

doi: 10.7541/2020.142

大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅肉质比较分析

许元峰^{1,2} 胡 炜¹

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 中国科学院种子创新研究院, 武汉 430072;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 文章采用组织切片、生化组分分析以及实时荧光定量PCR等方法, 研究了大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)和北方泥鳅(*Misgurnus bipartitus*)肉质差异。结果显示: 大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅的肌纤维横截面积分别为(3589.17±2326.01)、(2809.7±1818.69)和(2511.93±1949.03) μm^2 。粗蛋白和粗脂肪含量均是大鳞副泥鳅最高[分别为(17.07±0.31)%和(2.57±0.38)%], 依次为泥鳅[分别为(14.57±0.59)%和(1.37±0.12)%]和北方泥鳅[分别为(12.33±0.15)%和(0.57±0.06)%]。必需氨基酸指数(EAAI)依次为泥鳅(74.38)、大鳞副泥鳅(65.11)和北方泥鳅(60.14); 呈味氨基酸含量依次为泥鳅(32.60±1.64)%、大鳞副泥鳅(27.75±2.13)%和北方泥鳅(24.86±1.00)%; 除亚油酸以外的总多不饱和脂肪酸含量依次为北方泥鳅(24.43±0.26)%、泥鳅(24.18±1.99)%和大鳞副泥鳅(7.86±0.24)%。大鳞副泥鳅的肌肉生长相关基因myod的表达量高, myog和mrf4的表达量低; 泥鳅和北方泥鳅的myog和mrf4的表达量高, myod的表达量低。elovl5等8个脂肪代谢相关基因的表达特征: 大鳞副泥鳅整体表达水平最高, 北方泥鳅次之, 泥鳅最低。结果表明, 大鳞副泥鳅肉质油润, 但是质地相对粗糙; 泥鳅营养价值高且鲜味程度高; 北方泥鳅肉质细嫩, 但是氨基酸营养价值不高, 鲜味程度较差。三种鳅的上述肉质差异可能与肌肉生长和脂肪代谢活动不同有关。

关键词: 大鳞副泥鳅; 泥鳅; 北方泥鳅; 肉质; 生化组分; 营养评价

中图分类号: Q174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2020)06-1222-08

鱼类的肉质是一个复杂的性状, 受诸多因素的影响。评价鱼类肉质性状的指标主要有肌肉的组织学特征、鱼肉的组成成分以及生长代谢相关基因的表达特征等^[1-3]。Rivero等^[4]发现, 鱼肉的嫩度与肌纤维直径呈负相关, 而与肌纤维密度呈正相关, 即鱼类肌肉肌纤维越细且肌纤维密度越大, 鱼肉越细嫩。有报道表明, 鱼类脂肪含量越高, 多汁口感越强烈, 风味也更佳^[5]。鱼肉中的谷氨酸等呈味氨基酸、肌肽等小分子肽类、一磷酸肌苷等核苷酸衍生物可协同作用, 形成鱼肉的鲜味^[6]。鱼类肌纤维的生长受到肌源性调节基因(Muscle regulatory factors, MRFs)家族的调控, 包括myod、mrf5、myog和mrf4等基因, MRFs的表达变化会改变肌肉的肉质特征^[7]。

大鳞副泥鳅(*P. dabryanus*)、泥鳅(*M. anguillicaudatus*)和北方泥鳅(*M. bipartitus*)属均属于鳅科

(Cobitidae)、花鳅亚科(Cobitinae)鱼类。其中大鳞副泥鳅和泥鳅是我国重要的养殖鱼类。大鳞副泥鳅和泥鳅的肉质研究有少量报道, 主要针对鱼肉营养成分的比较, 发现泥鳅的必需氨基酸含量、不饱和脂肪酸含量高于大鳞副泥鳅, 认为泥鳅的营养价值更高^[8-12], 这三种鳅较为全面的肉质比较研究报道尚未见报道。

本研究采用组织切片、生化组分分析以及实时荧光定量PCR等方法, 对大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅的肌肉组织学特征、肌肉营养成分以及肌肉生长与脂肪代谢相关基因表达特征进行了比较分析, 以期为大鳞副泥鳅和泥鳅的遗传改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

大鳞副泥鳅和北方泥鳅于2018年9月采购自湖

收稿日期: 2019-06-13; 修订日期: 2020-02-16

基金项目: 淡水生态与生物技术国家重点实验室课题(2019FBZ05)资助 [Supported by the State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology (2019FBZ05)]

作者简介: 许元峰(1992—), 男, 硕士研究生; 主要从事鱼类遗传育种研究。E-mail: 1414937824@qq.com

通信作者: 胡炜, 研究员; 主要从事鱼类基因工程与生殖发育调控研究。E-mail: huwei@ihb.ac.cn

北省武汉市小东门综合市场, 泥鳅购自湖南省怀化市蔬菜公司蔬菜果品批发市场。参考《中国淡水鱼类检索》及大鳞副泥鳅和泥鳅线粒体特异性线粒体片段标记和微卫星标记, 对这三种花鳅亚科鱼类进行了种鉴别^[13, 14]。

1.2 样品采集

挑选外观健康、无病害症状的1—2年龄大鳞副泥鳅、2年龄及以上泥鳅和2年龄及以上北方泥鳅各30尾(其中雌雄各15尾)。大鳞副泥鳅体重(14.36 ± 2.50) g, 体长(11.7 ± 0.5) cm; 泥鳅体重(9.38 ± 1.50) g, 体长(10.5 ± 0.5) cm; 北方泥鳅体重(9.85 ± 1.50) g, 体长(12.3 ± 0.5) cm。

实验鱼置于水族箱禁食24h后, 放入质量浓度为180 mg/L的MS-222麻醉溶液中麻醉, 除去泥鳅皮取样。取背部及腹部肌肉共约0.5 g, 用于生化组分测定和RNA提取, 每种鳅取30个样品, 每10个样品混为一个样, 共三个平行重复。取背鳍部位躯干进行截取, 置于波恩氏液中固定24h, 随后转入75%酒精溶液中保存, 用于肌肉组织的石蜡切片, 每种鳅取30个样品。取背鳍部位躯干进行截取, 置于4%PFA/PBS溶液中4℃固定过夜, 经PBS漂洗后置于30%的蔗糖/PBS溶液中4℃脱水保存, 用于肌肉组织的冷冻切片, 每种鳅取3个样品。

