

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*

王英俊¹ 叶振江¹ 刘群¹ 窦硕增² 王巍令¹

(1. 中国海洋大学水产学院 青岛 266003; 2. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

摘要 利用 2006 年 4 月和 2008 年 10 月分别采自南海北部湾和渤海长岛海域的 119 尾细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)和 57 尾黑鳃天竺鱼(*Apogonichthys arafurae*)标本, 以耳石长、耳石宽、周长、面积、矩形趋近率、充实度为基本形态学参数, 结合傅立叶变换获得的形态特征变量, 研究了两种天竺鱼耳石形态的差异。结果显示, 两种天竺鱼耳石在整体轮廓、听沟形状、边缘形态等方面较为接近, 细条天竺鱼耳石整体形态较为卵圆, 后部较宽; 黑鳃天竺鱼耳石整体略细长, 后部较窄。利用耳石形态学特征变量对两种天竺鱼的判别分析成功率分别高达 82.5% 和 88.2%, 显示耳石形态学分析是天竺鱼鱼种识别的有力手段。

关键词 细条天竺鱼, 黑鳃天竺鱼, 耳石, 形态
中图分类号 Q179.3

在海洋鱼类摄食生态学及食物网研究中, 由于鱼类耳石具有种的特征, 且坚硬不易被消化, 其形态特征广泛应用于食鱼动物的食性研究(Murie *et al.*, 1985; Pierce *et al.*, 1991)。特别是近年来, 耳石形态学分析在鱼类物种及群系识别领域得到了广泛的应用。Campana(2004)记述了西北大西洋 285 种海洋鱼类的耳石形态学特征; L'Abée-lund(1988)报道了两种大西洋鲑稚鱼的耳石形态识别; Tuset 等(2006)研究了鲷属 3 个近缘种耳石形态的差异; Volpedo 等(2003)研究了阿根廷大陆架海域 26 种鱼类耳石的形态特征; 利用光学图像处理软件和傅立叶分析等统计学手段, 研究者将耳石形态学分析方法应用于鱼类种群识别, 取得了良好效果(Smith, 1992; Groa *et al.*, 2006)。

国内相关研究尚较少。早在 1963 年, 朱元鼎、罗云林、伍汉霖等研究了中国石首鱼类耳石的形态和式型, 并应用于辅助分类(朱元鼎等, 1963); 郑文莲(1981)研究了我国鲹科等部分鱼类耳石形态。近年来, 相关研究逐渐起步, 叶振江等(2007a)分析了中日两

种花鲈(*Lateolabrax sp.*)耳石形态的地理变异, 叶振江等(2007b)记述了以南海、东海为主的海洋鱼类耳石 223 种; 郭弘艺等(2007)对中国 4 种鲷属鱼类的矢耳石形态特征进行了比较分析, 张波等(2008)对黄海重要饵料鱼种的矢耳石形态进行了描述, 以上研究为鱼类耳石在鱼类系统学研究中的应用奠定了一定基础。细条天竺鱼与黑鳃天竺鱼是我国近岸中下层习见小型鱼类, 关于其耳石形态学的系统研究目前国内尚无报道。本文对这两种鱼类耳石形态进行初步研究, 以期对该属鱼类基于耳石形态的种类鉴别提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)119 尾(体长 25—84mm)分别采自广西北部湾北海和渤海长岛海域, 黑鳃天竺鱼(*Apogonichthys arafurae*)57 尾(体长 41—84mm)采自北部湾临高近海。标本组成情况详见表 1。

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助, 2005CB422306 号; 山东省自然科学基金项目“黄渤海鱼类耳石形态学及其在渔业资源学中的应用”, Y2008D21 号; 国家自然科学基金委员会“创新研究群体科学基金”, 40821004 号。王英俊, 博士, E-mail: wangyingjun11@126.com

通讯作者: 叶振江, 副教授, E-mail: yechen@ouc.edu.cn

收稿日期: 2009-06-23, 收修改稿日期: 2009-09-12

表 1 标本组成
Tab.1 Sampling composition

标本	采样地点	标本数	体长范围(mm)	耳石重(mg)	耳石长(mm)	耳石宽(mm)
细条天竺鱼	长岛	61	25—42	2.23—7.63	2.20—3.50	1.58—2.45
细条天竺鱼	北海	58	33—84	4.5—35.6	2.76—6.54	2.02—4.35
黑鳃天竺鱼	临高	57	41—84	5.4—38.6	2.68—7.00	2.42—4.38

