

# 匙吻鲟、杂交鲟和鳙肌肉品质的比较研究

王丽宏<sup>1,2</sup>, 吉红<sup>1,\*</sup>, 胡家<sup>1</sup>, 李杰<sup>1,3</sup>, 孙海涛<sup>1,4</sup>, 王涛<sup>1</sup>, 刘超<sup>1</sup>

(1.西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 西安 712100; 2.北京市营养源研究所, 北京 100069;

3.通威水产研究所, 四川 成都 610041; 4.青岛农业大学理学院与信息科学学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 分析养殖匙吻鲟 (*Polyodon spathula*)、杂交鲟 (hybrid sturgeon) 和鳙 (*Aristichthys nobilis*) 肌肉理化及营养特性, 对3种鱼的肉质进行评价。结果表明: 鳙的含肉率显著高于两种鲟鱼 ( $P < 0.05$ ), 两鲟鱼间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 匙吻鲟肌肉粗蛋白含量与杂交鲟、鳙之间均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 杂交鲟肌肉粗蛋白含量显著低于鳙 ( $P < 0.05$ ); 对于粗脂肪含量杂交鲟与匙吻鲟和鳙之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 匙吻鲟显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 粗灰分含量鳙显著高于两种鲟鱼 ( $P < 0.05$ )。3种鱼的脂肪酸由3种饱和脂肪酸和6种不饱和脂肪酸组成, 杂交鲟不饱和脂肪酸含量显著高于匙吻鲟、鳙 ( $P < 0.05$ ); 匙吻鲟单不饱和脂肪酸含量显著高于杂交鲟和鳙 ( $P < 0.05$ ); 多不饱和脂肪酸含量杂交鲟 > 匙吻鲟 > 鳙, 3种鱼之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 高不饱和脂肪酸含量3种鱼之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 鳙 > 杂交鲟 > 匙吻鲟。动脉粥样化指数匙吻鲟显著低于鳙 ( $P < 0.05$ ); 血栓指数匙吻鲟与杂交鲟之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但均显著低于鳙 ( $P < 0.05$ )。杂交鲟熟肉率显著低于鳙 ( $P < 0.05$ ), 胶原蛋白的含量显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 液体流失率、水分流失率匙吻鲟显著低于杂交鲟、鳙 ( $P < 0.05$ ); 脂质流失率、肌纤维直径匙吻鲟与杂交鲟之间无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 但脂质流失率两种鲟鱼显著低于鳙 ( $P < 0.05$ ), 肌纤维直径两种鲟鱼显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 生肉硬度匙吻鲟与鳙之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 但均显著低于杂交鲟 ( $P < 0.05$ ); 黏附性、内聚性、回弹力、剪切力杂交鲟均显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 弹性匙吻鲟显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 黏性、咀嚼性三者之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 杂交鲟 > 匙吻鲟 > 鳙。熟肉硬度匙吻鲟与杂交鲟、鳙之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 杂交鲟显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 内聚性、回弹力匙吻鲟显著高于杂交鲟、鳙 ( $P < 0.05$ ); 弹性匙吻鲟显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 黏性、咀嚼性匙吻鲟显著高于鳙 ( $P < 0.05$ ); 剪切力匙吻鲟显著低于鳙 ( $P < 0.05$ )。多汁性、油腻、风味浓度3种鱼之间无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 嫩度匙吻鲟 < 杂交鲟 < 鳙, 匙吻鲟显著低于鳙 ( $P < 0.05$ )。研究认为, 匙吻鲟风味较好, 健康指数较为理想, 杂交鲟与之相似。鳙可提供较高水平的蛋白和HUFA等不饱和脂肪酸, 其嫩度也相对较好。

**关键词:** 匙吻鲟; 杂交鲟; 鳙; 肉质

## Comparative Study on Muscle Quality of Cultured *Polyodon spathula*, Hybrid Sturgeon and *Aristichthys nobilis*

WANG Li-hong<sup>1,2</sup>, JI Hong<sup>1,\*</sup>, HU Jia<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1,3</sup>, SUN Hai-tao<sup>1,4</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>, LIU Chao<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Xi'an 712100, China;

2. Beijing Nutrition Resources Institute, Beijing 100069, China; 3. Tongwei Fisheries Research Institute, Chengdu 610041, China; 4. College of Science and Information, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** A comparative study was conducted on muscle physical and chemical qualities of *Polyodon spathula*, the hybrid sturgeon *H. dauricus* ♀ × *A. schrenckii* ♂ and *Aristichthys nobilis*. The results showed that flesh content in *A. nobilis* was significantly higher than in two other sturgeon species ( $P < 0.05$ ). The muscle protein content of *P. spathula* was not different from that of the hybrid and *A. nobilis* ( $P > 0.05$ ), and we further found that the hybrid was significantly lower than *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Crude fat was significantly more abundant in *P. spathula* as compared to that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ), although both species showed no significant difference from hybrid sturgeon ( $P < 0.05$ ). *A. nobilis* contained significantly higher amounts of ash than the other sturgeon species ( $P < 0.05$ ). The fatty acid profiles in these three fish species were found to consist of three saturated fatty acids (SFAs) and six unsaturated fatty acids (UFAs), and the UFA content in hybrid sturgeon was higher than in *P. spathula* and *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). The content of mono-unsaturated fatty acids (MUFAs) in

收稿日期: 2013-01-16

基金项目: 财政部大学推广模式建设项目

作者简介: 王丽宏 (1981—), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: wlh810615@126.com

\*通信作者: 吉红 (1967—), 男, 教授, 博士, 主要从事水生经济动物营养与水生生物技术研究。E-mail: jihong0405@hotmail.com

