四种河鲀鱼皮和鱼肉的营养成分分析与评价

陈晓婷，吴靖娜，许旻，刘淑集，苏永昌，乔琨，刘智禹

（福建省水产研究所，国家海水鱼类加工技术研发分中心，福建省海洋生物增养殖与高值化利用重点实验室，厦门 361013）

摘要：对菊黄东方鲀 *Fugu. flavidus*、双斑东方鲀 *Fugu. bimaculatus*、红鳍东方鲀 *Fugu. rubripes* 和暗纹东方鲀 *Fugu. obscurus* 鱼皮和鱼肉的营养成分进行分析和评价。结果显示，4 种河鲀具有较高的蛋白质含量、较低的脂肪含量，鱼肉的蛋白质质量较好，而鱼皮含有较高的微量元素，更具鲜甜风味。其中，鱼皮的粗蛋白质含量（20.17%~37.61%）高于鱼肉（18.13%~23.27%），菊黄东方鲀最高，但是鱼肉的∑EAA/∑TAA（39.01%~43.11%）、∑EAA/∑NEAA（65.26%~71.57%）和 EAAI（0.75~1.00）高于鱼皮（16.61%~20.49%、19.78%~25.70%和 0.25~0.51），且符合 FAO/WHO 标准，双斑东方鲀的含量最高；鱼皮（0.20%~0.40%）和鱼肉（0.21%~0.4%）的粗脂肪含量均较低，鱼肉的∑FA（0.28%~0.39%）、*w*-3 PUFA（0.05%~0.15%）和 *w*-6 PUFA（0.01%~0.09%）含量高于鱼皮（0.15%~0.24%、0.02%~0.03%和 0.01%~0.04%），其中红鳍东方鲀的 *w*-3 PUFA 含量最高；菊黄东方鲀鱼皮含有较高的 Ca 含量（1737.47 mg/100 g），双斑东方鲀鱼肉含有较高的 K 含量（439.00 mg/100 g），红鳍东方鲀含有最高的 Zn 含量（0.90 mg/100 g 和 8.93 mg/100 g）。研究表明，4 种河鲀均是高蛋白低脂肪的经济鱼类，氨基酸、脂肪酸和矿物质元素丰富、比例均衡、营养价值较高。

关键词：菊黄东方鲀；暗纹东方鲀；双斑东方鲀；红鳍东方鲀；营养成分；评价

文章篇号：1673-9078(2020)01-69-77 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.010

Analysis and Evaluation of the Nutritional Components in Fish Skin and Fish Meat of Four Species of Puffer Fish

CHEN Xiao-ting, WU Jing-na, XU Min, LIU Shu-ji, SU Yong-chang, QIAO Kun, LIU Zhi-yu

(Fisheries Research Instiute of Fujian, National Research and Development Center for Marine Fish Processing, Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China)

Abstract: Nutritional components of fish skin and fish meat of puffer fish, including *Fugu. flavidus*, *Fugu. bimaculatus*, *Fugu. rubripes*, *Fugu. obscurus*, were analyzed and evaluated. Four species of puffer fish had higher protein content and lower fat content, better protein quality of fish meat, but higher trace elements and more fresh and sweet flavor were found in fish skin. The crude protein content of fish skin (20.17%~37.61%) was higher than that of fish meat (18.13%~23.27%). The highest protein content was 37.61% in *flavidus*, *Fugu.* The ∑EAA/∑TAA (39.01%~43.11%), ∑EAA/∑NEAA (65.26%~71.57%) and EAAI values (0.75~1.00) of fish meat were higher than those in fish skin (16.61%~20.49%, 19.78%~25.70%, 0.25~0.51, respectively). They were accorded with FAO/WHO standard and the highest content was *Fugu. bimaculatus*. The crude fat content of fish skin (0.20%~0.40%) and meat (0.21%~0.4%) was low. The ∑FA (0.28%~0.39%), *w*-3 PUFA (0.05%~0.15%) and *w*-6 PUFA (0.01%~0.09%) contents of fish meat were higher than those of fish skin (0.15%~0.24%, 0.02%~0.03%, 0.01%~0.04%, respectively). The highest content of *w*-3 PUFA was found in *Fugu. rubripes*. The fish skin of *Fugu. flavidus* contained higher Ca^{2+} content (1737.47 mg/100 g), the fish meat of *Fugu. bimaculatus* contained higher K^{+} content (439.00 mg/100 g), and the *Fugu. rubripes* contained the highest Zn^{2+} content (0.90 mg/100 g, 8.93 mg/100 g, respectively). The results showed that the four species of puffer are all high protein and low fat economic fishes, with rich and balanced proportion of amino acids, fatty acids and mineral elements and high nutritional value.

Key words: *Fugu. flavidus*; *Fugu. bimaculatus*; *Fugu. rubripes*; *Fugu. obscurus*; nutritional components; evaluation

收稿日期：2019-08-13

项目基金：国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项（2018YFD0901102）；福建省海洋与渔业结构调整专项（2018HYJG02；2017HYJG08）；福建省种业创新与产业化工程（2017FJSCZY03-4）

作者简介：陈晓婷（1992-），女，硕士研究生，助理工程师，研究方向：农产品加工与综合利用

通讯作者：刘智禹（1972-），男，博士，教授级高工，研究方向：水产品加工与综合利用

河鲀(Puffer fish)属硬骨鱼纲、辐鳍亚纲、鲈形总目、鲀形目。鲀形目分为箱鲀亚目、鳞鲀亚目、翻车鲀亚目、鲀亚目。鲀亚目又有鲀科和刺鲀科，鲀科中兔豚属、刺腹鲀属和东方鲀属等具有较大的经济价值[1]。河鲀味道鲜美，深受消费者的青睐，但几乎所有的河鲀均含有河豚毒素（TTX），主要分布于河鲀的性腺、肝脏、眼睛、血液等部位，肌肉和精巢低毒甚至无毒[2]。随着养殖技术的不断发展，养殖河鲀鱼的产量逐年递增，且养殖河鲀的肌肉无毒，主要品种为暗纹、红鳍等，尤其是暗纹东方鲀，经过几代完全淡水环境的培育，毒性逐代减弱，能够安全食用[3,4]。

诸多学者以河鲀为原料，在河鲀的产毒机理、毒性安全和鉴定区分等方面进行大量的研究。Noguchi T等[4]认为是通过食物链来增加营养，实验证明人工养殖的河豚不含河豚毒素，而在饲料中添加有毒河豚的肝脏，体内就会积累毒素。Wu Z[2]等发现 TTX 产生细菌与河鲀的毒性密切相关。Yu C F[等[5]研究表明，阿拉伯半乳糖酵母菌、粘质沙雷氏菌和溶藻弧菌能够产生 TTX。Auawithoothij W[6]的研究结果显示，河鲀的 TTX 积累与一种主要细菌有关，导致河鲀在低温海水中的 TTX 积累较高。Zhang M 等[7]使用电子鼻结合嗅觉感官评估来区分三种河鲀。