1.2 耳石图像的采集与量度

耳石取出后以清水洗涤并用超声波清洗机进一步清洗。利用 Nikon SMZ800 体视显微镜及配套的图像采集系统在放大 12 或者 18 倍下进行耳石图像的采集。使用生物图像处理软件 IPP6.0, 参照耳石形态学方位特征的描述, 进行耳石形态学特征的测量。实验中使用了以下形态学测量参数:

耳石长(Otolith length): 耳石从前端到后端的长度;

耳石宽(Otolith width): 耳石从背部到腹部的长度;

周长(Perimeter): 耳石不规则边缘的实际长度;

面积(Area): 耳石的实际二维面积;

矩形趋近率(Rectangularity): 耳石面积与其最小的外切矩形面积的比值;

充实度(Circularity): 耳石周长的平方与面积的比值。

1.3 傅立叶分析

除上述形态学参数外, 引入傅立叶变换对耳石图像进行处理, 以 5 度为单位, 共获得 72 个傅立叶系数。由于耳石的主要形态轮廓特征基本上是由前 10—20 个系数描述的, 所以只取前 20 个系数(H1—H20) 进行统计分析, 以对耳石外部轮廓特征进行分析(Campana and Casselman, 1993; Friedland and Reddin, 1994)。

1.4 数据处理

使用多因子方差分析、协方差分析、判别分析等手段对数据进行统计分析。左右耳石形态学指标差异不显著($P>0.05$), 所以实验中统一使用左耳石。大部分的变量跟鱼的体长显著相关(耳石长、耳石宽、耳石周长、耳石面积等), 因此在后续的分析中这些相关的变量采用残差代替。对形态测量参数和傅立叶系数均进行了方差齐性检验和正态检验, 不符合正态分布的变量, 不纳入后续的处理(Tuset *et al.*, 2006)。实验中使用了符合上述条件的 13 个傅立叶系数(H5、H7、H8、H9、H10、H12、H13、H14、H15、H16、H17、H18、H19)及充实度等形态量度指标对种间耳石形态差异显著性进行分析。

2 结果

2.1 两种天竺鱼耳石形态

细条天竺鱼与黑鳃天竺鱼的耳石形态如图 1 所示。

细条天竺鱼耳石前部有一不太明显的缺刻, 基叶与翼叶不明显, 耳石背部略成钝角状, 腹部近弧形。前部与后部宽度近似, 前部近尖角状, 后部略钝平。前部、背部与后部边缘多波纹状突起, 腹部相对平滑。内侧面听沟前端宽, 向后至耳石核区附近明显收窄, 后宽度又有所放大, 止于耳石后部边缘前方。听沟不很明显。

黑鳃天竺鱼耳石前部无缺刻, 无基叶与翼叶之分, 前部宽于后部。背部边缘近似直角状, 腹部呈弧形。耳石边缘多波纹状突起, 尤以前部与后部明显。内侧面听沟呈宽大浅沟状, 前端较宽, 向后至耳石核区附近明显收窄, 后宽度又有所放大, 边缘整齐, 从前向后延伸, 止于耳石后部边缘前方。

2.2 单位面积耳石重量

细条天竺鱼标本单位面积耳石重在 0.34—1.65mg 之间, 平均 1.00mg; 黑鳃天竺鱼标本的单位面积耳石重在 0.83—1.52mg 之间, 平均 1.05mg。两种鱼单位面积耳石重量差异显著($F = 13.73, P < 0.05$)。单位面积耳石重量与体长相关, 关系式为

$$\text{细条天竺鱼: } y = 0.029x^2 - 0.225x + 5.3356, R^2 = 0.583, n = 99$$

$$\text{黑鳃天竺鱼: } y = 0.0003x^2 + 0.0364x - 0.1361, R^2 = 0.207, n = 50$$

式中, y 为单位面积耳石重, 单位: mg/mm^2 ; x 为体长, 单位: mm 。

协方差分析表明, 两种天竺鱼之间单位面积耳石重与体长关系差异显著($F = 11.546, P < 0.05$)。

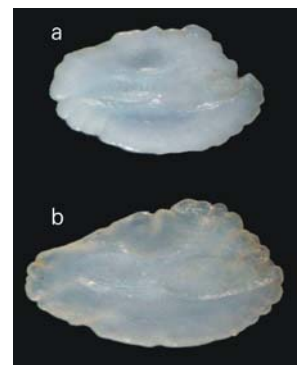


图 1 细条天竺鱼与黑鳃天竺鱼的形态示意图

Fig.1 The otolith morphometry of *A. lineatus* and *A. arafurae*
a. 细条天竺鱼; b. 黑鳃天竺鱼

2.3 耳石重和体长的关系

两种鱼耳石重量和鱼体长密切相关,如下式。

细条天竺鱼: $y = 9 \times 10^{-6} x^2 - 0.0003x + 0.0061$, $R^2 = 0.866$, $n = 99$

黑鳃天竺鱼: $y = 6 \times 10^{-6} x^2 - 0.0003x + 0.0086$, $R^2 = 0.642$, $n = 50$

式中, y 为耳石重, 单位: mg; x 为体长, 单位: mm。

协方差分析表明, 两种天竺鱼之间耳石重与体长关系差异显著 ($F = 13.672$, $P < 0.05$)。

2.4 耳石长与体长的关系

两种鱼耳石长和鱼体长密切相关,如下式。

细条天竺鱼: $y = -0.0031x^2 + 0.3400x - 5.0164$, $R^2 = 0.469$, $n = 99$

黑鳃天竺鱼: $y = 0.0013x^2 - 0.0762x + 4.5462$, $R^2 = 0.755$, $n = 50$

协方差分析表明, 两种天竺鱼之间单位面积耳石长与体长关系差异显著 ($F = 15.566$, $P < 0.05$)。式中, y 为耳石长, 单位: mm; x 为体长, 单位: mm。

2.5 判别分析

本文将所有符合条件的变量采用逐步判别的方式进行判别分析, 大部分的变量都纳入到分析里(表 2), 从判别分析结果(表 3)可明显看出, 判别成功率在 82.5%—88.2%, 仅有极少数个体判别错误。

表 2 判别方程系数

Tab.2 Standardized canonical discriminant function coefficients

变量	方程 1	变量	方程 1
矩形趋近率	0.478	H15	- 0.371
H5	0.509	H10	0.396
H8	0.316	H12	- 0.277
H17	- 0.285	H14	- 0.464

表 3 判别分析结果

Tab.3 Discrimination results

判别前的标本	判别完成的标本		标本总数
	细条天竺鱼	黑鳃天竺鱼	
细条天竺鱼	105	14	119
黑鳃天竺鱼	10	47	57
细条天竺鱼	88.2%	11.8%	100.0%
黑鳃天竺鱼	17.5%	82.5%	100.0%

判别分析结果显示, 细条天竺鱼共 119 尾, 仅有 14 尾错判成黑鳃天竺鱼, 错判率为 11.8%; 黑鳃天竺鱼的 57 尾标本中, 有 10 尾错判成了细条天竺鱼, 错判率为 17.5%, 两种天竺鱼的判别成功率在 82.5%—88.2%。

3 讨论与结语

本文研究结果显示, 两种天竺鱼耳石形态较为

相近, 特别在整体轮廓、听沟形状、边缘形态等方面。同时, 两种鱼耳石形态亦有一些细微的区别: 细条天竺鱼耳石整体形态较为卵圆, 后部较宽; 黑鳃天竺鱼耳石整体略细长, 后部较窄; 两种鱼类耳石边缘的波浪状纹理亦有一些区别, 如黑鳃天竺鱼后部边缘波纹较细条天竺鱼窄等。

耳石形态应用于鱼类辅助分类在我国有较悠久的历史(朱元鼎等, 1963), 特别是在鱼类胃含物分析领域, 耳石是最便捷、几无可替代的分类标志(张波等, 2008)。限于该领域研究基础的薄弱, 上述辅助分类手段主要依据对各种鱼类耳石形态特征的直接观察, 且鱼类耳石形态方面的系统研究非常少见, 近年来才出现较系统的海洋鱼类耳石图谱类记述(Campana, 2004; 叶振江等, 2007b)。由于海洋鱼类种类极为丰富, 耳石形态多样性极为复杂, 以直接观察和记述的手段来进行鱼种识别效率较低, 因而近年来一些学者开始探讨耳石形态的自动识别。本文判别分析结果显示, 用判别分析的方法识别两种天竺鱼判别成功率高达 82.5%—88.2%, 达到很好的识别效果, 与国外三种同属鱼类 77.5%—90.7% 的判别成功率相当(Tuset *et al*, 2006), 说明利用耳石形态对天竺鱼进行自动识别有很好的前景。

参 考 文 献

- 叶振江, 孟晓梦, 高天翔等, 2007a. 中日两种花鲈 (*Lateolabrax sp.*) 耳石形态的地理变异. 海洋与湖沼, 38(4): 356—360
- 叶振江, 朱柏军, 薛莹, 2007b. 中国习见海洋鱼类耳石图谱(第一辑). 青岛: 中国海洋大学出版社, 1—223
- 朱元鼎, 罗云林, 伍汉霖, 1963. 中国石首鱼类分类系统的研究和新属新种的叙述. 上海: 上海科技出版社, 1—140
- 张波, 戴芳群, 金显仕, 2008. 黄海重要饵料鱼种矢耳石的形态特征. 中国水产科学, 15(6): 917—923
- 郑文莲, 1981. 中国鲷科等鱼类耳石形态的比较研究. 鱼类学论文集: 第 2 辑. 北京: 科学出版社, 39—54
- 郭弘艺, 唐文乔, 魏凯等, 2007. 中国鲆属鱼类的矢耳石形态特征. 动物学杂志, 42(1): 39—47
- Campana S E, 2004. Photographic Atlas of Fish Otoliths of the Northwest Atlantic Ocean. Ottawa NRC Research Press, 1—284
- Campana S E, Casselman J M, 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. Can J Fish Aquat Sci, 50(5): 1062—1083
- Groa Petursdottir, Gavin A Begg, Gudrun Marteinsdottir, 2006. Discrimination between Icelandic cod (*Gadus morhua* L.) populations from adjacent spawning areas based on otolith growth and shape. Fish Res, 80: 182—189

- L'Abée-lund J H, 1988. Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta* L.. J Fish Biol, 33(6): 889—903
- Murie D J, Lavigne D M, 1985. Interpretation of otoliths in stomach content analysis of phocid seals: quantifying fish consumption. Can J Zool, 64: 1152—1157
- Pierce G J, Boyle P R A, 1991. Review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals. Ocean Mar Biol, 29: 409—486
- Smith M K, 1992. Difference in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*. Fish Aquat Sci, 49: 795—804
- Tuset V W, Rosin P L, Lombarte A, 2006. Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. Fish Rec, 81: 316—325
- Volpedo A, Echeverria D D, 2003. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentina. Fish Res, 60: 551—560

USING OTOLITH TO IDENTIFY TWO FISH SPECIES: *APOGONICHTHY LINEATUS* AND *A. ARAFURAE*

WANG Ying-Jun¹, YE Zhen-Jiang¹, LIU Qun¹, DOU Shuo-Zeng², WANG Wei-Ling¹

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Differences in otolith shape were studied for two fishes: *Apogonichthys lineatus* and *A. arafuræ*. 119 *A. lineatus* and 57 *A. arafuræ* specimens were collected from Beibu Gulf and Bohai Sea between 2006 and 2008. The otolith length, width, perimeter, area, rectangularity, and circularity were measured and analyzed using Fourier descriptors. The results indicate that the otolith of the two species are similar in overall outline, sulcus acusticus shape, and the edge pattern. The otolith *A. lineatus* is egg-shaped with a wider posterior part, and that of *A. arafuræ* is slender with a narrow posterior part.

Key words *Apogonichthys lineatus*, *Apogonichthys arafuræ*, Otolith, Morphology