

七种海水鱼背部肌肉营养成分及矿物元素 分布与健康评价

刘芳芳^{1,2}, 杨少玲¹, 林婉玲^{1*}, 李来好¹,
杨贤庆¹, 吴燕燕¹, 黄卉¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 国家水产品加工技术研发中心,
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: 测定了7种海水鱼的基本营养成分、氨基酸组成及矿物元素含量, 并对氨基酸进行营养评价, 同时结合营养素安全摄入上限法(UL)对鱼肌肉中矿物元素进行了营养健康风险分析。结果显示, 7种海水鱼粗灰分含量差异不大, 粗脂肪和水分含量均差异显著, 黄花鱼粗脂肪含量最高, 含水量最低, 分别为 $9.44\% \pm 0.29\%$ 和 $71.64\% \pm 0.44\%$, 青点鹦嘴鱼含水量最高, 粗脂肪含量最低, 粗蛋白含量为 $18.56\% \pm 0.29\% \sim 20.97\% \pm 0.32\%$, 差异显著; 7种海水鱼肌肉中氨基酸种类齐全, 含量丰富, 且 $\sum EAA/\sum TAA$ 和 $\sum EAA/\sum NEAA$ 的比值符合FAO/WHO理想模式, 限制氨基酸为Val、Trp、Met+Cys, 必需氨基酸指数为77.57~89.04; 7种海水鱼肌肉中矿物元素含量丰富, 且不同鱼种同一元素含量差异显著, K平均含量最大, Na含量差异最为显著; 矿物元素的风险评估显示, 珠海采样的鱼类Cu在2~5、6~17、18~44、45~59这4个年龄阶段最大风险指数都大于100%, 属于风险不可接受范围, 平均风险指数均在可接受范围内。本研究以期为海水鱼深加工以及居民日常膳食提供参考。

关键词: 海水鱼; 基本成分; 氨基酸; 矿物质; 风险评估

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

我国海水鱼种类繁多、来源广泛, 是人类的肉类重要来源之一, 由于其低脂肪、高蛋白、氨基酸种类齐全, 且易被吸收的铁、钙、磷等元素含量丰富^[1], 深受消费者青睐。肌肉组成决定鱼肉的鲜美程度, 通过研究分析不同种类海水鱼的营养组成, 不仅为广大消费者提供一个切实可行的依据, 也为其深加工提供基础^[2]。

目前关于海水鱼营养成分的研究报道较多, 但是主集要中在对不同种鱼或同种鱼不同身体部位的基本营养成分、氨基酸和脂肪酸组成及营养评价、矿物元素含量等方面的研究,

FAO/WHO于2005年推出营养素安全摄入上限(upper limit, UL)风险评估模型, 以评估和管理营养素过量摄入风险^[3], 中国在制定中国居民膳食营养素参考摄入量(dietary reference intakes, DRIs)时也制定了大部分营养素的安全摄入上限。对矿物元素的风险评估主要集中在果蔬^[4-5]、藻类^[6-7]、虾^[8]、蛋^[9]等方面, 在食用菌方面也有所涉及^[10]。鱼类作为矿物质含量丰富的优质肉类食品, 迄今人们对其矿物元素的风险评估主要针对重金属^[11], 但关于人体所必需的常微量元素健康风险评估在国外已有所报道^[12-13], 在国内却

收稿日期: 2018-09-11 修回日期: 2019-03-03

资助项目: “十二五”国家重点研发计划(2016YFD0400201-6); 现代农业产业技术体系专项(CARS-47); “扬帆计划”引进创新创业团队专项(2015YT02H109)

通信作者: 林婉玲, E-mail: lwlsf@163.com

鲜有研究。因此本研究除对同属鲈形目(Perciformes), 笛鲷科(Lutjanidae)的马拉巴笛鲷(*Lutjanus malabaricus*)、紫红笛鲷(*L. argentimaculatus*), 石首鱼科(Sciaenidae)的黄花鱼(*Larimichthys polyactis*), 鲷科(Sparidae)的黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*), 鲹科(Carangidae)的高体鲹(*Seriola dumerili*), 鹦哥鱼科(Scaridae)的青点鹦嘴鱼(*Scarus ghobban*), 裸颊鲷科(Aphareidae)的星斑裸颊鲷(*Lethrinus nebulosus*)这7种海水鱼的基本营养成分、氨基酸组成、矿物元素含量分析之外, 也对矿物元素健康风险进行了分析, 以期为海水鱼后期深加工提供科学依据, 为居民日常选

购鱼类、合理膳食提供参考意见。

1 材料与方法

1.1 实验对象

野生马拉巴笛鲷(约500 g)、黄花鱼(约300 g)、黑鲷(约500 g)、高体鲹(约2 000 g)、青点鹦嘴鱼(约400 g)、星斑裸颊鲷(约600 g)、紫红笛鲷(约300 g)各25尾, 于2018年4月购自珠海朝阳市场, 取背部肌肉去皮绞碎备用。

1.2 实验方法与仪器

基本营养成分测定方法 测定方法见表1。

表1 基本营养成分测定方法

Tab. 1 Methods for determination of basic nutrients

检测项目 test item	参照标准 reference standard	测定方法 determination method	分析仪器 analytical instrument
水分含量 moisture	[14]	105 °C恒温干燥法	105 °C恒温干燥箱
粗灰分 crude ash	[15]	550 °C高温灼烧法	马弗炉
粗蛋白 crude protein	[16]	凯氏定氮法	全自动凯氏定氮仪
粗脂肪 crude lipid	[17]	索氏抽提法	全自动索氏抽提仪

氨基酸测定方法 采用酸法提取: 称0.5 g样品于水解瓶中, 加入10 mL含有1%苯酚的6 mol/L的纯盐酸氮吹1 min后封瓶, 110 °C水解22 h, 取出冷却, 移1 mL至离心管中, 95 °C氮吹烘干后加1 mL去离子水, 过0.2 μm水系滤膜后上机分析(色氨酸采用碱水解)。所用仪器为Agilent液相色谱仪, 检测波长: 紫外338 nm, 荧光EX=266 nm, EM=305 nm, 柱温: 40 °C, 流动相: 90 mmol/L磷酸钠, pH=7.8。

矿物元素测定方法 参照Souza等^[18-19]的方法。称取0.5 g(精确至0.000 1 g)经绞碎除刺的样品于聚四氟乙烯微波消解管内, 依次加入10 mL浓硝酸溶液, 按微波消解程序进行消解, 待消解完成并赶酸后移入50 mL离心管中用超纯水定容, 过0.2 μm水系滤膜后存放在4 °C冰箱中待测。所用仪器为Agilent 7900电感耦合等离子体质谱仪。