目前，河鲀毒素方面的研究已经日益完善，但在营养价值方面的研究较少，河鲀的鱼肉、肝脏、精巢等都具有丰富的营养物质，已有学者对不同养殖地区的暗纹东方鲀的鱼肉、肝脏和精巢等进行研究并全面分析及评价[8]。不同河鲀因养殖、区域、环境等的不同，营养成分有所区分，有学者对暗纹东方鲀(*Fugu.obscurus*)、菊黄东方鲀(*Fugu.flavidus*)、红鳍东方鲀(*Fugu.rubripes*)三种东方鲀鱼肉的营养价值进行比较分析及评价[9]。在食用和营养角度来看，不同河鲀之间营养价值和风味有所差异，同种河鲀之间不同部位也有所差异，因此，本文就以菊黄东方鲀(*Fugu. flavidus*)、双斑东方鲀(*Fugu. bimaculatus*)、红鳍东方鲀(*Fugu. rubripes*)和暗纹东方鲀(*Fugu. obscurus*)四种主要的河鲀为主，研究四种河鲀鱼皮和鱼肉的营养价值，并对其进行直观的比较、系统的分析及合理的评价。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

菊黄东方鲀、双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀于 2017 年 10 月份采自漳州市佛昙县。

设备仪器：KSJ 型电炉温度控制器，山东神龙口市先科仪器公司；DHG-9141A 型电热恒温鼓风干燥箱，上海浦东荣丰科学仪器有限公司；HH-6 型数显恒温水浴锅，国华电器有限公司；BSA224S 型电子分析天平，厦门精艺兴业科技有限公司；HYP-1008 型八孔消化炉、KDN-103F 型自动凯氏定氮仪，上海纤检仪器有限公司；L-8800 型氨基酸自动分析仪，日本日立公司。

1.2 方法

样品制备：分别取河鲀的鱼皮和背部肌肉样品，绞碎，拌匀，-20 ℃贮藏备用。

1.2.1 常规营养成分测定

水分：参考国家标准直接干燥法（GB 5009.3-2016）进行检测；

灰分：参考国家标准高温灰化法（GB 5009.4-2016）进行检测；

粗蛋白质：参考国家标准方法（GB 5009.5-2016）进行检测；

粗脂肪：参考国家标准方法（GB 5009.6-2016）进行检测；

脂肪酸：参考国家标准方法（GB 5009.168-2016）进行检测；

氨基酸：利用自动分析仪检测出样品中氨基酸的量及其分布（GB 5009.124-2016）；

矿物质：参考国家标准方法（GB/T 5009.268-2016）进行检测。

1.2.2 氨基酸营养评价值评价

氨基酸评分基准按照 FAO/WHO 的提议[10]，鸡蛋蛋白质的化学评分基准按照中国预防医学科学院的提议[11]，进而通过蛋白质化学评分（AAS）、化学评分（CS）及必需氨基酸指数（EAAI）系统的评价样品中的营养物质[12]。分别由下式求得：

$M=（n/n_{Pro}）\times 6.25\times 1000$

$P_{AAS}=m/A_{(FAO/WHO)}$

$P_{CS}=m/A_{Egg}$

$I_{EAAI}=[(\alpha/\alpha_E)\times(\beta/\beta_E)\ldots\times(\mu/\mu_E)]^{1/t}$

式中：M-氨基酸含量，mg/g N；n-样品中某种氨基酸含量，mg/g N；n_{Pro}-样品中粗蛋白质含量，mg/g N；m-测定的样品蛋白质中某种必需氨基酸含量，mg/g N；$A_{(FAO/WHO)}$-FAO/WHO 评分基准中某一必需氨基酸的含量，mg/g N；A_{Egg}-鸡蛋蛋白质中该种必需氨基酸含量，mg/g N；α、β…μ-样品蛋白质中必需氨基酸含量，mg/g N；α_E、β_E…μ_E-鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量，mg /g N；t-比较的氨基酸种类个数。

1.2.3 数据处理与分析

所有数据测量均为三重复（n=3），利用 Excel 对

数据进行处理，数据报告均为平均值±标准差（$\bar{x}$±s）。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分分析

对菊黄东方鲀、双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的水分、粗灰分、粗脂肪和粗蛋白质进行检测，结果如表 1 所示。4 种河鲀的水分和粗蛋白质含量均较高，粗灰分和粗脂肪含量较低，鱼肉水分含量大于鱼皮，鱼肉的粗灰分和粗蛋白质含量小于鱼皮，粗脂肪含量鱼皮与鱼肉含量均较低，属于少脂鱼（<2.00%）[13]。

从 4 种河鲀的鱼皮来看，4 种河鲀的粗蛋白质含量存在显著差异，其中菊黄东方鲀的粗蛋白质最高，其次是红鳍东方鲀和暗纹东方鲀，均高于刺鲃鱼皮（23.80%）[14]；双斑东方鲀和暗纹东方鲀的水分和粗脂肪含量无显著差异，显著高于红鳍东方鲀和菊花东方鲀，四种河鲀的粗灰分含量无显著差异，高于刺鲃。从 4 种河鲀的鱼肉来看，4 种河鲀的粗蛋白质含量之间存在显著差异，其中暗纹东方鲀的粗蛋白质含量最高，其次是菊黄东方鲀和红鳍东方鲀，均高于杨兴丽[15]对暗纹东方鲀的测定结果（21.06%）、陶宁萍等对暗纹东方鲀、菊黄东方鲀和红鳍东方鲀的测定结果（17.83%~18.38%）、高露姣等[16]对红鳍东方鲀的测定结果（15.88%~17.22%），这可能是因为背部鱼肉的蛋白质含量较高于其他部位，以及原料来源、养殖地等的不同。另外，与其他鱼类相比，高于棕斑腹刺鲀（19.30%）、黑腮兔头鲀（18.70%）[17]、七带石斑鱼（19.60%）[18]和美洲黑石斑鱼（19.09%）[19]等；红鳍东方鲀的粗脂肪含量显著高于其他 3 种河鲀，与高露姣的结果（0.30%~0.35%）相近，低于大菱鲆（0.78%）[20]、点带石斑鱼（1.41%）、七带石斑鱼（2.70%）和美洲黑石斑鱼（6.14%）等；双斑东方鲀的粗灰分含量显著高于其他 3 种河鲀，菊黄东方鲀和红鳍东方鲀的水分含量无显著差异，其中菊黄东方鲀最高，与陶宁萍（76.92%~77.96%）、Deng-Fwu H 等[21]（79.10%~80.60%）的结果相近，高于养殖大黄鱼（74.28%）[22]、点带石斑鱼（76.63%）[23]、七带石斑鱼（74.10%）和美洲黑石斑鱼（71.86%）等。总之，4 种河鲀的鱼皮和鱼肉具有高蛋白低脂肪的特点。

