舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼骨骼系统特征与比较研究

黎蔓枫[1, 3], 蔡添光[4], 张钰莹[1, 3], 杨少森[2], 杨育凯[1, 5], 黄　忠[1, 5], 黄小林[1, 5]

(1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所 深圳试验基地/国家渔业资源环境大鹏观测实验站, 广东 深圳 518121; 2. 广东省农业技术推广中心, 广东 广州 510520; 3. 广州大学 生命科学学院, 广东 广州 510006; 4. 深圳市海聚源水产科技有限公司, 广东 深圳 518121; 5. 三亚热带水产研究院/深远海养殖与加工, 海南省工程研究中心, 海南 三亚 572000)

摘要: 为了丰富隆头鱼科鱼类在解剖学方面的资料, 本研究比较了舒氏猪齿鱼(*Choerodon schoenleinii*)和绿尾唇鱼(*Cheilinus chlorourus*)的骨骼特征。舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼同属鲈形目(Perciformes)隆头鱼科(Labridae), 是珊瑚礁生态系统的重要成员, 前者因体色鲜艳常作观赏鱼, 后者因肉质黏胶具高营养价值。研究表明舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼大部分骨骼形态相似, 仅部分骨骼形态有差异。脑颅部分: 舒氏猪齿鱼脑颅长高比约为 2∶1, 脑颅上部较饱满; 绿尾唇鱼脑颅长高比约为 3∶1, 脑颅上部呈梯形; 脊柱部分: 舒氏猪齿鱼有 26 枚脊椎骨, 绿尾唇鱼有 23 枚脊椎骨, 椎骨数差异可能与其体型有关, 舒氏猪齿鱼最大体长可达 100 cm, 而绿尾唇鱼最大体长仅 45 cm, 体型相对较小; 咽颅部分: 主要差异在上颌骨和齿骨, 舒氏猪齿鱼的上颌骨和齿骨前端的犬状齿发达, 后缘平滑, 无臼状齿群, 推测与其体型较大, 捕食主要依靠尖锐的犬状齿咬碎猎物有关; 绿尾唇鱼的上颌骨和齿骨前端仅有 1 枚犬状齿, 后端的臼状齿发达, 推测与其体型较小, 主要依靠自身敏捷性捕食猎物后使用臼状齿磨碎食物的捕食策略有关; 为今后深入开展隆头鱼科鱼类的系统分类和演化机制提供参考。

关键词: 隆头鱼科(Labridae); 舒氏猪齿鱼(*Choerodon schoenleinii*); 绿尾唇鱼(*Cheilinus chlorourus*); 骨骼系统; 上颌骨; 齿骨

中图分类号: S917.4　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2025)7-0053-10

DOI: 10.11959/hykx20250313001

舒氏猪齿鱼(*Choerodon schoenleinii*)和绿尾唇鱼(*Cheilinus chlorourus*)均隶属鲈形目(Perciformes)隆头鱼科(Labridae)。

舒氏猪齿鱼俗称青衣(图 1、图 2), 体态修长呈卵圆形, 头部圆钝, 背部线条流畅。其体表以蓝灰色为主, 腹部呈硫磺色, 眼周分布多条蓝色纹路, 背鳍前段下方与尾柄处各具一蓝色斑块, 下颌齿为绿色。该物种广泛分布于印度-西太平洋海域, 包括东海及南海, 偏好珊瑚礁及岩礁区周边环境, 以甲壳类、鱼类及软体动物为主要食物来源。作为经济鱼类, 其活体在东南亚市场广受欢迎, 肉质鲜嫩适口, 尤宜红烧或清蒸; 同时因体色绚丽, 亦具观赏价值, 常用于水族养殖[1]。

绿尾唇鱼俗称绿色龙(图 1、图 2), 体形修长呈卵圆形, 头背部微隆, 吻部平直。体表基色为橄榄褐至棕褐色, 密布粉白色细小斑点, 头部具橙红色斑纹。其地理分布横跨印度洋至西太平洋海域, 自非洲东岸延伸至日本、中国台湾及南海诸岛, 偏好珊瑚礁与砂质混合的海域, 摄食范围涵盖鱼类、软体动物、甲壳类及棘皮动物等。该物种兼具观赏与食用价值, 其艳丽体色备受水族爱好者青睐, 肉质鲜美亦属优质食用鱼类[1]。

侧斑离鳍鱼(*Hemipteronotus verrens*)俗称鹦哥鱼, 同属隆头鱼科(Labridae), 产大西洋、印度洋和太平

收稿日期: 2025-03-13; 修回日期: 2025-06-27

基金项目: 广东省现代化海洋牧场适养品种核心技术攻关项目(2024-MRB-00-001); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2025RC07)

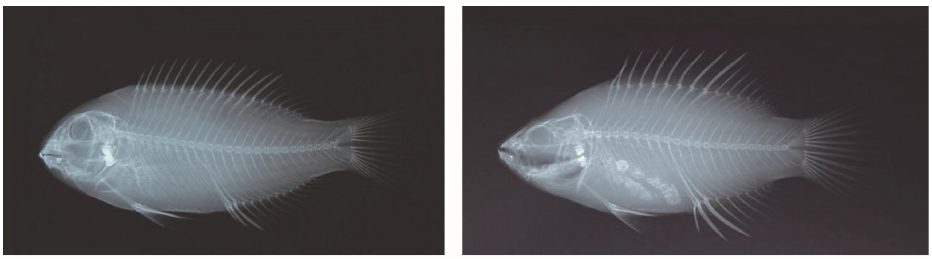
[Foundation: Guangdong Province Modern Marine Ranch Suitable Breeding Species Core Technology Research Project, No.2024-MRB-00-001; Chinese Academy of Fishery Sciences Central Public Welfare Research Institute Basic Scientific Research Operating Funds Special Project, No. 2025RC07]

作者简介: 黎蔓枫(2002—), 女, 广东东莞人, 本科, 从事海洋鱼类种质资源研究, E-mail: 2971156138@qq.com; 黄小林(1987—), 男, 通信作者, 湖南邵阳人, 硕士, 高级工程师, 从事海水鱼类繁育与种质资源研究, E-mail: 499324782@qq.com

(a) 舒氏猪齿鱼　　(b) 绿尾唇鱼

图 1　外形特征

Fig. 1　External Features



(a) 舒氏猪齿鱼　　(b) 绿尾唇鱼

图 2　X 光图[1]