1.3 氨基酸营养评价

必需氨基酸含量参考文献[20]换算得出, 同时依据标准氨基酸评分模式分别计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)

和F值(F), 计算公式参照文献[21-23]。

1.4 矿物元素风险评估

参考邓梦雅等^[24]方法计算矿物元素含量与安全摄入上限(UL)的比值, 即%UL, 当%UL≤100%时, 表示风险可以接受, %UL越小, 风险越小; %UL>100%时, 表示风险不可接受。

$$\%UL = C \times In / UL \times 100\%$$

式中, C代表鱼肉中矿物元素含量, mg/kg; In代表鱼肉的日均消费量, kg/d; UL代表安全摄入上限, mg/d; %UL为风险指数。

1.5 数据分析

实验数据使用Excel 2010软件统计整理, 并采用SPSS 24.0进行LSD检验和Duncan氏多重比较, 结果用平均值±标准差呈现。P<0.05时表示差异显著, 本研究所有指标测定均设3次重复(n=3)。

2 结果

2.1 基本营养成分分析

7种海水鱼的粗灰分含量为1.19%±0.02%~1.47%±

0.05%(表2), 高体鲷粗灰分含量最大, 马拉巴笛鲷、黄花鱼、黑鲷、星斑裸颊鲷、紫红笛鲷粗灰分含量差异不显著($P>0.05$); 水分含量差异显著($P<0.05$), 为 $71.64\%\pm 0.44\%\sim 80.03\%\pm 0.19\%$, 其中黄花鱼的含水量显著低于其他鱼类($P<0.05$), 同时其粗脂肪含量显著($P<0.05$)高于其他6种鱼类, 青点鹦嘴鱼含水量最高; 粗脂肪含量差异显著($P<0.05$), 青点鹦嘴鱼的粗脂肪含量低于0.2%, 脂肪含量影响鱼肉的风味、肉质及适口

性, 并且一般认为肌肉脂肪含量达3.5%~4.5%(鲜样)时有良好的适口性, 本次研究中, 黑鲷粗脂肪含量为 $4.45\%\pm 0.17\%$, 因此可认为其适口性较其他6种鱼好, 星斑裸颊鲷粗脂肪含量为 $3.20\%\pm 0.08\%$, 接近于3.5%; 粗蛋白含量为 $18.56\%\pm 0.29\%\sim 20.97\%\pm 0.32\%$, 黄花鱼体内含量最低, 其与青点鹦嘴鱼和星斑裸颊鲷差异不显著($P>0.05$), 紫红笛鲷含量最高, 黑鲷与高体鲷、紫红笛鲷、马拉巴笛鲷差异不显著($P>0.05$)。

表 2 7种海水鱼基本营养成分(湿重)
Tab. 2 Basic nutrients of 7 species of marine fish (wet weight)

鱼种 fish	粗灰分 crude ash	水分 moisture	粗脂肪 crude lipid	粗蛋白 crude protein
马拉巴笛鲷 <i>L. malabaricus</i>	1.24±0.02 ^a	78.56±0.56 ^e	1.38±0.04 ^a	19.78±0.75 ^b
黄花鱼 <i>L. polyactis</i>	1.23±0.04 ^a	71.64±0.44 ^a	9.44±0.29 ^b	18.56±0.29 ^a
黑鲷 <i>A. schlegelii</i>	1.19±0.02 ^a	75.87±0.88 ^{bc}	4.45±0.17 ^c	20.25±0.21 ^{bc}
高体鲷 <i>S. dumerili</i>	1.47±0.05 ^e	76.23±0.86 ^{cd}	1.80±0.07 ^d	19.92±0.34 ^b
青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	1.32±0.20 ^b	80.03±0.19 ^f	<0.20	18.77±0.53 ^a
星斑裸颊鲷 <i>L. nebulosus</i>	1.23±0.02 ^a	74.65±0.79 ^b	3.20±0.08 ^c	19.02±0.19 ^a
紫红笛鲷 <i>L. argentimaculatus</i>	1.25±0.02 ^a	77.39±1.20 ^{de}	1.12±0.06 ^f	20.97±0.32 ^e

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$)

2.2 氨基酸组成及含量分析

氨基酸的种类、组成比例以及含量是衡量蛋白质营养价值的重要因素, 7种海水鱼背部肌肉氨基酸含量丰富、种类齐全。氨基酸总量为 $(17.15\pm 0.05)\sim(20.16\pm 0.12)\text{g}/100\text{g}$, 差异显著($P<0.05$), 高体鲷含量最高, 青点鹦嘴鱼含量最低, 7种鱼中含量最高的均为谷氨酸, 含量较高的依次为天冬氨酸、赖氨酸、亮氨酸(表3)。

鱼肉中的必需氨基酸含量是评价食物营养成分优劣的重要指标之一, 7种海水鱼背部肌肉中必需氨基酸均占自身氨基酸总量的42%以上, 且差异不显著($P>0.05$), 必需氨基酸含量均占自身非必需氨基酸含量的84%以上, 星斑裸颊鲷比值最大(表3)。根据FAO/WHO的理想模式, 组成氨基酸的 $\sum\text{EAA}/\sum\text{TAA}$ 在40%以上、 $\sum\text{EAA}/\sum\text{NEAA}$ 在60%以上时, 蛋白质质量较好^[25], 这7种鱼的氨基酸评价均高于此标准, 属于良好的蛋白源。

F为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值, 支链氨基酸具有保肝功能, 正常人体及其他哺乳动物的F值为3~3.5, 当肝受伤时, 降为1~1.5。本

次研究的7种鱼F值为2.28~2.49, 较为接近理想值, 以紫红笛鲷最为接近。结合以上分析结果可知, 这7种海水鱼肌肉氨基酸组成较平衡。

2.3 肌肉营养评价

蛋白质中必需氨基酸含量影响肌肉的营养价值, 根据FAO/WHO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进行比较, 计算出7种鱼的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)。对于AAS评分, 除紫红笛鲷的色氨酸(Trp)外, 7种鱼的必需氨基酸评分均大于或者接近1, 对于CS评分, 除紫红笛鲷的Trp外, 7种鱼的CS评分均大于0.5(表4), 这表明7种海水鱼的肌肉氨基酸组成均衡, 特别是这7种海水鱼肌肉中赖氨酸(Lys)的AAS评分均较高, 是良好的Lys来源。根据氨基酸评分结果显示, 当以AAS评分为标准时, 除星斑裸颊鲷的第一限制氨基酸是缬氨酸(Val), 其他6种海水鱼肌肉第一限制氨基酸均为Trp, 马拉巴笛鲷、黄花鱼、黑鲷、高体鲷、紫红笛鲷的第二限制氨基酸是Val, 星斑裸颊鲷的第二限制氨基酸为Trp, 青点