2.2 氨基酸组成及营养评价

2.2.1 氨基酸组成

检测 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的氨基酸组成如表 2 所示。4 种河鲀均检测出 8 种必需氨基酸(EAA)和 10 种非必需氨基酸(NEAA)，鱼皮的氨基酸总量(TAA)高于鱼肉，其中 NEAA 占比较大(79.55%~83.49%)，在 NEAA 中，鱼皮的鲜味氨基酸含量(FAA)较高，暗纹东方鲀>菊黄东方鲀>红鳍东方鲀>双斑东方鲀，占总氨基酸含量的 52.58%~55.16%，高于鱼肉(35.88%~38.71%)，且明显高于刺鲃鱼皮(46.23%)、养殖大黄鱼(24.42%)、秘鲁鱿鱼(21.59%)和西式鲍鱼(23.00%)[24]；Gly、Ala、Asp 和 Glu 为鲜味氨基酸，Gly 和 Ala 是甜味特征氨基酸[25]，4 种河鲀鱼皮中各鲜味氨基酸含量之间无显著差异，Gly 含量最高，其次是 Ala，且明显高于鱼肉，说明 4 种河鲀的鱼皮具有浓郁的鲜甜风味。

从鱼肉的氨基酸组成上看，ΣEAA/ΣTAA 和ΣEAA/ΣNEAA 的比值分别为 39.01%~43.11%和 65.26%~71.57%，高于鱼皮（16.61%~20.49%和 19.78%~25.70%），依据 FAO/WHO 提出的理想模式，质量较优的蛋白质氨基酸组成是ΣEAA/ΣTAA 约为 40%左右，ΣEAA/ΣNEAA>60%[26,27]，鱼皮均低于标准，属于不完全蛋白，鱼肉则接近或符合标准，说明 4 种河鲀鱼肉的蛋白质质量较优，该结果与郭芮等[28]对红鳍东方鲀的检测结果一致。鱼肉的各鲜味氨基酸含量之间无显著差异，其中 Glu 含量最高，其次是 Asp，Glu 不仅仅是增加鲜味的氨基酸，还是参与脑组织生化代谢中多种生理活性物质合成的重要氨基酸[29]；Lys 能够弥补小麦、玉米等谷类食物中赖氨酸的缺乏，从而大大提升人体对于食物中蛋白质的消化吸收[30]。

表 1 四种河鲀鱼皮和鱼肉的基本营养成分含量

Table 1 Nutritional composition in fish skin and fish meat of four varieties of puffer fish

含量/%	菊黄东方鲀 *Fugu. flavidus*		双斑东方鲀 *Fugu. bimaculatus*		红鳍东方鲀 *Fugu. rubripes*		暗纹东方鲀 *Fugu. obscurus*	
	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉
水分	66.73±0.63^{b}	79.59±0.56^{a}	72.09±0.96^{a}	77.00±0.45^{b}	67.21±0.31^{b}	79.13±0.64^{a}	72.76±0.46^{a}	77.36±0.46^{b}
粗灰分	2.09±0.42^{a}	1.22±0.04^{b}	2.66±0.25^{a}	1.24±0.02^{a}	2.75±0.29^{a}	1.09±0.02^{c}	2.84±0.66^{a}	1.03±0.02^{c}
粗脂肪	0.20±0.00^{b}	0.24±0.00^{c}	0.40±0.00^{a}	0.38±0.00^{b}	0.21±0.00^{b}	0.40±0.00^{a}	0.39±0.01^{a}	0.21±0.01^{c}
粗蛋白	37.61±0.00^{a}	20.84±0.00^{b}	20.17±0.52^{d}	18.13±0.85^{d}	35.07±0.85^{b}	20.15±0.92^{c}	32.66±0.11^{c}	23.27±0.48^{a}

注：不同字母表示同一列数值差异显著（p<0.05），相同字母表示同一列数值差异不显著（p>0.05）。

表 2 四种河鲀鱼皮和鱼肉的氨基酸组成

Table 2 Amino acid composition in fish skin and fish meat of four varieties of puffer fish

