

# 不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸品质 主成分评价

罗 钦, 饶秋华, 刘 洋, 黄敏敏, 罗土炎\*

(福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 福建省农产品质量安全重点实验室, 福州 350003)

**摘 要:** **目的** 研究不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸含量的差异及其品质评价。**方法** 采用氨基酸自动分析仪测定墨瑞鳕处于鱼苗、成鱼和亲鱼等 3 种阶段时肌肉中氨基酸含量, 并通过主成分分析对氨基酸品质进行评价。**结果** 不同生长阶段墨瑞鳕肌肉及饲料均含有 17 种氨基酸, 均以谷氨酸含量最高, 胱氨酸含量最低, 而且肌肉与饲料中氨基酸呈强正相关( $r^2$  为 0.98682~0.99919)。主成分分析显示墨瑞鳕肌肉中 17 种氨基酸可以降低成 2 种主成分, 苯丙氨酸和赖氨酸是墨瑞鳕的主要特征氨基酸, 构建的氨基酸品质主成分评价函数式为  $F=0.756Y_1+0.243Y_2$ , 运算结果为幼鱼的得分指最高(4.223), 亲鱼次之(-1.854), 成鱼最低(-2.369)。**结论** 幼鱼阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸品质最优, 亲鱼次之, 就氨基酸而言, 建议不同生长阶段墨瑞鳕饲料中氨基酸成分的配制以幼鱼及亲鱼饲料作为参考更有效。

**关键词:** 墨瑞鳕; 氨基酸品质; 主成分分析

## Principal component evaluation of amino acid quality in muscle of *Maccullochella peelii* at different growth stages

LUO Qin, RAO Qiu-Hua, LIU Yang, HUANG Min-Min, LUO Tu-Yan\*

(Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research/Fujian Key Laboratory of Agro-products Quality & Safety, Fuzhou 350003, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the difference of amino acid content in the muscle of *Maccullochella peelii* at different growth stages and its quality evaluation of amino acid. **Methods** The amino acid content in the muscle of *Maccullochella peelii* at 3 stages of juvenile, adult and parent fish were determined by automatic amino acid analyzer, and the amino acid quality was evaluated by principal component analysis. **Results** There were 17 kinds of amino acids in the muscle and feed of *Maccullochella peelii* at different growth stages, and glutamic acid content was the highest, cystine content was the lowest, and there was a strong positive correlation between muscle and feed amino acid ( $r^2=0.98682\sim0.99919$ ). The principal component analysis showed that the 17 kinds of amino acids in the muscle of *Maccullochella peelii* could be reduced in dimension into 2 kinds of principal components, and phenylalanine and

**基金项目:** 福建省科技厅省属公益类科研专项(2019R007)、福建省农业科学院乡村振兴科技服务团队全产业链科技示范项目(2021KF20)、福建省农业科学院创新团队项目(CXTD2021011-1)、福建省“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021020)

**Fund:** Supported by the Public Welfare Project of Fujian Province (2019R007), the Rural Revitalization Science and Technology Service Team Full Industry Chain Science and Technology Demonstration Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (2021KF20), the Innovation Team Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (CXTD2021011-1), and the Collaborative Innovation Project of Fujian Province (XTCXGC2021020)

\***通信作者:** 罗土炎, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。E-mail: 910371689@qq.com

\***Corresponding author:** LUO Tu-Yan, Professor, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: 910371689@qq.com

lysine were the main characteristic amino acids of *Maccullochella peelii*, the principal component evaluation function of amino acid quality constructed was  $F=0.756Y_1+0.243Y_2$ , and the calculation result showed that juvenile fish had the highest score (4.223), followed by parent fish (-1.854), adult fish had the lowest (-2.369). **Conclusion** The amino acid quality in the muscle of *Maccullochella peelii* at juvenile stage is the best, followed by parent fish, in terms of amino acids, it is suggested that the amino acid composition in the feed of *Maccullochella peelii* at different growth stages should be more effective to refer to the diets of juvenile fish and parent fish.

**KEY WORDS:** *Maccullochella peelii*; amino acid quality; principal component analysis

## 0 引言

墨瑞鲑(*Maccullochella peelii*)原产于澳大利亚,是世界上顶级的白肉鱼和最大的淡水鱼之一,其肉质鲜美甜嫩,氨基酸营养丰富,素有澳洲“国宝鱼”之美称<sup>[1-2]</sup>。墨瑞鲑于1999年引入我国台湾养殖,随后我国浙江省、福建省和广东省等地区陆续引入养殖,现已成为我国一个新兴的优质淡水鱼养殖品种<sup>[3-5]</sup>。鱼体化学组成及含量可以反映鱼体生长发育情况、代谢情况和对饲料营养素需要量差异情况,氨基酸是衡量鱼体肌肉营养品质重要的指标之一,对于新兴的墨瑞鲑产业,了解其不同生长阶段的氨基酸组成及品质分析,对加快墨瑞鲑健康养殖和系列配合饲料研发等具有重要的意义。近些年,国内外陆续开展了一些关于墨瑞鲑肌肉氨基酸方面的研究报道,宋理平等<sup>[6]</sup>、罗钦等<sup>[7-8]</sup>和狄正凯<sup>[9]</sup>等科技人员研究了墨瑞鲑肌肉中氨基酸组成及含量并进行简单分析,结果表明不同光照周期及光照强度对其氨基酸组成及含量有显著影响,而且其必需氨基酸指数为95.43,具有较高的营养价值与保健作用。国内外也陆续开展了一些关于水产品肌肉中氨基酸主成分分析方面的研究报道,郭全友等<sup>[10]</sup>、任敬等<sup>[11]</sup>、韩千慧等<sup>[12]</sup>、汤海青等<sup>[13]</sup>、王玉林等<sup>[14]</sup>和吕帆等<sup>[15]</sup>等研究人员采用主成分评价不同鱼类的滋味品质和氨基酸品质,结果表明大黄鱼在7~10月酸味和苦味减弱而鲜味提升,虹鳟在7种鱼类中氨基酸品质最高,草鱼腊鱼的滋味品质优于鲢鱼,福瑞鲤肉质性能受硬度、剪切力、粗脂肪和粗蛋白的影响最大。在品质评价中,通常参与判断指标越多,其评价结果的可靠性也越强,目前未见采用17个氨基酸指标对不同养殖阶段墨瑞鲑肌肉中氨基酸品质进行主成分分析评价的研究报道。因此,本研究采用氨基酸自动分析仪测定处于幼鱼、成鱼和亲鱼阶段的墨瑞鲑肌肉及其相应阶段饲料中氨基酸组成及含量,运用主成分分析法对3个阶段墨瑞鲑肌肉中氨基酸的品质进行评价,以期为不同生长阶段墨瑞鲑的营养需求研究提供科学依据,促进墨瑞鲑新兴产业的快速发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

试验用的墨瑞鲑鱼苗、成鱼和亲鱼均取自浙江省乐清

市某养殖企业,在水泥池投喂相应规格的配合饲料进行养殖。鱼体健壮、体表无伤。取养殖9个月的幼鱼12尾,体重为(20.52±9.88)g/尾;取养殖了18个月的成鱼3尾,体重为(604.35±19.41)g/尾;取养殖9年的亲鱼3尾,体重为(8.02±0.35)kg/尾。

氨基酸标准溶液(100 nmol/L,美国SUPELCO公司);盐酸等试剂(优级纯,西陇化工股份有限公司)。

L-8800 氨基酸自动分析仪(日本日立公司);DHG-9140A 电热鼓风干燥箱(上海精宏实验室设备有限公司);AL-204 分析天平(上海梅特勒—托利多国际贸易有限公司);BCD-521WDPW 冰箱(青岛海尔集团)。