表3 7种海水鱼氨基酸组成及含量(湿重)

Tab. 3		Amino acid composition and content of 7 marine fishes (wet weight)							%	
项目 items	氨基酸名称 amino acids	马拉巴笛鲷 <i>L. malabaricus</i>	黄花鱼 <i>L. polyactis</i>	黑鲷 <i>A. schlegelii</i>	高体鲷 <i>S. dumerili</i>	青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	星斑裸颊鲷 <i>L. nebulosus</i>	紫红笛鲷 <i>L. argentimaculatus</i>		
EAA	蛋氨酸 Met	0.55±0.01 ^a	0.64±0.02 ^c	0.62±0.03 ^c	0.67±0.02 ^d	0.55±0 ^a	0.60±0.02 ^b	0.54±0 ^a		
	亮氨酸 [*] Leu	1.47±0.15 ^a	1.55±0 ^b	1.71±0.01 ^d	1.74±0.03 ^c	1.47±0.02 ^a	1.55±0.01 ^b	1.64±0 ^c		
	异亮氨酸 [*] Ile	0.83±0.01 ^a	0.91±0.11 ^b	0.98±0.02 ^c	1.01±0.01 ^d	0.84±0.02 ^a	0.90±0.01 ^b	1.07±0.03 ^f		
	苯丙氨酸 [△] Phe	0.78±0.02 ^a	0.85±0.03 ^b	0.91±0 ^c	0.90±0.02 ^c	0.81±0.01 ^a	0.84±0.01 ^b	0.86±0.02 ^b		
	苏氨酸 Thr	0.80±0.15 ^a	0.84±0.03 ^b	0.91±0.03 ^c	1.03±0.01 ^d	0.88±0.02 ^c	0.85±0.01 ^b	1.09±0.03 ^c		
	缬氨酸 [*] Val	0.94±0.02 ^a	0.99±0.01 ^b	1.11±0.11 ^d	1.12±0.02 ^d	0.93±0.04 ^a	1.07±0.02 ^c	0.93±0.01 ^a		
	赖氨酸 Lys	1.76±0.12 ^a	1.82±0.02 ^b	1.96±0.03 ^c	2.03±0 ^e	1.75±0 ^a	1.82±0 ^b	1.80±0.03 ^b		
	色氨酸 Trp	0.18±0.01 ^{bc}	0.17±0.01 ^b	0.19±0 ^c	0.18±0.0 ^{bc}	0.18±0.01 ^{bc}	0.21±0 ^d	0.13±0.02 ^a		
HEAA	组氨酸 His	0.40±0.01 ^c	0.35±0.03 ^b	0.47±0 ^d	0.57±0.01 ^c	0.38±0.02 ^c	0.46±0 ^d	0.31±0.01 ^a		
	精氨酸 Arg	1.15±0.02 ^c	1.03±0 ^b	1.21±0.02 ^d	1.28±0.11 ^c	1.02±0.01 ^b	0.99±0 ^a	1.20±0.01 ^d		
NEAA	谷氨酸 Glu	2.63±0.01 ^a	2.83±0 ^c	3.02±0.04 ^d	3.06±0.02 ^c	2.77±0 ^b	2.75±0 ^b	3.02±0.02 ^d		
	天冬氨酸 Asp	1.82±0.02 ^a	1.92±0.02 ^c	2.11±0.02 ^f	2.08±0.01 ^c	1.87±0.02 ^b	1.93±0.02 ^c	2.04±0 ^d		
	甘氨酸 Gly	1.04±0.15 ^d	0.80±0 ^a	1.14±0 ^f	1.03±0.01 ^d	0.88±0.02 ^c	0.85±0.01 ^b	1.09±0.03 ^c		
	丙氨酸 Ala	1.14±0 ^b	1.13±0.01 ^b	1.26±0 ^c	1.26±0.02 ^c	1.06±0.02 ^a	1.12±0.03 ^b	1.48±0.04 ^d		
	丝氨酸 Ser	0.70±0.02 ^{bc}	0.73±0.02 ^{cd}	0.84±0.03 ^c	0.82±0.01 ^c	0.69±0.02 ^b	0.75±0.02 ^d	0.61±0.02 ^a		
	胱氨酸 Cys	0.13±0 ^a	0.14±0 ^{ab}	0.23±0.01 ^c	0.13±0.02 ^a	0.16±0.01 ^{bc}	0.18±0.01 ^d	0.17±0.01 ^{cd}		
	脯氨酸 Pro	0.58±0.01 ^f	0.40±0.01 ^c	0.56±0 ^c	0.57±0 ^{cf}	0.42±0.01 ^b	0.49±0.01 ^d	0.33±0.01 ^a		
	酪氨酸 [△] Tyr	0.63±0.02 ^b	0.66±0.03 ^{bc}	0.70±0.02 ^d	0.75±0 ^e	0.58±0.02 ^a	0.68±0.02 ^{cd}	0.60±0.02 ^a		
	ΣTAA	17.56±0.06 ^b	17.80±0.07 ^c	19.93±0.09 ^f	20.16±0.12 ^g	17.15±0.05 ^a	18.05±0.01 ^d	18.71±0.11 ^c		
	ΣEAA	7.32±0.06 ^a	7.76±0.09 ^b	8.39±0.06 ^c	8.60±0.08 ^d	7.32±0.05 ^a	7.85±0.06 ^b	7.86±0.03 ^b		
	ΣHEAA	1.55±0.03 ^d	1.38±0.03 ^a	1.68±0.02 ^c	1.86±0.02 ^f	1.40±0.01 ^a	1.45±0 ^b	1.50±0.02 ^c		
	ΣNEAA	8.69±0.05 ^{bc}	8.66±0.01 ^b	9.86±0.05 ^f	9.70±0.03 ^e	8.43±0.01 ^a	8.75±0.06 ^c	9.35±0.08 ^d		
	ΣDAA	6.64±0.04 ^{ab}	6.68±0.01 ^b	7.54±0.02 ^d	7.43±0.03 ^c	6.59±0.02 ^a	6.65±0.04 ^{ab}	7.63±0.08 ^c		
F		2.29	2.28	2.37	2.35	2.35	2.31	2.49		
	ΣEAA/ΣTAA	0.42	0.44	0.42	0.43	0.43	0.43	0.42		
	ΣEAA/ΣNEAA	0.84	0.89	0.85	0.89	0.87	0.90	0.84		
	ΣDAA/ΣTAA	0.38	0.38	0.38	0.37	0.38	0.37	0.41		

