

# 中国天竺鲷属鱼类的矢耳石形态特征

叶振江<sup>1</sup>, 张弛<sup>1</sup>, 王英俊<sup>1</sup>, 李震华<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 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, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 利用采自我国近海的 105 尾标本, 分析了细条天竺鲷、宽条天竺鲷、黑鳃天竺鲷、黑边天竺鲷、垂带天竺鲷、四线天竺鲷、半线天竺鲷、斑鳍天竺鲷等 8 种天竺鲷属鱼类的矢耳石形态特征。8 种鱼类矢耳石前部均较尖, 后部略圆钝, 背部呈折线状, 腹部呈圆弧形, 背部中央有缺刻, 听沟宽阔; 8 种鱼耳石长宽比的比值为 1.35~1.63, 矩形趋近率为 0.67~0.77, 充实度为 14.77~24.99。以上述三种形态学参数为基础进行聚类分析, 可将 8 种鱼类分为 3 组: 细条天竺鲷、宽条天竺鲷、黑边天竺鲷、黑鳃天竺鲷为一组; 垂带天竺鲷、四线天竺鲷、半线天竺鲷为一组; 斑鳍天竺鲷为一组。耳石听沟边缘走向、宽度以及耳石外部边缘光滑度等轮廓特征在 8 种天竺鲷属鱼类间呈显著的种间差异。以这些形态特征为基础, 编制了 8 种天竺鲷属鱼类的检索表, 检索表表现的种间分类关系特征与聚类分析结果基本一致。

**关键词:** 天竺鲷属; 矢耳石; 形态; 分类检索

中图分类号: Q959.483

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2010)05-0087-06

## 1 引言

鱼类耳石被广泛用来确定鱼类的年龄和日龄, 研究鱼类的生长<sup>[1-2]</sup>。耳石微化学成分指纹、同位素检测分析等手段应用于鱼类生活史重建、鱼类种群划分等研究领域, 取得了良好的效果<sup>[3-7]</sup>。耳石形状具有高度的物种特异性和显著的群系特异性, 在耳石形态的鱼种识别及鱼类系统学研究方面有重要的研究价值, 近年来已逐渐发展为一个独特的研究领域并有较多研究报道, 涉及耳石的形态记述、近缘种识别、群系划分等<sup>[8-17]</sup>。

国内早在 1963 年朱元鼎等<sup>[18]</sup>研究了中国石首鱼类耳石的形态, 并将它们应用于辅助分类; 郑文莲<sup>[19]</sup>研究了我国鲈科等部分鱼类耳石形态。近年来相关研究逐渐兴起, 叶振江等<sup>[20]</sup>分析了中日两种花鲈(*Lateolabrax* sp.) 耳石形态的地理变异; 叶振江

等<sup>[21]</sup>记述了以南海、东海为主的海洋鱼类耳石 223 种; 张晓霞等<sup>[22]</sup>对青岛海域小眼绿鳍鱼耳石形态发育特点进行了研究; 张波等<sup>[23]</sup>对黄海重要饵料鱼种的矢耳石形态进行了描述; 郭弘艺等<sup>[24]</sup>对我国 4 种鲈属鱼类的矢耳石形态特征进行了比较分析。基于耳石形态研究鱼类系统分类尚未见报道。天竺鲷属是我国沿海习见的小型鱼类, 具有重要的生态价值。本研究拟对该属常见的 8 种鱼类矢耳石形态特征进行比较研究, 为胃含物分析等基于耳石形态的种类鉴别提供基础资料。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

天竺鲷 105 尾分别采自广西北海、海南临高、渤海长岛等地, 标本情况见表 1。标本在实验室内进行鉴定, 测量体长、体重, 鉴别雌雄, 摘取耳石, 以清水洗

收稿日期: 2009-12-14; 修订日期: 2010-03-18。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“九七三”计划)(2005CB422306); 山东省自然科学基金项目(Y2008D21); 国家自然科学基金委员会“创新研究群体科学基金”(40821004)。