氨基酸/%	菊黄东方鲀		双斑东方鲀		红鳍东方鲀		暗纹东方鲀	
	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉
苏氨酸/Thr	0.82±0.08^{a}	0.77±0.44^{a}	0.86±0.01^{a}	0.97±0.01^{a}	0.88±0.01^{a}	0.95±0.55^{a}	0.83±0.06^{a}	1.00±0.08^{a}
缬氨酸/V^{a}l	0.93±0.08^{a}	1.28±0.74^{a}	0.97±0.02^{a}	1.12±0.01^{b}	0.98±0.00^{a}	1.04±0.60^{b}	0.94±0.04^{a}	1.18±0.06^{b}
甲硫氨酸/Met	0.49±0.28^{b}	0.44±0.05^{a}	0.52±0.00^{ab}	0.56±0.02^{b}	0.53±0.00^{ab}	0.44±0.02^{a}	0.56±0.03^{a}	0.57±0.33^{b}
异亮氨酸/Ile	0.39±0.04^{a}	0.83±0.48^{a}	0.41±0.24^{a}	1.04±0.00^{a}	0.39±0.23^{a}	0.90±0.03^{a}	0.38±0.22^{a}	1.01±0.08^{a}
亮氨酸/Leu	0.75±0.43^{a}	1.56±0.36^{a}	0.86±0.01^{a}	1.72±0.01^{a}	0.84±0.01^{a}	1.63±0.06^{a}	0.83±0.03^{a}	1.69±0.16^{a}
苯丙氨酸/Phe	0.71±0.06^{a}	0.75±0.16^{a}	0.74±0.01^{a}	0.84±0.02^{a}	0.72±0.01^{a}	0.79±0.03^{a}	0.70±0.02^{a}	0.83±0.05^{a}
赖氨酸/Lys	1.28±0.11^{a}	1.83±0.42^{a}	1.35±0.03^{a}	2.04±0.02^{a}	1.38±0.80^{a}	1.90±0.07^{a}	1.30±0.06^{a}	2.14±0.24^{a}
色氨酸/Trp	0.04±0.00^{a}	0.16±0.00^{b}	0.05±0.01^{a}	0.22±0.05^{a}	0.05±0.01^{a}	0.23±0.01^{a}	0.04±0.00^{a}	0.23±0.01^{a}
∑EAA	4.99	6.20	5.48	8.51	5.18	6.94	5.32	7.74
天冬氨酸/Asp**	1.80±0.16^{a}	1.75±0.38^{a}	1.86±0.04^{a}	1.91±0.02^{a}	1.83±0.01^{a}	1.80±0.06^{a}	1.74±0.03^{a}	1.84±0.06^{a}
谷氨酸/Glu**	3.41±0.35^{a}	3.83±0.21^{a}	3.54±0.09^{a}	3.31±0.06^{a}	3.58±0.07^{a}	3.18±0.14^{a}	3.20±0.13^{a}	3.25±0.37^{a}
甘氨酸/Gly**	7.91±0.66^{a}	1.20±0.21^{a}	7.99±0.17^{a}	1.24±0.02^{a}	8.12±0.18^{a}	1.16±0.04^{a}	7.27±0.15^{a}	1.04±0.02^{a}
丙氨酸/Ala**	3.54±0.29^{a}	1.22±0.26^{a}	3.58±0.07^{a}	1.35±0.01^{a}	3.56±0.09^{a}	1.22±0.70^{a}	3.38±0.36^{a}	1.26±0.06^{a}
丝氨酸/Ser	1.29±0.11^{a}	0.99±0.57^{a}	1.31 ±0.03^{a}	0.88±0.02^{a}	1.37±0.01^{a}	0.86±0.50^{a}	1.20±0.95^{a}	0.88±0.09^{a}
脯氨酸/Pro	3.98±0.39^{ab}	0.82±0.17^{a}	4.19±0.03^{a}	0.85±0.01^{a}	4.14±0.39^{ab}	0.83±0.02^{a}	3.60±0.08^{b}	0.77±0.09^{a}
酪氨酸/Tyr	0.25±0.03^{a}	0.68±0.16^{a}	0.26±0.00^{a}	0.75±0.01^{a}	0.26±0.00^{a}	0.76±0.44^{a}	0.24±0.14^{a}	0.76±0.08^{a}
组氨酸/His	0.31±0.18^{a}	0.56±0.32^{a}	0.31±0.18^{a}	0.50±0.03^{a}	0.33±0.00^{a}	0.47±0.01^{a}	0.33±0.02^{a}	0.52±0.02^{a}
精氨酸/Arg	2.68±0.18^{a}	1.29±0.29^{a}	2.73±0.07^{a}	1.36±0.01^{a}	2.70±0.11^{a}	1.38±0.80^{a}	2.38±0.01^{a}	1.32±0.12^{a}
胱氨酸/Gys	0.05±0.01^{a}	0.18±0.02^{b}	0.06±0.01^{a}	0.23±0.06^{a}	0.05±0.01^{a}	0.19±0.46^{b}	0.07±0.37^{a}	0.23±0.01^{a}
∑FAA	16.67	5.44	15.78	7.82	14.70	6.55	14.47	7.39
∑NEAA	25.23	8.93	24.53	11.89	22.17	9.98	20.70	11.86
∑TAA	30.22	15.16	30.01	20.40	27.35	16.92	26.02	19.60
∑EAA/∑TAA	16.61	43.11	18.32	41.72	18.83	41.21	20.49	39.01

注：∑EAA 表示必需氨基酸总量；∑NEAA 表示非必需氨基酸总量；∑TAA 表示氨基酸总量；∑FAA 表示鲜味氨基酸总量；** 表示鲜味氨基酸。不同字母表示同一列数值差异显著（p<0.05），相同字母表示同一列数值差异不显著（p>0.05）。

表 3 四种河鲀鱼皮和鱼肉的必需氨基酸组成评价

Table 3 Evaluation of essential amino acids composition in fish skin and fish meat of four varieties of puffer fish

氨基酸	菊黄东方鲀				双斑东方鲀				红鳍东方鲀				暗纹东方鲀			
	鱼皮		鱼肉		鱼皮		鱼肉		鱼皮		鱼肉		鱼皮		鱼肉	
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
Thr	0.55	0.47	0.92	0.79	1.07	0.91	1.34	1.15	0.62	0.53	1.18	1.01	0.64	0.54	1.07	0.92
Val	0.50	0.38	1.24	0.93	0.97	0.73	1.25	0.94	0.55	0.42	1.04	0.78	0.58	0.44	1.02	0.77
Ile	0.26	0.20	1.00	0.75	0.51	0.38	1.43	1.08	0.27	0.21	1.12	0.84	0.29	0.22	1.09	0.82
Leu	0.28	0.23	1.06	0.88	0.61	0.50	1.35	1.11	0.33	0.28	1.15	0.95	0.36	0.30	1.03	0.85
Phe+Tyr	0.42	0.28	1.13	0.76	0.82	0.55	1.44	0.97	0.45	0.30	1.27	0.85	0.47	0.32	1.12	0.76
Met+Gys	0.41	0.23	0.85	0.48	0.82	0.47	1.24	0.71	0.46	0.26	0.89	0.51	0.55	0.31	0.98	0.56
Lys	0.63	0.48	1.61	1.24	1.23	0.95	2.07	1.59	0.71	0.55	1.73	1.34	0.73	0.56	1.69	1.30
Trp	0.11	0.06	0.80	0.45	0.26	0.15	1.26	0.72	0.15	0.08	1.19	0.67	0.13	0.07	1.03	0.58
Total	0.55	0.47	0.92	0.79	1.07	0.91	1.34	1.15	0.62	0.53	1.18	1.01	0.64	0.54	1.07	0.92
EAAI	0.25		0.75		0.51		1.00		0.29		0.84		0.30		0.79	

2.2.2 氨基酸营养价值评价

人体必需氨基酸的组成及含量是评价某种食物中蛋白质营养价值的关键因素。根据 FAO/WHO 的氨基酸评分标准模式和鸡蛋蛋白质的评分标准模式，计算并评价 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）和必需氨基酸评分（EAAI）（表 3）。

由表 3 可知，4 种河鲀鱼皮的 AAS、CS 和 EAAI 值明显低于同种河鲀的鱼肉，双斑东方鲀的 AAS、CS 和 EAAI 值最高，其次是暗纹东方鲀。从鱼皮的 AAS 和 CS 值可知，Trp 均为 4 种河鲀鱼皮的第一限制氨基酸，说明 4 种河鲀的鱼皮蛋白质中色氨酸欠缺。从鱼肉的 AAS 和 CS 可知，菊黄东方鲀的第一限制氨基酸为 Trp，双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀的第一限制氨基酸均为 Met+Gys，说明菊黄东方鲀的鱼肉蛋白质中色氨酸欠缺，双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀的鱼肉蛋白质中甲硫氨酸和胱氨酸欠缺。