注: △表示芳香族氨基酸, ●表示支链氨基酸。ΣTAA为氨基酸总量, ΣEAA为必需氨基酸总量, ΣHEAA为半必需氨基酸总量, ΣNEAA为非必需氨基酸总量, ΣDAA为鲜味氨基酸总量, F为支链氨基酸/芳香族氨基酸。同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: △ indicates aromatic amino acid, ● indicates branched chain amino acid. ΣTAA refers to the total amount of amino acids, ΣEAA refers to the total amount of essential amino acids, ΣHEAA refers to the total amount of semi-essential amino acids, ΣNEAA refers to the total amount of non-essential amino acids, ΣDAA refers to the total amount of umami amino acids, F is the branched chain amino acids/aromatics amino acid. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference($P<0.05$)

鹦嘴鱼的第二限制氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸(Met+Cys)。当以CS为评分标准时, 7种海水鱼肌肉的第一限制氨基酸均为Trp, 第二限制氨基酸为Met+Cys, AAS和CS两种评分结果较一致。

EAAI也是评价蛋白质营养价值的常用指标

之一, 反映的是EAA与标准蛋白相接近的程度。根据Oser^[26]提出的EAAI标准, EAAI<70表示蛋白质的营养不充足, EAAI在80左右表示蛋白质的营养价值良好。7种海水鱼的EAAI为77.57~89.04, 营养价值良好, 但差异较为明显, 其中马拉巴

表 4 7种海水鱼必需氨基酸组成的评价

Tab. 4 Evaluation of essential amino acid composition of 7 marine fishes

氨基酸名称	amino acids	Thr	Val	Ile	Lys	Leu	Trp	Phe+Tyr	Met+Cys	EAAI
FAO/WHO		250	310	250	340	440	60	380	220	
鸡蛋蛋白		292	411	331	441	534	106	565	386	
马拉巴笛鲷	AAS	1.01	0.96**	1.05	1.64	1.06	0.95*	1.17	0.98	77.57
<i>L. malabaricus</i>	CS	0.87	0.72	0.79	1.26	0.88	0.54*	0.79	0.56**	
黄花鱼	AAS	1.13	1.07**	1.22	1.80	1.19	0.95*	1.34	1.20	86.91
<i>L. polyactis</i>	CS	0.97	0.81	0.92	1.39	0.98	0.54*	0.90	0.68**	
黑鲷	AAS	1.12	1.11**	1.21	1.78	1.20	0.98*	1.31	1.19	87.04
<i>A. schlegelii</i>	CS	0.96	0.83	0.91	1.37	0.99	0.56*	0.88	0.68**	
高体鲷	AAS	1.22	1.13**	1.27	1.87	1.24	0.93*	1.36	1.14	89.04
<i>S. dumerili</i>	CS	1.04	0.85	0.96	1.44	1.02	0.53*	0.92	0.65**	
青点鹦嘴鱼	AAS	1.17	1.00*	1.12	1.71	1.11	1.00*	1.22	1.07**	82.79
<i>S. ghobban</i>	CS	1.00	0.75	0.85	1.32	0.92	0.57*	0.82	0.61**	
星斑裸颊鲷	AAS	1.12	1.14*	1.18	1.76	1.16	1.15**	1.31	1.16	87.96
<i>L. nebulosus</i>	CS	0.96	0.86	0.89	1.36	0.95	0.65*	0.88	0.66**	
紫红笛鲷	AAS	1.30	0.89**	1.28	1.58	1.11	0.65*	1.16	0.98	77.62
<i>L. argentimaculatus</i>	CS	1.11	0.67	0.96	1.22	0.92	0.37*	0.78	0.57**	

注: *表示第一限制氨基酸, **表示第二限制氨基酸

Notes: * indicates the first limiting amino acid, ** indicates the second limiting amino acid

笛鲷EAAI最小, 高体鲷EAAI最大。单从EAAI的结果分析, 高体鲷、黄花鱼、黑鲷、星斑裸颊鲷、青点鹦嘴鱼的营养价值优于马拉巴笛鲷和紫红笛鲷。

2.4 矿物元素结果及分析

矿物元素对保障人体正常的生理功能有重要的作用, 并且人体所需的矿物元素必须从食物中摄取^[27], 鱼肉作为目前最受消费者欢迎的肉类食品, 肌肉中矿物元素含量丰富, 除人体所必需的常量元素外, Fe、Zn、Cu等多种与人的生存和健康息息相关的微量元素含量也较高, 因此分析其矿物元素组成及含量有重要意义。

本研究中不同海水鱼矿物元素含量差异显著($P<0.05$), K平均含量最高, Na含量差异最显著($P<0.05$), 其中以紫红笛鲷与黑鲷之间的Na含量差异最大, 并且紫红笛鲷的Na[(2 059.49±9.82) mg/100 g]、Mg[(54.68±0.15)mg/100 g]、Fe[(5.40±0.17)mg/100 g]、Cu[(1.83±0.05)mg/100 g]含量均高于其他6种鱼。本次研究的5种常量元素中, Ca

平均含量最低, 星斑裸颊鲷Ca含量最高, 达到(44.01±0.40) mg/100 g, 黄花鱼的Ca含量仅为(6.61±0.44) mg/100 g, 显著低于其他6种鱼($P<0.05$)。Mg含量为(35.34±1.14)~(54.68±0.15) mg/100 g, 黑鲷含量最低。K和P两种元素7种海水鱼差异相对较小。3种微量元素中Zn元素平均含量最大, Cu元素含量最小。Zn元素对婴幼儿的生长发育、免疫调节有重要意义^[28], 马拉巴笛鲷体内的Zn含量显著高于其他6种鱼, 是良好的Zn来源; 黑鲷体内Zn含量最低, 仅为(0.93±0.07)mg/100 g。Fe是合成血红蛋白的重要元素, 也是构成血红蛋白与细胞色素的重要成分, 黑鲷和紫红笛鲷体内含量较高, 分别为(5.19±0.06)、(5.40±0.17) mg/100 g, 黄花鱼体内Fe含量显著低于其他6种鱼($P<0.05$)。7种鱼体内Cu元素含量为0.03~(1.83±0.05) mg/100 g, 差异显著($P<0.05$), 紫红笛鲷含量最高, 青点鹦嘴鱼含量最低(表5)。

