

DOI: 10.12264/JFSC2021-0492

三种鲷属鱼类肌肉质构特性及营养成分比较分析

徐永江¹, 王开杰^{1,2}, 姜燕¹, 崔爱君¹, 柳学周¹, 方璐¹, 王滨¹

1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛海洋科学与技术试点国家实验室深蓝渔业工程联合实验室, 山东 青岛 266071;
2. 浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江 舟山 316022

摘要: 为分析我国养殖黄条鲷(*Seriola lalandi*)、高体鲷(*S. dumerili*)、五条鲷(*S. quinquerradiata*)肌肉的质构特性、基本营养组成和食用价值, 采用质构分析法(TPA)和常规生化方法检测了 3 种鲷属鱼类肌肉的质构特性、粗蛋白、脂肪酸和氨基酸等成分, 并评价了营养价值。结果显示: 同等养殖条件下, 黄条鲷肌肉的硬度、胶着度、咀嚼度和回复力均显著高于高体鲷和五条鲷。黄条鲷肌肉蛋白含量(24.3%)最高, 高体鲷水分含量(70.6%)最高, 五条鲷脂肪含量(7.2%)最高, 3 种鲷属鱼类肌肉的必需氨基酸含量均优于 FAO/WHO 标准。根据 AAS 和 CS 分值, 3 种鲷属鱼类肌肉的第一限制氨基酸皆为蛋氨酸, 第二限制氨基酸皆为缬氨酸, 且肌肉鲜味氨基酸含量及其在总氨基酸中的占比均较高, 这与其味道鲜美密切相关。3 种鲷属鱼类肌肉中可检测到 20 种脂肪酸, 其中亚麻酸甲酯(C18:3n6)只在五条鲷中检测出, 二十二碳二烯酸甲酯(C22:2)只在高体鲷中检测出。肌肉的不饱和脂肪酸含量(65.44%~67.51%)均相对较高, 其中不饱和脂肪酸 EPA+DHA 的含量(32.50%~35.79%)优势明显。另外, 高体鲷中的常量元素含量(5.27×10^3 mg/kg)最高, 五条鲷中的微量元素含量(15.931 mg/kg)最高。本研究表明, 3 种鲷属鱼类肌肉中含有丰富的氨基酸和脂肪酸等营养物质, 是极具市场开发潜力的大洋性养殖经济鱼种, 研究结果将为我国鲷属鱼类养殖潜力评价和专用高效配合饲料的研制提供参考依据。

关键词: 鲷属鱼类; 质构分析; 主成分分析; 营养成分; 食用价值评价

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)07-1022-11

鲷属鱼类是鲈形目(Perciformes)、鲷科(Carangidae)、鲷属(*Seriola*)分类阶元中鱼类的统称, 是一类栖息在海洋中上层的暖温性大型鱼类, 具有全球水域长距离洄游的特性。在全球, 现已查明的鲷属鱼类共有 9 种^[1-2], 在我国黄渤海、东海和南海海域分布有 3 种, 分别为黄条鲷(*S. lalandi*)、高体鲷(*S. dumerili*)和五条鲷(*S. quinquerradiata*)。

鲷属鱼类个体大、生长速率快, 特别适合深远海大型设施如深海网箱、养殖工船等养殖方式, 是我国近年来发展深远海养殖的优良鱼种。其肉质鲜美, 营养丰富, 是刺身、料理的上等食材, 可

与蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)、大西洋鲑(*Salmo salar*)媲美, 也适合煎、烤等多种烹饪方式, 深受国内外广大消费者的青睐。有关鲷属鱼类肌肉营养的研究, 有学者针对日本海域高体鲷和五条鲷不同季节肌肉的生化组成和肌肉结构等开展了部分研究^[3-4]。我国分布的 3 种鲷属鱼类均已开展人工养殖, 主要集中在广东、福建、山东和辽宁沿海一带, 主要生产方式为深水抗风浪网箱与工厂化车间接力养殖^[5]。我国有关鲷属鱼类肌肉品质的评价研究仅见于黄条鲷^[6], 而高体鲷和五条鲷的肌肉营养价值的评价则未见相关报道。先前研

收稿日期: 2021-10-12; 修订日期: 2021-12-30.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900901, 2018YFD0901204, 2020YFD0900605); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD47, 2021GH05); 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费项目(20603022021011); 国家海洋水产种质资源库项目; 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-47).

作者简介: 徐永江(1981-), 男, 研究员, 研究方向为海水鱼类繁育理论与增养殖技术. E-mail: xuyj@ysfri.ac.cn

究指出,不同环境条件下的同种鱼类或同一尾鱼不同部位肌肉的营养成分含量存在明显差异^[7]。为准确评价鲷属鱼类在养殖过程中的营养需求和食用方面的营养价值,推动其养殖业健康发展,本研究针对我国东海海域网箱养殖的 3 种鲷属鱼类开展肌肉质构特性、营养成分分析与价值评价,以探究其肉质口感鲜美的原因,比较其肌肉质构及营养成分的差异,旨在为评价鲷属鱼类的营养品质、专业饲料的差异化研制和高效健康养殖技术开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验样品来源

实验所用 3 种鲷属鱼类样品于 2020 年 12 月在福建宁德同一海域的养殖网箱(26°62'N, 119°75'E)中获取,所采集的 3 种鲷属鱼类均为 2 龄鱼,其生长环境、摄食饵料均相同。其中,黄条鲷平均体重(2.97±0.15) kg,体长(52.57±0.25) cm;高体鲷平均体重(3.40±0.48) kg,体长(51.20±2.95) cm;五条鲷平均体重为(4.78±0.54) kg,体长(61.60±1.60) cm。

1.2 样品采集与指标检测

随机从 3 种鲷属鱼类养殖网箱中分别捞取 3 尾体表无任何异常的健康个体作为实验鱼,共 9 尾。将实验鱼经 MS-222 充分麻醉后,采用 75% 酒精棉擦拭体表后进行解剖,取实验鱼背部同一部位的肌肉并去掉样品表面皮肤组织。

首先,将每尾实验鱼的一部分背部肌肉组织分别切成约 2.0 cm×2.0 cm×1.5 cm 的小方块后再平均分成 3 份,采用质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)进行肌肉质构相关指标的检测。采用 TA.XT.Plus (英国 Stable Micro Systems 公司)物性测试仪,探头类型为 P50,测试前速度、测试后速度和测试速度均设定为 5 mm/s,测定间隔时间 5 s;压缩比 50%。TPA 特征值参照林婉玲等^[8]分析法,测定的 7 个参数:硬度、黏附性、弹性、粘聚力、胶着度、咀嚼度、回复力。