作者简介: 叶振江(1967—), 男, 河北省任丘市人, 副教授, 博士, 从事渔业生物学教学和研究。E-mail: yechen@ouc.edu.cn

涤并用超声波清洗机进一步清洗,将耳石在 40 ℃下干燥 30 min 后用电子秤称重(精度为 0.01 mg)。

表 1 标本组成

种类	采样地点	采样时间	标本数量	体长平均值加或减标准差/mm	耳石长平均值加或减标准差/mm	耳石宽平均值加或减标准差/mm
细条天竺鲷	山东长岛	2008 年 10 月	16	37.9±2.7	3.17±0.16	2.25±0.12
宽条天竺鲷	广西北海	2006 年 11 月	8	43.7±2.3	3.48±0.24	2.48±0.28
黑鳃天竺鲷	广西北海	2006 年 11 月	16	52.9±9.0	4.23±0.74	2.82±0.40
四线天竺鲷	广西北海	2006 年 03 月	29	63.8±7.5	4.81±0.43	3.22±0.28
黑边天竺鲷	广西北海	2006 年 11 月	19	64.8±13.4	5.20±1.20	3.39±0.68
垂带天竺鲷	海南三亚	2006 年 12 月	1	101	6.78	4.70
斑鳍天竺鲷	海南东方	2007 年 10 月	15	103.5±4.2	8.43±0.22	5.52±0.21
半线天竺鲷	广东南澳	2006 年 11 月	1	79	5.76	4.12

## 2.2 耳石形态描述

根据矢耳石在内耳中的位置,将耳石靠鱼体头部的部分称为前部,朝鱼体尾部的部分称为后部,朝鱼体背部的部分称为背部,朝鱼体腹部的部分称为腹部(图 1),朝向鱼体外侧的面为外侧面,朝鱼体内侧的面为内侧面<sup>[21]</sup>。耳石内侧面一般从前向后沿耳石中轴向后延伸的槽称为听沟。听沟从前向后分为前部、中部和后部。

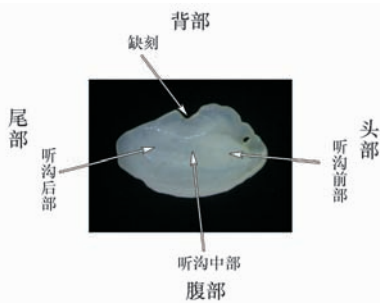


图 1 左耳石内侧面示意图

利用 Nikon SMZ800 体视显微镜及配套的图像采集系统采集耳石图像。使用生物图像处理软件 IPP6.0 对耳石形态学特征进行测量。测量和计算的形态学参数如下:

耳石长度(mm),指从耳石前端到后端的长度;  
耳石宽度(mm),指从耳石背部到腹部的长度;  
周长(mm),指耳石不规则边缘的实际长度;  
面积(mm<sup>2</sup>),指耳石的实际二维面积;

矩形趋近率,指耳石面积与其最小的外切矩形面积的比值;

充实度,指耳石周长的平方与面积的比值;

耳石密度(单位面积的质量,mg/mm<sup>2</sup>),以它作为耳石厚度的一个替代参数。

成对 *t*-检验显示,左右耳石的质量和形态学参数无显著差异( $p > 0.05$ ),本文统一使用左耳石数据。使用 SPSS16.0 软件对数据进行统计处理(表 2)。

表 2 耳石形态学参数

种类	细条天竺鲷	宽条天竺鲷	黑鳃天竺鲷	四线天竺鲷	黑边天竺鲷	垂带天竺鲷	斑鳍天竺鲷	半线天竺鲷
矩形趋近率	0.73±0.02	0.71±0.01	0.70±0.01	0.73±0.01	0.73±0.04	0.74	0.70±0.01	0.75
充实度	15.69±0.91	16.09±0.79	17.41±0.99	15.51±0.46	16.89±0.99	14.77	21.00±1.59	15.95
耳石长度	3.17±0.16	3.48±0.24	4.23±0.74	4.81±0.43	5.20±1.20	6.78	8.43±0.22	5.76
耳石宽度	2.25±0.12	2.48±0.28	2.82±0.40	3.22±0.28	3.39±0.68	4.70	5.52±0.21	4.12
长宽比	1.41±0.03	1.41±0.07	1.50±0.04	1.49±0.05	1.53±0.06	1.44	1.53±0.05	1.40
周长	9.01±0.57	9.96±0.67	12.23±2.36	13.26±1.15	14.66±3.13	18.47	26.39±1.07	16.66
面积	5.19±0.53	6.22±1.16	8.77±3.53	11.43±1.97	13.38±5.91	23.09	33.25±2.05	17.39
耳石密度	1.00±0.04	1.12±0.17	1.11±0.14	1.68±0.12	1.37±0.29	1.91	2.02±0.07	1.59

注:表中数值指平均值加或减标准差。

### 3 结果

#### 3.1 矢耳石形态特征

8种天竺鲷属鱼类矢耳石形态均不很规则,耳石无侧叶,前部较尖,后部略圆钝,背部呈折线状,腹部为圆弧形,背部中央有缺刻,听沟宽阔。

##### 3.1.1 黑边天竺鲷(*Apogon ellioti*)

耳石上前部有2个小而浅的凹刻,后部略呈截锥形。腹部为弧形,无明显突起和缺刻,背部中央有一深缺刻。听沟宽,向后逐渐变窄,尾部略上翘,通至耳石后上部边缘前方。

##### 3.1.2 斑鳍天竺鲷(*A. carinatus*)

耳石两端钝圆,背部边缘呈折线状,腹部为弧形,表面光洁,背部中央有一凹刻。前上部边缘有数个波浪状纹理。听沟浅,形成一淡淡的印痕。

##### 3.1.3 黑鳃天竺鲷(*A. arafurae*)

耳石前部没有明显缺刻或波浪状纹理,前后部钝圆,背部中央有一缺刻,腹部呈弧形,听沟开口处宽阔,后端略上扬。

##### 3.1.4 宽条天竺鲷(*A. siriatus*)

耳石前部较尖,后部钝,背部呈折线状,腹部较圆,前部上下方及后下部边缘皆有波浪状纹理。内侧面听沟前段宽,至中部后收窄,中后部略上弯。

##### 3.1.5 细条天竺鲷(*A. lineatus*)

耳石背部呈折线状,中央缺刻不明显,前部钝圆,前上部有数个波浪状纹理,后部较宽且呈浅弧形,下部边缘为弧形,有一较明显凹刻。听沟开口处宽阔,后端略上扬。

##### 3.1.6 四线天竺鲷(*A. quadri-fasciatus*)

耳石背部中央有一浅凹刻,腹部光滑呈弧形。前上部有2个凹刻,后部略呈尖角状。内侧面听沟前段宽,后段收窄,较平直,位于耳石中心线偏上,通至耳石后部边缘前方,无明显转折。

##### 3.1.7 半线天竺鲷(*A. semilineatus*)

耳石背部呈折线形,中央有一明显凹刻,腹部呈弧线形,两端钝圆。内侧面听沟前段宽,中部后收窄、较平,后部上缘略隆起。

##### 3.1.8 垂带天竺鲷(*A. cathetogramma*)

耳石两端钝圆,前上部有一明显凹陷,背部、腹部边缘不甚光滑。内侧面听沟明显,前段宽,至中部后收窄,后部略上弯。

#### 3.2 聚类分析

聚类分析结果显示,根据耳石形态8种天竺鲷鱼类大致可分为3个群组:细条天竺鲷、宽条天竺鲷、黑边天竺鲷、黑鳃天竺鲷为一组;垂带天竺鲷、四线天竺鲷、半线天竺鲷为一组;斑鳍天竺鲷为一组(图2)。3组耳石的耳石形态变量特征情况详见表3。

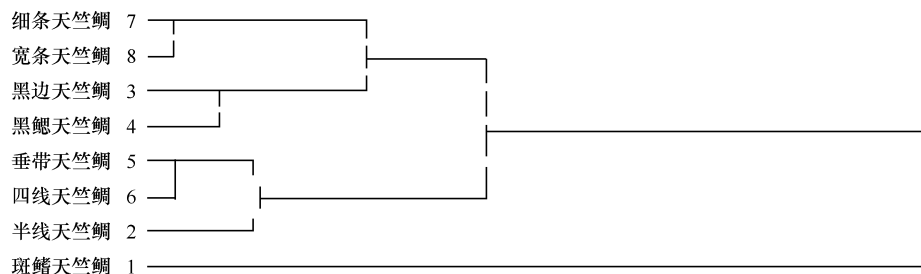


图2 聚类分析结果

表3 聚类变量特征

群组	矩形趋近率	充实度	耳石密度	长宽比
细条、宽条、黑边、黑鳃天竺鲷	0.70~0.73	15.69~17.41	1.00~1.37	1.41~1.53
垂带、四线、半线天竺鲷	0.73~0.75	14.77~15.95	1.59~1.91	1.40~1.49
斑鳍天竺鲷	0.70	21.00	2.02	1.53

