-28; 修回日期: 2019-03-31

资助项目: 国家自然科学基金项目 (31772051); 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-46)

作者简介: 马双 (1995—), 女, 硕士研究生, 从事水产品加工与质量安全控制研究。E-mail: shuangM2018@163.com

通信作者: 李来好 (1963—), 男, 博士, 研究员, 从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: laihao@163.com

acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) in seven kinds of roes were 25.83%–35.41%, 21.39%–26.65% and 41.84%–47.77%, respectively, and the total amount of EPA+DHA ranged from 20.06% to 40.59%. The roes contain high contents of phosphorus (P), iron (Fe) and zinc (Zn). Thus, the roes of the seven species are rich in various nutrients. According to the contents of crude fat and unsaturated fatty acid as well as amino acid evaluation, the nutritional values of four sturgeon roes are better than those of the other three kinds of roes.

**Key words:** roe; amino acid; fatty acid; nutritional evaluation

广义鱼子酱是从雌鱼卵巢的结缔组织中分离后得到的鱼卵,经筛选、盐渍而制得的产品<sup>[1]</sup>。随着鱼子酱需求的增加,鱼卵的加工利用越来越受到重视。鱼卵作为鳕鱼(*Gadus*)副产物,仅占鱼体质量的 5%,却能提供鳕鱼 31% 的经济价值<sup>[2]</sup>,鲟鱼(*Acipenser*)鱼卵约占鱼体质量的 10%,是鲟养殖产业主要的创汇来源<sup>[1]</sup>。因此,鱼卵具有较大的潜在利用价值和开发空间。近年来,野生鱼卵制作的鱼子酱逐渐减少,来自人工养殖鱼的鱼卵逐年增加<sup>[3]</sup>。截至 2017 年全球鲟鱼子酱生产量约为 364 t<sup>[4]</sup>,预计 2020 年总生产量将达 550 t<sup>[5]</sup>。鱼卵富含蛋白质、不饱和脂肪酸和矿物质元素<sup>[6]</sup>,对人体生长发育尤显重要,但目前中国对鱼卵利用率较低,一方面是因为对某些鱼卵营养成分、储藏条件认识不够清晰;另一方面是由于加工方式较为单一,未充分开发其经济价值。

鱼卵的营养成分不仅是评价鱼子酱品质<sup>[7]</sup>的重要指标,还可作为仔稚鱼营养需求<sup>[8]</sup>和研究鱼卵中过敏原<sup>[9]</sup>、开发鱼卵多肽<sup>[10]</sup>的参考依据。蒋左玉等<sup>[11]</sup>测定用山泉水人工养殖金鳙(*Oncorhynchus mykiss aguabonita*)鱼卵的粗脂肪和粗蛋白含量分别为 25.94% 和 7.37%;高露姣等<sup>[12]</sup>对 2 种不同鲟鱼卵营养成分差异进行研究,发现俄罗斯鲟(*A. gueldens-taediti*)鱼卵粗蛋白、脂肪酸含量优于西伯利亚鲟(*A. baeri*)。Bekhit 等<sup>[13]</sup>认为不同盐腌温度对蓝尖尾无须鳕(*Macruronus novaezelandiae*)鱼卵营养成分影响较小,不同盐腌时间对其水分和蛋白质含量影响较明显。

市场上鱼卵品种多样,如欧美常见的高首鲟(*A. transmontanus*)、匙吻鲟(*Polyodon spathula*)鱼卵<sup>[14]</sup>,和我国的俄罗斯鲟、西伯利亚鲟鱼卵<sup>[15]</sup>及广受人们喜爱的大西洋鲑(*Salmon solar*)鱼卵、飞鱼(*Exocoetidae cypselurus*)鱼卵等。不同品种鱼卵口感、风味、营养水平存在差异,目前对不同种类鱼卵营养成分对比研究分析较少。本文对 7 种常见鱼卵的营养成分进行分析,综合评价其营养品质,

以期为研究鱼卵的风味、品质差异及综合开发提供数据支撑和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

大西洋鲑鱼卵和飞鱼鱼卵购于海之幸华昌食品(漳州)有限公司;大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)鱼卵购于福建宁德;西伯利亚鲟鱼卵、俄罗斯鲟鱼卵、施氏鲟(*A. schrenckii*)鱼卵和达氏鳇(*Huso dauricus*)鱼卵均购于杭州千岛湖鲟龙科技股份有限公司。以上样品均为夏季养殖且未腌制加工过的鱼卵。氯仿、甲醇、石油醚、硝酸、硫酸等均为分析纯,购于广州化学试剂厂;正己烷、三氟化硼-甲醇溶液等均为高级纯,购于美国 Sigma-Aldrich 公司。

### 1.2 仪器与设备

BS224S 分析天平(美国 Sartorius 公司);HH-4 快速恒温数显水浴箱(常州澳华仪器公司);T50 高速分散均质机(德国 IKA 公司);Avanti J-26XP 高速离心机(美国贝克曼库尔特公司);2010PLUS GC-MS 气相色谱-质谱联用仪(日本岛津公司);Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦公司);CEM MARS5 高压高通量微波消解装置(美国 CEM 有限公司);Milli-Q 超纯水系统(美国密理博公司)。

### 1.3 实验方法

1.3.1 一般营养成分测定 水分含量参照 GB 5009.3—2016 测定;灰分含量参照 GB 5009.4—2010 测定;脂肪含量参照 GB 5009.6—2016 测定;蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016 的凯氏定氮法测定。

1.3.2 氨基酸的测定 参照 GB 5009.124—2016 中的盐酸水解法测定除色氨酸外的 16 种氨基酸;参照 GB/T 18246—2000 中的碱水解法测定色氨酸。

