

# 星突江鲈(*Platichthys stellatus*)、 石鲈(*Kareius bicoloratus*)及其正反 杂交种肌肉的营养成分分析及评价\*

曹栋正<sup>1,2</sup> 张小忠<sup>3</sup> 陈四清<sup>2①</sup> 秦搏<sup>1,2</sup> 常青<sup>2</sup>  
刘长琳<sup>2</sup> 柳茜<sup>1,2</sup> 吕云云<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 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 266071; 3. 青岛市环境保护局市北分局 青岛 266033)

**摘要** 以体重为 338.32–445.98 g 的星突江鲈(*Platichthys stellatus*)、石鲈(*Kareius bicoloratus*)及其正反杂交种为研究对象,采用国家标准方法对其肌肉的营养成分进行了分析,并对其营养品质进行了评价。结果显示,正交种(星突江鲈♀×石鲈♂)的粗蛋白含量显著高于反交种(石鲈♀×星突江鲈♂)( $P<0.05$ ),与星突江鲈、石鲈差异不显著( $P>0.05$ );正交种的粗脂肪含量最高,为 1.44%,显著高于其他 3 种鱼( $P<0.05$ );反交种粗脂肪含量最低,为 0.43%,与星突江鲈差异显著( $P<0.05$ ),与石鲈差异不显著( $P>0.05$ )。正交种的水分含量显著低于反交种( $P<0.05$ ),与星突江鲈、石鲈没有显著性差异( $P>0.05$ ),反交种的水分含量最高。4 种鱼的灰分含量差异不显著( $P>0.05$ );正交种的液体、水分、脂质流失率均显著低于星突江鲈和石鲈( $P<0.05$ ),其熟肉率显著高于反交种( $P<0.05$ )。正交种的必需氨基酸、鲜味氨基酸和氨基酸总量均明显高于其他 3 种鱼,且支/芳值接近人体正常水平。4 种鱼的必需氨基酸总量均高于 FAO/WHO 标准,尤其是正交种,还高于鸡蛋蛋白质标准。正交种的氨基酸评分、化学评分和必需氨基酸指数也均为最高,而反交种均为最低。研究表明,正交种(星突江鲈♀×石鲈♂)营养价值较高,其肌肉品质更优于星突江鲈和石鲈,在营养物质方面具有一定的杂交优势;反交种(石鲈♀×星突江鲈♂)未表现出明显的杂交优势,这为星突江鲈和石鲈杂交育种性状的选择提供了参考。

**关键词** 星突江鲈; 石鲈; 杂交种; 肌肉; 营养成分

**中图分类号** S965 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)03-0034-08

星突江鲈(*Platichthys stellatus*)体扁平、长圆形,侧线发达、于胸鳍上部弯曲,背鳍、臀鳍和尾鳍上分布有黑、白、黄相间的垂直条纹。国内品种主要为左眼型,其营养丰富,肉质细嫩、弹性高,肉味鲜美,口感独特,是高级生鱼片的主要材料(马爱军等, 2006; 齐国山等, 2009)。石鲈(*Kareius bicoloratus*)形态特征与

星突江鲈极为相似,但其侧线较直,两眼均在头的右侧,具有肉质鲜嫩、营养丰富、耐低温能力强等优点(王文君等, 2007)。二者同属于鲈形目(Pleuronectiformes)、鲈科(Pleuronectidae),在生活习性、繁殖调控和遗传进化等方面很相似(马爱军等, 2006; 肖永双等, 2010; Cooper *et al*, 1998; Zhang *et al*, 2008)。目前,针对星

\* 山东省自主创新成果转化专项(2013ZHZX2A0803)和鳌山科技创新计划(2015ASKJ02-03)共同资助。曹栋正, E-mail: dongzhengcao@163.com

① 通讯作者: 陈四清, 研究员, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2015-06-11, 收修改稿日期: 2015-09-15

突江鲮与石鲮杂交育种的研究已有相关报道(Takeda *et al*, 2007), 但尚未见关于星突江鲮与石鲮杂交种肌肉营养成分的研究报道。本研究中, 对星突江鲮、石鲮及其正反杂交种肌肉营养成分进行了比较分析和评价, 探讨了星突江鲮与石鲮正反杂交种肌肉的营养价值, 以期星突江鲮和石鲮杂交育种性状的选择提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

星突江鲮、石鲮及其正反杂交种由山东科合海洋高技术有限公司于 2014 年 9 月提供。其中, 正交种为星突江鲮♀×石鲮♂子一代, 反交种为石鲮♀×星突江鲮♂子一代。4 种鱼为同一批次人工繁殖的 1.5 龄鱼, 体重为 338.32–445.98 g, 全长为 28.2–31.4 cm。各组鱼在同一条件下进行工厂化养殖, 水温为 10–19℃, 盐度为 28.50–30.50, pH 为 7.9–8.0。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 样品采集** 星突江鲮、石鲮及其正反杂交种各取 10 尾, 带回实验室, 立即取样, 每尾鱼的各部位肌肉分开存放, 以保证同一指标测定的为每尾鱼的同一部位肌肉。