#### 3.3 天竺鲷属的系统检索

根据听沟形态,结合耳石外部轮廓特征(见图3),

编制天竺鲷属耳石形态检索表如下:

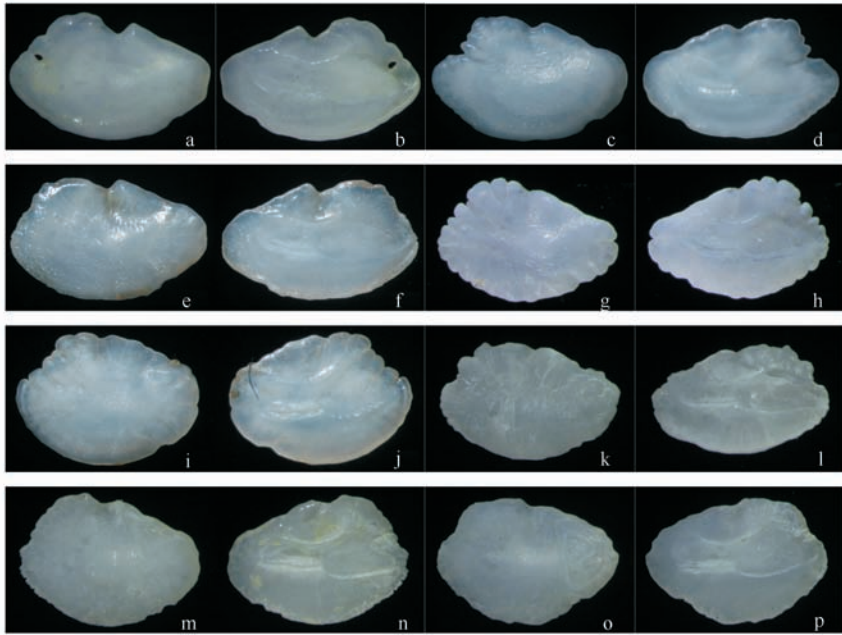


图3 天竺鲷属鱼类矢耳石形态特征

- a. 黑边天竺鲷矢耳石外侧面, b. 黑边天竺鲷矢耳石内侧面; c. 斑鳍天竺鲷矢耳石外侧面, d. 斑鳍天竺鲷矢耳石内侧面;  
 e. 黑鳃天竺鲷矢耳石外侧面, f. 黑鳃天竺鲷矢耳石内侧面; g. 宽条天竺鲷矢耳石外侧面, h. 宽条天竺鲷矢耳石内侧面;  
 i. 细条天竺鲷矢耳石外侧面, j. 细条天竺鲷矢耳石内侧面; k. 四线天竺鲷矢耳石外侧面, l. 四线天竺鲷矢耳石内侧面; m. 半  
 线天竺鲷矢耳石外侧面, n. 半线天竺鲷矢耳石内侧面; o. 垂带天竺鲷矢耳石外侧面, p. 垂带天竺鲷矢耳石内侧面

表4 天竺鲷属耳石形态描述检索表

1(12)听沟前上部上弯,听沟中部下缘位于耳石水平中线略下方	
2(7)耳石边缘有波浪状纹理	
3(4)耳石前部上下缘及后下部边缘皆有波浪状纹理	宽条天竺鲷( <i>A. siriatus</i> )
4(3)耳石仅前上部边缘有波浪状纹理	
5(6)耳石前上部波浪状纹理有3个,背部中央凹刻较显著	斑鳍天竺鲷( <i>A. carinatus</i> )
6(5)耳石前上部波浪状纹理有4个,背部中央凹刻较小	细条天竺鲷( <i>A. lineatus</i> )
7(2)耳石边缘无波浪状纹理	
8(9)背部中央缺刻不明显	垂带天竺鲷( <i>A. cathetogramma</i> )
9(8)背部中央缺刻大而显著	
10(11)前上部边缘有2个小的“V”形缺刻	黑边天竺鲷( <i>A. ellioti</i> )
11(10)前上部边缘仅有1个浅凹	黑鳃天竺鲷( <i>A. arafurae</i> )
12(1)听沟前部上弯,中后部平直	
13(14)听沟中后部呈平置的“U”形,耳石后端略尖	四线天竺鲷( <i>A. quadri-faociatus</i> )
14(13)听沟中后部下缘平直,后部上缘隆起,耳石后端钝圆	半线天竺鲷( <i>A. semilineatus</i> )