此外, 理想的钙磷比(1:1)有助于促进钙的吸收, 增强骨骼发育^[29]。本次实验的7种海水鱼Ca/P值均远超过理想比例, 不利于人体吸收。

表5 7种海水鱼矿物元素含量分析(湿重)
Tab. 5 Analysis of mineral content of 7 seawater fishes (wet weight)

元素 elements	马拉巴笛鲷 <i>L. malabaricus</i>	黄花鱼 <i>L. polyactis</i>	黑鲷 <i>A. schlegelii</i>	高体鲷 <i>S. dumerili</i>	青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	星斑裸颊鲷 <i>L. nebulosus</i>	紫红笛鲷 <i>L. argentimaculatus</i>
Ca	15.33±0.15 ^d	6.61±0.44 ^e	15.77±0.06 ^{de}	12.10±0.52 ^b	13.03±0.03 ^c	44.01±0.40 ^f	16.10±0.49 ^e
P	201.93±5.50 ^a	239.16±7.33 ^c	256.21±5.69 ^d	327.23±5.27 ^f	255.90±5.48 ^b	321.33±1.65 ^f	268.96±2.21 ^e
K	990.43±1.98 ^e	574.58±10.74 ^c	559.20±9.46 ^b	576.78±4.40 ^c	552.56±3.40 ^b	536.31±5.57 ^a	846.42±1.69 ^d
Na	909.68±9.02 ^d	42.43±0.03 ^b	2.57±0.06 ^a	13.20±1.19 ^a	49.73±1.76 ^b	95.54±4.85 ^e	2 059.49±9.82 ^e
Mg	37.96±0.63 ^b	45.18±1.57 ^d	35.34±1.14 ^a	39.94±0.05 ^c	40.35±0.31 ^c	41.29±0.15 ^e	54.68±0.15 ^c
Fe	4.64±0.22 ^c	1.78±0.11 ^a	5.19±0.06 ^f	2.02±0.15 ^b	3.01±0.02 ^c	3.43±0.10 ^d	5.40±0.17 ^f
Zn	5.72±0.14 ^g	4.38±0.1 ^f	0.93±0.07 ^a	3.19±0.03 ^d	2.15±0.13 ^c	1.91±0.01 ^b	3.98±0.19 ^e
Cu	0.38±0.01 ^e	0.85±0.14 ^f	0.14±0.01 ^c	0.10±0.01 ^b	0.03±0 ^a	0.32±0.01 ^d	1.83±0.05 ^g
Ca/P	1/13	1/36	1/16	1/27	1/19	1/7	1/16
Na/K	0.92/1	0.08/1	0.005/1	0.02/1	0.09/1	0.18/1	2.44/1
Zn/Cu	15.05/1	5.15/1	6.64/1	31.9/1	71.67/1	5.97/1	2.17/1
Zn/Fe	1.23/1	0.84/1	0.18/1	1.58/1	0.71/1	0.56/1	0.74/1

Na和K能够有效促进能量代谢^[30],是维持神经、细胞膜通透性及细胞正常功能的重要元素^[31],有研究表明,理想的Na/K应低于1.5,肌肉组织内Na/K过高则不利于人体钠、钾平衡^[32],本次实验的7种海水鱼除紫红笛鲷的Na/K大于1.5外,其余6种海水鱼Na/K均较低,黑鲷的Na/K显著低于其他鱼。根据Pellett等^[21]提出微量元素Fe、Mg、Zn其相互作用是拮抗的,并且这种拮抗作用通常发生在Zn:Cu>10, Zn:Fe>1时,当Cu:Zn为1:5~1:10,被日常膳食所推荐。由表5可知,黄花鱼、黑鲷、星斑裸颊鲷的Zn/Cu较合理,马拉巴笛鲷、高体鲷、青点鹦嘴鱼的Zn和Cu比例偏大,紫红笛鲷偏小。7种海水鱼Zn和Fe的比例除高体鲷略大于1.5之外,其余均小于1.5,这说明这几种鱼的Zn:Fe较Zn:Cu更为理想,其中黄花鱼、黑鲷、星斑裸颊鲷3种鱼的Zn:Fe和Zn:Cu均不会产生拮抗作用,星斑裸颊鲷的Ca/P较其他6种鱼更接近理想值,而高体鲷的Zn:Fe和Zn:Cu均不理想,会产生拮抗作用。

2.5 矿物元素健康风险评估

矿物元素作为机体重要的组成部分^[33],摄入不足或过量都会给机体造成一定程度的危害,如果摄入过量,机体则会出现受类似其他化学物质毒性作用的风险,并且风险随着摄入量的增加而增加,因此为确保人体健康,有必

要权衡某种食物矿物元素的健康风险。目前UL元素风险评估方法在国际上利用最广泛,UL是平均每日在不造成毒副作用的情况下人体可摄入某种营养素的最高量,根据牛犁天等^[34]研究将营养素风险等级分为A、B、C 3级,由于处于易发生营养素摄入过量危险的A级的矿物元素并不包括Na、K 2种元素,况且目前中国尚未制定Na、K的UL值,所以本研究只针对Ca、P、Mg、Fe、Zn、Cu 6种元素进行分析。

本研究运用公式 $\%UL=C \times In/UL \times 100\%$ 计算海水鱼矿物元素平均风险和最大风险,当不同年龄阶段人群UL资料不足时,参考李晓瑜等^[35]所提出的公式进行调整, $UL_{儿童}=UL_{成人} \times (\text{体质量}_{儿童}/\text{体质量}_{成人})$,公式中对于不同年龄阶段的鱼肉的日摄入量参考唐洪磊等^[36]对广东省沿海城市居民膳食结构的研究,并且由于样本量的限制,本次研究的风险评估有一定的局限性。

Ca元素的风险指数最小,远小于100%,最大风险指数范围为7.09%~11.74%;Mg和Zn元素在2~5、6~17岁2个年龄阶段风险指数为80%左右,相对较高,但是成年以及老年人的风险指数相对较小,孕妇Zn的风险指数也将近80%(表6)。特别是Cu元素,其在2~5、6~17、18~44、45~59岁4个年龄阶段的最大风险指数均超过100%,尤其是在2~5、6~17岁这2个阶段,最大风险指数高达224%~295%,但是平均风险指数均在安全范