### 1.2 试验方法

将3种不同生长阶段的墨瑞鲑分别经洗净、擦干、除鳞、去除内脏混合物、剔除鱼刺等处理后,取出鱼体两侧的肌肉块,采用四分法取四分之一肌肉块置于60℃烘箱中烘干,将每种鱼样品采用粉碎机粉碎过筛后做成1份混合肌肉样品,共制成3份肌肉样品,并放置于冰箱保鲜层备用。因墨瑞鲑肌肉样品的脂肪含量较高,故经脱脂脱水后分别称取肌肉样品30~50mg,按照GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》的方法,对样品氨基酸含量进行测定。饲料样品分别采用粉碎机粉碎过筛后直接称取30~50mg,按照GB 5009.124—2016的方法进行氨基酸含量测定。样品均送至福建省福州市某检验检测机构进行检测,含量结果为检测报告的报出值。

### 1.3 数据处理

采用Excel 2007软件对肌肉及饲料的氨基酸的仪器实测值进行相关性分析,采用SPSS 17.0软件对仪器实测值进行主成分分析,采用Excel 2007软件对数据进行计算处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生长阶段墨瑞鲑肌肉中氨基酸组成分析

由表1可知,不同生长阶段墨瑞鲑肌肉及饲料均含有17种氨基酸,肌肉及饲料均以谷氨酸含量最高,天门冬氨酸次之,赖氨酸再次之(除成鱼饲料外,其以亮氨酸再次之);肌肉及饲料也均以胱氨酸含量最低,组氨酸次之(除

幼鱼饲料和亲鱼饲料外,其均以蛋氨酸次之)。肌肉的氨基酸总量的大小顺序均为亲鱼>幼鱼>成鱼,饲料的氨基酸总量的大小顺序均为幼鱼>亲鱼>成鱼。墨瑞鳕肌肉与饲料中氨基酸的相关性系数以亲鱼最高,为0.99919,幼鱼次之,为0.99612,成鱼最低,为0.98682。

## 2.2 不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸品种的主成分评价

### 2.2.1 不同生长阶段墨瑞鳕氨基酸组成的相关性分析结果

将不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸含量的数据导入 SPSS 17.0 软件中,用降维模块处理后得到不同生长阶

段墨瑞鳕氨基酸的特征值及方差贡献率,特征值大于1.000只有2个,分别为12.857和4.143,说明有2种主成分;而且这2种主成分的贡献率分别为75.632%和24.368%,其累积贡献率达到了100.000%,说明这2种主成分的信息可以反映出17种氨基酸的全部信息,实现了降维。

从表2可知,在主成分P1中苯丙氨酸和赖氨酸这2种氨基酸的载荷权数均不低于0.995,同时从表3可知,这2种氨基酸间互呈强正相关性,说明这2种氨基酸含量是影响氨基酸品质的最主要因素,是不同生长阶段墨瑞鳕的主要特征氨基酸。

表1 不同生长阶段墨瑞鳕肌肉及饲料的氨基酸组成和相关性分析

Table 1 Correlation analysis of amino acid composition in muscle and feed of *Maccullochella peelii* at different growth stages

氨基酸	幼鱼	幼鱼饲料	成鱼	成鱼饲料	亲鱼	亲鱼饲料
天门冬氨酸/%	7.71	4.51	7.10	4.00	7.25	4.20
苏氨酸/%	3.59	2.12	3.33	1.86	3.46	2.03
丝氨酸/%	3.38	2.09	3.24	2.19	3.38	1.87
谷氨酸/%	11.89	7.4	11.01	7.26	11.30	6.06
甘氨酸/%	4.75	2.93	5.94	2.44	6.42	2.97
丙氨酸/%	4.68	3.04	4.77	2.44	4.95	2.89
缬草氨酸/%	3.56	2.39	3.22	2.25	3.31	2.25
蛋氨酸/%	1.79	1.19	1.71	1.00	1.94	1.03
异亮氨酸/%	3.19	1.99	2.84	1.90	2.92	1.90
亮氨酸/%	5.93	3.71	5.37	3.44	5.49	3.40
酪氨酸/%	2.42	1.52	2.21	1.46	2.29	1.40
苯丙氨酸/%	3.07	2.11	2.86	2.04	2.87	1.91
赖氨酸/%	6.86	4.13	6.47	2.86	6.48	3.63
组氨酸/%	1.56	1.27	1.58	0.97	1.67	1.27
精氨酸/%	4.85	3.01	4.96	2.78	5.18	2.80
脯氨酸/%	3.12	2.32	3.50	2.33	3.72	1.89
胱氨酸/%	0.56	0.40	0.46	0.58	0.49	0.34
氨基酸总量/%	72.91	46.13	70.57	41.80	73.12	41.84
肌肉与饲料氨基酸相关性	0.99612		0.98682		0.99919	