Fig. 2　X-ray image

洋，为秋冬季重要的经济鱼类，侧斑离鳍鱼的骨骼研究表明其颅骨狭窄，鼻骨发达，犁骨具齿，副蝶骨“M”形，前颌骨、齿骨前端有一特大犬齿，尾骨有变异。波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)俗称苏眉鱼，其肉质鲜嫩爽滑，营养价值高，其骨骼研究表明其下口位具牙齿，颌骨密度较大，舌颌骨下端具臼齿状结构。

由于隆头鱼科类近缘种长期适应相似的环境，其适应性特征表现为形态特征趋于相似；且隆头鱼科是体型最为分化、体色最为多变的一类种群[2]，导致隆头鱼科在分类单元和物种鉴定方面仍存在争论和疑问。鱼类骨骼系统的形态结构具有相对稳定性，是传统分类系统学研究的重要依据[3]。陈咏霞等[4]通过鲷科鱼类骨骼系统比较发现各种属间在尾舌骨、前颌骨等表现出明显的形态差异，可以作为属间、种间的鉴别特征。刘东等[2]根据分子系统发育，推测隆头鱼科几个主要属是颌骨摄食功能进化导致种间显著遗传分化的结果，但隆头鱼科鱼类骨骼系统相关研究报道较少，因此研究舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼骨骼系统的比较对于丰富隆头鱼科在解剖学方面的资料具有重要意义，还有助于深入理解隆头鱼科鱼类的系统分类和演化机制。未来的研究可以进一步探讨隆头鱼科在骨骼结构上的细微差异及这些差异如何与它们的生态习性和地理分布相关联，同时结合分子生物学手段，可以更加全面地揭示隆头鱼科鱼类在遗传和进化上的复杂关系。

1　材料和方法

1.1　实验材料

1.1.1　实验动物

舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼标本购于深圳罗湖海鲜市场，体长 14~15.3 cm。

1.1.2　实验仪器及试剂

实验仪器及试剂有解剖盘、解剖针、解剖刀、解剖剪、手套、烧杯、500 mL 量筒、电磁炉、氢氧化钠、无水乙醇、双氧水、蒸馏水、ergo5300 万能胶、鱼线等。

1.2　实验方法

1.2.1　骨骼标本处理方法

现有文献中制作骨骼标本的方法主要分为两类：一类是透明骨骼制作方法，通过梯度化学试剂处理优化肌肉组织光学特性，使其与透明化试剂的折射系数相匹配，从而实现软组织透光性转化，同时利用特异性染色剂对结构进行着色[4-7]；另一类使利用物理化学或生物学方法去除肌肉保留完整骨骼的方法，常见方法包括冷剔法、热剔法、生物学方法。由于实验材料均为冷冻的鱼，使用热剔法会导致骨骼散架严重，部分骨骼易缺失，后期辨认难度提高；生

物学方法自然腐烂耗时较长且程度难以控制，故本实验参考曹天玲等[8]采用冷剔法制作，主要步骤包括皮肤剥离、内脏去除、粗剔、细剔、腐蚀肌肉、脱脂、漂白等。

皮肤剥离、内脏去除：实验鱼解冻后放置于搪瓷盘中，浇少量热水于皮肤上，使用解剖刀从尾部将皮肤划开后慢慢剥离，剥离过程中注意避开鱼鳍部分。皮肤剥离后使用剪刀从泄殖腔向胸鳍处剪开，去除内脏，过程中注意避开胸部的肋条。

粗剔和细剔：使用解剖刀去除背部厚实的肌肉后使用解剖针剔除剩余黏连的肌肉。将各部分的鳍分离，分装至不同的培养皿中，贴上标签。头部从第二节腹锥处掰断，放置于 500 mL 烧杯中。

腐蚀肌肉：将预处理标本置于 0.5%~1%氢氧化钠溶液中浸渍约 10 h，处理时长依据样本规格进行调节。针对头部组织(内含物富集区域)可延长处理周期，而含软骨质结构的鳍部则需缩短浸渍时间。操作过程中需定时观察骨间连接状态，通过梯度时间控制避免骨块分离或结构缺失。

脱脂：将腐蚀后的骨骼放入 95%乙醇溶液浸泡 5 h，脱脂时间根据实际情况可适当延长直至表面无残留油脂。

漂白：使用 3.5% H_2O_2 溶液浸泡 8 h 进行漂白，骨骼变白后及时取出，否则导致骨骼软化甚至散架。

1.2.2 记录及后期处理

使用鱼线连接脊柱，其余单块骨骼对照《新鱼类解剖图鉴》[5]进行辨别，分类后拍照，使用 Adobe Photoshop 2020 和 Image J 添加图注和标尺。

2 结果与分析

鉴于隆头鱼科骨骼系统的基础研究尚未见系统报道，本研究骨骼鉴定与形态特征描述主要参照《新鱼类解剖图鉴》[5]中确立的标准化术语体系，并结合硬骨鱼类骨骼系统研究的经典文献进行综合分析[9-26]。

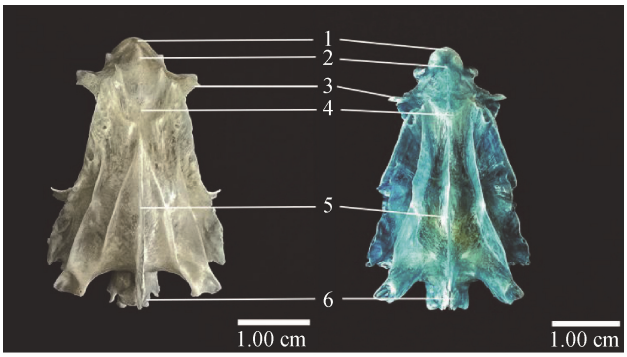
2.1 脑颅(图 3~图 5)

2.1.1 侧筛骨

侧筛骨呈骨片状，成对位于脑颅前端两侧，与中筛骨相连，形状似一对翅膀。舒氏猪齿鱼的侧筛骨骨质较厚，边缘圆滑。绿尾唇鱼的侧筛骨骨质较薄，边缘呈上翘的波浪状。

2.1.2 犁骨

犁骨位于脑颅的腹面最前端，呈方圆形，较平整。与中筛骨、侧筛骨和副蝶骨形成紧密连接的结构。舒氏猪齿鱼的较大，中间平滑，有轻微凹陷。绿尾唇鱼的较小，中间有明显凹陷，正面观呈“凹”型。

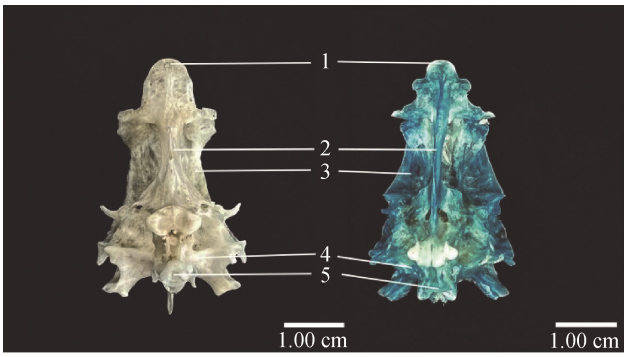


(a) 舒氏猪齿鱼　　(b) 绿尾唇鱼

图 3　脑颅正视

Fig. 3　Neurocranium frontal view

1. 犁骨; 2. 中筛骨; 3. 侧筛骨; 4. 额骨; 5. 顶骨; 6. 上枕骨

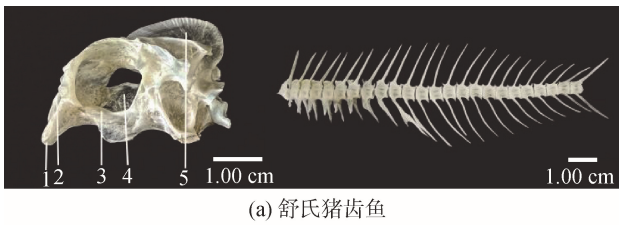


(a) 舒氏猪齿鱼　　(b) 绿尾唇鱼

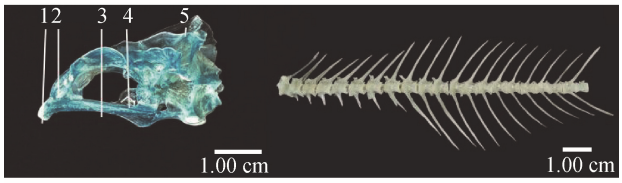
图 4　脑颅背视

Fig. 4　Neurocranium dorsal view

1. 犁骨; 2. 副蝶骨; 3. 翼蝶骨; 4. 侧枕骨; 5. 基枕骨



(a) 舒氏猪齿鱼



(b) 绿尾唇鱼

图 5　脑颅侧视、脊柱

Fig. 5　Neurocranium lateral view, spine

1. 犁骨; 2. 中筛骨; 3. 副蝶骨; 4. 翼蝶骨; 5. 顶骨

2.1.3 额骨

额骨位于脑颅背面前端，与中筛骨相连。舒氏猪齿鱼的额骨范围大，在中筛骨和顶骨之间形成一个大的凹陷。绿尾唇鱼的中筛骨和顶骨之间没有明显差异的区域，额骨形态与中筛骨相似，呈轻微隆起状。

2.1.4 顶骨

顶骨位于脑颅正上方，背面有隆起高的上枕骨。舒氏猪齿鱼的顶骨呈饱满隆起状的弧形，上枕骨隆起不高。绿尾唇鱼的呈略微凹陷状，上枕骨隆起非常明显。

2.1.5 上枕骨

上枕骨位于背视后端中央，侧面连接上耳骨，上枕骨非常发达，呈明显隆起半透明状的 3 块骨片。舒氏猪齿鱼的呈扇状，较圆滑，中间骨片隆起最高，左右两端骨片略微隆起。绿尾唇鱼的呈三角形，最高处呈直角状，3 块骨片高度相似，比舒氏猪齿鱼的薄，近似透明。

2.1.6 副蝶骨

副蝶骨位于脑颅腹面中部、视觉腔底部的一块膜骨。副蝶骨似桥梁状，连接犁骨和基枕骨。舒氏猪齿鱼的呈大波浪状，骨片薄且宽。绿尾唇鱼的呈杆状，骨头细但厚实。

2.1.7 基蝶骨

基蝶骨位于左右两眼腔之间，呈半透明骨片状。舒氏猪齿鱼的基蝶骨面积大，占两眼腔间壁的 3/4，仅留眼腔上方 1/4 处作为两眼眶的连通。绿尾唇鱼的基蝶骨面积小，仅占眼腔间壁的 1/6。

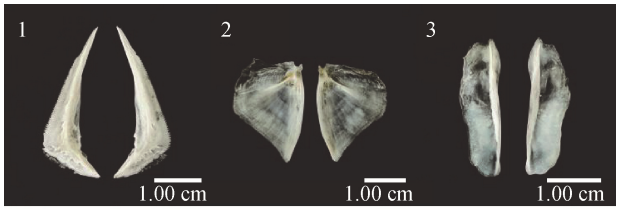
2.1.8 腭骨

腭骨均近似“L”形，中间厚实，纵支细尖，横支粗圆；“L”形外侧骨片向外延伸，由内向外变薄。舒氏猪齿鱼的“L”形偏细长，外侧向外延申部分骨片较小。绿尾唇鱼的“L”形偏短粗，整体偏圆，外侧向外延申部分骨片较大。

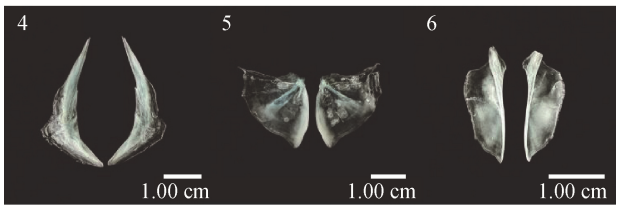
2.2 咽颅(图 6、图 7)

2.2.1 前鳃盖骨

前鳃盖骨呈“L”形，内侧弧形，外侧近似直角；上端细长且尖，下端短且尖；中间骨质厚，内外侧逐渐变薄。舒氏猪齿鱼的前鳃盖骨外侧中间的骨片呈整齐的锯齿状，上端呈辐射锯齿状；下端骨片呈不规则锯齿，薄而透明。绿尾唇鱼的前鳃盖骨外侧骨片无锯齿状，从中间到外侧逐渐变薄，直至近似透明。



(a) 舒氏猪齿鱼

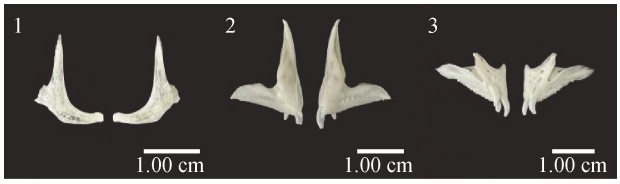


(b) 绿尾唇鱼

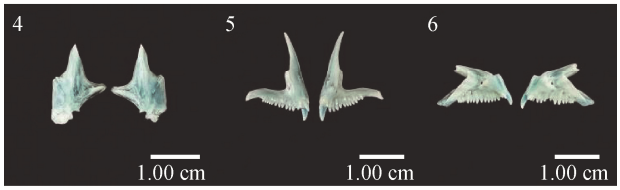
图 6　鳃盖骨

Fig. 6　Operculum

1、4.前鳃盖骨; 2、5.间鳃盖骨; 3、6.下鳃盖骨



(a) 舒氏猪齿鱼



(b) 绿尾唇鱼

图 7　腭骨、上颌骨、下颌骨

Fig. 7　Palatine bone, maxilla and mandible

1、4.腭骨; 2、5.上颌骨; 3、6.齿骨

2.2.2 间鳃盖骨

间鳃盖骨近似扇形薄骨片，上宽下窄，内侧厚，外缘薄至透明。舒氏猪齿鱼的呈 90°扇形，整体骨片偏厚，下端明显收窄变尖。绿尾唇鱼的呈 120°扇形，整体骨片偏薄，下端略微收窄。

2.2.3 下鳃盖骨

下鳃盖骨长条形薄骨片，内侧较厚，呈椭圆状突起，外侧逐渐变薄，略微透明。舒氏猪齿鱼的上端 1/3 处最薄，呈透明状，下端略厚且圆。绿尾唇鱼的上端 1/2 处薄，近边缘处呈透明状；下端厚，收窄变尖。

2.2.4 上颌骨

上颌骨近似“L”形，上支尖，中间厚实；横支呈弧形，腹侧近前端有较大的犬状齿。舒氏猪齿鱼的上

支平滑，横支腹侧近前端有一颗较大的犬状齿和两颗小的犬状齿，后缘较平滑，没有齿群。绿尾唇鱼的上支靠中间 1/2 处有突起，横支腹侧近前端有一颗较大的犬状齿，后缘有整齐的粒状齿群。

2.2.5 齿骨

齿骨近前端有较大的犬状齿，后缘有不规则臼状齿群。舒氏猪齿鱼的近前端有 3 颗大的犬状齿，后缘不规则粒状臼状齿愈合成齿板。绿尾唇鱼的近前端有 1 颗大的犬状齿，后缘有规则且整齐的粒状臼状齿群。

2.3 脊柱(图 5)

脊柱是从脑颅后端一直到尾端、排列于身体中轴线的一列脊椎骨，脊椎骨由锥体及其附属的一些骨骼组成。锥体包被脊索，其前端及后端有关节突，且锥体两两连接紧密。脊柱从脑开始，沿着背部韧带向尾部延伸，具有很好的柔韧性。舒氏猪齿鱼的椎骨共 26 枚，其中腹锥骨 11 枚、尾椎骨 15 枚，从第 3 枚椎骨开始有腹肋，第 3~10 枚椎骨直接连接 8 对腹肋。绿尾唇鱼的椎骨共 23 枚，其中腹锥骨 11 枚，尾椎骨 12 枚，从第 3 枚椎骨开始有腹肋，第 3~9 枚椎骨直接连接 7 对腹肋。

2.3.1 腹锥骨

根据舒氏猪齿鱼的腹锥骨形态差异将其分为两组，分别是第 2~8 枚和第 9~11 枚。第 2~8 枚锥体呈单凹形，2~4 枚锥体长小于锥体高；3~5 枚只有髓弓，6~8 枚有髓弓和脉弓；第二腹锥腹侧无棘，只有一对锥体横突，其余的锥体腹侧的棘成对存在，且均比髓棘短，除第 2 枚外前神经关节突起处呈较宽的锯齿状。第 9~11 枚锥体上出现对称的孔状结构，有脉弓和髓弓。锥体腹侧棘变长变宽，第 12 枚腹侧对称的棘合为一体；髓棘逐渐变长，前神经关节突起处无锯齿状。

绿尾唇鱼的腹锥骨分为第 2~6 枚和第 7~10 枚。第 2~6 枚锥体呈双凹型，均有髓棘和髓弓；第二腹锥腹侧无棘只有一对锥体横突，其余腹侧的棘成对存在，且均比髓棘短；前神经关节突起从宽扁变细长，有 2~3 个锯齿。第 7~10 枚均有髓弓、脉弓和髓棘 7~9 枚腹侧有成对存在的棘，第 10 枚腹侧有宽大的骨片；前神经关节突起细尖，上端有不明显的锯齿状。

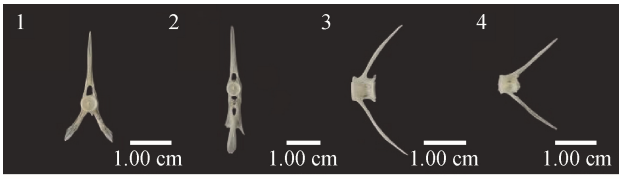
2.3.2 尾椎骨

根据舒氏猪齿鱼的尾椎骨形态差异将其分为两组，分别是第 12~24 枚和第 25 枚。第 12~24 枚均有髓弓、脉弓、前神经关节突起、后神经关节突起、前血管关节突起和后血管关节突起；锥体上均有对称孔状结构，第 24 节锥体呈双凹形；髓棘和脉棘等长，呈弧形。

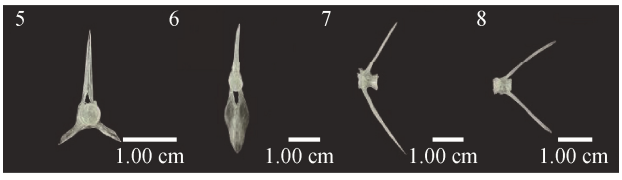
绿尾唇鱼的尾椎骨分为第 11~20 枚和第 21 枚。第 11~20 枚均有髓弓、脉弓、前神经关节突起、后神经关节突起、前血管关节突起和后血管关节突起；髓棘略短于脉棘，均呈弧形。

2.3.3 尾骨(图 8)

大多数鱼类的最后几个脊椎骨变形，用于支撑尾鳍，称为尾骨。舒氏猪齿鱼的第 25 枚脊椎骨为尾椎前骨，锥体呈双凹形，前神经关节突起和后神经关节突起不明显。第 26 枚脊椎骨为尾杆骨，连接尾鳍；绿尾唇鱼的第 21 枚脊椎骨为尾椎前骨，后神经关节突起不明显。第 22 节为尾杆骨，后神经关节突起不明显。舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的尾椎前骨的髓棘和脉棘特化成粗长的棒状骨，尾骨中心均有上下两块三角形状的尾下骨，用于支撑尾鳍。



(a) 舒氏猪齿鱼



(b) 绿尾唇鱼

图 8 脊椎骨

Fig. 8 Vertebrae

1~4: 舒氏猪齿鱼; 5~8: 绿尾唇鱼; 1. 第五锥骨; 2 . 第十一椎骨; 3. 第十七椎骨; 4. 第二十三椎骨; 5. 第六椎骨; 6. 第十椎骨; 7. 第十五椎骨; 8. 第二十二椎骨

2.4 附肢骨骼

舒氏猪齿鱼的背鳍和臀鳍均由鳍棘、鳍条、近端和远端支鳍骨构成。

舒氏猪齿鱼的胸鳍支鳍骨位于第 1~2 枚腹锥骨下方，约腹部向上 1/4 处；腹鳍基位于第 4 枚腹锥骨下方；背鳍起点位于第 4 枚腹椎骨上方，硬鳍条 13 枚，软鳍条 7 枚；臀鳍起点位于第 13 枚椎骨下方，硬棘 3 枚，软条 10 枚；尾鳍为正尾型。

绿尾唇鱼的胸鳍支鳍骨位于第 1~2 枚腹锥骨下方，约腹部向上 1/3 处；腹鳍基位于第 3~4 枚腹锥骨下方；背鳍起点位于第 4 枚腹椎骨上方，硬鳍条 9 枚，软鳍条 10 枚；臀鳍起点位于第 12~13 枚椎骨下方，硬棘 3 枚，软条 9 枚；尾鳍为正尾型。

3 讨论

3.1 脑颅差异

脑颅容纳并包含重要的感觉器官，由多块骨骼组成，中轴线上的骨骼只有一块，其他则左右成对存在。研究表明，鱼类头骨结构的形态分化与其栖息环境的适应性进化存在密切关联[27]，由于头骨形态在进化过程中表现出较高的形态保守性，该结构特征已成为系统分类学与进化生物学研究的重要形态学证据[28-29]。

研究结果表明，舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼在脑颅部分的主要差异为舒氏猪齿鱼脑颅侧面观顶部更饱满，脑颅长高比约为 2∶1；绿尾唇鱼脑颅侧面观顶部略饱满，呈梯形，脑颅长高比约为 3∶1；同为隆头鱼科的侧斑离鳍鱼[30]和波纹唇鱼[31]脑颅侧视观与舒氏猪齿鱼相似，且顶部比舒氏猪齿鱼更为饱满，脑颅长高比约为 1.5∶1。4 种隆头鱼科鱼类头部骨骼都较为紧凑，并且脑颅顶骨部分有略微隆起，但结合 CT 扫描图观察发现在外观上隆头鱼的头部隆起部分并无骨骼支撑，与其脑颅骨骼结构并无直接关系。

从流体动力学角度来说，隆起的脑颅形态可能具有类似船首或潜水器钝形前缘的流体力学功能。在快速游动过程中，该形态通过优化水流分离模式，降低头部区域的湍流强度与压差阻力；而在需要快速转向或穿越复杂水域环境(礁石缝隙、密集植被区)时，隆起的脑颅结构可能通过改变流体动力特性，进一步提升运动操控性。绿尾唇鱼和波纹唇鱼都生活于复杂的珊瑚礁地形，通过灵活的穿梭进行捕食后使用颌骨的臼状齿磨碎食物，其栖息环境要求个体频繁执行急停、转向及加速等动作，这种形态-功能的协同适应能够满足隆头鱼科对捕食者追击或猎物捕捉的动态需求。

从摄食生态维度分析，隆头鱼特化的食性(以甲壳类、软体动物等具硬壳底栖无脊椎动物为主要食物来源)驱动了脑颅形态的适应性演化。隆起的脑颅通过扩大颅腔容积，为更发达的颌部肌肉群及更坚固的骨骼支撑结构提供空间基础，从而增强咬合力输出能力，有效破解猎物的外骨骼防御。舒氏猪齿鱼在捕食过程中会推动或翻滚海底岩块使食物暴露，此时隆起的脑颅结构可能发挥“锤子”功能：通过曲面形态分散撞击应力，保护颅内脆弱神经组织。

3.2 咽颅差异

咽脑主要支持两颌、舌、和鳃，咽颅由颌弓、舌弓和鳃弓构成，除此之外还有众多骨片，如鳃盖骨。咽颅部分的舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的上颌骨和齿骨前端均有大型的犬状齿，隆头鱼科的颌骨演化出犬状齿状结构，上下颌骨形成强大的咬合力，适合磨碎贝类等硬壳猎物。舒氏猪齿鱼的上颌骨和齿骨都仅有 1 颗大 2 颗小的犬状齿，后缘较平滑，没有齿群。绿尾唇鱼上颌骨前端有 1 颗大的犬状齿，后端有两排排列整齐的臼状齿；齿骨前端有 1 颗大的犬状齿，后端有一排排列整齐的臼群。侧斑离鳍鱼的上颌骨与绿尾唇鱼的类似，但后端仅有一排臼群，齿骨的结构与绿尾唇鱼相同。主要差异在舒氏猪齿鱼的犬状齿数量比绿尾唇鱼多，绿尾唇鱼的臼状齿比舒氏猪齿鱼更加发达，推测与其生活习性和捕食行为差异有关。舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼虽同属隆头鱼科，但生活习性和捕食行为存在显著差异。在栖息环境上，舒氏猪齿鱼主要栖息于珊瑚礁及潟湖环境，常见于邻近礁石的沙质海床或海草茂密区域，栖息深度范围较广；绿尾唇鱼主要分布于沿海沙石底质的浅水泻湖和珊瑚礁区，栖息深度较浅；在捕食策略上，舒氏猪齿鱼被称为“海底大力士”，偏向力量型捕食，其会推动或翻滚海底岩块，迫使隐藏的甲壳类、贝类暴露，再用尖锐的犬状齿咬碎猎物硬壳(海胆(*Echinoidea*)、螺类)，捕食对象以硬壳猎物为主。绿尾唇鱼以甲壳类和软体动物为食，其体型较小，可能更依赖敏捷性捕捉猎物，捕捉后主要依靠臼状齿对食物进行研磨，促进消化吸收。