1.3.3 脂肪酸测定 参考吴燕燕等<sup>[16]</sup>的方法。称取 5.0 g 样品,加入 15 mL 氯仿-甲醇(2:1, V/V)溶

液, 冰浴中均质 2 次。静置 1 h 过滤, 向滤液中加入 0.2 倍体积的生理盐水, 离心取下层溶液, 氮吹得到浓缩脂质。加入 2 mL 14% 三氟化硼-甲醇溶液, 60 °C 水浴甲酯化 30 min; 分别加入 1 mL 正己烷和蒸馏水, 振荡 1 min。静止分层后取上层液过滤膜, 用 GC-MS 进行分析测定。脂肪酸分析利用 NIST 0.5 谱库检索, 通过对比 MS 图库中的标准谱图和 37 种脂肪酸甲酯化标准品谱图, 确认鱼卵的脂肪酸甲酯成分, 按面积归一化法分析脂肪酸相对含量<sup>[17]</sup>。

1.3.4 微量元素的测定 称取样品 0.800 g 置于聚四氟乙烯消解管中, 加入 10 mL 硝酸, 在微波消解装置中消解样品, 冷却至室温, 将消化液转移至 50 mL 离心管中, 用超纯水清洗消解管 2~3 次后定容至 50 mL。采用电感耦合等离子体质谱法测定样品中的无机元素<sup>[18]</sup>。

1.3.5 营养价值的评定 根据 1973 年联合国粮农组织/世界卫生组织 (FAO/WHO) 提出的氨基酸计分模式<sup>[19]</sup> 和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所<sup>[20]</sup> 提出的鸡蛋蛋白模式进行比较。氨基酸评分 (amino acid score, AAS) 和化学评分 (chemical score, CS) 按以下公式求得<sup>[21]</sup>:

$$AAS = \frac{\text{被测蛋白质某氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}{\text{FAO/WHO标准模式相应氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}$$

$$CS = \frac{\text{被测蛋白质某氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}{\text{标准鸡蛋蛋白中相应氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}$$

$$\text{氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{\text{某氨基酸百分含量} \times 6.25 \times 1000}{\text{相应蛋白质氨基酸的百分含量}}$$

1.3.6 数据处理 氨基酸分析采用平均数表示, 其他数据均采用“平均值±标准差 ( $\bar{X} \pm SD$ )”表示, 使用 Excel 2003 和 SPSS 20.0 软件的 Duncan's 法对数据进行显著性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 7 种鱼卵的一般营养成分

鱼卵是卵生鱼类胚胎和仔鱼期发育的物质基础, 其营养组成丰富, 可为消费者提供能量及生长发育所需的脂肪和蛋白质等营养物质<sup>[2]</sup>。由表 1 可知, 7 种鱼卵的水分质量分数为 500.7~813.1 g·kg<sup>-1</sup>, 其中飞鱼鱼卵 (813.1 g·kg<sup>-1</sup>) 显著高于其他几种鱼卵 ( $P < 0.05$ ), 与金鳊、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 鱼卵水分含量 (64.57%~64.69%) 基本一致; 所有样品灰分质量分数为 16.0~38.8 g·kg<sup>-1</sup>, 其中 4 种鲟鱼卵最高 (33.3~38.8 g·kg<sup>-1</sup>); 粗蛋白质量分数为 133.5~281.5 g·kg<sup>-1</sup>, 飞鱼鱼卵 (133.5 g·kg<sup>-1</sup>) 显著低于其他鱼卵 ( $P < 0.05$ ), 其他几种鱼卵粗蛋白质量分数均为 244.7~281.5 g·kg<sup>-1</sup>, 略高于高露姣等<sup>[11]</sup> 研究的鲟鱼卵 (20.38%~20.37%); 粗脂肪质量分数为 54.9~166.3 g·kg<sup>-1</sup>, 大黄鱼及 4 种鲟鱼卵的粗脂肪含量明显高于大西洋鲑及飞鱼 ( $P < 0.05$ ), 含量约为金鳊、泥鳅鱼卵粗脂肪含量的 2~3 倍。有研究表明养殖大黄鱼及鲟鱼肉粗脂肪含量 (12.40% 和 7.15%) 普遍高于其他鱼肉<sup>[22-23]</sup>, 属于高脂鱼

表1 7种鱼卵的一般营养成分(湿质量)

Tab.1 Nutritional components of seven kinds of roes (wet mass)

$\bar{X} \pm SD$ ; g·kg<sup>-1</sup>

种类 species	水分 moisture	灰分 ash	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat
大西洋鲑 <i>Salmon solar</i>	606.3±4.1 <sup>b</sup>	22.6±0.4 <sup>c</sup>	244.7±4.5 <sup>d</sup>	54.9±3.7 <sup>c</sup>
飞鱼 <i>Exocoetidae cypselurus</i>	813.1±6.4 <sup>a</sup>	16.0±1.5 <sup>d</sup>	133.5±6.1 <sup>e</sup>	68.5±4.5 <sup>c</sup>
大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	573.0±1.4 <sup>c</sup>	21.7±3.0 <sup>c</sup>	268.8±4.8 <sup>b</sup>	134.2±5.0 <sup>b</sup>
西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri brandt</i>	521.2±5.9 <sup>d</sup>	38.8±2.8 <sup>a</sup>	253.6±1.5 <sup>a</sup>	149.2±3.6 <sup>ab</sup>
施氏鲟 <i>Acipenser schrenckii</i>	506.9±4.8 <sup>c</sup>	37.7±1.2 <sup>a</sup>	281.5±2.0 <sup>a</sup>	166.3±4.2 <sup>a</sup>
俄罗斯鲟 <i>Acipenser gueldenstaedti</i>	500.7±0.1 <sup>c</sup>	38.5±0.1 <sup>a</sup>	259.2±2.9 <sup>c</sup>	153.6±3.9 <sup>ab</sup>
达氏鳊 <i>Huso dauricus</i>	505.4±3.1 <sup>c</sup>	33.3±3.2 <sup>b</sup>	280.7±0.9 <sup>a</sup>	150.8±2.4 <sup>ab</sup>
金鳊 <sup>[7]</sup> <i>Oncorhynchus mykiss aguabonita</i>	645.7±2.1	10.9±1.1	259.4±0.7	73.7±1.5
泥鳅 <sup>[24]</sup> <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	646.9±3.2	15.6±0.8	244.9±0.5	56.2±0.9

注: 同列数据不同上标字母表示各样品之间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 表4、表5同此

Note: Different superscript letters within the same row indicate significant difference among samples ( $P < 0.05$ ). The same case in Tab.4 and Tab.5.