其次,再将采集的一部分背部肌肉切成 2.0~3.0 cm 的块状,混匀后每尾实验鱼称取 300 g 肌肉组织块,再将每种鲷属鱼类的 3 尾实验鱼肌

肉组织等比例混合并充分混匀,分装于 50 mL 离心管中并送至国家水产品质量检验检测中心进行营养成分的检测。

(1) 常规营养成分:水分含量采用直接干燥法测定(GB 5009.3—2016);粗蛋白含量使用全自动凯氏定氮仪(GB 5009.5—2016)测定;粗脂肪含量采用全自动脂肪测定仪(GB 5009.6—2016)测定;灰分含量采用高温灰化法测定(GB 5009.4—2016)。

(2) 氨基酸含量:酸水解法处理肌肉,使用全自动氨基酸自动分析仪(日本日立公司 L-8800)(GB/T 5009.124—2003)测定。

(3) 脂肪酸含量:水解提取肌肉中脂肪酸,使用气相色谱仪(美国安捷伦公司 7890A)(GB 5009.168—2016)测定。

(4) 矿物质:采用全谱直读等离子体发射光谱仪测定。

1.3 肌肉营养价值评价

根据 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式,计算 3 种鲷属鱼类氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)和 F 值(支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值)^[9-10]。

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{FAO评分模式某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$CS = \frac{\text{待测蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{鸡蛋蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{100CS_1 \times 100CS_2 \times \dots \times 100CS_n}$$

$$F = \frac{\text{缬氨酸} + \text{亮氨酸} + \text{异亮氨酸}}{\text{苯丙氨酸} + \text{酪氨酸}}$$

1.4 数据分析

3 种鲷属鱼类肌肉质构特性相关指标的 TPA 检测结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)的形式表示。采用 SPSS 23.0 统计软件进行 TPA 各检测指标的主成分分析(principal component analysis, PCA)和单因素方差分析(One-Way ANOVA),差异显著时采用 Duncan 氏检验进行多重比较,显著性水平 P 设定为 0.05,当 P<0.05 时认为差异显著,肌肉营养成分的结果数据为混合肌肉样品 2 次检测的平

均值, 通过 Excel 2016 软件进行实验数据的处理与分析。

2 结果与分析

2.1 肌肉质构特性

由表 1 可以看出, 3 种鲷属鱼类在黏附性、弹性和粘聚力方面差异均不显著($P>0.05$); 但是, 在肌肉的硬度、胶着度、咀嚼度和回复力方面, 高体鲷和五条鲷间无显著差异($P>0.05$), 但均显著低于黄条鲷($P<0.05$)。

3 种鲷属鱼类 TPA 指标间相关系数如表 2 所示, 其中, 硬度与粘聚力间存在显著相关性, 且与胶着度、咀嚼度、回复力呈极显著相关性($P<0.01$); 黏附性与弹性存在显著相关性($P<0.05$); 粘聚力与胶着

度、咀嚼度、回复力之间均呈极显著相关性($P<0.01$)。

表 3 中显示了 TPA 指标影响 3 种鲷属鱼类肌肉质构特性的主要因素及其贡献程度, 其中 3 种鲷属鱼类 TPA 质构测定的结果共得到 2 个主成分, 前 2 个主成分的初始特征值均大于 1, 且两者之间累积方差贡献率为 94.507%。因此, 通过获得的前 2 个主成分来代替最初的 7 个 TPA 指标, 进行 3 种鲷属鱼类肌肉质构特性评价, 并能反映其肌肉质构的整体信息。

从表 4 可知, 决定第一主成分大小的是硬度(X_1)、粘聚力(X_4)、胶黏性(X_5)、咀嚼性(X_6)和回复力(X_7); 决定第二主成分大小的主要是黏附性(X_2)。图 1 计算出的这些主成分主要分布在第一、三、四象限。

表 1 3 种鲷属鱼类肌肉质构特性测定结果
Tab. 1 Muscle texture characteristics result of three *Seriola* species

n=3; $\bar{x} \pm SD$			
项目 item	黄条鲷 <i>S. lalandi</i>	高体鲷 <i>S. dumerili</i>	五条鲷 <i>S. quinqueradiata</i>
硬度/g hardness	9159.231±1409.635 ^b	6005.957±852.761 ^a	5640.006±462.942 ^a
黏附性/(g·s) adhesiveness	-117.503±124.279 ^a	-129.298±27.675 ^a	-141.592±15.138 ^a
弹性/mm springiness	0.579±0.055 ^a	0.570±0.024 ^a	0.559±0.022 ^a
粘聚力 cohesiveness	0.321±0.053 ^a	0.247±0.007 ^a	0.241±0.054 ^a
胶着度/g gumminess	2963.247±779.445 ^b	1485.477±165.811 ^a	1365.002±384.879 ^a
咀嚼度/g chewiness	1752.884±636.213 ^b	851.578±101.802 ^a	759.721±219.932 ^a
回复力 resilience	0.145±0.023 ^b	0.104±0.006 ^a	0.101±0.024 ^a

注: 表格每行中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: Different lowercase letters in each row of the table indicate significant differences ($P<0.05$).

表 2 TPA 指标间的 Pearson 相关系数
Tab. 2 Pearson correlation coefficient among TPA indicators

项目 item	硬度 hardness	黏附性 adhesiveness	弹性 springiness	粘聚力 cohesiveness	胶着度 gumminess	咀嚼度 chewiness	回复力 resilience
硬度 hardness	1						
黏附性 adhesiveness	0.091	1					
弹性 springiness	0.369	-0.078*	1				
粘聚力 cohesiveness	0.717*	-0.415	0.646	1			
胶着度 gumminess	0.940**	-0.203	0.565	0.902**	1		
咀嚼度 chewiness	0.898**	-0.332	0.664	0.912**	0.990**	1	
回复力 resilience	0.806**	-0.292	0.563	0.982**	0.946**	0.938**	1

注: *和**分别表示指标间存在显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)相关.
Note: * and ** indicated significant correlation ($P<0.05$) and extremely significant correlation among indicators ($P<0.01$).