## 4 讨论

耳石形态应用于鱼类辅助分类在我国有较悠久

的历史<sup>[18]</sup>,特别在鱼类胃含物分析领域,耳石是最便捷的分类标志<sup>[16-17]</sup>。本文研究结果显示,与我国海洋鱼类耳石形态多样性纷繁复杂相比,8种天竺鲷属耳石形态呈现出非常显著的共性特征:耳石前部较尖,后部略圆钝,背部呈折线状,腹部呈圆弧形,背部中央常有缺刻;几个主要形态学指标中耳石长宽比的比值为1.35~1.63,矩形趋近率为0.67~0.77,充实度为14.77~24.99;耳石内侧面听沟前部宽阔,中后端收窄,两端常上弯。不同鱼种在听沟走向与宽度、耳石边缘光滑度等形态特征方面又体现出显著差异,说明耳石形态在属种层次上鱼类系统分类方面有良好的研究应用前景,这与相关研究结果相一致<sup>[14-16]</sup>。

本文结果显示,听沟系鱼类耳石形态的一个重要特征,以听沟形态为主,配合耳石外部轮廓特征,可以尝试构建基于耳石形态的天竺鲷属鱼类检索体系,听沟有望成为鱼类耳石形态分类体系的重要分类指标。聚类分析结果显示这8种天竺鲷可分为3个群组,其近缘关系特征与依据听沟形态为主构建的系统检索表呈现出较高的一致性,如检索表中黑边天竺鲷与黑鳃天竺鲷极近,垂带天竺鲷、半线天竺

鲷、四线天竺鲷较近,细条天竺鲷和宽条天竺鲷亦较近,这些与聚类分析结果相一致,说明在属的分类单元下,基于耳石听沟形态及轮廓特征的检索表与基于长宽比等普通二维形态参数的分析结果有较高的一致性。

分布于我国海域的天竺鲷属共 53 种<sup>[25]</sup>。鱼类耳石形态特征受遗传、环境的综合影响<sup>[7]</sup>,生活海域、个体大小、生活阶段对耳石形态都有一定程度的影响<sup>[11-12,20-22]</sup>,初步研究亦表明鱼类耳石形态分类

特点与传统的鱼类分类体系并不完全一致<sup>[21]</sup>,这给基于耳石形态的分类体系的构建带来了困难。本研究仅涉及到 8 种天竺鲷,在物种数、采样海域方面存在一定局限性,因而对于天竺鲷属鱼类的耳石形态检索系统尚需以后进一步深入研究、验证和完善。将傅立叶分析等数学手段引入耳石形态分析,研究耳石形态的量度手段与参数,深入研究鱼类耳石形态与系统分类的关系,在更高分类阶元上探索建立耳石形态分类检索体系是以后进一步研究的方向。

## 参考文献:

- [1] ERICKSON C M. Age determination of *Manitoban walleyes* using otoliths, dorsal spines, and scales[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1983, 112: 735—743.
- [2] STEVENSON D K, CAMPANA S E. Otolith Microstructure Examination and Analysis[M]. Canada: NRC Research Press, 1992: 1—126.
- [3] CAMPANA S E. Chemistry and composition of otoliths: pathways, mechanisms and applications[J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 188: 263—279.
- [4] CAMPANA S E, THORROLD S R. Otoliths, increments and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58: 30—38.
- [5] ELSDON T S, GILLANDERS B M. Reconstructing migratory patterns of fish based on environmental influences on otolith chemistry[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2003, 13: 219—235.
- [6] 窦硕增. 鱼类的耳石信息分析及生活史重建——理论、方法与应用[J]. 海洋科学集刊, 2007, 48: 93—113.
- [7] CAMPANA S E. Otolith science entering the 21st century[J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56: 485—495.
- [8] CAMPANA S E. Photographic Atlas of Fish Otoliths of the Northwest Atlantic Ocean[Q]. Canada: NRC Research Press, 2004: 1—258.
- [9] SMALE M J, WATSON G, HECHT T. Otolith Atlas of Southern African Marine Fishes. Grahamstown[Q]. South Africa: J. L. B. Smith Institute of Ichthyology, 1995: 1—232.
- [10] CAMPANA S E. Stock discrimination using otolith shape analysis [J]. Fish Aquat Sci, 1993, 50: 1062—1083.
- [11] BEGG G A B, OVERHOLTZ W J, MUNROE N J. The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks on Georges Bank [J]. Fish Bull, 2001, 99: 1—14.
- [12] BEGG G A. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank base on otolith shape analysis [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2000, 129: 935—945.
- [13] TRACEY S R. Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification[J]. Fisheries Research, 2006, 77: 138—147.
- [14] VOLPEDO A, ECHEVERRIA D D. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentina[J]. Fish Res, 60: 551—560.
- [15] ASSIS C A. The lagenar otoliths of Teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematic [J]. J Fish Biol, 2003, 62: 1268—1295.
- [16] PIERCE G J, BOYLE P R. A review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals[J]. Oceanography and Marine Biology, 1991, 29: 409—486.
- [17] MURIE D J, LAVIGNE D M. Interpretation of otoliths in stomach content analysis of phocid seals: quantifying fish consumption[J]. Can J Zool, 1985, 64: 1152—1157.
- [18] 朱元鼎, 罗云林, 伍汉霖. 中国石首鱼类分类系统的研究和新属新种的叙述[G]//中国鱼类专著集. 上海: 上海科学技术出版社, 1963: 12—19.
- [19] 郑文莲. 中国鲹科等鱼类耳石形态的比较研究[G]//鱼类学论文集: 第 2 辑. 北京: 科学出版社, 1981: 39—54.
- [20] 叶振江, 孟晓梦, 高天翔, 等. 两种花鲈耳石形态的地理差异[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(4): 356—360.
- [21] 叶振江, 朱柏军, 薛莹. 中国习见海洋鱼类耳石图谱: 第 1 辑. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2007. 231.
- [22] 张晓霞, 叶振江, 王英俊, 等. 青岛海域绿鳍鱼耳石形态的初步研究[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 39(4): 622—626.
- [23] 张波, 戴芳群, 金显仕. 黄海重要饵料鱼种矢耳石的形态特征[J]. 2008, 15(6): 917—926.

[24] 郭弘艺,唐文乔,魏凯,等.长江口鲚属鱼类的矢耳石形态特征[J].动物学杂志,2007,42(1):39—47.

[25] 刘瑞玉.中国海洋生物名录[K].北京,科学出版社,2008:974—976.

## Morphologic characteristics of the sagittal otoliths of fishes of the genus *Apogon* in China's seas

YE Zhen-jiang<sup>1</sup>, ZHANG Chi<sup>1</sup>, WANG Ying-jun<sup>1</sup>, LI Zhen-hua<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Based on 105 specimens collected in the coastal waters of China, morphological characteristics of the sagittal otoliths were analyzed for the eight species of the genus *Apogon* (*Apogon lineatus*, *A. siriatus*, *A. ellioti*, *A. arafurae*, *A. cathetogramma*, *A. semilineatus*, *A. quadri-fasciatus* and *A. carinatus*) inhabiting China's seas. Results show that the sagittae of the eight species is similar in shape, all have narrow anterior part, wide posterior part, zigzag dorsal side and arcuate ventral side with a notch in the middle of the dorsal side, and the sulcus is wide. Otoliths have aspect ratio of 1.35 to 1.63, rectangularity of 0.67 to 0.77 and circularity of 14.77 to 24.99 for eight fishes. The cluster analysis is done based on the above-mentioned three kinds of morphological parameters, and results indicate that eight kinds of fishes were divided into three groups: *Apogon lineatus*, *A. siriatus*, *A. ellioti* and *A. arafurae* as a group; *A. cathetogramma*, *A. semilineatus* and *A. quadri-fasciatus* as a group; *A. carinatus* as a group alone. Sagittal shape differs among species, a systemic taxonomy is designed for eight fishes according to the sulcus acusticus shape and otolith form, and results of systemic taxonomy and cluster analysis have shown greater consistency in characteristics of the interspecific relationships. Results indicate that the trend and width of the sulcus acusticus, as well as the smoothness and other characteristics of outer contour are important characteristics of otoliths morphological classification for the genus *Apogon*, otoliths morphology has a good prospect of application in fish systematics.

**Key words:** *Apogon*; otolith; shape; taxonomy