**1.2.2 肌肉营养成分的测定** 参照国家标准, 水分含量的测定为常压 105℃烘箱干燥法(GB/T5009.3–1985); 粗蛋白含量的测定为凯氏定氮法(GB/T5009.5–1985); 粗脂肪含量的测定为索氏抽提法(GB/T5009.6–1985); 灰分含量的测定为马弗炉 550℃灼烧法(GB/T 5009.4–1985); 氨基酸的测定采用盐酸水解法(GB/T5009.124–1985), 使用氨基酸自动分析仪测定。

能值计算: 参照 Brett 等(1979)的计算方法, 蛋白质、脂肪、总糖的比能值分别为 23.64、39.54、17.15 kJ/g。能值( $Q$ )的计算公式如下:

$$Q \text{ (kJ/g)} = \omega_1 \times 23.64 + \omega_2 \times 39.54 + \omega_3 \times 17.15$$

式中,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  分别为粗蛋白、粗脂肪、总糖百分含量。

**1.2.3 肌肉系水力的测定** 熟肉率(Cooked meat yield,  $CMY$ , %): 参照黄钧等(2010)和王丽宏等(2014)的测定方法, 每尾鱼取 5 g 左右肌肉, 称初重  $m_0$ , 沸水中煮 15 min, 冷却, 吸去表面水分, 称重  $m_1$ 。熟肉率计算公式如下:

$$CMY \text{ (%) } = (m_1/m_0) \times 100$$

流失率: 参照 Rørå 等(2003)的测定方法, 每尾鱼取 10 g 左右肌肉, 称初重  $m_2$ , 然后用一恒重  $m_3$  的滤

纸包裹肉样放入离心管, 3000 r/min 离心 10 min, 取出滤纸, 去鱼肉, 称滤纸湿重  $m_4$ , 然后将滤纸 50℃下烘至恒重, 称重  $m_5$ 。液体流失率(Juice loss yield,  $JLY$ , %)、水分流失率(Water loss yield,  $WLY$ , %)和脂质流失率(Fat loss yield,  $FLY$ , %)的计算公式分别如下:

$$JLY \text{ (%) } = [(m_4 - m_3)/m_2] \times 100$$

$$WLY \text{ (%) } = [(m_4 - m_5)/m_2] \times 100$$

$$FLY \text{ (%) } = [(m_5 - m_3)/m_2] \times 100$$

**1.2.4 肌肉氨基酸的评价方法** 氨基酸的支/芳值( $BCAA/AAA$ )按(缬氨酸+异亮氨酸+亮氨酸)/(苯丙氨酸+酪氨酸)来计算(唐雪等, 2011)。

根据 FAO/WHO(1973)的氨基酸评分标准和全鸡蛋蛋白质的氨基酸评分标准两种模式, 氨基酸评分( $AAS$ )、化学评分( $CS$ )和必需氨基酸指数( $EAAI$ )分别按以下公式计算(尹洪滨等, 2006; 冀德伟等, 2009):

$$AAS = \frac{aa}{AA(\text{FAO/WHO})} \times 100$$

$$CS = \frac{aa}{AA(\text{Egg})} \times 100$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100H}{HE}}$$

式中,  $aa$  为样品氨基酸含量(mg/g N),  $AA$  (FAO/WHO)、 $AA$  (Egg)分别为 FAO/WHO 标准、鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的含量(mg/g N), mg/g N 为每克 N 中氨基酸的毫克数[样品粗蛋白中的氨基酸含量(g/100 g, dry)×62.5]。 $n$  为比较的必需氨基酸个数,  $A, B, C, \dots, H$  为样品必需氨基酸的含量(mg/g N),  $AE, BE, CE, \dots, HE$  为鸡蛋蛋白质中必需氨基酸的含量(mg/g N)。

**1.2.5 数据处理** 试验数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示。采用 EXCEL 2010 和 SPSS 13.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 多重比较统计分析, 显著性水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 一般营养成分

由表 1 可知, 水分含量: 反交种明显高于其他 3 种鱼, 其中反交种显著高于正交种( $P < 0.05$ ), 正交种与星突江鲮、石鲮差异不显著( $P > 0.05$ ); 粗蛋白含量: 正交种、星突江鲮、石鲮之间无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但均显著高于反交种( $P < 0.05$ ); 粗脂肪含量: 正交种显著高于其他 3 种鱼( $P < 0.05$ ), 反交种与石鲮之间无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但均显著低于星突江鲮( $P < 0.05$ ); 灰分含量: 4 种鱼之间差异不显著( $P > 0.05$ ); 总糖含量: 正交种、反交种之间无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但

表1 星突江鲈、石鲈及其正反杂交种肌肉营养成分的比较

Tab.1 Comparison of nutritional composition in the muscles of *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and their reciprocal hybrids

