

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、梭鱼(*Liza haematocheila*)、黑石斑鱼(*Centropristis striata*)的营养成分及加工品质比较*

赵 睿² 娄方瑞³ 丁福红¹ 马爱军^{1,4①} 王 婷^{1,4}

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 青岛 266071; 2. 北京市水产技术推广站 北京 100075; 3. 广西大学 南宁 530001; 4. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室 青岛 266071)

摘要 本研究对不同养殖环境和食性的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、梭鱼(*Liza haematocheila*)、黑石斑鱼(*Centropristis striata*)的营养成分和加工品质进行了分析比较。对鱼体的解剖测量结果显示,梭鱼头重占体重的比例为 17.09%, 低于黑石斑鱼和草鱼。对 3 种鱼的胶原蛋白和氨基酸成分分析结果显示,黑石斑鱼肌肉可溶性与不可溶性胶原蛋白含量均为最高,分别为 0.22 mg/ml 和 2.12 mg/ml,梭鱼含量次之,分别为 0.05 mg/ml 和 0.82 mg/ml。黑石斑鱼的鲜味氨基酸含量最高(44.37%),梭鱼为 32.80%,均显著高于草鱼(24.50%)。6 种必需氨基酸总含量:草鱼最低,为 53.31%,梭鱼为 57.14%,黑石斑鱼最高,为 62.64%,三者之间差异显著。肌肉脂肪酸检测显示,梭鱼饱和脂肪酸(SFA)含量最高,为 41.26%($P<0.05$);黑石斑鱼多不饱和脂肪酸含量(PUFA)最高,为 34.58%($P<0.05$)。梭鱼二十碳五烯酸(EPA)的含量为 8.27%,与黑石斑鱼(7.85%)无显著差异。黑石斑鱼的二十二碳六烯酸(DHA)含量最高,为 13.51%,显著高于草鱼(3.84%)和梭鱼(3.02%)。3 种鱼肌肉中超氧化物歧化酶(SOD)活力有显著差异,梭鱼最强,黑石斑鱼最弱。丙二醛(MDA)含量检测结果显示,黑石斑鱼的 MDA 含量为 19.98 nmol/mg,显著高于草鱼和梭鱼,草鱼和梭鱼差异不显著,可见梭鱼肌肉抗氧化能力较强,有利于进行长期保存、加工。

关键词 草鱼;梭鱼;黑石斑鱼;营养成分

中图分类号 S948 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)06-0062-06

随着养殖业的迅速发展和生活水平的不断提高,鱼肉在人们的饮食中已经不可或缺,人们对所食鱼肉的肉质和口感度越来越重视,对养殖鱼类的安全性和营养成分等也更加关注(林洪等, 2012; 刘长琳等, 2015; 曹栋正等, 2016)。而发展生态系统水平的水产养殖是保证规模化生产和实现可持续产出的必由之路(唐启升等, 2009)。因而,在养殖品种选择方面,

既要考虑其对养殖生态环境的要求,也要考虑其营养加工品质。

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)为典型的草食性鱼类,其生长迅速、饲料来源广,是我国主要的淡水养殖品种之一(余永生等, 2006)。据 2008 年统计,我国大宗淡水鱼类中,草鱼总产量最高,为 370.71 万 t,约占我国淡水养殖总产量的 17.89% (戈贤平, 2010)。

* 山东省自然科学基金项目(ZR2011CQ004)、黄海水产研究所级基本科研业务费(20603022013008)和 2013 年国家留学人员科技项目共同资助。赵 睿, E-mail: zrdlsc@163.com

① 通讯作者: 马爱军, 研究员, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-08-08, 收修改稿日期: 2015-11-26