EAAI 值是一种常用的评价食物蛋白质营养价值的指标，它是参考鸡蛋蛋白质必需氨基酸进行评定，当 EAAI>0.95 为优质蛋白源，0.86<EAAI≤0.95 为良好蛋白源，0.75≤EAAI≤0.86 为可用蛋白源，EAAI<0.75 为不适蛋白源[31]。4 种河鲀鱼肉的 EAAI 值为 0.75~1.00，高于鱼皮，说明 4 种河鲀鱼肉的蛋白源较优。

2.3 脂肪酸成分分析

现在人们不断认识的到了多不饱和脂肪酸 PUFA 对人体健康的益处，尤其是 w-3 系列多不饱和脂肪酸（*w*-3 PUFA），因为这些脂肪酸是人体必不可少的[32,33]，并且越来越多的研究证明多不饱和脂肪酸（PUFA）对很多疾病有明显的预防和治疗作用，对动物脂类代谢具有调节作用等[34-36]。

对 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的脂肪酸进行检测，结果如表 4 所示，均检测出 2 种饱和脂肪酸（SFA）棕榈酸和硬脂酸，4 种河鲀鱼皮的总脂肪酸含量（FA）、*w*-3 PUFA 和 *w*-6 系列多不饱和脂肪酸（*w*-6 PUFA）含量均低于同种河鲀的鱼肉。PUFA 与 SFA 的比值（>0.4）[22]以及 *w*-6 PUFA 与 *w*-3 PUFA 的比值（<4）[37-39]是衡量脂肪酸营养价值的重要指标，4 种河鲀鱼皮和鱼肉的 ∑PUFA/∑SFA 分别为 0.38~0.66 和 1.00~1.13，∑*w*-6 PUFA/∑*w*-3 PUFA 分别为 0.00~2.00 和 0.07~1.13。

表 4 四种河鲀鱼皮和鱼肉的脂肪酸组成及含量

Table 4 Fatty acid content in fish skin and fish meat of four varieties of puffer fish

脂肪酸/%	菊黄东方鲀		双斑东方鲀		红鳍东方鲀		暗纹东方鲀	
	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉
棕榈酸(C16:0)	0.04±0.00^{b}	0.06±0.00^{a}	0.06±0.01^{a}	0.09±0.00^{a}	0.05±0.00^{a}	0.10±0.06^{a}	0.06±0.00^{a}	0.07±0.00^{a}
硬脂酸(C18:0)	0.03±0.00^{a}	0.04±0.00^{c}	0.04±0.01^{a}	0.06±0.00^{a}	0.03±0.00^{a}	0.05±0.01^{b}	0.03±0.00^{a}	0.03±0.00^{d}
∑SFA	0.07	0.10	0.09	0.15	0.08	0.15	0.09	0.10
油酸(C18:1)	0.05±0.00^{b}	0.08±0.00^{a}	0.06±0.01^{a}	0.07±0.00^{b}	0.07±0.01^{a}	0.08±0.01^{a}	0.07±0.00^{a}	0.08±0.00^{a}
神经酸(C24:1)	-	-	0.01±0.00^{a}	-	-	-	0.02±0.00^{a}	-
∑MUFA	0.05	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.08
EPA	-	0.01±0.00^{a}	-	-	-	0.01±0.00^{a}	-	-
DPA	-	-	-	0.01±0.00^{a}	-	0.02±0.00^{a}	-	0.01±0.00^{a}
DHA	-	0.05±0.00^{c}	0.02±0.00^{a}	0.07±0.00^{b}	0.02±0.00^{a}	0.11±0.01^{a}	0.03±0.00^{a}	0.04±0.00^{d}
∑*w*-3 PUFA	-	0.05	0.02	0.08	0.02	0.15	0.03	0.05
亚油酸(C18:2)	0.03±0.01^{b}	0.04±0.00^{b}	0.04±0.01^{a}	0.07±0.00^{a}	0.01±0.00^{c}	-	0.02±0.00^{b}	0.04±0.00^{b}
花生四烯酸(ARA)	-	0.01±0.00^{a}	-	0.02±0.00^{b}	-	0.01±0.00^{a}	0.05±0.00^{a}	0.01±0.00^{a}
∑*w*-6 PUFA	0.03	0.05	0.04	0.09	0.01	0.01	0.02	0.05
∑PUFA	0.03	0.10	0.06	0.17	0.03	0.15	0.05	0.10
∑UFA	0.08	0.18	0.13	0.24	0.10	0.24	0.14	0.18
∑FA	0.15	0.28	0.24	0.39	0.18	0.38	0.23	0.28

注：∑SFA 为饱和脂肪酸总量；∑MUFA 为单不饱和脂肪酸总量；∑PUFA 为多不饱和脂肪酸总量；∑UFA 为不饱和脂肪酸；∑FA 为脂肪酸总量；∑w-3PUFA 为 w-3 系列多不饱和脂肪酸总量；∑w-6PUFA 为 w-6 系列多不饱和脂肪酸总量。不同字母表示同一列数值差异显著（p<0.05），相同字母表示同一列数值差异不显著（p>0.05）。

从 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的脂肪酸组成来看，双斑东方鲀的总脂肪酸含量最高，其次是暗纹东方鲀。鱼肉的∑SFA 和∑MUFA 高于鱼皮，SFA 中棕榈酸含量较高，鱼肉中 4 种河鲀之间无显著差异，鱼皮中双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀显著高于菊黄东方鲀；MUFA 中，油酸含量较高，鱼皮中 4 种河鲀之间无显著差异，鱼肉中双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀显著高于菊黄东方鲀，有研究表明，棕榈酸能够降低血清中胆固醇的含量，棕榈酸与油酸结合有利于治疗血栓[40]，棕榈酸+油酸含量最高的为红鳍东方鲀的鱼肉，其次是双斑东方鲀的鱼肉。从 *w*-3 PUFA 上看，红鳍东方鲀中鱼肉含有较高的 DHA、DPA 和 EPA，其中 DHA 含量显著高于其他 3 种鱼；从 *w*-6 PUFA 上看，双斑东方鲀鱼肉的总量较高，其中亚油酸含量显著高于其他 3 种鱼，研究表明，大量摄取 DHA 和 EPA 可以降低血性心脏病的风险，并有利于大脑的健康等[41,42]。因此，4 种河鲀鱼肉的脂肪酸比例较为均衡，符合食品营养健康要求，营养价值较好。

2.4 矿物质元素含量分析

对 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的矿物质元素进行检测，结果如表 5 所示。总体而言，鱼皮的矿物质元素含量较高于鱼肉，这与粗灰分含量中鱼皮大于鱼肉的结果相一致，这可能是因为河鲀体表密生小刺。

