

鲷脊椎骨与附肢骨骼描述

周胜杰^{1,2,3}, 杨蕊^{1,2,3}, 于刚^{2,3}, 刘云腾⁴, 马振华^{1,2,3}

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心, 海南 三亚 572018
2. 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300
3. 三亚热带水产研究院, 海南 三亚 572018
4. 三沙市海洋和渔业局, 海南 海口 571000

摘要: 为揭示鲷 (*Euthynnus affinis*) 的骨骼形态特征, 采用X射线拍照法对鲷进行拍照及相关研究。研究发现, 鲷脊柱由 20 枚躯椎和 18 枚尾椎构成, 第 4—第 30 枚脊椎骨连接 27 枚髓棘, 第 16—第 28 枚脊椎骨前后两端的椎体横突向下延伸后相互连接形成特殊骨骼结构, 第 35—第 37 枚脊椎骨上下两侧向斜后方延伸构成 3 块尾上骨和 3 块尾下骨, 第 38 枚脊椎骨后半部特化为 1 整片尾骨; 肩带位于第 5—第 6 枚脊椎骨处; 腰带位于第 6 枚脊椎骨下方; 第一背鳍位于第 6—第 16 枚脊椎骨上方; 第二背鳍位于第 21—第 24 枚脊椎骨上方; 臀鳍位于第 23—第 26 枚脊椎骨下方; 背鳍后有 7~8 枚小鳍, 支鳍骨延伸至髓棘之间; 臀鳍后有 6~7 枚小鳍, 支鳍骨延伸至脉棘之间。结果表明, X 射线法可以清晰地观察鲷骨骼, 但重叠较多的头部骨骼清晰度略低; 为适应在海水中高速游动, 鲷有独特的骨骼构造。鲷骨骼的研究丰富了南海金枪鱼的基础研究, 可为其分类及演化提供参考, 并为无伤化研究珍稀鱼类提供了思路。

关键词: 鲷; 金枪鱼; 骨骼; X 射线

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Description of *Euthynnus affinis* vertebrae and appendages

ZHOU Shengjie^{1,2,3}, YANG Rui^{1,2,3}, YU Gang^{2,3}, LIU Yunteng⁴, MA Zhenhua^{1,2,3}

1. Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572018, China
2. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China
3. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, China
4. Sansha Municipal Bureau of Ocean and Fishery, Haikou 571000, China

Abstract: In order to reveal the bone morphology of *Euthynnus affinis*, we studied its X-ray photography. The fish consisted of 20 trunk vertebrae and 18 tail vertebrae. The 4th–30th vertebrae connected with 27 spinal spines. The 16th–28th vertebrae extended downward and connected to each other to form a special bone structure. The upper and lower sides of the 35th–37th vertebrae extended obliquely to the rear to form three supracaudal bones and three lower tail bones. The back half of the 38th vertebra evolved into a whole tailbone. The shoulder girdle was located at the 5th–6th vertebrae. The girdle bone was located below the 6th spine. The 1st dorsal fin was located above the 6th–16th vertebrae. The 2nd dorsal fin was located above the 21st–24th vertebrae. The

收稿日期: 2020-08-18; 修回日期: 2021-07-02

基金项目: 三沙市海洋和渔业局项目资助; 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2021SD09); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2020XT0301, 2020TD55); 广西创新驱动发展专项(桂科 AA18242031)

作者简介: 周胜杰(1990—), 男, 助理研究员, 硕士, 从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究。E-mail: zhouj_1704@126.com

通信作者: 马振华(1981—), 男, 研究员, 博士, 从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究。E-mail: zhenhua.ma@hotmail.com

anal fin was located below the 23rd-26th vertebrae. There were 7-8 small fins behind the dorsal fin, and the branch fin bone extended between the two spinal spines. There were 6-7 small fins behind the anal fin, and the fin bones extended between the two spines. The results show that the X-ray method can observe the bones of *E. affinis* clearly, but the head bones are not clear because of more overlapping; the X-ray method can achieve harmless fish bone research; in order to adapt to high-speed swimming in the sea, *E. affinis* has a unique bone structure. The study of bones of *E. affinis* enriches the research of tuna in the South China Sea, providing references for its classification and evolution, as well as providing ideas for the harmless study of rare fish.

