

西沙群岛鹦嘴鱼科耳石形态学物种鉴定的可行性研究

康志鹏 李纯厚 李纯然 王腾 赵金发 石娟 刘永

FEASIBILITY STUDY ON SPECIES IDENTIFICATION OF SCARIDAE FISHES FROM XISHA ISLANDS, CHINA, BASED ON OTOLITH MORPHOLOGY

KANG Zhi-Peng, LI Chun-Hou, LI Chun-Ran, WANG Teng, ZHAO Jin-Fa, SHI Juan, LIU Yong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0195>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高原裸裂尻鱼头部轮廓形状及其变异的几何形态测量分析

GEOMETRIC MORPHOMETRICS OF THE CEPHALIC CONTOUR AND ITS MORPHOLOGICAL VARIATIONS AMONG *SCHIZOPYGOPSIS STOLICZKAI* (TELEOSTEI: CYPRINIDAE)

水生生物学报. 2017, 41(1): 182–193 <https://doi.org/10.7541/2017.23>

松潘裸鲤仔稚鱼耳石生长轮日周期确证及其孵化期推算

CHARACTERISTICS OF HATCHING TIME AND DAILY INCREMENTS CONFIRMATION OF OTOLITH IN *GYMNOCYPRIS POTANINI* LARVAE AND JUVENILE

水生生物学报. 2019, 43(5): 1034–1040 <https://doi.org/10.7541/2019.122>

鲈鲤早期鱼苗的耳石标记研究

OTOLITH MARKING OF *PERCOCYPRIS PINGI* AT EARLY LIFE STAGES

水生生物学报. 2021, 45(4): 889–897 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.259>

基于耳石微化学的乌苏里白鲑生境履历分析

MICROCHEMISTRY ANALYSIS OF OTOLITHS OF *COREGONUS USSURIENSIS* FROM THE HEILONG RIVER BASIN

水生生物学报. 2019, 43(4): 825–831 <https://doi.org/10.7541/2019.097>

我国新记录海链藻属物种的形态学和系统学研究

THE MORPHOLOGICAL AND PHYLOGENETIC STUDIES ON TWO NEWLY RECORDED *THALASSIOSIRA* SPECIES FROM CHINA

水生生物学报. 2018, 42(1): 196–205 <https://doi.org/10.7541/2018.025>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0195

西沙群岛鹦嘴鱼科耳石形态学物种鉴定的可行性研究

康志鹏^{1,2,3} 李纯厚^{1,2} 李纯然^{1,2,3} 王腾^{1,2*} 赵金发^{1,2,3}
石娟^{1,2} 刘永^{1,2*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东珠江口生态系统野外科学观测研究站, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广州 510300; 2. 西沙岛礁渔业生态系统海南省野外科学观测研究站/海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室/三亚热带水产研究院, 三亚 572018; 3. 华中农业大学, 武汉 430070)

摘要: 研究于2018—2021年在西沙群岛海域采集鹦嘴鱼样本, 通过传统形态测量法选取的19个耳石形态指标和椭圆傅里叶分析法选取的77个椭圆傅里叶系数对其进行鉴别分析, 探究耳石形态在鹦嘴鱼科物种鉴别中的可行性。结果表明, 仅使用耳石形态指标鉴别鹦嘴鱼时综合判别率为56.8%, 低于仅使用椭圆傅里叶系数的63.1%和两种参数结合的75.7%; 而结合两种参数对其4个属的综合判别率为88.6%, 其中绚鹦嘴鱼属的判别率达到100%; 15种鹦嘴鱼的耳石形态聚类结果与已有研究的进化树结果基本一致, 特别是属层面的聚类, 呈现高度一致, 证实了耳石形态具有遗传的属性, 也说明了耳石形态学用于鱼类物种鉴定的可行性。研究结果将为西沙群岛鹦嘴鱼的基础研究提供科学资料, 为鹦嘴鱼资源的保护与开发提供理论依据。

关键词: 耳石形态; 传统形态测量法; 椭圆傅里叶分析法; 鹦嘴鱼

中图分类号: S932.4; Q174

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)03-0469-10



耳石是存在于鱼类内耳中的钙质沉积体, 主要矿物成分是碳酸钙, 分为矢耳石(Sagittae)、微耳石(Lapillus)和星耳石(Asteriscus)共3对^[1]。耳石具有相对稳定的形态、大小结构特征, 其形态具有物种的特异性, 且在一个物种内变化差异较小^[2], 因此被广泛应用于物种鉴定和种群识别。

耳石形态主要分析方法有传统形态测量法(Traditional morphometry)、框架测量法(Truss network)等传统几何测量法, 椭圆傅里叶分析法(Elliptic Fourier analysis)、小波变换(Wavelet transform)、地标点法(Landmark method)等耳石轮廓测量法。在应用耳石形态进行物种的鉴别分析时, 选择的方

法不同, 会显著地影响鉴别结果。目前, 使用得最为普遍的两种方法为传统形态测量法和椭圆傅里叶分析法。传统形态测量法已被应用于银鲈科(Gerreidae)^[3]、马鲛属(*Scomberomorus*)^[4]等的鉴别研究中; 傅里叶形态分析法已经成功地对圆鲽属(*Decapterus*)^[5]等进行物种鉴别; 传统形态测量法结合椭圆傅里叶形态分析法, 已经应用在欧白鱼属(*Alburnus*)^[6]、平鲉属(*Sebastes*)^[7]、雪冰鱼属(*Chionodraco*)^[8]等的鉴别中。

鹦嘴鱼科(Scaridae)隶属于鲈形目(Perciformes)隆头鱼亚目(Labroidae), 有10属99种, 主要栖息在珊瑚礁海域^[9]。由于其能够啃食藻类而为珊瑚提供珊

收稿日期: 2023-07-01; 修订日期: 2023-09-08

基金项目: 海南省自然科学基金(322CXTD530、323MS124和322MS153); 农业农村部财政专项(NFZX2021); 广东省基础与应用基础研究重大项目课题(2019B030302004-05); 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(2023TD16); 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(2021SD04和2019TS28)资助 [Supported by the Hainan Provincial Natural Science Foundation (322CXTD530, 323MS124 and 322MS153); Financial Fund of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. of China (NFZX2021); Fundamental and Applied Fundamental Research Major Program of Guangdong Province (2019B030302004-05); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD16); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, South China Sea Fisheries Research Institute, CAFS (2021SD04 and 2019TS28)]

作者简介: 康志鹏(1993—), 男, 博士研究生; 主要研究方向为渔业资源。E-mail: kangzpp@outlook.com

通信作者: 王腾(1986—), 副研究员; 主要从事海洋鱼类生态学。E-mail: wt3074589@163.com 刘永(1982—), 研究员; 主要从事海洋鱼类生态学。E-mail: liuyong@scafi.ac.cn *共同通信作者

瑚礁石上的附着基质,因此被认为是珊瑚礁的保护生物^[10]。鹦嘴鱼颜色各异,种类繁多,且个体从雌性转变为雄性、幼鱼成长为成鱼时鹦嘴鱼的体色也会随之改变^[11],容易鉴别为其他种,此时形态稳定的耳石便可作为分类的辅助材料。目前为止,关于鹦嘴鱼的研究主要集中在基础生物学^[12]、时空分布^[13]和行为特征^[14]等方面,有关鹦嘴鱼耳石形态方面的研究较少,且仅仅停留在文字描述和尺寸参数的研究上^[15,16],在鹦嘴鱼物种间形态差异分析方面尚未进行深入的研究。鉴于此,本研究以西沙群岛4属15种鹦嘴鱼为研究对象,旨在探究基于耳石形态鉴别鹦嘴鱼种类的可行性,结果可为鹦嘴鱼的传统形态分类提供佐证和辅助材料;比较不同耳石形态测量方法对判别结果的影响,尝试找出适合鹦嘴鱼耳石形态分类的研究方法;并探究耳石形态是否具有遗传的特性。本研究以期为今后西沙群岛鹦嘴鱼的基础研究提供科学资料,为鹦嘴鱼资源的保护与开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用鹦嘴鱼样本为2018—2021年采自七连屿(16°55'—17°00'N, 112°12'—112°21'E)、永兴

岛(16°50'N, 112°20'E)、东岛(16°40'N, 112°44'E)、晋卿岛(16°27'51"N, 111°44'17"E)、羚羊礁(16°28'N, 111°35'E)、全富岛(16°32'N, 111°40'E)和银屿(16°35'03"N, 111°42'19"E)等西沙群岛海域。采集到4属15种鹦嘴鱼(表1),共计1469尾。将采集到的鹦嘴鱼样本冷冻保存,随后统一将全部样品运回实验室。在实验室解冻后立刻鉴定种类,然后测量体长(精确到1 mm)、体重(精确到0.01 g;表1),摘取左、右耳石(下文皆简称为耳石),清水洗涤后装入离心管储存。

1.2 样品的处理

耳石均用PS-30A超声波清洗机(洁康,东莞)进行清洗后置于101-3QB电热鼓风干燥箱(明途,长葛)中50℃干燥12h以上至恒重,干燥后的耳石使用JJ124BC精密电子天平(G&G,常熟)进行称重,精确至0.0001 g。取耳石近轴面(主凹槽所在面)作为分析面,耳石的凸面朝上,水平摆放于解剖镜下拍摄整体形态,拍摄时要尽量使耳石摆放的方向一致,减少人为误差(图1)。同时在图像上标注比例尺,便于后续测量。实验过程中采用LEICA S9D体式显微镜(Leika, Germany)、LEICA MC170 HD显微镜摄像头(Leika, Germany)和LAS图像采集系统(Leika, Germany)进行耳石图像采集。本研究使用

表1 鹦嘴鱼样本的体长、体重数据
Tab. 1 Body length and weight of Parrotfish

属 Genus	物种 Species	体长范围 Body length range (mm)	体重范围 Body weight range (g)	样本量 Number of samples
绚鹦嘴鱼属 <i>Calotomus</i>	星眼绚鹦嘴鱼 <i>Calotomus carolinus</i> Valenciennes	158—270 (209±26)	134.17—612.76 (357.80±121.79)	39
绿鹦嘴鱼 <i>Chlorurus</i>	灰鹦嘴鱼 <i>Chlorurus sordidus</i> Forsskål	103—264 (193±26)	45.95—594.49 (273.75±94.51)	323
	小鼻绿鹦嘴鱼 <i>Chlorurus microrhinus</i> Bleeker	173—375 (275±52)	161.99—1980.00 (800.68±451.50)	24
马鹦嘴鱼属 <i>Hipposcarus</i>	长头马鹦嘴鱼 <i>Hipposcarus longiceps</i> Valenciennes	144—391 (237±45)	98.31—1885.00 (468.00±289.47)	184
鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	钝头鹦嘴鱼 <i>Scarus rubroviolaceus</i> Bleeker	175—331 (255±48)	211.09—1380.00 (659.46±362.66)	11
	黑斑鹦嘴鱼 <i>Scarus globiceps</i> Valenciennes	123—205 (166±19)	70.22—329.56 (180.36±53.57)	121
	黑鹦嘴鱼 <i>Scarus niger</i> Forsskål	168—297 (211±23)	150.38—570.03 (340.82±268.05)	53
	弧带鹦嘴鱼 <i>Scarus dimidiatus</i> Bleeker	164—235 (197±20)	153.13—398.43 (266.76±73.69)	29
	黄鞍鹦嘴鱼 <i>Scarus oviceps</i> Valenciennes	117—274 (191±29)	69.80—733.07 (265.69±119.49)	248
	截尾鹦嘴鱼 <i>Scarus rivulatus</i> Valenciennes	123—294 (197±42)	83.40—1111.80 (340.08±268.05)	30
	绿唇鹦嘴鱼 <i>Scarus forsteni</i> Bleeker	160—330 (224±26)	136.39—1591.50 (387.97±144.43)	193
	青点鹦嘴鱼 <i>Scarus ghobban</i> Forsskål	142—280 (195±33)	93.54—807.21 (284.54±172.42)	13
	网纹鹦嘴鱼 <i>Scarus frenatus</i> Lacepède	168—334 (260±41)	250.20—1486.10 (750.46±328.58)	15
	许氏鹦嘴鱼 <i>Scarus schlegeli</i> Bleeker	165—274 (209±22)	140.79—635.03 (306.75±90.54)	109
	棕吻鹦嘴鱼 <i>Scarus Psittacus</i> Forsskål	130—213 (173±24)	76.90—314.35 (177.78±53.73)	77

注: ()内数字代表平均值±标准差

Note: The numbers in () represent mean±SD

的鹦嘴鱼耳石均按照图 1 的标准进行摆放和拍照(图 2)。

采集到耳石图像后使用 Image-Pro Plus 6.0 图像分析软件(Media Cybernetics, USA)对其进行测量, 长度数值精确到 0.01 mm, 面积数值精确到 0.01 mm²。本研究选取了 19 个耳石形态指标如下(表 2), 耳石重量对于生长速度的变化最为敏感, 是一个重要的物种鉴别因素^[17], 因此, 本研究将其加入耳石形态表征性参数。耳石的可量形状参考已有的研究^[18-20]。

椭圆傅里叶描述子(Elliptic Fourier descriptors,

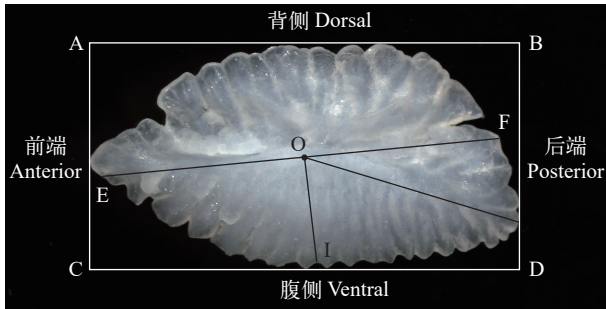


图 1 青点鹦嘴鱼左耳石测量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of *Scarus ghobban's* left otolith measurement

AB为耳石长, OL; AC为耳石宽, OW; EF为Feret直径长; OI为耳石最小半径, R_{MIN} ; OG为耳石最大半径, R_{MAX}

AB. otolith length, OL; AC. otolith width, OW; EF. feret length; OI. radius min, R_{MIN} ; OG. radius max, R_{MAX}

EFDs)能够描述闭合二维轮廓的任何形状^[5]。使用 SHAPE 1.3 软件包^[21]内的 ChainCoder 程序从耳石图像提取耳石的整体轮廓, 将提取到的信息储存为链码, 运行 CHC2NEF 程序通过耳石的整体轮廓链码的离散傅里叶变换将轮廓链码标准化为傅里叶谐波值。研究表明, 随着傅里叶谐波值的增加, 耳石外部轮廓的描述越充分^[22]。

由于前 10—20 组傅里叶谐波值能够描述耳石的主要外形轮廓^[23]。本研究使用前 20 组傅里叶谐波值进行分析, 每一组谐波值由 4 个变量(a_n 、 b_n 、 c_n 和 d_n)组成, 故每个耳石的形态由 80 个椭圆傅里叶系数描述组成, 由于标准化过程中将耳石的前三个系数转变为固定值($a_1=1$, $b_1=c_1=0$), 因此研究中采用 77 个椭圆傅里叶系数(a_{2-20} , b_{2-20} , c_{2-20} , d_{1-20})进行统计分析。

对左、右耳石的重量和 9 个原始形态指标进行 t 检验, 结果显示灰鹦嘴鱼的左、右耳石在这些测量指标上均无显著性差异($P>0.05$; 表 3)。因此, 统一使用左耳石进行本研究中鹦嘴鱼的耳石形态研究。

1.3 数据处理

为了降低体长对分析结果的干扰, 先将体长、耳石形态指标和椭圆傅里叶系数做 $[\lg(x + 1.1)]$ 转换, 以提高数据分析的准确性^[24]。对选取的 19 个耳石形态指标和 77 个椭圆傅里叶系数进行正态性和方差齐性检验, 保留符合条件的变量进行下一步的

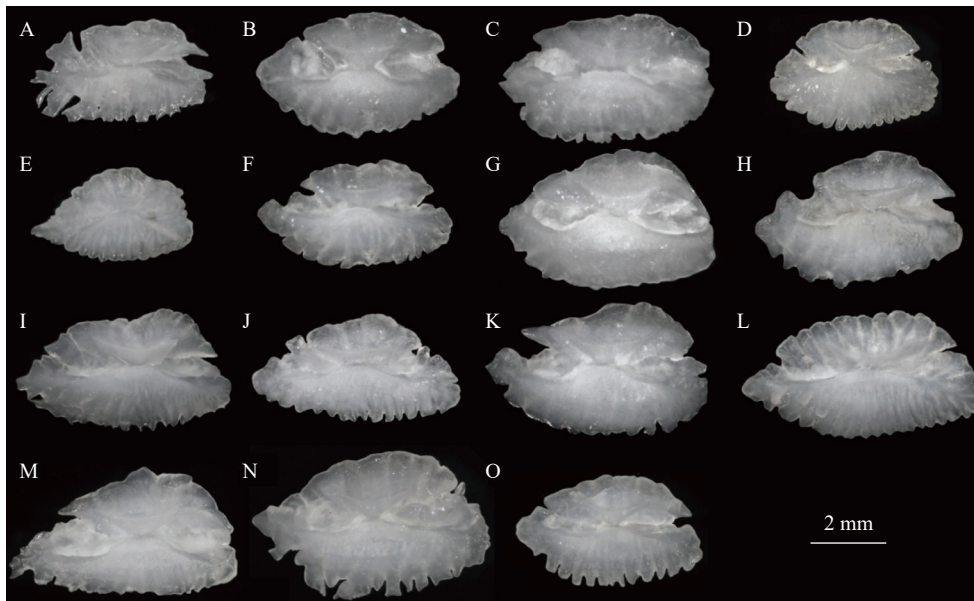


图 2 本研究所用鹦嘴鱼左矢耳石标本

Fig. 2 The left sagittal otolith of parrotfish

A. 星眼绚鹦嘴鱼 *C. carolinus*; 灰鹦嘴鱼 *C. sordidus*; C. 小鼻绿鹦嘴鱼 *C. microrhinos*; D. 长头马鹦嘴鱼 *H. longiceps*; E. 钝头鹦嘴鱼 *S. rubroviolaceus*; F. 黑斑鹦嘴鱼 *S. globiceps*; G. 黑鹦嘴鱼 *S. niger*; H. 弧带鹦嘴鱼 *S. dimidiatus*; I. 黄鞍鹦嘴鱼 *S. oviceps*; J. 截尾鹦嘴鱼 *S. rivulatus*; K. 绿唇鹦嘴鱼 *S. forsteni*; L. 青点鹦嘴鱼 *S. ghobban*; M. 网纹鹦嘴鱼 *S. frenatus*; N. 许氏鹦嘴鱼 *S. schlegeli*; O. 棕吻鹦嘴鱼 *S. psittacus*

分析;若数据不满足条件,则进行Kruskal-Wallis非参数检验,检验各参数在不同物种间的差异性,保留差异性显著($P < 0.05$)的形态变量用于分析。由于鱼类个体生长速率会对鱼类耳石形态产生影响,在做判别分析之前应去除鱼类异速生长(Allometric growth)对判别结果造成的偏差^[25],对用于分析的变量进行异速生长校正^[26]。

$$Y = aX^b \quad (1)$$

$$\lg Y = \lg(a) + b \times \lg(X) + \varepsilon \quad (2)$$

表2 尺寸参数和形状指标

Tab. 2 Size parameters and morphological indices of otolith

尺寸参数 Size parameter	耳石形状指标 Otolith morphological index
耳石长Otolith length (OL)	矩形趋近率(Rectangularity, $R=OA/(OL \times OW)$)
耳石宽Otolith width (OW)	圆度(Roundness, $O)=(4OA)/(\pi OL^2)$
耳石周长Perimeter (OP)	幅形比(Aspect ratio, $A)=OL/OW$
耳石面积Area (OA)	形态因子(Form factor, $F)=(4\pi OA)/OP^2$
费特最小直径Ferret min (F_{max})	环率(Circularity, $C)=OP^2/OA$
费特最大直径Ferret max (F_{min})	椭圆率(Ellipticity, $E)=(OL-OW)/(OL+OW)$
费特平均直径Ferret mean (F_{mean})	费特直径比(Feret ratio, $G)=F_{max}/F_{min}$
耳石最小半径Radius min (R_{min})	半径比(Radius ratio, $D)=R_{max}/R_{min}$
耳石最大半径Radius max (R_{max})	面密度(Area density, $A)=OW'/OA$
耳石重量Otolith weight (OW')	

注:面积度量单位为 mm^2 ,长度单位为 mm ,质量单位为 g

Note: Area unit of measure is mm^2 , length unit is mm , and mass unit is g

表3 灰鸚嘴鱼左右耳石差异性比较

Tab. 3 T-test for the left and right sagittae of *Chlorurus sordidus*

测量指标 Measurement indicator	左耳石 Left sagittal otolith (mean±SD)	右耳石 Right sagittal otolith (mean±SD)	P (T-test)
耳石长OL	5.33±0.45	5.31±0.52	0.893
耳石宽OW	3.33±0.24	3.30±0.25	0.528
耳石周长OP	15.33±1.52	14.98±1.58	0.294
耳石面积OA	11.92±1.65	11.65±1.78	0.480
费特最小直径 F_{max}	3.27±0.25	3.25±0.25	0.667
费特最大直径 F_{min}	5.38±0.44	5.35±0.51	0.764
费特平均直径 F_{mean}	4.35±0.31	4.30±0.35	0.507
耳石最小半径 R_{min}	1.52±0.10	1.48±0.13	0.177
耳石最大半径 R_{max}	2.79±0.23	2.78±0.28	0.871
耳石重量 OW'	0.0169±0.0039	0.0168±0.0039	0.918

注:面积度量单位为 mm^2 ,长度单位为 mm ,质量单位为 g ; $n=42$

Note: Area unit of measure is mm^2 , length unit is mm , and mass unit is g ; $n=42$

$$Y_i^* = Y_i \times \left(\frac{\bar{X}}{X_i} \right)^b \quad (3)$$

式中, \bar{X} 为耳石样品的平均体长。公式(1)表示两个形态变量回归关系的一般形式,公式(2)表示数据经过对数转换后带误差项的线性关系,公式(3)表示将任一个观察值(X_i, Y_i)转换成一个理论值(\bar{X}, Y_i^*)。将所用到的已经对数据转化的变量数据按照公式(2)进行回归分析,求出参数 b ,再按照公式(3)求出每一个变量的转换值。

本研究以42尾灰鸚嘴鱼为例,对其左、右耳石各原始形态学指标及重量进行独立样本 t 检验,检验鸚嘴鱼种内左、右耳石的差异性。显著性水平取 $\alpha=0.05$ 。分别采用3种方式对15种鸚嘴鱼进行判别分析:(1)仅使用19个耳石形态指标;(2)仅使用77个椭圆傅里叶系数;(3)结合19个耳石形态指标和77个椭圆傅里叶系数。对3种方式的交叉检验(Cross-validation)结果进行比较。除此之外,还结合2种参数在鸚嘴鱼的属的层面进行判别分析,并且对15种鸚嘴鱼的耳石形态指标和椭圆傅里叶系数的平均值在物种和属的层面上进行聚类分析。判别分析使用Fisher逐步判别法,聚类分析使用欧氏距离系统聚类法,数据分析使用SPSS 27.0 (IBM, USA)和Excel 2019 (Microsoft, USA)软件完成。综合判别率(%)=(判别正确个体数/总个体数) $\times 100\%$ 。

2 结果

2.1 鸚嘴鱼种层面的耳石形态判别分析

分别采用3种方式对15种鸚嘴鱼进行判别分析,交叉验证结果如表4所示。

仅使用19个耳石形态指标,15种鸚嘴鱼判别率为33.3%—83.3%,综合判别率为56.8%,其中判别率最高的是星眼鸚嘴鱼,为94.9%;判别率最低的是截尾鸚嘴鱼和网纹鸚嘴鱼,均为33.3%。仅使用77个椭圆傅里叶系数,15种鸚嘴鱼判别率为36.4%—83.3%,综合判别率为63.1%,其中判别率最高的是小鼻绿鸚嘴鱼,为83.3%,判别率最低的是钝头鸚嘴鱼,为36.4%。结合19个耳石形态指标和77个椭圆傅里叶系数,15种鸚嘴鱼判别率为43.3%—100%,综合判别率为75.7%,其中判别率最高的是星眼鸚嘴鱼,为100%,判别率最低的是截尾鸚嘴鱼,为43.3%。

综上,椭圆傅里叶系数分析鸚嘴鱼物种的综合判别率高于耳石形态指标;结合耳石形态指标和椭圆傅里叶系数的鸚嘴鱼物种综合判别率高于单独使用其中一种参数。因此,下文中统一使用耳石形态指标结合椭圆傅里叶系数进行鸚嘴鱼的鉴别研究。

结合耳石形态指标和椭圆傅里叶系数对15种

表 4 三种方法的交叉检验结果

Tab. 4 Cross-validation results of three methods

种类 Species	判别率Discriminating rate (%)			样本量 Number of sample
	耳石形态指 标 Otolith morphological indicator	椭圆 傅里叶 系数 eFcs	耳石形态指 标+椭圆傅里 叶系数 Otolith morphological indicator + eFcs	
星眼绚鹦嘴鱼 <i>C. carolinus</i>	94.9	51.3	100	39
灰鹦嘴鱼 <i>C. sordidus</i>	60.1	70.0	76.2	323
小鼻绿鹦嘴鱼 <i>C. microrhinos</i>	79.2	83.3	79.2	24
长头马鹦嘴鱼 <i>H. longiceps</i>	78.3	78.8	87.0	184
钝头鹦嘴鱼 <i>S. rubroviolaceus</i>	63.6	36.4	81.8	11
黑斑鹦嘴鱼 <i>S. globiceps</i>	40.5	51.2	65.3	121
黑鹦嘴鱼 <i>S. niger</i>	60.4	64.2	66	53
弧带鹦嘴鱼 <i>S. dimidiatus</i>	58.6	58.6	65.5	29
黄鞍鹦嘴鱼 <i>S. oviceps</i>	38.7	52.8	75.0	248
截尾鹦嘴鱼 <i>S. rivulatus</i>	33.3	40.0	43.3	30
绿唇鹦嘴鱼 <i>S. forsteni</i>	59.6	64.8	75.6	193
青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	69.2	69.2	92.3	13
网纹鹦嘴鱼 <i>S. frenatus</i>	33.3	46.7	60.0	15
许氏鹦嘴鱼 <i>S. schlegeli</i>	63.3	59.6	72.5	109
棕吻鹦嘴鱼 <i>S. psittacus</i>	41.6	64.9	79.2	77
综合判别 Comprehensive discriminant rate (%)	56.8	63.1	75.7	

鹦嘴鱼耳石形态的判别结果见表 5。星眼绚鹦嘴鱼的判别率最高, 为 100%; 灰鹦嘴鱼的判别率为 76.2%, 剩余的个体误判为小鼻绿鹦嘴鱼和鹦嘴鱼属内的 9 个物种; 小鼻绿鹦嘴鱼的判别率为 79.2%, 12.5% 的个体判为同属的灰鹦嘴鱼, 剩余 8.3% 判为黑鹦嘴鱼; 长头马鹦嘴鱼的判别率为 87.0%, 2.7% 的个体判为绿鹦嘴鱼属内的 2 个物种, 剩余 10.3% 的个体判为鹦嘴鱼属内的 7 个物种; 鹦嘴鱼属内 11 个物种的判别率为 43.3%—92.3%, 青点鹦嘴鱼的判别率最高, 为 92.3%, 只有 7.7% 的个体判为黄鞍鹦嘴鱼; 截尾鹦嘴鱼的判别率最低, 为 43.3%, 剩余个体 20.0% 判为黑斑鹦嘴鱼, 13.3% 判为弧带鹦嘴鱼、6.7% 判为绿唇鹦嘴鱼, 判为长头马鹦嘴鱼、钝头鹦嘴鱼、黄鞍鹦嘴鱼、网纹鹦嘴鱼、许氏鹦嘴鱼各 3.3%; 其余鹦嘴鱼属内的鹦嘴鱼误判成的物种, 大部分为同属内的其他物种或者绿鹦嘴鱼属内的物

种, 极少数为星眼绚鹦嘴鱼和长头马鹦嘴鱼。

2.2 鹦嘴鱼属层面的判别结果

结合 19 个耳石形态指标和 77 个椭圆傅里叶系数, 在鹦嘴鱼属的层面进行判别。结果表明, 鹦嘴鱼 4 个属的判别率为 86.5%—100%, 综合判别率为 88.6%, 其中判别率最高的是绚鹦嘴鱼属, 为 100%, 判别率最低的是绿鹦嘴鱼属, 为 86.5% (表 6); 判别函数一能够解释 52.8% 的种间差异, 可以有效地将马鹦嘴鱼属和鹦嘴鱼其他 3 个属区分开; 判别函数二能够解释 26.2% 的种间差异, 能够有效地将绚鹦嘴鱼属和绿鹦嘴鱼属、马鹦嘴鱼属区分开 (图 3), 对判别函数一作用最大的参数为椭圆傅里叶系数 c_3 , 对判别函数二作用最大的参数为半径比。

2.3 鹦嘴鱼种属层面的耳石形态聚类分析

根据 19 个耳石形态指标和 77 个椭圆傅里叶系数, 分别在物种和属的层面对 15 种鹦嘴鱼进行聚类分析。结果表明, 在物种的层面上, 鹦嘴鱼属内的 9 个物种和灰鹦嘴鱼聚为一支, 再与长头马鹦嘴鱼聚为一支, 鹦嘴鱼属内的 2 个物种和小鼻绿鹦嘴鱼聚为一支, 这两支聚为一支后再与星眼绚鹦嘴鱼聚类到一起 (图 4); 在属的层面上, 绿鹦嘴鱼属和鹦嘴鱼属聚为一支, 再与马鹦嘴鱼聚为一支, 最后与绚鹦嘴鱼属聚类到一起 (图 5)。

3 讨论

3.1 不同方法的物种识别比较

本研究结果表明结合耳石形态指标和椭圆傅里叶系数对鹦嘴鱼的物种鉴别效果最好, 其次是椭圆傅里叶系数, 耳石形态指标最差。耳石的体积较小, 且形态多样, 传统形态测量法在耳石形态信息的获取上存在一定的局限性, 只能在一定的程度上反映鱼类生长的相关信息, 对耳石的形态轮廓不能进行准确的描述^[27]; 而椭圆傅里叶分析方法可以消除因耳石位置、人工测量产生的误差^[28], 对耳石整体形态重建的效果较好, 可以较为清晰地辨别物种之间的形态差异^[5]。所以, 相较于耳石形态指标, 使用椭圆傅里叶系数对鹦嘴鱼物种的整体识别效果更好, 这与魏联等^[29]的研究结果一致。将耳石形态指标和椭圆傅里叶系数结合起来, 可以识别出耳石形态中微小但很重要的差异^[8], 因此, 相比单独使用其中一种参数, 结合两种参数的鉴定效果更好。这与多数研究结果一致, 如鰕虎鱼 (*Ponticola*)^[30]、欧白鱼属^[6]、平鲉属^[7]等的种类鉴别结果均显示是两种参数结合鉴定的效果最好。

3.2 耳石形态判别分析

本研究中鹦嘴鱼物种综合判别率为 75.7%, 属

表 5 15种鹦嘴鱼的耳石形态判别结果
Tab. 5 Results of otolith morphological discrimination of 15 species of parrotfish

种类 Species	预测分类 Forecast classification															判别率 Discriminant rate (%)	综合判别率 Comprehensive discriminant rate (%)
	星眼钩鹦嘴鱼 <i>C. carolinus</i>	灰鹦嘴鱼 <i>C. sordidus</i>	小鼻绿鹦嘴鱼 <i>C. microrhinus</i>	长头马鹦嘴鱼 <i>H. longiceps</i>	钝头鹦嘴鱼 <i>S. rubroviolaceus</i>	黑斑鹦嘴鱼 <i>S. globiceps</i>	黑鹦嘴鱼 <i>S. niger</i>	弧带鹦嘴鱼 <i>S. dimidiatus</i>	黄鞍鹦嘴鱼 <i>S. oviceps</i>	截尾鹦嘴鱼 <i>S. rivulatus</i>	绿唇鹦嘴鱼 <i>S. forsteni</i>	青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	网纹鹦嘴鱼 <i>S. frenatus</i>	许氏鹦嘴鱼 <i>S. schlegeli</i>	棕吻鹦嘴鱼 <i>S. psittacus</i>		
星眼钩鹦嘴鱼 <i>C. carolinus</i>	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	
灰鹦嘴鱼 <i>C. sordidus</i>	0	246	4	2	3	8	17	15	3	5	6	0	0	9	5	76.2	
小鼻绿鹦嘴鱼 <i>C. microrhinus</i>	0	3	19	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	79.2	
长头马鹦嘴鱼 <i>H. longiceps</i>	0	1	4	160	3	3	0	1	1	2	3	6	0	0	0	87.0	
钝头鹦嘴鱼 <i>S. rubroviolaceus</i>	0	1	0	0	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	81.8	
黑斑鹦嘴鱼 <i>S. globiceps</i>	2	4	0	0	2	79	1	0	5	15	5	0	0	1	7	65.3	
黑鹦嘴鱼 <i>S. niger</i>	0	5	0	0	0	1	35	7	1	0	1	0	0	3	0	66.0	
弧带鹦嘴鱼 <i>S. dimidiatus</i>	0	0	0	0	0	1	6	19	1	1	0	0	0	1	0	65.5	75.7
黄鞍鹦嘴鱼 <i>S. oviceps</i>	0	4	0	0	0	12	4	10	186	10	4	6	2	2	8	75.0	
截尾鹦嘴鱼 <i>S. rivulatus</i>	0	0	0	1	1	6	0	4	1	13	2	0	1	1	0	43.3	
绿唇鹦嘴鱼 <i>S. forsteni</i>	3	5	0	1	7	4	8	4	2	6	146	0	5	0	2	75.6	
青点鹦嘴鱼 <i>S. ghobban</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12	0	0	0	92.3	
网纹鹦嘴鱼 <i>S. frenatus</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	9	0	0	60.0	
许氏鹦嘴鱼 <i>S. schlegeli</i>	0	6	1	0	0	2	9	1	0	3	3	1	1	79	3	72.5	
棕吻鹦嘴鱼 <i>S. psittacus</i>	0	3	0	0	0	4	2	1	0	1	1	2	0	2	61	79.2	

注: 表中对角线的值表示正确分类的尾数

Note: The diagonal values in the table represent the number of correct classifications

