

◆海洋生物◆

南海北部近海5种石斑鱼的骨骼系统比较研究*

吴晓东¹, 陈菁菁¹, 徐佳晟², 李海燕¹, 梁镇邦², 初庆柱², 吴仁协^{2**}

(1. 广东湛江红树林国家级自然保护区管理局, 广东湛江 524088; 2. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088)

摘要:为揭示骨骼系统在石斑鱼类的物种鉴定和系统进化关系研究中的应用潜力,本研究采用传统的骨骼系统比较法分析南海北部近海的尾纹九棘鲈(*Cephalopholis urodeta*)、鳶鰩(*Triso dermatopterus*)、青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)、拟青石斑鱼(*E. fasciatus*)和断带石斑鱼(*E. craigi*)等3属5种石斑鱼类的骨骼特征。结果显示,在分析的15种骨片中,中筛骨、额骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨、上匙骨、尾舌骨等7种骨片显示出明显的属特征。尾纹九棘鲈的骨片形态结构总体较简单,而鳶鰩和石斑鱼属(*Epinephelus*)石斑鱼的骨片形态结构更为分化且复杂,并且二者具有相似类型的骨片数最多(8种)。有10种骨片可将断带石斑鱼与青石斑鱼、拟青石斑鱼有效区分,其中翼蝶骨、蝶耳骨、翼耳骨、上枕骨和前鳃盖骨等5种骨片在断带石斑鱼中显示出显著的种类特性。青石斑鱼和拟青石斑鱼的主要骨骼差异在于额骨、前鳃盖骨、上匙骨。本研究的结果支持了鳶鰩属(*Triso*)与石斑鱼属有较为密切的亲缘关系以及九棘鲈属(*Cephalopholis*)是较石斑鱼属更为原始的一个独立类群的分子系统学研究结论。同时,本研究为断带石斑鱼的物种有效性提供了骨骼方面的重要证据,也厘清了青石斑鱼和拟青石斑鱼这两个近缘种的差别。本研究结果表明骨骼系统可作为石斑鱼物种辨别和阐明其系统进化关系的重要研究手段。

关键词:南海北部近海;石斑鱼科;骨骼比较;物种鉴别;系统进化

中图分类号:Q954 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2024)01-0093-10

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20240319.011

石斑鱼科(Epinephelidae)是鲈形目(Perciformes)中商业价值较高且种类较丰富的一科,广布于大西洋、印度洋和太平洋的热带和亚热带海域,主要栖息于近岸岩滩和珊瑚礁海域^[1]。目前世界已记

录的石斑鱼科种类已超过160种,分布于中国沿海的有11属65种,尤以台湾海峡和南海海域种类组成丰富、多样^[2]。石斑鱼肉质细嫩,营养和食用价值较高,又兼有观赏价值,是人类渔业捕捞和人工养殖的主要

收稿日期:2023-12-06

修回日期:2023-12-28

* 广东湛江红树林国家级自然保护区管理局调查项目(B23068),广东省高等学校优秀青年教师培养计划项目(Yq2013093)和广东省海洋渔业科技攻关与研发项目(A201708d07)资助。

【第一作者简介】

吴晓东(1975—),男,高级工程师,主要从事红树林资源调查与监测研究。

【**通信作者简介】

吴仁协(1981—),男,博士,副教授,主要从事鱼类多样性与遗传资源研究,E-mail:wurenxie@163.com。

【引用本文】

吴晓东,陈菁菁,徐佳晟,等.南海北部近海5种石斑鱼的骨骼系统比较研究[J].广西科学院学报,2024,40(1):93-102.

WU X D, CHEN J J, XU J S, et al. Comparative Study on the Skeletal System of Five Species of the Family Epinephelidae (Perciformes) in the Coastal Waters of the Northern South China Sea [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(1): 93-102.

鱼类之一,在我国东南沿海地区的水产业与渔业中占据非常重要的地位。

长期以来,石斑鱼的分类与系统进化是鱼类系统分类学的一个难题。传统的石斑鱼分类主要依据体色、条纹、斑点等特征区分物种^[3]。但是,在不同生长阶段、生活环境以及应激状态下,石斑鱼的外部形态特征很容易发生变化^[4],而且人工养殖和种间杂交等因素也给石斑鱼的分类带来困难^[2]。鉴于形态分类方法的局限性,一些学者采用分子生物学技术来研究石斑鱼的系统分类。如杜佳莹等^[5]基于 Cyt *b* 序列、RAPD、AFLP 等分子标记技术,有效区分点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)和斜带石斑鱼(*E. coioides*),并鉴定出二者存在杂交现象并且有杂交子代个体存活。Guo 等^[6]利用改良 Nest-tetra-primer-specific PCR 法鉴别了云纹石斑鱼(*E. momara*)和褐石斑鱼(*E. bruneus*)。Qu 等^[7]通过 DNA 条码技术揭示了多个石斑鱼广布种存在显著的种内遗传分化,并筛查出 RYR3 核基因可适用于鉴定杂交石斑鱼。此外,基于分子水平的石斑鱼类属种间的分类地位及系统进化关系也有较多的研究报道^[8-13]。

在石斑鱼类的骨骼系统方面,Baldwin 等^[14]首次对大西洋石斑鱼亚科(*Epinephelinae*)的幼鱼和成鱼骨骼系统进行了比较和支序分析,但骨骼系统在印度-西太平洋的石斑鱼系统分类学研究中的应用报道较少且零碎。国内仅见陈晓峰^[15]和郭明兰等^[16]分别比较了点带石斑鱼和斜带石斑鱼、云纹石斑鱼和褐