类,初步判断鱼卵脂肪含量与鱼肉脂肪含量可能存在一定相关性。

## 2.2 氨基酸组成及营养评价

本研究检测的7种鱼卵均含17种氨基酸(表2),其中包括8种必需氨基酸(essential amino acids, EAA)、7种非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)和2种半必需氨基酸(half essential amino acids, HEAA)。总氨基酸(total amino

acids, TAA)质量分数为136.7~276.7 g·kg<sup>-1</sup>,俄罗斯鲟鱼卵最高(276.7 g·kg<sup>-1</sup>),飞鱼卵最低(136.7 g·kg<sup>-1</sup>),除飞鱼卵外,其他6种鱼卵TAA质量分数均高于硬头鳟(*O. mykiss gairdneri*)鱼卵(243.2 g·kg<sup>-1</sup>)<sup>[25]</sup>,因此这6种鱼卵为较优质的氨基酸食物来源。

EAA质量分数为58.9~114.7 g·kg<sup>-1</sup>,其中大西洋鲑鱼卵(114.7 g·kg<sup>-1</sup>)>达氏鳇鱼卵(114.5 g·kg<sup>-1</sup>)>俄罗斯鲟鱼卵(114.4 g·kg<sup>-1</sup>)>大黄鱼卵(108.8 g·kg<sup>-1</sup>)>施

表2 7种鱼卵的氨基酸组成  
Tab.2 Amino acids compositions of seven kinds of roes

g·kg<sup>-1</sup>

氨基酸 amino acid	大西洋鲑 <i>Salmon solar</i>	飞鱼 <i>Exocoetidae</i> <i>cypselurus</i>	大黄鱼 <i>Pseudosciaena</i> <i>crocea</i>	西伯利亚鳟 <i>Acipenser baeri</i>	施氏鲟 <i>Acipenser</i> <i>schrenckii</i>	俄罗斯鲟 <i>Acipenser</i> <i>gueldenstaedti</i>	达氏鳇 <i>Huso</i> <i>dauricus</i>
天冬氨酸 Asp*	23.8	9.7	19.8	23.6	23.7	26.0	26.3
苏氨酸 Thr <sup>△</sup>	13.0	8.0	12.3	13.2	12.9	14.2	14.6
丝氨酸 Ser	14.0	8.7	15.3	19.7	19.6	22.0	21.3
谷氨酸 Glu*	36.2	22.6	31.9	36.4	36.4	40.5	39.4
脯氨酸 Pro	13.4	6.6	11.2	9.1	8.9	9.6	10.1
甘氨酸 Gly*	7.2	4.1	8.0	7.6	7.5	8.4	8.2
丙氨酸 Ala*	19.8	8.7	19.2	16.2	16.6	18.2	17.8
缬氨酸 Val <sup>△</sup>	18.4	8.9	17.0	14.6	14.7	16.1	16.2
甲硫氨酸 Met <sup>△</sup>	7.5	4.0	7.6	7.4	7.4	8.1	8.1
异亮氨酸 Ile <sup>△</sup>	14.8	7.9	15.2	13.2	13.3	14.6	14.4
亮氨酸 Leu <sup>△</sup>	24.7	13.4	23.7	22.2	22.3	24.5	24.4
酪氨酸 Tyr	11.2	6.0	10.4	9.4	9.6	10.4	10.8
苯丙氨酸 Phe <sup>△</sup>	13.4	5.8	10.9	10.4	10.5	11.3	11.4
赖氨酸 Lys <sup>△</sup>	20.6	9.8	19.9	20.3	20.8	22.9	22.6
组氨酸 His	6.7	2.8	7.4	6.7	6.9	7.4	7.5
精氨酸 Arg	15.3	8.6	15.9	17.5	17.8	19.8	20.1
色氨酸 Trp <sup>△</sup>	2.3	1.1	2.2	2.5	2.4	2.7	2.8
总氨基酸 TAA	262.3	136.7	247.9	250.0	251.3	276.7	276.0
必需氨基酸 EAA	114.7	58.9	108.8	103.8	104.3	114.4	114.5
非必需氨基酸 NEAA	125.6	66.4	115.8	122.0	122.3	135.1	133.9
半必需氨基酸 HEAA	22.0	11.4	23.3	24.2	24.7	27.2	27.6
鲜味氨基酸 DAA	87.0	45.1	78.9	83.8	84.2	93.1	91.7
必需氨基酸/总氨基酸/% EAA/TAA	43.73	43.09	43.89	41.52	41.50	41.34	41.49
必需氨基酸/非必需氨基酸/% EAA/NEAA	91.32	88.70	93.96	85.08	85.28	84.68	85.51
鲜味氨基酸/总氨基酸/% DAA/TAA	32.93	25.96	30.57	34.84	33.55	33.62	33.13