表 6 鹦嘴鱼4个属的耳石形态判别结果

Tab. 6 Results of otolith morphological discrimination of four parrotfish genera

属Genus	预测分类 Forecast classification				判别率 Discriminant rate (%)	综合判别率 Comprehensive discriminant rate (%)
	绚鹦嘴鱼属 <i>Calotomus</i>	绿鹦嘴鱼属 <i>Chlorurus</i>	马鹦嘴鱼属 <i>Hipposcarus</i>	鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>		
绚鹦嘴鱼属 <i>Calotomus</i>	39	0	0	0	100.0	88.6
绿鹦嘴鱼属 <i>Chlorurus</i>	5	300	3	39	86.5	
马鹦嘴鱼属 <i>Hipposcarus</i>	0	5	169	10	91.8	
鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	7	83	15	794	88.3	

注: 表中对角线的值表示正确分类的尾数

Note: The diagonal values in the table indicate the number of correct classifications

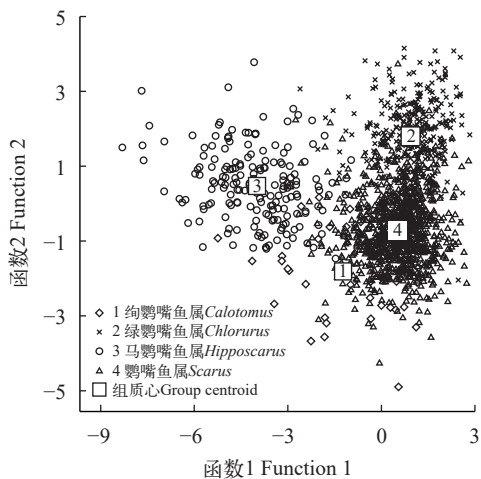


图 3 鹦嘴鱼4个属的耳石形态判别结果散点图

Fig. 3 Scatterplot of otolith morphological discrimination results of four parrotfish genera

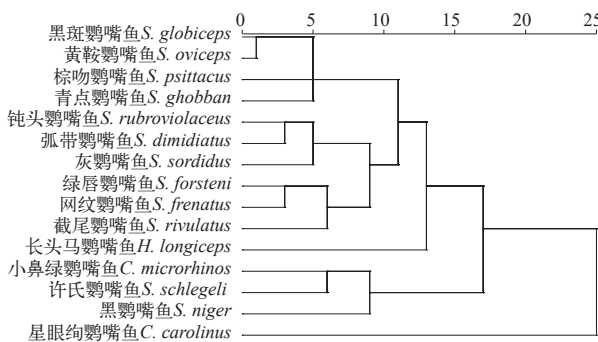


图 4 基于耳石形态的鹦嘴鱼物种聚类分析图

Fig. 4 Cluster analysis of parrotfish species based on otolith morphology

综合判别率为88.6%, 低于Bani等^[30]研究的94.7%、Bostanci等^[6]研究的93.8%, 高于La Mesa等研究^[8]的63%。其中, 绚鹦嘴鱼属(星眼绚鹦嘴鱼)和马鹦嘴鱼属(长头马鹦嘴鱼)的判别率较高, 绿鹦嘴鱼属与鹦嘴鱼属的判别率相对较低。原因可能是(1)耳石在生长过程中并非均匀生长, 同一种鱼类中由于个

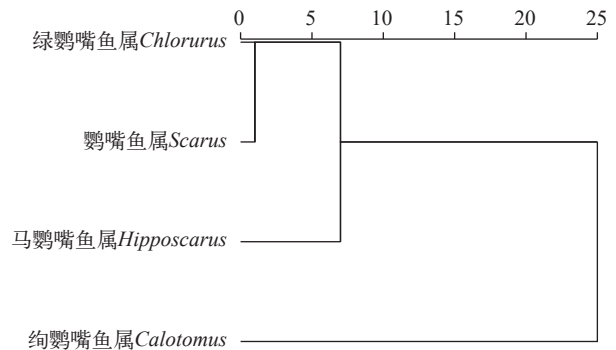


图 5 基于耳石形态的鹦嘴鱼4个属的聚类分析图

Fig. 5 Cluster analysis of four genera of parrotfish based on otolith morphology

体的生长速率不同可能会存在耳石形态的差异^[31]。在相近体长鱼类的耳石形态参数选择及识别过程中, 体长校正能有效降低鱼类个体差异对耳石形态分析结果造成的偏差, 但对于体长差异较大的鱼类, 由于耳石形态特征通常会随发育阶段产生变化, 体长校正这一功能是否有效尚不明确^[24]。本研究虽然对选择的耳石形态参数进行了异速生长校正, 但部分鹦嘴鱼物种样本体长范围分布较广, 可能会对判别结果产生一定的影响, 因此导致某些种类判别率偏低。(2)星眼绚鹦嘴鱼和长头马鹦嘴鱼耳石相较其他种类耳石的形状特殊。星眼绚鹦嘴鱼耳石前端两侧有较大缺刻, 长头马鹦嘴鱼的耳石为椭圆形且前部钝圆, 这些特征使得它们的耳石在形态识别上更有优势。绿鹦嘴鱼属(小鼻绿鹦嘴鱼和灰鹦嘴鱼)耳石均为卵圆形且前部较尖, 这与鹦嘴鱼属中黑鹦嘴鱼、弧带鹦嘴鱼、绿唇鹦嘴鱼、网纹鹦嘴鱼、许氏鹦嘴鱼和棕吻鹦嘴鱼耳石特征相似, 因此物种相互之间容易造成误判; 黑斑鹦嘴鱼、黄鞍鹦嘴鱼、截尾鹦嘴鱼和青点鹦嘴鱼耳石为梭形且前部较尖, 物种相互之间容易造成误判。结合耳石形态指标和椭圆傅里叶系数可以对耳石形态差异

较大的鹦嘴鱼物种进行较好地识别,但是对于具有相似耳石形态的物种,形态识别的效果则会降低。(3)在对鹦嘴鱼种类进行判别的过程中,会舍弃无效或者对判别贡献率小的参数,从而保留有效参数来进行种类的识别^[32]。尽管这种方式保证了参数的有效性,但也会导致某些耳石形态的缺失,可能会潜在地造成判别率较低的结果。

3.3 耳石形态聚类分析

鹦嘴鱼属层面的耳石形态聚类分析结果与已有研究^[33-36]的鹦嘴鱼分子聚类结果一致:在属的层面,鹦嘴鱼属与绿鹦嘴鱼属之间的进化距离最小,亲属关系最近,其次是马鹦嘴鱼属,绚鹦嘴鱼属最远,这说明15种鹦嘴鱼的耳石形态具有遗传的属性;而在物种层面,本研究结果则与分子聚类结果略有差异。研究表明,鱼类耳石形态是内在和外在因素之间复杂交互的结果,其中遗传因素为内在因素,占主导作用^[37],环境^[38]、摄食^[39]等为外在因素,起次要作用,对耳石的表观形态会有一定影响。因此推测,这些外在因素的影响可能是导致鹦嘴鱼种层面的耳石形态聚类结果与分子聚类结果存在差异的原因。