Key words: *Euthynnus affinis*; Tuna; Bone; X-ray

鲔 (*Euthynnus affinis*) 属鲭科、鲔属, 又称炮弹鱼, 主要分布于印度洋、太平洋等热带水域, 属小型金枪鱼; 中国南海、日本、澳大利亚、泰国等均有捕捞^[1]。金枪鱼具有高蛋白、低脂肪, 富含不饱和脂肪酸, 经济价值高等特点, 因此被誉为纯天然“海洋黄金”^[2-4]。目前, 对黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*)、蓝鳍金枪鱼 (*T. orientalis*)、大眼金枪鱼 (*T. obesus*)、长鳍金枪鱼 (*T. alalunga*) 等大型金枪鱼的研究较完善, 而对小型金枪鱼的研究较匮乏^[5-7]; 对金枪鱼的捕获方式^[8-12], 鱼肉保存、运输、加工^[13-20], 资源评估^[21-23], 提取物的利用^[24-27]等的研究较完善, 而对于金枪鱼骨骼描述的研究较缺乏。其中对鲔的研究主要集中在生物学方面^[28], 对其骨骼相关的研究未见报道。

鱼类骨骼研究通常采用蒸煮剔骨法、肌肉透明骨骼染色法、X 射线透视法等方法^[29-31]。蒸煮剔骨法一般针对个体稍大的鱼类, 优点是可将骨骼拆分进行细节研究, 缺点是骨骼需骨化完成, 蒸煮时间过短则肌肉不易剥离, 过长则容易散架, 导致骨骼位置不易复原^[32]。肌肉透明骨骼染色法主要针对小鱼 (一般全长不超过 10 cm, 5 cm 以下最佳), 优点是软骨-硬骨双染色可以完整地看到鱼体软骨、硬骨及其所处空间位置, 缺点是体型过大则肌肉透明度不够, 同时需严格执行染色操作方法^[33]。以上 2 种方法均需使用鱼类尸体, 而 X 射线透视法则可以进行活鱼研究。X 射线又称伦琴射线, 它可使某些化合物产生荧光或使照相底片感光, 在电场或磁场中不发生偏转, 能发生反射、折射、干涉、衍射等, 具有穿透物质的本领, 但对不同物质穿透本领不同; 因此, X 射线能使人体或其他有机体在荧屏上或胶片上形成影像, 是基于组织有密度和厚度的差别, 目前在人体健康检查中广泛使用, 在鱼类骨骼研究和鱼类疾病检查方面应用较少^[34-35]。采用 X 射线透视法则可达到在不损伤鱼的情况下简

单高效地观察全鱼骨骼特征及其分布特征, 对活体资源紧张或珍贵鱼类的骨骼研究及相关疾病诊断治疗具有重要的意义, 缺点在于骨骼重叠较多的位置不易观察细节 (如头部骨骼)。

本研究运用 X 射线技术对鲔的脊椎骨及其附肢骨骼中胸鳍、背鳍、尾鳍、臀鳍等进行描述, 进一步丰富金枪鱼的基础研究数据, 为开展鱼类骨骼无伤化研究奠定基础, 并为开展鲔相关研究及鱼类化石探究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

研究对象为鲔成鱼, 样本数量为 6 尾, 全长 37.6~45.5 cm, 体质量 965.5~1 895 g, 是中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心与三亚热带水产研究院完成科研项目时驯化养殖的物种。驯化养殖开始时野生鲔幼鱼体长 28.7~30.1 cm, 体质量 311~504 g, 采自海南陵水黎族自治县新村镇附近海域, 用人工假饵渔船拖钩获取鲔幼鱼; 这种方法获取的幼鱼损伤较小, 更利于后续人工驯养。经过 6 个月的驯化养殖, 达到成鱼阶段 (性腺开始发育)。本实验采用 X 光透视法对鲔成鱼进行全鱼透视 (图 1), 该方法对鱼体伤害较小, 可观察全鱼骨骼。