注: \*. 鲜味氨基酸; △. 必需氨基酸

Note: \*. delicious amino acid; △. essential amino acids

氏鲟鱼卵 (104.3 g·kg<sup>-1</sup>)>西伯利亚鲟鱼卵 (103.8 g·kg<sup>-1</sup>)>飞鱼卵 (58.9 g·kg<sup>-1</sup>)。鱼卵的 EAA 与 TAA 比为 41.34%~43.89%，其中大黄鱼卵最高 (43.89%)，高于 FAO/WHO 的 EAA 推荐 (36%) 模式<sup>[26]</sup>。本研究中 7 种鱼卵的 EAA 与 NEAA 比为 84.68%~93.96%，其中西伯利亚鲟鱼卵 EAA/NEAA 高于高露姣等<sup>[12]</sup>研究中的西伯利亚鲟鱼卵的比值 (81%)。本研究所用鱼卵与高露姣等所用鱼卵来源一致，因此推测其氨基酸组成比例及含量差异可能受采样季节的影响。

呈味氨基酸赋予产品特有的风味。鲜味氨基酸主要包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸。鲜味氨基酸质量分数为 45.1~93.1 g·kg<sup>-1</sup>，占氨基酸总量的 25.96%~33.62%，其中俄罗斯鲟鱼卵最高 (93.1 g·kg<sup>-1</sup>)，飞鱼卵最低 (45.1 g·kg<sup>-1</sup>)。鲜味氨基酸同其他呈味物质形成复杂的味感，鲟鱼卵中鲜味氨基酸质量分数为 83.8~93.1 g·kg<sup>-1</sup>，且谷氨酸、天冬氨酸质量分数高于飞鱼卵和大黄鱼卵，这是鲟鱼卵味道鲜美独特的主要原因。

17 种氨基酸中兼有甜味和苦味的赖氨酸质量分数偏高 (9.8~22.9 g·kg<sup>-1</sup>)，其能促进钙 (Ca) 的吸

收，有利于形成胶原和结缔组织，缓解疲劳；具有苦味的亮氨酸和精氨酸质量分数分别为 13.4~24.7 g·kg<sup>-1</sup> 和 8.6~20.1 g·kg<sup>-1</sup>，其中精氨酸可提高免疫力，对人体有保健作用；具有甜味的丙氨酸质量分数为 8.7~19.8 g·kg<sup>-1</sup>，对控制血糖有一定的作用<sup>[15-16]</sup>。

鱼卵中 EAA 评价结果见表 3。AAS 和 CS 既可呈现被测蛋白质中 EAA 与 FAO/WTO 标准模式和标准鸡蛋蛋白的关系，又可反映被测蛋白质中 EAA 的缺乏程度<sup>[23]</sup>。由 AAS 评分可知，7 种鱼卵的第一限制氨基酸为色氨酸；7 种鱼卵除色氨酸外，AAS 评分均大于 1，高于 FAO/WHO 评分模式氨基酸含量，EAA 含量丰富，说明这几种鱼卵蛋白营养价值比较高；CS 评分中，7 种鱼卵第一限制氨基酸和第二限制氨基酸分别为色氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸；大西洋鲑鱼卵必需氨基酸中的 CS 评分 (除色氨酸) 均大于 1，其营养价值高于标准鸡蛋蛋白。与标准鸡蛋蛋白模式比较，7 种鱼卵中赖氨酸含量丰富，CS 评分大于 1。7 种鱼卵氨基酸种类齐全，天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、赖氨酸含量较为丰富，比例适宜，符合 FAO/WHO 的理想蛋白质模式 (质量较好的蛋白质其 EAA/TAA 应

表3 7种鱼卵必需氨基酸组成评价  
Tab.3 Evaluation of essential amino acids composition of seven kinds of roes

	必需氨基酸 essential amino acid	FAO/WHO评分模 式 /mg·g <sup>-1</sup> FAO score mode	鸡蛋蛋白 /mg·g <sup>-1</sup> egg protein	大西洋鲑 <i>Salmon</i> <i>solar</i>	飞鱼 <i>Exocoetidae</i> <i>cypselurus</i>	大黄鱼 <i>Pseudosciaea</i> <i>na crocea</i>	西伯利亚鲟 <i>Acipenser</i> <i>baeri</i>	施氏鲟 <i>Acipenser</i> <i>schrenckii</i>	俄罗斯鲟 <i>Acipenser</i> <i>gueldenstaedti</i>	达氏鲟 <i>Huso</i> <i>dauricus</i>
氨基酸评分 amino acid score	异亮氨酸	250		1.53	1.48	1.41	1.19	1.28	1.30	1.28
	亮氨酸	440		1.45	1.43	1.25	1.14	1.22	1.24	1.23
	赖氨酸	340		1.57	1.35	1.36	1.34	1.48	1.50	1.48
	苏氨酸	250		1.35	1.50	1.14	1.19	1.24	1.26	1.30
	缬氨酸	310		1.54	1.35	1.28	1.06	1.14	1.15	1.16
	色氨酸	60		0.99	0.86	0.85	0.94	0.96	1.00	1.04
	苯丙氨酸+酪 氨酸	380		1.68	1.45	1.30	1.17	1.28	1.27	1.30
化学评分 chemical score	异亮氨酸		331	1.16	1.12	1.07	0.90	0.97	0.98	0.97
	亮氨酸		534	1.20	1.18	1.03	0.94	1.01	1.02	1.02
	赖氨酸		441	1.21	1.04	1.05	1.04	1.14	1.15	1.14
	苏氨酸		292	1.15	1.28	0.98	1.02	1.07	1.08	1.11
	缬氨酸		410	1.16	1.02	0.96	0.80	0.86	0.87	0.88
	色氨酸		99	0.60	0.52	0.52	0.57	0.58	0.61	0.63
	苯丙氨酸+酪 氨酸		565	1.13	0.98	0.88	0.79	0.86	0.85	0.80