(Wet weight, %)

种类 Species	水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash	总糖 Total carbohydrate	能值 Energy value (kJ/g)
星突江鲈♀×石鲈♂ <i>P. stellatus</i> ♀× <i>K. bicoloratus</i> ♂	76.12±0.93 <sup>a</sup>	20.28±0.09 <sup>b</sup>	1.44±0.28 <sup>c</sup>	1.54±0.06	0.62±0.09 <sup>c</sup>	5.47±0.23 <sup>d</sup>
石鲈♀×星突江鲈♂ <i>K. bicoloratus</i> ♀× <i>P. stellatus</i> ♂	78.56±1.37 <sup>b</sup>	18.97±0.65 <sup>a</sup>	0.43±0.04 <sup>a</sup>	1.41±0.10	0.63±0.05 <sup>c</sup>	4.76±0.19 <sup>a</sup>
星突江鲈 <i>P. stellatus</i>	76.93±0.67 <sup>ab</sup>	20.22±0.71 <sup>b</sup>	1.13±0.06 <sup>b</sup>	1.52±0.08	0.20±0.03 <sup>a</sup>	5.26±0.18 <sup>c</sup>
石鲈 <i>K. bicoloratus</i>	77.38±0.35 <sup>ab</sup>	20.16±0.43 <sup>b</sup>	0.50±0.06 <sup>a</sup>	1.55±0.04	0.41±0.05 <sup>b</sup>	5.03±0.14 <sup>b</sup>

注：总糖=100-(粗蛋白+粗脂肪+灰分+水分)(钱耀森等, 2010); 同列中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异( $P<0.05$ ), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异( $P>0.05$ )。下同

Note: Total carbohydrate (%) =100-[crude protein (%) + crude lipid (%) + ash (%) + moisture (%)]. In the same column: numbers with different letters were significantly different ( $P<0.05$ ), and numbers with the same letter were not significantly different ( $P>0.05$ ). The same below

均显著高于星突江鲈、石鲈( $P<0.05$ ), 石鲈显著高于星突江鲈( $P<0.05$ ); 能值: 正交种>星突江鲈>石鲈>反交种, 且4种鱼之间均有显著性差异( $P<0.05$ )。

## 2.2 肌肉系水力

由表2可知, 熟肉率: 正交种、星突江鲈、石鲈之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但均显著高于反交种( $P<0.05$ ); 液体流失率、水分流失率、脂质流失率: 正交种、反交种之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但均显著低于星突江鲈、石鲈( $P<0.05$ ), 星突江鲈、石鲈之间差异不显著( $P>0.05$ )。

## 2.3 氨基酸组成与含量

本研究中, 除色氨酸在酸水解条件下被破坏未检测出、含硫氨基酸的胱氨酸未检测外, 从星突江鲈、石鲈及其正反杂交种中均检测到16种氨基酸, 其中必需氨基酸(EAA)7种, 半必需氨基酸(SEAA)2种, 非必需氨基酸(NEAA)7种。由表3可知, 天门冬氨酸、谷氨酸、苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸含量的高低顺序

均为正交种>星突江鲈>反交种>石鲈。其中, 苏氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸含量反交种、星突江鲈之间差异不显著( $P>0.05$ ), 均与正交种、石鲈之间也无显著性差异( $P>0.05$ ), 但正交种显著高于石鲈( $P<0.05$ ), 其余氨基酸含量4种鱼之间均无显著性差异( $P>0.05$ ); 甘氨酸、精氨酸、丝氨酸含量的高低趋势均为正交种>反交种>星突江鲈>石鲈, 丝氨酸含量反交种、星突江鲈之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 均与正交种、石鲈之间也无显著性差异( $P>0.05$ ), 但正交种显著高于石鲈( $P<0.05$ ); 丙氨酸含量正交种与石鲈之间差异不显著( $P>0.05$ ), 但均显著低于反交种、星突江鲈( $P<0.05$ ), 反交种与星突江鲈之间也无显著性差异( $P>0.05$ ), 酪氨酸、脯氨酸含量4种鱼之间均无显著性差异( $P>0.05$ )。

4种鱼肌肉的氨基酸种类齐全, 含量丰富。氨基酸总量(TAA)、EAA总量的高低顺序均为正交种>星突江鲈>反交种>石鲈, 且4种鱼的TAA没有显著性差异( $P>0.05$ ), 正交种的EAA总量显著高于石鲈( $P<0.05$ ), 与反交种、星突江鲈差异不显著( $P>0.05$ );

表2 星突江鲈、石鲈及其正反杂交种肌肉系水力指标的比较

Tab.2 Comparison of the water holding capacity in the muscles of *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and their reciprocal hybrids (%)

种类 Species	熟肉率 <i>CMY</i>	液体流失率 <i>JLY</i>	水分流失率 <i>WLY</i>	脂质流失率 <i>FLY</i>
星突江鲈♀×石鲈♂ <i>P. stellatus</i> ♀× <i>K. bicoloratus</i> ♂	77.85±0.42 <sup>b</sup>	25.96±0.56 <sup>a</sup>	22.59±0.10 <sup>a</sup>	3.38±0.58 <sup>a</sup>
石鲈♀×星突江鲈♂ <i>K. bicoloratus</i> ♀× <i>P. stellatus</i> ♂	73.50±1.09 <sup>a</sup>	27.32±1.75 <sup>a</sup>	23.51±1.51 <sup>a</sup>	3.80±0.29 <sup>a</sup>
星突江鲈 <i>P. stellatus</i>	79.45±1.93 <sup>b</sup>	32.54±1.29 <sup>b</sup>	28.11±0.83 <sup>b</sup>	4.43±0.48 <sup>b</sup>
石鲈 <i>K. bicoloratus</i>	77.98±2.26 <sup>b</sup>	31.09±1.71 <sup>b</sup>	26.80±1.61 <sup>b</sup>	4.29±0.15 <sup>b</sup>

表 3 星突江鲮、石鲮及其正反杂交种肌肉氨基酸含量的比较

Tab.3 Comparison of amino acid contents in the muscles of *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and their reciprocal hybrids (Dry weight, %)

氨基酸 Amino acids	星突江鲮♀×石鲮♂ <i>P. stellatus</i> ♀× <i>K. bicoloratus</i> ♂	石鲮♀×星突江鲮♂ <i>K. bicoloratus</i> ♀× <i>P. stellatus</i> ♂	星突江鲮 <i>P. stellatus</i>	石鲮 <i>K. bicoloratus</i>
天门冬氨酸 Asp*	9.56±0.10	8.49±0.17	8.57±0.25	8.25±0.26
谷氨酸 Glu*	16.02±0.34	14.43±0.53	14.46±0.65	13.77±0.60
甘氨酸 Gly*	4.74±0.36	4.66±0.44	4.43±0.10	4.22±0.37
丙氨酸 Ala*	5.84±0.05 <sup>a</sup>	6.43±0.22 <sup>b</sup>	6.38±0.03 <sup>b</sup>	5.74±0.23 <sup>a</sup>
苏氨酸 Thr**	4.42±0.07 <sup>b</sup>	3.81±0.12 <sup>ab</sup>	3.85±0.13 <sup>ab</sup>	3.65±0.17 <sup>a</sup>
缬氨酸 Val**#	5.19±0.10	4.79±0.05	4.84±0.13	4.58±0.27
蛋氨酸 Met**	2.90±0.06	2.55±0.27	2.66±0.04	2.51±0.36
异亮氨酸 Ile**#	4.68±0.15	4.24±0.08	4.26±0.06	4.07±0.50
亮氨酸 Leu**#	8.08±0.18 <sup>b</sup>	7.45±0.21 <sup>ab</sup>	7.52±0.18 <sup>ab</sup>	7.04±0.53 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 Phe**&	4.37±0.17 <sup>b</sup>	3.90±0.13 <sup>ab</sup>	4.13±0.08 <sup>ab</sup>	3.75±0.37 <sup>a</sup>
赖氨酸 Lys**	9.10±0.25	8.11±0.16	8.33±0.39	7.96±0.42
组氨酸 His***	2.51±0.07 <sup>b</sup>	2.27±0.07 <sup>ab</sup>	2.29±0.01 <sup>ab</sup>	2.14±0.23 <sup>a</sup>
精氨酸 Arg***	6.35±0.10	6.02±0.25	5.92±0.09	5.63±0.22
丝氨酸 Ser	4.28±0.03 <sup>b</sup>	3.78±0.16 <sup>ab</sup>	3.73±0.05 <sup>ab</sup>	3.62±0.49 <sup>a</sup>
酪氨酸 Tyr&	3.64±0.16	3.49±0.04	3.65±0.08	3.26±0.30
脯氨酸 Pro	2.17±0.35	2.60±0.26	2.34±0.30	2.44±0.35
鲜味氨基酸 DAA	36.16±0.71	34.02±1.32	33.84±0.82	31.98±1.08
必需氨基酸 EAA	38.75±0.81 <sup>b</sup>	34.85±0.35 <sup>ab</sup>	35.56±0.78 <sup>ab</sup>	33.56±1.20 <sup>a</sup>
非必需氨基酸 NEAA	46.24±0.93	43.88±1.85	43.56±0.66	41.31±0.99
氨基酸总量 TAA	93.85±1.41	87.02±1.19	87.32±1.54	82.63±1.02
支链氨基酸 BCAA	17.96±0.40	16.48±0.33	16.62±0.38	15.69±1.90
芳香族氨基酸 AAA	8.01±0.29 <sup>b</sup>	7.39±0.12 <sup>ab</sup>	7.77±0.01 <sup>ab</sup>	7.01±0.66 <sup>a</sup>
支/芳值 BCAA/AAA	2.24	2.23	2.14	2.24
EAA/TAA	41.29	40.05	40.72	40.61
EAA/NEAA	83.80	79.42	81.63	81.24

\*表示鲜味氨基酸, \*\*表示必需氨基酸, \*\*\*表示半必需氨基酸, #表示支链氨基酸, &表示芳香族氨基酸; 同行中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异( $P<0.05$ )

\*denoted delicious amino acid; \*\* denoted essential amino acid; \*\*\* denoted semi-essential amino acid; # denoted branched-chain amino acid; & denoted aromatic amino acid. In the same line, numbers with different letters were significantly different ( $P<0.05$ )

鲜味氨基酸(DAA)总量的高低趋势为正交种>反交种>星突江鲮>石鲮, 且 4 种鱼之间没有显著性差异( $P>0.05$ )。EAA/TAA 及 EAA/NEAA 的高低趋势均为正交种>星突江鲮>石鲮>反交种。

#### 2.4 必需氨基酸组成与含量

食品蛋白质的营养价值很大程度上取决于 EAA 的含量及比例。由表 4 可知, 4 种鱼的 EAA 总量的高低趋势为正交种>星突江鲮>石鲮>反交种, 均高于 FAO/WHO 标准, 接近鸡蛋蛋白质标准。其中, 只有正交种高于鸡蛋蛋白质标准, 正交种的苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸含量均高于两标准, 缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸含量均介于两标准之间。

4 种鱼的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)比较结果显示(表 5), 正交种 7 种 EAA 的 AAS、CS 均明显高于其他 3 种鱼, 而反交种的几乎均为最低; 4 种鱼的 EAAI 高低顺序为正交种>星突江鲮>石鲮>反交种, 且正交种明显高于其他 3 种鱼, 反交种为最低。

### 3 讨论

#### 3.1 营养成分及系水力的比较

鱼体肌肉中的粗蛋白和粗脂肪等营养物质含量的高低是衡量鱼类营养价值的重要指标(庄平等, 2010)。随着人们生活水平的提高, 保健意识增强, 人们更加

表 4 星突江鲈、石鲈及其正反杂交种肌肉的必需氨基酸含量与 FAO/WHO 标准和鸡蛋蛋白质的比较  
Tab.4 Comparison of the essential amino acid contents in the muscles of *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and their reciprocal hybrids with the FAO/WHO standard and the egg protein (mg/g N)

必需氨基酸 EAA	星突江鲈♀×石鲈♂	石鲈♀×星突江鲈♂	星突江鲈	石鲈	FAO/WHO 标准	鸡蛋蛋白质
	<i>P. stellatus</i> ♀× <i>K. bicoloratus</i> ♂	<i>K. bicoloratus</i> ♀× <i>P. stellatus</i> ♂	<i>P. stellatus</i>	<i>K. bicoloratus</i>	FAO/WHO standard	Egg protein
Thr	310	269	274	269	250	292
Val	364	338	345	337	310	411
Met + Cys	203	180	189	185	220	386
Ile	328	300	303	300	250	331
Leu	567	526	536	518	440	534
Phe + Tyr	562	522	554	516	380	565
Lys	638	573	594	586	340	441
总含量 Total contents	2972	2708	2795	2711	2190	2960

表 5 星突江鲈、石鲈及其正反杂交种的必需氨基酸 AAS、CS、EAAI 的比较

Tab.5 Comparison of AAS, CS and EAAI of the essential amino acids in *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and their reciprocal hybrids

必需氨基酸 EAA	星突江鲈♀×石鲈♂		石鲈♀×星突江鲈♂		星突江鲈		石鲈	
	<i>P. stellatus</i> ♀× <i>K. bicoloratus</i> ♂		<i>K. bicoloratus</i> ♀× <i>P. stellatus</i> ♂		<i>P. stellatus</i>		<i>K. bicoloratus</i>	
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
Thr	124.00	106.16	107.60	92.12	109.60	93.84	107.60	92.12
Val	117.42	88.56	109.03	82.24	111.29	83.94	108.71	82.00
Met + Cys	92.27	52.59	81.82	46.63	85.91	48.96	84.09	47.93
Ile	131.20	99.09	120.00	90.63	121.20	91.54	120.00	90.63
Leu	128.86	106.18	119.55	98.50	121.82	100.37	117.73	97.00
Phe + Tyr	147.89	99.47	137.37	92.39	145.79	98.05	135.79	91.33
Lys	187.65	144.67	168.53	129.93	174.71	134.69	172.35	132.88
EAAI	95.95		87.04		89.72		87.29	

倾向于高蛋白质的食物, 例如牛奶、鸡蛋等。本研究中, 以蛋白质含量高低作为杂交选育指标, 正交种具有较好的优势, 粗蛋白含量(20.28%)高于星突江鲈和石鲈, 而反交种未表现出相应的优势, 同时正交种的粗蛋白含量高于同规格的大菱鲆(*Scophthalmus maximus*) (马爱军等, 2003)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) (梁萌青等, 2010)、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*) (马爱军等, 2006)、圆斑星鲈(*Verasper variegatus*) (王远红等, 2006)、梭鱼(王建新等, 2010)等常见海水鱼类。正交种的粗脂肪含量(1.44%)高于其他 3 种鱼, 就食用口感而言, 肌肉中比较合适的脂质含量为 1.5% (Fortin *et al.*, 2005), 正交种粗脂肪含量与之基本一致。反交种的水分含量(78.56%)是 4 种鱼中最高的, 这是影响其营养品质的重要原因之一。因此, 正交种粗蛋白含量较高、粗脂肪含量适中, 是一种营养价值较好的鱼类。

系水力是指肌肉受到外力作用时保持其所含水的能力, 肌肉静电荷减少、肌肉收缩、肌肉细胞蛋

白降解以及遗传因素等都会影响肌肉的系水力(马玲巧等, 2014)。熟肉率是衡量肌肉在加热过程中蛋白质变性凝固失去水分的重要指标, 其水平的高低与肌肉系水力有直接关系, 熟肉率越高, 其系水力越高(张宏博等, 2013)。液体流失率也是评价肌肉系水力的另一重要指标, 包括水分流失率和脂质流失率, 常用于衡量肌肉受外力作用时保持液体的能力, 流失率愈低, 液体保持能力愈高, 而肌肉中汁液量保持的多少, 特别是脂质保持能力的高低, 与肉的口味有直接关系(王丽宏等, 2014)。本研究中, 正交种和反交种的脂质流失率、水分流失率、液体流失率等均显著低于星突江鲈和石鲈, 而正交种的熟肉率显著高于反交种, 这说明正交种具有较好的肉质口味。

### 3.2 氨基酸组成的比较

肌肉营养品质的评定受蛋白质营养价值的影响, 而蛋白质的营养价值主要取决于其氨基酸, 特别是 EAA 的组成及含量, 含有 EAA 种类多、含量高的肌

肉营养价值相对较高(许星鸿等, 2011; 高露姣等, 2011), 因此, EAA、TAA 等是评价肌肉营养品质的几个重要指标。本研究中, 正交种的 EAA 总量、TAA 均明显高于其他 3 种鱼, 4 种鱼的 EAA/TAA 为 40.05%–41.29%, EAA/NEAA 为 79.42%–83.80%, 正交种均为最高, 反交种均为最低。根据 FAO/WHO 理想蛋白质模式, 质量较好的蛋白质, 其 EAA/TAA 为 40%左右, EAA/NEAA 在 60%以上(庄平等, 2010)。因此, 从 EAA 方面可看出, 4 种鱼的肌肉蛋白质是质量较好的蛋白质, 以正交种为最佳, EAA 比例比较适宜人体的吸收, 相对更有利于人体健康。

4 种鱼的 EAA 中含量最高的赖氨酸是人乳中第一限制性氨基酸(施永海等, 2013)。正交种的赖氨酸含量(9.10%)是 4 种鱼中最高的, 同时高于牙鲮(梁萌青等, 2010)、半滑舌鲷(梁萌青等, 2010)、圆斑星鲮(王远红等, 2006)、梭鱼(王建新等, 2010)等, 低于大菱鲆(梁萌青等, 2010)。因此, 正交种肌肉还是一种较好的催乳食品。另外, 鱼肉中的赖氨酸还可以弥补谷物中其含量的不足, 提高以谷物为主食的人们对蛋白质的利用率(高露姣等, 2011)。

正交种是 4 种鱼中唯一一种 EAA 总量既高于 FAO/WHO 标准又高于鸡蛋蛋白质标准的鱼类, 而且其 7 种 EAA 含量均高于其他 3 种鱼, AAS、CS、EAAI 的比较结果与之一致。EAAI 是评价食品营养价值的常用指标之一(许星鸿等, 2011), Oser(1951)提出当 EAAI > 90, 表示蛋白质的营养价值高, EAAI 为 70–90 时, 表示蛋白质的营养价值良, 正交种的 EAAI(95.95)明显高于星突江鲮(89.72)和石鲮(87.29), 为 4 种鱼中最高的, 反交种(87.04)最低, 所以正交种肌肉中蛋白质的营养价值较高。从以上指标可以看出, 正交种在蛋白质营养价值方面具有明显的优势, 结合其粗蛋白含量的优势, 可以认为正交种在蛋白质含量及营养价值方面具有一定的杂交优势。

精氨酸是人体的半必需氨基酸, 不仅可以促进伤口愈合, 而且还是人类幼年生长所必需的氨基酸(施永海等, 2013)。正交种的精氨酸含量(6.35%)是 4 种鱼中最高的, 与大菱鲆(梁萌青等, 2010)、牙鲮(梁萌青等, 2010)、半滑舌鲷(梁萌青等, 2010)、圆斑星鲮(王远红等, 2006)、梭鱼(王建新等, 2010)等常见海水鱼类基本接近。

鱼肉蛋白质的鲜美程度受其 DAA 组成及含量的影响, 主要取决于呈鲜味的天门冬氨酸和谷氨酸以及呈甘味的丙氨酸和甘氨酸的组成与含量(董辉等, 2011; 施永海等, 2013)。本研究中, 正交种的 DAA 总量明显高于其他 3 种鱼, 肉味更鲜美; 4 种鱼肌肉中 DAA

含量的高低顺序均为谷氨酸 > 天门冬氨酸 > 丙氨酸 > 甘氨酸, 与常见海水鱼类如大菱鲆(梁萌青等, 2010)、牙鲮(梁萌青等, 2010)、半滑舌鲷(梁萌青等, 2010)、圆斑星鲮(王远红等, 2006)、梭鱼(王建新等, 2010)等基本一致。在 DAA 中, 谷氨酸不仅鲜味最强, 还参与合成多种生理活性物质, 是脑组织生化代谢过程中的重要氨基酸(庄平等, 2010), 正交种的谷氨酸含量(16.02%)是 4 种鱼中最高的, 明显高于大菱鲆(梁萌青等, 2010)、牙鲮(梁萌青等, 2010)、半滑舌鲷(梁萌青等, 2010)、圆斑星鲮(王远红等, 2006)、梭鱼(王建新等, 2010)等常见海水鱼类。

正常人体及哺乳动物的支/芳值(BCAA/AAA)为 3.0–3.5, 高支、低芳氨基酸的食物具有降低胆固醇、保护肝脏等作用, 当肝受损伤时, 则降为 1.0–1.5(刘世禄等, 2009)。本研究中, 4 种鱼的 BCAA/AAA 均明显高于人体肝脏受损伤时的水平, 接近人体正常水平, 对患肝病的病人有良好的保健功能。

综上所述, 正交种(星突江鲮♀×石鲮♂)肌肉粗蛋白含量较高、粗脂肪含量适中、氨基酸组成较为均衡、必需氨基酸组成符合人体需要, 在营养物质方面表现出明显的优势, 而反交种(石鲮♀×星突江鲮♂)未表现出这些优势。因此, 正交种是一种营养价值较高、肉味鲜美、口感较好且有一定保健功能的健康食品, 显示出了一定的杂交优势, 可在今后星突江鲮和石鲮杂交育种中有目的地开发利用。

## 参 考 文 献

- 马玲巧, 亓成龙, 曹静静, 等. 水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲷肌肉营养成分和品质的比较分析. 水产学报, 2014, 38(4): 532–536
- 马爱军, 庄志猛, 李晨, 等. 星突江鲮生物学特性及养殖前景. 渔业科学进展, 2006, 27(5): 91–95
- 马爱军, 刘新富, 翟毓秀, 等. 野生及人工养殖半滑舌鲷肌肉营养成分分析研究. 渔业科学进展, 2006, 27(2): 49–54
- 马爱军, 陈四清, 雷霖霖, 等. 大菱鲆鱼体生化组成及营养价值的初步探讨. 渔业科学进展, 2003, 24(1): 11–14
- 王文君, 王开顺, 邵明瑜, 等. 石鲮仔、幼鱼性腺发育的组织学观察. 中国水产科学, 2007, 14(5): 843–848
- 王远红, 陈四清, 吕志华, 等. 圆斑星鲮的营养成分分析. 营养学报, 2006, 28(3): 271–272
- 王丽宏, 吉红, 胡家, 等. 匙吻鲟、杂交鲟和鲮肌肉品质的比较研究. 食品科学, 2014, 35(1): 62–68
- 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): 60–66
- 尹洪滨, 姚道霞, 孙中武, 等. 黑龙江鲢形目鱼类的肌肉营养组成分析. 营养学报, 2006, 28(5): 438–441
- 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价. 水产学报, 2010, 34(4): 559–564

- 刘世禄, 王波, 刘振华, 等. 星斑川鲮的营养分析与评价. 渔业科学进展, 2009, 30(6): 18–24
- 齐国山, 陈四清, 李琪, 等. 星突江鲮肌肉的营养成分. 营养学报, 2009, 31(3): 293–294, 297
- 许星鸿, 刘翔, 阎斌伦, 等. 日本对虾肌肉营养成分分析与品质评价. 食品科学, 2011, 32(13): 297–301
- 肖永双, 张岩, 高天翔. 基于线粒体 DNA 部分片段探讨石鲮与星突江鲮的亲缘关系. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(6): 69–76
- 张宏博, 王贵印, 袁倩, 等. 巴美肉羊的食用品质. 食品科学, 2013, 34(19): 19–22
- 施永海, 张根玉, 刘永士, 等. 野生及养殖哈氏仿对虾肌肉营养成分的分析与比较. 水产学报, 2013, 37(5): 768–776
- 钱耀森, 郑小东, 王培亮, 等. 天鹅湖长蛸营养成分的分析及评价. 海洋科学, 2010, 34(12): 14–18
- 高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. 水产学报, 2011, 35(11): 1668–1676
- 唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514–520
- 黄钧, 杨淞, 覃志彪, 等. 云斑鲷、泥鳅和瓦氏黄颡鱼的含肉率及营养价值比较研究. 水生生物学报, 2010, 34(5): 990–997
- 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
- 董辉, 王颀, 刘亚琼, 等. 杂色蛤软体部营养成分分析及评价. 水产学报, 2011, 35(2): 276–282
- 冀德伟, 李明云, 史雨红, 等. 光唇鱼的肌肉营养组成与评价. 营养学报, 2009, 31(3): 298–303
- Brett JR, Groves TDD. Physiological energetics, fish physiology. New York: Academic Press, 1979, 8: 279–352
- Cooper JA, Chapleau F. Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification. Fish Bull, 1998, 96(4): 686–726
- FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements. FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973, 52: 40–73
- Fortin A, Robertson WM, Tong AKW. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. Meat Sci, 2005, 69(2): 297–305
- Oser BL. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein. J Am Diet Assoc, 1951, 27(5): 396–402
- Rørå AMB, Regost C, Lampe J. Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. Food Res Int, 2003, 36(3): 231–239
- Takeda Y, Tanaka M. Freshwater adaptation during larval, juvenile and immature periods of starry flounder *Platichthys stellatus*, stone flounder *Kareius bicoloratus* and their reciprocal hybrids. J Fish Biol, 2007, 70(5): 1470–1483
- Zhang Y, Xiao YS, Gao TX. Molecular phylogeny of familiar flatfish species (Pleuronectidae) in the northwestern Pacific Ocean based on mitochondrial cytochrome oxidase I gene. Acta Oceanol Sin, 2008, 27(2): 93–101

(编辑 江润林)

## Analysis and Evaluation of Nutritive Composition in Muscles of *Platichthys stellatus*, *Kareius bicoloratus* and Their Reciprocal Hybrids

CAO Dongzheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaozhong<sup>3</sup>, CHEN Siqing<sup>2①</sup>, QIN Bo<sup>1,2</sup>, CHANG Qing<sup>2</sup>,  
LIU Changlin<sup>2</sup>, LIU Xi<sup>1,2</sup>, LÜ Yunyun<sup>1,2</sup>

(1. College of Fishers and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Qingdao Environmental Protection Bureau, North Branch, Qingdao 266033)

**Abstract** Reciprocal hybrids of *Platichthys stellatus* and *Kareius bicoloratus* have been reported, however, little is known about the nutritional facts of their muscles. In this study we analyzed the nutritional components in muscles of *P. stellatus*, *K. bicoloratus* and the reciprocal hybrids (initial body weight 338.32–445.98 g) using the current national standard methods. We found that the obverse hybrid (*P. stellatus*♀×*K. bicoloratus*♂) had significantly higher crude protein content than the inverse (*K. bicoloratus*♀×*P. stellatus*♂,  $P<0.05$ ), but not significantly different from that of *P. stellatus* and *K. bicoloratus* ( $P>0.05$ ). The crude lipid content of the obverse hybrid (1.44%) was significantly higher than that of the other three species ( $P<0.05$ ). The inverse hybrid had the lowest level of crude lipid (0.43%) and significantly higher moisture level than the other three species. There was no significant difference in the muscle ash content among the four species ( $P>0.05$ ). The obverse hybrid had significantly lower juice loss yield, water loss yield and fat loss yield than *P. stellatus* and *K. bicoloratus* ( $P<0.05$ ), and its cooked meat yield was obviously higher than that of the inverse hybrid ( $P<0.05$ ). The obverse hybrid possessed the highest contents of essential amino acid, delicious amino acid and total amino acid, and its ratio of branched-chain amino acid amount to aromatic amino acid amount was close to the normal value in humans. The contents of essential amino acids in the four species were higher than the Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO) standard, moreover, it was the highest in the obverse hybrid of which the level was even higher than egg protein standard. The obverse hybrid had remarkably higher amino acids score (AAS), chemical score (CS) and essential amino acid index (EAAI) than the other three species, whereas the inverse hybrid had the lowest scores. These findings indicated that the obverse hybrid showed apparent hybrid advantages and exhibited higher nutritional values and muscle qualities than *P. stellatus* and *K. bicoloratus*. However these advantages were not present in the inverse hybrid. Our study provided valuable information for the selection of traits in the breeding between *P. stellatus* and *K. bicoloratus*.

**Key words** *Platichthys stellatus*; *Kareius bicoloratus*; Hybrid; Muscle; Nutritional composition

① Corresponding author: CHEN Siqing, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn