卵巢发育不同阶段长江刀鲚肉营养成分的分析及评价

滕静，陶宁萍，李玉琪

（上海海洋大学食品学院，上海 201306）

摘要：本文对卵巢发育Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期的长江刀鲚肉进行营养成分分析和评价，研究表明：在卵巢发育Ⅱ期~Ⅴ期，粗脂肪含量显著下降，粗蛋白、水分显著上升（p<0.05），灰分含量先升后降，说明长江刀鲚在卵巢发育过程中脂肪为主要供能物质。其中，单不饱和脂肪酸作为优先分解供能的脂肪酸，在卵巢发育Ⅱ期~Ⅴ期呈下降趋势，但各生殖阶段含量最丰富的均为 C16:1 和 C18:1，可能是主要的供能脂肪酸。卵巢发育Ⅱ期至Ⅴ期，多不饱和脂肪酸中的 n-3 脂肪酸，尤其是 EPA 和 DHA 含量显著下降（p<0.05）。氨基酸含量在卵巢发育Ⅱ期~Ⅴ期显著上升（p<0.05），但氨基酸组成相对稳定与合理，总必需氨基酸/总氨基酸为 39.65~40.93%，总必需氨基酸/总非必需氨基酸为 59.07~60.35%，且氨基酸评分均大于 100，可以作为氨基酸的良好来源。卵巢发育不同阶段常量元素含量 K 最高，其次为 Na 和 Ca，微量元素中 Cu 和 Mn 在Ⅱ期~Ⅴ期显著下降（p<0.05）。

关键词：刀鲚；卵巢发育；鱼肉；营养成分；脂肪酸；氨基酸

文章篇号：1673-9078(2016)9-267-274 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.039

Analysis and Evaluation of Nutritional Composition of Yangtze River-coilia Meat at Different Ovarian Development Stages

TENG Jing, TAO Ning-ping, LI Yu-qi

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The nutritional components in the meat of Yangtze River-Coilia at different ovarian development stages (stage II, stage III, stage IV, and stage V) were studied and evaluated in this paper. The crude fat content declined significantly; the moisture and crude protein contents increased significantly (p<0.05), and the ash content decreased after the initial increase from stages II to V. These results indicated that fat was the main energy source during ovarian development. Given that fatty acids are the first to be decomposed for energy, mono-unsaturated fatty acid levels showed a downward trend during all stages of ovarian development. However, the fatty acids with the highest contents were C16:1 and C18:1 at different ovarian-development stages, indicating that they may be the principal metabolic fuels. The contents of the n-3 unsaturated fatty acids, especially those of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), decreased significantly from stages II to V (p<0.05). In contrast, amino acid contents increased significantly from stages II to V (p<0.05), but the amino acid composition was relatively stable. The contents of total essential amino acids accounted for 39.65~40.93% of total amino acids, the ratios of total essential amino acids to total non-essential amino acids were in the range of 59.07~60.35%, and the amino acid scores were all higher than 100, indicating that meat of Yangtze River-Coilia can serve as a good source of amino acids. At different stages of ovarian development, the K content was the highest, followed by Na and Ca. Among the microelements tested, Cu and Mn levels were significantly decreased from stages II to V (p<0.05).

Key words: *Coilia ectenes*; ovarial development; fish meat; nutritional composition; fatty acids; amino acids

收稿日期：2015-08-30

基金项目：上海市自然基金资助项目（14ZR1420100）；上海市科委工程中心建设，上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心（11DZ2280300）；“江苏省国家长江珍稀鱼类工程技术研究中心培育点”项目支持

作者简介：滕静（1991-），女，硕士研究生，研究方向：食品营养与品质评价

通讯作者：陶宁萍（1968-），女，博士，教授，研究方向：食品营养与食品化学

刀鲚，学名长颌鲚(*Coilia ectenes Jordan*)，属鲱形目、鳀科、鲚属，在中国主要分布于黄渤海、东海及各通海江河和附属湖泊内[1,2]。其中尤以“长江三鲜”之一的洄游生态型长江刀鲚最具盛名，鱼肉味道鲜美，脂肪丰满，肉质细嫩；春季性成熟后从河口溯江而上进入长江中下游的江、湖中产卵繁殖，孵化后的幼鱼随江水返海肥育[3]。然而，过度捕捞和生态环境的恶化使得长江刀鲚的种群数量逐年下降[4]，刀鲚鱼肉的

品质也有所下降。

现阶段，国内外对刀鲚的研究主要集中在对长江刀鲚的资源量、生物学特性以及对长江刀鲚的人工驯化、繁育以及养殖等方面[4]。虽然已经突破长江刀鲚人工养殖的成活率、成鱼品质等问题[5]，但在长江刀鲚的繁殖上仍有较大的研究发展空间。亲鱼在繁殖期的营养会在很大程度上决定能否顺利产卵以及卵子的质量[5]。目前对刀鲚营养的分析及评价研究主要涉及长江刀鲚、海水刀鲚、养殖刀鲚和太湖刀鲚等四种群[4~7]，但卵巢发育各阶段中长江刀鲚营养的分析未见相关报道。关于鱼类性腺发育组织学分期，目前常见采用六期划分法，Ⅰ期性腺出现在当年生刀鲚幼鱼中，一生中只出现一次，Ⅱ期卵巢开始发育，一直到Ⅴ期性腺完全成熟，刚产完卵为Ⅵ期，Ⅵ期结束后卵巢重新进入Ⅱ期。因Ⅵ期样品未采集到，故本研究对卵巢发育Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期的长江刀鲚鱼肉中一般营养成分、脂肪酸、氨基酸和矿物质组成进行分析，以期对不同卵巢发育阶段刀鲚的营养成分进行系统的评价，对卵巢发育不同阶段长江刀鲚肉基本营养成分进行数据补充，为长江刀鲚的人工养殖提供基础数据资料，为有效的开发利用其他品种刀鲚资源提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

卵巢发育不同阶段的长江刀鲚购自上海恒丰水产，测量生物学性状并由上海海洋大学水产与生命科学学院专家进行卵巢发育的形态学和组织学分期。按照性腺分期将样品鱼分为 4 组，分别对应卵巢发育Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期个体。平均体重分别为（78.72±7.10）g，（81.42±4.03）g，（76.18±2.60）g，（88.04±6.32）g；平均体长分别为（28.04±1.23）cm，（27.86±0.78）cm，（27.50±0.34）cm，（28.94±0.62）cm。去头、去尾、去皮、去骨，用去离子水洗净腺体、血块等杂物，将鱼肉捣碎混匀于-80 ℃保存。

1.2 营养成分测定及营养品质评价方法

脂肪测定方法：参照 AOAC(2007) method 960.39，采用索式抽提法进行测定。蛋白质测定方法：参照 AOAC(2007) method 981.10，采用常量凯氏定氮法进行测定。灰分测定方法：参照 AOAC(2007) method 938.08，采用高温灼烧法进行测定。水分测定方法：参照 AOAC(2007) method 950.46，采用直接干燥法进行测定。脂肪酸测定中总脂的提取参照 Bligh & Dyer 方法[8]，向提取的油脂中添加 0.5 M 氢氧化钾-甲醇溶液 3 mL，连接回流装置于沸水浴中加热 5 min，期间每隔 1 min 震摇一次接收瓶。加入 2 mL 14%的三氟化硼-甲醇溶液后继续加热 5 min，最后加入 2 mL 正己烷回流萃取 2 min，冷却至室温后加入 5 mL 饱和 NaCl 溶液混合，静置并取上层清液分析。气相色谱条件为：Agilent SP-2560 色谱柱，100 m×0.25 mm i.d×0.2 μm，柱初始温度 70 ℃，以 50 ℃/min 升温至 140 ℃，保持 1 min，4 ℃/min 升温至 180 ℃，保持 1 min，3 ℃/min 升温至 225 ℃，保持 30 min；气化室温度 250 ℃；载气：N_2；柱流速：1 mL/min；分流比：45:1；进样量 1 μL。氨基酸测定参照 Adeyeye E 等[9]方法，色氨酸测定采用碱水解，荧光光度法测定[10]。矿物质测定参照 AOAC 984.27 进行消解后参照 AOAC 969.23 进行测定分析。

根据 FAO/WHO/UNU2007 年建议的氨基酸评分模式中成人必需氨基酸需求模式[11]和 2004 年中国疾病预防控制中心营养与食品安全所[12]提出的鸡蛋蛋白质的氨基酸模式，氨基酸评分（AAS）和必需氨基酸指数（EAAI）计算见公式（1）和（2）：

1.3 数据统计分析

数据应用 Excel 2007 进行统计，结果以平均值±标准差的形式表示。采用 SPSS 20.0 对数据进行统计分析处理，采用单因素方差方法分析检验卵巢发育不同阶段的差异显著性，并进行 LSD 多重比较，所有显著性差异分析均在（p=0.05）的水平下检验。

2 结果与讨论

2.1 一般营养成分分析

如表 1 所示，从卵巢发育Ⅱ期到Ⅴ期的过程中，长江刀鲚鱼肉中脂肪含量呈显著下降趋势，为 16.54%~5.20%。长江刀鲚属于多脂鱼，脂肪主要储存在肌肉中，长江刀鲚生殖洄游过程中能量的消耗导致鱼肉中脂肪含量的逐渐下降，郑飞等[13]在研究中也指出鱼体积累脂肪可能提供性腺发育所需主要能量。

$$AAS=\frac{\text{实验蛋白质氨基酸含量}(\times10^{-2}\text{g/g 蛋白质})}{\text{成人必需氨基酸需求模式中同种氨基酸含量}(\times10^{-2}\text{g/g 蛋白质})}\times100 \quad (1)$$

$$EEAI=\sqrt[n]{\frac{100a}{a_e}\times\frac{100b}{b_e}\times\ldots\times\frac{100h}{h_e}} \quad (2)$$

注：公式（2）中 n 表示比较的必需氨基酸个数；a~h 表示试验蛋白质的必需氨基酸含量(×10^{-2}g/g 蛋白质)；a_e~h_e表示鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(×10^{-2}g/g 蛋白质)。

管卫兵等[14]研究发现脂肪是鱼类生殖和越冬阶段主要的能量来源，长江刀鲚进入河口以后不再进食，而是依靠体内积累的能量（脂肪）完成整个生殖洄游。长江刀鲚鱼肉中蛋白质含量的变化与脂肪含量变化呈相反的趋势，即在Ⅱ期~Ⅴ期呈上升趋势。罗毅平等[15]研究指出，鱼类主要以脂肪和蛋白质作为能量来源，且鱼类洄游期间主要由身体脂肪供能，尽量减少蛋白质消耗[16]，但蛋白质含量呈上升趋势的原因还有待进一步验证。此外，长江刀鲚在性腺发育过程中灰分含量呈单峰型分布，Ⅱ期到Ⅳ期呈上升趋势，Ⅴ期下降，可能是与产卵有关的矿物质在产卵时向卵巢发生转移。水是生命之源，是动物体中组成比例最大的组成部分，其作为物质代谢的载体，在能量代谢中发挥着重要作用，动物体内水分含量波动趋势在一定程度上可以反映出其整体代谢水平。长江刀鲚鱼肉中水分含量在Ⅱ期~Ⅴ期不断增加，在Ⅴ期达到最高，预示着在性腺发育过程中鱼体代谢强度不断增强。

表 1 卵巢发育不同阶段长江刀鲚肉一般营养成分（%, 湿重, mean±S.D.，n=3）

Table 1 General nutritional composition in the meat of Yangtze River-*Coilia* at different reproductive stages (%, wet, mean±S.D., n=3)

	脂肪	蛋白质	灰分	水分
Ⅱ期	16.54±1.72^{d}	14.50±0.78^{a}	0.90±0.09^{a}	68.06±0.43^{a}
Ⅲ期	12.63±0.94^{c}	14.89±0.38^{a}	1.05±0.1^{a}	72.40±0.36^{b}
Ⅳ期	8.61±0.32^{b}	15.38±0.12^{a}	1.09±0.10^{a}	74.33±0.77^{c}
Ⅴ期	5.20±0.41^{a}	16.38±0.25^{b}	0.93±0.07^{a}	77.85±0.64^{d}

注：同一列中不含相同字母的为差异显著（p<0.05），含有相同字母的为差异不显著（p>0.05）。

2.2 脂肪酸组成分析

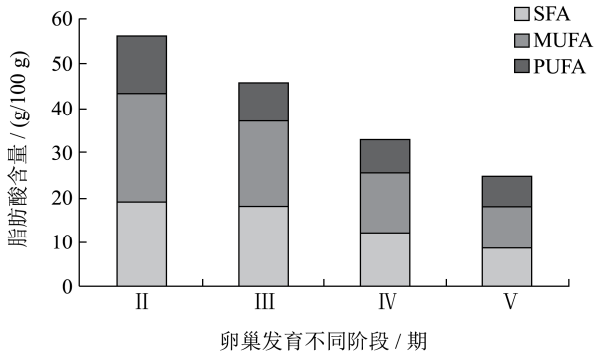


图 1 卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中脂肪酸含量

Fig.1 Fatty acid contents in the meat of Yangtze River-*Coilia* at different reproductive stages

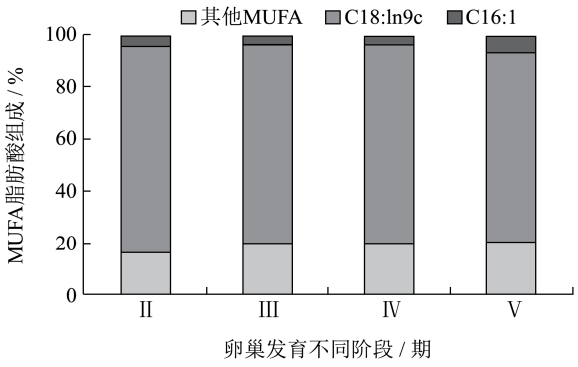


图 2 卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中单不饱和脂肪酸组成

Fig.2 Monounsaturated fatty acid composition in the meat of Yangtze River-*Coilia* at different reproductive stages

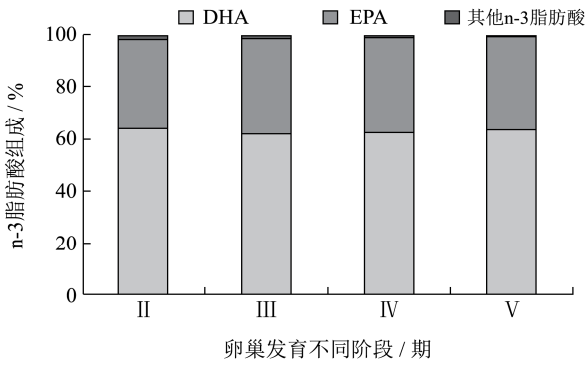


图 3 卵巢发育不同阶段长江刀鲚肉中 n−3 脂肪酸组成

Fig.3 N-3 fatty acid composition in the meat of Yangtze River-Coilia at different reproductive stages

卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中脂肪酸测定结果如表 2 所示。由图 1 可知各个生殖阶段刀鲚鱼肉中均以单不饱和脂肪酸（MUFA）含量最为丰富，是最主要的脂肪酸类型。MUFA 可对血脂产生正向调节作用从而降低心血管疾病的发生率；Mckenzie D J 等研究表明,对鱼类而言，MUFA 被认为是优先被分解为机体提供能量的脂肪酸[17]。如图 2 所示，卵巢发育不同阶段的单不饱和脂肪酸组成中，均以 C16:1 和 C18:1n9c 为主，比例达到 93.79%~96.57%，因此，推测这两种脂肪酸可能是长江刀鲚生殖洄游过程中主要的供能脂肪酸。且柳凌等[18]人在研究中发现，这两种脂肪酸与日本鳗鲡的雌性个体在生殖洄游过程中的性腺发育和基础代谢有很大的关系。其中 C18:1n9c 含量在 II 期-V 期均是最高，Hoffman L C.等研究指出，在鱼类肌肉组成中 C18:1 含量高是较多淡水鱼和海水鱼的共同特征，其高含量可以降低冠心病以及许多炎症的风险[19]。饱和脂肪酸（SFA）在产卵前呈下降趋势，可能是因为 SFA 配合 MUFA 作为供能物质被分解利用提供能量。如表 2 所示，从多不饱和脂肪酸（PUFA）

的组成及含量上来看，n-3/n-6 在卵巢发育Ⅱ期到Ⅳ期以及 n-3 含量在Ⅱ期-Ⅴ期的过程中均发生了明显下降，说明在卵巢发育过程中消耗了较多的 n-3 脂肪酸。如图 3 所示，卵巢发育不同阶段的刀鲚鱼肉中主要的 n-3 脂肪酸均为 C20:5 (EPA)和 C22:6n3 (DHA)，占 n-3 脂肪酸的 98.19%~99.37%。EPA 属类二十烷酸，对水产动物产卵和胚胎免疫能力等具有重要作用；DHA 参与形成细胞膜，在鱼类胚胎发育过程中意义重大[18]。此外，EPA 作为人体自身不能合成但又不可缺少的重要营养素，具有帮助人体预防动脉粥样硬化、脑血栓等心血管疾病等作用，而 DHA 对幼儿的智力和视力发育，神经系统细胞生长及维持至关重要[20]。生物体内天然的类二十烷酸物质对刺激产卵具有重要作用，它是由二十碳不饱和脂肪酸，如 C20:3n6 和 C20:4n6 (ARA)通过复杂的反应衍生而来[21]；如表 2 所示，这两种脂肪酸的含量在卵巢发育Ⅱ期~Ⅳ期上升，Ⅴ期下降，推测可能的原因是在性腺发育过程中，机体会先合成使其产生、积累在鱼肉中，产卵时转移至卵巢供产卵所需，具体原因有待于进一步实验验证。已有相关研究证明 EPA、DHA、ARA 等与性腺的生理成熟有密切的关系，例如黄旭雄[22]等研究证明在银鲳鱼卵巢发育过程中，会发生大量的 EPA、DHA 和 ARA 从肌肉向卵巢转移，这与我们的研究结果较为一致。刘志东等[23]指出鱼体内的脂肪酸组成受所摄入食物脂质的脂肪酸组成模式影响较大，其中不饱和脂肪酸受影响较大，饱和脂肪酸受影响较小。此外，P/S 在 0.46~0.78 之间，说明卵巢发育不同阶段的刀鲚脂肪酸的组成都较为合理，不饱和程度高；且卵巢发育不同阶段均不存在反式脂肪酸，是 PUFA 的良好来源。

表2 卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中脂肪酸含量（$\times10^{-2}$mg/g, 干重, mean±S.D., n=3）

Table 2 Fatty acid contents in the meat of Yangtze River-Coilia at different reproductive stages ($\times10^{-2}$mg/g, dry, mean±S.D., n=3)

脂肪酸	Ⅱ期	Ⅲ期	Ⅳ期	Ⅴ期
C12:0	85.24±1.73^{c}	115.28±2.60^{d}	59.91±0.58^{b}	53.52±1.94^{a}
C13:0	14.35±0.30^{b}	1.15±0.02^{a}	13.93±1.37^{b}	12.78±0.85^{b}
C14:0	1625.32±56.53^{c}	2234.98±33.46^{d}	1098.20±55.39^{b}	875.72±2.88^{a}
C15:0	247.20±10.81^{c}	310.58±7.28^{d}	174.60±2.67^{b}	137.20±1.53^{a}
C16:0	14271.95±122.39^{c}	12827.00±98.60^{d}	8750.13±69.70^{b}	5978.95±77.94^{a}
C17:0	148.82±6.65^{d}	141.05±2.24^{c}	25.44±0.79^{a}	115.06±0.10^{b}
C18:0	1719.40±43.49^{d}	1531.63±25.88^{c}	1395.98±43.12^{b}	907.96±15.94^{a}
C20:0	108.55±6.57^{d}	62.77±7.46^{c}	44.99±0.63^{b}	23.10±2.01^{a}
C21:0	319.90±9.62^{b}	354.25±6.70^{c}	189.30±1.35^{a}	183.01±4.87^{a}
C22:0	1.12±0.05^{c}	1.00±0.02^{b}	0.23±0.07^{a}	N.D.
C23:0	562.65±32.41^{d}	519.18±6.06^{c}	421.10±7.93^{b}	340.35±8.51^{a}
C24:0	1.21±0.21^{c}	0.43±0.04^{ab}	0.58±0.01^{b}	0.24±0.00^{a}
C14:1	25.61±0.41^{c}	27.87±3.33^{c}	18.67±2.38^{b}	11.39±0.06^{a}
C15:1	N.D.	N.D.	0.59±0.02^{a}	0.82±0.01^{b}
C16:1	3954.51±36.02^{d}	3726.14±97.14^{c}	2603.85±69.25^{b}	1927.19±13.16^{a}
C17:1	242.98±26.32^{c}	266.61±8.02^{c}	176.60±11.08^{b}	131.09±15.01^{a}
C18:1n9c	19232.15±89.76^{d}	14789.01±100.49^{c}	10286.27±104.89^{b}	6919.23±16.36^{a}
C20:1	572.85±17.66^{c}	249.48±4.26^{a}	255.13±10.70^{a}	392.90±1.85^{b}
C22:1n9	176.85±11.91^{c}	114.18±0.45^{b}	54.87±7.19^{a}	49.81±0.84^{a}
C18:2n6	566.43±7.54^{d}	358.28±0.32^{c}	225.46±27.50^{b}	136.48±0.64^{a}
C18:3n6	43.29±0.15^{c}	28.23±0.33^{b}	14.71±5.25^{a}	13.07±1.16^{a}
C18:3n3	206.97±9.98^{d}	103.40±1.73^{c}	60.49±0.40^{b}	39.39±0.63^{a}
C20:2	522.79±23.89^{c}	532.64±24.63^{c}	340.12±21.38^{b}	289.11±4.25^{a}
C20:3n6	1.15±0.06^{b}	1.24±0.01^{b}	22.55±0.22^{c}	0.38±0.00^{a}
C20:3n3	N.D.	0.74±0.06^{b}	0.56±0.00^{a}	N.D.
C20:4n6	55.12±0.02^{b}	130.38±4.14^{c}	204.28±3.63^{d}	41.09±2.39^{a}

转下页

接上页

C22:2	0.59±0.08[a]	1.53±0.16[a]	96.42±2.94[b]	N.D.
C20:5	3920.70±163.58[c]	2699.97±96.35[b]	2411.10±69.17[a]	2232.43±75.89[a]
C22:6n3	7277.31±86.36[c]	4494.58±131.24[b]	4107.96±59.12[a]	3940.72±71.84[a]
Total	55905.01	45623.58	33053.96	24752.99
n-3	11404.98	7298.69	6580.05	6212.54
n-3/n-6	17.12	14.09	14.09	32.52
P/S	0.66	0.46	0.61	0.78

注：同一行中不含相同字母的为差异显著（p<0.05），含有相同字母的为差异不显著（p>0.05）。

2.3 氨基酸分析

卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中均可检测出 18 种氨基酸。由表 3 可知，在长江刀鲚卵巢发育Ⅱ期~Ⅴ期中，鱼肉中的各个氨基酸含量均呈上升趋势，总氨基酸含量显著上升，为 0.3735~0.6763 g/g，与一般营养成分分析中蛋白质的含量变化趋势一致。如表 3 所示卵

表3 卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中氨基酸含量（×10^{-2}g/g，干重，mean±S.D.，n=3）及评价

Table 3 Amino acid contents in the meat of Yangtze River-Coilia at different reproductive stages (×10^{-2} g/ g, dry, mean±S.D., n=3) and the evaluation

氨基酸	Ⅱ期	Ⅲ期	Ⅳ期	Ⅴ期
Glu	8.20±1.13[a]	8.20±1.54[a]	9.40±0.46[a]	11.84±0.28[b]
Asp	4.48±0.22[a]	5.86±0.52[b]	6.81±0.35[c]	8.40±0.22[d]
Ala	4.26±0.14[a]	4.58±0.14[b]	4.81±0.05[b]	5.82±0.26[c]
Lys	3.00±0.26[a]	3.97±0.40[b]	4.56±0.21[c]	5.74±0.14[d]
Leu	2.66±0.19[a]	3.51±0.31[b]	4.02±0.19[c]	5.08±0.14[d]
Arg	2.45±0.41[a]	3.15±0.30[b]	3.60±0.18[b]	4.53±0.18[c]
Thr	2.09±0.13[a]	2.75±0.23[b]	3.13±0.15[c]	3.97±0.10[d]
Gly	1.92±0.18[a]	2.74±0.18[b]	3.11±0.43[bc]	3.57±0.38[c]
Ser	1.63±0.12[a]	2.17±0.20[b]	2.52±0.14[c]	3.13±0.08[d]
Val	1.50±0.08[a]	1.84±0.15[b]	2.09±0.11[c]	2.63±0.07[d]
Ile	1.38±0.04[a]	1.76±0.14[a]	2.30±0.47[b]	2.54±0.08[b]
Pro	1.53±0.15[a]	1.94±0.18[b]	2.11±0.27[b]	2.55±0.20[c]
Tyr	1.14±0.06[a]	1.48±0.13[b]	1.70±0.09[c]	2.19±0.07[d]
Phe	0.92±0.03[a]	1.20±0.09[b]	1.45±0.07[c]	1.76±0.05[d]
Met	0.73±0.19[a]	1.05±0.11[b]	1.18±0.04[b]	1.51±0.06[c]
His	0.60±0.10[a]	0.83±0.07[b]	0.90±0.05[b]	1.14±0.03[c]
Trp	0.43±0.01[a]	0.44±0.02[ab]	0.46±0.00[bc]	0.48±0.00[c]
Cys	0.35±0.10[a]	0.54±0.06[b]	0.62±0.11[bc]	0.74±0.04[c]
TEAA	14.81	19.27	22.34	27.67
TNEAA	22.54	28.81	32.45	39.96
TAA	37.35	48.08	54.79	67.63
TEAA/TAA (%)	39.65	40.07	40.79	40.93
TEAA/TNEAA (%)	60.35	59.93	59.21	59.07

注：同一行中不含相同字母的为差异显著（p<0.05），含有相同字母的为差异不显著（p>0.05）。TEAA，总必需氨基酸；TNEAA，总非必需氨基酸；TAA，总氨基酸。

卵巢发育不同阶段含量最高的氨基酸均为谷氨酸，谷氨酸是鲜味最强的氨基酸，且 Glu 既对保护肝脏功能、治疗胃病、调节神经衰弱有良好功效[10]，是人体所需的重要氨基酸，又可助水产动物解氨毒以保证性腺及配子的正常生长发育，在氨基酸代谢中起着重要作用[24]。卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中含量

次高的氨基酸为天冬氨酸（Asp），Asp 对于降低血压、保护心脏有很好的疗效[10]。此外，卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中含量较高的氨基酸还有丙氨酸（Ala）、赖氨酸（Lys）、亮氨酸（Leu）和精氨酸（Arg），而色氨酸（Trp）、组氨酸（His）和胱氨酸（Cys）含量较低。单个必需氨基酸含量占必需氨基酸总量的比例在不同发育阶段略有不同，但在各发育阶段基本趋于一致，说明不同必需氨基酸之间存在一种相对稳定的比例关系。从整体上来说，不同发育阶段氨基酸组成也并无太大变化，TEAA/TAA 为 39.65~40.93%；TEAA/TNEAA 为 59.07~60.35%，根据 FAO/WHO 的理想模式，质量较好的蛋白质其组成的氨基酸的 TEAA/TAA 为 40%左右，TEAA/TNEAA 在 60%以上[25]，故基本符合 FAO/WHO 推荐的理想模式。

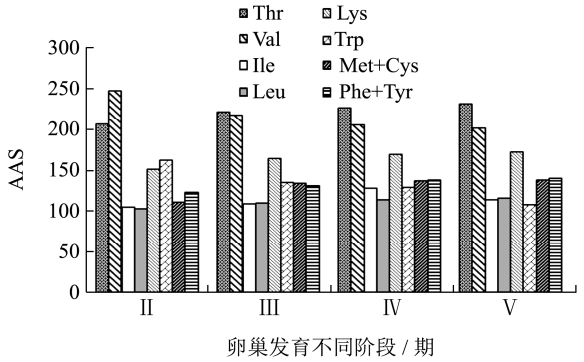


图 4 卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉氨基酸评分

Fig.4 Amino acid scores in the meat of Yangtze River-Coilia at different reproductive stages

将卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中必需氨基酸含量(g/100g protein)与 WHO/FAO/UNU 提出的人体对氨基酸的需求模式中必需氨基酸含量(g/100g protein)相比较，结果如图 4 所示。由 AAS 评分结果可知不同卵巢发育阶段的长江刀鲚肉中，评分最高的均为苏氨酸（Thr）和缬氨酸（Val）。Ⅱ期到Ⅳ期时评分较低的为异亮氨酸（Ile）和亮氨酸（Leu），Ⅴ期为色氨酸（Trp）。但均满足 AAS>100，表明卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中均不存在限制性氨基酸。对此不同研究结果[5~7]存在一定的差异，引起这种差异的可能性是多方面的，除采集样本、检测手段等差异外，目前在计算 AAS 时所参照的参考模式不尽相同，如前所述，本文所采用的是 FAO/WHO/UNU2007 年建议的氨基酸评分模式中成人必需氨基酸需求模式。此外，必需氨基酸指数（EAAI）可以反映长江刀鲚鱼肉的必需氨基酸组成与鸡蛋蛋白必需氨基酸组成的相接近程度[25]，Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期、Ⅴ期的 EAAI 值分别为 75.13、77.00、79.09 和 76.80。从氨基酸角度评价，卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉均可以提供优质的蛋白质，满足人体所需，有较高的营养价值。

2.4 矿物质分析

卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中含有较为丰富的常量及微量元素。如表 4 所示，常量元素中 K 含量最为丰富，其次是 Na 和 Ca。K 含量从Ⅱ期~Ⅴ期显著上升，Ⅴ期达到最高值。而 Na 元素的含量与 K 呈相反的变化趋势，原因可能是长江刀鲚生殖洄游过程中自海向江河洄游，环境中 Na 的减少导致刀鲚鱼肉中 Na 也不断减少，并伴随着 K 的升高。卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中均发现含量丰富的 Ca，Ⅳ期 Ca 含量检测数据有显著性增加，推测可能是鱼肉中存在较多无法剔除的肌间刺对实验数据造成的影响，具体原因有待于进一步实验验证。Mg 元素的含量从Ⅱ期到Ⅴ期显著上升。微量元素中，Cu 和 Mn 含量从Ⅱ期~Ⅴ期显著性下降，可能因两者是维持卵巢发育的重要元素、向卵巢转移导致含量逐渐降低。Zn 的含量在Ⅱ期~Ⅴ期呈显著性增加。Fe 的含量在Ⅱ期、Ⅲ期没有显著性差异，Ⅲ期后显著性下降。由于不同水域微量元素含量差异较大[4]，Fe 和 Zn 的含量会随着水域不同而发生改变，推测这可能是导致卵巢发育不同阶段长江刀鲚鱼肉中 Zn 和 Fe 有相应变化的原因之一。

表4 卵巢发育不同阶段长江刀鲚肉中矿物质含量（$\times10^{-2}$mg/g，干重，mean±S.D.，n=3）

Table 4 Mineral contents in the meat of Yangtze River-Coilia at different reproductive stages ($\times10^{-2}$mg/g, dry, mean±S.D., n=3)

矿物质	Ⅱ期	Ⅲ期	Ⅳ期	Ⅴ期
K	583.34±13.12^{a}	730.86±8.13^{b}	815.39±8.45^{c}	1012.44±12.32^{d}
Ca	318.48±9.04^{b}	320.87±6.56^{b}	998.52±25.31^{c}	263.89±15.51^{a}
Na	310.64±11.43^{c}	258.23±5.34^{b}	214.11±6.26^{a}	218.24±6.63^{a}
Mg	31.62±0.51^{a}	35.37±1.01^{b}	36.74±1.48^{b}	48.38±2.93^{c}
Fe	25.26±0.05^{c}	25.30±0.07^{c}	9.96±0.04^{b}	0.66±0.03^{a}
Cu	4.53±0.03^{d}	4.00±0.03^{c}	3.55±0.06^{b}	2.64±0.02^{a}
Zn	3.25±0.06^{a}	5.86±0.07^{b}	8.08±0.06^{c}	9.27±0.08^{d}
Mn	0.43±0.02^{c}	0.40±0.04^{c}	0.19±0.03^{b}	0.05±0.00^{a}

注：同一行中不含相同字母的为差异显著（p<0.05），含有相同字母的为差异不显著（p>0.05）。

3 结论

实验通过对卵巢发育Ⅱ期~Ⅴ期长江刀鲚肉中的一般营养成分、脂肪酸、氨基酸、矿物质组分等进行测定，对卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉营养成分进行了较为系统、全面地分析。卵巢发育过程中的主要供能物质为脂肪，随着卵巢的发育，鱼肉中脂肪逐步减少。从Ⅱ期~Ⅴ期鱼肉中蛋白质含量增加，但氨基酸的组成较为稳定。卵巢发育各个阶段氨基酸组成均基本符合 FAO/WHO 的理想模式；根据氨基酸评分和必需氨基酸指数等评价指标，发现卵巢发育不同阶段的长江刀鲚鱼肉中均不存在限制性氨基酸，能够提供优质的蛋白质，满足人体所需。从脂肪酸组成和含量来看，各期组成都较为合理，不饱和脂肪酸含量丰富，卵巢发育各阶段均具有较高含量的并且对人体有益的 EPA、DHA 和油酸等。故卵巢发育Ⅱ期、Ⅲ期、Ⅳ期及Ⅴ期的长江刀鲚鱼肉营养价值相差不大，均能提供良好的营养。

参考文献

[1] Liu D, Li Y, Tang W, et al. Population structure of *Coilia nasus* in the Yangtze river revealed by insertion of short interspersed elements [J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2014, 54: 103-112

[2] Yang Q, Gao T, Miao Z. Differentiation between populations of Japanese grenadier anchovy (*Coilia nasus*) in northwestern pacific based on ISSR markers: Implications for biogeography [J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2011, 39(4): 286-296

[3] Jiang T, Yang J, Liu H, et al. Life history of Coilia nasus from the yellow sea inferred from otolith Sr: Ca ratios [J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 95(4): 503-508

[4] 李玉琪,陶宁萍.刀鲚营养价值研究现状及进展[J].食品工业,2014,35(1):223-227
LI Yu-qi, TAO Ning-ping. Present status and progress of evaluation on nutritional composition of coilia ectenes [J].The Food Industry, 2014, 35(1): 223-227

[5] 李玉琪,陶宁萍,朱文倩,等.产卵前后长江刀鲚肉中营养成分差异[J].食品工业科技,2015,36(15):338-341,346
LI Yu-qi, TAO Ning-ping, ZHU Wen-qian, et al. Comparison of nutritional composition between pre-and post-spawning Yangtze river-coilia [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(15): 338-341, 346

[6] 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[J].动物营养学报,2011,23(3):514-520
TANG Xue, XU Gang-chun, XU Pao, et al. A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured coilia nasus [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(3): 514-520

[7] 闻海波,张呈祥,徐钢春,等.长江刀鲚营养成分分析与品质评价[J].广东海洋大学学报,2008,28(6):20-24
WEN Hai-bo, ZHANG Cheng-xiang, XU Gang-chun, et al. Evaluation of nutritive quality and nourishing ingredients in muscle of coilia ectenes from Yangtse river [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008, 28(6): 20-24

[8] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification [J]. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 1959, 37(8): 911-917

[9] Adeyeye E. Amino acid composition of three species of nigerian fish: Clarias anguillaris, oreochromis niloticus and cynoglossus senegalensis [J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 43

[10] 姚翾,陶宁萍,王锡昌.宝石鱼肉氨基酸组成及营养评价[J].现代食品科技,2009,25(4):447-450
YAO Xuan, TAO Ning-ping, WANG Xi-chang. Composition analysis and nutritional evaluation of amino acids of jade perch muscle [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(4): 447-450

[11] Joint F, WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation [J]. WHO Technical Report Series, 2007

[12] 杨月欣.中国食物成分表 2004:第 2 册[M].北京:北京大学医学出版社,2005
YANG Yue-xin. China food composition 2004: Book 2 [M].Beijing: Peking University Medical Press, 2005

[13] 郑飞,郭弘艺,唐文乔,等.溯河洄游的长江刀鲚种群的年龄结构及其生长特征[J].动物学杂志,2012,47(5):24-31
ZHENG Fei, GUO Hong-yi, TANG Wen-qiao, et al. Age structure and growth characteristics of anadromous populations of *Coilia nasus* in the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(5): 24-31

[14] 管卫兵,陈辉辉.长江口刀鲚洄游群体和越冬群体能量利用方式[J].海洋湖沼通报,2014,4:35-40
GUAN Wei-bing, CHEN Hui-hui. Energy dynamics in anadromous C. ectens during spawning and overwintering in Yangtze estuary [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2014, 4: 35-40

[15] 罗毅平.鱼类洄游中的能量变化研究进展[J].水产科

学,2012,31(6):375-381
LUO Yi-ping. Research advances in energetic changes during fish migration: A review [J]. Fisheries Science, 2012, 31(6): 375-381

[16] Kiessling A, Lindahl-Kiessling K, Kiessling K H. Energy utilization and metabolism in spawning migrating early stuart sockeye salmon (Oncorhynchus nerka): the migratory paradox [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2004, 61(3): 452-465

[17] Mckenzie D J, Piraccini G, Piccolella M, et al. Effects of dietary fatty acid composition on metabolic rate and responses to hypoxia in the European eel (Anguilla anguilla) [J]. Fish Physiology & Biochemistry, 2000, 22(4): 281-296

[18] 柳凌,李荣,张洁明,等.日本鳗鲡雌鳗卵巢发育期间肌肉脂肪酸的组成及消耗[J].水生生物学报,2009,6:1011-1019
LIU Ling, LI Rong, ZHANG Jie-ming, et al. Composition and metabolizing of lipids and fatty acids in muscle of female Anguilla Japonica during the period of artificial inducing ovarian maturation [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 6: 1011-1019

[19] Hoffman L C. Comparative study of the nutritional composition of wild versus farmed yellowtail (Seriola lalandi) [J]. Aquaculture, 2015, 448:169-175

[20] Maria Makrides C B, Gibson C R A, Mcphee A J, et al. Effect of DHA supplementation during pregnancy on maternal depression and neurodevelopment of young children [J]. Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics, 2011, 2: 175

[21] Smith W L. The eicosanoids and their biochemical mechanisms of action. [J]. Biochemical Journal, 1989, 259(2): 315-324

[22] 黄旭雄,温文,危立坤,等.闽东海域银鲳亲鱼性腺发育后期脂类及脂肪酸蓄积特点[J].水产学报,2014,1:99-108
HUANG Xu-xiong, WEN Wen, WEI Li-kun, et al. Characteristics of lipid and fatty acid accumulation in wild-caught broodstocks of Pampus argenteus from Mindong Seazone [J]. Journal of Fisheries of China. 2014, 1: 99-108

[23] 刘志东,陈雪忠,曲映红,等.南极冰鱼与南极磷虾营养成分分析及比较[J].现代食品科技,2014,30(2):228-233
LIU Zhi-dong, CHEN Xue-zhong, QU Ying-hong, et al. Comparison and evaluation of the nutritional components of antarctic icefish and krill [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 228-233

[24] Mohanty B. Amino acid compositions of 27 food fishes and their importance in clinical nutrition [J]. Journal of Amino Acids, 2014, 2014: 269797-269797

[25] 赵立,陈军,赵春刚,等.野生和养殖乌鳢肌肉的成分分析及营养评价[J].现代食品科技,2015,9:1-7
ZHAO Li, CHEN Jun, ZHAO Chun-gang, et al. Comparison of nutritional components and evaluation in muscles of wild and cultured channa argus [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 9: 1-7