约为40%)<sup>[27]</sup>,因此,这7种常见鱼卵均为富含优质蛋白的高附加值产品。

### 2.3 脂肪酸分析

7种鱼卵的脂肪酸组成见表4。共检测出17种脂肪酸,其中包括6种饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)、5种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和6种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。SFA含量为25.83%~35.41%,以棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)为主。其中大黄鱼卵SFA相对含量最高(35.41%),飞鱼卵相对含量最低(25.83%)。4种鲟鱼卵的SFA相对含量(27.92%~31.10%)略高于刘晓勇等<sup>[28]</sup>研究的3种养殖鲟鱼卵(24.02%~25.05%),这可能与鱼体养殖环境、繁殖周期及实验方法不同有关。不饱和脂肪酸具有调节血脂代谢,降低血液粘稠度的作用,是人和动物生长发育的必需脂肪酸。其中EPA、DHA有增强记忆力和降血压等功效<sup>[29]</sup>。MUFA相对含量为21.39%~26.65%,以棕榈油酸(C16:1)、油酸(C18:1)为主,其中大黄鱼卵MUFA相对含量最低(21.39%),西伯利亚鲟鱼卵最高(26.65%)。PUFA含量为41.84%~47.77%,以EPA(C20:5)、DHA(C22:6)为主。EPA+DHA相对总量高达20.06%~42.59%,高于养殖鲟鱼子酱EPA+DHA相对总量(12.87%~17.41%)<sup>[30]</sup>,可能是由于鱼卵加工过程中PUFA发生了氧化。其中大西洋鲑的EPA和DHA总相对含量高达42.59%,与其他几种鱼卵存在显著差异( $P<0.05$ );施氏鲟鱼卵相对含量最低(20.06%),但因其脂肪含量显著高于大西洋鲑鱼卵,故鱼卵中EPA和DHA实际含量也较高。7种鱼卵的SFA、PUFA含量接近,均无显著差异( $P>0.05$ )。脂肪酸的组成与食品风味、品质存在极大的相关性<sup>[31]</sup>,这可能会对几种鱼卵的风味产生一定影响。据消费者反映,鲟鱼卵的口味较另外3种鱼卵更细滑,推测其可能与脂质含量有关。

### 2.4 矿物质元素

对7种鱼卵矿物质元素组成的分析结果(表5)显示,鱼卵中矿物元素种类丰富,5种常量元素钾(K)、Ca、钠(Na)、镁(Mg)、磷(P)和5种微量元素铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、硒(Se)均有检出。鱼卵中 $w(P)$ 最高(3365.87~12351.19 mg·kg<sup>-1</sup>),其中飞鱼卵最高(12351.19 mg·kg<sup>-1</sup>),高于金鳟鱼卵(9.90×10<sup>3</sup> mg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[7]</sup>。7种鱼卵 $w(Ca)$ 为9.10~

96.36 mg·kg<sup>-1</sup>,其中大西洋鲑为96.36 mg·kg<sup>-1</sup>,显著高于其他6种鱼卵( $P<0.05$ )。4种鲟鱼卵 $w(Ca)$ 为10.79~16.89 mg·kg<sup>-1</sup>,无显著差异( $P>0.05$ )。目前尚无鱼卵 $w(Ca)$ 与品种相关性的研究报道,但有研究表明不同饲喂水平会影响鱼卵矿物质元素含量<sup>[32]</sup>,本研究中的4种养殖鲟鱼卵养殖条件基本一致,故其 $w(Ca)$ 差异不明显。

微量元素中Fe、Zn参与人体多种酶活性中心的构成,在核酸、蛋白质的合成及免疫调节过程发挥作用,促进人体正常发育<sup>[33]</sup>。本研究中4种鲟鱼卵 $w(Fe)$ 为31.45~40.66 mg·kg<sup>-1</sup>,显著高于其他3种鱼卵( $P<0.05$ )。4种鲟鱼卵 $w(Zn)$ 为24.15~26.59 mg·kg<sup>-1</sup>,无显著差异( $P>0.05$ ),与硬头鲟鱼卵(24.11 mg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[25]</sup>接近。Se元素被称为人体微量元素中的“防癌之王”。本研究中大西洋鲑卵 $w(Se)$ 显著高于其他种类(2.30 mg·kg<sup>-1</sup>,  $P<0.05$ ),大西洋鲑卵和4种鲟鱼卵均高于海产品中 $w(Se)$ 之首的牡蛎(*Ostrea rivularis*, 0.62 mg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[34]</sup>。目前关于生物体矿物元素组成影响的研究多集中在饲喂水平差异方面,本文中的大西洋鲑、飞鱼、大西洋鲑鱼卵均为海水养殖鱼卵,为市场采购,养殖条件不明确,无法准确预测其矿物元素含量差异的主要原因。但根据赖靖等<sup>[35]</sup>研究鲟属鱼类的元素含量特征发现,鱼类品种、生殖习性及其养殖水域环境均会造成鱼肉矿物元素含量差异,故推测以上因素可能会影响鱼卵的矿物质元素含量。

## 3 小结

本研究结果显示,飞鱼卵水分含量较高,但其粗蛋白、粗脂肪含量较少,营养价值较低。4种鲟鱼卵粗蛋白质质量分数为253.6~28150 g·kg<sup>-1</sup>,与大西洋鲑鱼卵(244.7 g·kg<sup>-1</sup>)差异较小,且这5种鱼卵的TAA及EAA/TAA较接近,蛋白质含量丰富,氨基酸比例均衡,可作为优质蛋白源。4种鲟鱼卵粗脂肪质量分数(149.2~166.3 g·kg<sup>-1</sup>)显著高于大西洋鲑鱼卵(54.9 g·kg<sup>-1</sup>)和飞鱼卵(68.5 g·kg<sup>-1</sup>)( $P<0.05$ )。本文研究的7种鱼卵中脂肪酸种类齐全,不饱和脂肪酸含量高,占脂肪酸总量的62.23%~73.18%,EPA和DHA含量尤其丰富,高达20.06%~40.59%。7种鱼卵中矿物质元素含量丰富,其中大西洋鲑鱼卵富含Ca、Mg、Zn元素,4种鲟鱼卵富含Fe元素。