4 结论

鹦嘴鱼种类繁多,鱼体形态和颜色多样^[34],这会对其分类鉴定造成一定的干扰,此时形态稳定性较好的耳石便可作为物种鉴定的辅助手段。当样品保存不当或缺少其他重要分类特征时,耳石就成为其分类鉴定的关键材料。在一些沉积物和鱼食类动物胃含物的调查中,耳石是唯一可以鉴定种类的材料^[40]。同时,相较于分子生物学方法,耳石形态方法具有方便、快捷和成本低廉等优势^[41]。基于耳石形态学已经对欧白鱼属^[6]、鲭属(*Scomber*)^[41]、方头鱼属(*Branchiostegus*)^[42]等进行种类鉴别,且效果良好。本文研究结果表明,结合耳石形态指标和椭圆傅里叶系数是进行鹦嘴鱼种类鉴定可行且有效的手段。

鱼类耳石形态研究的准确度需要利用先进的计算机软件技术实现,耳石是一个三维的立体材料,基于三维立体的研究能够更为全面地提取耳石的形态参数,更加全面地展现耳石多维结构特征,从而更好地地区分鱼类物种或类群,进一步提高鱼类物种鉴定的成功率,这对渔业基础生物学的研究和渔业资源的管理具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Zhang Z G, Wang W M. A review of fish otolith studies [J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2001, **21**(4): 77-83. [张治国, 王卫民. 鱼类耳石研究综述 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, **21**(4): 77-83.]
- [2] Kriwet J, Hecht T. A review of early gadiform evolution and diversification: first record of a rattail fish skull (Gadiformes, Macrouridae) from the Eocene of Antarctica, with otoliths preserved in situ [J]. *Naturwissenschaften*, 2008, **95**(10): 899-907.
- [3] De La Cruz-Agüero J, García-Rodríguez F J, De La Cruz-Agüero G, et al. Identification of gerreid species (Actinopterygii: Perciformes: Gerreidae) from the Pacific coast of Mexico based on sagittal otolith morphology analysis [J]. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2012, **42**(4): 297-306.
- [4] Zischke M T, Litherland L, Tilyard B R, et al. Otolith morphology of four mackerel species (*Scomberomorus* spp.) in Australia: species differentiation and prediction for fisheries monitoring and assessment [J]. *Fisheries Research*, 2016(176): 39-47.
- [5] Ou L G, Liu B L, Fang Z. Identification of sagittal otolith morphology and sulcus morphology based on elliptic Fourier transform [J]. *Marine Fisheries*, 2019, **41**(4): 385-396. [欧利国, 刘必林, 方舟. 基于椭圆傅里叶变换的鱼类矢耳石和听沟形态识别 [J]. 海洋渔业, 2019, **41**(4): 385-396.]
- [6] Bostanci D, Polat N, Kurucu G, et al. Using otolith shape and morphometry to identify four *Alburnus* species (*A. chalcoides*, *A. escherichii*, *A. mossulensis* and *A. tarichi*) in Turkish inland waters [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, **31**(6): 1013-1022.
- [7] Zhang F X, Zhang X M, Qin L Z, et al. Sagittae morphology used in the discrimination of the fish of *Sebastes* and the comparison of sagittal research method [J]. *Haiyang Xuebao*, 2015, **37**(4): 28-39. [张凤侠, 张秀梅, 覃乐政, 等. 基于矢耳石形态的平鲷属(*Sebastes*)鱼类鉴别及研究方法比较 [J]. 海洋学报, 2015, **37**(4): 28-39.]
- [8] La Mesa M, Guicciardi S, Donato F, et al. Comparative analysis of otolith morphology in icefishes (*Channichthyidae*) applying different statistical classification methods [J]. *Fisheries Research*, 2020(230): 105668.
- [9] Wang Z M, Kong X Y, Huang L M, et al. Taxonomic revision of Parrotfishes (Perciformes: Scaridae) in China Seas [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2013, **32**(3): 22-32. [王志明, 孔晓瑜, 黄良民. 中国鹦嘴鱼科(Scaridae)鱼类的分类整理 [J]. 热带海洋学报, 2013, **32**(3): 22-32.]
- [10] Perry C T, Kench P S, O'Leary M J, et al. Linking reef ecology to island building: Parrotfish identified as major producers of island-building sediment in the Maldives [J]. *Geology*, 2015, **43**(6): 503-506.
- [11] Bellwood D R, Choat J H. A description of the juvenile phase colour patterns of 24 parrotfish species (Family Scaridae) from the Great Barrier Reef, Australia [J]. *Records of the Australian Museum*, 1989, **41**(1): 1-41.