表2 不同生长阶段墨瑞鳕氨基酸主成分矩阵组成

Table 2 Principal component matrix of amino acids in *Maccullochella peelii* at different growth stages

氨基酸	主成分	
	P1	P2
天门冬氨酸	0.984	0.180
苏氨酸	0.893	0.450
丝氨酸	0.549	0.836
谷氨酸	0.963	0.269
甘氨酸	-0.943	0.333
丙氨酸	-0.717	0.697
缬草氨酸	0.980	0.200
蛋氨酸	-0.117	0.993

表2(续)

氨基酸	主成分	
	P1	P2
异亮氨酸	0.987	0.162
亮氨酸	0.989	0.147
酪氨酸	0.946	0.324
苯丙氨酸	1.000	-0.015
赖氨酸	0.999	-0.035
组氨酸	-0.596	0.803
精氨酸	-0.717	0.697
脯氨酸	-0.910	0.415
胱氨酸	0.971	0.237

表 3 不同生长阶段墨瑞鲑氨基酸含量间的相关性分析结果  
Table 3 Correlation analysis among amino acids content of *Maccullochella peelii* at different growth stages

氨基酸	天门冬氨酸	苏氨酸	丝氨酸	谷氨酸	甘氨酸	丙氨酸	缬氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	酪氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	组氨酸	精氨酸	脯氨酸	胱氨酸
天门冬氨酸	1.000																	
苏氨酸	0.960	1.000																
丝氨酸	0.690	0.866	1.000															
谷氨酸	0.996**	0.981**	0.753	1.000														
甘氨酸	-0.867	-0.692	-0.238	-0.818	1.000													
丙氨酸	-0.580	-0.327	0.189	-0.504	0.909	1.000												
缬氨酸	1.000**	0.965	0.705	0.997**	-0.857	-0.564	1.000											
蛋氨酸	0.064	0.343	0.766	0.155	0.441	0.776	0.084	1.000										
异亮氨酸	1.000**	0.954	0.677	0.994**	-0.876	-0.595	0.999**	0.046	1.000									
亮氨酸	0.999**	0.950	0.666	0.992**	-0.883	-0.607	0.999**	0.031	1.000**	1.000								
酪氨酸	0.989**	0.991**	0.790	0.998**	-0.784	-0.453	0.992**	0.211	0.986**	0.983**	1.000							
苯丙氨酸	0.981**	0.886	0.536	0.959	-0.948	-0.728	0.977	-0.131	0.984**	0.987**	0.941	1.000						
赖氨酸	0.977	0.877	0.519	0.953	-0.954	-0.741	0.972	-0.151	0.981**	0.983**	0.934	1.000**	1.000					
组氨酸	-0.441	-0.171	0.345	-0.358	0.829	0.987**	-0.423	0.867	-0.458	-0.471	-0.303	-0.607	-0.623	1.000				
精氨酸	-0.580	-0.327	0.189	-0.504	0.909	1.000**	-0.564	0.776	-0.595	-0.607	-0.453	-0.728	-0.741	0.987**	1.000			
脯氨酸	-0.820	-0.626	-0.152	-0.765	0.996**	0.942	-0.809	0.518	-0.831	-0.839	-0.726	-0.916	-0.924	0.875	0.942	1.000		
胱氨酸	0.998**	0.974	0.731	0.999**	-0.837	-0.532	0.999**	0.122	0.997**	0.996**	0.996**	0.968	0.963	-0.388	-0.532	-0.785	1.000	

注: \*\*表示强相关( $r=0.980\sim 1.000$ )。

### 2.2.2 不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸品质的主成分评价结果

为了避免量纲和数量级的影响,用 SPSS 17.0 软件中描述统计模块对氨基酸数据进行标准化处理,获得的氨基酸标准化结果见表 4。

表 4 不同生长阶段墨瑞鳕氨基酸数据的标准化值(Z)  
Table 4 Standardized data for amino acids in *Maccullochella peelii* at different growth stages (Z)