从 4 种河鲀的鱼皮来看，常量元素中钙元素的含量较高，其次是磷元素，其中菊黄东方鲀钙含量和双斑东方鲀磷含量显著高于其他 3 种；微量元素中锌元素含量较高，其次是铁元素，红鳍东方鲀显著高于其他 3 种河鲀，且高于刺鲃鱼皮（6.46 mg/100 g、0.91 mg/100 g）。从 4 种河鲀的鱼肉来看，常量元素中钾元素的含量较高，其次是磷元素，4 种河鲀的钾和磷含量之间存在显著差异，双斑东方鲀均显著高于其他 3 种河鲀，其中钾含量高于大黄鱼（232.9 mg/100 g）；微量元素中红鳍东方鲀种类较多，锌元素含量较高，其中红鳍东方鲀含量显著高于其他 3 种河鲀，其次是暗纹东方鲀。

表 5 四种河鲀鱼皮和鱼肉的矿物质元素含量

Table 5 Mineral content in fish skin and fish meat of four varieties of puffer fish

矿物质元素/(mg/100 g)		菊黄东方鲀		双斑东方鲀	
		鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉
常量元素	钠（Na）	118.27±3.93^{b}	70.27±0.12d	121.93±1.33^{b}	93.60±1.21^{b}
	钾（K）	32.07±0.29^{c}	383.57±0.58^{b}	184.43±0.98^{a}	439.00±1.56^{a}
	钙（Ca）	1737.47±43.59^{a}	5.47±0.06d	1589.40±50.92^{b}	7.73±0.12^{b}
	镁（Mg）	26.23±1.33^{b}	31.13±0.06d	28.90±0.00^{b}	37.20±0.00^{b}
	磷（P）	503.17±14.89^{c}	205.37±16.74^{c}	840.07±0.06^{a}	226.13±10.97^{a}
微量元素	锰（Mn）	0.3±0.00^{b}	-	0.70±0.00^{a}	-
	铁（Fe）	1.00±0.00^{b}	-	0.77±0.06^{c}	-
	铜（Cu）	0.04±0.00^{b}	0.02±0.00^{a}	0.05±0.00^{b}	0.02±0.00^{a}
	锌（Zn）	2.40±0.00d	0.30±0.00d	3.67±0.12^{b}	0.60 ±0.00^{c}
	硒（Se）	0.03±0.10^{a}	0.03±0.00^{a}	0.04±0.01^{a}	0.04±0.01^{a}

矿物质元素/(mg/100 g)		红鳍东方鲀		暗纹东方鲀	
		鱼皮	鱼肉	鱼皮	鱼肉
常量元素	钠（Na）	150.37±1.67^{a}	187.53±0.46^{a}	118.07±8.03^{b}	88.50±0.35^{c}
	钾（K）	116.13±1.79^{b}	266.47±3.18d	180.97±6.99^{a}	340.70±0.87^{c}
	钙（Ca）	1034.63±20.32d	8.77±0.06^{a}	1399.67±27.71^{c}	6.63±0.06^{c}
	镁（Mg）	38.50±1.21^{a}	35.40±0.00^{c}	26.00±4.50^{b}	37.67±0.23^{a}
	磷（P）	484.00±54.26d	167.63±18.48d	740.30±26.14^{b}	214.17±31.75^{b}
微量元素	锰（Mn）	-	-	0.70±0.40^{a}	-
	铁（Fe）	4.27±0.06^{a}	0.50±0.00	0.87±0.12^{bc}	-
	铜（Cu）	65.86±21.17^{a}	0.02±0.00^{a}	0.09±0.69^{b}	0.01±0.00^{a}
	锌（Zn）	8.93±0.12^{a}	0.90±0.00^{a}	3.50±0.17^{c}	0.73±0.06^{b}
	硒（Se）	0.05±0.00^{a}	0.05±0.00^{a}	0.04±0.01^{a}	0.03±0.01^{a}

注：不同字母表示同一列数值差异显著（p<0.05），相同字母表示同一列数值差异不显著（p>0.05）。

3 结论

3.1 通过检测菊黄东方鲀、双斑东方鲀、红鳍东方鲀和暗纹东方鲀鱼皮和鱼肉的常规营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成及矿物质元素，并进行比较和分析，从而对不同河鲀的营养价值进行更直观的评价。从 4 种河鲀鱼皮的测定结果可知，粗蛋白质含量上，菊黄东方鲀>红鳍东方鲀>暗纹东方鲀>双斑东方鲀，分别为 37.61%、35.07%、32.66%、20.17%；粗灰分含量上，暗纹东方鲀>红鳍东方鲀>双斑东方鲀>菊黄东方鲀，分别为 2.84%、2.75%、2.66%、2.09%；粗脂肪含量上，双斑东方鲀>暗纹东方鲀>红鳍东方鲀>菊黄东方鲀，分别为 0.40%、0.39%、0.21%、0.20%；氨基酸总量和鲜味氨基酸总量上，菊黄东方鲀>双斑东方鲀>红鳍东方鲀>暗纹东方鲀，分别为 30.22%、30.01%、27.35%、26.02%和 16.67%、15.78%、14.70%、14.47%；常量元素中 Ca 含量最高，菊黄东方鲀>双斑东方鲀>暗纹东方鲀>红鳍东方鲀，分别为 1737.47 mg/100 g、1589.40 mg/100 g、1399.67 mg/100 g、1034.63 mg/100 g；微量元素中 Zn 含量最高，红鳍东方鲀>双斑东方鲀>暗纹东方鲀>菊黄东方鲀，分别为 8.93 mg/100 g、3.67 mg/100 g、3.50 mg/100 g、2.40 mg/100 g。

3.2 从 4 种河鲀鱼肉的测定结果可知，粗蛋白质上，暗纹东方鲀>菊黄东方鲀>红鳍东方鲀>双斑东方鲀，分别为 23.27%、20.84%、20.15%、18.13%；粗脂肪含量上，红鳍东方鲀>双斑东方鲀>菊黄东方鲀>暗纹东方鲀，分别为 0.40%、0.38%、0.24%、0.21%；∑EAA/∑TAA 值上，菊黄东方鲀>双斑东方鲀>红鳍东方鲀>暗纹东方鲀，分别为 43.11%、41.72%、41.21%、39.01%；∑EAA/∑NEAA 值上，双斑东方鲀>红鳍东方鲀>菊黄东方鲀>暗纹东方鲀，分别为 71.57%、69.54%、69.43%、65.26%；EAAI 值上，双斑东方鲀>红鳍东方鲀>暗纹东方鲀>菊黄东方鲀，分别为 1.00、0.84、0.79、0.75；∑FA 上，双斑东方鲀>红鳍东方鲀>暗纹东方鲀=菊黄东方鲀，分别为 0.39%、0.38%、0.28%、0.15%；∑*w*-3 PUFA 上，红鳍东方鲀>双斑东方鲀>暗纹东方鲀=菊黄东方鲀，含量分别为 0.15%、0.08%、0.05%、0.05%；常量元素中 K 含量最高，双斑东方鲀>菊黄东方鲀>暗纹东方鲀>红鳍东方鲀，分别为 439.00 mg/100 g、383.57 mg/100 g、340.70 mg/100 g、266.47 mg/100 g。