石斑鱼的骨骼系统特征。鱼类骨骼埋藏于肌肉中,其性状、形态不易受环境影响,具有相对的稳定性和复杂性,是鱼类分类和系统演化研究的重要依据。因此,可利用骨骼系统从内在结构上有效区分物种,目前该分析法已广泛应用于多种鱼类的分类和系统进化研究^[17-19]。然而,研究者对于骨骼系统在石斑鱼类的物种鉴别和系统关系分析中的应用潜力尚未有充分的认识。为此,本研究对南海北部近海 5 种石斑鱼的骨骼系统进行比较分析,以期对石斑鱼类的物种鉴定和系统进化关系提供新的依据,并揭示其在石斑鱼系统分类中的重要作用。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用的实验鱼为 2019 年 4 月至 2023 年 3 月在南海北部近海采集的 34 尾石斑鱼,包括九棘鲈属(*Cephalopholis*)的尾纹九棘鲈(*C. urodeta*),鸢鲈属(*Triso*)的鸢鲈(*T. dermopterus*),石斑鱼属(*Epinephelus*)的青石斑鱼(*E. awoara*)、拟青石斑鱼(*E. fasciatus*)和断带石斑鱼(*E. craigi*)。标本的体长、体质量及具体采样信息见表 1。物种鉴定依据 FAO (Food and Agriculture Organization) 物种目录 *Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae)*^[4]、《中国海洋及河口鱼类系统检索》^[20]和 Frable 等^[21]的研究。

表 1 本研究中的石斑鱼种类及其采样信息

Table 1 Species and sampling information of Epinephelidae in this study

种名 Species	采样地点 Sampling location	采样时间 Sampling date	标本数量 Number of samples	体长/cm Standard body length/cm	体质量/g Standard body weight/g
<i>C. urodeta</i>	Inshore of Zhanjiang, Guangdong	March, 2023	6	16.3—18.3	113.5—133.6
<i>T. dermopterus</i>	Inshore of Beihai, Guangxi	April, 2019	6	22.7—27.1	320.1—350.2
<i>E. awoara</i>	Inshore of Beihai, Guangxi	April, 2019	8	19.4—23.8	186.7—210.8
<i>E. fasciatus</i>	Inshore of Zhanjiang, Guangdong	August, 2021	8	18.1—22.4	194.5—208.6
<i>E. craigi</i>	Inshore of Maoming, Guangdong	September, 2021	6	20.9—24.7	292.6—325.8

1.2 骨骼解剖和骨骼标本制作

在对鱼体进行体长、体质量测定后,采用鲜煮(蒸)法对石斑鱼的骨骼系统进行解剖^[17]。即将鱼体放进热水中持续加热,或置于蒸锅里蒸至半熟后,将鱼肉剔除。取出鱼体骨骼后置于 1% NaOH 溶液中浸泡 3—4 h,之后小心剔除各骨骼的细小结缔组织。使用 75% 酒精溶液清洗骨骼,并在数显鼓风干燥机

(GZX-9076 MBE)中烘干(55 °C 左右)。使用佳能 EOS R10 相机对各部分骨骼标本进行拍照,用于比较分析。

2 结果与分析

经过解剖骨骼和比较观察,发现有 15 种骨骼在九棘鲈属、鸢鲈属、石斑鱼属等 3 属 5 种鱼类中显示

出明显的形态结构差异,其余骨骼形态差异较小不便于区分。这些差异骨骼包括脑颅嗅区的鼻骨、中筛骨,眼区的额骨、翼蝶骨,耳区的顶骨、蝶耳骨、翼耳骨,枕区的上枕骨,咽颌舌弓的尾舌骨,鳃盖骨系的前鳃盖骨、间鳃盖骨、下鳃盖骨,肩带的上匙骨和后匙骨,腰带的无名骨。

2.1 鼻骨、中筛骨、额骨和翼蝶骨

鼻骨位于前颌骨前端,前端游离,通过韧带与前颌骨前端相连,后端与额骨和侧筛骨的交界处相连[图1(a)]。尾纹九棘鲈的鼻骨边缘未向外延展,整体呈弯曲管状;而鳘鲈的鼻骨前端呈细长管状,中后部边缘向外延展明显,背视后部显著向外弯曲;3种石斑鱼属鱼类的鼻骨形态总体相似,前端呈细长管状,后部略微向外延展,轻微向外弯曲。

中筛骨位于两侧筛骨之间、额骨之前,前端连接犁骨后方,背前部中央有隆起嵴[图1(b)]。尾纹九棘鲈的中筛骨后部两侧骨突呈半叶状;鳘鲈的中筛骨

后部两侧骨突呈近等腰三角形,末端圆钝;3种石斑鱼属鱼类的中筛骨形态相似,后部两侧骨突呈近钝三角形,末端尖突。

额骨位于脑颅背面,呈长条状,可分为眼部和眼后部[图1(c)]。尾纹九棘鲈的额骨眼后部近似矩形;鳘鲈的额骨眼部背面两条棱嵴明显,眼部外侧的弧形边缘呈锯齿状;3种石斑鱼属鱼类的额骨形态总体相似,眼后部末端具明显的缺刻。但是,断带石斑鱼的额骨腹面较青石斑鱼、拟青石斑鱼的更加凹入,其额骨眼部前端仅1个孔洞,而青石斑鱼和拟青石斑鱼的额骨眼部前端分别有3个和2个孔洞。

翼蝶骨位于眼眶内后方,前半部分扁平,近似矩形,后下部具关节面[图1(d)]。尾纹九棘鲈的翼蝶骨下缘中部有明显的“U”形裂口;其他4种石斑鱼的翼蝶骨下缘中部呈“V”形裂缝,但断带石斑鱼的“V”形裂缝背面愈合,鳘鲈的翼蝶骨后背缘稍凸,3种石斑鱼属鱼类的翼蝶骨后背缘呈明显的薄片状突起。



The scales in the pictures were all 0.5 cm.

图1 5种石斑鱼的鼻骨(a)、中筛骨(b)、额骨(c)和翼蝶骨(d)

Fig. 1 The nasal (a), ethmoid (b), frontal (c), and alisphenoid (d) of five Epinephelidae species

2.2 顶骨、蝶耳骨、翼耳骨和上枕骨

顶骨位于上枕骨两侧,额骨之后、上耳骨之前[图2(a)]。鳘鲈顶骨较为立体,背部棱嵴较发达。尾纹九棘鲈和3种石斑鱼属鱼类的顶骨形态总体相似,背视略呈三角形薄骨片状,背部具一细长棱嵴突起。尾纹九棘鲈的顶骨较为扁平,棱嵴低矮;青石斑鱼、拟青石斑鱼的顶骨前端较圆钝,断带石斑鱼的顶骨前端

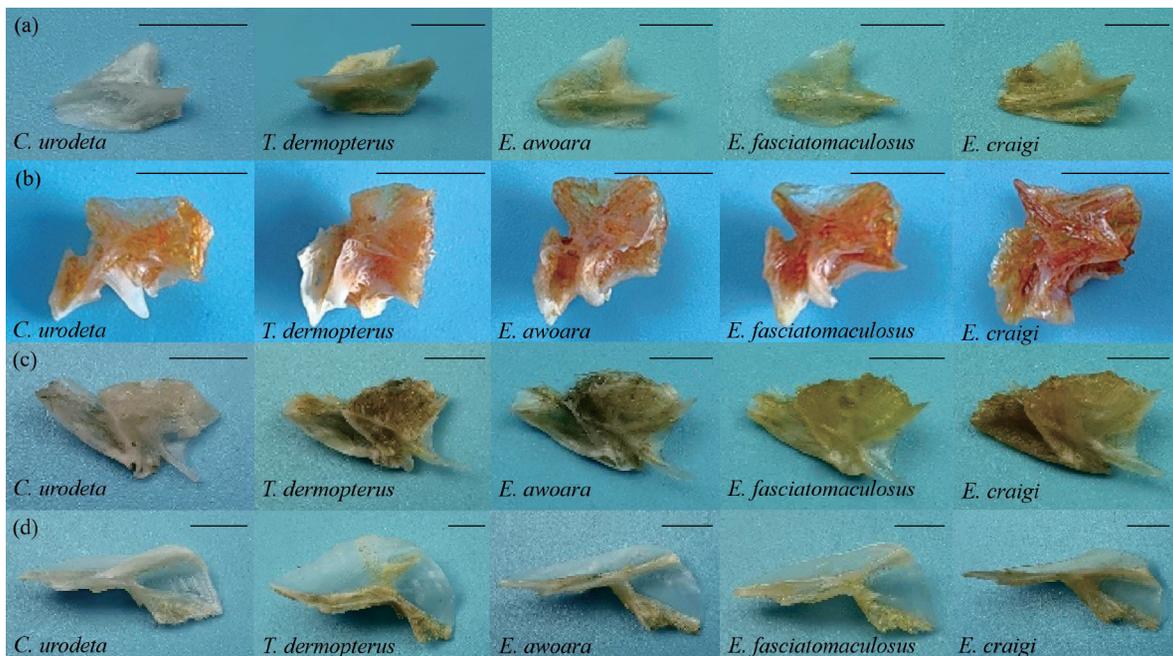
平截。

蝶耳骨位于眼眶后上方、额骨后外侧[图2(b)]。尾纹九棘鲈的蝶耳骨外侧有两个骨突,一个骨突朝前方且背部具缺刻,另一个骨突朝向外。其他4种石斑鱼的蝶耳骨外侧两个骨突相邻形成凹槽。其中,鳘鲈、断带石斑鱼的蝶耳骨前端背部无明显缺刻,青石斑鱼、拟青石斑鱼的蝶耳骨前端背部具缺刻。此外,

断带石斑鱼的蝶耳骨腹面颞窝较为完整,其他 4 种石斑鱼的蝶耳骨腹面仅有半个颞窝。

翼耳骨位于蝶耳骨之后、顶骨之下,前部似翼状,后部呈扇形,背腹面具斜向棱嵴,外侧后端有针状突出[图 2(c)]。尾纹九棘鲈的翼耳骨外侧具 2 个孔洞,鳶鰺有 3 个孔洞,3 种石斑鱼属鱼类具 4 个孔洞。断带石斑鱼的翼耳骨前后部相连无缺口,其余 4 种石斑鱼的翼耳骨前后部间有明显的缺口。尾纹九棘鲈的翼耳骨背面具明显凹窝,其余 4 种石斑鱼的翼耳骨背面无凹窝或凹窝较浅。

上枕骨位于脑颅后上方中间,额骨之后,顶骨和上耳骨之上,后端至枕骨大孔,背面上枕嵴向后延伸,中部两侧为翼状突起[图 2(d)]。鳶鰺的上枕嵴最为发达(即上枕骨背部至后端上方具高耸薄片状突起),无翼状骨突;其余 4 种石斑鱼的上枕嵴相对低矮,但翼状骨突明显。尾纹九棘鲈的翼状骨突起点位于上枕骨腹面中前部,3 种石斑鱼属鱼类的翼状骨突起点位于上枕骨腹面中间。断带石斑鱼的翼状骨突起为水平向后延伸,尾纹九棘鲈、青石斑鱼、拟青石斑鱼的翼状骨突起为斜向上延伸。



The scales in the pictures were all 0.5 cm.

图 2 5 种石斑鱼的顶骨(a)、蝶耳骨(b)、翼耳骨(c)和上枕骨(d)

Fig. 2 The parietal (a), sphenotic (b), pterotic (c), and supraoccipital (d) of five Epinephelidae species

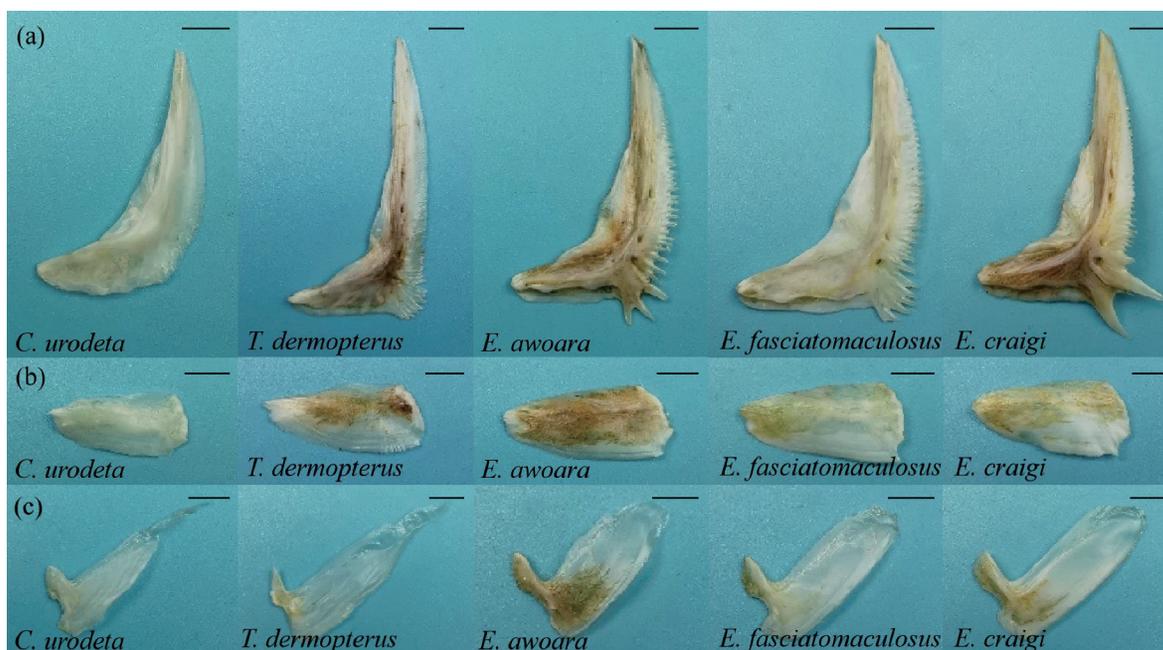
2.3 前鳃盖骨、间鳃盖骨和下鳃盖骨

前鳃盖骨近似“L”形,长而弯曲;上、下两端尖细,中间较宽;中间骨质较厚,左右两侧骨片变薄;后缘骨片呈辐射锯齿状[图 3(a)]。尾纹九棘鲈的前鳃盖骨“L”形弯角处后缘锯齿细小。鳶鰺的前鳃盖骨“L”形弯角处后缘有 8—9 枚锯齿棘。青石斑鱼的前鳃盖骨“L”形弯角处后缘锯齿较强,愈合成 3 枚强棘。拟青石斑鱼的前鳃盖骨“L”形弯角处后缘有 7 枚明显的锯齿棘。断带石斑鱼的前鳃盖骨“L”形弯角处后缘锯齿非常发达,愈合成 1 枚较小和 2 枚粗大的锯齿棘。

间鳃盖骨为近似椭圆形薄骨片,前窄后宽,中间

厚、上下薄[图 3(b)]。鳶鰺的间鳃盖骨下缘有辐射状细小锯齿,其他 4 种石斑鱼则无。3 种石斑鱼属鱼类的间鳃盖骨后端下缘呈凹形,且末端尖突明显;尾纹九棘鲈的间鳃盖骨前端有明显尖突。

下鳃盖骨为长条形膜片状骨片,近似“√”形;前部较厚,呈椎状或椭圆状突起,后部向后渐成薄膜状[图 3(c)]。尾纹九棘鲈和鳶鰺的下鳃盖骨后部末端向上呈匕首状尖突,前部下缘有凹陷,但鳶鰺的下鳃盖骨前部末端尖突更明显。3 种石斑鱼属鱼类的下鳃盖骨后部呈扁片状,末端圆钝。其中,青石斑鱼和拟青石斑鱼的下鳃盖骨前部呈明显的椎状突起,而断带石斑鱼的下鳃盖骨前部为椭圆状突起。



The scales in the pictures were all 0.5 cm.

图3 5种石斑鱼的前鳃盖骨(a)、间鳃盖骨(b)和下鳃盖骨(c)

Fig. 3 The preopercular (a), interopercular (b), and subopercular (c) of five Epinephelidae species

2.4 上匙骨和后匙骨

肩带的上匙骨位于后颞骨与匙骨之间,整体为宽下窄的刀片状[图4(a)]。尾纹九棘鲈和鸢鲙的上匙骨前端上缘呈三角形突出,但前者上端向后部呈椭圆形突起,后者上端向后部呈柄状突起。青石斑鱼和拟青石斑鱼的上匙骨前端上缘呈弧状突出,上端向后部呈椭圆形突起,但前者下端尖突,后者下端圆钝。断带石斑鱼的上匙骨前端相对平直,且上端向后部呈方形突出。

肩带的后匙骨有上、下两对,与肩胛骨、乌喙骨相接。后匙骨整体为宽条形薄骨片,中部向外侧隆起[图4(b)]。尾纹九棘鲈的后匙骨中间宽、两头稍窄,总体呈弧片状,前端中部向前扩展,上、下端呈圆弧状。鸢鲙、青石斑鱼和拟青石斑鱼的后匙骨上、下两端尖细,上端向后弯曲、下端向前弯曲,整体侧视近似“S”形。断带石斑鱼的后匙骨中间宽、两头窄,上、下

两端无弯曲,整体侧视近似长卵圆形。

2.5 尾舌骨和无名骨

尾舌骨位于舌弓的后下方,薄片状骨片,侧视呈前窄后宽的三角形,后端分叉,形似燕尾,且上支明显短于下支[图5(a)]。尾舌骨腹面基板向左、右两侧延伸出薄片骨突,呈低棱嵴。尾纹九棘鲈的尾舌骨下支末端不分叉,前端骨突不明显;其他4种石斑鱼的尾舌骨下支末端有分叉,前端骨突明显。鸢鲙的尾舌骨上支末端短钝,其他4种石斑鱼的尾舌骨上支末端尖细。青石斑鱼与断带石斑鱼的尾舌骨上支具弱骨棱,拟青石斑鱼的尾舌骨上支无骨棱。

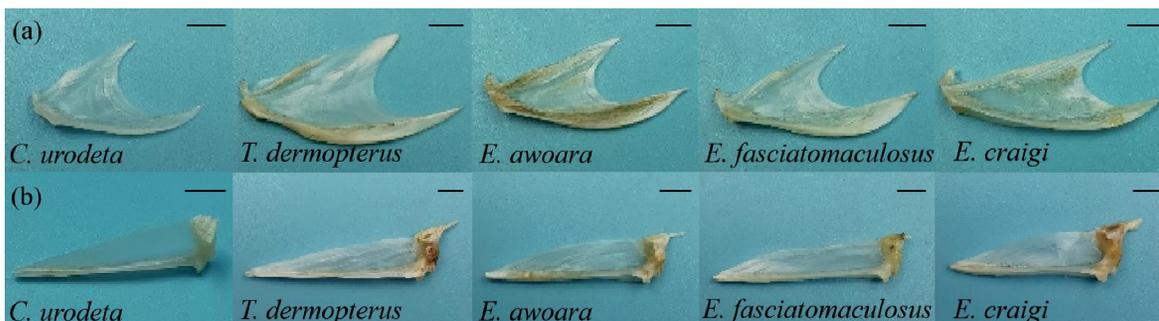
腰带具无名骨1对,近似长三角形,前端尖突,两侧边缘凸起呈槽状,中央部自前向后有棱状突起[图5(b)]。尾纹九棘鲈的无名骨后端上部无明显细长突起,其他4种石斑鱼的无名骨后端上部细长突起明显。



The scales in the pictures were all 0.5 cm.

图 4 5 种石斑鱼的上匙骨(a)和后匙骨(b)

Fig. 4 The supracleithrum (a) and postcleithrum (b) of five Epinephelidae species



The scales in the pictures were all 0.5 cm.

图 5 5 种石斑鱼的尾舌骨(a)和无名骨(b)

Fig. 5 The urohyal bone (a) and innominatum (b) of five Epinephelidae species

3 讨论

3.1 九棘鲈属、鸢鲙属和石斑鱼属间的形态差异和系统进化关系

从外形上看,九棘鲈属、鸢鲙属和石斑鱼属鱼类均为体长椭圆形,侧扁,背腹缘呈弧形,胸鳍和尾鳍多为圆形,体色多为不同程度的褐色,彼此间具有一定的相似性。它们的分类区别特征如下:九棘鲈属背鳍鳍棘 9 个,臀鳍鳍棘 3 个均极发达,臀鳍鳍条 7—10 条;鸢鲙属背鳍鳍棘 11 个,臀鳍第 3 鳍棘最长,臀鳍鳍条 10—12 条;石斑鱼属背鳍鳍棘多为 11 个(少数为 9 个),臀鳍第 2 鳍棘最强大,臀鳍鳍条多为 8—9 条(少数为 7 条或 10 条)^[4,20]。在本研究选取的 15 种骨片中,除后匙骨和无名骨外,其余 13 种骨片均可

有效区分九棘鲈属、鸢鲙属、石斑鱼属,包括脑颅 8 种(鼻骨、中筛骨、额骨、翼蝶骨、顶骨、蝶耳骨、翼耳骨、上枕骨),咽颅 4 种(前鳃盖骨、间鳃盖骨、下鳃盖骨、尾舌骨),肩带 1 种(上匙骨)。尤其是中筛骨、额骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨、上匙骨、尾舌骨等 7 种骨片的形态具有明显的属特征,这些骨片可作为九棘鲈属、鸢鲙属、石斑鱼属鱼类的重要区分依据,也支持了以往基于外部形态和分子水平将它们划分为 3 个独立的属的结论^[1,13]。

根据背鳍鳍棘数目的不同,以往的分类系统将九棘鲈属划分为一类,而鸢鲙属和石斑鱼属为另一类群^[1,3]。鸢鲙属总体形态类似于石斑鱼属^[3],而九棘鲈属曾被作为一个亚属归入石斑鱼属^[8],可见这 3 属间的亲缘关系密切且系统进化关系较为复杂。在分

子系统学方面,丁少雄等^[8]的 16S rRNA 序列分析支持九棘鲈属与石斑鱼属聚为一支系,侧牙鲈属(*Variola*)是处于九棘鲈属与鳃棘鲈属(*Plectropomus*)之间的一个独立类群。庄轩等^[9]的 Cyt *b* 序列分析支持九棘鲈属与侧牙鲈属有较近亲缘关系的结论。Craig 等^[10]的石斑鱼分子系统进化研究表明九棘鲈属与单种属烟鲈属(*Aethaloperca*)的系统关系最近,而 Zhuang 等^[11]和 Schoelincx 等^[22]的分子研究却表明单种属鸢鲈属与石斑鱼属的系统关系很近。最近,梁日深等^[13]联合 16S rRNA 和 COI 序列构建的西太平洋石斑鱼系统进化树也支持九棘鲈属与烟鲈属先聚为一支,鸢鲈属位于石斑鱼属分支内部,且 3 属间鸢鲈属与石斑鱼属的遗传距离最小。在本研究中,鸢鲈和石斑鱼属的明显相似类型骨片数最多,包括鼻骨、中筛骨、额骨、翼蝶骨、蝶耳骨、前鳃盖骨、上后匙骨、无名骨等 8 种骨片;其次是鸢鲈和尾纹九棘鲈,有 3 种明显相似类型的骨片(间鳃盖骨、下鳃盖骨、上匙骨);而尾纹九棘鲈和石斑鱼属具有明显相似类型的骨片仅有顶骨 1 种。结合以往的分子研究和骨骼系统比较结果,本研究认为鸢鲈属与石斑鱼属有较为密切的亲缘关系。此外,本研究发现鼻骨、中筛骨、额骨、翼蝶骨、蝶耳骨、翼耳骨、前鳃盖骨、后匙骨、尾舌骨、无名骨等多种骨片在尾纹九棘鲈中的形态结构较简单,而它们在鸢鲈和石斑鱼属中的形态结构则更为分化、复杂。Heemstra 等^[4]指出九棘鲈属有 3—6 条背鳍支鳍骨是由 3 节组成的,而石斑鱼属所有背鳍支鳍骨只由 2 节组成,即 2 节支鳍骨可能是由更为古老的 3 节支鳍骨在系统进化过程中愈合而成^[14]。因此,本研究认为九棘鲈属是明显不同于石斑鱼属且较之更原始的一个类群,而鸢鲈属和石斑鱼属则是相对演化的类群。九棘鲈属更原始的系统进化地位可能是造成尾纹九棘鲈骨骼形态结构较简单的一个重要原因。

虽然上述分子系统学研究支持鸢鲈处于石斑鱼属支系内,但是这并不意味着鸢鲈可归入石斑鱼属。原因有以下 3 点:一是本研究显示鸢鲈与石斑鱼属虽有多种相似类型的骨片,但二者各具有一些能体现属种特性的骨骼;二是石斑鱼类普遍种化时间较晚,约有 2/3 的种类在近 500 万年才形成^[1],这可能导致物种间尚未积累足够的遗传分化,从而在分子系统进化上出现不同类群交叉聚集或是分子进化速率与表型进化速率不一致的情况;三是已有的分子系统学研究大多是基于线粒体 DNA 序列或是有限的核基因序

列,可供解析石斑鱼类的系统演化的遗传信息尚不丰富,还不足以确定它们真实的系统关系。因此,本研究认为鸢鲈属不是石斑鱼属内的一个特化类群,而可能是由与石斑鱼属某一共同祖先平行演化而成的一个类群。

3.2 青石斑鱼、拟青石斑鱼、断带石斑鱼的物种鉴别和亲缘关系

在文献记载的中国近海石斑鱼属中,青石斑鱼、拟青石斑鱼、镶点石斑鱼(*E. amblycephalus*)、双棘石斑鱼(*E. diacanthus*)、南海石斑鱼(*E. stictus*)的体侧均具 5 条近直暗褐色横带^[3,23],而且它们的体型、体色、斑纹非常接近,形态分类时有误鉴定或混淆发生。如 Frable 等^[21]结合形态学和 COI 条码分析报道了采自我国南海北部和台湾东岸的石斑鱼属的一个新种——断带石斑鱼(*Epinephelus craigi* Frable, Tucker & Walker, 2018),该石斑鱼以往常被认为是南海石斑鱼或双棘石斑鱼。尽管南海石斑鱼和双棘石斑鱼均为独立的有效种^[24],但它们准确的地理分布分别为印度尼西亚南部及澳大利亚西部沿海、印度洋的亚丁湾和印度沿岸,并不出现在中国南海海域^[21]。断带石斑鱼的横带断开、不连续,体侧散布棕黑色斑点,上鳃耙 7—8 个、侧线鳞 103—121 个;南海石斑鱼的横带连续,体侧有棕褐色斑点,上鳃耙 8—9 个;双棘石斑鱼的横带连续,体侧无斑点,侧线鳞 52—60 个^[21]。因此,在中国近海石斑鱼属中体侧具 5 条近直暗褐色横带的应是青石斑鱼、拟青石斑鱼、镶点石斑鱼和断带石斑鱼这 4 个有效种。

在外部形态上,青石斑鱼头部及体侧散布许多橙色小点,拟青石斑鱼全身散布褐色多边形斑点并密集构成网纹状,断带石斑鱼头部及体背侧有黑棕色的斑点,镶点石斑鱼体侧斑点镶嵌于横带边缘^[1,3,21]。其中,镶点石斑鱼和断带石斑鱼分别因体侧斑点分布位置特殊、体侧上部横带模糊不清而易于鉴定,但是青石斑鱼和拟青石斑鱼外形较为相似不易辨别。梁日深等^[13]基于 COI 和核基因 TMO-4C4 序列构建的西太平洋石斑鱼属鱼类的 3 个系统进化树表明,青石斑鱼和拟青石斑鱼总是以较高的支持率聚成一支紧密的姐妹群。本研究结果表明,青石斑鱼和拟青石斑鱼的骨骼系统总体较为相似,但在额骨、前鳃盖骨、上匙骨等 3 种骨片形态上二者有显著的差异,可作为它们的主要鉴别依据。同时,本研究也支持了以往系统分类研究对青石斑鱼和拟青石斑鱼既有着非常近的亲缘关系但又互为独立种的认识^[3,13]。在断带石斑鱼

与青石斑鱼、拟青石斑鱼的骨骼差异方面,有 10 种骨片(额骨、翼蝶骨、顶骨、蝶耳骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨、下鳃盖骨、上枕骨、上后匙骨)可将前者与后者区分开。其中,翼蝶骨、蝶耳骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨等 5 种骨片在断带石斑鱼中显示出明显的种类特性,这支持了断带石斑鱼这一新种确立的有效性。

陈晓峰^[15]通过解剖比较发现前鳃盖骨、鳃盖骨、幽门盲囊等性状是区分点带石斑鱼与斜带石斑鱼的最直接的有效分类依据,而且幽门盲囊形态是两种石斑鱼最显著的区别。郭明兰等^[16]报道了云纹石斑鱼与褐石斑鱼的骨骼系统主要差异在于前鳃盖骨、眶前骨、第 5 眶后骨、尾舌骨、第 1 支鳍骨前端的髓棘间骨及尾下骨等,而且二者的体长/肛长、背鳍基底长/臀鳍基底长、头长/眼径等可数性状以及背鳍鳍条数、鳃耙数、幽门盲囊数等可数性状的差异也达到极显著水平。Heemstra 等^[4]应用放射自显影技术观察到九棘鲈属与石斑鱼属在背鳍支鳍骨结构上的差异。结合本研究的骨骼系统比较结果,可以初步确定鳃盖骨系、尾舌骨、支鳍骨以及幽门盲囊是石斑鱼类属种间鉴别的重要分类性状。有学者曾提出由于长期以来石斑鱼类栖息于相似生活环境造成的平行演化使得它们在骨骼及外部形态上都表现出较高的趋同性,从而导致石斑鱼类之间普遍缺乏可用于比较的同源性状^[2,4],这种认识可能在某种程度上影响了骨骼系统在石斑鱼系统分类中的研究应用。然而,本研究表明骨骼系统不但可有效鉴别石斑鱼的近缘种和疑难种,也可为阐明属种间的系统关系提供有力的证据。骨骼系统在石斑鱼类的分类与系统进化中有较好的应用潜力,应该成为其系统分类学研究的重要手段。此外,由于本研究所获得的每种石斑鱼标本数尚未达到有效生物学统计的最低数量要求($n \geq 20$),没有将可数和可量性状数据应用于属种间的鉴别。因此,在今后的研究中应通过扩大石斑鱼种类数和标本数来进行更为全面的外部形态和内部骨骼系统综合比较分析,以揭示石斑鱼类的形态特性。

4 结论

本研究通过骨骼系统比较分析,发现有 15 种骨片在九棘鲈属、鳘鲯属、石斑鱼属中存在形态差异,其中有 7 种骨片(中筛骨、额骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨、上匙骨、尾舌骨)显示出明显的属特征,它们是属间区分的重要依据。另有 8 种骨片支持鳘鲯属与石

斑鱼属有较为密切的亲缘关系,二者可能代表着平行进化的新演化类群;而九棘鲈是较石斑鱼属更为原始的一个独立类群。在石斑鱼属内,有 10 种骨片可将断带石斑鱼与青石斑鱼、拟青石斑鱼有效区分,其中翼蝶骨、蝶耳骨、翼耳骨、上枕骨、前鳃盖骨等 5 种骨片显示出断带石斑鱼的种类特性,支持了该物种的有效性。青石斑鱼和拟青石斑鱼的主要骨骼差异在于额骨、前鳃盖骨、上匙骨,它们可作为这两个近缘种鉴别的主要依据。这种较少但显著的骨骼差异体现了二者具有非常近的亲缘关系但又互为独立种的客观性,也表明了石斑鱼的进化过程中其外观表型进化与内在骨骼进化的趋势一致性。本研究表明骨骼系统在石斑鱼类的物种鉴定和系统进化关系研究中具有良好的应用潜力,可作为石斑鱼系统分类研究的重要手段。

参考文献

- [1] CRAIG M T, DE MITCHESON Y J S, HEEMSTRA P C. Groupers of the world: a field and market guide [M]. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [2] 丁少雄, 刘巧红, 吴昊昊, 等. 石斑鱼生物学及人工繁育研究进展[J]. 中国水产科学, 2018, 25(4): 737-752.
- [3] 成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [4] HEEMSTRA P C, RANDALL J E. FAO species catalogue vol. 16. groupers of the world (family Serranidae, subfamily Epinephelinae) an annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date [M]. Rome: Information Division, FAO, 1993.
- [5] 杜佳莹, 丁少雄, 王军, 等. 两种石斑鱼及其杂种子代的分子鉴定[J]. 海洋学报, 2006, 28(6): 94-99.
- [6] GUO M L, SU Y Q, WANG J, et al. Differentiation of *Epinephelus moara* from *E. bruneus* by improved nest-tetra-primer-specific PCR [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19: 1221-1226.
- [7] QU M, TANG W, LIU Q H, et al. Genetic diversity within grouper species and a method for interspecific hybrid identification using DNA barcoding and RYR3 marker [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2018, 121: 46-51.
- [8] 丁少雄, 王颖汇, 王军, 等. 基于 16S rDNA 部分序列探讨中国近海 30 种石斑鱼类的分子系统进化关系[J]. 动物学报, 2006, 52(3): 504-513.
- [9] 庄轩, 丁少雄, 郭丰, 等. 基于细胞色素 *b* 基因片段序列研究中国近海石斑鱼类系统进化关系[J]. 中国科学 C

- 辑: 生命科学, 2006, 36(1): 27-34.
- [10] CRAIG M T, HASTINGS P A. A molecular phylogeny of the groupers of the subfamily Epinephelinae (Serranidae) with a revised classification of the Epinephelini [J]. *Ichthyological Research*, 2007, 54(1): 1-17.
- [11] ZHUANG X, QU M, ZHANG X, et al. A comprehensive description and evolutionary analysis of 22 grouper (Perciformes, Epinephelidae) mitochondrial genomes with emphasis on two novel genome organizations [J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e73561.
- [12] 梁日深, 陈铭, 廖国威, 等. 基于16S rRNA与COI基因40种石斑鱼亚科鱼类分子系统进化关系[J]. *海洋学报*, 2020, 42(6): 9-19.
- [13] 梁日深, 唐丰寿, 何浩斌, 等. 西太平洋沿海石斑鱼属鱼类DNA条形码及分子系统进化研究[J]. *水生生物学学报*, 2021, 45(4): 851-860.
- [14] BALDWIN C C, JOHNSON G D. Phylogeny of the Epinephelinae (Teleostei: Serranidae) [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1993, 52(1): 240-283.
- [15] 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.
- [16] 郭明兰, 苏永全, 陈晓峰, 等. 云纹石斑鱼与褐石斑鱼形态比较研究[J]. *海洋学报*, 2008, 30(6): 106-114.
- [17] 冯昭信. 鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* (Cuvier et Valenciennes) 骨骼系统的形态观察[J]. *大连水产学院学报*, 1982(1): 29-52.
- [18] 孔晓瑜, 周才武. 中国鳊亚科 (Sinipercaenae): 七种鱼类骨骼形态特征的比较研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1993, 23(3): 116-124.
- [19] 陈咏霞, 刘静, 刘龙. 中国鲷科鱼类骨骼系统比较及属种间分类地位探讨[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1360-1374.
- [20] 伍汉霖, 钟俊生. 中国海洋及河口鱼类系统检索[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [21] FRABLE B W, TUCKER S J, WALKER H J. A new species of grouper, *Epinephelus craigi* (Perciformes: Epinephelidae), from the South China Sea [J]. *Ichthyological Research*, 2019, 66(2): 215-224.
- [22] SCHOELINCK C, HINSINGER D D, DETTAÏ A, et al. A phylogenetic re-analysis of groupers with applications for ciguatera fish poisoning [J]. *PLoS One*, 2014, 9(8): e98198.
- [23] 邵广昭. 台湾鱼类资料库 [DB/OL]. [2023-12-04]. <http://fishdb.sinica.edu.tw>.
- [24] WoRMS Editorial Board. World register of marine species [EB/OL]. [2023-12-04]. <https://www.marinespecies.org>.

Comparative Study on the Skeletal System of Five Species of the Family Epinephelidae (Perciformes) in the Coastal Waters of the Northern South China Sea

WU Xiaodong¹, CHEN Jingjing¹, XU Jiasheng², LI Haiyan¹, LIANG Zhenbang²,
CHU Qingzhu², WU Renxie^{2* * *}

(1. Guangdong Zhanjiang Mangrove National Nature Reserve Administration, Zhanjiang, Guangdong, 524088, China; 2. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong, 524088, China)

Abstract: In order to reveal the application potential of skeletal system in the study of species identification and phylogenetic relationship of the family Epinephelidae (Perciformes), the traditional skeletal system comparison method was used to analyze the skeletal characteristics of five fish species within Epinephelidae sampled from the nearshore of the northern South China Sea, including *Cephalopholis urodeta*, *Triso dermatopterus*, *Epinephelus awoara*, *E. fasciatus*, and *E. craigi*. The results showed that among the 15 kinds of bone fragments analyzed, 7 kinds of bone fragments, such as ethmoid, frontal, sphenotic, supraoccipital, preo-

percular, supracleithrum, and urohyal bones, showed obvious genus characteristics. The morphological structure of the bone fragments of *C. urodeta* was generally simple. However, the skeletal morphological structures of the bone fragments of *T. dermopterus* and *Epinephelus* were more differentiated and complex, and the two had the largest number of similar types of bone fragments (8 species). There were 10 kinds of bone fragments that could effectively distinguish *E. craigi* from *E. awoara* and *E. fasciatus*. Among them, 5 kinds of bone fragments, such as alisphenoid, sphenotic, pterotic, supraoccipital and preopercular, showed significant species characteristics in *E. craigi*. The main skeletal differences between *E. awoara* and *E. fasciatus* were the frontal, preopercular, and supracleithrum. The results of this study support the conclusion that *Triso* has a close phylogenetic relationship with *Epinephelus* and *Cephalopholis* is a more primitive independent group than *Epinephelus*. At the same time, this study provides important skeletal evidence for the species effectiveness of *E. craigi*, and also clarifies the differences between the two closely related species of *E. awoara* and *E. fasciatus*. This study indicates that the skeletal system can be used as an important research tool for species identifying and elucidating the phylogenetic relationships of the family Epinephelidae.

Key words: nearshore of the northern South China Sea; Epinephelidae; skeletal comparison; species identification; phylogeny

责任编辑:米慧芝,陈少凡



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>