表 3 3 种鲷属鱼类 TPA 分析的各成分特征值与方差贡献率

Tab. 3 Total variance explained for TPA analysis of the tree *Seriola* species

主成分 principal component	初始特征值 initial eigenvalue	方差贡献率/% variance contribution rate	累计方差贡献率/% accumulated variance contribution rate
1	5.148	73.541	73.541
2	1.468	20.965	94.507
3	0.281	4.020	98.526
4	0.096	1.377	99.904
5	0.005	0.073	99.977
6	0.002	0.021	99.998
7	0	0.002	100

表 4 主成分载荷矩阵

Tab. 4 The component matrix

成分 composition	主成分 1 PCA1	主成分 2 PCA2
X ₁	0.841	0.482
X ₂	-0.407	0.892
X ₃	0.721	-0.605
X ₄	0.954	-0.030
X ₅	0.971	0.225
X ₆	0.989	0.009
X ₇	0.961	0.119

注: X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆ 和 X₇ 分别代表硬度、黏附性、弹性、粘聚力、胶着度、咀嚼度和回复力。

Note: X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆ and X₇ respectively represent hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, resilience.

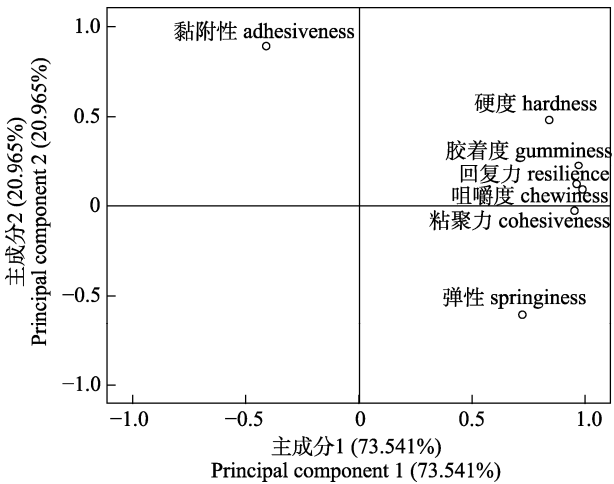


图 1 主成分载荷图

Fig. 1 Biplot of principal component analysis

2.2 肌肉常规营养成分组成

黄条鲷、高体鲷和五条鲷肌肉常规营养组成见表 5。其中,肌肉粗蛋白含量均相对较高,分别为 24.3%、22.3%和 22.0%;五条鲷肌肉中粗脂肪含量(7.2%)高于黄条鲷(5.3%)和高体鲷(4.5%)。

表 5 3 种鲷属鱼类肌肉常规营养成分组成(湿重)

Tab. 5 The analysis of normal nutritional components in the muscle of three *Seriola* species (wet weight) %

营养成分 nutritional components	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
黄条鲷 <i>S. lalandi</i>	68.8	24.3	5.3	1.3
高体鲷 <i>S. dumerili</i>	70.6	22.3	4.5	1.4
五条鲷 <i>S. quinquerradiata</i>	67.0	22.0	7.2	1.2

2.3 肌肉氨基酸组成与评价

3 种鲷属鱼类肌肉氨基酸组成见表 6,每种鲷属鱼类均检测出 16 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸、7 种非必须氨基酸和 2 种半必需氨基酸。其中,3 种鲷属鱼类的必需氨基酸中赖氨酸的含量均最高,分别为 2.30%、2.19%和 2.06%;蛋氨酸的含量最低,分别为 0.76%、0.71%和 0.68%,且黄条鲷肌肉中上述两种氨基酸的含量在 3 种鲷属鱼类中均最高。在 4 种鲜味氨基酸中谷氨酸的含量均最高,分别为 3.46%、3.28%和 3.14%。黄条鲷氨基酸总量(24.09%)高于高体鲷(22.10%)和五条鲷(21.67%);黄条鲷肌肉中必需氨基酸占总氨基酸的比值(EAA/TAA)为 40.68%,略低于高体鲷 41.90%,但高于五条鲷 40.24%。黄条鲷必需氨基酸与非必需氨基酸的比值为 88.05%,高于高体鲷(84.57%)和五条鲷(87.64%)。

根据蛋白质评价标准,将 3 种鲷属鱼类肌肉中必需氨基酸含量转换为每克氮中含氨基酸毫克数,得出每种必需氨基酸的 AAS 和 CS 分值(表 7)。高体鲷肌肉中必需氨基酸的评价分值高于黄条鲷和五条鲷,且 3 种鲷属鱼类的第一限制氨基酸均为蛋氨酸,第二限制性氨基酸均为缬氨酸。除蛋氨酸外,3 种鲷属鱼类的 AAS 和 CS 值均大于 0.8,表明 3 种鲷属鱼类必需氨基酸含量丰富,且高体鲷 EAAI (92.26%)高于黄条鲷(89.38%)和五条鲷(87.88%)。

表 6 3 种鲷属鱼类肌肉氨基酸组成及比例(湿重)

Tab. 6 The composition and content of amino acids in the muscle of three <i>Seriola</i> species (wet weight) %							
氨基酸 amino acid	黄条鲷 <i>S.lalandi</i>	高体鲷 <i>S.dumerili</i>	五条鲷 <i>S.quinqueradiata</i>	氨基酸 amino acid	黄条鲷 <i>S.lalandi</i>	高体鲷 <i>S.dumerili</i>	五条鲷 <i>S.quinqueradiata</i>
苏氨酸* Thr	1.14	1.10	1.03	丝氨酸 Ser	0.93	0.90	0.85
缬氨酸* Val	1.32	1.23	1.16	组氨酸& His	1.66	0.84	1.67
蛋氨酸* Met	0.76	0.71	0.68	精氨酸& Arg	1.50	1.41	1.33
异亮氨酸* Ile	1.20	1.12	1.06	必需氨基酸 EAA	9.80	9.26	8.72
亮氨酸* Leu	2.00	1.89	1.78	非必需氨基酸 NEAA	11.13	10.59	9.95
苯丙氨酸* Phe	1.08	1.02	0.95	半必需氨基酸 SEAA	3.16	2.25	3.00
赖氨酸* Lys	2.30	2.19	2.06	鲜味氨基酸 DAA	8.40	7.96	7.54
天冬氨酸# Asp	2.38	2.26	2.13	总氨基酸 TAA	24.09	22.10	21.67
谷氨酸# Glu	3.46	3.28	3.14	W _{EAA} /W _{TAA}	40.68	41.90	40.24
甘氨酸# Gly	1.14	1.08	1.00	W _{EAA} /W _{NEAA}	88.05	84.57	87.64
丙氨酸# Ala	1.42	1.34	1.27	W _{DAA} /W _{TAA}	34.87	36.02	34.79
酪氨酸 Tyr	0.90	0.87	0.80	F	2.28	2.24	2.29
脯氨酸 Pro	0.90	0.86	0.76				

注: *为必需氨基酸, &为半必需氨基酸, #为鲜味氨基酸. F 表示支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值.
Note: * Essential amino acid (EAA); & Semi-essential amino acid (SEAA); # Delicious amino acid (DAA). F indicates the ratio of BCAA/AAA.