3.3 由 4 种河鲀鱼皮和鱼肉的结果可知，鱼皮的粗蛋白质和粗灰分含量高于鱼肉，鱼肉的水分含量高于鱼皮，鱼皮和鱼肉的粗脂肪含量均较低；鱼皮的氨基酸总量和鲜味氨基酸高于鱼肉，鱼肉的∑EAA/∑TAA、∑EAA/∑NEAA 和 EAAI 值均高于鱼皮，且符合标准；鱼肉的∑FA、*w*-3 PUFA 和 *w*-6 PUFA 含量均高于同种河鲀的鱼皮，鱼皮的常量元素中 Ca 含量高于鱼肉，K 元素低于鱼肉，鱼皮的微量元素中 Zn 元素高于鱼肉。因此，4 种河鲀均为高蛋白低脂肪的经济鱼类，鱼皮具有更加鲜甜的风味，鱼肉的蛋白源较优，鱼皮和鱼肉的氨基酸、脂肪酸和矿物质元素丰富、比例均衡，营养价值较高。

参考文献

[1] 龚玺.养殖河鲀鱼肉营养品质研究[D].上海:上海海洋大学,2013
GONG Xi. Evaluation of nutritional quality of bred puffer fish muscle [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013

[2] Wu Z L, Yang Y, Xie L P, et al. Toxicity and distribution of tetrodotoxin producing bacteria in puffer fish fugu rubripes collected from the bohai sea of China [J]. Toxicon, 2005, 46(4): 471-476

[3] Matsumoto T, Ishizaki S, Nagashima Y J. Differential gene expression profile in the liver of the marine puffer fish *Takifugu rubripes* induced by intramuscular administration of tetrodotoxin [J]. Toxicon, 2011, 57(2): 304-310

[4] Noguchi T, Arakawa O, Takatani T. Toxicity of pufferfish *Takifugu rubripes* cultured in netcages at sea or aquaria on land [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics, 2006, 1(1): 153-157

[5] Yu C F , Yu P H, Chan P, et al. Two novel species of tetrodotoxin producing bacteria isolated from toxic marine puffer fishes [J]. Toxicon, 2004, 44(6): 641-647

[6] Auawithoothij W, Noomhorm A. Shewanella putrefaciens, a major microbial species related to tetrodotoxin (TTX)-accumulation of puffer fish Lagocephalus lunaris [J]. Journal of Applied Microbiology, 2012, 113(2), 459-465

[7] Zhang M, Wang X, Liu Y, et al. Species discrimination among three kinds of puffer fish using an electronic nose combined with olfactory sensory evaluation [J]. Sensors, 2012, 12(9), 12562-12571

[8] 王丽雅.养殖雄性暗纹东方鲀营养品质研究[D].上海:上海海洋大学,2013
WANG Li-ya. Analysis and Evaluation of the Nutritional Composition of farmed male puffer fish (*Takifugu obscurus*) [J]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013

[9] 陶宁萍,龚玺,刘源,等.三种养殖河鲀肌肉营养成分分析及评价[J].营养学报,2011,33(1):92-98

TAO Ning-ping, GONG Xi, LIU Yuan, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components in muscles of three varieties of bred puffer fish [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2011, 33(1): 92-98

[10] Geng J J, Li H, Liu J P, et al. Nutrients and contaminants in tissues of five fish species obtained from Shanghai markets: Risk–benefit evaluation from human health perspectives [J]. Science of the Total Environment, 2015, 536(1): 933- 945

[11] Vinay B J, Sindhu Kanya T C. Effect of detoxification on the functional and nutritional quality of proteins of karanja seed meal [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 77- 84

[12] 杨月欣,王光亚,潘光昌.中国食物成分表 2002[M].北京:北京医科大学出版社,2002:286-322
YANG Yue-xin, WANG Guang-ya, PAN Guang-chang. China Food Composition 2002 [M]. Beijing:Peking University Medical Press, 2002: 286-322

[13] 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
WU Jing-na, XU Yong-an, LIU Zhi-yu. Analysis and evaluation of nutritional components in meat of bred *Pseudosciaena crocea* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 610-612

[14] 程小飞,洪波,苏东旭,等.刺鲃鱼皮和鱼鳞营养成分的分析与评价[J].现代食品科技,2019,35(5):259-267
CHENG Xiao-fei, HONG Bo, SU Dong-xu, et al. Nutritional analysis and evaluation on skin and scales of *Spinibarbus caldwell*i [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(5): 259-267

[15] 杨兴丽,周晓林,穆庆华,等. 暗纹东方鲀含肉率及肌肉营养成分分析[J].水利渔业,2004,3:27-28,51
YANG Xing-li, ZHOU Xiao-lin, MU Qing-hua, et al. Analysis of meat content and muscle nutrition composition of *Takifugu* obscures [J]. Reservoir Fisheries, 2004, 3: 27-28, 51

[16] 高露姣,黄艳青,夏连军,等.不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较[J].水产学报,2011,35(11):1668-1676
GAO Lu-jiao, HUANG Yan-qing, XIA Lian-jun, et al. Comparison of flesh quality of farmed fugu *Takifugu rubripes* from different culture models [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1668-1676

[17] 刘振熙,张风雷,戴桂勋,等.棕腹刺河豚肌肉中三大营养成分的研究[J].广东微量元素科学,2005,7:59-61
LIU Zhen-xi, ZHANG Feng-lei, DAI Gui-xun, et al. Study of 3 kind nutrient in muscle from palm abdominal star *Epinephelus vermicularis* [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2005, 7: 59-61

[18] 程波,陈超,王印庚,等.七带石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J].渔业科学进展,2009,30(5):51-57
CHENG Bo, CHEN Chao, WANG Yin-geng, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Epinephelus septemfasciatus* muscles [J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(5): 51-57

[19] 党冉,竺俊全,邱新志.美洲黑石斑鱼含肉率及肌肉营养成分分析[J].海洋学研究,2010,28(2):60-66
DANG Ran, ZHU Jun-quan, QIU Xin-zhi. Analysis of flesh content and nutrient components in the muscle of *Centropristis striata* [J]. Journal of Marine Sciences, 2010, 28(2): 60-66

[20] 王远红,吕志华,郑桂香,等.大菱鲆的营养成分分析[J].营养学报,2003,4:438-440
WANG Yuan-long, LYU Zhi-hua, ZHENG Gui-xiang, et al. Analysis of the nutritional components of *Scophthalmus* maximus [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2003, 4: 438-440