梭鱼(*Liza haematocheila*)为我国黄渤海区域重要近海鱼类,属于以植物饲料为主的半咸水鱼类,基于突出的生态优势、营养品质特征及养殖成本等优势,其养殖产业发展具有良好前景(丁福红等, 2014)。黑石斑鱼(*Centropristis striata*)属海洋暖温性、底栖、肉食性鱼类,原产于美国、墨西哥沿岸,2003年引入我国进行饲养(雷霖霖等, 2007),2006年突破了繁育技术,在我国南北方均实现了规模化养殖(黄家琳等, 2006)。草鱼、梭鱼、黑石斑鱼在我国均具有一定的产业基础,但由于养殖环境要求不同,摄食习性不同,产业发展的侧重也有所不同。尤其是以梭鱼为代表的植物食性的半咸水鱼类养殖,长期以来,其养殖产业处在较为缓慢的发展态势,较之传统淡水鱼类和名贵海水鱼类养殖,养殖规模和发展动力明显不足。

目前,关于梭鱼与其他淡水鱼类、肉食性海水鱼类营养品质、加工品质的比较研究还相对较少。本研究选取3种代表性鱼为研究对象,通过对影响鱼类肉质性状的营养成分如脂肪酸、氨基酸进行综合分析,对胶原蛋白含量、肌肉抗氧化性、内脏比、头重比、出肉率等特性进行测定比较,以期明确不同养殖环境、不同食性鱼类的营养特质以及加工品质等特征,为养殖品种开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

挑选体重为500–750 g、体型完整、体色正常、体质健壮、觅食正常且运动活跃的养殖草鱼、梭鱼、黑石斑鱼成鱼各4尾,充氧运输至实验室,立即开展实验。

1.2 测量与解剖

用纱布将每尾鱼体表擦拭干净,对每尾鱼测量体长、体重并进行解剖。首先用解剖刀沿鳃盖后缘切除头部,测量鱼头重量,然后用解剖刀划破鱼腹腔,取出内脏,测量其内脏重量,最后取背部肌肉30 g,将所有取样放于–80℃保存以进行相关营养成分分析。在解剖过程中,应尽量快速取样,并在取样完成后尽快将样品冷冻处理,以防样品在空气中氧化。

1.3 胶原蛋白测定

称取4.00 g鲜鱼肉于匀浆器(FJ-200高速分离均质机)中,加10倍体积蒸馏水,充分匀浆2 min,离心机(Eppendorf 5804R)10000 r/min离心20 min,弃上清液。再加入20倍体积0.1 mol/L NaOH溶液,搅拌

过夜,10000 r/min离心20 min,弃上清液,如此重复2次。之后加入10倍体积0.5 mol/L冰醋酸,搅拌过夜,10000 r/min离心20 min,重复1次,此上清液即为可溶性胶原蛋白提取液。沉淀中加入5倍体积蒸馏水,加入高压灭菌锅中,120℃条件下加热1 h,然后10000 r/min离心20 min,上清液即为不可溶性胶原蛋白提取液。分离的可溶性和不可溶性胶原蛋白分别用考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒测定其蛋白质含量(梁萌青等, 2010)。

1.4 总超氧化物歧化酶测定

称取0.1 g样品并加入1 ml 0.9%的生理盐水,用匀浆器(FJ-200高速分离均质机)匀浆1 min,并在10000 r/min、4℃下离心20 min,取上清液,然后加入酶标板中,使用南京建成总SOD试剂盒(A001-1)通过酶标仪进行总超氧化物歧化酶(T-SOD)测定。

1.5 丙二醛测定

称取0.1 g样品并加入1 ml 0.9%的生理盐水,用匀浆器(FJ-200高速分离均质机)匀浆1 min,获得匀浆液,采用南京建成生物工程研究所MDA A003-1试剂盒进行丙二醛(MDA)检测,检测波长为532 nm。