表 7 3 种鲷属鱼类肌肉中必需氨基酸组成评价

Tab. 7 Evaluation of the composition of essential amino acids in the muscle of three <i>Seriola</i> species mg/g (N)											
必需氨基酸 essential amino acid	黄条鲷 <i>S.lalandi</i>	高体鲷 <i>S.dumerili</i>	五条鲷 <i>S. quinqueradiata</i>	FAO/WHO 标准 FAO/WHO standard	鸡蛋蛋白标准 egg protein standard	AAS			CS		
苏氨酸 Thr	293.21	308.30	292.61	250	292	1.17	1.23	1.17	1.00	1.06	1.00
缬氨酸& Val	339.51	344.73	329.55	310	411	1.10	1.11	1.06	0.83	0.84	0.80
蛋氨酸* Met	195.47	198.99	193.18	220	386	0.89	0.90	0.88	0.51	0.52	0.50
异亮氨酸 Ile	308.64	313.90	301.14	250	331	1.23	1.26	1.20	0.93	0.95	0.91
亮氨酸 Leu	514.40	529.71	505.68	440	534	1.17	1.20	1.15	0.96	0.99	0.95
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	509.26	529.70	497.16	380	565	1.34	1.39	1.31	0.90	0.94	0.88
赖氨酸 Lys	591.56	613.79	585.23	340	441	1.74	1.81	1.72	1.34	1.39	1.33
总量 total	2752.06	2839.12	2704.55								
EAAI									89.38	92.26	87.88

注: *表示第一限制性氨基酸, &表示第二限制性氨基酸.
Notes: * represents the first limiting amino acid, & represents the second limiting amino acid.

2.4 肌肉脂肪酸组成

3 种鲷属鱼类肌肉中共检测出 20 种脂肪酸, 包括 4 种饱和脂肪酸、6 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸(表 8)。五条鲷豆蔻酸(C_{14:0})的含量为 5.56%, 高于黄条鲷(4.39%)和高体鲷(5.02%); 单不饱和脂肪酸含量最高的为油酸(C_{18:1n9}), 平

均为 14.30%。多不饱和脂肪酸中, γ-亚麻酸(C_{18:3n6})只在五条鲷中检测出, 二十二碳二烯酸(C_{22:2})只在高体鲷中检测出。黄条鲷 PUFA 总量为 44.16%, 且 EPA+DHA 占比最大(35.79%), 高体鲷和五条鲷肌肉 PUFA 总量分别为 44.51%和 40.62%, EPA+DHA 占比分别为 34.77%和 32.50%。

表 8 3 种鲷属鱼类肌肉脂肪酸组成及含量(湿重)
Tab. 8 The composition and content of fatty acids in the muscle of three *Seriola* species (wet weight) %

脂肪酸 fatty acid	黄条鲷 <i>S. lalandi</i>	高体鲷 <i>S. dumerili</i>	五条鲷 <i>S. quinqueradiata</i>
C _{14:0} [*]	4.39	5.02	5.56
C _{15:0} [*]	0.54	0.61	0.68
C _{16:0} [*]	20.70	20.10	21.20
C _{16:1} ^{&}	4.16	4.38	4.06
C _{18:0} [*]	4.76	4.70	4.03
C _{18:1n9} ^{&}	14.60	13.90	14.40
C _{18:2n6} [#]	1.90	1.99	2.17
C _{18:3n6} [#]	—	—	0.16
C _{18:3n3} [#]	1.31	0.96	—
C _{20:1} ^{&}	1.73	1.67	2.36
C _{20:2} ^{&}	0.34	0.35	0.40
C _{22:1n9} ^{&}	1.88	1.83	2.86
C _{20:3n3} [#]	0.46	0.44	0.53
C _{20:4n6} (ARA) [#]	1.20	1.21	1.22
C _{22:2} [#]	—	0.94	—
C _{20:5n3} (EPA) [#]	9.59	9.07	9.70
C _{24:1} ^{&}	0.64	0.67	0.74
C _{22:5n6} [#]	0.66	0.73	0.62
C _{22:5n3} (DPA) [#]	2.84	3.47	3.42
C _{22:6n3} (DHA) [#]	26.20	25.70	22.80
EPA+DHA	35.79	34.77	32.50
饱和脂肪酸 ΣSFA	30.39	30.43	31.47
单不饱和脂肪酸 ΣMUFA	23.35	22.79	24.82
多不饱和脂肪酸 ΣPUFA	44.16	44.51	40.62
(MUFA+PUFA)/SFA	2.22	2.21	2.08

注: *表示饱和脂肪酸(SFA), &表示单不饱和脂肪酸(MUFA), #表示多不饱和脂肪酸(PUFA), “—”表示未检出。
Notes: * represents saturated fatty acids (SFA), & represents monounsaturated fatty acids (MUFA), # represents polyunsaturated fatty acids (PUFA), — represents undetectable.

2.5 肌肉矿物质组成

3 种鲷属鱼类肌肉中均含有丰富的矿物质元素(表 9), 常量元素中 P 的含量最高, 其次是 Na、K。其中, 高体鲷的各常量元素含量均高于黄条鲷, 而五条鲷的各常量元素含量均最低。而 3 种鲷属鱼类微量元素中 Fe 的含量最高, 其次是 Zn、Cu。其中, 五条鲷的微量元素含量高于黄条鲷和高体鲷。

表 9 3 种鲷属鱼类肌肉矿物质元素含量
Tab. 9 Content of some mineral in muscles of three *Seriola* species mg/kg

矿物质 mineral	黄条鲷 <i>S. lalandi</i>	高体鲷 <i>S. dumerili</i>	五条鲷 <i>S. quinqueradiata</i>
钾 K	8.75×10 ²	9.01×10 ²	8.57×10 ²
钠 Na	1.14×10 ³	1.15×10 ³	1.04×10 ³
钙 Ca	1.21×10 ²	1.27×10 ²	3.87×10 ³
镁 Mg	3.23×10 ²	3.34×10 ²	2.94×10 ²
磷 P	2.65×10 ³	2.76×10 ³	2.44×10 ³
铜 Cu	0.586	0.506	0.791
锌 Zn	4.460	4.000	5.080
铁 Fe	5.090	5.380	9.860
锰 Mn	<0.1	<0.1	<0.1
铬 Cr	<0.1	<0.1	<0.1