表4 7种鱼卵脂肪酸组成及相对含量比较  
Tab.4 Comparison of fatty acids composition and contents in seven kinds of roes

脂肪酸 fatty acid	大西洋鲑 <i>Salmon solar</i>	飞鱼 <i>Exocoetidae cypselurus</i>	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>	施氏鲟 <i>Acipenser schrenckii</i>	俄罗斯鲟 <i>Acipenser gueldenstaedti</i>	达氏鳇 <i>Huso dauricus</i>
硬豆蔻酸 (C14:0) myristic acid	2.81±0.22 <sup>a</sup>	1.04±0.87 <sup>b</sup>	2.13±0.14 <sup>a</sup>	0.46±0.00 <sup>b</sup>	0.45±0.00 <sup>b</sup>	0.45±0.02 <sup>b</sup>	0.55±0.05 <sup>b</sup>
十五碳酸 (C15:0) pentadecanoic acid	0.55±0.03 <sup>b</sup>	0.31±0.02 <sup>c</sup>	1.27±0.13 <sup>a</sup>	0.11±0.12 <sup>d</sup>	0.10±0.12 <sup>d</sup>	0.21±0.01 <sup>cd</sup>	0.26±0.00 <sup>e</sup>
棕榈酸 (C16:0) palmitic acid	12.61±0.74	14.99±0.31	17.78±0.15	17.90±1.41	19.45±0.04	18.66±0.54	20.25±0.16
十七碳酸 (C17:0) heptadecanoic acid	0.98±0.20 <sup>b</sup>	0.50±0.22 <sup>c</sup>	1.93±0.33 <sup>a</sup>	0.50±0.07 <sup>c</sup>	0.56±0.06 <sup>bc</sup>	0.58±0.03 <sup>bc</sup>	0.61±0.03 <sup>bc</sup>
硬脂酸 (C18:0) stearic acid	9.32±0.44 <sup>b</sup>	8.64±0.17 <sup>b</sup>	12.13±0.83 <sup>a</sup>	8.83±0.21 <sup>b</sup>	10.41±0.38 <sup>ab</sup>	9.86±0.39 <sup>ab</sup>	8.18±0.02 <sup>e</sup>
花生酸 (C20:0) arachidic acid	0.07±0.01 <sup>c</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.06 <sup>b</sup>	0.13±0.00 <sup>bc</sup>	0.11±0.01 <sup>bc</sup>	0.13±0.01 <sup>bc</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>
饱和脂肪酸 SFA	26.35±1.10	25.83±0.53	35.41±2.36	27.92±1.82	31.10±1.27	29.96±0.98	29.93±0.22
棕榈油 (C16:1) palmitoleic acid	4.59±0.18 <sup>b</sup>	8.57±0.37 <sup>a</sup>	4.47±0.78 <sup>b</sup>	2.80±0.03 <sup>cd</sup>	2.29±0.02 <sup>d</sup>	2.85±0.20 <sup>cd</sup>	2.39±0.23 <sup>c</sup>
十七碳一烯酸 (C17:1) heptadecenoic acid	0.53±0.05 <sup>a</sup>	0.47±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.21 <sup>a</sup>	0.14±0.00 <sup>b</sup>	0.16±0.00 <sup>b</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>
油酸 (C18:1) oleic acid	16.58±0.04 <sup>b</sup>	15.04±0.57 <sup>b</sup>	14.08±0.42 <sup>b</sup>	21.97±1.23 <sup>b</sup>	21.79±0.86 <sup>b</sup>	21.26±0.07 <sup>b</sup>	21.79±0.26 <sup>a</sup>
二十碳一烯酸 (C20:1) eicosenoic acid	2.68±0.15 <sup>a</sup>	1.66±0.36 <sup>bc</sup>	1.52±0.29 <sup>bc</sup>	1.40±0.07 <sup>bc</sup>	1.18±0.04 <sup>cd</sup>	0.77±0.03 <sup>d</sup>	1.67±0.04 <sup>b</sup>
二十四碳一烯酸 (C24:1)	0.12±0.03 <sup>b</sup>	0.48±0.07 <sup>a</sup>	nd	0.05±0.01 <sup>bc</sup>	0.04±0.00 <sup>bc</sup>	0.04±0.02 <sup>bc</sup>	0.04±0.00 <sup>bc</sup>
单不饱和脂肪酸 MUFA	24.63±0.60 <sup>a</sup>	26.41±1.40 <sup>a</sup>	21.39±2.03 <sup>b</sup>	26.65±0.90 <sup>a</sup>	25.47±0.83 <sup>a</sup>	25.66±0.25 <sup>a</sup>	26.58±0.49 <sup>a</sup>
亚油酸 (C18:2) linoleic acid	1.12±0.01 <sup>d</sup>	1.91±0.17 <sup>d</sup>	1.10±0.04 <sup>d</sup>	5.94±0.01 <sup>bc</sup>	8.51±0.57 <sup>a</sup>	6.40±0.25 <sup>b</sup>	4.67±0.16 <sup>c</sup>
二十碳二烯酸 (C20:2) eicosadienoic acid	nd	0.29±0.07 <sup>c</sup>	nd	0.36±0.00 <sup>bc</sup>	0.93±0.04 <sup>a</sup>	0.98±0.04 <sup>a</sup>	0.49±0.31 <sup>b</sup>
二十碳三烯酸 (C20:3) eicosatrienoic acid	0.25±0.02 <sup>d</sup>	0.21±0.02 <sup>d</sup>	0.19±0.04 <sup>d</sup>	1.01±0.00 <sup>c</sup>	1.97±0.07 <sup>b</sup>	4.76±0.23 <sup>a</sup>	1.15±0.10 <sup>c</sup>
花生四烯酸 (C20:4) arachidonic acid	3.81±1.14 <sup>b</sup>	4.55±0.19 <sup>b</sup>	4.77±0.09 <sup>b</sup>	4.85±0.11 <sup>b</sup>	4.05±0.31 <sup>b</sup>	10.79±0.37 <sup>a</sup>	4.87±0.17 <sup>b</sup>
二十碳五烯酸 (C20:5) eicosapentaenoic acid	21.91±0.94 <sup>a</sup>	13.77±0.42 <sup>ab</sup>	17.13±0.21 <sup>ab</sup>	12.60±0.19 <sup>ab</sup>	8.72±0.46 <sup>bc</sup>	0.03±0.04 <sup>c</sup>	10.83±0.77 <sup>b</sup>
二十二碳六烯酸 (C22:6) docosahexaenoic acid	20.68±0.53	26.05±0.10	18.64±0.60	20.27±0.89	18.61±0.94	20.03±0.21	20.89±0.23
EPA+DHA	42.59±1.37 <sup>a</sup>	39.82±0.52 <sup>ab</sup>	35.77±8.74 <sup>abc</sup>	32.87±2.30 <sup>bc</sup>	27.34±0.55 <sup>cd</sup>	20.06±0.22 <sup>d</sup>	31.74±1.00 <sup>bc</sup>
多不饱和脂肪酸 PUFA	47.77±2.41	46.77±0.67	41.84±9.94	45.04±2.43	42.80±2.00	43.72±1.15	42.93±0.60