1.6 氨基酸、脂肪酸成分分析

1.6.1 氨基酸测定 称取样品,将样品经万能粉碎机打碎,设2次平行样。在样品中加入6 mol/L HCl 10 ml,并在110℃恒温箱中恒温处理22 h。冷却,用过滤膜过滤,进样;将加入样品的样品管充分振摇15 s,吸取10 μl左右此样品溶液注入色谱柱[Amino PA10 (2×250 mm)分析柱+Amino PA10(2×50 mm)保护]中,记录色谱图,并确定各氨基酸的出峰保留时间和峰面积,并测量内标物和各氨基酸的峰面积。氨基酸含量(μg/mg)=测定含量×10/1000×10/测定样品质量。

1.6.2 脂肪酸测定 采用GC-MS对样品进行脂肪酸含量的测定。色谱柱为HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)的弹性石英毛细管柱;平衡时间为0.25 min,载气为高纯度的氦气;进样量为1000 μl,后进样口的温度为280℃。

初始温度为50℃,保持5 min,以5℃/min的速率升至190℃,再以20℃/min的速率升到280℃(保持4 min)。分流比40:1,柱前压68 kPa,进样量1 μl。质谱离子源为EI;质谱扫描范围为50–500 amu。测试结果根据NIST谱库定性。

1.7 数据处理

用SPSS 11.0统计软件对数据进行方差分析、多重比较和相关性分析。数据用平均值±标准差(Mean±

SD)表示, 差异显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 体态特征测量数据

草鱼、黑石斑鱼、梭鱼的测量数据见表 1。3 种鱼的头重占体重的比例差异显著($P<0.05$), 其中, 黑石斑鱼的比例最高, 为 23.64%; 梭鱼头重占体重比例最低, 为 17.09%。黑石斑鱼体高与体长的比值显著高于其他 2 种鱼($P<0.05$), 为 37.31%, 而草鱼和梭鱼无显著差异($P>0.05$)。草鱼、黑石斑鱼和梭鱼的内脏与体重的比值基本相同, 无显著差异($P>0.05$)。黑石斑鱼头长占身体全长的比例也显著大于草鱼和梭鱼($P<0.05$), 为 28.93%。3 种鱼体长与全长的比例较

为接近, 无显著差异($P>0.05$)。黑石斑鱼的内脏重与其去除头重后的体重的比值显著大于草鱼和梭鱼($P<0.05$), 为 15.11%, 而梭鱼和草鱼则基本相同, 无显著差异($P>0.05$)。

2.2 胶原蛋白含量

3 种鱼的胶原蛋白含量如表 2 所示。3 种鱼的可溶性胶原蛋白含量有显著差异($P<0.05$)。其中, 黑石斑鱼肌肉可溶性胶原蛋白含量最高, 为 0.22 mg/ml; 梭鱼次之, 为 0.05 mg/ml。黑石斑鱼的不可溶性胶原蛋白含量为 2.12 mg/ml, 与草鱼和梭鱼差异显著($P<0.05$), 而草鱼和梭鱼的不可溶性胶原蛋白含量无显著差异($P>0.05$)。总体来看, 梭鱼的可溶性胶原蛋白含量和不可溶性胶原蛋白含量比黑石斑鱼低, 但高于草鱼。

表 1 草鱼、黑石斑鱼、梭鱼的体态特征测量数据

Tab.1 Body characteristics measurement of *C. idellus*, *L. haematocheila* and *C. striata* (%)

项目 Items	草鱼 <i>C. idellus</i>	黑石斑鱼 <i>C. striata</i>	梭鱼 <i>L. haematocheila</i>
头重/体重 Head weight/Body weight	20.09±0.60 ^a	23.64±0.82 ^b	17.09±1.23 ^c
体高/体长 Body height/Body length	24.51±1.30 ^a	37.31±4.08 ^b	21.07±1.01 ^a
内脏重/体重 Viscera weight/Body weight	10.24±1.45 ^a	11.54±1.10 ^a	10.77±0.11 ^a
头长/全长 Head length/Body length	17.81±1.33 ^a	28.93±0.92 ^b	19.60±1.17 ^a
体长/全长 Body length/Total length	84.44±1.66 ^a	83.18±2.42 ^a	83.09±2.11 ^a
内脏重/(体重-头重) Viscera weight/(Body weight-Head weight)	12.82±1.91 ^a	15.11±1.33 ^b	12.80±2.88 ^a