3 讨论

3.1 肌肉质构特性分析

质构与外观、营养和风味共同组成了食品的四大品质要素^[11]。TPA 是通过质构仪模拟口腔的咀嚼动作来分析样品硬度、回复力、弹性、凝聚性、咀嚼性、胶着性等参数, 在水产品品质分析中备受青睐^[12]。鱼肉营养品质的高低受到人们广泛关注, 而质构特性是评价鱼肉品质的关键指标。Angsupanich 等^[13]对大西洋鳕(*Gadus morhua*)、Veland 等^[14]对大西洋鲑、王志铮等^[15]对日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、徐坤华等^[16]对马苏金枪鱼(*T. maccoyii*)肌肉分别进行质构特性测定, 以进一步开展其肌肉品质评价。有研究指出, 肌肉的鲜嫩度与硬度、弹性和咀嚼度存在一定的负相关性^[12]; 粘聚力是样品完整性的体现, 能够反映咀嚼时口感的细腻程度^[17]; 回复力是反映肌肉弹性的主要因子, 能够体现出鱼类肌肉中肌纤维和结缔组织的致密性^[18]。

本研究中, 3 种鲷属鱼类在黏附性、弹性和粘聚力方面差异均不显著($P>0.05$); 但在硬度、胶着度、咀嚼度和回复力方面, 高体鲷和五条鲷均显著低于黄条鲷($P<0.05$), 揭示了黄条鲷肌肉鲜嫩程度和硬度等质构特性均显著优于高体鲷和五条鲷。其中, 硬度是反映质构特性的主要因素之一^[19], 与其他鱼类相比, 3 种鲷属鱼类肌肉硬度均高于秋

刀鱼(*Cololabis saira*)^[20]、大西洋鲑和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[21]等鱼种,说明鱼的品种对肌肉质构特性具有明显的影响。此外,研究指出,肌肉质构特性还受养殖方式、饲料配方、捕获季节及处死方式等外在因素的影响^[22]。因此,在人工养殖过程中,可通过优化养殖方式、饲料成分、捕获时间等调控养殖鲷属鱼类的肌肉质构特性,使之符合消费者的最佳口感要求。

3.2 肌肉常规营养成分分析

肌肉常规营养成分中的蛋白质和脂肪含量是体现其营养价值的重要指标。本研究测定的 3 种大洋性鲷属鱼类都属于高蛋白、高脂类种类,其蛋白质含量分别为黄条鲷 24.3%、高体鲷 22.3%、五条鲷 22.0%,均高于绿鳍马面鲈(*Thamnaconus septentrionalis*)(17.88%)^[23]、秋刀鱼(17.63%)^[20]、大西洋鲑^[24]、大西洋鲑^[25]等可用作刺身食材来源的鱼种,与同鲈科鱼类雄性卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)(21.36%)^[26]相比,3 种鲷属鱼类蛋白含量依然占据优势。黄条鲷、高体鲷和五条鲷的脂肪含量均高于红鳍笛鲷(*Lutjanus erythropterus*)^[27]、淡水石斑鱼(*Cichlasoma managuense*)^[28]、黄鳍金枪鱼(*Tunnathunnus albacares*)^[29]等经济鱼类。这可能也是 3 种鲷属鱼类肉质鲜嫩、脂膏丰腴的主要原因之一。

3.3 肌肉氨基酸组成分析

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,主要包括必需氨基酸和非必需氨基酸两类。研究指出,总氨基酸含量决定肌肉的营养价值,鲜味氨基酸含量决定肌肉的鲜美程度^[30]。本研究发现,3 种鲷属鱼类总氨基酸含量均高于云纹石斑鱼(*Epinehelus moara*)^[31]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[32]等鱼类,相比于高体鲷和五条鲷,黄条鲷总氨基酸含量更高,说明 3 种鲷属鱼类肌肉的氨基酸营养价值均较高,且以黄条鲷为最优。谷氨酸是脑组织生化代谢中的重要氨基酸^[33],本研究发现,3 种鲷属鱼类的 16 种氨基酸中,谷氨酸含量最高,天冬氨酸次之,且两者均为鲜味氨基酸;同时,黄条鲷、高体鲷和五条鲷 3 种鲷属鱼类中的鲜味氨基酸占总氨基酸含量分别为 34.87%、36.02%和 34.79%,与大目金枪鱼(*T. obesus*)(35.71%)^[34]、大西洋鲑(35.44%)^[35]、云纹石斑鱼(35.84%)^[31]和黄

带拟鲈(*Pseudocaranx dentex*)(35.37%)^[36]等鱼种相近,说明 3 种鲷属鱼类均为味道极为鲜美的品种,也是其深受国内外消费者喜爱的主要原因。

有研究发现,赖氨酸是谷物类限制氨基酸,在人体免疫中发挥着重要作用^[37],因此食用鲷属鱼类肌肉可与谷物类相互补充,提高人体对蛋白的利用率。此外,国内外已有不少有关赖氨酸含量对鱼类生长性能影响的研究^[38-39],可见高赖氨酸水平有助于鲷属鱼类生长,并有助于食用人群对水产蛋白的消化吸收。本研究发现,黄条鲷、高体鲷和五条鲷肌肉中 EAA/TAA 的比值分别为 40.68%、41.90%和 40.24%,而 EAA/NEAA 的比值分别达到 88.05%、84.57%和 87.64%,均高于 FAO/WHO 提出的理想蛋白模式(其氨基酸组成中必需氨基酸/氨基酸总量在 40%左右,必需氨基酸/非必需氨基酸大于 60%以上)^[40],说明 3 种鲷属鱼类肌肉均可作为优质的动物蛋白源。根据 AAS 和 CS 分值,以 AAS 为评价标准,除蛋氨酸外,3 种鲷属鱼类平均分大于 1;以 CS 为评价标准,3 种鲷属鱼类平均分小于 1,低于鸡蛋蛋白标准,且在 2 种蛋白评价标准中,3 种鲷属鱼类的第一限制氨基酸均为蛋氨酸,第二限制性氨基酸均为缬氨酸。本研究通过对肌肉中氨基酸结构特征组成分析,表明 3 种鲷属鱼类均能够为人体提供充足的必需氨基酸,还能为鲷属鱼类养殖过程中饲料成分的选择和配比配制提供参考依据。

3.4 肌肉脂肪酸组成分析

脂肪酸作为脂类重要的组成成分,在机体供能方面发挥着重要的作用,多以饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)及多不饱和脂肪酸(PUFA)的形式存在^[41]。3 种鲷属鱼类中,棕榈酸(C_{16:0})含量均最高,这与其他鱼类中含量较高的现象相类似。报道指出, MUFA 能为人体提供大量的热能,还能调整人体血浆中不同密度脂蛋白胆固醇的比例,从而促进人体新陈代谢和保护机体器官免受损伤^[42]。