氨基酸	幼鱼	成鱼	亲鱼
天门冬氨酸	1.122	-0.797	-0.325
苏氨酸	1.000	-1.000	0.000
丝氨酸	0.577	-1.155	0.577
谷氨酸	1.093	-0.870	-0.223
甘氨酸	-1.109	0.275	0.834
丙氨酸	-0.873	-0.218	1.091
缬氨酸	1.116	-0.814	-0.303
蛋氨酸	-0.200	-0.885	1.085
异亮氨酸	1.127	-0.782	-0.345
亮氨酸	1.131	-0.769	-0.362
酪氨酸	1.069	-0.912	-0.157
苯丙氨酸	1.154	-0.619	-0.535
赖氨酸	1.154	-0.600	-0.555
组氨酸	-0.740	-0.398	1.138
精氨酸	-0.873	-0.218	1.091
脯氨酸	-1.076	0.176	0.901
胱氨酸	1.104	-0.844	-0.260

由特征值和表 2 主成分矩阵值计算可得到特征向量值(表 5)。再由表 4 和 5 构建出  $Y_1=X_{1-17}Z_{-1}+\dots+X_{1-17}Z_{-17}$  和  $Y_2=X_{2-17}Z_{-1}+\dots+X_{2-17}Z_{-17}$  2 种主成分的表达函数式,其中  $Y_1$  和  $Y_2$  分别代表主成分 1 和主成分 2,  $X_1$ 、 $X_2$  和  $Z$  下标 1...17 数字分别代表表 4 和 5 中天门冬氨酸等 17 种氨基酸的对应数值。

将表 4 和 5 中数据代入主成分的表达函数式,结合主成分的贡献率,可构建出主成分分析函数式为:  $F=0.756Y_1+0.243Y_2$ 。经计算,得到 3 种不同生长阶段墨瑞鳕肌肉中氨基酸品质的得分值见表 6。从表 6 可知幼鱼的,幼鱼的氨基酸品质得分值最高(4.223),亲鱼次之(-1.854),成鱼最低(-2.369)。

表 5 不同生长阶段墨瑞鳕氨基酸主成分评价特征向量(系数)  
Table 5 Characteristic vector (coefficient) of amino acid principal component evaluation of Murray cod at different growth stages

氨基酸	特征向量(系数)	
	$X_1$	$X_2$
天门冬氨酸	0.274	0.483
苏氨酸	0.249	0.439
丝氨酸	0.153	0.270
谷氨酸	0.269	0.473
甘氨酸	-0.263	-0.463
丙氨酸	-0.200	-0.352
缬氨酸	0.273	0.481
蛋氨酸	-0.033	-0.057
异亮氨酸	0.275	0.485
亮氨酸	0.276	0.486
酪氨酸	0.264	0.465
苯丙氨酸	0.279	0.491
赖氨酸	0.279	0.491
组氨酸	-0.166	-0.293
精氨酸	-0.200	-0.352
脯氨酸	-0.254	-0.447
胱氨酸	0.271	0.477

表 6 不同生长阶段墨瑞鳕氨基酸的主成分因子得分  
Table 6 Scores of the principal component factors of amino acids in *Maccullochella peelii* at different growth stages

种类	$Y_1$	$Y_2$	$F$	排序
幼鱼	3.562	6.274	4.223	1
成鱼	-1.998	-3.520	-2.369	3
亲鱼	-1.564	-2.754	-1.854	2

## 3 结论与讨论

### 3.1 讨论

由于盐酸水解法会破坏样品中色氨酸,故而测得的是 17 种氨基酸(不含色氨酸),色氨酸需要另外用氢氧化锂水解法才能进行检测,本研究与宋理平等<sup>[6]</sup>一样均采用水解法,其结果也一样均测得 17 种氨基酸。同时在本研究中不同生

长阶段墨瑞鲑肌肉均以谷氨酸含量最高, 天门冬氨酸次之、赖氨酸再次之, 这与宋理平等<sup>[6]</sup>的研究结果也一致。

鱼体的化学组成是鱼在生长过程中投喂的饲料经过鱼体消化、吸收后转化、合成和储存的物质种类, 其含量既反映了鱼体生长及代谢情况, 也反映了鱼体对饲料营养素需要量的情况<sup>[16-19]</sup>。本研究中, 不同生长阶段墨瑞鲑肌肉和饲料中氨基酸的相关性系数值为 0.98682~0.99919, 远高于相关系数检验临界值 0.57507, 说明墨瑞鲑肌肉与饲料中氨基酸的相关性非常高, 这与 YANG 等<sup>[20]</sup>的研究结果相一致。

作为一个新兴的淡水养殖产业, 墨瑞鲑常用鳊鱼饲料、石斑鱼饲料或鲟鱼饲料等进行饲养<sup>[5,7-8]</sup>, 目前市场上尚未有墨瑞鲑系列专用人工配合饲料<sup>[21]</sup>。本研究中, 苯丙氨酸和赖氨酸是不同生长阶段墨瑞鲑的主要特征氨基酸, 其相互间呈强正相关, 赖氨酸被称为“生长性氨基酸”, 其含量相对于其他氨基酸高, 但却不能在鱼体内完全自行合成, 需要从食物中摄取<sup>[22]</sup>; 苯丙氨酸是鱼类的必需氨基酸, 其在鱼体内可转化为甲状腺素, 从而促进鱼体生长发育、物质代谢、组织分化和抗应激能力等<sup>[23-24]</sup>。因此, 建议饲料加工企业和养殖户根据本研究结果重点关注赖氨酸和苯丙氨酸, 逐步调整和完善饲料配方。

主成分分析是采用少量综合指标代替原来多个指标大部分信息的一种降维分析方法<sup>[25]</sup>, 其优点在于可消除评价指标间的相关影响, 能够保证评价的客观性<sup>[26-29]</sup>。本研究将影响墨瑞鲑氨基酸品质的 17 个指标简化为 2 个主成分, 简化了选择程序, 保证了原始数据的完整性和客观性。主成分分析结果显示, 墨瑞鲑幼鱼氨基酸品质主成分得分值最高, 亲鱼次之, 成鱼最低, 说明墨瑞鲑幼鱼氨基酸品质最高, 亲鱼次之。就氨基酸而言, 进一步地建议饲料加工企业和养殖户以目前幼鱼和亲鱼饲料作为参考, 逐步调整、完善饲料配方, 并生产出适合不同阶段墨瑞鲑生长需求的专用系列配合饲料, 以加快墨瑞鲑新兴产业的发展。

### 3.2 结 论

不同生长阶段墨瑞鲑肌肉和饲料中 17 种氨基酸含量各不相同, 其肌肉氨基酸品质以幼鱼最佳, 亲鱼次之, 成鱼最差, 但是肌肉与饲料中氨基酸的相关性非常高。因此为了不同生长阶段特别是后期生长阶段墨瑞鲑肌肉氨基酸品质能保持甚至提升, 建议不同生长阶段墨瑞鲑饲料中氨基酸成分的配制以幼鱼及亲鱼饲料作为参考更有效。本研究结果对加快摸清墨瑞鲑不同生长阶段氨基酸变化规律以及不同生长阶段饲料营养需求等具有重要的数据参考作用。

### 参考文献

- [1] 张龙岗, 杨玲, 张延华, 等. 虫纹鳃鲈线粒体 COI 基因片段的克隆与序列分析[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2012, 9(8): 25-29.  
ZHANG LG, YANG L, ZHANG YH, *et al.* Cloning and sequence