注: nd. 未检出  
Note: nd. undetected

表5 7种鱼卵矿物元素组成和质量分数(湿质量)  
Tab.5 Mineral elements compositions and contents of seven kinds of roe (wet mass)

mg·kg<sup>-1</sup>

元素 element	大西洋鲑 <i>Salmon salar</i>	飞鱼 <i>Exocoetidae cypselurus</i>	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>	施氏鲟 <i>Acipenser gueldenstaedti</i>	俄罗斯鲟 <i>Acipenser gueldenstaedti</i>	达氏鳇 <i>Huso dauricus</i>
镁 Mg	622.22±28.26 <sup>a</sup>	23.96±1.85 <sup>c</sup>	128.19±5.50 <sup>d</sup>	255.42±7.6 <sup>c</sup>	269.02±2.07 <sup>c</sup>	236.00±13.48 <sup>c</sup>	303.53±12.06 <sup>b</sup>
磷 P	4 194.03±163.62 <sup>b</sup>	12 351.19±83.53 <sup>c</sup>	4 674.66±259.66 <sup>a</sup>	3 784.48±96.49 <sup>c</sup>	3 813.50±68.50 <sup>bc</sup>	3 365.87±217.75 <sup>d</sup>	4 046.82±135.22 <sup>bc</sup>
钾 K	2 159.30±10.30 <sup>a</sup>	35.86±0.77 <sup>f</sup>	1 893.87±86.93 <sup>b</sup>	1 642.28±53.82 <sup>c</sup>	1 392.83±20.75 <sup>d</sup>	1 187.50±74.31 <sup>c</sup>	1 531.45±180.94 <sup>cd</sup>
钙 Ca	96.36±29.62 <sup>a</sup>	9.10±1.08 <sup>b</sup>	13.31±2.13 <sup>b</sup>	16.89±0.75 <sup>b</sup>	14.44±0.13 <sup>b</sup>	16.82±2.35 <sup>b</sup>	10.79±0.78 <sup>b</sup>
锰 Mn	2.38±0.16 <sup>a</sup>	0.47±0.08 <sup>c</sup>	1.12±0.19 <sup>b</sup>	1.18±0.06 <sup>b</sup>	1.53±0.03 <sup>b</sup>	1.38±0.09 <sup>b</sup>	2.38±0.03 <sup>a</sup>
铁 Fe	21.18±1.38 <sup>c</sup>	10.55±1.39 <sup>d</sup>	13.92±1.18 <sup>cd</sup>	31.45±1.74 <sup>ab</sup>	34.64±0.80 <sup>ab</sup>	40.66±3.44 <sup>a</sup>	33.58±3.23 <sup>ab</sup>
铜 Cu	2.18±0.59 <sup>c</sup>	1.01±0.07 <sup>d</sup>	3.60±0.26 <sup>a</sup>	1.38±0.08 <sup>cd</sup>	2.37±0.07 <sup>bc</sup>	2.23±0.93 <sup>c</sup>	3.33±0.63 <sup>ab</sup>
锌 Zn	39.62±6.58 <sup>a</sup>	30.56±3.65 <sup>bc</sup>	34.67±2.32 <sup>ab</sup>	24.22±0.52 <sup>c</sup>	24.15±0.15 <sup>c</sup>	26.59±0.15 <sup>c</sup>	26.34±0.68 <sup>c</sup>
硒 Se	0.52±0.12 <sup>c</sup>	0.65±0.11 <sup>c</sup>	2.30±0.45 <sup>a</sup>	1.12±0.37 <sup>bc</sup>	1.42±0.21 <sup>b</sup>	1.03±0.31 <sup>c</sup>	1.35±0.23 <sup>b</sup>