研究发现,膳食中多不饱和脂肪酸对心脑血管疾病、肠道健康、抗炎和视力保护方面具有一定的调节作用^[41],脂肪酸中不饱和程度越高,其营养价值越高^[43]。3 种鲷属鱼类的 MUFA 和 PUFA

含量均相对较高, 不饱和脂肪酸(MUFA 和 PUFA)与 SFA 的比值均大于 2; 并且, PUFA 含量均远高于三线矶鲈(*Parapristipoma trilineatum*)^[44]、大口黑鲈^[32]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[45]、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[46]等经济鱼类。说明本研究中 3 种鲷属鱼类的脂肪酸营养价值较高; 同时, 与五条鲷相比, 黄条鲷和高体鲷的优势更为明显。PUFA 是人体所必需的脂肪酸, 尤其是 EPA 和 DHA^[47], 同时, 也具有降低胆固醇和甘油三酯等保健功能。本研究中, 3 种鲷的 EPA 和 DHA 总含量均高于三线矶鲈^[44]、大口黑鲈^[32]、大西洋鲑^[35]和金枪鱼^[48]等; 并且在 3 种鲷中, 黄条鲷的 EPA 和 DHA 总含量最高, 而五条鲷的最低, 进一步强调了鲷高脂肪酸含量的营养价值, 尤其是黄条鲷和高体鲷。同时, 说明黄条鲷对于多不饱和脂肪酸的存储和代谢机制方面与其他 2 种鲷存在差异, 这也是 3 种鲷属鱼类肌肉营养差异的原因之一。 γ -亚麻酸(C_{18:3n6})具有降血脂、增强免疫力等作用^[49], 也是花生四烯酸(ARA)的来源之一^[50], 所测得的五条鲷 ARA 含量高于黄条鲷和高体鲷。可见, 鲷属鱼类具有较高的脂肪酸营养价值, 可对其营养和保健功效进行开发利用。

3.5 肌肉矿物质组成分析

矿物质元素与人体健康紧密联系, 是维持人体生理活动和新陈代谢必不可少的物质^[51-52]。本研究中, 3 种鲷属鱼类肌肉中均含有丰富的常量元素(Na、K、P、Mg、Ca)和微量元素(Fe、Zn), 且 Na 元素含量均高于云纹石斑鱼^[31]、黄带拟鲈(*Pseudocaranx dentex*)^[36]和大菱鲆^[45]等鱼种, 黄条鲷和高体鲷肌肉各常量元素含量均高于五条鲷, 对人体而言, 含量较高的 Na、K 等矿物质对于维持体内酸碱平衡具有重要作用。与黄条鲷和高体鲷相比, 五条鲷肌肉微量元素含量更丰富, 尤其是 Fe 元素, 其主要参与体内的氧化呼吸机能, 维持体内正常造血功能^[53]。可见, 摄食鲷属鱼类有助于人体补充所需的矿物质元素, 促进新陈代谢、提高免疫力。

4 结论

本研究表明, 与其他经济鱼类相比, 鲷属鱼类肌肉中含有丰富的氨基酸和脂肪酸等营养物质,

是极具市场开发潜力的大洋性养殖经济鱼种, 研究结果将为我国鲷属鱼类养殖潜力评价和专用高效配合饲料的研制提供参考。

参考文献:

- [1] Balanov A A. On the species composition of fish of the genus *Seriola* (Carangidae) in the northwestern part of the Sea of Japan[J]. Journal of Ichthyology, 2008, 48(6): 415-421.
- [2] Meng Q W, Su J X, Miu X Z. Systematics of Fishes[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 672-673. [孟庆闻, 苏锦祥, 缪学祖. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 672 - 673.]
- [3] Thakur D P, Morioka K. Comparison of collagen distribution and muscle structure between cultured amberjack (*Seriola dumerili*) and cultured yellowtail (*Seriola quinqueradiata*)[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(2): 272-280.
- [4] Thakur D P, Morioka K, Itoh N, et al. Muscle biochemical constituents of cultured amberjack *Seriola dumerili* and their influence on raw meat texture[J]. Fisheries Science, 2009, 75(6): 1489-1498.
- [5] Liao Z Q. *Seriola dumerili* cage culture technology[J]. China Fisheries, 2003(12): 60-61. [廖志强. 高体鲷网箱养殖技术[J]. 中国水产, 2003 (12): 60-61.]
- [6] Liu X Z, Xu Y J, Li R, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition of the muscle of yellowtail kingfish (*Seriola aureovittata*)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(1): 128-135. [柳学周, 徐永江, 李荣, 等. 黄条鲷(*Seriola aureovittata*)肌肉营养组成分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(1): 128-135.]
- [7] Wei K, Zheng W, Geng Y, et al. Comparative analysis of nutritional composition in muscles between wild and cultured Masu salmon *Oncorhynchus masou*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(6): 1-6. [魏凯, 郑伟, 耿琰, 等. 野生与养殖马苏大麻哈鱼肌肉营养成分的比较[J]. 水产学杂志, 2020, 33(6): 1-6.]
- [8] Lin W L, Yang X Q, Li L H, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of crisp grass carp[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(1): 1-7, 72. [林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 脆肉鲈质构与感官评价的相关性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 1-7, 72.]
- [9] Zhang S L, Sun X J, Zhang X, et al. The dressing rate and nutrient components in muscle of *Leiocassis longirostris*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 83-88. [张升利, 孙向军, 张欣, 等. 长吻鲈含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 83-88.]
- [10] You H Z, Sun Z J, Zhang Q, et al. Nutritional components