注: 同一行上标不同字母为差异显著($P<0.05$), 下同

Note: Different subscripts in the same row indicated significant difference ($P<0.05$), the same as below

表 2 草鱼、梭鱼、黑石斑鱼肌肉胶原蛋白含量比较

Tab.2 Contents of collagen in the muscles of *C. idellus*, *L. haematocheila* and *C. striata* (mg/ml)

项目 Items	草鱼 <i>C. idellus</i>	梭鱼 <i>L. haematocheila</i>	黑石斑鱼 <i>C. striata</i>
可溶性胶原蛋白 Soluble collagen	0.02±0.03 ^a	0.05±0.02 ^b	0.22±0.05 ^c
不可溶性胶原蛋白 Insoluble collagen	0.78±0.52 ^a	0.82±0.11 ^a	2.12±0.47 ^b

2.3 氨基酸含量

表 3 是 3 种鱼的肌肉中 13 种氨基酸含量的测定结果。其中, 黑石斑鱼的鲜味氨基酸含量最高, 为 44.37%, 梭鱼的含量为 32.80%, 均显著高于草鱼 (24.50%) ($P<0.05$)。草鱼肌肉中主要是鲜味氨基酸中的天冬氨酸缺乏。可见, 3 种鱼中, 鲜味最好的为黑石斑鱼, 而草鱼的鲜味较差。本实验测定的 6 种必需氨基酸包括赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸, 草鱼的必需氨基酸总含量最低, 为 53.31%, 梭鱼为 57.14%, 黑石斑鱼的最高, 为 62.64%, 三者之间差异显著($P<0.05$)。

2.4 脂肪酸含量

表 4 为 3 种鱼的肌肉中脂肪酸含量的测定结果。草鱼、梭鱼、黑石斑鱼背部肌肉中测得的饱和脂肪酸(SFA)总量分别为 34.49%、41.26%、34.24%, 梭鱼含量最高, 显著高于草鱼和黑石斑鱼($P<0.05$)。多不饱和脂肪酸总含量(PUFA)检测结果显示, 黑石斑鱼 PUFA 为 34.58%, 显著高于梭鱼(29.50%)和草鱼(23.37%) ($P<0.05$)。梭鱼二十碳五烯酸(EPA)的含量最高, 为 8.27%, 黑石斑鱼次之, 为 7.85%, 二者无显著差异($P>0.05$), 但均显著高于草鱼(2.77%) ($P<0.05$)。而黑石斑鱼的二十二碳六烯酸(DHA)含量为 13.51%,

表 3 草鱼、梭鱼、黑石斑鱼肌肉中氨基酸的组成和含量(干样)

Tab.3 Compositions of the amino acids in the muscles of *C. idellus*, *L. haematocheila* and *C. striata* (Dry matter, %)