[21] Hwang D F, Chen T Y, Jeng S S. Seasonal variations of free amino acids and nucleotide-related compounds in the muscle of cultured Taiwanese puffer *Takifugu rubripes* [J]. Fisheries Science, 2000, 66(6): 1123-1126

[22] 杨华,娄永江.养殖大黄鱼营养成分及组织结构分析[J].中国食品学报,2013,13(6):240-248
YANG Hua, LOU Yong-jaing. Analysis of nutrient composition and configuration in cultured *Pseudosciaena crocea*'s muscle [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(6): 240-248

[23] 徐大为,邢克智,张树森,等.点带石斑鱼的肌肉营养成分分析[J].水利渔业,2008,3:54-56
XU Da-wei, XING Ke-zhi, ZHANG Shu-sen, et al. Analysis of nutrient composition in muscle of *Epinephelusm alabaricus* [J]. Reservoir Fisheries, 2008, 3: 54-56

[24] 杨宪时,王丽丽,李学英,等.秘鲁鱿鱼和日本海鱿鱼营养成分分析与评价[J].现代食品科技,2013,9:247-2293
YANG Xian-shi, WANG Li-li, LI Xue-ying, et al. Analysis and evaluation of nutritional compositions of *Dosidicus gigas* and *Onychoteuthis borealijaponicus* okada [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 9: 247-2293

[25] 张竹青,胡世然,杨兴,等.人工养殖白甲鱼的含肉率及肌肉营养成分分析[J].贵州农业科学,2010,38(9):129-133.
ZHANG Zhu-qing, HU Shi-ran, YANG Xing, et al. Meat rate and muscle nutrient composition of *Varicorhinus* (*Onychostoma*) *simus* under artificial aquaculture condition [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(9): 129-133

[26] 李正中.花粉、灵芝与珍珠中必需氨基酸的定量测定与分

析比较[J].氨基酸杂志,1988,4:41-43
LI Zheng-zhong. Quantitative determination and analysis of essential amino acids in pollen, *Ganoderma lucidum* and pearl [J]. Journal of Amino Acids, 1988, 4: 41-43

[27] 陈晓婷,吴靖娜,路海霞,等.蓝圆鲹肌肉中营养成分分析与评价[J].渔业现代化,2016,43(1):56-61
CHEN Xiao-ting, WU Jing-na, LU Hai-xia, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of *Decapterus maruadsi* [J]. Fishery Modernization, 2016, 43(1): 56-61

[28] 郭芮,王小瑞,苏红,等.红鳍东方鲀鱼肉、肝脏、鱼皮中营养物质的比较与分析[J].河北农业大学学报,2017,40(6): 77-82
GUO Rui, WANG Xiao-rui, SU Hong, et al. Analysis and comparison of nutritional compositions in muscle, liver and skin of *Takifugu rubripes* [J]. Journal of Agriculture University of Hebei, 2017, 40(6): 77-82

[29] 张昌颖,李亮,李昌甫.生物化学[M].北京:人民卫生出版社,1998:305-561
ZHANG Chang-ying, LI Liang, LI Chang-pu. Biochemistry [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1998: 305-561

[30] 刘书臣,李仁伟,廖明涛,等.大目金枪鱼不同部位肌肉的营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2013,23:340-344
LIU Shu-chen, LI ren-wei, LIAO Ming-tao, et al. Nutritional components analysis and quality evaluation of different muscle parts of bigeye tuna [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 23: 340-344

[31] 冯东勋,赵保国.利用必需氨基酸指数(EAAI)评价新饲料蛋白源[J].中国饲料,1997,7:10-13
FENG Dong-xun, ZHAO Bao-guo. Evaluation of new feed protein sources by essential amino acids index (EAAI) [J]. Chinese Feed, 1997, 7: 10-13

[32] Alessandri J M, Goustard B, Guesnet P, et al. Docosahexaenoic acid concentrations in retinal phospholipids of piglets fed an infant formula enriched with long-chain polyunsaturated fatty acids: effects of egg phospholipids and fish oils with different ratios of eicosapentaenoic acid to docosahexaenoic acid [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1998, 67(3): 377-385

[33] Simopoulos A P. N-3 fatty acids and human health: Defining strategies for public policy [J]. Lipids, 2001,36(S1): 83-89

[34] 郎丽巍,王洪允,胡蓓,等.多不饱和脂肪酸在癌症及炎症疾病方面的研究进展[J].中国生化药物杂志,2014,34(1): 153-155,158
LANG Li-wei, WANG Hong-yun, HU Bei, et al. Resrarch advances of polyunsaturated faaty acids in cancer and inflammation disease[J]. Chinese Journal of Biochemical and Pharmaceutics, 2014, 34(1): 153-155, 158

[35] Nakamura M T, Yudell B E, Loor J J. Regulation of energy metabolism by long-chain fatty acids [J]. Progress in Lipid Research, 2014, 53: 124-144

[36] 王雪,闫素梅.多不饱和脂肪酸对动物脂类代谢的调节作用与机制[J].动物营养学报,2019,31(6):2471-2478
WANG Xue, YAN Su-mei. Regulation and mechanism of lipid metabolism by polyunsaturated fatty acids of animals [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(6): 2471-2478

[37] Kouba M, Enser M, Whittington F M. Effect of a highlinolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig [J]. Journal of Animal Science, 2008, 81: 1967-1979

[38] Wood J D, Richardson R I, Nute G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: A review [J]. Meat Science, 2003, 66: 21-32

[39] 刘根生,徐贵发.单不饱和脂肪酸对心血管的保护作用[J].卫生研究,2006,35(5):357-369
LIU Gen-sheng, XU Gui-fa. Protective effect of dietary monounsaturated fatty acid on cardiovascular system [J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 35(5): 357-369

[40] 陈银基,鞠兴荣,周光宏.饱和脂肪酸分类与生理功能[J].中国油脂,2003,33(3):35-39
CHEN Yin-ji, JU Xing-rong, ZHOU Guang-hong. Classification and physiological function of saturated fatty acids [J]. China Oils and Fats, 2003, 33(3): 35-39

[41] Bang H O, Dyerberg J, Sinclair H M. The composition of the Eskimo food in north western Greenland [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1980, 33(12): 2657-2661

[42] 刘志国,王丽梅,王华林,等.多不饱和脂肪酸对大脑功能影响研究进展[J].食品科学,2015,36(21):284-290
LIU Zhi-guo, WANG Li-mei, WANG Hua-lin, et al. Recent advances in understanding the effects of polyunsaturated fatty acids on brain function [J]. Food Science, 2015, 36(21): 284-290