- [12] Wang T, Liu Y T, Liu Y, *et al.* Reproductive biological characteristics of *Chlorurus sordidus* from the Yongle Atoll and Meiji Reef [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, **29**(9): 1366-1374. [王腾, 刘云腾, 刘永, 等. 永乐环礁和美济礁灰鹦嘴鱼繁殖生物学特征 [J]. 中国水产科学, 2022, **29**(9): 1366-1374.]
- [13] Sherman K D, Gomez M I, Kemenes T, *et al.* Spatial and temporal variability in parrotfish assemblages on Bahamian coral reefs [J]. *Diversity*, 2022, **14**(8): 625.
- [14] Abecasis D, Afonso P. Conspecific agonistic behaviour in the Mediterranean parrotfish [J]. *Acta Ethologica*, 2021, **24**(3): 149-152.
- [15] Lin C H, Chang C W. Otolith Atlas of Taiwan Fishes [M]. Pingtung: National Museum of Marine Biology & Aquarium, 2012: 12-19.
- [16] Jawad L A, Hoedemakers K, Ibáñez A L, *et al.* Morphology study of the otoliths of the parrotfish, *Chlorurus sordidus* (Forsskål, 1775) and *Hipposcarus harid* (Forsskål, 1775) from the Red Sea Coast of Egypt (Family: Scaridae) [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2018, **98**(4): 819-828.
- [17] Amouei F, Valinassab T, Haitov A. Age determination and morphology of otolith in *Alburnus chalcoides* (Guldenstaedt, 1772) in the southern Caspian Sea [J]. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2014, **12**(2): 205-214.
- [18] Messieh S N. Use of otoliths in identifying herring stocks in the southern Gulf of St. Lawrence and adjacent waters [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1972, **29**(8): 1113-1118.
- [19] Tuset V, Lombarte A, Assis C. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic [J]. *Scientia Marina*, 2008, **72**(S1): 7-198.
- [20] Jiang T, Yang J, Liu H B, *et al.* A comparative study of the morphology of sagittal otolith in *Coilia nasus*, *Coilia mystus* and *Coilia nasus taihuensis* [J]. *Marine Sciences*, 2011, **35**(3): 23-31. [姜涛, 杨健, 刘洪波, 等. 刀鲚、凤鲚和湖鲚矢耳石的形态学比较研究 [J]. 海洋科学, 2011, **35**(3): 23-31.]
- [21] Iwata H, Ukai Y. SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors [J]. *Journal of Heredity*, 2002, **93**(5): 384-385.
- [22] Kuhl F P, Giardina C R. Elliptic Fourier features of a closed contour [J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1982, **18**(3): 236-258.
- [23] Wang Y J, Ye Z J, Liu Q, *et al.* Using otolith to identify two fish species: *Apogonichthys lineatus* and *A. arafurae* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, **41**(2): 282-285. [王英俊, 叶振江, 刘群, 等. 细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)与黑鳃天竺鱼(*Apogonichthys arafurae*)耳石形态识别的初步研究 [J]. 海洋与湖沼, 2010, **41**(2): 282-285.]
- [24] Dou S Z, Yu X, Cao L. Otolith shape analysis and its application in fish stock discrimination: a case study [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, **43**(4): 702-712. [窦硕增, 于鑫, 曹亮. 鱼类矢耳石形态分析及其在群体识别中的应用实例研究 [J]. 海洋与湖沼, 2012, **43**(4): 702-712.]
- [25] Campana S E, Casselman J M. Stock discrimination using otolith shape analysis [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1993, **50**(5): 1062-1083.
- [26] Lleonart J, Salat J, Torres G J. Removing allometric effects of body size in morphological analysis [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2000, **205**(1): 85-93.
- [27] Chen X J, Fang Z, Su H, *et al.* Review and application of geometric morphometrics in aquatic animals [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, **37**(12): 1873-1885. [陈新军, 方舟, 苏杭, 等. 几何形态测量学在水生动物中的应用及其进展 [J]. 水产学报, 2013, **37**(12): 1873-1885.]
- [28] Qian H R, Zhu G P. Comparative analysis on otolith shape of *Champscephalus gunnari* and *Cryodraco antarcticus* based on four morphological techniques [J]. *Marine Fisheries*, 2021, **43**(1): 22-30. [钱胡蕊, 朱国平. 基于4种形态学技术的裘氏鳄头冰鱼与南极小带腭鱼耳石外型比较研究 [J]. 海洋渔业, 2021, **43**(1): 22-30.]
- [29] Wei L, Qian H R, Yang D, *et al.* Using shape analysis to inform variation in otolith morphology with life stages of *Dissostichus mawsoni* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, **33**(4): 1137-1144. [魏联, 钱胡蕊, 杨丹, 等. 基于形态分析探究鳞头犬牙南极鱼各生活史阶段耳石形态变化 [J]. 应用生态学报, 2022, **33**(4): 1137-1144.]
- [30] Bani A, Poursaeid S, Tuset V M. Comparative morphology of the sagittal otolith in three species of south Caspian gobies [J]. *Journal of Fish Biology*, 2013, **82**(4): 1321-1332.
- [31] Zhao B. Otolith morphology analysis and its application in stock discrimination of Sciaenidae fishes [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2017: 18-19. [赵博. 矢耳石形态分析方法及其在石首科鱼类群体判别中应用 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2017: 18-19.]
- [32] DeVries D A, Grimes C B, Prager M H. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel [J]. *Fisheries Research*, 2002, **57**(1): 51-62.
- [33] He H B, Yang J L, Chen Y P, *et al.* Molecular taxonomic relationship of *Scarus* in China based on *CO I* gene [J]. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering*, 2021, **34**(4): 21-29. [何浩斌, 杨杰鑫, 陈玉佩, 等. 基于 *CO I* 基因我国鹦嘴鱼属鱼类分子系统分类关系 [J]. 仲恺农业工程学院学报, 2021, **34**(4): 21-29.]
- [34] Liu B, Yan Y, Zhang N, *et al.* DNA barcoding is a useful tool for the identification of the family Scaridae in Hainan [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, **10**(12): 1915.

- [35] Xiao Y, Li C, Wang T, *et al.* DNA barcoding revealing the parrotfish (Perciformes: Scaridae) diversity of the coral reef ecosystem of the South China Sea [J]. *Sustainability*, 2022, **14**(22): 15386.
- [36] Gao J, Li C, Yu D, *et al.* Comparative mitogenome analyses uncover mitogenome features and phylogenetic implications of the parrotfishes (Perciformes: Scaridae) [J]. *Biology*, 2023, **12**(3): 410.
- [37] D'Iglio C, Albano M, Famulari S, *et al.* Intra- and inter-specific variability among congeneric *Pagellus* otoliths [J]. *Scientific Reports*, 2021(11): 16315.
- [38] Capoccioni F, Costa C, Aguzzi J, *et al.* Ontogenetic and environmental effects on otolith shape variability in three Mediterranean European eel (*Anguilla anguilla*, L.) local stocks [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, **397**(1): 1-7.
- [39] Gagliano M, McCormick M I. Feeding history influences otolith shape in tropical fish [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004(278): 291-296.
- [40] Waessle J A, Lasta C A, Favero M. Otolith morphology and body size relationships for juvenile Sciaenidae in the Río de la Plata Estuary (35—36°S) [J]. *Scientia Marina*, 2003, **67**(2): 233-240.
- [41] He T, Cheng J, Qin J G, *et al.* Comparative analysis of otolith morphology in three species of *Scomber* [J]. *Ichthyological Research*, 2018, **65**(2): 192-201.
- [42] Xuan W D, Xie Y, Zhu K, *et al.* Discriminant analysis of two *Branchiostegus* species in the East China based on otoliths and shape morphology [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, **34**(2): 527-534. [玄文丹, 谢玉, 朱凯, 等. 基于耳石和鱼体形态的东海海域两种方头鱼判别 [J]. 应用生态学报, 2023, **34**(2): 527-534.]

FEASIBILITY STUDY ON SPECIES IDENTIFICATION OF SCARIDAE FISHES FROM XISHA ISLANDS, CHINA, BASED ON OTOLITH MORPHOLOGY

KANG Zhi-Peng^{1,2,3}, LI Chun-Hou^{1,2}, LI Chun-Ran^{1,2,3}, WANG Teng^{1,2}, ZHAO Jin-Fa^{1,2,3},
SHI Juan^{1,2} and LIU Yong^{1,2}

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Observation and Research Station of Pearl River Estuary Ecosystem, Guangdong Province, Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Scientific Observation and Research Station of Xisha Island Reef Fishery Ecosystem of Hainan Province/Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province/Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, China; 3. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this study, parrotfish were obtained in the sea area of Xisha Islands from 2018 to 2021. Their identification was analyzed by 19 otolith morphological indicators selected by traditional morphometry, along with 77 elliptical Fourier coefficients (eFc) selected by elliptical Fourier analysis. This comprehensive approach aimed to investigate the feasibility of otolith morphology in the identification of species in the Scaridae family. The results showed that the comprehensive discriminant rate was 56.8% when using only otolith morphological indicators to identify parrotfish. This rate was lower than the 63.1% achieved by utilizing only eFc and the impressive 75.7% when combining both parameters. However, the combination of these two parameters significantly enhanced the discriminant rate to 88.6% for 4 genera, with *Calotomus* achieving a perfect 100% discrimination rate. The clustering results based on otolith morphology for the 15 Scaridae species largely align with the evolutionary tree results obtained from the study of mitochondrial genes. This agreement, especially at the genus level, showing a high degree of agreement, confirming that otolith morphology has genetic properties and illustrating the feasibility of otolith morphology for fish species identification. The results of this study contribute essential scientific information to the basic research of parrotfish in Xisha Islands and establish a theoretical foundation for the conservation and development of parrotfish resources.

Key words: Otolith morphology; Traditional morphometry; Elliptical Fourier analysis; Parrotfish