氨基酸 Amino acids	草鱼 <i>C. idellus</i>	梭鱼 <i>L. haematocheila</i>	黑石斑鱼 <i>C. striata</i>
天冬氨酸 Aspartic acid	8.83±0.22 ^a	16.74±0.17 ^b	22.81±0.10 ^c
苏氨酸 Threonine	12.75±0.10 ^a	13.14±0.68 ^b	11.74±3.30 ^c
丝氨酸 Serine	—	—	—
谷氨酸 Glutamic acid	15.67±1.62 ^a	16.06±0.57 ^a	21.65±5.29 ^b
甘氨酸 Glycine	11.87±0.01 ^b	10.50±0.52 ^a	9.09±1.87 ^a
丙氨酸 Alanine	15.78±0.40 ^b	14.86±0.72 ^a	14.76±1.89 ^a
胱氨酸 Cystine	—	—	—
缬氨酸 Valine	14.24±0.72 ^a	12.90±0.57 ^b	15.80±1.62 ^c
蛋氨酸 Methionine	—	—	—
异亮氨酸 Isoleucine	15.65±0.28 ^a	15.67±1.10 ^a	16.86±0.70 ^b
亮氨酸 Leucine	2.08±0.98 ^a	7.09±3.36 ^b	7.65±4.47 ^b
酪氨酸 Tyrosine	2.66±0.50 ^a	3.28±0.76 ^b	1.63±1.96 ^c
苯丙氨酸 Phenylalanine	6.79±0.62 ^a	6.26±0.57 ^a	6.63±0.81 ^a
赖氨酸 Lysine	1.80±0.17 ^a	2.08±0.06 ^b	3.96±2.29 ^c
组氨酸 Histidine	5.22±0.23 ^a	4.84±0.34 ^{ab}	4.05±0.46 ^b
精氨酸 Arginine	7.91±1.59 ^a	5.62±0.47 ^b	6.66±1.00 ^{ab}
脯氨酸 Proline	—	—	—
鲜味氨基酸 Flavor amino acids	24.50±2.60 ^a	32.80±1.05 ^b	44.37±3.53 ^c

“—” 为未检出 —: Not detected

显著高于草鱼(3.84%)和梭鱼(3.02%) ($P<0.05$)。

2.5 超氧化物歧化酶的活力

超氧化物歧化酶(SOD)检测结果显示(表 5), 3 种鱼的 SOD 活力有显著差异($P<0.05$), 梭鱼的 SOD 活力最强, 为 34.07 U/mg; 黑石斑鱼最低, 为 21.95 U/mg。

2.6 丙二醛含量

丙二醛检测结果显示(表 5), 草鱼(12.92 nmol/mg)和梭鱼(10.10 nmol/mg)的丙二醛含量差异不显著($P>0.05$), 而黑石斑鱼的丙二醛含量显著高于草鱼和梭鱼($P<0.05$)。3 种鱼的丙二醛含量为梭鱼<草鱼<黑石斑鱼, 而 SOD 活力为梭鱼>草鱼>黑石斑鱼, MDA 的含量与 SOD 活力呈负相关关系($r^2=0.9997$)。

3 讨论

3 种鱼的解剖和形态测定显示, 梭鱼体型较为细长, 头部骨骼较小, 头重占体重比例最低。草鱼、黑石斑鱼和梭鱼的内脏与体重的比值基本相同, 在易于加工和提高出肉率方面, 梭鱼具有较好优势。

胶原蛋白是水产动物肉质口感及营养价值的重要影响因素。同时, 鱼类的胶原蛋白相对于哺乳动物有点特殊, 水解性强, 鱼肉冷冻处理后, 胶原蛋白结

构的变化将影响到鱼肉的质地(孙丰梅等, 2002)。本研究发现, 黑石斑鱼的胶原蛋白含量高于梭鱼、草鱼, 其鲜品营养价值和肉质口感较好, 但冻存后黑石斑鱼肉存在易于软化的问题, 需要在加工过程中关注。

本研究通过对 3 种鱼肌肉中氨基酸的分析发现, 黑石斑鱼的鲜味氨基酸和必需氨基酸含量要高于梭鱼和草鱼, 梭鱼的这 2 项指标的含量居中。鱼肉味道的鲜美程度往往取决于肌肉中鲜味氨基酸占氨基酸总量的百分比, 而必需氨基酸则主要用于能量的贮存和产生, 合成前列腺素、激活酶系统以及作为生物膜的重要成分(黄海等, 2012)。3 种实验鱼类中, 黑石斑鱼肉最为鲜美, 且营养价值较高, 其次为梭鱼。其他学者研究结果表明, 草鱼、梭鱼、黑石斑鱼的必需氨基酸总量/氨基酸总量和非半必需氨基酸总量/氨基酸总量分别为 27.52%和 37.97%(黄春红等, 2008)、40.17%和 78.35%(王建新等, 2010)、40.81%和 81.43%(党冉等, 2010), 即梭鱼、黑石斑鱼的肌肉中氨基酸含量指标均在 FAO/WHO 的理想模式(Pellett *et al*, 1980)指标以上。