而前鳃盖骨与同为鲈形目的 5 种石斑鱼(Epinephelu)[32](尾纹九棘鲈(*Cephalopholis urodeta*)、鸢鲪(*Trisotropis dermopterus*)、青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)、拟青石斑鱼(*Epinephelus fasciatomaculosus*)、断带石斑鱼(*Epinephelus latifasciatus*))形态结构类似，均近似“L”形，长而弯曲，上下两端尖细，中间较厚；中间骨质较宽，左右两侧骨片变薄。不同之处在于前鳃盖骨后缘骨片锯齿形态。

3.3 脊柱差异

脊柱部分差异主要为椎骨数和椎骨形态，研究发现热带水域隆头鱼类脊椎骨数较少(25 枚)，而温带种类脊椎骨数较多(27~41 枚)，因此将隆头鱼科划分为

2 个地理类群[33-34], 但主要形成原因无详细说明。舒氏猪齿鱼有 26 枚椎骨, 其中: 腹锥骨 11 枚、尾椎骨 15 枚。绿尾唇鱼椎骨共 23 枚, 其中: 腹锥骨 11 枚、尾椎骨 12 枚。同为隆头鱼科的侧斑离鳍鱼和波纹唇鱼均有 23 枚椎骨, 且均由腹锥骨 10 枚, 尾椎骨 13 枚组成, 波纹唇鱼具有 10 对腹肋, 而侧斑离鳍鱼仅有 7 对腹肋。舒氏猪齿鱼椎骨数比绿尾唇鱼多, 推测与其体型有关, 舒氏猪齿鱼最大体长可达 100 cm, 是隆头鱼科中体型较大的物种, 成鱼质量可达 15.5 kg; 绿尾唇鱼最大体长仅 45 cm。

相关研究证实, 生物体骨骼的形态特征与其承受的机械应力存在显著相关性[35]。在自然生长过程中, 动物骨骼系统能够通过动态重塑机制持续优化其形态以适应外界力学刺激[36]。针对鱼类尾部骨骼的形态学研究显示, 其结构演变规律有助于揭示物种在不同生长周期内的功能适应性及栖息地选择特征[37]。舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的尾椎前骨的髓棘和脉棘特化成粗长的棒状骨, 尾骨中心均有上下两块三角形状的尾下骨, 用于支撑尾鳍, 以上结构可为舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼在海水中捕食提供灵活的骨骼结构支撑。

3 种隆头鱼的脊柱的整体形态相似, 椎骨的形态差异较小, 均有髓棘、髓弓和前后神经关节突起。主要差异在于绿尾唇鱼和波纹唇鱼的椎骨均为双凹形, 舒氏猪齿鱼的不同椎骨形态有所差异, 既有单凹型也有双凹型, 除此之外 3 种隆头鱼脊柱出现锥体横突、脉弓和脉棘的椎骨数不同。

3.4 附肢骨骼

舒氏猪齿鱼的背鳍和臀鳍均由鳍棘、鳍条、近端和远端支鳍骨构成。与同为隆头鱼科的侧板离鳍鱼和波纹唇鱼背鳍和臀鳍的组成结构相同。

胸鳍的主要的作用是使身体前进和控制方向。腹鳍的主要作用是协助维持鱼体的平衡和辅助鱼体升降拐弯, 与波纹唇鱼相比, 舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的胸鳍和腹鳍位置更靠后, 因此推测转弯能力比波纹唇鱼较弱[31]。

作为鱼类快速游动的核心推进器官, 尾鳍的骨骼结构特征不仅为物种分类学定位提供重要依据, 同时为追溯其演化路径提供了关键形态学证据[38-39]。舒氏猪齿鱼、绿尾唇鱼、波纹唇鱼和侧斑离鳍鱼的尾鳍均为正尾型, 尾鳍椭圆形面积较大, 舒氏猪齿鱼和波纹唇鱼的尾杆骨略微上翘, 舒氏猪齿鱼、波纹唇鱼和绿尾唇鱼的尾椎前骨不同于其他尾椎骨上的髓棘和脉棘呈微微弧形, 而是变粗变长, 向斜后方延申, 为尾部的骨骼增强机械强度, 可为其在海水中捕食提供爆发性游动的骨骼结构支持。

4 结论

本研究通过骨骼系统比较分析, 发现舒氏猪齿鱼与绿尾唇鱼的骨骼特征与其生态行为存在显著适应性关联, 部分骨骼在形态上有差异。

舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的脑颅形态差异大, 主要表现在额骨、顶骨、副蝶骨以及脑颅的长高比上。从流体动力学和摄食生态维度分析, 隆头鱼隆起的脑颅形态既通过优化水流分离模式降低阻力、提升复杂环境中的运动操控性以满足动态捕食需求, 又通过扩大颅腔容积增强咬合力并辅助捕食行为、保护神经组织, 实现了形态与功能的协同适应。

脊柱部分差异主要为椎骨数和椎骨形态上。椎骨数差异可能与其体型有关, 舒氏猪齿鱼最大体长可达 100 cm, 而绿尾唇鱼最大体长仅 45 cm, 体型相对较小。

咽颅部分, 舒氏猪齿鱼和绿尾唇鱼的颌骨均演化出犬状齿状结构, 主要差异在舒氏猪齿鱼的犬状齿数量比绿尾唇鱼多, 绿尾唇鱼的臼状齿比舒氏猪齿鱼更加发达, 可能与其捕食策略差异有关。舒氏猪齿鱼擅长用尖锐的犬状齿咬碎猎物硬壳, 所以犬状齿发达, 且犬状齿数量比绿尾唇鱼多。绿尾唇鱼更依赖敏捷性捕捉猎物, 捕捉后主要依靠臼状齿磨碎食物, 所以臼状齿更加发达。

参考文献:

[1] 台湾鱼类资料库[DB/OL]. https://fishdb.sinica.edu.tw/taxon/381949-fishdb.

[2] 刘东, 黄新春, 唐文乔. 隆头鱼科分类学研究进展[J]. 海洋渔业, 2019, 41(1): 107-117.
LIU Dong, HUANG Xinchun, TANG Wenqiao. Advances in systematics of the Labridae[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(1): 107-117.

[3] BERG L S. Classification of fishes both recent and fossil[M]. Beijing: Science Press, 1959: 1-265.

[4] 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.
CHEN Yongxia, LIU Jing, LIU Long.Comparative osteology in eight sparid fishes(Osteichthyes: Perciformes) with remarks on their classification[J].Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1360-1374.

[5] 木村清志, 高天翔, 张秀梅. 新鱼类解剖图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
Motomura, GAO Tianxiang, ZHANG Xiumei. An anatomical atlas of new fish species[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.

[6] 刘万祥, 蔡滢, 王长月. 骨骼透明标本制作及应用[J]. 天津医科大学学报, 2002(3): 377-378.
LIU Wanxiang, CAI Ying, WANG Changyue, et al. Preparation and application of transparent skeletal specimens[J]. Journal of Tianjin Medical University, 2002(3): 377-378.

[7] 王继芳, 周凡, 曹荣峰. 整体显示小鼠骨骼标本的制作试验[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 10-13.
WANG Jifang, ZHOU Fan, CAO Rongfeng.Study on facture of transparent specimen in mice[J].Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(13): 10-13.

[8] 曹天玲, 邹小晴, 岳扬钗, 等. 几种鲤科鱼类骨骼标本的制作方法总结[J].河南水产, 2018(2): 25-28.
CAO Tianling, ZOU Xiaoqing, YUE Yangchai, et al. Summary of preparation methods of several cyprinidae skeletal specimens[J]. Henan Fisheries, 2018(2): 25-28.

[9] 刘俏, 骆慧玲, 宋波澜. 沅水 3 种野生鱼类骨骼标本制作[J]. 现代农业科技, 2023(10): 184-186, 193.
LIU Qiao, LUO Huiling, SONG Bolan. Skeletal specimens preparation of three wild fish species in Yuanshui River[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(10): 184-186, 193.

[10] 王程欣, 葛建民, 王新月, 等. 2 种裂腹鱼类骨骼结构比较研究[J]. 四川动物, 2023, 42(4): 430-438.
WANG Chengxin, GE Jianmin, WANG Xinyue, et al. Comparative study on skeletal structures of two species of Schizothoracinae[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2023, 42(4): 430-438.

[11] 杨蕊, 于刚, 胡静, 等. 青干金枪鱼骨骼系统研究[J]. 南方水产科学, 2021, 17(2): 36-43.
YANG Rui, YU Gang, HU Jing, et al. Research on skeleton system of *Thunnus tonggol*[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(2): 36-43.

[12] 刘钊, 赵仲孟, 杨世勇, 等. 西伯利亚鲟幼鱼骨骼系统解剖研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(1): 117-122.
LIU Zhao, ZHAO Zhongmeng, YANG Shiyong, et al. The anatomy of the skeletal system of *Acipenser Baeri Juvenile*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(1): 117-122.

[13] 郑珂, 岳昊, 郑攀龙, 等. 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.
ZHENG Ke, YUE Hao, ZHENG Panlong, et al.Skeletal ontogeny and deformities in commercially cultured marine fish larvae[J].Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 250-261.

[14] 杨太有, 李仲辉. 二长棘鲷和黄鳍鲷骨骼系统的比较[J]. 广东海洋大学学报, 2008(3): 1-5.
YANG Taiyou, LI Zhonghui. A study on Osteology of *Parargyrops edita* Tanaka and *Sparus latus* Houttuyn[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008(3): 1-5.

[15] 李仲辉. 鲐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.
LI Zhonghui. Comparative study on the skeletal system of *Pneumatophorus jponicus* (Hourruyn)and *Scomberomorus niphomius* (C. et V.)[J].Journal of Guangdong Ocean University, 2000(3): 1-7.

[16] 宋小广, 刘海平, 刘艳超, 等. 双须叶须鱼脑颅骨骼形态学的研究[J]. 高原农业, 2019, 3(2): 159-167.
SONG Xiaoguang, LIU Haiping, LIU Yanchao, et al. Morphological of neurocranium nkeleton in *Ptychobarbus dipogon*[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2019, 3(2): 159-167.

[17] 杨太有, 刘芳, 李艳洁, 等. 鲳亚目 4 种鱼类骨骼系统的比较研究[J]. 水产科学, 2014, 33(10): 643-648.
YANG Taiyou, LIU Fang, LI Yanjie, et al. Comparison of skeletal characteristics of four fishs species in stromateoidei[J]. Fisheries Science, 2014, 33(10): 643-648.

[18] 曹晓颖, 赵金良, 陈晓武, 等. 鳜仔稚鱼骨骼系统骨化发育[J]. 中国水产科学, 2019, 26(2): 304-313.
CAO Xiaoying, ZHAO Jinliang, CHEN Xiaowu, et al.Early ossification of the skeletal system in larval and juvenile *Siniperca chuatsi*[J].Journal of Fishery ences of China, 2019, 26(2): 304-313.

[19] 孔晓瑜, 周才武. 中国鳜亚科(Sinipercunae)——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(3): 116-124.
KONG Xiaoyu, ZHOU Caiwu. Comparative study on the skeletal characteristics of seven sinipercinae fishes of China[J]. Journal of Qingdao Ocean University, 1993(3): 116-124.

[20] 李思忠, 王惠民. 中国鲽形目鱼类骨骼的研究III. 脑颅骨[J]. 动物学报, 1989(2): 213-222.
LI Sizhong, WANG Huimin. Osteological studies of Chinese flatfishes III. Neurocrania[J]. Current Zoology, 1989(2): 213-222.

[21] 李思忠, 王惠民. 中国鲽形目鱼类骨骼的研究II. 脊椎骨、肋骨、上肋骨及肌膈骨刺[J]. 动物学报, 1987(3): 267-276.
LI Sizhong, WANG Huimin. Osteological studies of some Chinese flatfishes II. the Vertebrae, Ribs, Epipleurals, and Myoseptal bones[J]. Current Zoology, 1987(3): 267-276.

[22] 李思忠, 王惠民. 中国鲽形目鱼类骨骼的研究I. 肩带骨及腰带骨[J]. 动物学报, 1985(1): 77-83.
LI Sizhong, WANG Huimin. Osteological studies of some Chinese flatfishes I. bones of the pectoral and ventral girdles[J]. Current Zoology, 1985(1): 77-83.

[23] 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.
LI Zhonghui, YANG Yunxia, YANG Taiyou. Observation of skeleton system in *Spotfin Bigeye Priacanthus tayenus Richardson*[J]. Fisheries Science, 2012, 31(12): 741-744.