## 参考文献:

- [1] 郝淑贤, 何丹, 魏涯, 等. 鱼卵加工产品类型与鱼籽酱保鲜技术研究进展[J]. 南方水产科学, 2014, 10(3): 104-108.
- [2] BALABAN M O, CHOMBEAU M, GUMUS B, et al. Quality evaluation of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) roe by image analysis. Part I : weight prediction[J]. J Aquat Food Prod Technol, 2012, 21(1): 59-71.
- [3] GILLE D A, van EENENNAAM J P, FAMULA T R, et al. Finishing diet, genetics, and other culture conditions affect ovarian adiposity and caviar yield in cultured white sturgeon (*Acipenser transmontanus*)[J]. Aquaculture, 2017, 474: 121-129.
- [4] BRONZI P, CHEBANOV M, MICHAELS J T, et al. Sturgeon meat and caviar production: global update 2017[J]. J Appl Ichthyol, 2019, 35(1): 257-266.
- [5] BRONZI P, ROSENTHAL H. Present and future sturgeon and caviar production and marketing: a global market overview[J]. J Appl Ichthyol, 2014, 30(6): 1536-1546.
- [6] 陈京美, 刘小芳, 冷凯良, 等. 太平洋真鲷鱼卵营养成分分析与评价[J]. 青岛大学学报(自然科学版), 2016, 29(2): 57-62.
- [7] 梁正其, 蒋左玉, 姚俊杰, 等. 金鲷鱼子酱的加工及其营养成分[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(7): 159-163.
- [8] BAH C F, BEKHIT A A, BEKHIT E A, et al. Physicochemical properties and bioactivity of extracts from the roe of New Zealand Hoki and southern blue whiting[J]. J Aquat Food Prod Technol, 2016, 25(8): 1234-1248.
- [9] FUJITA S, SHIMIZU Y, KISHIMURAI H, et al. *In vitro* digestion of major allergen in salmon roe and its peptide portion with proteolytic resistance[J]. Food Chem, 2012, 130(3): 644-650.
- [10] 魏鉴腾, 刘永峰, 刘毅, 等. 酶解法制备鱼籽多肽的工艺研究[J]. 食品工业, 2015, 36(1): 71-74.
- [11] 蒋左玉, 李建, 姚俊杰, 等. 山泉水人工养殖金鲷鱼卵及鱼皮营养成分的测定与分析[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 234-239.
- [12] 高露姣, 夏永涛, 黄艳青, 等. 俄罗斯鲟鱼卵与西伯利亚鲟鱼卵的营养成分比较[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 57-63.
- [13] BEKHIT A, DUNCAN A, BAH C, et al. Impact of fermentation conditions on the physicochemical properties, fatty acid and cholesterol contents in salted-fermented hoki roe[J]. Food Chem, 2018, 264: 73-80.
- [14] BLEDSOE G E, BLEDSOE C D, RASCO B. Caviars and fish roe products[J]. Crit Rev Food Sci, 2003, 43(3): 317-356.
- [15] 高露姣, 夏永涛, 黄艳青, 等. 两种鲟鱼卵的鲜味相关物质含量比较分析[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 230-233.
- [16] 吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 添加外源酶类对腌制罗非鱼品质的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 102-111.
- [17] 丁丽丽. 咸鱼加工过程风味形成机理的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 62.
- [18] 方玲, 马海霞, 李来好, 等. 近江牡蛎中铝的化学形态分析[J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 94-101.
- [19] PELLETT P L, YONG V R. Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo: United National University Press, 1980: 26-29.
- [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(全国代表值)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991:30-82.
- [21] 王林娜, 田永胜, 唐江, 等. 云纹石斑鱼, 鞍带石斑鱼及杂交“云龙斑”肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1085-1093.
- [22] 吴靖娜, 许永安, 刘智禹. 养殖大黄鱼鱼肉营养成分的分析及评价[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 610-612.
- [23] 郝淑贤, 李晓燕, 李来好, 等. 鲟鱼营养组成, 高值化加工利用及质量安全研究进展[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 101-106.
- [24] 郑捷, 杨璐璐, 高建忠, 等. 泥鳅鱼籽营养成分及油脂的脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 105-110.
- [25] 桂萌, 高亮, 李平兰, 等. 人工养殖硬头鲮鱼卵的营养成分分析[J]. 南方农业学报, 2017(4): 132-137.
- [26] 侯飞娜, 木泰华, 孙红男, 等. 不同品种马铃薯全粉蛋白质营养

- 品质评价 [J]. 食品科技, 2015, 40(3): 49-56.
- [27] 江伟珣, 刘毅. 营养与食品卫生学 [M]. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1992: 4-14.
- [28] 刘晓勇, 索力, 张颖, 等. 三种养殖鲟鱼卵营养成分的比较分析 [J]. 淡水渔业, 2014, 44(5): 82-86.
- [29] 饶秋华, 罗土炎, 苏德森, 等. 史氏鲟鱼籽营养成分分析及评价 [J]. 农学学报, 2011, 1(7): 28-31.
- [30] 黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 等. 养殖鲟鱼鱼子酱营养品质分析及比较 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 346-350, 371.
- [31] 李国治, 鲁绍雄, 严达伟, 等. 云南裂腹鱼肌肉生化成分分析与营养品质评价 [J]. 南方水产, 2009, 5(2): 56-62.
- [32] 姜作发, 卢彤岩, 刘永, 等. 不同饲料对虹鳟鱼卵中矿物质、维生素含量及胚胎发育的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2004(2): 220-222, 227.
- [33] 杨贤庆, 杨丽芝, 黄卉, 等. 南海鸕乌贼墨汁营养成分分析与评价 [J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 138-142.
- [34] 方玲, 马海霞, 李来好, 等. 华南地区近江牡蛎营养成分分析及评价 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 301-307, 313.
- [35] 赖靖, 赵良杰, 刘其根. 几种鲚属鱼类全鱼的元素含量特征研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 44-50.