1.3 肌肉组织切片

肌肉组织的石蜡切片、苏木精和伊红溶液染色以及肌肉组织的冷冻切片方法参照Xia等^[15]方法。冷冻切片用0.5%油红O/(60%异丙醇+40%水)溶液染色, 使用明胶甘油封片。每种鳅制成石蜡切片15张, 冷冻切片3张。切片于显微镜下(BX-53多光谱显微成像系统, Olympus)观察, 选取肌纤维完整, 边缘清晰的切片区域进行拍照。采用ImageJ软件对图片进行处理, 并测量肌纤维横截面积、周长和直径; 肌纤维密度用视场内肌纤维根数(剔除与视场右下两边有接触的个数)比上视场面积所得。

1.4 生化组分分析

每种鳅取3个混样, 进行生化组分分析。采用凯氏定氮法(GB5009.5-2016)检测样品中粗蛋白含量; 采用酸水解法(GB5009.6-2016)检测样品中粗脂肪含量; 采用干燥恒重法(105 ± 5)℃(GB/T 10362-2008)检测样品中水分含量; 采用马弗炉灼烧法(GB5009.4-2016)检测样品中灰分含量; 采用酸水解法获得样品中的氨基酸, 液相色谱仪(UltiMate 3000 UH-PLC色谱仪, Thermo)检测, 根据标准品出峰时间对样品所出峰进行定性, 采用外标法进行定量, 最终测得样品中各氨基酸的含量; 采用气相色谱(CP-SIL88色谱柱, Agilent)与质谱联用法(GC-MS法)检

测样品中常见的37种脂肪酸含量, 样品经脂化、浓缩后进入GC-MS系统, 离子碎片进行自动识别和积分, 按峰面积归一化法计算样品中各脂肪酸的含量。

1.5 必需氨基酸评价

换算必需氨基酸每克氮含氨基酸的毫克数mg/g(N), 具体计算方法为将已测得的必需氨基酸的干重含量(%)除以16^[16], 并将换算后的含量与鸡蛋中对应的必需氨基酸含量以及WHO/FAO于1973年提出的必需氨基酸含量进行比较^[17, 18]。然后根据孙海坤等^[19]方法计算必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)。

1.6 实时荧光定量PCR

实时荧光定量PCR参照Xia等^[15]方法, 每种鳅取3个混样, 每个样重复3次, 实时荧光定量PCR数据利用 $2^{-\Delta\Delta C_t}$ 法进行分析, 引物详情见表1, 所用退火温度均为55℃。*myod*等肌肉生长相关基因表达水平分析时, 设大鳞副泥鳅相应基因mRNAs的表达量为对照, 其值均设为1倍; *elovl5*等脂肪代谢相关基因表达水平分析时, 设北方泥鳅相应基因mRNAs的表达量为对照, 其值均设为1倍。

1.7 数据处理和分析

使用Excel2010和SPSS22.0软件对实验所得数据进行统计, 含有多重复的数据均以平均值±标准误的形式表示。实验数据通过单因素方差分析(One-way ANOVA), 然后进行Duncan's多重比较, 当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2 结果

2.1 肌肉组织学特征

研究了三种鳅的肌肉组织学特征, 检测了肌纤维的横截面积、周长、直径以及密度, 并且观察了三种鳅肌肉中脂肪的分布情况。发现肌肉横截面积、周长和直径三项指标均是大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅依次降低, 肌纤维密度则是大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅依次升高(表2)。大鳞副泥鳅肌纤维横截面积分别是泥鳅和北方泥鳅的1.28倍和1.43倍, 肌纤维密度分别是泥鳅和北方泥鳅的0.87倍和0.74倍。由此可见北方泥鳅的肌纤维最为纤细、密度最大, 泥鳅次之, 大鳞副泥鳅则是最为粗壮、密度最小(图1)。在三种鳅中, 脂肪主要沉积于皮下组织、肌隔及腹腔内侧。其中大鳞副泥鳅背部区域肌隔中脂肪的沉积量最多, 泥鳅次之, 北方泥鳅最少; 北方泥鳅腹腔内侧有大量的脂肪沉积, 而泥鳅很少(图2)。

2.2 肌肉营养成分

肌肉的基本组成成分 如表3所示, 北方泥

表 1 实时荧光定量PCR所用引物信息

Tab. 1 Primers used for fluorescent quantitative real-time PCR

基因及简称Gene (symbol)	引物Primer sequence (5'–3')
Actin beta (<i>β-actin</i>)	CCGGCCCATCCATCGTCCACCTGCTGCATGGCCAGGTATGGT
Myoblast determination Protein (<i>myod</i>)	TTTATGGGCCCAACGTGTCATGTGGAAATTCGTCCACGA
Myogenin (<i>myog</i>)	TGAACGAGGCTTTTGAGGCTTGTTTCGTGTTCTGCTGGTT
Myogenic regulatory factor 4 (<i>myf4</i>)	CACCGACCGACAGGAGAAAAAGTTTCGGATTGGGAACCGTCT
Myostatin (<i>mstn</i>)	CCTTTAGCACGCCTTGATCCGAAGTTTGCTGAGGATTTGT
Fatty acid synthase (<i>fas</i>)	AACAGTTGGTTCAGGAGAGTTTCGGCAAGTGAGTTAAGT
Stearoyl-CoA desaturase (<i>scd</i>)	GCTGGCTGTTGGTTCGAAAAATCGACTCACCCACAGGTA
Peroxisome proliferator Activated receptor gamma (<i>pparg</i>)	TGGCTTTCCTACTATGGCGTTCAGCATTTGTTGCGACTCTTCTTG
Fatty acid desaturase 2 (<i>fads2</i>)	CACAGGTTTCGGCACTTACACTCGCATCTTCTCCAGCATAATG
ELOVL fatty acid elongase 5 (<i>elovl5</i>)	CACACTAATCTTGCTCTTCACGCTGCTCTACTACATTGGTT
Sterol regulatory element Binding protein (<i>srebp1</i>)	ATACCAGAAGCAGCAGAGTCCAGAAGAGGACCGATGAT
Lipoprotein lipase (<i>lpl</i>)	GTCAACTGGTTACAGGCCGATCGGCATACTCAAAGCTGGG
Uncoupling protein 2 (<i>ucp2</i>)	GGGGCCAGTAAACGTTACCATCACCAGTTCCTGTCAGTTT