- analysis of mitochondrial COI gene fragment from *Maccullochella peelii peelii* [J]. J Yangtze Univ (Nat Sci Ed), 2012, 9(8): 25-29.
- [2] COOLEY G, ROWLAND SJ. Murray-darling finfish current developments and commercial potential [J]. *Austasia Aquac*, 1993, 7(3): 35-38.
- [3] 罗钦, 罗士炎, 林旋, 等. 澳洲龙纹斑鱼种生长特性研究[J]. 福建农业学报, 2016, 31(1): 7-11.  
LUO Q, LUO RY, LIN X, *et al.* Growth performance of juvenile Murray cod, *Maccullochella peelii peelii* [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2016, 31(1): 7-11.
- [4] FRANCIS DS, TURCHIN GM, JONES PL, *et al.* Growth performance, feed efficiency and fatty acid composition of juvenile Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*, fed graded levels of canola and linseed oil [J]. *Aquac Nutr*, 2007, 13(5): 335-350.
- [5] 罗钦, 李冬梅, 黄敏敏, 等. 不同生长阶段墨瑞鲑脂肪酸组成及主成分分析[J]. 核农学报, 2020, 34(4): 788-795.  
LUO Q, LI DM, HUANG MM, *et al.* Analysis on fatty acid compositions and principal component analysis in muscle of Murray cod at different growth stages [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2020, 34(4): 788-795.
- [6] 宋理平, 冒树泉, 胡斌, 等. 虫纹鳃鲈肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 饲料工业, 2013, 36(16): 42-45.  
SONG LP, MAO SQ, HU B, *et al.* Nutrient composition analysis and quality evaluation of muscle in *Maccullochella peelii peelii* [J]. *Feed Ind*, 2013, 36(16): 42-45.
- [7] 罗钦, 罗士炎, 颜孙安, 等. 澳洲龙纹斑肌肉氨基酸的分析研究[J]. 福建农业学报, 2015, 30(5): 446-451.  
LUO Q, LUO TY, YAN SAN, *et al.* Amino acids in muscles of *Maccullochella peelii peelii* [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2015, 30(5): 446-451.
- [8] 罗钦, 李冬梅, 钟茂生, 等. 澳洲龙纹斑雌、雄亲鱼营养组成比较分析[J]. 福建农业学报, 2020, 35(1): 51-58.  
LUO Q, LI DM, ZHONG MS, *et al.* Nutritional compositions of female and male Murray cod filets [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2020, 35(1): 51-58.
- [9] 狄正凯. 光照对循环水系统中墨瑞鲑生长、肌肉营养成分及应激反应的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
DI ZK. Effects of light on growth, muscle nutrient composition and stress response of Murray cod in circulating water system [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [10] 郭全友, 张秀洁, 姜朝军. 大黄鱼成鱼养殖阶段滋味物质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 222-229.  
GUO QY, ZHANG XJ, JIANG CJ. Analysis of taste compounds in adult stage of the cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2019, 35(4): 222-229.
- [11] 任敬, 问思恩, 张军燕, 等. 依主成分分析法建立鱼类食用品质评价模型[J]. 水产学杂志, 2017, 30(4): 23-27.  
REN J, WEN SEN, ZHANG JY, *et al.* An assessment model of food quality in fishes based on a principal component analysis method [J]. *Chin J Fish*, 2017, 30(4): 23-27.
- [12] 韩千慧, 蔡宏宇, 潘婷, 等. 草鱼和鲢鱼制作腊鱼滋味品质的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(24): 25-29.  
HAN QH, CAI HY, PAN T, *et al.* A Comparative study on the taste profile characterization of cured fish samples produced by common carp and silver carp [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(24): 25-29.
- [13] 汤海青, 欧昌荣, 宋玉玲, 等. 清酒乳杆菌固态发酵鳊鱼过程中的品质