表 6 不同人群矿物元素风险指数

Tab. 6 Risk index of mineral elements in different populations

元素 elements	2~5岁		6~17岁		18~44岁		45~59岁		60岁以上		孕妇	
	2-5 years old		6-17 years old		18-44 years old		45-59 years old		over 60 years old		pregnant woman	
	平均 AVG	最大 MAX	平均 AVG	最大 MAX	平均 AVG	最大 MAX	平均 AVG	最大 MAX	平均 AVG	最大 MAX	平均 AVG	最大 MAX
Ca	2.83	7.09	3.77	9.46	4.13	10.35	4.38	10.98	3.10	7.28	4.68	11.74
P	28.72	35.73	32.79	40.79	35.92	44.69	38.10	47.41	26.99	33.58	43.21	53.75
Mg	67.88	88.14	60.27	78.27	28.30	36.74	30.02	38.98	21.27	27.61	29.18	37.89
Fe	39.12	58.03	53.40	79.22	34.25	50.80	36.33	53.89	25.73	38.18	29.42	43.65
Zn	44.58	80.18	48.77	87.72	40.43	72.72	42.89	77.14	30.38	54.65	44.07	79.26
Cu	83.82	295.0	63.80	224.51	30.58	107.60	32.44	114.15	22.98	80.86	—	—

注: “—”表示国家未制定最高耐受含量

Notes: —. no national maximum tolerance level is established

围之内, 这主要是由于此次采样中紫红笛鲷Cu元素含量较高, 所以在日常饮食中, 对于该鱼的摄食应有所控制, 以免对人体健康造成危害。总体分析, 除Ca和P元素以外, 其他元素基本呈现成年人风险指数略低于青少年, 这主要是因为青少年UL较低。P元素孕妇风险指数最大, 因为孕妇对P的UL较低, 且摄食鱼肉较多, 目前中国尚未制定孕妇Cu元素的UL, 因此本研究未计算孕妇摄食过量Cu元素的风险指数。在本研究中, 最大风险指数与平均风险指数呈正相关关系, 即平均风险指数越大, 其对应的最大风险指数也越大。

3 讨论

鱼类肌肉营养成分作为消费者关心的指标之一, 其中的蛋白质、脂肪等含量影响着肌肉的营养价值, 过高的脂肪含量不符合现代消费者的健康饮食理念, 过低的脂肪含量则可能影响肌肉口感。在营养学上, 一般认为总养分含量与干物质含量呈正相关关系, 本次实验的7种海水鱼中, 黄花鱼体内含水量最低。另外, 7种海水鱼背部肌肉粗脂肪、粗蛋白含量差异显著($P<0.05$), 粗蛋白含量为18.56%~20.97%, 紫红笛鲷含量最高; 除黄花鱼粗脂肪含量较高(9.44%±0.29%)外, 其他6种海水鱼粗脂肪含量均较低, 青点鹦嘴鱼是典型的低脂肪、高蛋白鱼类, 但由于粗脂肪含量过低会影响鱼肉风味, 因此其适口性可能较差。此外, 黑鲷粗脂肪、粗蛋白含量显著高于张纹等^[37]的研究结果(粗脂肪2.53%, 粗蛋白13.12%, 网箱养殖)($P<0.05$), 徐

梅英等^[38]研究也发现, 野生和网箱养殖黄姑鱼(*Nibea albiflora*)肌肉中的粗脂肪含量分别为1.86%和0.91%、粗蛋白含量分别为18.57%和17.55%, 养殖黄姑鱼粗脂肪和粗蛋白含量均比野生黄姑鱼低, 其主要原因是由于鱼的肌肉营养成分与生长环境以及所摄食的饲料等有关。

一种营养价值较高的食物蛋白质不仅所含的必需氨基酸种类要齐全, 而且必需氨基酸之间的比例也最好能与人体本身需要相符合, 这样必需氨基酸才能够吸收最完全, 营养价值也最高, 本次实验中7种海水鱼的 $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{TAA}$ 和 $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$ 的比值均符合FAO/WHO理想模式, AAS和CS评分也得出结论, 这7种海水鱼肌肉氨基酸比较符合人体需要。此外, 对于限制氨基酸, 有研究发现, 斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)^[39]、半刺厚唇鱼(*Acrossocheilus hemispinus*)^[20]等第一限制氨基酸为Trp, 长颌鲚(*Coilia macrognathos*)^[22]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[40]、大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)^[29]等第一或第二限制氨基酸为Val, 与本次测试的7种海水鱼肌肉限制氨基酸较为接近, 因此可推测Val和Trp为海水鱼肉中较缺乏的氨基酸。

海水鱼矿物元素种类丰富, 含量跨度也很大, 其分布因鱼的品种、组织器官等因素而不同, 王建悦等^[41]对舟山市场的白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)等进行多种金属元素研究发现, 其含量存在着极显著的种间差异。本次供试的7种海水鱼背部肌肉矿物元素含量差异显著($P<0.05$), 常量元素中, K平均含量最高, 其余由高到低依次为Na、P、Mg、Ca, 微量元素中Zn平均含量

最高, Cu含量最低。依照Ca/P、Na/K、Zn/Cu、Zn/Fe 4个比例进行分析, 星斑裸颊鲷最为接近理想值, 高体鲷Zn/Cu、Zn/Fe均不理想, Ca/P也远小于1。

本次供试的7种海水鱼背部肌肉矿物元素风险评估结果显示, 不同元素在同一年龄阶段风险指数差异明显, 不同年龄阶段同一元素的风险指数差异也较大, 主要是由于不同年龄人群对同一矿物元素最高可耐受量差异较大。除Cu元素最大风险指数超过100%, 其余元素风险指数均小于100%, 但是Cu元素平均风险指数在可接受范围之内, 这主要是由于不同种类的海水鱼生理水平、捕食偏好和栖息地的不同, 以及物种差异都会导致不同矿物元素含量差异极大, 紫红笛鲷Cu元素含量为(1.83±0.05) mg/100 g, 显著高于其他6种鱼, 可能与其栖息在近海岩礁或泥沙底质海区有关。

综上所述, 这7种海水鱼背部肌肉营养丰富, 均属于高蛋白、低脂肪的优质鱼类, 且氨基酸含量丰富, 并符合人体所需。

参考文献:

- [1] 远辉, 张莹, 张煌涛. 新疆两种产地鱼肉营养成分分析及评价[J]. 食品工业, 2017, 38(6): 213-216.
Yuan H, Zhang Y, Zhang H T. Analysis and evaluation of nutrition composition in the two kinds of different areas of the fish of Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. The Food Industry, 2017, 38(6): 213-216(in Chinese).
- [2] 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 Z F, Guo Z B, Luo Y J, et al. Nutrient compositions in muscle of *Cichlasoma managuense* and three tilapia species[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(1): 164-171(in Chinese).
- [3] 刘秀英. 营养素及相关物质风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(4): 399-402.
Liu X Y. Risk assessment for nutrients and related substances[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2012, 24(4): 399-402(in Chinese).
- [4] Pipoyan D, Beglaryan M, Costantini L, et al. Risk assessment of population exposure to toxic trace elements via consumption of vegetables and fruits grown in some mining areas of Armenia[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018, 24(2): 317-330.
- [5] Zia M H, Watts M J, Niaz A, et al. Health risk assessment of potentially harmful elements and dietary minerals from vegetables irrigated with untreated wastewater, Pakistan[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2017, 39(4): 707-728.
- [6] Liu C E, Lin H, Mi N S, et al. Bioaccessibility and health risk assessment of rare earth elements in *Porphyra* seaweed species[J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018, 24(3): 721-730.
- [7] 许秀兰. 微波消解ICP-MS法同时测定羊栖菜中13种元素及其食用风险评估[J]. 现代食品科技, 2013, 29(3): 636-639.
Xu X L. Determination of thirteen elements in *Sargassum fusiforme* by microwave digestion and ICP-MS and its health risk assessment[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(3): 636-639(in Chinese).
- [8] 燕志, 陆炆, 史莹莹, 等. 扬州市售小龙虾中的有害元素风险评估[J]. 食品工业, 2018, 39(6): 202-206.
Yan Z, Lu Y, Shi Y Y, et al. The safety assessment of heavy metal in *Procambarus clarkia* samples[J]. The Food Industry, 2018, 39(6): 202-206(in Chinese).
- [9] 何晋浙, 毛焱杰, 史秀之, 等. 皮蛋中重金属元素的潜在风险评估[J]. 浙江工业大学学报, 2015, 43(1): 77-82.
He J Z, Mao Y J, Shi X Z, et al. Potential risk assessment of heavy metal elements in preserved eggs[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2015, 43(1): 77-82(in Chinese).
- [10] 张徐惠群, 杨暄, 马丽艳, 等. 香菇和平菇中几种重金属元素的质量分数及其健康风险评估[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 163-171.
Zhang X H Q, Yang X, Ma L Y, et al. Health risk evaluation on heavy metal concentrations in *Lentinus edodes* and *Pleurotus ostreatus*[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(3): 163-171(in Chinese).
- [11] 秦鹤. 舟甬附近海域沉积物与大黄鱼、鲈鱼组织中的重金属研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
Qin H. Research on heavy metals from marine sediments, large yellow croaker and sea bass near Ningbo and Zhoushan[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017(in Chinese).

- [12] Copat C, Grasso A, Fiore M, *et al.* Trace elements in seafood from the Mediterranean Sea: an exposure risk assessment[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2018, 115: 13-19.
- [13] Gruszecka-Kosowska A, Baran A, Jasiewicz C. Content and health risk assessment of selected elements in commercially available fish and fish products[J]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2018, 24(6): 1623-1641.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全标准食品中水分的测定: GB 5009. 3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of moisture in foods: GB 5009. 3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全标准食品中灰分的测定: GB 5009. 4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of ash in foods: GB 5009. 4-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全标准食品中蛋白质的测定: GB 5009. 5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of protein in foods: GB 5009. 5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [17] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全标准食品中脂肪的测定: GB 5009. 6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of lipid in foods: GB 5009. 6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [18] Souza S O, Pereira T R S, Ávila D V L, *et al.* Optimization of sample preparation procedures for evaluation of the mineral composition of fish feeds using ICP-based methods[J]. *Food Chemistry*, 2019, 273: 106-114.
- [19] 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. Fang L, Ma H X, Li L H, *et al.* Speciation analysis of aluminum in *Ostrea rivularis*[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(4): 94-101(in Chinese).
- [20] 林建斌, 梁萍, 秦志清, 等. 野生与养殖半刺厚唇鱼肌肉营养成分比较分析[J]. *中国饲料*, 2017(22): 27-30. Lin J B, Liang P, Qin Z Q, *et al.* Analysis of nutrition in the muscle of wild and cultured *Acrossocheilus hemispinus*[J]. *China Feed*, 2017(22): 27-30(in Chinese).
- [21] Pellett P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo: United National University, 1980: 26-29.
- [22] 徐钢春, 顾若波, 张呈祥, 等. 刀鲚两种生态类群——“江刀”和“海刀”鱼肉营养组成的比较及品质的评价[J]. *海洋渔业*, 2009, 31(4): 401-409. Xu G C, Gu R B, Zhang C X, *et al.* Comparison and evaluation of nutrient composition of two ecological groups of Japanese grenadier anchovy-river-anchovy and sea-anchovy[J]. *Marine Fisheries*, 2009, 31(4): 401-409(in Chinese).
- [23] 童铃, 金毅, 徐坤华, 等. 3种鲹鱼背部肌肉的营养成分分析及评价[J]. *南方水产科学*, 2014, 10(5): 51-59. Tong L, Jin Y, Xu K H, *et al.* Analysis of nutritional components in back muscle of skipjacks[J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(5): 51-59(in Chinese).
- [24] 邓梦雅, 朱丽, 吴东慧, 等. 蔬菜中矿物质含量测定、营养评价及风险评估[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(9): 97-102. Deng M Y, Zhu L, Wu D H, *et al.* Mineral content and nutritional value evaluation and risk assessment in vegetables[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(9): 97-102(in Chinese).
- [25] 陈涛, 李伟峰. 红鳍笛鲷肌肉营养成分分析[J]. *海洋湖沼通报*, 2016(6): 67-72. Chen T, Li W F. Analysis of muscle nutrients of *Lutjanus erythropterus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2016(6): 67-72(in Chinese).
- [26] Oser B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 1951, 27(5): 396-402.
- [27] 王建新, 郝旭文, 张成锋, 等. 梭鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(2): 60-66. Wang J X, Bing X W, Zhang C F, *et al.* Evaluation of