*P. spathula* was significantly higher than in hybrid sturgeon and *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ) and the contents of poly-unsaturated fatty acids (PUFAs) were significantly different among the three species ( $P < 0.05$ ) and the decreasing order was hybrid sturgeon  $> P. spathula > A. nobilis$ . Similarly, the contents of highly unsaturated fatty acids (HUFAs) were significantly different among them ( $P < 0.05$ ), showing a decreasing order of *A. nobilis*  $>$  hybrid sturgeon  $> P. spathula$ . The atherogenic index (AI) in *P. spathula* was significantly lower than that observed for *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ), and the thrombosis index (TI) in *P. spathula* and hybrid sturgeon was significantly lower than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). The cooked meat yield of hybrid sturgeon was significantly lower than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ), whereas the collagen content was significantly higher than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Both juice loss and water loss in *P. spathula* were significantly lower than those of hybrid sturgeon and *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Fat loss and muscle fiber diameter were not significantly different between *P. spathula* and hybrid sturgeon ( $P > 0.05$ ), but fat loss in *P. spathula* and hybrid sturgeon was significantly lower than in *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ), while muscle fiber diameter was significantly higher than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). No significant difference in muscle hardness was found between *P. spathula* and *A. nobilis* ( $P > 0.05$ ), but the values of both species were significantly lower than that of hybrid sturgeon ( $P < 0.05$ ); in addition, adhesiveness, cohesiveness, resilience and shear force in hybrid sturgeon were significantly higher than those observed for *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Springiness in *P. spathula* was significantly higher than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Chewiness was significantly different among the three species, and the descending order was hybrid sturgeon  $> P. spathula > A. nobilis$ . The hardness of cooked meat from hybrid sturgeon was significantly higher than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ); as for cohesiveness and resilience, *P. spathula* was significantly higher than hybrid sturgeon and *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Springiness in *P. spathula* was significantly higher than that found in *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Gumminess and chewiness in *P. spathula* were significantly higher than those of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Shear force was significantly lower in *P. spathula* compared to *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ). Moreover, muscle tenderness of *P. spathula* was significantly lower than that of *A. nobilis* ( $P < 0.05$ ), and hybrid sturgeon was in the middle. However, no significant differences in juiciness, greasiness or flavor were found among the three species. In conclusion, the flavor and IT/AT in *P. spathula* are relatively better, similar to hybrid sturgeon, indicating health benefits; the contents of protein and other nutrients such as HUPA in *A. nobilis* are higher or close to the ideal patterns, suggesting its higher nutritional value and better tenderness.

**Key words:** *Polyodon spathula*; hybrid sturgeon; *Aristichthys nobilis*; meat quality

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)01-0062-07

doi:10.7506/spkx1002-6630-201401012

随着生活水平的不断提高,人们对水产品的需求不断提高,种类要求已由传统的常规鱼类向名特优新水产品转变,同时也对其肉质品质提出了更高的要求。肉质可以定义为许多特性的一个复合物,通常包括肉的感官特性、质地特性、理化特性等方面<sup>[1-3]</sup>。随着动物营养和食品科学的发展,已形成了较为完善的肉质及营养评定方法<sup>[4-6]</sup>,肉质评价日趋全面系统。

匙吻鲟(*Polyodon spathula*)又称匙吻白鲟、鸭嘴鲟,属鲟形目,匙吻鲟科,是北美洲密西西比河流域特有的一种滤食性淡水经济鱼类,适应性强、生长迅速。1992年,美国鱼类和野生动物局将匙吻鲟列入国际濒危野生动植物种国际贸易公约<sup>[7]</sup>。1988年,湖北省首次从美国引进匙吻鲟并试养成功<sup>[8]</sup>。西北农林科技大学安康水产试验示范站于2008年将匙吻鲟引入西北地区推广,取得了较好的效果。杂交鲟是鲟鱼种类间或属间杂交育种的产物,本实验采用的杂交鲟是达氏鳇(♀)与史氏鳇(♂)的杂交后代,是陕西省鲟鱼市场上一种比较常见的

品种。鳇(*Aristichthys nobilis*)又叫花鲢、胖头鱼等,属硬骨鱼纲、鲤形目、鲤科,是中国著名四大家鱼之一,其食性与匙吻鲟相同,也属于滤食性鱼类,主要摄食轮虫、枝角类等浮游动物,性情温顺,生长速度较快。

目前,国内外对匙吻鲟、杂交鲟和鳇的研究主要集中在繁殖特性<sup>[9]</sup>、养殖技术<sup>[10]</sup>、神经系统<sup>[11-12]</sup>、皮肤色素<sup>[13]</sup>、消化生理<sup>[14-15]</sup>等方面,对其肉质的研究特别是理化特性、质地及感官特性等的研究,以及不同种类及摄食方式鱼类之间肉质的比较研究尚不多见<sup>[16-19]</sup>。本实验基于前人的研究并结合鱼类肉质的特点,以上述3种鱼类为研究对象,综合考虑其所属门类及摄食方式等因素的差异(两种鲟鱼属于同一类别,但摄食方式不同,匙吻鲟和鳇都是滤食性鱼类),从感官、质地、理化特性、脂肪酸组成等方面的分析评价入手,探讨3种鱼类肉质的营养及食用价值,旨在为鱼类的健康养殖模式的优化及其开发利用提供一定的科学依据,并为不同种类养殖鱼类的肉质研究提供资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

匙吻鲟 (*Polyodon spathula*) 由西北农林科技大学安康水产试验示范站培育提供, 杂交鲟 (达氏鳇 *H. dauricus* ♀ × 史氏鳇 *A. schrenckii* ♂) 购自陕西省西安市炭市街水产市场, 鳙 (*Aristichthys nobilis*) 购自杨凌康乐市场。每种鱼6尾, 均为商品规格的健康上市鱼, 匙吻鲟460~750 g, 杂交鲟700~1 200 g, 鳙1 000~2 300 g。

石油醚、硼酸、98%浓硫酸、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸钾、盐酸、无水乙醇、甲基红、溴甲酚绿、硝酸、甘油等均为分析纯 国药集团化学试剂有限公司。

GZX-9030MBE电热鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司; KDN-04B凯氏定氮仪 上海新嘉电子有限公司; 索氏提取器 北京康达顺业科技有限公司; SX2-2.5-10马弗炉 郑州晶誉仪科技有限公司; 5975C气相色谱仪 安捷伦科技有限公司; Pe20型精密pH计、AL204分析天平 梅特勒-托利多仪器有限公司; DZKW-4水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司; XDS-1型倒置显微镜 上海徕卡光电科技有限公司; 721型分光光度计 上海第三仪器厂; TA-XT2i型质构分析仪 英国Stable Micro Systems公司; C-LM3型数显式嫩度仪 北京朋利驰科技有限公司; BS 200S型电子天平 北京赛多利斯天平有限公司; DH89-II匀浆机 上海狄昊实业发展有限公司。

### 1.2 方法

实验鱼用塑料充氧袋带回实验室后, 用清水将体表清洗干净, 敲击致死解剖, 立即取样用于pH值、肌纤维直径的测定, 然后进行其他指标样本的采集。

#### 1.2.1 生物学性状测定

实验鱼均称质量 ( $m_1$ ), 测量吻长 (杂交鲟和匙吻鲟, 为吻端到眼中部的直线距离)、体长 (匙吻鲟和杂交鲟, 体长为吻端和尾叉处的直线距离, 鳙为吻端和最后一节脊椎骨之间的直线距离) ( $L$ ), 解剖后取其内脏, 称空壳质量 ( $m_2$ ), 然后剪掉各鳍, 剥离鱼皮和鳃, 并称其总质量 ( $m_3$ )。其后沿脊椎骨取下鱼片, 剩下的鱼骨 (包括头骨) 用沸水浸泡5 min后弃去附着的肌肉, 阴凉处风干称质量 ( $m_4$ )。

$$\text{含肉率}/\% = \frac{m_2 - m_3 - m_4}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{内脏指数}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

#### 1.2.2 肌肉营养成分测定

肌肉常规营养成分: 水分含量的测定采用常压105 °C条件下烘干恒质量法; 粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法; 脂肪含量测定采用索氏抽提法; 粗灰分的测定采用550 °C灼烧法。

肌肉脂肪酸测定: 参照常抗美<sup>[20]</sup>和吉红<sup>[21]</sup>的方法进行测定。气相色谱条件: 色谱柱DB-WAX交联石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm), 起始柱温180 °C, 以8 °C/min程序升温至240 °C, 直至所有组分全部流出, 进样口离子源温度230 °C, 载气为高纯氮, 流量35 mL/min。

依据Ulbricht等<sup>[22]</sup>方法计算动脉粥样化指数 (index of atherogenicity, IA) 和血栓指数 (index of thrombogenicity, IT), 计算公式如下。

$$IA = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum PUFA + \sum MUFA} \quad (3)$$

$$IT = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times n-6 + 3 \times n-3 + \frac{n-3}{n-6}} \quad (4)$$

式中: MUFA为单不饱和脂肪酸; PUFA为多不饱和脂肪酸;  $n-3$ 为 $n-3$ 系列不饱和脂肪酸;  $n-6$ 为 $n-6$ 系列不饱和脂肪酸。

#### 1.2.3 理化指标的测定

肌肉pH值: 每尾鱼取鱼片后立即从鱼片中部取1 g左右的肉样, 参照Aan等<sup>[23]</sup>的方法, 将样品按1:10 ( $m/V$ ) 加入蒸馏水后用研钵磨成糊状, 用PH-3CT型精密pH计测定研磨液的pH值。

熟肉率: 参照冶成君<sup>[24]</sup>和黄钧<sup>[25]</sup>的方法测定, 从每尾鱼鱼片的中部靠前部位取一块约5 g肉样, 称质量 ( $m_0$ ), 然后在沸水中煮15 min, 冷却, 吸去鱼肉表面水分, 称肉样质量 ( $m_1$ )。

$$\text{熟肉率}/\% = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

流失率: 参照Røra等<sup>[26]</sup>的方法测定。从每尾鱼鱼片中部靠后部位取10 g左右的肉样, 记录初质量 ( $m_4$ ), 然后将其放入一个装有已恒重滤纸 ( $m_5$ ) 的离心管 (15 mL) 中, 滤纸完整包裹整个肉样, 然后在500 × g、10 °C离心10 min, 取出滤纸, 弃鱼肉, 称量滤纸湿质量 ( $m_6$ ), 然后将滤纸于50 °C烘至恒质量, 记为 $m_7$ 。

$$\text{液体流失率}/\% = \frac{m_6 - m_5}{m_4} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{水分流失率}/\% = \frac{m_6 - m_7}{m_4} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{脂质流失率}/\% = \frac{m_7 - m_5}{m_4} \times 100 \quad (8)$$

肌纤维直径: 参照谭丽琴等<sup>[27]</sup>的方法测定。沿肌纤维走向, 从每尾鱼鱼片中部靠前部位剪取20 mm × 10 mm × 1 mm大小的肌肉样, 用线固定于载玻片上, 放入20%的硝酸液中浸泡24 h (保鲜膜封住烧杯口) 后, 剪取约1 mm × 1 mm × 1 mm的小块置于载玻片



上,在样品上滴加甘油后用解剖针将肌纤维分离开来,在200倍倒置显微镜下拍照,然后用软件测定肌纤维直径,每尾鱼取3个样,随机记录300条肌纤维直径,并求其平均值。

$$\text{肌纤维直径}/\mu\text{m}=\Sigma x_i/300 \quad (9)$$

式中:  $i=1,2,3\ldots 300$ ,  $x_i$  为第1,2,3...300个记录数据。

胶原蛋白含量:肉样中羟脯氨酸含量的测定参照曾勇庆等<sup>[28]</sup>的方法,采用分光光度法。Cross<sup>[29]</sup>和Goll<sup>[30]</sup>等在其研究中提出,肌肉中羟脯氨酸的含量占总胶原蛋白的13.3%,故肌肉中总胶原蛋白的含量可以用羟脯氨酸的量乘以7.25得到。

#### 1.2.4 质构特性及嫩度的测定

质构特征:从每尾鱼鱼片中部取2块50 mm×10 mm×10 mm的肉样,其中一块放入密封塑料袋中置于沸水15 min后取出,为熟肉。用解剖刀分别将生肉和熟肉切成4块10 mm×10 mm×10 mm的肉样,采用TA-XT2i型质构分析仪进行质构分析(TAP测试),探头为P6(直径为6 mm)圆柱型平底探头,测试前、中、后的速率为1 mm/s,两次测试间隔时间为5 s,压缩比为50%。测定的主要指标有硬度(第一次向下压样品时所用的最大力, g)、内聚性(第二次垂直下压时与样品的接触面积与第一次的比值)、弹性(第二次压缩过程所经历的时间和第一次下压的比值)、黏附性(两次压缩过程中未重叠的面积)以及派生的指标,如咀嚼力(硬度×内聚力×弹性, g)、回弹力(第一次下压时探头上升所受力与探头下压时所受力的比值)<sup>[31]</sup>。

嫩度:从每尾鱼鱼片的中部取2块50 mm×10 mm×10 mm的肉样,其中一块放入密封塑料袋中置于沸水15 min后取出,冷却,用C-LM3型数显式嫩度仪在100 N力下沿垂直肌纤维方向分别测定生肉和熟肉的剪切力,用切断时所受到力(N)的大小表示。每份肉样测5次取平均值。

#### 1.2.5 肌肉的感官特性

肉质品评设计参照陈幼春等<sup>[32]</sup>的方法。从每尾鱼鱼片中部取一块130 mm×10 mm×10 mm的肉样,4℃保存,45 min后,用一塑料密封袋装好置于沸水15 min后取出,然后分别切成12份10 mm×10 mm×10 mm的肉样(同一尾鱼的肉样置于一个密封袋中于60℃保温),用于肉质品评。参与品评的12人均为本校水产相关专业人员。品评过程中肉样随机编号摆放。每人每次品评后,均要分别填写品评表,指标包括多汁性、嫩度、油腻感、风味浓度,采用8分制,8代表极多汁、肉极嫩、油腻感极强、风味浓度极强烈,7代表非常多汁、肉很嫩、油腻感很强、风味浓度很强,6代表较多汁、肉较嫩、油腻感较强、风味浓度较强,5代表略多汁、肉略嫩、油腻感略强、风味浓度略强,4代表略干燥、肉略老、油腻感

略弱、风味浓度略淡,3代表较干燥、肉较老、油腻感较弱、风味浓度较淡,2代表非常干燥、肉很老、油腻感很弱、风味浓度很淡,1代表非常干燥、肉很老、油腻感极弱、风味浓度极淡。

#### 1.3 数据分析

所有的数据均采用SPSS16.0软件中的Duncan's法多重比较统计分析。结果用 $\bar{x}\pm s$ 表示,显著水平 $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 匙吻鲟、杂交鲟和鲮的生物学性状

表1 匙吻鲟、杂交鲟、鲮的生物学性状( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=6$ )

Table 1 Biological parameters of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=6$ )

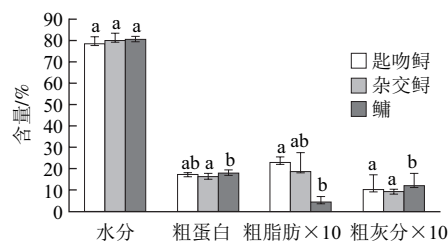
鱼类	含肉率/%	内脏指数/%
匙吻鲟	61.07±2.30 <sup>a</sup>	8.82±0.51
杂交鲟	60.19±3.90 <sup>a</sup>	7.63±2.64
鲮	66.71±1.26 <sup>b</sup>	7.74±2.17

注:同一指标标注不同字母表示存在显著差异( $P<0.05$ )。下同。

由表1可知,3种鱼之间内脏指数无显著性差异( $P>0.05$ );含肉率鲮显著高于匙吻鲟、杂交鲟( $P<0.05$ ),两种鲟鱼之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

### 2.2 匙吻鲟、杂交鲟和鲮肌肉营养成分分析

#### 2.2.1 肌肉常规营养成分



同一指标标注不同字母表示存在显著差异( $P<0.05$ )。

图1 匙吻鲟、杂交鲟、鲮肌肉的常规营养成分( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=6$ )

Fig.1 Proximate nutrients of muscles of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x}\pm s$ ,  $n=6$ )

由图1可知,水分含量3种鱼之间无明显差异( $P>0.05$ );肌肉粗蛋白含量匙吻鲟与杂交鲟、鲮之间均无显著差异( $P>0.05$ ),杂交鲟显著低于鲮( $P<0.05$ );粗脂肪含量匙吻鲟>杂交鲟>鲮,杂交鲟与匙吻鲟和鲮之间无显著差异( $P>0.05$ ),匙吻鲟显著高于鲮( $P<0.05$ );粗灰分含量匙吻鲟与杂交鲟之间无显著差异( $P>0.05$ ),但显著低于鲮( $P<0.05$ )。

#### 2.2.2 肌肉脂肪酸组成

由表2可知,3种鱼的脂肪酸由3种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)和6种不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)组成,其中包括两种高不

饱和脂肪酸 (highly unsaturated fatty acid, HUFA)。UFA 含量杂交鲟显著高于匙吻鲟、鳙 ( $P<0.05$ )，匙吻鲟和鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )；单不饱和脂肪酸含量 (mono-unsaturated fatty acid, MUFA) 匙吻鲟显著高于杂交鲟和鳙 ( $P<0.05$ )，杂交鲟和鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )；多不饱和脂肪酸 (poly-unsaturated fatty acids, PUFA) 含量杂交鲟>鳙>匙吻鲟，3种鱼之间差异显著 ( $P<0.05$ )；HUFA 含量3种鱼之间差异显著 ( $P<0.05$ )，鳙>杂交鲟>匙吻鲟。IA 杂交鲟鱼匙吻鲟和鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，匙吻鲟显著低于鳙 ( $P<0.05$ )；II匙吻鲟与杂交鲟之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，但均显著低于鳙 ( $P<0.05$ )。

表2 匙吻鲟、杂交鲟、鳙肌肉的脂肪酸组成及IA、II值 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=6$ )  
Table 2 Fatty acids composition of muscles of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

脂肪酸	匙吻鲟	杂交鲟	鳙
C <sub>14:0</sub>	1.81±0.08	2.04±0.23	2.11±1.40
C <sub>16:0</sub>	27.15±0.64 <sup>c</sup>	19.85±1.09 <sup>a</sup>	22.21±0.22 <sup>b</sup>
C <sub>16:1n-9</sub>	4.88±0.38 <sup>ab</sup>	3.27±0.10 <sup>a</sup>	7.78±3.09 <sup>b</sup>
C <sub>18:0</sub>	3.64±0.14 <sup>a</sup>	3.64±0.36 <sup>a</sup>	8.65±1.87 <sup>b</sup>
C <sub>18:1n-9</sub>	38.81±1.86 <sup>c</sup>	27.78±1.29 <sup>b</sup>	22.39±3.02 <sup>a</sup>
C <sub>18:2n-6</sub> (LA)	10.82±0.71 <sup>b</sup>	25.83±1.90 <sup>a</sup>	6.30±1.74 <sup>c</sup>
C <sub>18:3n-3</sub> (LNA)	1.63±0.08 <sup>a</sup>	2.68±0.33 <sup>a</sup>	4.90±1.00 <sup>b</sup>
C <sub>20:5n-3</sub> (EPA)	4.33±0.37 <sup>a</sup>	4.68±0.67 <sup>a</sup>	13.01±3.42 <sup>b</sup>
C <sub>22:6n-3</sub> (DHA)	6.92±0.75 <sup>a</sup>	10.22±1.14 <sup>b</sup>	12.66±1.46 <sup>c</sup>
ΣSFA	32.60±0.86 <sup>b</sup>	25.54±1.25 <sup>a</sup>	32.98±0.56 <sup>b</sup>
ΣUFA	67.40±0.86 <sup>a</sup>	74.46±1.26 <sup>b</sup>	67.02±0.56 <sup>a</sup>
ΣMUFA	43.69±1.84 <sup>b</sup>	31.05±1.33 <sup>a</sup>	30.16±4.52 <sup>a</sup>
ΣPUFA	23.71±1.66 <sup>a</sup>	43.41±0.79 <sup>c</sup>	36.86±3.97 <sup>b</sup>
ΣHUFA	11.26±1.10 <sup>a</sup>	14.90±1.81 <sup>b</sup>	25.67±4.86 <sup>c</sup>
ΣSFA/ΣUFA	0.48±0.02 <sup>b</sup>	0.34±0.02 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>b</sup>
IA (×1000)	0.27±0.01 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>ab</sup>	0.37±0.07 <sup>b</sup>
IT (×1000)	69.70±6.15 <sup>a</sup>	90.78±8.87 <sup>a</sup>	123.13±16.39 <sup>b</sup>

注：LA. 亚油酸；LNA. 亚麻酸；EPA. 二十碳五烯酸；DHA. 二十二碳六烯酸；SFA. 饱和脂肪酸；UFA. 不饱和脂肪酸；MUFA. 单不饱和脂肪酸；PUFA. 多不饱和脂肪酸；HUFA. 高不饱和脂肪酸；IA. 动脉粥样硬化指数；IT. 血栓指数。

2.3 匙吻鲟、杂交鲟和鳙肌肉理化指标

表3 匙吻鲟、杂交鲟、鳙肌肉的理化特性 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=6$ )  
Table 3 Muscle physical and chemical properties of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

指标	匙吻鲟	杂交鲟	鳙
pH	7.06±0.10	7.18±0.20	7.11±0.09
熟肉率/%	71.71±1.70 <sup>ab</sup>	68.08±4.33 <sup>a</sup>	75.15±4.98 <sup>b</sup>
液体流失率/%	7.30±1.23 <sup>a</sup>	10.07±1.83 <sup>b</sup>	11.19±2.15 <sup>b</sup>
脂质流失率/%	0.78±0.59 <sup>a</sup>	0.85±0.16 <sup>a</sup>	1.18±0.21 <sup>b</sup>
水分流失率/%	6.52±1.21 <sup>a</sup>	9.36±0.80 <sup>b</sup>	10.01±1.99 <sup>b</sup>
胶原蛋白含量/(mg/g)	3.88±0.64 <sup>ab</sup>	5.08±0.76 <sup>a</sup>	3.51±1.35 <sup>b</sup>
肌纤维直径/μm	52.77±3.15 <sup>a</sup>	53.40±6.04 <sup>a</sup>	35.64±3.98 <sup>b</sup>

由表3可知，pH值3种鱼之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )；熟肉率、胶原蛋白含量匙吻鲟与杂交鲟、鳙之间无显著性

差异 ( $P>0.05$ )，杂交鲟的熟肉率显著低于鳙 ( $P<0.05$ )，胶原蛋白的含量显著高于鳙 ( $P<0.05$ )；液体流失率、水分流失率匙吻鲟显著低于杂交鲟、鳙 ( $P<0.05$ )，杂交鲟、鳙之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )；脂质流失率、肌纤维直径匙吻鲟与杂交鲟之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )，但脂质流失率均显著低于鳙 ( $P<0.05$ )，肌纤维直径显著高于鳙 ( $P<0.05$ )。

2.4 匙吻鲟、杂交鲟和鳙肌肉质构特性及剪切力

表4 匙吻鲟、杂交鲟、鳙生肉的质构特征 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=6$ )  
Table 4 Textural parameters of e raw meat of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

指标	匙吻鲟	杂交鲟	鳙
硬度/g	452.63±141.62 <sup>a</sup>	1046.92±145.10 <sup>b</sup>	296.41±97.62 <sup>a</sup>
内聚性	0.46±0.08 <sup>ab</sup>	0.54±0.10 <sup>a</sup>	0.39±0.07 <sup>b</sup>
弹性	0.99±0.09 <sup>a</sup>	0.94±0.08 <sup>ab</sup>	0.82±0.08 <sup>b</sup>
黏附性/(g·s)	-5.03±2.02 <sup>ab</sup>	-4.87±4.50 <sup>a</sup>	-8.68±1.45 <sup>b</sup>
黏性	254.52±108.66 <sup>a</sup>	433.78±92.16 <sup>b</sup>	104.36±20.01 <sup>c</sup>
咀嚼性/g	248.51±126.03 <sup>a</sup>	410.29±83.12 <sup>b</sup>	90.77±24.49 <sup>c</sup>
回弹力	0.26±0.05 <sup>ab</sup>	0.30±0.05 <sup>a</sup>	0.19±0.03 <sup>b</sup>
剪切力/g	3.34±1.09 <sup>ab</sup>	4.94±1.46 <sup>a</sup>	2.13±0.69 <sup>b</sup>

由表4可知，匙吻鲟与鳙的硬度之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，但均显著低于杂交鲟 ( $P<0.05$ )；匙吻鲟的黏附性、内聚性、回弹力、剪切力与杂交鲟、鳙之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )，但相关指标杂交鲟均显著高于鳙 ( $P<0.05$ )；匙吻鲟的弹性显著高于鳙 ( $P<0.05$ )，但均与杂交鲟之间无显著差异 ( $P>0.05$ )；黏性、咀嚼性：杂交鲟>杂交鲟>鳙，且3种鱼之间差异显著 ( $P<0.05$ )。

表5 匙吻鲟、杂交鲟、鳙熟肉的质构特征 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=6$ )  
Table 5 Textural parameters of cooked meat of *Polyodon spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

指标	匙吻鲟	杂交鲟	鳙
硬度/g	189.47±30.20 <sup>ab</sup>	192.77±27.25 <sup>a</sup>	143.57±24.50 <sup>b</sup>
内聚性	0.61±0.06 <sup>a</sup>	0.49±0.05 <sup>b</sup>	0.48±0.03 <sup>b</sup>
弹性	1.07±0.28 <sup>a</sup>	0.92±0.05 <sup>ab</sup>	0.82±0.03 <sup>b</sup>
黏附性/(g·s)	-1.36±0.44	-1.89±0.67	-1.95±0.56
黏性	117.92±26.82 <sup>a</sup>	106.10±22.76 <sup>ab</sup>	69.99±14.98 <sup>b</sup>
咀嚼性/g	126.47±51.01 <sup>a</sup>	101.49±29.10 <sup>ab</sup>	57.79±13.43 <sup>b</sup>
回弹力	0.27±0.05 <sup>a</sup>	0.18±0.02 <sup>b</sup>	0.17±0.03 <sup>b</sup>
剪切力/g	0.50±0.25 <sup>a</sup>	0.60±0.32 <sup>ab</sup>	0.92±0.19 <sup>b</sup>

由表5可知，匙吻鲟的硬度与杂交鲟、鳙之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )，杂交鲟显著高于鳙 ( $P<0.05$ )；匙吻鲟内聚性、回弹力显著高于杂交鲟、鳙 ( $P<0.05$ )，杂交鲟、鳙之间无显著性差异 ( $P>0.05$ )；杂交鲟的弹性与匙吻鲟、鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，匙吻鲟显著高于鳙 ( $P<0.05$ )；杂交鲟的黏性、咀嚼性与匙吻鲟和鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，匙吻鲟极显著高于鳙 ( $P<0.05$ )；杂交鲟的剪切力与匙吻鲟、鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ )，匙吻鲟显著低于鳙 ( $P<0.05$ )。

## 2.5 匙吻鲟、杂交鲟和鳙肌肉的感官特性

表6 匙吻鲟、杂交鲟、鳙熟肉的感官平均得分 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 6 Mean sensory attribute scores of cooked meat of *Polyodon*  
*spathula*, hybrid sturgeon and *Aristichthys nobilis* ( $\bar{x} \pm s$ )

感官特性	匙吻鲟	杂交鲟	鳙
多汁性	5.03±0.54	5.57±0.57	5.52±0.40
嫩度	5.18±0.38 <sup>a</sup>	5.40±0.61 <sup>ab</sup>	6.09±0.38 <sup>b</sup>
油腻	4.80±0.49	4.83±0.34	4.64±0.53
风味浓度	5.86±0.56	5.67±0.26	5.80±0.34

注: 测试样本为每种鱼6条, 品评人员12名。

由表6可知, 多汁性、油腻、风味浓度3种鱼之间均无显著性差异 ( $P>0.05$ ); 嫩度匙吻鲟<杂交鲟<鳙, 但杂交鲟和匙吻鲟、鳙之间无显著差异 ( $P>0.05$ ), 匙吻鲟显著低于鳙 ( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

3.1 匙吻鲟、杂交鲟和鳙生物学性状及营养成分的比较  
含肉率是衡量鱼类品质、生产性能的重要指标之一, 一般鱼类含肉率的高低与其体形及其生长发育的不同阶段相关<sup>[33-34]</sup>。本实验中, 匙吻鲟的含肉率较低, 为61.07%, 与董宏伟等<sup>[35]</sup>的研究结果相符, 其主要原因是匙吻鲟的吻部质量占体质量的比例较大, 但由于其骨骼为可食性软骨, 因此其可食用部分所占比例相对较高。鱼类的主要营养部分是肌肉, 其营养价值主要是由蛋白质和脂肪含量决定的<sup>[36]</sup>。本实验中从蛋白质和脂肪总量来看, 匙吻鲟最高, 杂交鲟次之, 鳙鱼最低。匙吻鲟肌肉中的脂肪含量最高, 与杂交鲟无显著差异, 是鳙鱼的5倍, 这可能与匙吻鲟所含红肌肉有关。研究表明, 匙吻鲟红肌肉中脂肪含量是白肌肉中的5倍, 其不饱和脂肪酸占总脂肪量的80%左右, 其中非极性脂质和极性脂质中 $n-3$ 脂肪酸含量分别为9.9%和10.9%, 含量均较高<sup>[37]</sup>。Bejerholm<sup>[38]</sup>以及Fortin<sup>[39]</sup>等认为, 就食用而言, 肌肉中脂质含量在2%~3%是比较合适的。而本实验匙吻鲟脂质含量在这个范围内。

脂肪酸是人体的必需营养素, 生物体内脂肪酸, 尤其是必需脂肪酸含量的改变能诱导神经生理、认知和其他行为的变化<sup>[40]</sup>。研究表明, 不饱和脂肪酸有益于健康, 减少饱和脂肪酸的摄入, 适当增加单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的摄入, 可防止冠心病<sup>[41]</sup>。不饱和脂肪酸中, 最重要的是 $n-3$ 系列的EPA和DHA, 它们是人类必需的HUFA, 具有降低血清甘油三酯和胆固醇的作用, 对抑制血小板聚集, 人体抗血栓, 抗动脉硬化有显著疗效。一般认为, 许多动物不能自行合成HUFA或合成量很少, 必须从食物中摄取, 其对机体正常繁殖、生长、发育都起着重要的作用<sup>[42-44]</sup>。脂肪酸指数, 例如IA和IT, 可以用来反映食物中EPA和DHA对心血管疾病的

临床预防效果<sup>[45]</sup>。本实验中, PUFA含量杂交鲟最高, 鳙次之, 匙吻鲟最低; HUFA、EPA/DHA含量鳙最高, 杂交鲟次之, 匙吻鲟最低; MUFA含量匙吻鲟显著高于杂交鲟和鳙; 鳙SFA、MUFA、PUFA比值接近理想模式(1:1:1), 适合人体需求<sup>[46]</sup>, 杂交鲟与匙吻鲟差异较小。匙吻鲟的IA和IT最低, 杂交鲟和鳙差异较小, 这可能是由于匙吻鲟肌肉中含有较低的 $C_{14:0}$ , 而 $C_{18:1n-9}$ 和MUFA含量较高相关。由上可知, 鳙肌肉的营养成分含量相对较高, 而匙吻鲟的健康指数相对较好, 有利于机体的健康。

## 3.2 匙吻鲟、杂交鲟和鳙肌肉理化、质构特性及嫩度的比较

肌肉的保水力是指肌肉受外力作用时保持其原有水分与添加水分的能力, 失水率愈高, 保水力愈低, 常用熟肉率、滴水损失等来衡量, 而汁液量的多少特别是脂质的水平与肉的口味有直接关系。在本实验中, 匙吻鲟的脂质、液体、水分流失率等均较低, 杂交鲟次之, 鳙最高, 这说明相对杂交鲟和鳙而言, 匙吻鲟的肉质口味相对较好。胶原蛋白是一种重要的肌肉组织成分, 在维持肌肉结构、柔韧性、强度、肌肉质地和游泳能力等方面起着重要作用<sup>[47-48]</sup>。本实验中杂交鲟最高, 匙吻鲟次之, 鳙最低。鱼类的肌纤维直径是影响肉品嫩度和风味, 描述其肌肉特征的重要指标之一<sup>[49-50]</sup>, 肌纤维的密度越小, 直径越小, 肉的嫩度越好<sup>[51]</sup>, 杂交鲟的肌纤维直径最大, 与匙吻鲟无显著差异, 两者均显著高于鳙, 这说明鳙的肉质相对较鲜嫩。Caine等<sup>[31]</sup>通过对质构相关参数的逐步回归分析也表明, 硬度、黏附性也是解释肌肉嫩度变化规律的有效参数。本研究中3种鱼肌肉硬度、黏附性与肌纤维直径变化呈现一定的相关性。

弹性、回弹力与肌肉的多汁性、风味浓度等无直接相关性, 但与肌间脂肪的含量相关性较高, 而肌间脂肪又是决定肌肉多汁性、风味浓度的关键因素, Jeremiah等<sup>[52]</sup>在畜禽上的研究表明肌间脂肪含量越高, 肌肉的多汁性、风味浓度越好。本实验中, 匙吻鲟和杂交鲟的弹性和回弹力较大, 鳙次之, 这与肌肉脂肪含量的变化趋势相符合, 但对其感官评价中多汁性、风味浓度等的影响较小, 这可能与在品评中存在一定的主观误差有关。肉的嫩度在一定意义上也可理解为其硬度<sup>[53]</sup>, 而肌肉的硬度与胶原蛋白含量又存在一定相关性, 随胶原蛋白含量的增多而变硬, 嫩度随着胶原蛋白含量的增加而下降<sup>[54-55]</sup>。本研究中, 鳙的硬度最低, 匙吻鲟次之, 杂交鲟最高, 这与胶原蛋白含量、黏性、咀嚼性、剪切力变化相符合, 在品评中, 匙吻鲟嫩度与杂交鲟之间差异较小, 但却显著低于鳙, 与硬度与黏附性等具有一定的相关性。熟肉硬度、弹性、回弹力变化趋势与生肉变化相符, 内聚性、黏性、咀嚼性呈现明显的下降趋势, 但两鲟鱼之间差异较小, 这与Wan Linlin等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。



此外,本实验中由生肉和熟肉之间的质构特性,3种鱼熟肉硬度、黏附性、黏性、咀嚼性、剪切力等几种反映嫩度的指标值均相对较低,其他指标无明显差别,这说明3种鱼生肉煮熟后嫩度相对上升。综上说明,鳙肉质的嫩度最高,匙吻鲟次之,杂交鲟最低,这与3种鱼的感官评价具有一定的一致性;同时,3种鱼熟肉嫩度相对生肉较高。

肉质是一个综合性状,是诸多因素共同作用结果。常规的肉质评定是通过测定肌肉系水力、肌间脂含量、嫩度、营养价值等进行评定。本实验中,从多汁性、风味浓度及健康指数分析,匙吻鲟脂肪含量最高,风味较好,同时IT、AT较低,健康指数较为理想,杂交鲟与之相似,相对更有利于机体健康。鳙PUFA、HUFA等不饱和脂肪酸含量相对较高,SFA、MUFA、PUFA比值更接近理想模式,适合人体需求,其营养价值相对较高。此外,由其质构特性和剪切力等表明其嫩度也相对较好。

#### 参考文献:

- VANDER WAL P G. Causes for variation in pork quality[J]. Meat Science, 1997, 46: 319-327.
- MALTIN C A, WARKUP C C, MATTHEWS K R, et al. Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality[J]. Meat Science, 1997, 47: 237-248.
- BOUME M C. Texture profile analysis[J]. Food Technology, 1978, 32: 62-66.
- 王宪龙, 王元虎, 李少青, 等. 野莱F1代猪胴体品质、肉质性状和肌肉脂肪酸组成的研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2012, 43(1): 62-67.
- 姜天团, 滚双宝, 张昌吉, 等. 香猪胴体及肉质常规指标的测定与分析[J]. 甘肃畜牧兽医, 2012, 42(3): 25-27.
- 孙旺斌, 张骞, 屈雷, 等. 陕北白绒山羊周岁羯羊肌肉常规营养成分及肉质特性[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 357-361.
- MIMS S D. Aquaculture of paddlefish in the United States[J]. Aquatic Living Resources, 2001, 14(6): 391-398.
- 吴业彪, 林建国. 美国匙吻鲟及其养殖技术[J]. 淡水渔业, 1999, 29(1): 38-39.
- LINHART O, MIMS S D, GOMELAKY B, et al. Spermiation of paddlefish (*Polyodon spathula*, Acipenseriformes) stimulated with injection of LHRH analogue and carp pituitary powder[J]. Aquatic Living Resources, 2001, 13(6): 455-460.
- ARCADIE V, VITALI L, ROLLAND B. Introductions et élevage du poisson-spathule *Polyodon spathula* en Europe[J]. Aquatic Living Resources, 2001, 14(6): 383-390.
- POTHMANN L, WILKENS L A, SCHWEITZER C, et al. Two parallel ascending pathways from the dorsal octavolateral nucleus to the midbrain in the paddlefish *Polyodon spathula*[J]. Brain Research, 2009, 1265: 93-102.
- CHAGNAUD B P, WILKENS L A, HOFMANN M H. Receptive field organization of electrosensory neurons in the paddlefish (*Polyodon spathula*)[J]. Journal of Physiology-Paris, 2008, 102: 246-255.
- ZARNESCU O. Ultrastructure of the skin melanophores and iridophores in paddlefish, *Polyodon spathula*[J]. Micron, 2007, 38: 81-84.
- 吉红, 孙海涛, 田晶晶, 等. 匙吻鲟仔稚鱼消化酶发育的研究[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 457-465.
- JI H, SUN Haitao, XIONG Dalin. Studies on activity, distribution, and zymogram of protease,  $\alpha$ -amylase, and lipase in the paddlefish *Polyodon spathula*[J]. Fish Physiology Biochemistry, 2012, 38: 603-613.
- LIN Wanling, ZENG Qingxiao, ZHU Zhiwei. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: the relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue[J]. Food Research International, 2009, 42(2): 271-278.
- KONG Fanbin, TANG Juming, LIN Mengshi, et al. Thermal effects on chicken and salmon muscles: tenderness, cook loss, area shrinkage, collagen solubility and microstructure[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41: 1210-1222.
- 胡国宏, 朱世成, 张俊辉, 等. 养殖史氏鲟幼鱼的含肉率和鱼肉营养成分分析[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(1): 70-71.
- 关文静, 朱艺峰, 陈之丹. 鱼类肌纤维特性与鱼肉品质的关系[J]. 水产科学, 2008, 27(2): 101-104.
- 吉红, 孙海涛, 单世涛. 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养成分及品质评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 261-267.
- 常抗美, 吴常文, 吕振明, 等. 曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)野生及养殖群体的生化特征及其形成机制的研究[J]. 海洋与湖泊, 2008, 39(2): 145-149.
- ULBRICHT T L, SOUTHGATE D A. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. Lancet, 1991, 338: 985-992.
- ANA F, ISABEL F S, JUAN A S, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. Food Chemistry, 2010, 119: 1514-1518.
- 治成君. 优质牦牛肉肉质的综合评价[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2004, 34(4): 18-19.
- 黄钧, 杨淦, 覃志彪, 等. 云斑、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.
- RØRA A M B, 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[J]. Food Research International, 2003, 36: 231-239.
- 谭丽勤, 欧茶海. 60—90日龄腾冲雪鸡肌纤维特性研究[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(4): 345-348.
- 曾勇庆, 王慧. 猪肉中羟脯氨酸的分光光度法测定[J]. 东北农业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(1): 79-81.
- CROSS H R, CARPENTER Z L, SMITH G C. Effect of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness[J]. Journal of Animal Science, 1973, 38: 998-1003.
- GOLL D E, BRAY R W, HOERSTRA W G. Age-associated changes in muscle composition. The isolation and properties of a collagenous residue from bovine muscle[J]. Journal of Food Science, 1963, 28: 503-509.
- CAINE W R, AALHUS J L, BEAT D R, et al. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks[J]. Meat Science, 2003, 64: 333-339.
- 陈幼春, 孙宝忠, 曹红鹤. 食物评品指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 45-68.
- 杨四秀, 蒋艾青. 斑鳊的含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 河北渔业, 2007(12): 10-12.
- 陈永乐, 刘毅辉, 朱新平. 3种塘鳢含肉率及肌肉营养成分分析与比较[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(6): 10-13.
- 董宏伟, 韩志忠, 康志平, 等. 匙吻鲟含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 淡水渔业, 2007, 37(4): 49-51.
- 白庆利, 徐伟, 刘明华, 等. 高寒鲤含肉率及肌肉营养成分的分析[J]. 水产学杂志, 1997, 10(1): 22-24.
- 吴秀峰. 匙吻鲟加工产品的产量和营养组成[J]. 北京水产, 1998(2): 28.
- BEJERHOLM C, BARTON-GADE P. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pig meat[J]. Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers, 1986, 2(32): 389-391.
- FORTIN A, ROBERTSON W M, TONG A K W. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat[J]. Meat Science, 2005, 69: 297-305.
- YHUDA S, RABINOVITZ S, MOSTOFKY D I. Essential fatty acids are mediators of brain biochemistry and cognitive functions[J]. Journal of Neuroscience Research, 1999, 56: 565-570.
- 张越华, 曾和平. 脂肪酸在生命过程中的作用研究进展[J]. 中国油脂, 2006, 31(12): 11-15.
- 张强, 王永利. 尖海龙与日本海马脂肪的提取分析[J]. 分析化学, 1996, 24(2): 139-143.
- 李全阳, 岳永生, 张庆朝. 赤鳞鱼脂肪酸组分分析及营养价值的初步评定[J]. 营养学报, 1994, 16(2): 223-225.
- 许友卿, 丁兆坤. 用基因工程方法研制廿二碳六烯酸(DHA)[J]. 中国生物工程杂志, 2005, 25(5): 22-25.
- CAHU C, SALEN P, de LORGERIL M. Farmed and wild fish in the prevention of cardiovascular diseases: assessing possible differences in lipid nutritional values[J]. Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2004, 14: 34-41.
- 甄润英, 陶秉春, 马丽珍, 等. 3种鲢鱼肌肉主要营养成分的对比分析[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 108-110.
- 任泽林, 李爱杰. 饲料组成对中国对虾肌肉组织中胶原蛋白、肌原纤维和失水率的影响[J]. 水产学杂志, 1998, 5(2): 40-44.
- YOSHINAKA R, SATO K, ITOH Y, et al. Content and partial characterization of collagen in crustacean muscle[J]. Comp Biochem. Physiol, 1989, 94B(1): 219-223.
- 张永泰. 中国地方猪种的肉质优势[J]. 养猪, 2003(2): 50.
- JOHNSTON I A, ALDERSON D, SANDEHAM C, et al. Patterns of muscle growth in early and latematuring populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189: 307-333.
- 吕进宏, 刘华贵, 马立保, 等. 营养对肉鸡肉质影响的研究进展[J]. 动物科学与动物医学, 2004, 21(8): 37-39.
- JEREMIAH L E, AALHUS J L, ROBERTSON W M, et al. The effects of grade, gender and postmortem treatment on beef. II. Cooking properties and palatability attributes[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1996, 77: 41-54.
- 王彩云. 肉的嫩度研究[J]. 肉类工业, 1998(5): 36-37.
- 鸿巢章二, 桥本周久. 水产利用化学[M]. 郭晓凤, 邹胜祥, 译. 北京: 中国农业出版社, 1994: 72.
- 李晓波, 赵文博, 莎丽娜. 肌肉胶原蛋白特性对嫩度的影响[J]. 肉类研究, 2008, 22(2): 23-25.