表 2 三种鳊肌纤维品质

Tab. 2 Comparison on the fiber of three Cobitidae

种类 Species	横截面积 Cross section (μm^2)	周长 Perimeter (μm)	直径 Diameter (μm)	密度 Fiber density (fiber/ mm^2)
大鳞副泥鳅 <i>P. dabryanus</i>	3589.17±2326.01 ^c	279.31±110.4 ^c	74.37±24.5 ^c	205.98±38.39 ^a
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	2809.7±1818.69 ^b	234.64±88.04 ^a	66.06±21.26 ^b	235.66±49.19 ^b
北方泥鳅 <i>M. bipartitus</i>	2511.93±1949.03 ^a	236.32±108.07 ^b	61.46±22.39 ^a	278.29±72.99 ^c

注：横截面积、周长和直径各统计2800个纤维。密度统计为独立统计15次，同一列平均数后上标不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: 2800 fibers were used for cross section, perimeter and diameter analysis. The fiber density was sampled fifteen times. The different superscripts behind mean values represents significant difference in the same column ($P<0.05$)

鳊的水分含量显著高于大鳞副泥鳅和泥鳅，而大鳞副泥鳅和泥鳅的水分含量差异不显著。三种鳊的灰分含量未有显著性差异。三种鳊的粗蛋白和粗脂肪含量均存在显著性差异，且均是大鳞副泥鳅含量高于泥鳅，泥鳅高于北方泥鳅。

肌肉的氨基酸组成成分 如表 4 所示，泥鳅必需氨基酸含量达(33.21±1.60)%，显著高于大鳞副泥鳅(28.31±1.85)%和北方泥鳅(28.09±1.04)%，大鳞副泥鳅和北方泥鳅间差异不显著。四种呈味氨基酸总含量为泥鳅最高，大鳞副泥鳅次之，北方泥鳅最低。

必需氨基酸营养价值 将表 4 中三种鳊肌肉中各必需氨基酸含量换算成每克氮所含氨基酸的毫克数，将其与鸡蛋蛋白以及WHO/FAO 标准中的必需氨基酸含量进行比较。三种鳊必需氨基酸含量占氨基酸总量比值均达到WHO/FAO标准，并接近鸡蛋蛋白中的比值，三种鳊EAAI分别为：泥鳅74.38，大鳞副泥鳅65.11，北方泥鳅60.14。

肌肉的脂肪酸组成成分 如表 5 所示，三种

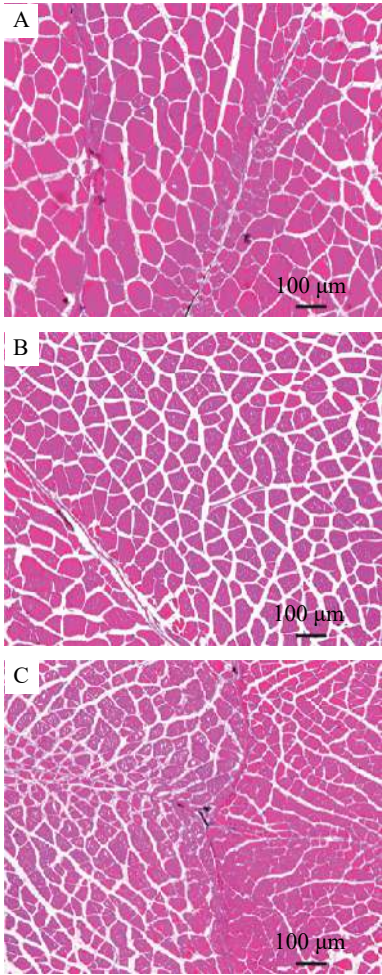


图 1 三种鳊肌纤维横切面

Fig. 1 The cross section of these three Cobitidae's muscle fiber

A. 大鳞副泥鳅; B. 泥鳅; C. 北方泥鳅
A. *P. dabryanus*; B. *M. anguillicaudatus*; C. *M. bipartitus*

鳊总多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量无显著性差异，但是大鳞副泥鳅除亚油酸以外的PUFA含量仅有(7.86±0.24)%，显著低于泥

鳅(24.18 ± 1.99)%和北方泥鳅(24.43 ± 0.26)%。大鳞副泥鳅总 ω -3不饱和脂肪酸含量显著低于泥鳅和北方泥鳅, 但是其总 ω -6不饱和脂肪酸显著高于泥鳅和北方泥鳅。泥鳅和北方泥鳅除少数饱和脂肪酸外, 含量无显著性差异。

2.3 肌肉生长、脂质代谢相关基因的表达

检测了*myod*、*myog*、*mrf4*和*mstn*四个肌肉生长相关基因在三种鳅肌肉中的表达差异(图3), 大鳞副泥鳅*myod*、*myog*和*mstn*基因的相对表达量在三种鳅中最高, 而*mrf4*基因的相对表达量最低; 泥鳅*mrf4*基因的相对表达量在三种鳅中最高, *myod*和*mstn*基因的相对表达量介于大鳞副泥鳅和北方泥鳅之间, *myog*基因的相对表达量最低; 北方泥鳅*myog*和*mrf4*基因的相对表达量介于大鳞副泥鳅和北方泥鳅之间, *myod*和*mstn*基因的相对表达量三种鳅中最低。

检测了*elovl5*等8个脂质代谢相关基因的表达特征(图4), 大鳞副泥鳅*elovl5*、*fads2*、*scd*、*ucp2*和*lp1*五个基因的相对表达量在三种鳅中最高, *pparg*基因的相对表达量介于泥鳅和北方泥鳅之间, *fas*和*srebp1*基因的相对表达量最低; 泥鳅*srebp1*基因的相对表达量在三种鳅中最高, *fas*基因的相对表达量介于大鳞副泥鳅和北方泥鳅之间, *elovl5*、*fads2*、*scd*、*lp1*和*pparg*五个基因的相对表达量最低; 北方泥鳅*fas*和*pparg*基因的相对表达量在三种鳅中最高, *elovl5*、*fads2*、*scd*、*lp1*和*srebp1*五个基

因的相对表达量介于大鳞副泥鳅和泥鳅之间; 泥鳅和北方泥鳅*ucp2*基因的相对表达量差异不显著。

3 讨论

3.1 三种鳅的肉质特点

鱼肉的嫩度一直是养殖鱼类品质性状重要的口感指标之一。鱼类肌肉的嫩度与肌肉组织中肌纤维的特征密切相关, 一般认为肌纤维直径越小而肌纤维密度越大, 鱼肉的细嫩度越佳, 口感越好^[6]。按照上述标准, 北方泥鳅肉质最为细嫩, 泥鳅次之, 大鳞副泥鳅肉质相对粗糙。

油润多汁也是评价鱼肉肉质的一项重要指标, 肉类多汁的口感与肌肉中粗脂肪的含量呈现正相关^[20], 大鳞副泥鳅的粗脂肪含量最高, 而且大鳞副泥鳅脂肪在背部、皮下组织以及腹腔内侧分布广泛, 因此在三种鳅中, 大鳞副泥鳅的肉质最为油润多汁。

鱼肉的鲜味是不同于其他肉类的一项重要口感指标, 也是影响鱼肉价格的关键因素之一。呈味氨基酸的组成以及含量, 特别是呈鲜味的谷氨酸和天冬氨酸含量是影响鱼肉鲜味的重要因素^[18]。比较三种鳅的总呈味氨基酸含量以及谷氨酸和天冬氨酸含量, 认为泥鳅肉质最为鲜美, 大鳞副泥鳅次之, 北方泥鳅鲜味程度较差。

3.2 三种鳅的营养价值特点

鱼肉的营养价值主要决定于各种营养物质的

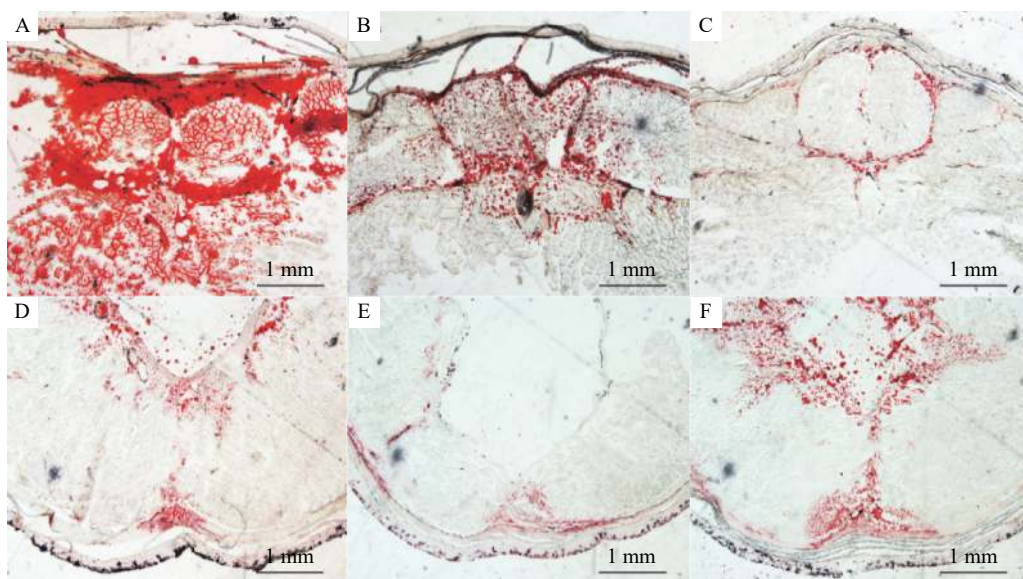


图2 三种鳅肌肉中脂肪分布

Fig. 2 Lipid distribution in muscle of three Cobitidae

A—C. 分别为大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅背部区域脂肪分布情况; D—F. 分别为大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅腹部区域脂肪分布情况

A—C. Lipid distribution of *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* on the back; D—F. Lipid distribution of *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* in the abdomen

表3 三种鳅肌肉的基本营养成分

Tab. 3 Basic muscle nutrient components of three Cobitidae muscle (%; n=3)

种类Species	水分Moisture	灰分Ash	粗蛋白Crude protein	粗脂肪Crude lipid
大鳞副泥鳅 <i>P. dabryanus</i>	77.47±1.75 ^a	1.27±0.12 ^a	17.07±0.31 ^c	2.57±0.38 ^c
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	78.46±3.00 ^a	1.57±0.15 ^a	14.57±0.59 ^b	1.37±0.12 ^b
北方泥鳅 <i>M. bipartitus</i>	81.96±0.92 ^b	1.60±0.00 ^a	12.33±0.15 ^a	0.57±0.06 ^a

表4 三种鳅肌肉中氨基酸组成

Tab. 4 Muscle amino acid composition of three Cobitidae (%; n=3)

氨基酸Amino acid	大鳞副泥鳅 <i>P. dabryanus</i>	泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	北方泥鳅 <i>M. bipartitus</i>
组氨酸His	1.88±0.06 ^a	1.50±0.10 ^a	1.41±0.06 ^a
天冬酰胺Asn	3.17±0.18 ^a	3.53±0.18 ^a	2.93±0.13 ^a
精氨酸Arg ^A	3.73±0.16 ^a	3.92±0.23 ^a	3.48±0.09 ^a
甘氨酸Gly ^B	3.61±0.09 ^a	3.58±0.24 ^a	3.20±0.13 ^a
天冬氨酸Asp ^B	6.69±0.76 ^a	8.45±0.34 ^b	5.73±0.47 ^a
谷氨酸Glu ^B	9.34±0.98 ^a	11.53±0.48 ^b	8.28±0.70 ^a
苏氨酸Thr ^A	2.88±0.21 ^a	3.25±0.20 ^a	2.58±0.13 ^a
丙氨酸Ala ^B	3.82±0.33 ^{ab}	4.69±0.23 ^b	3.42±0.12 ^a
胱氨酸Cys	2.87±0.17 ^a	3.19±0.19 ^a	2.73±0.02 ^a
赖氨酸Lys ^A	7.23±0.79 ^a	9.59±0.33 ^b	6.27±0.50 ^a
酪氨酸Tyr	1.37±0.14 ^a	1.50±0.23 ^a	1.46±0.04 ^a
甲硫氨酸Met ^A	1.28±0.12 ^a	1.56±0.11 ^a	1.35±0.06 ^a
缬氨酸Val ^A	3.30±0.23 ^a	3.79±0.22 ^a	3.03±0.10 ^a
异亮氨酸Ile ^A	3.04±0.22 ^a	3.46±0.21 ^a	2.78±0.11 ^a
亮氨酸Leu ^A	5.70±0.34 ^{ab}	6.38±0.47 ^b	5.13±0.18 ^a
苯丙氨酸Phe ^A	2.93±0.05 ^a	2.86±0.18 ^a	2.78±0.22 ^a
色氨酸Trp ^A	1.94±0.04 ^a	2.32±0.09 ^a	4.16±0.30 ^b
必需氨基酸Essential amino acids	28.31±1.85 ^a	33.21±1.60 ^b	28.09±1.04 ^a
呈味氨基酸Flavor amino acids	23.45±2.15 ^b	28.24±1.28 ^c	20.62±1.16 ^a

注: A为必需氨基酸; B为呈味氨基酸

Note: A means essential amino acids; B means flavor amino acids

含量和组成成分。必需氨基酸是人体内无法合成或者合成量较少无法满足人体新陈代谢需要的一类氨基酸,必需氨基酸摄入不足会造成机体代谢紊乱、抵抗能力降低等问题^[21]。通过计算肉类的EAAI可以客观地反映肉类中必需氨基酸的营养价值。脂肪酸根据饱和程度可分为饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)及多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)三类^[22]。PUFA根据双键出现的位置分为 ω -6不饱和脂肪酸和 ω -3不饱和脂肪酸,两者的比例影响PUFA降血脂功能,目前普

表5 三种鳅肌肉中脂肪酸组成

Tab. 5 Muscle fatty acid composition of three Cobitidae (%; n=3)

脂肪酸Fatty acid	大鳞副泥鳅 <i>P. dabryanus</i>	泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	北方泥鳅 <i>M. bipartitus</i>
棕榈酸C16:0	17.1±0.53 ^a	22.14±1.61 ^{ab}	24.19±0.37 ^b
十七烷酸C17:0	0.24±0.02 ^a	1.40±0.07 ^c	0.80±0.05 ^b
硬脂酸C18:0	5.8±0.52 ^a	10.25±1.26 ^b	13.02±0.48 ^b
花生酸C20:0	0.16±0.01 ^a	0.27±0.01 ^b	0.25±0.01 ^b
二十一烷酸C21:0	0.04±0.00 ^a	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b
山嵛酸C22:0	0.07±0.01 ^a	0.16±0.01 ^b	0.17±0.01 ^b
二十三烷酸C23:0	0.03±0.00 ^a	0.07±0.01 ^b	0.09±0.01 ^b
木蜡酸C24:0	0.04±0.01 ^a	0.10±0.02 ^{ab}	0.12±0.01 ^b
肉豆蔻脑酸C14:1	0.05±0.00 ^a	0.10±0.01 ^{ab}	0.13±0.01 ^b
十五碳烯酸C15:1	8.99±0.29 ^a	11.68±0.87 ^{ab}	12.82±0.16 ^b
棕榈油酸C16:1	3.24±0.44 ^a	5.29±0.74 ^a	2.80±0.58 ^a
十七烯酸C17:1	0.23±0.13 ^a	0.59±0.06 ^a	7.59±2.19 ^b
油酸C18:1	15.46±0.19 ^b	6.82±1.62 ^a	3.27±0.61 ^a
反-9-十八碳烯酸C18:1T	15.78±0.2 ^b	7.06±1.71 ^a	3.33±0.63 ^a
反亚油酸C18:1TT	0.04±0.01 ^a	0.08±0.02 ^{ab}	0.11±0.01 ^b
11-二十碳烯酸C20:1	0.41±0.02 ^b	0.26±0.04 ^{ab}	0.22±0.01 ^a
芥酸C22:1	0.61±0.33 ^a	1.05±0.52 ^a	1.59±1.1 ^a
神经酸C24:1	0.08±0.01 ^a	0.12±0.02 ^{ab}	0.19±0.01 ^b
亚油酸C18:2	22.51±0.68 ^b	5.90±1.29 ^a	3.08±0.39 ^a
11,14-二十碳二烯酸C20:2	0.59±0.08 ^a	0.89±0.03 ^a	0.67±0.04 ^a
二十二碳二烯酸C22:2	0.18±0.01 ^a	0.25±0.03 ^{ab}	0.26±0.02 ^b
亚麻酸C18:3n3	2.57±0.20 ^b	2.77±0.57 ^{ab}	1.28±0.29 ^a
γ -亚麻酸C18:3n6	0.71±0.03 ^b	0.37±0.05 ^a	0.26±0.03 ^a
顺式-11,14,17-二十碳三烯酸C20:3n3	0.11±0.00 ^a	5.68±0.68 ^b	6.09±0.63 ^b
顺式-8,11,14-二十碳三烯酸C20:3n6	0.85±0.09 ^b	0.70±0.07 ^{ab}	0.51±0.04 ^a
花生四烯酸C20:4	0.48±0.06 ^a	6.97±0.84 ^b	7.45±0.76 ^b
二十碳五烯酸(EPA)C20:5	0.54±0.03 ^a	3.38±0.52 ^b	3.03±0.66 ^b
二十二碳六烯酸(DHA)C22:6	1.83±0.04 ^a	3.20±0.41 ^{ab}	4.87±0.59 ^b
总饱和脂肪酸 Σ SFA	24.73±1.01 ^a	36.86±2.94 ^{ab}	40.47±0.79 ^b
总不饱和脂肪酸 Σ UFA	75.27±1.01 ^b	63.14±2.94 ^{ab}	59.53±0.79 ^a
总单不饱和脂肪酸 Σ MUFA	44.90±0.66 ^b	33.06±3.44 ^{ab}	32.02±0.97 ^a
总多不饱和脂肪酸 Σ PUFA	30.38±0.91 ^a	30.08±1.04 ^a	27.51±0.63 ^a
总 ω -3不饱和脂肪酸 $\Sigma\omega$ -3FA	4.94±0.24 ^a	9.35±0.43 ^b	9.19±1.44 ^b
总 ω -6不饱和脂肪酸 $\Sigma\omega$ -6FA	23.71±0.73 ^b	13.23±0.63 ^a	10.79±0.70 ^a
ω -6FA/ ω -3FA	4.80±0.14 ^a	1.42±0.10 ^b	1.20±0.27 ^b
必需脂肪酸Essential fatty acids	28.65±0.94 ^a	22.57±0.67 ^b	19.98±1.03 ^b

遍认为SFA含量低, PUFA含量特别是 ω -3不饱和脂肪酸高的脂肪酸摄入结构更为健康。此外, 花生四烯酸、二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acid, DHA)对

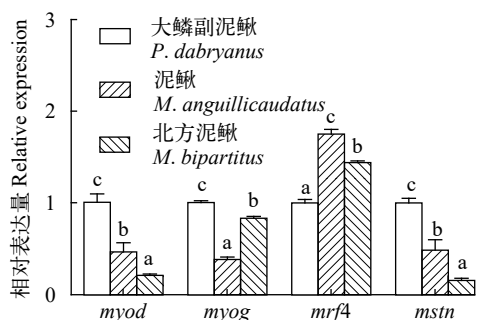


图3 三种鳅肌肉组织中肌肉生长相关基因相对表达量的比较 (同一组上标不同表示差异显著, $P < 0.05$)

Fig. 3 The relative expression levels of muscle growth-related genes in three Cobitidae's muscular tissue (the different super-scripts represents significant difference in the same group, $P < 0.05$)

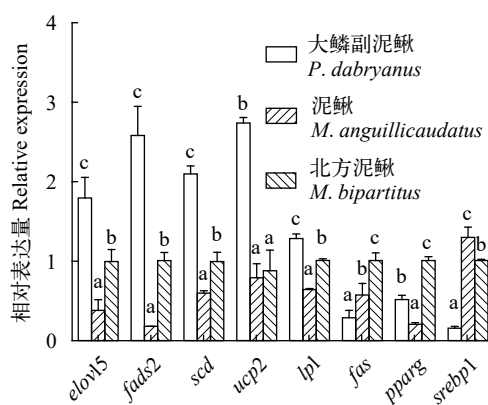


图4 三种鳅肌肉组织中脂肪代谢相关基因相对表达量的比较 (同一组上标不同表示差异显著, $P < 0.05$)

Fig. 4 The relative expression levels of lipid metabolism-related genes in three Cobitidae's muscular tissue (the different super-scripts represents significant difference in the same group, $P < 0.05$)

于幼儿发育、抗癌及预防心血管疾病有特殊作用,三者的含量也在一定程度上反映了鱼肉的营养价值^[23]。

三种鳅均有必需氨基酸含量高以及PUFA含量高的特点。在三种鳅必需氨基酸评价比较中,泥鳅、大鳞副泥鳅和北方泥鳅的EAAI依次降低。三种鳅总PUFA含量无显著性差异,但是在除去亚油酸的总PUFA含量比较中,大鳞副泥鳅远低于泥鳅和北方泥鳅,大鳞副泥鳅中各PUFA的含量不如泥鳅和北方泥鳅均衡。此外,大鳞副泥鳅 ω -3不饱和脂肪酸含量仅为泥鳅的52.83%和北方泥鳅的53.75%,花生四烯酸、EPA和DHA的含量均低于泥鳅和北方泥鳅。综上,在氨基酸方面的营养价值,泥鳅要高于大鳞副泥鳅,大鳞副泥鳅高于北方泥鳅;在脂肪酸方面的营养价值,泥鳅和北方泥鳅差异不明显,而大鳞副泥鳅低于泥鳅和北方泥鳅。

3.3 三种鳅肌肉生长与脂质代谢相关基因表达特点

动物肌肉生长受*myod*、*myog*、*mrf4*和*mstn*等

基因调控。*myod*基因是肌细胞生成的决定基因,*myog*和*mrf4*则是在肌细胞的分化过程中发挥功能。在肌肉生长过程中,*myod*最先表达,随后诱导*myog*表达,而*mrf4*作为终端诱导因子基因最后表达^[24—28]。*mstn*是肌肉生长过程中的负调控基因,抑制肌肉的过快生长^[29]。

大鳞副泥鳅的肌纤维横截面积最大、粗蛋白含量最高,表明大鳞副泥鳅肌肉比泥鳅和北方泥鳅发达;此外,大鳞副泥鳅*myod*的相对表达量较高,*mrf4*的相对表达量较低,且大鳞副泥鳅*mstn*的相对表达量较高,提示大鳞副泥鳅的肌细胞处于肌肉生长过程的早期阶段,而且肌肉有进一步生长的潜力。北方泥鳅肌肉生长相关基因的表达特点与大鳞副泥鳅相反,*myod*的相对表达量较低,*mrf4*的相对表达量较高,*mstn*的相对表达量很低;而且北方泥鳅肌纤维横截面积最小、粗蛋白含量低,提示北方泥鳅更多的肌细胞处于肌肉生长过程的后期阶段,肌肉不如大鳞副泥鳅和泥鳅发达。泥鳅的肌肉生长情况则处于大鳞副泥鳅和北方泥鳅之间。

elovl5、*lpl*、*fas*、*pparg*和*srebp1*为调节脂肪形成的基因,其编码的酶通过催化延长脂肪酸链、水解甘油三酯释放游离脂肪酸、合成脂肪酸、合成三酰甘油等方式促进脂肪的形成^[30—35]。*ucp2*为调节脂肪分解的基因,其编码的酶可增加三羧酸循环的活性和脂肪酸的氧化,促进脂肪分解^[36]。*fads2*和*scd*为调节不饱和脂肪酸形成的基因,相应的酶催化脂肪酸不饱和键的形成^[33]。

大鳞副泥鳅粗脂肪含量和总不饱和脂肪酸含量最高;同时大鳞副泥鳅*elovl5*、*lpl*、*ucp2*、*fads2*和*scd*五个基因在三种鳅中表达量最高,提示在三种鳅中,大鳞副泥鳅的脂肪代谢活动最为活跃。北方泥鳅*elovl5*、*lpl*、*fas*、*pparg*、*fads2*和*scd*六个基因的表达量均显著高于泥鳅,*ucp2*的表达量两者间无显著性差异;而且北方泥鳅腹腔内侧的内脏脂肪沉积量根据组织学切片分析远高于泥鳅,提示北方泥鳅脂肪形成能力、不饱和脂肪酸转化能力和内脏脂肪沉积能力强于泥鳅,北方泥鳅的脂肪代谢活动相较于泥鳅更为活跃。但在肌肉生化组分检测中,泥鳅粗脂肪含量高于北方泥鳅,可能的原因是在以肌肉作为样品检测粗脂肪含量时,内脏脂肪大部分并未被检测所致。

4 结论

综上所述,三种鳅肉质各有特点。大鳞副泥鳅蛋白质含量高、油润多汁,但是肉质相对粗糙、营养价值较差;泥鳅营养价值极高且肉质鲜美;北方泥鳅肉质细嫩,脂肪酸组成方面的营养价值高,但

是肉质的鲜美程度较差。三种鳅的肌肉生长活动和脂肪代谢活动存在差异,可能是上述三种鳅肉质各具特点的原因之一。进一步解析上述三种鳅的肉质形成的分子遗传基础,对于鳅科鱼类新品种研制具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Guan W J, Zhu Y F, Chen Z D. Muscle quality in fish related to characteristics of muscular fibers [J]. *Fisheries Science*, 2008, **27**(2): 101-104. [关文静, 朱艺峰, 陈芝丹. 鱼类肌纤维特性与鱼肉品质关系 [J]. *水产科学*, 2008, **27**(2): 101-104.]
- [2] Chen W X, LIU Q Z, Fan Z Y. Recent advances in research on meat quality evaluation and influencing factor of fish [J]. *Meat Research*, 2012, **26**(10): 34-40. [陈伟兴, 刘清振, 范兆延. 鱼类肉质评价及影响因素研究进展 [J]. *肉类研究*, 2012, **26**(10): 34-40.]
- [3] Periago M J, Ayala M D, Albors O L, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**(1-4): 175-188.
- [4] Rivero J L L, Talmadge R J, Edgerton V R. Fibre size and metabolic properties of myosin heavy chain-based fibre types in rat skeletal muscle [J]. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 1998, **19**(7): 733-742.
- [5] Einen O, Thomassen M S. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*). 2. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets [J]. *Aquaculture (Netherlands)*, 1998, **169**(1-2): 37-53.
- [6] Ren X E, Zhang S H. Recent advances in fish flavour [J]. *China Condiment*, 2003(12): 17-21. [任仙娥, 张水华. 鱼肉风味研究现状 [J]. *中国调味品*, 2003(12): 17-21.]
- [7] Tan X G, Du S. Differential expression of two *MyoD* genes in fast and slow muscles of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Development Genes & Evolution*, 2002, **212**(5): 207-217.
- [8] Zhu H Y, Man Y X. Distinguishing methods and nutritional differences between *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Journal of Aquaculture*, 2013, **3**(3): 1-3. [朱红元, 满远星. 泥鳅与大鳞副泥鳅区分方法及营养差异 [J]. *水产养殖*, 2013, **3**(3): 1-3.]
- [9] Zhao Z S, Gao G Q, Yin J, et al. Studies on nutritive composition of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Journal of Hydroecology*, 1999, **19**(2): 16-17. [赵振山, 高贵琴, 印杰, 等. 泥鳅和大鳞副泥鳅营养成分分析 [J]. *水生生态学杂志*, 1999, **19**(2): 16-17.]
- [10] Yin J, Xiong C X, Li S H, et al. Analysis of nutritional composition in tetraploid loach, diploid loach and *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2008, **1**(2): 67-70. [印杰, 熊传喜, 李圣华, 等. 四倍体和二倍体泥鳅及大鳞副泥鳅营养成分分析 [J]. *水生生态学杂志*, 2008, **1**(2): 67-70.]
- [11] Huang J, Yang S, Qin Z B, et al. Comparative study about flesh contents and nutrient values in brown Bullhead, loach and darkbarbel catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(5): 990-997. [黄钧, 杨淞, 覃志彪, 等. 云斑鲶、泥鳅和瓦氏黄颡鱼的含肉率及营养价值比较研究 [J]. *水生生物学报*, 2010, **34**(5): 990-997.]
- [12] Han G M, Bi J H, Tang H J, et al. Nutritional component analysis in muscles of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* from Shaobo Lake [J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2016, **21**(5): 330-337. [韩光明, 毕建花, 唐鹤军, 等. 邵伯湖区泥鳅与大鳞副泥鳅肌肉营养成分分析 [J]. *集美大学学报(自然版)*, 2016, **21**(5): 330-337.]
- [13] Zhu S Q. Synopsis of Freshwater Fishes in China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1995: 39. [朱松泉. 中国淡水鱼类检索 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995: 39.]
- [14] Liu Y F. The species identification method and preliminary study on gynogenesis of *Paramisgurnus dabryanus* and *Misgurnus anguillicaudatus* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015: 20-37. [刘永富. 大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 与泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 的种类鉴别方法及雌核发育初步研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 20-37.]
- [15] Xia H, Zhong C R, Wu X X, et al. *Mettl3* mutation disrupts gamete maturation and reduces fertility in zebrafish [J]. *Genetics*, 2018(208): 729-743.
- [16] Huang F, Yan A S, Xiong C X, et al. Evaluation of the nutrition and the rate of flesh in the whole body of *Pelteobagrus fulvidraco* Rich [J]. *Freshwater Fisheries*, 1999, **29**(10): 3-6. [黄峰, 严安生, 熊传喜, 等. 黄颡鱼的含肉率及鱼肉营养评价 [J]. *淡水渔业*, 1999, **29**(10): 3-6.]
- [17] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and Protein Requirements [M]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973: 52.
- [18] Lin L M, Wang Q Y, 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.]
- [19] Sun H K, Han Y Z, Sun J F, et al. Muscle nutritional comparative of four different geographical *Silurus asotus* groups [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(3): 493-500. [孙海坤, 韩雨哲, 孙建富, 等. 四个不同地理鲶群体肌肉营养成分的比较分析 [J]. *水生生物学报*, 2016, **40**(3): 493-500.]
- [20] Szczesniak A S. Classification of Textural Characteristics [J]. *Journal of Food Science*, 1963, **28**(4): 5.
- [21] Wang X S. Effects of essential amino acids on human health [J]. *Food and Nutrition in China*, 2005(7): 48-49. [王小生. 必需氨基酸对人体健康的影响 [J]. *中国食物与营养*, 2005(7): 48-49.]
- [22] Deng Z Y, Zhou X Q, Huang Y H, et al. Investigation of dietary fatty acids intakes of Chinese people during twenty years [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2008, **27**(1): 7-19. [邓泽元, 周潇奇, 黄玉华, 等. 中国居民20年间食物脂肪摄入量调查分析 [J]. *食品与生物技术学报*, 2008, **27**(1): 7-19.]
- [23] Koletzko B, Decsi T, Demmelmair H. Arachidonic acid supply and metabolism in human infants born at full term [J]. *Lipids*, 1996, **31**(1): 79-83.
- [24] Xu Y F, He J Y, Wang X K, et al. Asynchronous activation of 10 muscle-specific protein (MSP) genes during zebrafish somitogenesis [J]. *Developmental Dynamics*, 2000, **219**(2): 201-215.
- [25] Rudnicki M A, Jaenisch R. The MyoD family of transcription factors and skeletal myogenesis [J]. *Bioessays*, 2010, **17**(3): 203-209.
- [26] Braun T, Arnold H H. Myf-5 and myoD genes are activated in distinct mesenchymal stem cells and determine different skeletal muscle cell lineages [J]. *The EMBO Journal*, 1996, **15**(2): 310-318.
- [27] Shi J, Chu W Y, Zhang J S. Muscle growth, differentiation and expression regulation in fish [J]. *Acta Hydrobio-*

- logica Sinica*, 2013, **37**(6): 1145-1152. [石军, 褚武英, 张建设. 鱼类肌肉生长分化与基因表达调控 [J]. 水生生物学报, 2013, **37**(6): 1145-1152.]
- [28] Watabe S. Myogenic regulatory factors and muscle differentiation during ontogeny in fish [J]. *Journal of Fish Biology*, 1999(55): 1-18.
- [29] Mcpherron A C, Lawler A M, Lee S J. Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF- β superfamily member [J]. *Nature*, 1997, **387**(6628): 83-90.
- [30] Zheng J L, Luo Z, Zhu Q L, *et al.* Molecular cloning and expression pattern of 11 genes involved in lipid metabolism in yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Gene*, 2013, **531**(1): 53-63.
- [31] Yan J, Guo C, Dawood M, *et al.* Effects of dietary chitosan on growth, lipid metabolism, immune response and antioxidant-related gene expression in *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Beneficial Microbes*, 2017, **8**(11): 439-449.
- [32] Mendes K L, Pinho L, Andrade J, *et al.* Distinct metabolic effects of resveratrol on lipogenesis markers in mice adipose tissue treated with high-polyunsaturated fat and high-protein diets [J]. *Life Sciences*, 2016(153): 66-73.
- [33] Li Y, Jia Z, Liang X, *et al.* Growth performance, fatty-acid composition, lipid deposition and hepatic-lipid metabolism-related gene expression in juvenile pond loach *Misgurnus anguillicaudatus* fed diets with different dietary soybean oil levels [J]. *Journal of Fish Biology*, 2017(92): 17-33.
- [34] Yanes C G, Margalet V S. Pancreastatin, a chromogranin A-derived peptide, inhibits leptin and enhances UCP-2 expression in isolated rat adipocytes [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 2004, **60**(12): 2749-2756.
- [35] Chen J, Cui Y, Yan J, *et al.* Molecular characterization of elongase of very long-chain fatty acids 6 (*elovl6*) genes in *Misgurnus anguillicaudatus*, and their potential roles in adaptation to cold temperature [J]. *Gene*, 2018(666): 134-144.
- [36] Ceddia R B, William W N, Lima F B, *et al.* Leptin stimulates uncoupling protein-2 mRNA expression and Krebs cycle activity and inhibits lipid synthesis in isolated rat white adipocytes [J]. *European Journal of Biochemistry*, 2000, **267**(19): 5952-5958.

THE ANALYSIS OF THE MEAT QUALITY OF *PARAMISGURNUS DABRYANUS*, *MISGURNUS ANGUILLICAUDATUS* AND *MISGURNUS BIPARTITUS*

XU Yuan-Feng^{1,2} and HU Wei¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Innovation Academy for Seed Design, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Meat quality is an important economic trait of cultured fish. There are few studies on meat quality of *Paramisgurnus dabryanus*, *Misgurnus anguillicaudatus* and *Misgurnus bipartitus*. The meat quality of *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* were studied by tissue section, biochemical component analysis and real-time fluorescence quantitative PCR. The results showed that the cross-sectional areas of muscle fibers of *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* were $(3589.17 \pm 2326.01) \mu\text{m}^2$, $(2809.7 \pm 1818.69) \mu\text{m}^2$ and $(2511.93 \pm 1949.03) \mu\text{m}^2$, respectively. For the crude protein and crude fat contents, *P. dabryanus* had the highest contents of $(17.07 \pm 0.31)\%$ and $(2.57 \pm 0.38)\%$, followed by *M. anguillicaudatus* of $(14.57 \pm 0.59)\%$ and $(1.37 \pm 0.12)\%$ and *M. bipartitus* of $(12.33 \pm 0.15)\%$ and $(0.57 \pm 0.06)\%$. The essential amino acid index (EAAI) of *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* were 65.11, 74.38 and 60.14 respectively, and the content of flavor amino acid were $(27.75 \pm 2.13)\%$, $(32.60 \pm 1.64)\%$ and $(24.86 \pm 1.00)\%$, respectively. The content of total polyunsaturated fatty acid except linoleic acid in *P. dabryanus*, *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus* were $(7.86 \pm 0.24)\%$, $(24.18 \pm 1.99)\%$ and $(24.43 \pm 0.26)\%$, respectively. The expression level of *myod*, a marker for early stage of muscle growth, was high in *P. dabryanus*. But, the expression level of *myog* and *mrf4*, markers for late stage of muscle growth, were low in *P. dabryanus*. The expression level of *myog* and *mrf4* were high in *M. anguillicaudatus* and *M. bipartitus*, and the expression level of *myod* was low. Analysis of eight lipid metabolism related genes including *elovl5*, *P. dabryanus* has the highest overall expression level, followed by *M. bipartitus* and *M. anguillicaudatus*. The results showed that the meat quality of *P. dabryanus* was oily but rough; the nutritional value and taste value of *M. anguillicaudatus* were high; the meat of *M. bipartitus* was tender, but the nutritional value about amino acids of *M. bipartitus* was not high. The meat quality between the three species may be related to the different muscle growth and fat metabolism activities.

Key words: *Paramisgurnus dabryanus*; *Misgurnus anguillicaudatus*; *Misgurnus bipartitus*; Meat quality; Biochemical concentration; Nutritional evaluation