- 变化[J]. 核农学报. 2017, 31(10): 1938–1945.
- TANG HQ, OU RC, SONG YL, *et al.* Quality changes of solid-state fermented Chinese herring by inoculating *Lactobacillus sakei* [J]. J Nucl Agric Sci, 2017, 31(10): 1938–1945.
- [14] 王玉林, 林婉玲, 李来好, 等. 4目13种淡水鱼肌肉基本营养成分分析[J]. 食品工业科技. 2019, 40(11): 277–283.
- WANG YL, LIN WL, LI LH, *et al.* Basic nutrient composition analysis of freshwater fish muscles based on four orders and thirteen species [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(11): 277–283.
- [15] 吕帆, 朱文彬, 王兰梅, 等. 福瑞鲤与黄河鲤、建鲤鱼肉品质的比较及影响肉质的主成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 28–34.
- LV F, ZHU WB, WANG LM, *et al.* Meat quality comparison of FFRC strain common carp with Huanghe carp and jian carp and factors influencing their meat quality [J]. Food Sci, 2016, 37(5): 28–34.
- [16] 朱小明, 李少菁, 姜晓东. 能量代谢研究对水产配合饲料研制和评价的应用价值[J]. 台湾海峡, 2001, 20(z1): 29–35.
- ZHU XM, LI SQ, JIANG XD. Applied values of energetics on developing and evaluating of aquatic formulated diets [J]. J Oceanogr Taiwan Strait, 2001, 20(z1): 29–35.
- [17] 张媛媛, 刘波, 周传朋, 等. 团头鲂对营养需求的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18239–18241.
- ZHANG YY, LIU B, ZHOU CP, *et al.* The research progress of nutritional requirements for *Megalobrama amblycephala* Yih [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38 (32): 18239–18241.
- [18] HAARD NF. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish [J]. Food Res Int, 1992, 25(4): 289–307.
- [19] SHEARER KD. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquaculture, 1994, 119(1): 63–88.
- [20] YANG X, TABACHEK JL, DICK TA. Effect of dietary polyunsaturated fatty acids on lipid and fatty acid feed composition and hematology of juvenile *Aretic charr Salvelinus alpinus* [J]. Fish Physiol Biochem, 1994, 12: 409–420.
- [21] FRANCIS DS, TURCHINI GM, JONES PL, *et al.* Effects of dietary oil source on growth and fillet fatty acid composition of *Murray cod, Maccullochella peelii Peelii* [J]. Aquaculture, 2006, 253: 547–556.
- [22] WILSON RP, POE WE. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Comp Biochem Phys B, 1985, 80(2): 385–388.
- [23] BENAKAPPS S, VARGHESE TJ. Total aromatic amino acid requirement of the India major carp, *Cirrhinus mrigala (Hamilton buchanan)* [J]. Isr J Aquac Bamid. 2004, 56: 129–135.
- [24] 曾婷, 冯琳, 刘扬, 等. 苯丙氨酸缺乏幼建鲤的病理组织学观察及抗氧化能力变化[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1): 183–190.
- ZENG T, FENG L, LIU Y, *et al.* Juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) with phenylalanine deficiency: Observation of histopathological changes and antioxidant ability [J]. Acta Zoonutr Sin. 2012, 24(1): 183–190.
- [25] 王晓慧. 线性判别分析与主成分分析及其相关研究评述[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学, 医学版), 2007, (4): 50–61.
- WANG XH. A summary of LDA, PCA and relative work [J]. J Grad Sun Yat-Sen Univ (Nat Sci Med Ed), 2007, (4): 50–61.
- [26] 林海明, 杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究, 2013, 30(8): 25–31.
- LIN HM, DU ZF. Some problems in comprehensive evaluation in the principal component analysis [J]. Stat Res, 2013, 30(8): 25–31.
- [27] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多样性综合评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 357–365.
- HAN ZQ, JIANG B. A study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits [J]. Sci Agric Sin, 2014, 47(2): 357–365.
- [28] 杨文平, 王爱民, 吕林兰, 等. 梭鱼脂肪及脂肪酸成分分析和评价[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 181–184.
- YANG WP, WANG AIM, LV LL, *et al.* Analysis and evaluation of fat content and fatty acid composition of *Liza haematocheila* [J]. Food Sci, 2015, 36(20): 181–184.
- [29] 苟小菊, 田由, 郭玉蓉, 等. 不同成熟期苹果品种非浓缩还原汁品质评价与分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(19): 3778–3790.
- GOU XJ, TIAN Y, GUO YR, *et al.* Analysis and evaluation on quality of NFC apple juices in different maturation period [J]. Sci Agric Sin, 2018, 51(19): 3778–3790.

(责任编辑: 李磅礴 张晓寒)

## 作者简介



罗钦, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。  
E-mail: 33044390@qq.com



罗士炎, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。  
E-mail: 910371689@qq.com