本研究通过对 3 种鱼的肌肉中脂肪酸的分析发现, 梭鱼的 SFA 含量高于草鱼和黑石斑鱼, 而黑石斑鱼的 PUFA 含量显著高于梭鱼和草鱼。SFA 的含量过高可能会引起血清总胆固醇升高, 从而引发心血管

表4 草鱼、梭鱼、黑石斑鱼肌肉脂肪酸成分
Tab.4 Compositions of fatty acids in the muscles of
C. idellus, *L. haematocheila* and *C. striata* (%)

项目 Items	草鱼 <i>C.idellus</i>	梭鱼 <i>L.haematocheila</i>	黑石斑鱼 <i>C.striata</i>
SFA	34.49	41.26	34.24
C15 : 0	3.84±0.24 ^a	0.80±0.17 ^b	4.27±0.07 ^a
C16 : 0	0.42±0.12 ^a	—	0.67±0.00 ^b
C17 : 0	24.71±0.97 ^a	24.65±0.82 ^a	21.87±1.56 ^b
C18 : 0	0.49±0.13 ^a	—	0.64±0.07 ^b
C19 : 0	4.61±0.89 ^a	14.94±1.85 ^b	6.34±1.16 ^a
C20 : 0	0.20±0.13 ^a	0.87±0.35 ^b	0.20±1.21 ^a
C21 : 0	0.22±0.22 ^a	—	0.25±0.01 ^a
MUFA	35.27	26.01	43.78
C15 : 1	0.15±0.02	—	—
C16 : 1	—	—	0.14±0.01
C17 : 1	15.77±1.01 ^a	4.08±0.87 ^b	9.38±0.42 ^c
C18 : 1	0.29±0.02 ^a	—	9.78±0.84 ^b
C19 : 1	17.65±5.78 ^a	21.93±5.64 ^b	22.44±0.88 ^b
C22 : 1	0.48±0.23	—	—
C23 : 1	0.93±0.27 ^a	—	1.58±0.66 ^b
C25 : 1	—	—	0.46±0.04
PUFA	23.37	29.50	34.58
C18 : 2	8.09±1.76	—	—
C19 : 2	0.40±0.01 ^a	12.47±1.39 ^b	2.32±0.06 ^c
C20 : 3	6.31±2.37 ^a	1.39±0.92 ^b	0.63±0.32 ^c
C20 : 4	—	3.10±1.32 ^a	0.77±0.29 ^b
C20 : 5	2.77±0.77 ^a	8.27±3.26 ^b	7.85±2.15 ^b
C21 : 4	0.82±0.00 ^a	1.25±0.95 ^a	—
C22 : 5	1.14±0.25 ^a	—	7.48±3.44 ^b
C22 : 6	3.84±1.54 ^a	3.02±0.38 ^a	13.51±1.32 ^b

注：SFA 为饱和脂肪酸，MUFA 为单不饱和脂肪酸，PUFA 为多不饱和脂肪酸，“—”为未检出

Note: SFA: Saturated fatty acid; MUFA: Mono-unsaturated fat; PUFA: Polyunsaturated fatty acid; -: Not detected

表5 草鱼、梭鱼、黑石斑鱼肌肉 SOD 活力及 MDA 含量
Tab.5 SOD activity and contents of MDA in the muscles of
C. idellus, *L. haematocheila* and *C. striata* (%)

项目 Items	草鱼 <i>C.idellus</i>	梭鱼 <i>L.haematocheila</i>	黑石斑鱼 <i>C.striata</i>
样本蛋白浓度 Sample protein con- centration (μg/ml)	1.76±0.03	1.83±0.01	1.84±0.03
SOD 活力 SOD activity(U/mg)	30.41±5.28 ^a	34.07±3.24 ^b	21.95±5.67 ^c
MDA 含量 MDA content (nmol/mg)	12.92±5.47 ^a	10.10±1.77 ^a	19.98±3.76 ^b

疾病。而 PUFA 可以保护心脏，降低血糖浓度，有利于抗癌、调节人类脂质代谢和预防治疗心血管疾病。同时，本研究表明，梭鱼具有较为丰富的 EPA，而黑石斑鱼的 DHA 则较高。PUFA、EPA、DHA 的鱼类生理及对人类的营养保健方面的重要作用已得到人们广泛认可(Browning *et al*, 2012; Block *et al*, 2012)。可见，黑石斑鱼的高品质脂肪酸含量具有显著优势。

SOD 是一种源于生命体的活性物质，能消除生物体在新陈代谢过程中产生的有害物质。而 MDA 的含量常常可反映机体内脂质过氧化的程度，间接反映出细胞损伤的程度，其与 SOD 的活力配合检测，可用来显示肉质在加工及保存中的抗氧化能力(李华等, 2010)。本研究对 3 种鱼的 SOD 活力及 MDA 含量测定表明，相对于草鱼和黑石斑鱼，梭鱼在食品加工中能保存更长时间而不腐败变质，具有更强的抗氧化能力，拥有更好的加工品质。作为食物，梭鱼可以更好地为人体补充 SOD，具有更好的抗衰老效果。本研究发现，3 种鱼的 MDA 含量与 SOD 活力呈负相关关系，体现了二者功能的关联性。

综合本研究的各项结果表明，草鱼、梭鱼、黑石斑鱼在营养成分、加工品质方面体现出了不同特征，结合养殖成本、养殖生态效益等多方面因素，应因地制宜开展养殖，以促进产业发展。梭鱼出肉率较高，胶原蛋白含量丰富，氨基酸含量指标满足 FAO/WHO 的理想模式，并含有相对较为丰富的不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA)，且梭鱼保护性酶活性在 3 种鱼中最强，可在外界环境因子变动时减少鱼类应激反应以保持较好的营养成分完整性，具有更好的抗衰老作用。如具备适宜的养殖条件，开展梭鱼养殖具有较好前景。

致谢：烟台天源水产有限公司、青岛宝荣水产科技有限公司为本研究提供实验材料，特此致谢。

参 考 文 献

- 丁福红, 雷霖霖, 毛守康, 等. 我国以植物食性为主的海水鱼类养殖发展前景. 海洋科学, 2014, 38(11): 131-137
- 王建新, 邴旭文, 张成锋, 等. 梭鱼肌肉营养成分与品质的评价. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 61-66
- 戈贤平. 我国大宗淡水鱼养殖现状及产业技术体系建设. 中国水产, 2010(5): 5-9
- 刘长琳, 陈四清, 王有廷, 等. 裸盖鱼(*Anoplopoma fimbria*)肌肉的营养成分分析及评价. 渔业科学进展, 2015, 36(2): 133-139
- 孙丰梅, 刘安军. 胶原蛋白与肉品品质. 食品工业科技, 2002(1): 14-17
- 李华, 曾勇庆, 魏述东, 等. 猪宰后肌肉中 SOD 与 MDA 含量的变化及其对肉质特性的影响. 畜牧兽医学报, 2010, 41(3): 257-261
- 余永生, 杨燕, 邵仁岳. 草鱼亲鱼培育与繁殖技术. 科学养鱼,