[24] 杨太有, 李仲辉. 鲃亚科花型鱼类骨骼系统的比较[J]. 动物学杂志, 2006(2): 87-93.
YANG Taiyou, LI Zhonghui.Comparison of skeleton of fishes of the pattern of *Hemibarbus* occurred in China[J]. Chinese Journal of Zoology, 2006(2): 87-93.

[25] 王程欣, 胡令辉, 杨莉婷, 等. 塔里木河水系 2 种裂腹鱼类形态特征和骨骼形态的差异比较[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(10): 2566-2575.
WANG Chengxin, HU Linghui, YANG Liting, et al. Comparative study on morphological and skeletal differences of two Schizothorax species in the Tarim River system[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2024, 61(10): 2566-2575.

[26] 王永明, 杨木牛, 高小平, 等. 2 种副沙鳅属鱼类骨骼解剖学比较研究[J]. 四川动物, 2025, 44(1): 57-68.
WANG Yongming, YANG Muniu, GAO Xiaoping, et al. Comparative study on the osteological characteristics of two parabotia fishes[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2025, 44(1): 57-68.

[27] CAO X Y, ZHAO J L, LI C H, et al. Morphological and skeletal comparison and ecological adaptability of Mandarin fish *Siniperca chuatsi* and big-eye Mandarin fish *Sinipercakneri*[J]. Aquaculture and Fisheries, 2020, (6): 455-464.

[28] LOZANO A P, LASSO-ALCALá O M, BITTENCOURT P S, et al. A new species of Astronotus (Teleostei, Cichlidae) from the Orinoco River and Gulf of Paria basins, northern South America[J]. Zookeys, 2022, 1113: 111-152.

[29] YU T S, PARK K, HAN K H, et al. Morphological and genetic analysis for the diversity conservation of rare species, *Thamnaconus multilineatus* (Tetraodontiformes: Monacanthidae) [J/OL]. PLoS ONE, 19(2): 0292916[2024-04-30]. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292916.

[30] 李仲辉, 关建义. 侧斑离鳍鱼 *Hemipteronotus Verrens*(J.et.E.)骨骼的研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2007(1): 157-159.
LI Zhonghui, GUAN Jianyi. Observations on the Skeleton of *Hemipteronotus Verrens*(J.et.E.)[J].Journal of Henan Normal University, 2007(1): 157-159.

[31] 周胜杰, 杨蕊, 于刚, 等. 波纹唇鱼骨骼系统特征的研究[J]. 海洋科学, 2022, 46(8): 130-136.
ZHOU Shengjie, YANG Rui, YU Gang, et al. Characteristics of the bone system of *Cheilinus undulatus*[J]. Marine Sciences, 2022, 46(8): 130-136.

[32] 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 Xiaodong, CHEN Jingjing, XU Jiasheng, et al. Comparative study on the skeletal system of five species of the family Epinephelidae (Perciformes) in the Northern South China Sea[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(1): 93-102

[33] JORDAN E. Classification of fishes: including families and genera as far as known[M]. Washington: Stanford University Press, 1923.

[34] JORDAN E. Notes on the fishes of Hawaii with descriptions of six new species[M]. Washington: Proceedings of the U.S. National Museum, 1925.

[35] FORWOOD M R.Physical activity and bone development during childhood: insights from animal models[J]. J Appl Physiol, 2008, 105(1): 334-341.

[36] WOLFF J.Das gesetz der transformation der knochen[J]. Deut Med Wochenschr, 1892, 19(47): 1222-1224.

[37] 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.

[38] 邱奉同.鲫鱼骨胳标本制作法[J]. 生物学教学, 1998(9): 29-30.
QIU Fengtong. Method for making skeletal specimens of crucian carp (Carassius auratus)[J]. Biology Teaching, 1998(9): 29-30.

[39] 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.
CHEN Xiaofeng. Comparative studies of the skeleton system of two groupers[D]. Xiamen: Xiamen University, 2007.

Characteristics and comparative study of skeletal system between *Choerodon schoenleinii* and *Cheilinus chlorourus*

LI Manfeng[1, 3], CAI Tianguang[4], ZHANG Yuying[1, 3], YANG Shaosen[2], YANG Yukai[1, 5], HUANG Zhong[1, 5], HUANG Xiaolin[1, 5]

(1. Shenzhen Base of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences National Fishery Resources and Environment Dapeng Observation and Experimental Station, Shenzhen 518121, China; 2. Guangdong Agricultural Technology Extension Center, Guangzhou 510520, China; 3. School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 4. Shenzhen Haijuyuan Aquatic Technology Co., LTD, Shenzhen 518121, China; 5. Sanya Tropical Fisheries Research Institute/Far-reaching Marine Aquaculture and Processing, Hainan Engineering Research Center, Sanya 572000, China)

Received: Mar. 13, 2025
Key words: Labridae; *Choerodon schoenleinii*; *Cheilinus chlorourus*; skeletal system; maxilla; dentary

Abstract: This study compared the skeletal characteristics of *Choerodon schoenleinii* and *Cheilinus chlorourus* to enrich the anatomical data of Labridae fish. Both belong to the order Perciformes and are important members of coral reef ecosystems. The former is a common ornamental fish, displayed due to its bright color, while the sticky flesh of the latter has high nutritional value. The study results showed that most skeletal morphologies were similar between *C. schoenleinii* and *C. chlorourus*, with differences only in certain structures. The length–height ratio of the *C. schoenleinii* neurocranium was ~2∶1, with a plump upper part. In contrast, that of *C. chlorourus* was ~3∶1, with a trapezoidal upper part. *C. schoenleinii* had 26 vertebrae, whereas *C. chlorourus* had 23; this difference may be related to their maximum body lengths: *C. schoenleinii* can reach 100 cm, while *C. chlorourus* measures relatively smaller, at 45 cm. The major splanchnocranial variations occurred in the maxilla and dentary. *C. schoenleinii* had well-developed canine teeth at the front of its maxilla and dentary, with smooth posterior margins and no molariform tooth clusters, presumably associated with its larger size and the use of sharp canines to crush prey. In contrast, *C. chlorourus* had only one canine tooth at the front of its maxilla and dentary, but well-developed molariform teeth at the posterior end, which may relate to its smaller size and reliance on agility to capture the prey before grinding the food with molariform teeth. This study provides a reference for future in-depth research on the classification and evolutionary mechanisms of Labridae fish.

(本文编辑: 谭雪静)