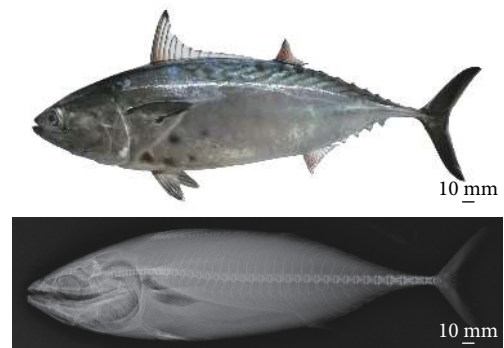


图1 鲔的侧面观与X射线扫描照片
Fig. 1 Side view and X-ray scan photo of *E. affinis*

1.2 实验仪器

数字化移动式摄影 X 射线机 (Modulo Easy 30, SMAM S.R.L.), 参数设置为 $kVp=40$, $mAs=3.2$ (kVp 表示某高压下的电源产生的韧致辐射和响应的特征 X 射线形成的 x-ray 谱; mAs 指每秒管电流, 为 X 线的量, mAs 越高, X 线的量越多)。X 射线背景板 [pixium 3 543 EZ, 法国泰雷兹集团 (THALES)]。

1.3 方法

首先将设备开机预热并调整好参数 ($kVp=40$, $mAs=3.2$)。将鲮置于背景板上, X 射线发射端口之下, 调整距离至射线可以覆盖全鱼, 点开始按钮 (注意防护), 扫描完成后将鲮放回水中, 整个过程不超过 40 s。

1.4 数据计算和统计分析

采用 Adobe Photoshop CS6 软件进行图片处理, 用 Microsoft Powerpoint 2007 软件添加标注线。

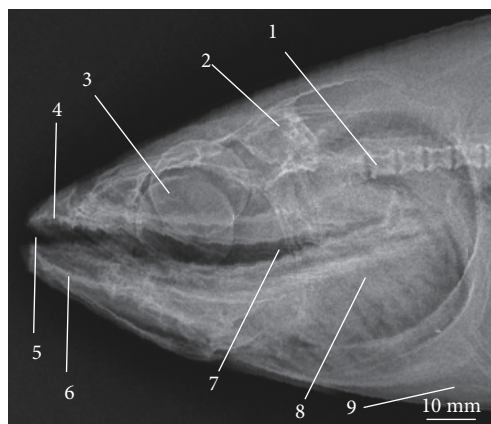
2 结果

2.1 鲮头部骨骼特征

鲮头部 X 光照片可清楚地看到头部各主要器官 (图 2), 通过观察可知, 脑颅骨、上颌骨、下颌骨骨骼轮廓明显, 鳃盖骨骨片下方为鳃腔, 在 X 射线照片下呈现轮廓明显的虚影, 鳃盖骨骨片后缘位于第 4 枚脊椎骨中央。脊椎骨密度大, 结构明显。口咽腔形成空腔, 结构明显, 连通腹部。鲮眼球形态在 X 射线照片中明显。

2.2 鲮脊椎骨及附肢骨的特征

鲮脊椎骨 38 枚, 由 20 枚躯椎 (腹椎) 和 18 枚尾椎构成, 密度较大, 结构明显 (图 3)。第 4—第 30 枚脊椎骨向上凸起形成髓棘, 共 27 根。第 3 枚椎

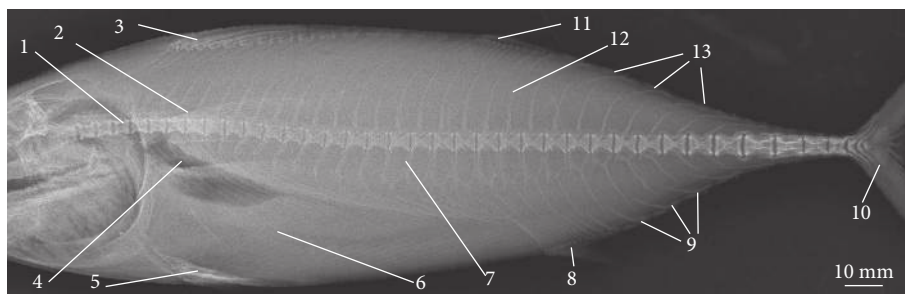


1. 脊椎骨; 2. 脑颅骨; 3. 眼球; 4. 上颌骨; 5. 口腔; 6. 下颌骨; 7. 咽腔; 8. 鳃盖; 9. 围心腔。
1. Spine; 2. Brain; 3. Eyeball; 4. Upper jaw; 5. Oral cavity; 6. Mandible; 7. Pharyngeal cavity; 8. Gill cover; 9. Pericardial cavity.