- 2006(2): 13
- 林洪, 李萌, 曹立民. 我国水产食品安全与质量控制研究现状和发展趋势. 北京工商大学学报(自然科学版), 2012, 30(1): 1-5
- 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. 海洋学研究, 2010, 28(2): 60-66
- 唐启升, 王清印, 庄志猛. “生态系统水平养殖”新理念. 中国渔业报, 2009(4): 1-2
- 黄春红, 曾伯平, 董建波. 青鱼、草鱼、鲢鱼和鳙鱼鱼头营养成分比较. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2008, 20(3): 46-57
- 黄海, 杨宁, 张希. 淡水石斑鱼含肉率和肌肉营养成分分析. 水产科技情报, 2012, 39(2): 87-91
- 黄家琳, 卢飞龙. 石斑鱼人工育苗技术研究. 齐鲁渔业, 2006, 23(2): 3-5
- 曹栋正, 张小忠, 陈四清, 等. 星突江鲮(*Platichthys stellatus*)、石鲮(*Kareius bicoloratus*)及其正反杂交种肌肉的营养成分分析及评价. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 34-41
- 梁萌青, 雷霖霖, 吴新颖, 等. 3种主养鲆鲽类的营养成分分析及品质比较研究. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 113-119
- 雷霖霖, 卢继武. 美洲黑石斑鱼的品种优势和养殖前景. 海洋水产研究, 2007, 28(5): 110-115
- Block RC, Dier U, Calderonartero P, et al. The effects of EPA+DHA and aspirin on inflammatory cytokines and angiogenesis factors. World J Cardiovasc Dis, 2012, 2(1): 14-19
- Browning LM, Walker CG, Mander AP, et al. Incorporation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids into lipid pools when given as supplements providing doses equivalent to typical intakes of oily fish. Am J Clin Nutr, 2012, 96(4): 748-758
- Pellett PL, Yong VR. Nutritional evaluation of protein foods. Tokyo: The United National University Publishing Company: 1980, 26-29

(编辑 冯小花)

The Nutritional Value and Processing Quality of *Ctenopharyngodon idellus*, *Liza haematocheila*, and *Centropristis striata*

ZHAO Rui², LOU Fangrui³, DING Fuhong¹, MA Aijun^{1,4①}, WANG Ting^{1,4}

(1. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. Beijing Aquatic Product Promotion Technology Department, Beijing 100021; 3. Guangxi University, Nanning 530001; 4. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

Abstract In this study, the nutritional components and meat qualities of *Ctenopharyngodon idellus*, *Liza haematocheila*, and *Centropristis striata* were analyzed and compared. The results showed that the weight ratio of head to body of *L. haematocheila* was 17.09%, which was significantly higher than that of *C. striata* and *C. idellus*. The content of soluble and insoluble collagen in *C. striata* muscle was higher than that of the two other species, which were 0.22 mg/ml and 2.12 mg/ml respectively. The contents of flavor amino acid in *C. striata*, *L. haematocheila*, and *C. idellus* were 44.37%, 32.80%, and 24.50% respectively. As for the total content of six essential amino acids, *C. idellus* showed the lowest value of 53.31%, the value for *L. haematocheila* was 57.14%, and *C. striata* showed the highest value of 62.64%. The fatty acid analysis indicated that the saturated fatty acid (SFA) of *L. haematocheila* was up to 41.26%, which was significantly higher than that of the other two ($P<0.05$). The level of poly-unsaturated fatty acids (PUFA) in the muscle of *C. striata* was the highest (34.58%, $P<0.05$). The EPA concentration in the muscle of *L. haematocheila* was 8.27%, and it was not significantly different from that of *C. striata*. The DHA concentration in the muscle of *C. striata* was 13.51%, which was significantly higher than that of *C. idellus* (3.84%) and *L. haematocheila* (3.02%). The activity of SOD in the muscles of the three species was significantly different, and it was the highest in *L. haematocheila* and the lowest in *C. striata*. The content of MDA in the muscle of *C. striata* was 19.98 nmol/mg that was higher than that in *C. idellus* and *L. haematocheila* ($P<0.05$). In conclusion, the muscle of *L. haematocheila* had strong antioxidant capability, and this characteristic may contribute to the long-term preservation and food processing quality.

Key words *Ctenopharyngodon idellus*, *Liza haematocheila*, *Centropristis striata*, Nutrient component

① Corresponding author: MA Aijun, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn