

程林慧,吴华东,王自蕊,等.泥鳅(♀)×大鳞副泥鳅(♂)正交F<sub>1</sub>代肌肉营养成分分析[J].江西农业大学学报,2020,42(5):960-969.



# 泥鳅(♀)×大鳞副泥鳅(♂)正交F<sub>1</sub>代 肌肉营养成分分析

程林慧<sup>1</sup>,吴华东<sup>1</sup>,王自蕊<sup>1</sup>,周颖<sup>1</sup>,孙艺文<sup>1</sup>,吴娜<sup>2</sup>,熊六凤<sup>1</sup>,李福贵<sup>1\*</sup>

(1.江西农业大学 动物科学技术学院,江西 南昌 330045;2.江西农业大学 食品科学与工程学院,江西 南昌 330045)

**摘要:**【目的】为探究属间杂交对泥鳅肌肉品质的改良效果,对4个F<sub>1</sub>代泥鳅的肌肉营养成分以及滋味特征进行测定与分析。【方法】以泥鳅自交F<sub>1</sub>代(M)、大鳞副泥鳅自交F<sub>1</sub>代(P)、大鳞副泥鳅(♀)×泥鳅(♂)反交F<sub>1</sub>代(PM)为对照组,对泥鳅(♀)×大鳞副泥鳅(♂)正交F<sub>1</sub>代(MP)新鲜肌肉中的常规营养成分、氨基酸及核苷酸进行测定与评价分析,【结果】(1)MP粗蛋白质含量分别高于PM、P、M 3个,但差异均不显著(P>0.05);MP的粗脂肪含量低于P、M(P>0.05),显著低于PM(P<0.05);(2)在4个F<sub>1</sub>代泥鳅的肌肉总氨基酸含量中,雌性与雄性个体存在差异,雌性依次为MF(41.15 mg/g)、MPF(54.95 mg/g)、PMF(55.60 mg/g)、PF(59.89 mg/g),雄性依次为MM(48.44 mg/g)、PMM(53.23 mg/g)、MPM(53.95 mg/g)、PM(58.35 mg/g),表明雌性MP组合肌肉总氨基酸含量高于M低于PM、P,雄性MP组合肌肉总氨基酸含量高于M、PM,低于P;(3)结合氨基酸评分AAS和化学评分CS可以看出,每个组合的蛋氨酸(Met)数值皆为最小值,表明蛋氨酸为4个F<sub>1</sub>代泥鳅的共同第一限制性氨基酸;(4)呈味核苷酸与游离氨基酸TAV结果显示,仅MPM与MPF的赖氨酸(Lys)的TAV大于1,对呈味具有显著贡献。【结论】综上所述,2个属间杂交F<sub>1</sub>代(MP与PM)的基本营养成分、总氨基酸含量等均处于2个自交F<sub>1</sub>代的(M与P)中间,MP营养价值、滋味优于M,接近于PM,劣于P,为泥鳅肌肉品质提升策略及其新品种选育可提供参考依据。

**关键词:**泥鳅;大鳞副泥鳅;属间杂交;肌肉;营养成分;氨基酸;核苷酸

中图分类号:S966.412 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)05-0960-10

## Analysis of Nutritional Components in the Muscle of *Misgurnus anguillicaudatus* (♀)×*Paramisgurnus dabryanus* (♂) Orthogonal F<sub>1</sub> generation

CHENG Lin-hui<sup>1</sup>, WU Hua-dong<sup>1</sup>, WANG Zi-rui<sup>1</sup>, ZHOU Ying<sup>1</sup>,  
SUN Yi-wen<sup>1</sup>, WU Na<sup>2</sup>, XIONG Liu-feng<sup>1</sup>, LI Fu-gui<sup>1\*</sup>

(1.College of Animal Science and Technology, Jiangxi agricultural university, Nanchang 330045, China; 2. College of food science and engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

收稿日期:2020-03-31 修回日期:2020-05-25

基金项目:国家自然科学基金项目(31860732)、江西省现代农业产业技术体系岗位专项(9021107236)、江西省教育厅科技计划项目(9232307104, GJJ160366)和江西农业大学博士启动基金项目(9232306018)

Project supported by National Natural Science Foundation of China (31860732), post special project of Jiangxi modern agricultural industrial technology system (9021107236), the Science and Technology Plan Project of Jiangxi Education Department (9232307104, GJJ160366), the Initial Funding Project of Jiangxi Agricultural University (9232306018)

作者简介:程林慧, orcid.org/0000-0003-1128-1146, 18797983653@163.com; \*通信作者:李福贵, 讲师, 博士, 主要从事水产种质资源与遗传育种研究, orcid.org/0000-0002-3263-7976, fgli@jxau.edu.cn。

**Abstract:** [Objective] In order to explore the improvement effect of intergeneric hybridization on muscle quality of loach, the muscle nutritional and edible value of four F<sub>1</sub> loach populations were investigated and analyzed in this study. [Method] Taking *Misgurnus anguillicaudatus* selfing F<sub>1</sub> generation (M) and *Paramisgurnus dabryanus* selfing F<sub>1</sub> generation (P), *P. dabryanus* (♀) × *M. anguillicaudatus* (♂) inverse cross F<sub>1</sub> generation (PM) as the control groups, the levels of routine nutrients, amino acids and nucleotides in fresh muscle of the breeding *M. anguillicaudatus* (♀) × *P. dabryanus* (♂) orthogonal F<sub>1</sub> (MP) were measured and evaluated. [Results] The main results were as follows: (1) the crude protein content of MP was higher than that of PM, P and M group, but the difference was not significant ( $P > 0.05$ ); the crude fat content of MP was lower than those of P and M ( $P > 0.05$ ), while was significantly lower than that of PM ( $P < 0.05$ ). (2) Obvious differences were detected in the total amino acid content of muscles between male and female loach generated in the present study. The content values of female combinations were orderly presented as MF (41.15 mg/g), MPF (54.95 mg/g), PMF (55.60 mg/g) and PF (59.89 mg/g), and those of male combinations were orderly presented as MM (48.44 mg/g), PMM (53.23 mg/g), MPM (53.95 mg/g) and PM (58.35 mg/g), suggesting that the total amino acid content of muscle of MPF combination was higher than that of MF, but lower than those of PMF and PF; the total amino acid content of muscle of MPM combination was higher than those of MM and PMM, but lower than that of PM. (3) According to the amino acid score (AAS) and chemical score (CS), methionine was regarded as the common first restrictive amino acid of the four loach populations. (4) The contents of IMP, Hx and AMP showed that both male and female MP combinations tasted better than M, worse than P and closer to PM. [Conclusion] Thus, the basic nutrients and total amino acid contents of both intergeneric hybridization F<sub>1</sub> generations (MP and PM) are in the middle range of those of the two self-crossing F<sub>1</sub> generations, their nutritional and edible values of MP is higher than those of M, close to those of PM, while lower than those of P. This study provides crucial reference for the improvement of muscle quality and breeding of new varieties of loach.

**Keywords:** *Misgurnus anguillicaudatus*; *Paramisgurnus dabryanus*; intergeneric hybridization; muscle; nutritional component; amino acid; nucleotide

【研究意义】泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)和大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)分别隶属于鳅科(Cobitidae)、花鳅亚科(Cobitinae)的泥鳅属(*Misgurnus*)、副泥鳅属(*Paramisgurnus*),广泛分布于我国各大水系江河及湖泊,是我国重要的特种养殖经济鱼类。据FAO统计,2018年泥鳅养殖产量达35万余吨<sup>[1]</sup>。泥鳅具有环境适应能力强,病害少,蛋白质含量高、氨基酸种类丰富、脂肪含量适中,副产物应用价值高等特点<sup>[2]</sup>。大鳞副泥鳅具有高蛋白、低脂肪、肉质鲜美等特点,其肌肉必需氨基酸含量丰富、比例合理,是理想的动物蛋白源<sup>[3]</sup>。【前人研究进展】在鱼类杂交育种方面,我国学者已经进行了大量的鱼类杂交试验<sup>[4]</sup>,主要涉及3个目(鲤形目、鲈形目、鲇形目),其中多数是鲤科鱼类亚科之间或属间的远缘杂交,并产生了杂种后代,且很多杂交组合经济性状上表现出了一定的杂交优势<sup>[5]</sup>。蒋大宁等<sup>[6]</sup>通过黄河泥鳅(♀)×辽河泥鳅(♂)杂交所获得的F<sub>1</sub>代在生长性状上表现出长期稳定的生长优势;杨兴丽等<sup>[7]</sup>通过四倍体泥鳅(♂)×二倍体大鳞副泥鳅(♀)杂交所获得的三倍体F<sub>1</sub>代泥鳅多项营养指标明显高于大鳞副泥鳅;王林娜等<sup>[8]</sup>通过云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交获得的后代“云龙斑”在一些营养指标中明显高于其父母本,显现出一定的杂交优势。【本研究切入点】因此,杂交育种能够在一定程度上提升生长速度、肌肉品质等经济性状。【拟解决的关键问题】本研究通过人工授精对选育泥鳅与大鳞副泥鳅进行种内自交与属间杂交,获得4个F<sub>1</sub>代泥鳅,并对其肌肉营养成分进行比较分析与评价,以期对泥鳅杂交育种及肌肉品质提升提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本试验所用亲本泥鳅均取自于江西省吉安市新干县赣源生态泥鳅养殖场(北纬27°47'12.96",东经

115°27'35.67"),且所有养殖试验均在该场进行。本试验所用泥鳅(M)与大鳞副泥鳅(P)亲本均取自于经2代群体选育所得的亲本群体。2017年5月,分别通过M(♀)×P(♂)与P(♀)×M(♂)获得正交(MP)与反交(PM)2个杂交F<sub>1</sub>代,通过P(♀)×P(♂)获得P自交F<sub>1</sub>代,通过M(♀)×M(♂)获得M自交F<sub>1</sub>代。将4个F<sub>1</sub>代泥鳅1月龄苗种各5万尾分别放入面积为667 m<sup>2</sup>的标准化养殖池塘,每天投喂2次适口性泥鳅专用饲料(购自通威饲料集团公司),饲养管理过程一致。至2018年7月,从中各随机采集5~10尾雌性(F)及5~10雄性(M)个体,用纱布擦干体表水分及粘液后测定其体质量,在冰上解剖取肌肉组织用于营养成分分析及测定。样品采集信息详见表1。

表1 样品信息  
Tab.1 Sample information

样品名称 Sample name	样品数目 Sample number	组合 Combination	性别(♀/♂) Sex(♀/♂)	体质量(平均值±标准差)/g Weight
MPF	10	正交	雌(♀)	14.79±2.73
MPM	6	正交	雄(♂)	11.48±1.98
PMF	6	反交	雌(♀)	24.87±7.15
PMM	8	反交	雄(♂)	16.39±3.83
MF	10	泥鳅自交	雌(♀)	10.40±1.52
MM	10	泥鳅自交	雄(♂)	10.94±1.23
PF	5	大鳞副泥鳅自交	雌(♀)	34.86±6.70
PM	5	大鳞副泥鳅自交	雄(♂)	25.74±5.52

## 1.2 测定方法

1.2.1 样品处理 上述8个组合中每个组合均设置了3个平行样品,每个样品均由1尾或2~3尾体质量相近的泥鳅的新鲜肌肉等量混合组成,且总质量为10 g。每个样品均分为3份,1份用于常规营养成分测定,1份用于氨基酸测定,1份用于核苷酸测定。

1.2.2 常规营养成分测定 水分测定方法:采用常压恒温烘干法(GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》)<sup>[9]</sup>。粗蛋白质含量测定方法:采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》)<sup>[10]</sup>。粗脂肪含量测定方法:采用索氏抽提法(GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》)<sup>[11]</sup>。粗灰分含量测定方法:采用550℃高温灼烧法(GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》)<sup>[12]</sup>。

1.2.3 氨基酸测定与营养评价 总氨基酸含量利用自动分析仪检测,参照国家标准法(GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》)<sup>[13]</sup>。为评价肌肉样品中的氨基酸质量,将样品中各种必需氨基酸含量转化为每克蛋白质中含氨基酸毫克数(mg/g),再根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)建议的每克氮氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白的氨基酸模式进行营养评定。氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)<sup>[14]</sup>和必需氨基酸指数(EAAI)公式如下:

$$\text{氨基酸评分(AAS)} = \frac{\text{样品蛋白质氨基酸含量(mg/g)}}{\text{FAO/WHO评分标准模式中相应必需氨基酸含量(mg/g)}} \quad (1)$$

$$\text{化学评分(CS)} = \frac{\text{样品蛋白质氨基酸含量(mg/g)}}{\text{全鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸含量(mg/g)}} \quad (2)$$

式(1)(2)中:氨基酸含量是指每克氮中氨基酸的毫克量。

$$\text{必需氨基酸指数(EAAI)} = \left[ \frac{100a}{A} \times \frac{100b}{B} \times \frac{100c}{C} \times \dots \times \frac{100h}{H} \right]^{1/n} \quad (3)$$

式(3)中: $n$ 为比较的必需氨基酸个数; $a, b, c, \dots, h$ 为样品中各必需氨基酸含量(mg/g); $A, B, C, \dots, H$ 为全鸡蛋蛋白质相对应的必需氨基酸含量(mg/g)。

1.2.4 游离氨基酸测定 游离氨基酸的提取和检测参照Chen等<sup>[14]</sup>报道的方法。

1.2.5 核苷酸测定 核苷酸及其关联产物的提取和检测参照Zhang等<sup>[15]</sup>报道的方法。

### 1.3 数据处理

利用SPSS 21.0和Excel 2016进行处理,结果采用“平均值±标准差”表示,根据单因子方差分析(one-way ANOVA, LSD)方法对数据进行差异显著性比较分析, $P < 0.05$ 为数据之间存在显著性差异。

## 2 结果分析

### 2.1 肌肉常规营养成分含量比较分析

常规营养成分包括水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分4个部分,肌肉的营养价值主要取决于其蛋白质和脂肪含量,4种F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉的常规营养成分含量如表2所示。

表2 4种F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉的常规营养成分

品种 Variety	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Ash
MPF+MPM	74.46±1.00	18.21±0.58	2.14±0.30 <sup>b</sup>	1.34±0.19 <sup>c</sup>
PMF+PMM	73.20±1.00	17.92±0.16	6.91±0.85 <sup>a</sup>	1.90±0.07 <sup>a</sup>
MF+MM	76.69±0.34	18.18±0.64	2.78±0.08 <sup>b</sup>	2.35±0.12 <sup>a</sup>
PF+PM	77.97±0.41	17.36±0.58	2.81±0.15 <sup>b</sup>	1.86±0.12 <sup>b</sup>

结果同一列上标字母不同,表示数据之间存在显著性差异( $P < 0.05$ ),无字母或数据肩标相同表示差异不显著( $P > 0.05$ ),粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量建立在干物质基础上

In the same column of our study, values with different letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), while with no letter or the same letter superscripts means no significant difference ( $P > 0.05$ ); crude protein, crude fat and ash content are based on dry matter

结果显示,MP与PM、P、M水分含量均无显著差异( $P > 0.05$ );MP粗蛋白质的含量分别高于PM、P、M 3个组合,但差异均不显著( $P > 0.05$ );MP的粗脂肪含量低于P、M( $P > 0.05$ ),显著低于PM( $P < 0.05$ );MP灰分含量显著低于M( $P < 0.05$ ),与P、PM差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2 总氨基酸分析

2.2.1 氨基酸组成分析 本试验中,除色氨酸(Trp)在酸水解条件下被破坏未检测出,8个组合肌肉均检测到17种氨基酸,其中包括7种必需氨基酸,4种鲜味氨基酸,2种半必需氨基酸,总氨基酸组成及含量结果如表3所示。

结果显示:在4种F<sub>1</sub>代泥鳅的肌肉总氨基酸含量中,MPF的DAA、EAA、NEAA、TAA含量均显著高于PMM、MM、MF( $P < 0.05$ ),与PM、PMF、MPM差异不显著( $P > 0.05$ ),显著低于PF( $P < 0.05$ );MPM的DAA、EAA、NEAA、TAA含量均显著高于PMM、MM、MF( $P < 0.05$ ),与PM、PMF、MPF差异不显著( $P > 0.05$ ),显著低于PF( $P < 0.05$ )。

在4种F<sub>1</sub>代泥鳅的肌肉总氨基酸含量中,雌性与雄性个体存在差异。雌性组合总氨基酸含量依次为MF(41.15 mg/g)、MPF(54.95 mg/g)、PMF(55.60 mg/g)、PF(59.89 mg/g),雄性组合总氨基酸含量依次为MM(48.44 mg/g)、PMM(53.23 mg/g)、MPM(53.95 mg/g)、PM(58.35 mg/g),表明雌性MP组合肌肉总氨基酸含量高于M低于PM、P,雄性MP组合肌肉总氨基酸含量高于M、PM,低于P。

在4种F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉蛋白质中必需氨基酸含量中,雌性依次为MF(16.23 mg/g)、PMF(21.72 mg/g)、MPF(21.75 mg/g)、PF(23.54 mg/g),雄性依次为MM(19.22 mg/g)、PMM(20.92 mg/g)、MPM(21.10 mg/g)、PM(22.75 mg/g),表明雌性与雄性的MP组合肌肉蛋白质中必需氨基酸含量均高于M、PM,低于P。

鲜味氨基酸包括天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)4种,在4种F<sub>1</sub>代泥鳅的肌肉含鲜味氨基酸占比中,雌性依次为MPF(38%)、PF(38%)、MF(39%)、PMF(39%),4个组合雄性均为39%。8个泥鳅组合的4种鲜味氨基酸中,Glu含量均为最高。

2.2.2 必需氨基酸分析 利用必需氨基酸氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)评价食物蛋白质营养价值,结果见表4。

通过公式计算 AAS,每个组合数值大于 1 的分别为 MPM 的苏氨酸(Thr)和赖氨酸(Lys),MPF 的苏氨酸(Thr)和赖氨酸(Lys),PM 的苏氨酸(Thr)、亮氨酸(Leu)和赖氨酸(Lys),PF 的苏氨酸(Thr)、亮氨酸(Leu)和赖氨酸(Lys),MM 的赖氨酸(Lys),MF 的赖氨酸(Lys),PMF 的苏氨酸(Thr)、亮氨酸(Leu)和赖氨酸(Lys),PMM 的苏氨酸(Thr)、亮氨酸(Leu)和赖氨酸(Lys)。AAS 结果可知,8 个泥鳅组合肌肉中蛋氨酸均为第一限制氨基酸。通过计算化学评分 CS 可以看出,8 个泥鳅组合肌肉的蛋氨酸评分皆为最低,为第一限制氨基酸。结合 AAS 和 CS 表明,蛋氨酸为 4 个泥鳅种的共同第一限制性氨基酸。

表 3 不同组合泥鳅肌肉的总氨基酸组成及含量

**Tab.3 The total amino acid composition and content of loach muscle of different combinations mg/g**

项目 Item	MPF	MPM	PMF	PMM	MF	MM	PF	PM
苏氨酸 Thr #	2.59±0.03 <sup>b</sup>	2.56±0.09 <sup>b</sup>	2.66±0.12 <sup>ab</sup>	2.54±0.18 <sup>b</sup>	1.96±0.02 <sup>c</sup>	2.33±0.26 <sup>b</sup>	2.94±0.11 <sup>a</sup>	2.92±0.13 <sup>a</sup>
缬氨酸 Val #	2.38±0.04 <sup>ab</sup>	2.31±0.09 <sup>b</sup>	2.41±0.09 <sup>ab</sup>	2.36±0.20 <sup>ab</sup>	1.81±0.01 <sup>c</sup>	2.12±0.25 <sup>b</sup>	2.60±0.08 <sup>a</sup>	2.53±0.07 <sup>ab</sup>
蛋氨酸 Met #	1.50±0.11 <sup>ab</sup>	1.52±0.04 <sup>ab</sup>	1.53±0.08 <sup>ab</sup>	1.47±0.12 <sup>b</sup>	1.13±0.02 <sup>c</sup>	1.37±0.17 <sup>b</sup>	1.69±0.06 <sup>a</sup>	1.69±0.08 <sup>a</sup>
异亮氨酸 Ile #	2.10±0.03 <sup>ab</sup>	2.00±0.09 <sup>ab</sup>	2.14±0.09 <sup>a</sup>	2.08±0.16 <sup>ab</sup>	1.58±0.02 <sup>c</sup>	1.86±0.23 <sup>b</sup>	2.28±0.07 <sup>a</sup>	2.23±0.07 <sup>a</sup>
亮氨酸 Leu #	4.34±0.05 <sup>ab</sup>	4.25±0.22 <sup>b</sup>	4.43±0.25 <sup>ab</sup>	4.19±0.31 <sup>b</sup>	3.23±0.04 <sup>c</sup>	3.87±0.43 <sup>b</sup>	4.79±0.2 <sup>a</sup>	4.68±0.19 <sup>ab</sup>
苯丙氨酸 Phe #	3.16±0.13 <sup>ab</sup>	3.02±0.18 <sup>ab</sup>	3.06±0.26 <sup>ab</sup>	3.03±0.19 <sup>ab</sup>	2.44±0.13 <sup>b</sup>	2.83±0.27 <sup>b</sup>	3.4±0.12 <sup>a</sup>	3.05±0.12 <sup>ab</sup>
赖氨酸 Lys #	5.68±0.04 <sup>a</sup>	5.43±0.29 <sup>ab</sup>	5.48±0.32 <sup>a</sup>	5.25±0.35 <sup>ab</sup>	4.08±0.04 <sup>c</sup>	4.84±0.53 <sup>b</sup>	5.84±0.22 <sup>a</sup>	5.66±0.18 <sup>a</sup>
天冬氨酸 Asp ※	5.81±0.08 <sup>a</sup>	5.70±0.22 <sup>ab</sup>	5.96±0.29 <sup>a</sup>	5.67±0.41 <sup>ab</sup>	4.41±0.06 <sup>c</sup>	5.28±0.6 <sup>b</sup>	6.33±0.24 <sup>a</sup>	6.31±0.27 <sup>a</sup>
丝氨酸 Ser	2.31±0.02 <sup>b</sup>	2.34±0.08 <sup>ab</sup>	2.39±0.11 <sup>ab</sup>	2.28±0.17 <sup>b</sup>	1.75±0.03 <sup>c</sup>	2.05±0.22 <sup>b</sup>	2.54±0.11 <sup>a</sup>	2.56±0.12 <sup>a</sup>
谷氨酸 Glu ※	8.58±0.13 <sup>ab</sup>	8.43±0.38 <sup>ab</sup>	9.03±0.52 <sup>a</sup>	8.58±0.62 <sup>ab</sup>	6.79±0.13 <sup>b</sup>	7.90±0.93 <sup>b</sup>	9.48±0.51 <sup>a</sup>	9.51±0.53 <sup>a</sup>
甘氨酸 Gly ※	2.78±0.02 <sup>a</sup>	2.89±0.31 <sup>a</sup>	2.76±0.07 <sup>a</sup>	2.72±0.23 <sup>a</sup>	2.01±0.02 <sup>b</sup>	2.33±0.24 <sup>b</sup>	2.92±0.06 <sup>a</sup>	2.82±0.17 <sup>a</sup>
丙氨酸 Ala ※	3.93±0.05 <sup>ab</sup>	3.89±0.07 <sup>ab</sup>	3.95±0.21 <sup>ab</sup>	3.68±0.25 <sup>b</sup>	2.87±0.03 <sup>c</sup>	3.4±0.41 <sup>b</sup>	4.26±0.14 <sup>a</sup>	4.09±0.14 <sup>ab</sup>
酪氨酸 Tyr	1.75±0.01 <sup>b</sup>	1.71±0.12 <sup>b</sup>	1.77±0.12 <sup>ab</sup>	1.67±0.13 <sup>b</sup>	1.3±0.04 <sup>c</sup>	1.54±0.14 <sup>b</sup>	1.98±0.09 <sup>a</sup>	1.91±0.11 <sup>ab</sup>
NH3	0.74±0.01 <sup>ab</sup>	0.70±0.03 <sup>b</sup>	0.72±0.04 <sup>ab</sup>	0.70±0.04 <sup>b</sup>	0.55±0.02 <sup>c</sup>	0.63±0.07 <sup>bc</sup>	0.80±0.03 <sup>a</sup>	0.74±0.04 <sup>ab</sup>
组氨酸 His *	1.32±0.02 <sup>c</sup>	1.28±0.07 <sup>c</sup>	1.37±0.09 <sup>c</sup>	1.37±0.06 <sup>c</sup>	0.98±0.06 <sup>d</sup>	1.14±0.11 <sup>d</sup>	1.79±0.06 <sup>a</sup>	1.58±0.08 <sup>b</sup>
精氨酸 Arg *	3.87±0.04 <sup>ab</sup>	3.79±0.04 <sup>ab</sup>	3.83±0.15 <sup>ab</sup>	3.61±0.32 <sup>b</sup>	2.75±0.06 <sup>d</sup>	3.24±0.39 <sup>c</sup>	4.02±0.17 <sup>a</sup>	3.92±0.17 <sup>ab</sup>
脯氨酸 Pro	2.11±0.03 <sup>a</sup>	2.12±0.12 <sup>a</sup>	2.10±0.08 <sup>a</sup>	2.01±0.17 <sup>a</sup>	1.51±0.01 <sup>b</sup>	1.72±0.18 <sup>b</sup>	2.23±0.09 <sup>a</sup>	2.16±0.08 <sup>a</sup>
Σ DAA	21.10 <sup>ab</sup>	20.91 <sup>ab</sup>	21.69 <sup>ab</sup>	20.66 <sup>b</sup>	16.08 <sup>c</sup>	18.90 <sup>bc</sup>	23.00 <sup>a</sup>	22.74 <sup>ab</sup>
Σ EAA	21.75 <sup>ab</sup>	21.10 <sup>ab</sup>	21.72 <sup>ab</sup>	20.92 <sup>b</sup>	16.23 <sup>c</sup>	19.22 <sup>bc</sup>	23.54 <sup>a</sup>	22.75 <sup>ab</sup>
Σ NEAA	33.20 <sup>ab</sup>	32.85 <sup>ab</sup>	33.88 <sup>ab</sup>	32.30 <sup>b</sup>	24.92 <sup>c</sup>	29.22 <sup>bc</sup>	36.36 <sup>a</sup>	35.61 <sup>ab</sup>
Σ TAA	54.95 <sup>ab</sup>	53.95 <sup>ab</sup>	55.60 <sup>ab</sup>	53.23 <sup>b</sup>	41.15 <sup>c</sup>	48.44 <sup>bc</sup>	59.89 <sup>a</sup>	58.35 <sup>ab</sup>
DAA/TAA	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.39
EAA/TAA	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.40	0.39	0.39
EAA/NEAA	0.66	0.64	0.64	0.65	0.65	0.66	0.65	0.64

※为鲜味氨基酸;#为必需氨基酸;\*为半必需氨基酸;Σ DAA 为鲜味氨基酸总量;Σ EAA 为必需氨基酸总量;Σ NEAA 为非必需氨基酸;Σ TAA 为氨基酸总量;结果同一行上标字母不同,表示数据之间存在显著性差异(P<0.05),无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著(P>0.05)

※ is umami amino acid;# is essential amino acid;\* is semi-essential amino acid;Σ DAA is the total amount of umami amino acids;Σ EAA is the total amount of essential amino acids;Σ NEAA is non-essential amino acids;Σ TAA is the total amount of amino acids;In the same line of our study, values with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with no letter or the same letter superscript means no significant difference(P>0.05)

必需氨基酸指数(EAAI)是评价食物蛋白质营养价值的常用指标之一,它是鸡蛋蛋白质必需氨基酸为参评标准,EAAI 越大,则营养价值越高。表 4 显示,4 个泥鳅种雌性的 EAAI 从小到大依次为 MF (51.8)、MPF (68.96)、PMF (69.28)、PF (75.29),雄性的 EAAI 从小到大依次为 MM (61.34)、PMM (66.9)、MPM (67.16)、PM (72.94)。表明雌性 MP 组合与雄性 MP 组合营养价值均优于 M,劣于 P,与 PM 相近。

表 4 不同组合泥鳅肌肉的必需氨基酸组成评价

Tab.4 Evaluation of essential amino acid composition of loach muscle from different combinations

氨基酸种类 Amino acid species	鸡蛋蛋白 Egg protein	FAO评分 模式 FAO Score model	MPF		MPM		PMF		PMM		MF		MM		PF		PM	
			AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
			评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分	评分
苏氨酸 Thr	292	250	1.04	0.89	1.02	0.88	1.07	0.91	1.02	0.87	0.78	0.67	0.93	0.8	1.17	1.01	1.17	1
缬氨酸 Val	411	310	0.77	0.58	0.75	0.56	0.78	0.59	0.76	0.57	0.58	0.44	0.68	0.51	0.84	0.63	0.82	0.62
蛋氨酸 Met	386	220	0.68	0.39	0.69	0.39	0.69	0.4	0.67	0.38	0.51	0.29	0.62	0.35	0.77	0.44	0.77	0.44
异亮氨酸 Ile	331	250	0.84	0.63	0.8	0.6	0.86	0.65	0.83	0.63	0.63	0.48	0.75	0.56	0.91	0.69	0.89	0.67
亮氨酸 Leu	534	440	0.99	0.81	0.97	0.8	1.01	0.83	0.95	0.78	0.73	0.6	0.88	0.73	1.09	0.9	1.06	0.88
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	565	380	0.83	0.56	0.79	0.53	0.8	0.54	0.8	0.54	0.64	0.43	0.75	0.5	0.89	0.6	0.8	0.54
赖氨酸 Lys	441	340	1.67	1.29	1.6	1.23	1.61	1.24	1.55	1.19	1.2	0.92	1.42	1.1	1.72	1.32	1.66	1.28
必需氨基酸指数 EAAI			68.96		67.16		69.28		66.9		51.8		61.34		75.29		72.94	

2.3 4种 F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉呈味核苷酸含量分析

肌苷酸(IMP)是一种常见的呈味性核苷酸,本身具有鲜味,且IMP可以转变成腺嘌呤核糖核苷酸(AMP)。ATP是生命有机体的能量单元,其代谢过程中释放磷酸集团,依次形成二磷酸腺苷(ADP)与AMP,同时AMP也能可逆地结合磷酸基团形成ADP和ATP。次黄嘌呤(Hx)是AMP的分解代谢产物,是核糖核酸(RNA)水解的低分子量的中间产物。次黄嘌呤核苷(HxR)也称肌苷,是以Hx为碱基部分的核糖核苷的一种。8个泥鳅组合每100g肌肉核苷酸含量如表5所示。

表 5 不同组合泥鳅肌肉的核苷酸含量

Tab.5 Nucleotide content in muscle of different combination of loach mg(以100g测量值计)

核苷酸 Nucleotide	MPF	MPM	PMF	PMM	MF	MM	PF	PM
IMP	3.92±0.45 <sup>ab</sup>	3.88±0.08 <sup>b</sup>	3.83±0.06 <sup>b</sup>	3.97±0.04 <sup>ab</sup>	3.54±0.02 <sup>b</sup>	3.95±0.09 <sup>ab</sup>	4.26±0.12 <sup>ab</sup>	4.34±0.24 <sup>a</sup>
ATP	5.45±0.89	4.82±0.14	5.07±0.04	5.05±0.07	5.02±0.12	5.11±0.12	5.22±0.19	4.94±0.25
ADP	4.48±0.69	3.90±0.10	4.40±0.24	4.01±0.09	4.04±0.07	4.13±0.19	3.99±0.12	4.21±0.23
AMP	8.73±3.16	7.55±0.26	7.74±0.12	7.86±0.19	7.02±0.54	6.72±0.15	8.94±0.77	7.82±0.36
Hx	34.55±4.18	40.02±2.54	44.29±2.48	43.30±2.52	44.39±1.62	41.34±0.96	54.52±3.22	43.97±5.24
HxR	1.40±1.21	1.81±0.29	0.92±0.07	1.69±0.10	0.62±0.02	0.77±0.09	7.61±0.41	6.78±0.33

结果同一行上标字母不同,表示数据之间存在显著性差异(P<0.05),无字母表示差异不显著(P>0.05)

In the same line of our study, values with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with no letter means no significant difference (P>0.05)

在4种F<sub>1</sub>代泥鳅的每100g肌肉中鲜味核苷酸IMP含量中,MPF的含量显著低于PM(P<0.05),与PF、PMM、MM差异不显著(P>0.05),显著高于MPM、PMF、MF(P<0.05);MPM的含量显著低于PM、PF、PMM、MM、MPF(P<0.05),与PMF、MF差异不显著(P>0.05)。雌性依次为MF(3.54±0.02)mg、PMF(3.83±0.06)mg、MPF(3.92±0.45)mg、PF(4.26±0.12)mg,雄性依次为MPM(3.88±0.08)mg、MM(3.95±0.09)mg、PMM(3.97±0.04)mg、PM(4.34±0.24)mg,表明雌性MP组合IMP含量高于M、PM,低于P;雄性MP组合IMP含量低于M、PM、P。

在100g肌肉中苦味核苷酸Hx含量方面,雌性依次为MPF(34.55±4.18)mg、PMF(44.29±2.48)mg、MF(44.39±1.62)mg、PF(54.52±3.22)mg,雄性依次为MPM(40.02±2.54)mg、MM(41.34±0.96)mg、PMM(43.30±2.52)mg、PM(43.97±5.24)mg,表明雌性、雄性MP组合Hx含量均低于M、PM、P。

在100g肌肉中抑制苦味核苷酸AMP含量方面,雌性依次为MF(7.02±0.54)mg、PMF(7.74±0.12)mg、MPF(8.73±3.16)mg、PF(8.94±0.77)mg,雄性依次为MM(6.72±0.15)mg、MPM(7.55±0.26)mg、PM(7.82±0.36)mg、PMM(7.86±0.19)mg,表明雌性MP组合AMP含量高于M、PM,低于P;雄性MP组合AMP含量高于M,低于P、PM。

### 2.4 4种F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉游离氨基酸含量分析

8个泥鳅组合肌肉游离氨基酸含量(以100g测量值计)见表6。

表6 不同组合泥鳅肌肉的游离氨基酸含量

Tab.6 Free amino acid content of loach muscle in different combinations mg(以100g测量值计)

项目 Item	MPF	MPM	PMF	PMM	MF	MM	PF	PM
天冬氨酸 Asp	0.76±0.00	-	1.71±0.09	1.41±0.19	0.82±0.03	1.55±0.24	0.77±0.04	-
苏氨酸 Thr	5.52±0.34	5.99±0.04	8.65±0.40	8.16±0.44	5.28±0.13	7.27±1.09	24.41±0.26*	28.18±0.49*
色氨酸 Ser	4.03±0.15	4.70±0.05	6.15±0.23	5.60±0.32	2.5±0.07	3.42±0.48	7.46±0.22	7.98±0.14
谷氨酸 Glu	1.68±0.17	1.09±0.09	4.59±0.39	2.20±0.51	1.67±0.03	2.89±0.35	12.79±0.23	11.55±0.46
甘氨酸 Gly	5.39±0.19	7.07±0.10	11.05±0.21	12.24±0.77	5.81±0.17	9.41±1.43	17.6±0.21	20.71±0.27
丙氨酸 Ala	12.72±0.56	10.87±0.3	17.59±0.67	13.66±0.23	5.58±0.29	13.26±2.08	15.61±0.16	21.46±0.09
缬氨酸 Val	6.30±0.01	5.37±0.20	5.75±0.20	5.55±0.20	2.52±0.07	2.89±0.46	5.04±0.08	5.10±0.09
蛋氨酸 Met	2.42±0.25	2.24±0.56	1.63±0.15	1.70±0.06	1.12±0.27	1.32±0.24	2.02±0.17	1.93±0.15
异亮氨酸 Ile	5.25±0.29	4.08±0.52	4.26±0.17	4.00±0.13	1.91±0.51	2.51±0.41	3.94±0.16	3.47±0.14
亮氨酸 Leu	7.03±0.04	5.95±0.39	6.43±0.22	5.92±0.21	2.74±0.29	3.57±0.58	5.91±0.05	5.02±0.07
酪氨酸 Tyr	4.09±0.50	4.26±0.46	3.27±0.19	3.97±0.14	2.21±0.39	3.53±0.56	2.66±0.09	3.02±0.14
苯丙氨酸 Phe	4.41±0.06	3.90±0.19	3.40±0.20	3.53±0.20	2.22±0.32	2.41±0.33	2.21±0.11	2.37±0.07
赖氨酸 Lys	70.95±1.77*	64.37±5.40*	28.29±2.00*	36.41±2.08*	20.25±0.68*	20.88±3.61*	10.78±0.73	12.03±0.11
NH <sub>3</sub>	10.57±0.30	10.53±0.38	9.88±0.55	11.14±0.27	9.00±1.07	8.75±1.34	9.41±0.33	9.49±0.37
组氨酸 His	7.28±0.40	8.69±0.37	16.47±0.67	12.09±0.87	9.74±0.33	16.10±2.38	20.11±0.44	21.11±0.63
精氨酸 Arg	-	17.15±2.32	6.48±0.33	8.79±0.62	6.47±0.30	-	3.94±0.14	4.20±0.19
脯氨酸 Pro	-	-	4.28±0.33	-	-	-	3.96±0.35	3.62±0.21

“-”表示未检出;“\*”标注为含量最高

“-” means not detected; “\*” is marked with the highest content

由表6可见,每100g肌肉中PF、PM所含游离氨基酸含量最大的是苏氨酸(Thr),分别为(24.41±0.26)mg、(28.18±0.49)mg;而MPF、MPM所含游离氨基酸含量最大的是赖氨酸(Lys),分别为(70.95±1.77)mg、(64.37±5.40)mg,与MF、MM、PMF、PMM中游离氨基酸含量分布特征一致。

### 2.5 4种F<sub>1</sub>代泥鳅肌肉核苷酸、游离氨基酸味道强度值

味道强度值(TAV)是各呈味物质在样品中的含量与其对应的味道阈值之比。当TAV大于1时,该物质对样品的滋味有重要影响。8个组合泥鳅种肌肉TAV见表7。

表7 各组合的游离氨基酸与核苷酸含量及味道强度值

Tab.7 Free amino acid and nucleotide content and TAV of each combination

氨基酸与核苷酸 Amino acids and nucleotides	味道阈值 <sup>[17]</sup> Taste active value (mg·100 <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	味道强度值 TAV								味道特征 Taste characteristics
		MPF	MPM	PMF	PMM	MF	MM	PF	PM	
		天冬氨酸 Asp	100	0.01	\	0.02	0.01	0.01	0.02	
谷氨酸 Glu	30	0.06	0.04	0.15	0.07	0.06	0.1	0.43	0.39	鲜/酸(+)
甘氨酸 Gly	130	0.04	0.05	0.09	0.09	0.04	0.07	0.14	0.16	甜(+)
丙氨酸 Ala	60	0.21	0.18	0.29	0.23	0.09	0.22	0.26	0.36	甜(+)
蛋氨酸 Met	30	0.08	0.07	0.05	0.06	0.04	0.04	0.07	0.06	苦/甜(-)
赖氨酸 Lys	50	1.42*	1.29*	0.57	0.73	0.4	0.42	0.22	0.24	甜/苦(-)
精氨酸 Arg	50	0.41	0.34	0.13	0.18	0.13	0.1	0.08	0.08	苦/甜(+)
肌苷酸 IMP	25	0.16	0.16	0.15	0.17	0.14	0.16	0.17	0.17	
腺嘌呤核糖核苷酸 AMP	50	0.17	0.15	0.15	0.16	0.14	0.13	0.18	0.16	

上述阈值皆是指在水溶液中的阈值;“+”:味道佳;“-”:味道差;“\”:未检出。“\*”标注为含量最高

All the above thresholds refer to the thresholds in aqueous solution; “+”: taste better; “-”: poor taste; “\”: not detected; “\*” is marked with the highest content

结果表明,仅MPM与MPF的赖氨酸(Lys)的TAV大于1,MPM与MPF的其余氨基酸及其他组合的全部游离氨基酸的TAV均小于1;8个泥鳅组合的核苷酸TAV均小于1。

### 3 讨论与结论

鱼体肌肉营养成分与其生长环境、活动空间、生长阶段、饲料组成等都有着紧密的联系,不同物种由于遗传物质不同,鱼类的肌肉营养成分含量也不同<sup>[16-22]</sup>。通过杂交育种得到的杂交子代在一些营养指标中明显高于其父母本,显现出一定的杂交优势<sup>[7-8,23-24]</sup>。本研究通过测定基本营养成分、总氨基酸、呈味氨基酸与游离氨基酸来评价MP组合肌肉的品质。结果表明,2个属间杂交F<sub>1</sub>代的基本营养成分含量、总氨基酸含量、呈味氨基酸含量与游离氨基酸含量均处于2个自交F<sub>1</sub>代的中间,2个属间杂交F<sub>1</sub>代优于泥鳅自交F<sub>1</sub>代、劣于大鳞副泥鳅自交F<sub>1</sub>代。

#### 3.1 基本营养成分评价

肌肉中水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分等常规营养物质含量的高低是衡量鱼类滋味和营养价值的重要指标。鱼类肌肉中高含量的蛋白质可以为鱼肉增加一些营养价值,适宜的脂肪含量可以为鱼肉增加一些风味与口感,有研究报道,鱼类肌肉中的脂肪含量与肉质风味和细嫩程度成正比<sup>[24]</sup>。本研究研制的MP粗蛋白质的含量高于PM、P、M 3个组合,低于野生大鳞副泥鳅<sup>[25]</sup>、野生泥鳅<sup>[25]</sup>;粗脂肪含量低于PM、人工养殖泥鳅<sup>[26]</sup>、野生大鳞副泥鳅<sup>[25]</sup>,与P、M 2个组合无显著性差异,高于中华沙鳅<sup>[27]</sup>、花斑副沙鳅<sup>[28]</sup>。因此,MP在常规营养成分评价中表现出水分、灰分、蛋白质含量适中且脂肪含量相对较高的特征。

#### 3.2 总氨基酸评价

鱼肉蛋白质的鲜美程度受其鲜味氨基酸组成及含量的影响,本研究研制的MP肌肉的鲜味氨基酸含量与3个对照组一致,并在经济鱼类中处于中等水平,呈现出一定的优势。

在FAO/WHO的理想模式中,氨基酸组成中的必需氨基酸含量占氨基酸总量(EAA/TAA)为35.38%,必需氨基酸含量与非必需氨基酸氨基酸的比值(EAA/NEAA)在60%以上,即认为是优质蛋白质,必需氨基酸指数(EAAI)值越大,营养价值越高<sup>[6]</sup>。本研究中,MP组合的EAA/TAA为39.5%,EAA/NEAA为64%,表明MP肌肉蛋白为优质蛋白质;MP的EAAI值大于M,小于P,接近于PM(表4),表明MP营养价值优于M,劣于P,接近于PM;与其他来自不同养殖环境或模式的鳅科鱼类相比,MP的EAAI值高于人工养殖泥鳅<sup>[18]</sup>、野生大鳞副泥鳅<sup>[25]</sup>、野生泥鳅<sup>[25]</sup>、野生秀丽高原鳅<sup>[29]</sup>。同时,笔者推测鱼类肌肉氨基酸含量水平与养殖模式、养殖密度及其饵料来源等方面有密切关系,但有待进一步试验验证。

#### 3.3 呈味核苷酸与游离氨基酸评价

呈味核苷酸与游离氨基酸TAV结果显示,仅MPM与MPF的赖氨酸(Lys)的TAV大于1,对呈味具有显著贡献;MPM与MPF的其余氨基酸及其他组合的全部游离氨基酸的TAV均小于1,对肌肉的呈味没有直接的影响;8个泥鳅组合的核苷酸TAV均小于1,对肌肉的呈味亦没有直接的影响。与贝类<sup>[30]</sup>、大黄鱼<sup>[31]</sup>等相比,MP与3个对照组泥鳅均没有丰富的呈味氨基酸,但有研究表明,核苷酸之间、核苷酸与氨基酸之间的协同增效作用可以增加肌肉的鲜味<sup>[32]</sup>,对其肌肉滋味应有提升作用。结合表6和表7可知,MP肌肉中游离氨基酸含量最高为赖氨酸,且是主要呈味氨基酸,呈现“甜味”特征,作为动物体生长的必需氨基酸而体现出重要的营养价值。

4个选育泥鳅种中,MP在常规营养成分评价中表现出水分、灰分、蛋白含量适中且脂肪含量相对较高的特征,肌肉中的EAA的构成比例达到FAO/WHO的理想模式要求,EAAI值大于M,小于P,接近于PM,表明MP营养价值优于M,劣于P,接近于PM,是一种营养价值高、味道鲜味的淡水经济鱼类,即通过继续优化亲本群体,再通过杂交(正交)能够有效地改善泥鳅的肌肉营养品质。

#### 参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴2019[Z].北京:中国农业出版社,2019:25.  
Fisheries and Fishery Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs.China fishery statistics year-book 2019[Z].Beijing:China Agriculture Press,2019:25.
- [2] 王梦杰,王海华,陈建华.泥鳅营养成分和营养需求研究进展[J].江西水产科技,2018,162(6):10-13.

- Wang M J, Wang H H, Chen J H. Advances in nutritional composition and nutritional requirements of loach [J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2018, 162(6): 10-13.
- [3] 王茵, 郭书悦, 何国森, 等. 台湾泥鳅的营养成分分析及评价 [J]. *渔业研究*, 2017, 39(5): 371-378.  
Wang Y, Guo S Y, He G S, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of *Misgurnus anguillicaudatus* Formosa [J]. *Journal of Fisheries Research*, 2017, 39(5): 371-378.
- [4] 王石, 汤陈宸, 陶敏, 等. 鱼类远缘杂交育种技术的建立及应用 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2018, 48(12): 1310-1329.  
Wang S, Tang C C, Tao M, et al. Establishment and application of distant hybridization technology in fish [J]. *Science China Life Sciences*, 2018, 48(12): 1310-1329.
- [5] 楼允东, 李小勤. 中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用 [J]. *中国水产科学*, 2006, 13(1): 151-158.  
Lou Y D, Li X Q. Distant hybridization of fish and its application in aquaculture in China [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(1): 151-158.
- [6] 蒋大宁, 朱明, 许建和, 等. 泥鳅杂交  $F_1$  代与亲本的生长及形态性状比较分析 [J]. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2018, 27(1): 75-80.  
Jiang D N, Zhu M, Xu J H, et al. Comparative analysis of the growth and morphology traits of hybridization loach  $F_1$  with their parents [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2018, 27(1): 75-80.
- [7] 杨兴丽, 胡亚东, 屈长义, 等. 四倍体泥鳅与大鳞副泥鳅杂交种含肉率及肌肉营养成分分析与评价 [J]. *河南水产*, 2017(6): 23-27.  
Yang X L, Hu Y D, Qu C Y, et al. Analysis and evaluation of meat content and muscle nutritional components in hybrid of tetraploid *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* [J]. *Henan Fisheries*, 2017(6): 23-27.
- [8] 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.  
Wang L N, Tian Y S, Tang J, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper” [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1085-1093.
- [9] 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
National food safety standard—determination of moisture in foods: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [10] 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
National food safety standard—determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [11] 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
National food safety standard—determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [12] 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
National food safety standard—determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [13] 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
National food safety standard—determination of amino acids in foods: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [14] Chen D, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Chemistry*, 2006, 103(4): 1343-1349.
- [15] Zhang R, Qiu W, Zhang M, et al. Effects of different heating methods on the contents of nucleotides and related compounds in minced Pacific white shrimp and Antarctic krill [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 87: 142-150.
- [16] Manners J C, Cummings J H, Englyst H N, et al. FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: conclusions [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2007, 61(1): 1-4.
- [17] FUKU S, UEDA Y. Interactions between umami and other flavor characteristics [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 1996, 7(12): 407-411.
- [18] 程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析 [J]. *食品科学*, 2013, 34(13): 266-270.  
Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, et al. Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Food Science*, 2013, 34(13): 266-270.
- [19] 曹颖霞, 崔海鹏, 刘岩奇, 等. 池塘和水库养殖鱼类营养成分分析与比较 [J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*,

- 2007(5):555-558.
- Cao Y X, Cui H P, Liu Y Q, et al. Analysis of nutritious composition between cultured fish in pond and reservoir[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences), 2007(5):555-558.
- [20] 张美彦, 曾圣, 杨星, 等. 不同生长阶段杂交鲟肌肉营养成分的比较研究[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9):1-9.
- Zhang M Y, Zeng S, Yang X, et al. Comparative study on nutrient components in muscle of hybrid sturgeon at different growth stages [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(9):1-9.
- [21] 彭英海, 王晓清, 周先文, 等. 稻田和池塘养殖鲤鱼的肌肉营养成分分析[J]. 水产养殖, 2019, 40(1):1-4.
- Peng Y H, Wang X Q, Zhou X W, et al. Comparative analysis on nutrient composition in the muscle of common carp in rice field and farm pond[J]. Journal of Aquaculture, 2019, 40(1):1-4.
- [22] 潘彬斌, 冯晓宇, 刘新轶, 等. 杭州地区三种养殖鲫鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 科学养鱼, 2013(11):75-76.
- Pan B B, Feng X Y, Liu X Y, et al. Comparative analysis of muscle nutrition of three kinds of crucian carp cultured in Hangzhou [J]. Scientific Fish Farming, 2013(11):75-76.
- [23] 张佳佳, 张国松, 张宏叶, 等. 黄颡鱼(♀)×瓦氏黄颡鱼(♂)双亲及其杂交子代核型和营养成分分析[J]. 海洋渔业, 2017, 39(2):149-161.
- Zhang J J, Zhang G S, Zhang H Y, et al. Comparative analysis of the karyotype and nutritional ingredient for the hybrids of *Pelteobagrus fulvidraco*(♀)×*P. vachelli*(♂) and their parental fish[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(2):149-161.
- [24] 张年国, 潘桂平, 周文玉, 等. 菊黄东方鲀、暗纹东方鲀及其杂交F<sub>1</sub>代肌肉营养成分的比较分析[J]. 动物学杂志, 2016, 51(4):633-641.
- Zhang N G, Pan G P, Zhou W Y, et al. Comparative analysis on the muscle nutrient composition of tawny puffer (*Takifugu flavidus*), obscure puffer (*T. obscurus*) and their Hybrid F<sub>1</sub> Generation[J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(4):633-641.
- [25] 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组成分析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2016, 21(5):330-337.
- Hang G M, Bi J H, Tang H J, et al. Nutritive composition of *Misgurnus anguillicaudatu* and *Paramisgurnus dabryanus* muscle in shaobo lake area[J]. Journal of Jimei University (Natural Science Edition), 2016, 21(5):330-337.
- [26] 张竹青, 李正友, 胡世然, 等. 人工养殖泥鳅含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(5):159-162.
- Zhang Z Q, Li Z Y, Hu S R, et al. Analysis of meat content and muscle nutrition of *Misgurnus anguillicaudatu* in artificial culture[J]. Agricultural Science of Guizhou, 2010, 38(5):159-162.
- [27] 何斌, 陈先均, 龙治海, 等. 中华沙鳅肌肉营养成分分析及营养学评价[J]. 淡水渔业, 2013, 43(3):93-96.
- He B, Chen X J, Long Z H, et al. Nutritive component analysis and nutritive evaluation of muscle of *Sinibotia superciliaris*[J]. Freshwater Fishery, 2013, 43(3):93-96.
- [28] 伍远安, 梁志强, 袁希平, 等. 花斑副沙鳅肌肉营养成分分析与评价[J]. 淡水渔业, 2011, 41(1):87-91.
- Wu Y A, Liang Z Q, Yuan X P, et al. The analysis and evaluation of the muscle nutrient components of the *Parabotia fasciata* Dabry[J]. Freshwater Fishery, 2011, 41(1):87-91.
- [29] 崔丽莉, 冷云, 缪祥军, 等. 秀丽高原鳅肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2):70-75.
- Cui L L, Leng Y, Miu X J, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of muscle of the *venusta*[J]. Journal of Water Ecology, 2016, 37(2):70-75.
- [30] 刘云, 宫向红, 徐英江, 等. 烟台近海3种贝类中呈味核苷酸和氨基酸的测定及比较分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2):351-360.
- Liu Y, Gong X H, Xu Y J, et al. Determination and comparative analysis of flavor-enhancing nucleotides and amino acids in three common shellfish from off shore Yantai[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2):351-360.
- [31] 翁丽萍, 赵芸, 陈飞东, 等. 养殖大黄鱼滋味成分及其呈味贡献的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3):82-85.
- Weng L P, Zhao Y, Chen F D, et al. Study on the taste compounds and the contributions to taste of cultured large yellow croaker[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(3):82-85.
- [32] 丁耐克. 食品风味化学[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1996:95-98.
- Ding N K. Food flavor chemistry[M]. Beijing:China Light Industry Press, 1996:95-98.