图2 鲮头部骨骼X光照片

Fig. 2 X-ray photo of head bone of *E. affinis*

骨开始具有腹肋, 第 3—第 6 枚脊椎骨直接连接 4 对腹肋, 第 7—第 15 枚椎骨前端凸起椎体横突并形成脉弓, 向腹部延伸一段距离后连接 1 对腹肋, 肋骨细长斜向后方延伸, 所有肋骨形态相近。第 16—第 20 枚脊椎骨前后两端各有 1 凸起的椎体横突, 且同一躯椎骨上两椎体横突向腹部延伸相互融合后连接 1 对腹肋, 第 21—第 28 枚脊椎骨前后两端各有 1 凸椎体横突形成脉弓, 向腹部延伸相互融合后连接脉棘向下延伸, 且越靠近尾端, 向腹部延伸的椎体横突越短。第 29—第 30 枚脊椎骨该结构不明显。第 31—第 34 枚脊椎骨上的髓棘和脉棘向尾端弯曲包裹住关节, 特化后起到加固尾柄的作用, 且此处脊椎骨及关节明显曾粗。鱼鳔在体内形成空腔, 形态及大小非常清晰; 腹腔内脏与肌肉的密度存在差异, 内脏团范围非常清晰。



1. 脊椎骨; 2. 胸鳍; 3. 第一背鳍; 4. 鳔; 5. 腹鳍; 6. 腹腔; 7. 椎体横突; 8. 臀鳍; 9. 臀鳍后小鳍; 10. 尾鳍; 11. 第二背鳍; 12. 背肋; 13. 背鳍后小鳍。
1. Spine; 2. Pectoral fin; 3. First dorsal fin; 4. Bladder; 5. Pelvic fin; 6. Abdominal cavity; 7. Vertebral transverse process; 8. Anal fin; 9. Anal fin posterior fin; 10. Caudal fin; 11. Second Dorsal fin; 12. Dorsal ribs; 13. Small fin behind dorsal fin.

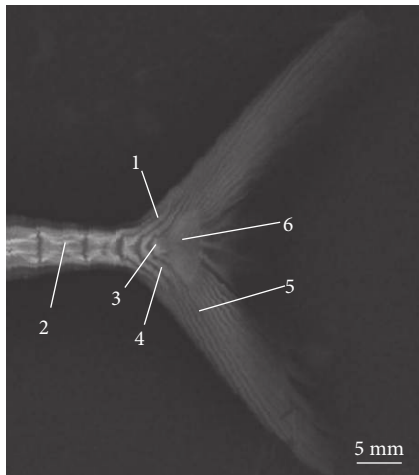
图3 鲮脊椎骨及其附肢骨X光照片

Fig. 3 X-ray photo of spinal and appendage bones of *E. affinis*

肩带位于第5—第6枚脊椎处; 腰带位于第6枚脊椎骨下方。第一背鳍起点位于第6枚脊椎骨上方, 结束点位于第16枚脊椎骨上方, 第一背鳍共有13枚支鳍骨, 支鳍骨顶端深埋于背部肌肉中, 前7枚支鳍骨顶点深度均匀, 深度约为体高的1/16~1/15, 后6枚深度逐渐变浅, 至最后一枚支鳍骨(第13枚)仅固定于表皮以下, 这种结构可以使第一背鳍完全收回至背部肌肉夹缝中。第二背鳍共有12枚支鳍骨, 开始于第21枚脊椎骨上方, 结束于第24枚脊椎骨上方。第二背鳍形态固定, 不能左右摆动或收回。臀鳍鳍棘14枚, 支鳍骨较小且密, 开始于第23枚脊椎骨, 结束于第26枚脊椎骨下方。臀鳍形态固定, 不能左右摆动或收回。背鳍后有7~8枚小鳍, 每一枚小鳍对应一枚支鳍骨, 支鳍骨位于两枚髓棘之间, 第1小鳍对应的支鳍骨位于第23—第24枚脊椎骨上髓棘之间, 第2小鳍对应的支鳍骨位于第24—第25或第25—第26枚脊椎骨对应的髓棘之间, 第3小鳍及以后对应的支鳍骨均紧密存在于两枚髓棘之间, 没有位置变化。臀鳍后有6~7枚小鳍, 小鳍支鳍骨与脊椎骨连接点呈现一一对应的关系。

2.3 鲮尾部骨骼特征

鲮尾鳍上下对称, 为正尾型(Homo-cercal), 第35—第37枚脊椎骨上下两侧(原髓棘和脉棘)向斜后方延伸构成3块尾上骨和3块尾下骨, 尾杆骨末端特化为一整块尾骨, 尾鳍鳍条固定在尾骨(尾上骨、尾下骨和尾骨)上, 上下对称(图4)。



1. 尾上骨; 2. 脊椎骨; 3. 尾杆骨; 4. 尾下骨; 5. 尾鳍鳍条; 6. 尾骨。
1. Supracoccygeal bone; 2. Spine bone; 3. Caudal rod bone; 4. Inferior caudal bone; 5. Caudal fin rays; 6. Coccyx.

图4 鲮尾骨X光照片

Fig. 4 X-ray photo of *E. affinis* tailbone

3 讨论

3.1 鲮头部骨骼特征

鱼类头部骨骼的构造能够反映其在进化过程中的地位, 同时头部和吻部的形态也能反映其在生态系统中的定位^[34,36]。鲮头部骨骼整体密度较大, 吻部较尖, 有利于游泳时减少阻力, 进而减少游泳对体力的消耗。眼球外层硬化, 对眼球具有良好的支撑和固定作用, 可转动的眼球增加了鲮的视域面积, 提高了发现猎物的概率和捕食能力。鳃盖面积较大, 鳃盖后缘位于第4块脊椎骨, 鳃腔容积较大, 为快速游动提供了充足的氧气交换场所。因此通过头部骨骼的特征描述也佐证了鲮具备游泳速度快、捕食能力强的骨骼构造条件。本研究中X射线透视法无法详细研究头部每一片骨骼, 与剔骨法相比存在部分不足^[37]。

3.2 鲮脊椎骨及附肢骨的特征

脊椎骨是构成鱼类骨骼系统的重要组成部分。不同鱼类脊椎骨的数量和结构不尽相同, 例如: 尖吻鲈(*Lates calcarifer*) 24枚脊椎骨^[32], 鲈(*Pneumatophorus japonicus*) 30枚脊椎骨^[37], 蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*) 40枚椎骨^[37], 青石斑鱼(*Epinephelus awoara*) 24枚脊柱^[38], 长尾大眼鲷(*Priacanthus tayenus*) 20枚脊椎骨^[39]。本研究中鲮的脊椎骨为38枚, 与上述几种鱼类脊椎骨数量均不相同, 且鲮与同为鲈形目的尖吻鲈的脊椎骨数量差异较大, 鲮与同为鲭科的鲈、蓝点马鲛的脊椎骨数量也有所差异。有研究表明同一科鱼类脊椎骨和肋骨数量均不相同, 如同属尖吻鲈科的大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)与尖吻鲈^[40]; 且与本研究中鲮的脊椎骨和肋骨数量均有所差异。相同的是鲮与鲈和蓝点马鲛第一脊椎均无肋骨。点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)第6枚椎骨开始出现椎体横突, 腹肋连接与椎体横突相连, 与本研究类似, 不同的是本研究中鲮是第7枚椎骨出现椎体横突^[41]。鲮第16—第28枚脊椎骨前后两端的椎体横突向下延伸后相互连接形成的骨骼结构未见报道, 其具体功能有待进一步研究。不同鱼类的附肢骨形态、数量不同, 体型、体长等重要的生物学特征亦有明显差别。由此可见鱼类骨骼研究可为分类学提供数据基础, 同时为鱼类基因表达及性状提供理论支撑。

在鱼类的胚后发育过程中胸鳍和背鳍通常发育较早, 可为鱼苗初期提供游泳动力和平衡能力, 是

大部分鱼类早期游泳动力的主要来源,对于仔鱼早期捕食猎物具有重要意义。尾鳍和腹鳍的发育时间相对较晚,尾鳍的发育可为鱼苗提供较大的动力,帮助鱼苗获取更多、更优质的营养来源^[42]。不同鱼类胸鳍、腹鳍、臀鳍、尾鳍的发育时间节点也有所不同,这可能与鱼的种类,摄食饵料的种类、质量、数量,消化能力的强弱及生长环境有关^[43]。许多鱼类的背鳍具有收回功能,背鳍紧贴背部以便在游泳时减少阻力,鲭第一背鳍具有收回功能,并且可完全收回至背部肌肉夹缝中,这种构造能够最大程度地减少甚至去除第一背鳍在鲭游泳过程中的阻力,这种背鳍收回结构,在鱼类中较罕见。鲭第二背鳍、臀鳍和小鳍是固定的,不具有摆动和收回的功能,但具有维持稳定的功能。而胸鳍和腹鳍可收回紧贴皮肤表面,减少阻力,亦可张开以改变游泳方向。

3.3 鲭尾骨特征

尾鳍是为鱼类高速运动提供动力的主要器官。有研究表明,通过分析鱼类尾部骨骼的构造及各构件特点能够为确定物种在分类学上的地位及进化历程提供证据^[44-45]。已有鱼类尾部骨骼发育的研究,如半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)、单斑重牙鲷(*Diplodus sargus*)、虱目鱼(*Chanos chanos*)、大西洋鲷(*Sparus aurata*)、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)和尖吻鲈^[42,46-49]。研究发现大部分鱼类在发育过程中均存在尾杆骨上翘的阶段,因此发育完全的尾骨中存在缩回并上翘的尾杆骨,同时以尾杆骨为界限将尾骨分为尾上骨和尾下骨,尾骨为鳍条提供固定点,且不同鱼类的尾上骨和尾下骨数量有所差异^[42,46-49]。在鲭尾鳍X光照片中尾鳍上下对称,为正尾型,尾杆骨中正,没有上翘痕迹,与多数鱼类尾杆骨形态有所差异;第35—第37枚脊椎骨上下原髓棘和原脉棘特化为3片尾上骨和3片尾下骨,尾杆骨后部特化为1片正尾骨,7片尾骨共同构成尾鳍鳍条固定点,与半滑舌鳎、重牙鲷、虱目鱼、大西洋鲷、卵形鲳鲹和尖吻鲈构造均有较大差异。

骨骼的形态结构反映了生物在其生命历程中所受的机械负荷^[50],通常正常动物体内骨骼会根据负荷的改变而随时间重塑其形状^[51],鱼类尾部骨骼信息能够促进对鱼类不同发展阶段的功能趋势和环境偏好的认识^[52]。7片尾骨可为尾鳍提供坚固的物理骨骼结构,是强大推动力的保障。鲭尾柄极

细,该部位不可能存在较多的肌肉组织提供固定作用和力量支持,并且第31—第35枚脊椎明显增粗,是鲭尾鳍动力的骨骼结构基础。尾柄处第31—第34枚脊椎骨上的髓棘和脉棘向尾端弯曲包裹住关节,为脊柱骨间的连接提供结构上的固定作用,为尾鳍提供强大的动力和骨骼结构支撑。2种结构均可作为鲭在海水中快速摆动尾鳍、快速游动提供骨骼结构上的支持。

4 结论

综合以上骨骼研究发现鲭鱼具有与生活习性相匹配的骨骼结构,吻部较尖,有利于减少游泳阻力,第一背鳍可收至背部肌肉夹缝中,既具备了维持平衡的功能,又能有效减少阻力,尾柄处骨骼增粗,密度较大,可为尾部提供强大力量,尾杆骨后部特化为1片正尾骨,增加了尾部的机械强度。以上特征符合在海水中高速游动的特点。同时也证明X射线法可以清晰观察鲭骨骼,但重叠较多的头部则清晰度略低;X射线法可实现无伤化鱼类骨骼研究。以上研究中某些骨骼的特征可否作为种类鉴别的依据,有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 戴小杰,许柳雄.世界金枪鱼渔业渔获物种原色图鉴[M].北京:海洋出版社,2007:99-141.
- [2] 王锡昌,刘燕,刘源.大目金枪鱼块温盐水-冷藏库组合解冻工艺的优化[J].农业工程学报,2010,26(7):358-363.
- [3] 苗振清,黄锡昌.世界金枪鱼渔业现状分析[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2002(4):307-313.
- [4] 全晶晶,蔡江佳,郑平安,等.鲷鱼肌肉品质改良研究[J].中国食品学报,2013,13(7):122-129.
- [5] 杨胜龙,张怵怵,张衡,等.黄鳍金枪鱼垂直移动及水层分布研究进展[J].水产科学,2019,38(1):119-126.
- [6] 李波,阳秀芬,王锦溪,等.南海大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)摄食生态研究[J].海洋与湖沼,2019,50(2):336-346.
- [7] 艾杨洋,丁国芳,杨最素,等.长鳍金枪鱼多肽的酶解制备工艺研究[J].食品工业,2018,39(10):11-14.
- [8] 李杰,晏磊,杨炳忠,等.罩网兼作金枪鱼延绳钓的钓钩深度与渔获水层分析[J].海洋渔业,2018,40(6):660-669.
- [9] 冯波,龚超,钟子超,等.南海金枪鱼延绳钓作业参数优化[J].渔业现代化,2018,45(4):64-69.
- [10] 何珊,王学昉,戴黎斌,等.人工集鱼装置禁渔期措施对中国大陆金枪鱼围网船队捕捞努力量特征的影响[J].大连海洋大学学报,2018,33(1):102-107.
- [11] 刘莉莉,周成,虞聪达,等.钓钩深度和浸泡时间对东太平洋公海长鳍金枪鱼延绳钓渔获性能的影响研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2018,48(1):40-48.

- [12] 何珊, 王学昉, 戴小杰, 等. 中国金枪鱼围网船队大眼金枪鱼渔获物的特征变化与人工集鱼装置禁渔期的关系 [J]. 南方水产科学, 2017, 13(5): 110-116.
- [13] 余文晖, 王金锋, 谢晶. 不同解冻方式对金枪鱼品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2019(12): 189-197.
- [14] 罗江钊. 高压加工是预蒸煮金枪鱼腰肉的好方法 [J]. 中国食品学报, 2018, 18(9): 327.
- [15] 余文晖, 王金锋, 谢晶. 不同质量分数 NaCl 和 CaCl₂ 盐溶液解冻对金枪鱼品质的影响 [J]. 食品科学, 2019, 40(17): 240-246.
- [16] 冯程程. 玻璃钢金枪鱼延绳钓渔船制冷系统设计及研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 6-16.
- [17] 钟林青. 基于工控触摸屏的金枪鱼加工智能温控系统的设计 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 8-19.
- [18] 王馨云, 谢晶. 不同冷藏条件下金枪鱼的水分迁移与脂肪酸变化的相关性 [J]. 食品科学, 2020, 41(5): 200-206.
- [19] 许丹, 曾军杰, 陈瑜, 等. 基于 HACCP 体系的金枪鱼鱼脯质量控制研究 [J]. 山东化工, 2018, 47(20): 110-112, 114.
- [20] 蓝蔚青, 巩涛硕, 孙晓红, 等. 基于高通量分析流通方式对大目金枪鱼品质与微生物种群变化影响 [J]. 食品科学, 2019, 40(20): 178-184.
- [21] 原作辉, 杨东海, 樊伟, 等. 基于卫星 AIS 的中西太平洋金枪鱼延绳钓渔场分布研究 [J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 649-659.
- [22] 马璐璐, 朱江峰, 耿喆, 等. 运用生物量动态模型评估印度洋长鳍金枪鱼资源 [J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 259-264.
- [23] 周为峰, 黎安舟, 纪世建, 等. 基于贝叶斯分类器的南海黄鳍金枪鱼渔场预报模型 [J]. 海洋湖沼通报, 2018(1): 116-122.
- [24] 钱雪丽, 苏红, 樊馨怡, 等. 金枪鱼头汤中脂肪酸组成、维生素 E 含量分析及微观形貌观察 [J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(5): 801-810.
- [25] 李淑凡, 李鑫, 韩姣姣, 等. 金枪鱼红肉酶解液对小鼠抗疲劳和调节肠道菌群效果的研究 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 314-320, 326.
- [26] 韩姣姣, 李妍妍, 崔晨茜, 等. 金枪鱼胰脏酶解液对 II 型糖尿病小鼠肾脏功能的调控机制 [J]. 中国食品学报, 2018, 18(9): 33-40.
- [27] 李晓艺, 苏现波, 韩霜, 等. 大目金枪鱼皮明胶与 κ -卡拉胶复配胶凝胶特性探究 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 13-19.
- [28] ABDUSSAMAD E M, KOYA K P S, GHOSH S, et al. Fishery, biology and population characteristics of longtail tuna, *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851) caught along the Indian coast[J]. Ind J Fish, 2012, 59(2): 7-16.
- [29] 邱奉同. 鲟鱼骨骼标本制作法 [J]. 生物学教学, 1998(9): 29-30.
- [30] 周胜杰, 马婷, 胡静, 等. 尖吻鲈仔鱼骨骼发育观察 [J]. 南方农业学报, 2018, 49(3): 592-598.
- [31] 王小琦, 孙岩, 张洋, 等. 斑马鱼模型在常见骨疾病研究中的应用 [J]. 中国比较医学杂志, 2017, 27(6): 86-91.
- [32] 杨启超, 张晓华, 鲍传和. 白斑狗鱼 (*Esox lucius* Linnaeus) 的骨骼结构 [J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(5): 704-710.
- [33] 周胜杰, 胡静, 马振华, 等. 尖吻鲈尾部骨骼胚后发育研究 [J]. 水产科学, 2018, 37(3): 342-347.
- [34] 贾楠. 基于传统机器视觉方法的骨骼 X 光片诊断方法研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019: 12-15.
- [35] 焦庆磊. 基于 CNN 的 X 光胸片肺结节检测方法研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2019: 13-17.
- [36] KOHNO H, AGUILAR R O, OHNO A, et al. Osteological development of the feeding apparatus in early stage larvae of the seabass, *Lates calcarifer*[J]. Ichthyol Res, 1996, 43(1): 1-9.
- [37] 李仲辉. 鲈和蓝点马鲛骨骼系统的比较 [J]. 湛江海洋大学学报, 2000(3): 1-7.
- [38] 王秋荣, 毕建功, 林利民. 青石斑鱼骨骼发育异常的形态特征 [J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 417-421.
- [39] 李仲辉, 马云霞, 杨太有. 长尾大眼鲷骨骼学的研究 [J]. 水产科学, 2012, 31(12): 741-744.
- [40] 李仲辉, 杨太有. 大口黑鲈和尖吻鲈骨骼系统的比较研究 [J]. 动物学报, 2001, 51: 110-115.
- [41] 陈晓峰. 两种石斑鱼骨骼系统比较解剖研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2007: 29-83.
- [42] KOHNO H, AGUILAR R O, OHNO A. Morphological aspects of feeding and improvement in feeding ability in early stage larvae of the milkfish, *Chanos chanos*[J]. Ichthyol Res, 1996, 43(2): 133-140.
- [43] 郑珂, 岳昊, 郑攀龙. 海水养殖鱼类仔、稚鱼骨骼发育与畸形发生 [J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 250-261.
- [44] COSTA W J E M. The caudal skeleton of extant and fossil cypripinodontiform fishes (Teleostei: Atherinomorpha): comparative morphology and delimitation of phylogenetic characters[J]. Vertebr Zool, 2012, 62(2): 161-180.
- [45] SCHULTZE H P, ARRATIA G. The caudal skeleton of basal teleosts, its conventions, and some of its major evolutionary novelties in a temporal dimension[J]. Mesozoic Fish, 2013: 187-246.
- [46] GAVAIA P J, DINIS M T, CANCELA M L. Osteological development and abnormalities of the vertebral column and caudal skeleton in larval and juvenile stages of hatchery-reared Senegal sole (*Solea senegalensis*)[J]. Aquaculture, 2002, 211(1/2/3/4): 305-323.
- [47] KOUMOUNDOUROS G, SFAKIANAKIS D G. Osteological development of the vertebral column and of the fins in *Diplodus sargus* (Teleostei: Perciformes: Sparidae)[J]. Mar Biol, 2001, 139(5): 853-862.
- [48] KOUMOUNDOUROS G, GAGLIARDI F, DIVANACH P, et al. Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus aurata* L. fry[J]. Aquaculture, 1997, 149(3): 215-226.
- [49] 郑攀龙, 马振华, 郭华阳, 等. 卵形鲳鲹尾部骨骼胚后发育研究 [J]. 南方水产科学, 2014, 10(5): 45-50.
- [50] FORWOOD M R. Physical activity and bone development during childhood: insights from animal models[J]. J Appl Physiol, 2008, 105(1): 334-341.
- [51] WOLFF J. Das gesetz der transformation der knochen[J]. Deut Med Wochenschr, 1892, 19(47): 1222-1224.
- [52] FUKUHARA A O. Study on the development of functional morphology and behaviour of the larvae of eight commercially valuable teleost fishes[J]. Contrib Fish Res Jpn Sea Block, 1992, 25: 1-22.