- analysis and nutritive value evaluation in *Plectropomus leopardus* muscles[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(6): 1168-1172. [尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃棘鲷肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *水生生物学报*, 2014, 38(6): 1168-1172.]
- [11] Cheng H H. Muscular nutritional components and meat quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) cultured under the model of cultivating fish with grass[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017: 18-19. [程辉辉. 种青养鱼模式下草鱼肌肉营养成分和品质特性[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 18-19.]
- [12] Zu X Y, Li P, Li H L, et al. Correlation analysis between moisture and texture in muscles of *Micropterus salmoides* during fasting temporary cultivation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 45-50. [钼晓艳, 李湃, 李海蓝, 等. 加州鲈禁食暂养过程中肌肉水分与质构特性相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 45-50.]
- [13] Angsupanich K, Ledward D A. High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle[J]. *Food Chemistry*, 1998, 63(1): 39-50.
- [14] Veland J O, Torrisen O J. The texture of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle as measured instrumentally using TPA and Warner-Brazler shear test[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(12): 1737-1746.
- [15] Wang Z Z, Fu Y J, Yang L, et al. Variations in body color and flesh quality of *Anguilla japonica* populations in different culture models[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(4): 1042-1049. [王志铮, 付英杰, 杨磊, 等. 三种养殖模式下日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)养成品体色和肌肉品质的差异[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(4): 1042-1049.]
- [16] Xu K H, Zhao Q L, Liao M T, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of tuna[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(12): 190-197. [徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 190-197.]
- [17] Zhong J X, Li J W, Xie X Y, et al. Effects of short-term starvation on meat quality of *Trachinotus ovatus*[J]. *Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition)*, 2018, 39(5): 394-401. [钟金香, 李俊伟, 颜晓勇, 等. 短期饥饿处理对卵形鲳鲹鱼肉品质的影响[J]. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2018, 39(5): 394-401.]
- [18] Li W Q, Li X Q, Leng X J, et al. Preliminary study on flesh quality evaluation of *Siniperca chuatsi* (Basilewsky)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(9): 114-117, 121. [李文倩, 李小勤, 冷向军, 等. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(9): 114-117, 121.]
- [19] Hu F, Li X D, Xiong S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components[J]. *Food Science*, 2011, 32(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5 种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 69-73.]
- [20] Ye B Q, Tao N P, Wang X C. Analysis and evaluation of nutritional composition of *Cololabis saira* muscle[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2014, 36(4): 406-408. [叶彬清, 陶宁萍, 王锡昌. 秋刀鱼肌肉营养成分分析及评价[J]. *营养学报*, 2014, 36(4): 406-408.]
- [21] Zhang D F, Wu L, Zhang X Z, et al. Nutrient components and texture profiles in the flesh of Atlantic salmon, triploid rainbow trout, and golden trout[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(2): 186-194. [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.]
- [22] Liu J Y, Zhao Q C, Cheng S F, et al. Research progress on the influencing factors and determination methods of fish muscle texture[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(9): 3035-3043. [刘婧懿, 赵前程, 程少峰, 等. 鱼肉质构的影响因素及测定方法研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(9): 3035-3043.]
- [23] Xu D F, Liu K, Wang P F, et al. Analysis of nutritional composition in the muscle of *Thamnaconus septentrionalis* [J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(5): 122-129. [徐大风, 刘琨, 王鹏飞, 等. 绿鳍马面鲀肌肉营养成分分析和营养评价[J]. *海洋科学*, 2018, 42(5): 122-129.]
- [24] Yu Q F, Deng F M. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of silver carp, small yellow croaker, *Gadus macrocephalus* and *Muraenesox cinereus*[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2012(9): 11-14, 18. [于琴芳, 邓放明. 鲢鱼小黄鱼鳕鱼和海鳗肌肉中营养成分分析及评价[J]. *农产品加工(学刊)*, 2012(9): 11-14, 18.]
- [25] Liu Y L, Deng L. Comparison of the nutritional components in muscles of Norway salmon and artificial breeding salmon[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2011, 47(6): 84-86. [刘延岭, 邓林. 养殖三文鱼与挪威三文鱼营养成分的比较分析[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(6): 84-86.]
- [26] Luo H, Zhou M R, Jing T S, et al. Evaluation of muscle quality of male and female *Trachinotus ovatus*[J]. *South China Fisheries Science*, 2020, 16(6): 115-123. [罗辉, 周明瑞, 敬庭森, 等. 雌、雄卵形鲳鲹肌肉品质评价[J]. *南方水产科学*, 2020, 16(6): 115-123.]
- [27] Chen T, Li W F. Analysis of muscle nutrients of *Lutjanus erythropterus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2016(6): 67-72. [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.]
- [28] 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. [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.]
- [29] Luo Y, Wang X C, Liu Y. Study on edible quality of yellow-

- fin (*Tunathunnus albacares*) dorsal meat[J]. Food Science, 2008, 29(9): 476-480. [罗殷, 王锡昌, 刘源. 黄鳍金枪鱼食用品质的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 476-480.]
- [30] Wang X F, Gu H X, Guo Q L, et al. Nutritional composition analysis of marine cultured and fresh-water cultured *Scylla serrata*[J]. Food Science, 2010, 31(23): 386-390. [王雪锋, 顾鸿鑫, 郭倩琳, 等. 海水和淡水养殖锯缘青蟹的营养成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 386-390.]
- [31] Wang L N, Tian Y S, Tang J, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinehelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper”[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(7): 1085-1093. [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.]
- [32] Fan J J, Bai J J, Li S J, et al. Nutrient composition and nutritive quality of the muscle of *Micropterus salmoides*, “Youlu No.1”[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(3): 423-429. [樊佳佳, 白俊杰, 李胜杰, 等. 大口黑鲈“优鲈1号”选育群体肌肉营养成分和品质评价[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 423-429.]
- [33] Zhang C Y, Li L, Li C F. Biochemistry, [M]. 2nd Ed. Beijing: People's Health Publishing House, 1988: 305-561. [张昌颖, 李亮, 李昌甫. 生物化学[M]. 第 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 1988: 305-561.]
- [34] Liu S C, Li R W, Liao M T, et al. Nutritional components analysis and quality evaluation of different muscle parts of bigeye tuna[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 340-343, 348. [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, 34(23): 340-343, 348.]
- [35] Jiang J J, Deng L, Li H. Nutrition evaluation of artificial breeding salmon[J]. Food & Machinery, 2011, 27(6): 40-42, 46. [江建军, 邓林, 李华. 人工养殖三文鱼营养成分的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 40-42, 46.]
- [36] Jiang Y, Liu X Z, Cui A J, et al. Analysis of muscle components of striped jack (*Pseudocaranx dentex*)[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(6): 130-135. [姜燕, 柳学周, 崔爱君, 等. 黄带拟鲈肌肉营养成分分析[J]. 南方水产科学, 2021, 17(6): 130-135.]
- [37] Huang Y X, Lu L. Research progress of lysine on health promotion[J]. Guangxi Medical Journal, 2008, 37(7): 1031-1033. [黄元新, 鲁力. 赖氨酸对机体健康促进作用的研究进展[J]. 广西医学, 2008, 37(7): 1031-1033.]
- [38] Qiu H, Huang W W, Hou Y M, et al. Lysine requirement of juvenile Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(10): 3057-3066. [邱红, 黄文文, 侯迎梅, 等. 黄颡鱼幼鱼的赖氨酸需要量[J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3057-3066.]
- [39] Hu S Y. Cloning of IGF family related gene and the relative expression at different lysine levels[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018: 19-20]. [胡沈玉. 黄鲈鱼 IGF 家族相关基因克隆及在不同赖氨酸水平下表达[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 19-20.]
- [40] Xing W, Luo L. Comparative study on nutritional value of salmon and trout[J]. Fishery of China, 2015(3): 74-77. [邢薇, 罗琳. 鲑鳟鱼营养价值比较研究[J]. 中国水产, 2015(3): 74-77.]
- [41] Peng S M, Li Y L, Shi Z H, et al. Research progress of essential fatty acids nutrition in marine fish broodstock[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 98-106. [彭士明, 李云莉, 施兆鸿, 等. 海水鱼类亲体必需脂肪酸营养的研究进展[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 98-106.]
- [42] Wang W, Zhang W M. Functional properties of monounsaturated fatty acids[J]. Food and Nutrition in China, 2005(4): 44-46. [王伟, 张伟敏. 单不饱和脂肪酸的功能特性[J]. 中国食物与营养, 2005(4): 44-46.]
- [43] Jin G, Li J, Qi Y, et al. Study on the source and physiological function of polyunsaturated fatty acids[J]. Feed Review, 2018(4): 23-25. [靳革, 李娟, 齐悦, 等. 多不饱和脂肪酸的来源及生理功能研究[J]. 饲料博览, 2018(4): 23-25.]
- [44] Wang M J, Chu T Q, Liu F, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of *Parapristipoma trilineatum*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2020, 39(6): 496-501. [王梦洁, 储天琪, 刘峰, 等. 三线矶鲈肌肉营养成分分析与评价[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2020, 39(6): 496-501.]
- [45] Wang Y H, Lu Z H, Zheng G X, et al. Analysis of the nutritional components of *Scophthalmus maximus*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2003, 25(4): 438-440. [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, 25(4): 438-440.]
- [46] Lin L M, Wang Q R, Wang Z Y, et al. Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 286-291. [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.]
- [47] Zhu A Y, Zhao X J, Yang Y Q. Analysis of the nutritional composition in visceral mass of *Hemifusus tuba* in sea area of Dongji[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(2): 63-68. [朱爱意, 赵向炯, 杨运琪. 东极海区管角螺软体部的营养成分分析[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 63-68.]
- [48] 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(10): 43-47. [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(10): 43-47.]
- [49] Tian X Z, Wang X L, Sun G L, et al. Research advance of γ -linolenic acid[J]. Biotechnology, 2008, 18(1): 89-92. [田歆珍, 王贤磊, 孙桂琳, 等. γ -亚麻酸的研究进展[J]. 生物技术, 2008, 18(1): 89-92.]
- [50] Liu X J, Li B L, Ou J, et al. Analysis of key nodes in

- metabolic pathway model of γ -linolenic acid[J]. Food Science, 2006, 27(12): 188-190. [刘秀杰, 李柏林, 欧杰, 等. γ -亚麻酸代谢途径模型中关键节点的分析[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 188-190.]
- [51] Lei Z H, Xu X Q, Hui J Y, et al. Studies on the characteristics of ecological chemistry of microelements in fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1994, 18(4): 309-315. [雷志洪, 徐小清, 惠嘉玉, 等. 鱼体微量元素的生态化学特征研究[J]. 水生生物学报, 1994, 18(4): 309-315.]
- [52] Wu Y F, Fang C L, Wang Q P. Research progress of fish mineral nutrition[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2007(4): 19-22. [吴云发, 方春林, 王庆萍. 鱼类矿物质营养研究进展[J]. 江西水产科技, 2007(4): 19-22.]
- [53] Zheng Z L, Huang C F. Summary of fish mineral nutrition research[J]. Scientific Fish Farming, 2001(9): 43. [郑宗林, 黄朝芳. 鱼类矿物质营养研究概述[J]. 科学养鱼, 2001(9): 43.]

Comparative analysis of the muscle texture characteristics and nutrient compositions among three *Seriola* fishes

XU Yongjiang¹, WANG Kaijie^{1,2}, JIANG Yan¹, CUI Aijun¹, LIU Xuezhou¹, FANG Lu¹, WANG Bin¹

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Laboratory for Marine Fisheries Science and, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) for Deep Blue Fishery Engineering, Qingdao 266071, China;
2. National Engineering Research Center For Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: To comparatively investigate and analyze the muscle quality and edible value of three *Seriola* fishes, the texture characteristics and basic nutritional composition of the muscle of *S. lalandi*, *S. dumerili*, and *S. quinqueradiata* in the East China Sea were evaluated. Texture analysis (TPA) was performed to assess the muscle texture characteristics of the three *Seriola* species, and conventional biochemical methods were employed to detect the components of water, protein, ash, fatty acid, and amino acid in the muscles. The muscle hardness, adhesion, mastication, and resilience of *S. lalandi* were significantly higher than those of *S. dumerili* and *S. quinqueradiata*. Further, *S. lalandi* had the highest muscle protein content, *S. dumerili* had the highest muscle water content, and *S. quinqueradiata* had the highest muscle fat content. The three *Seriola* fishes had higher essential amino acid content than the recommended standards of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/World Health Organization (WHO). According to the scores of amino acid score (AAS) and chemical score (CS), methionine was the first limiting amino acid in the muscle of the three *Seriola* species, and valine was the second limiting amino acid. Furthermore, the content of fresh amino acids in the muscle and their proportion to the total amino acids were found to be relatively high, which may be the primary reason for the delicious taste of the muscles of the three *Seriola* species. A total of 20 types of fatty acids were detected in the muscles of the three *Seriola* species; however, methyl linolenate (c18 : 3n6) was only detected in *S. quinqueradiata*, and methyl docosadienoic acid (c22 : 2) was only detected in *S. dumerili*. The content of unsaturated fatty acids in the muscles of *Seriola* was relatively high, and their EPA+DHA content was associated with evident advantages, ultimately indicating that these three *Seriola* species have high nutritional value based on their high levels of unsaturated fatty acids. *S. dumerili* muscle had the highest content of major elements, while *S. quinqueradiata* muscle had the highest content of trace elements. Overall, the muscles of the three *Seriola* species were found to be rich in amino acids, fatty acids, and other nutritional elements, which support their industrial development and commercial prospect as promising candidates for open ocean aquaculture. Our study findings highlight the culture and commercial potential of *Seriola* fishes.

Key words: *Seriola* fish; texture profile analysis; principal component analysis; nutritional component; nutritional evaluation

Corresponding author: XU Yongjiang. E-mail: xuyj@ysfri.ac.cn