- nutritional components and quality of *Liza haematocheila* muscle[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(2): 60-66(in Chinese).
- [28] 尤宏争, 李文雯, 夏苏东, 等. 斑石鲷含肉率与肌肉营养成分分析[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(2): 174-179.
You H Z, Li W W, Xia S D, *et al.* Dressing rate and nutrient components in muscle of spotted knifejaw *Oplegnathus punctatus*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(2): 174-179(in Chinese).
- [29] 邹盈, 李彦坡, 戴志远, 等. 三种金枪鱼营养成分分析与评价[J]. 农产品加工, 2018(5): 43-47.
Zou Y, Li Y P, Dai Z Y, *et al.* Analysis and evaluation on nutritional components of three kinds of tuna[J]. *Farm Products Processing*, 2018(5): 43-47(in Chinese).
- [30] 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 B, Chen C, Wang Y G, *et al.* Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Epinephelus septemfasciatus* muscles[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(5): 51-57(in Chinese).
- [31] 周聃. 两种大洋性金枪鱼差异蛋白组学的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016.
Zhou D. Research on the difference proteomics of two kinds of ocean tuna[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016(in Chinese).
- [32] Rupérez P. Mineral content of edible marine seaweeds[J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(1): 23-26.
- [33] Franke B M, Haldimann N M, Gremaud G, *et al.* Element signature analysis: its validation as a tool for geographic authentication of the origin of dried beef and poultry meat[J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 227(3): 701-708.
- [34] 牛犁天, 韩军花, 李湖中, 等. 基于2013版DRIs的微量营养素风险等级划分[J]. 中国食品添加剂, 2016(4): 94-98.
Niu L T, Han J H, Li H Z, *et al.* The risk classification of micronutrients from the new edition of Chinese DRI in 2013[J]. *China Food Additives*, 2016(4): 94-98(in Chinese).
- [35] 李晓瑜, 刘秀梅, 王竹天, 等. 微量营养素的风险评估[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 258-261.
Li X Y, Liu X M, Wang Z T, *et al.* Risk assessment for micronutrients[J]. *Food Science*, 2009, 30(13): 258-261(in Chinese).
- [36] 唐洪磊, 郭英, 孟祥周, 等. 广东省沿海城市居民膳食结构及食物污染状况的调研—对持久性卤代烃和重金属的人体暴露水平评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 329-336.
Tang H L, Guo Y, Meng X Z, *et al.* Nutritional status in dietary intake and pollutants via food in coastal cities of Guangdong Province, China—assessment of human exposure to persistent halogenated hydrocarbons and heavy metals[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(2): 329-336(in Chinese).
- [37] 张纹, 苏永全, 王军, 等. 5种常见养殖鱼类肌肉营养成分分析[J]. 海洋通报, 2001, 20(4): 26-31.
Zhang W, Su Y Q, Wang J, *et al.* Biochemical composition of five common reared fishes[J]. *Marine Science Bulletin*, 2001, 20(4): 26-31(in Chinese).
- [38] 徐梅英, 陈云仙, 吴常文. 网箱养殖与野生黄姑鱼肌肉营养成分比较[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2010, 29(4): 340-345.
Xu M Y, Chen Y X, Wu C W. Analysis of nutrition in the muscle of wild and cultured *Nibea albiflora*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2010, 29(4): 340-345(in Chinese).
- [39] 钟鸿干, 马军, 姜芳燕, 等. 2种养殖模式下斑石鲷肌肉营养成分及品质的比较[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 155-158.
Zhong H G, Ma J, Jiang F Y, *et al.* Comparative study on nutritive components and flesh quality of muscles of *Oplegnathus punctatus* cultivated under two different culture models[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(1): 155-158(in Chinese).
- [40] 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 R, Wang X R, Su H, *et al.* Analysis and comparison of nutritional compositions in muscle, liver and skin of *Takifugu rubripes*[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2017, 40(6): 77-82(in Chinese).
- [41] 王建跃, 仝振东, 严剑波. 舟山渔场鱼类毒物含量与海洋环境污染状况的关系研究[J]. 中华流行病学杂志, 2005, 26(1): 18-21.
Wang J Y, Tong Z D, Yan J B. Study on the relationship between contents of poison in fishes and the levels of ocean pollutants in Zhoushan fishery[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2005, 26(1): 18-21(in Chinese).

Nutritional components and mineral element distribution and health evaluation of back muscle of seven marine fishes

LIU Fangfang^{1,2}, YANG Shaoling¹, LIN Wanling^{1*}, LI Laihao¹,
YANG Xianqing¹, WU Yanyan¹, HUANG Hui¹

- (1. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, National Research and Development Center for 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 Sciences & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The basic nutrients, amino acid composition and mineral element content of seven marine fishes were determined, and the amino acid was evaluated for nutrition. At the same time, the upper limits (UL) of nutrients were used to assess the mineral elements in fish muscles. Health risk analysis. The results showed that there were no significant differences in the crude ash content of the seven marine fishes, and the crude fat and water contents were significantly different. *Larimichthys polyacis* had the highest crude fat content and the lowest water content, which were $9.44\% \pm 0.29\%$ and $71.64\% \pm 0.44\%$, *Scarus ghobban* had the highest water content, the lowest crude fat content, and the crude protein content was between ($18.56\% \pm 0.29\%$) and ($20.97\% \pm 0.32\%$), the difference was significant; seven marine fishes amino acid species were complete, and the ratio of $\sum\text{EAA}/\sum\text{TAA}$ and $\sum\text{EAA}/\sum\text{NEAA}$ is in line with the FAO/WHO ideal model, with the limiting amino acids Val, Trp, Met+Cys, and the essential amino acid index between 77.57 and 89.04; 7 tested mineral elements in fish muscle were rich, and the content of the same elements in different fish species was significantly different. The average content of K element was the highest and the difference of Na element content was the most significant. The risk assessment of mineral elements showed that Zhuhai sampling had the maximum risk index of Cu in fish in the age groups of 2-5, 6-17, 18-44, 45-59 is greater than 100%, which is an unacceptable risk range, and the average risk index is within the acceptable range. The above results may provide a reference for the deep processing of marine fish and the daily diet of residents.

Key words: marine fish; basic ingredients; amino acids; minerals; risk assessment

Corresponding author: LIN Wanling. E-mail: lwlscsf@163.com

Funding projects: National Key R & D Plan (2016YFD0400201-6); China Agriculture Research System (CARS-47); Special Project of "Sailing Plan" Introducing Innovation and Entrepreneurship Team (2015YT02H109)