

doi: 10.12131/20180248

## 南海东沙群岛海域圆鲹属鱼类矢耳石的形态特征分析

欧利国<sup>1</sup>, 刘必林<sup>1, 2, 3, 4</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 该研究对采集于中国南海东沙群岛 105 尾圆鲹属鱼类 [长体圆鲹 (*Decapterus macrosoma*)、泰勃圆鲹 (*D. tabl*)、无斑圆鲹 (*D. kurroides*)] 的矢耳石形态进行了观察与测定。圆鲹属鱼类矢耳石呈长椭圆形, 基叶发达, 种间差异明显。长体圆鲹基叶前端略微向下弯曲; 泰勃圆鲹耳石背部脊突发育明显, 呈锯齿状, 基叶前端略宽厚; 无斑圆鲹耳石整体轮廓较光滑, 翼叶发育不明显。根据形态指标 (耳石长、耳石宽、基叶长、基叶宽、耳石质量、耳石面积等) 对不同种圆鲹属鱼类 (长体圆鲹、泰勃圆鲹、无斑圆鲹) 的判别成功率分别为 100%、100%、91.7%。研究结果表明矢耳石可作为鉴别圆鲹属鱼类的一种材料。

**关键词:** 圆鲹属; 矢耳石; 形态; 判别分析; 东沙群岛

中图分类号: Q 958.8; S 917.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2019)03-0033-08

## Sagittae morphology of genus *Decapterus* from Dongsha Islands in South China Sea

OU Ligu<sup>1</sup>, LIU Bilin<sup>1, 2, 3, 4</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-Water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** We observed and determined the sagittae morphology of 105 individuals of genus *Decapterus* (*Decapterus macrosoma*, *D. tabl* and *D. kurroides*) collected from the Dongsha Islands in the South China Sea. The sagittae shape of genus *Decapterus* was long oval with developed rostrum, and the difference between species was distinct. The front end of *D. macrosoma* rostrum was slightly bent downward. The knob of otolith dorsal of *D. tabl* was obviously developed with serrated shape, and the front end of rostrum was slightly broad and thick. The overall outline of *D. kurroides* otolith was smoother, and antirostrum was poorly developed. According to the morphological indices (otolith length, otolith width, rostrum length, rostrum width, otolith mass and otolith area), the classification of different species of genus *Decapterus* (*D. macrosoma*, *D. tabl* and *D. kurroides*) achieved success rates of 100%, 100% and 91.7%, respectively. It is shown that sagittae can identify genus *Decapterus*.

**Key words:** *Decapterus*; sagittae; morphology; discriminant analysis; Dongsha Islands

收稿日期: 2018-11-05; 修回日期: 2019-03-04

资助项目: 国家自然科学基金项目 (41306127); 上海市浦江人才计划项目 (18PJ1404100)

作者简介: 欧利国 (1992—), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源生物学研究。E-mail: 919989412@qq.com

通信作者: 刘必林 (1980—), 男, 教授, 从事渔业资源生物学研究。E-mail: bl-liu@shou.edu.cn

圆鲹属 (*Decapterus*) 鱼类广泛分布于中西太平洋, 是重要的暖水性中上层海洋鱼类<sup>[1-2]</sup>, 为大中型围网渔业的重要捕捞对象, 可加工成鱼干产品等, 营养丰富, 具有重要的经济价值和食用价值; 圆鲹属鱼类是海洋食物网能量流动中的重要环节之一, 具有重要的生态价值。

鱼类耳石由矢耳石 (sagittae)、星耳石 (asteriscus) 和微耳石 (lapillus) 3 对耳石组成, 通常所说的耳石指矢耳石<sup>[3-4]</sup>, 它在鱼类种类与种群判定<sup>[5]</sup>、年龄与生长分析<sup>[6]</sup>等方面的应用最为广泛。国内采用耳石形态对鱼类进行分类始于石首鱼类<sup>[7]</sup>。之后相继在鲹科 (Carangidae)<sup>[8]</sup>、鲤科 (Cyprinid)<sup>[9]</sup>、鲚属 (*Coilia*)<sup>[10]</sup>、天竺鲷属 (*Apogon*)<sup>[11]</sup>、石斑鱼属 (*Epinephelus*)<sup>[12]</sup>等鱼类的种类判定方面得到了具体应用。此外, 通过矢耳石形态对鱼类种群进行判定与分析也被广泛应用。近年来, 叶振江等<sup>[13]</sup>分析了中日 2 种花鲈 (*Lateolabrax* sp.) 耳石形态的地理变异; 王英俊等<sup>[14]</sup>研究了黄海蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 群体的耳石形态, 并认为利用耳石形态是分析鱼类群体鉴别的有效方法; 于鑫等<sup>[15]</sup>研究了凤鲚 (*Coilia mystus*) 群体的矢耳石形态, 发现地理相邻的群体存在一定程度的个体交流和混合或相近的环境史, 从而影响耳石形态对群体的识别; 方华华等<sup>[16]</sup>研究发现黄、渤海斑尾复鰕虎鱼 (*Synechogobius ommaturus*) 4 个地理群的耳石形态存在差异等。基于耳石形态具有种的特异性, 国内外学者利用多元统计分析方法, 研究不同耳石形态差异, 应用于鱼类种类鉴定和种群判别<sup>[8-16]</sup>, 并具有很高的准确性; 此外, 耳石形态指标可作为种类鉴定和种群判别的重要参考依据。通过分析鱼类耳石形态, 不仅可以为传统鱼类外部形态分类提供相关佐证, 而且有利于推动鱼类耳石形态学的发展。

国内对蓝圆鲹 (*D. maruadsi*) 耳石形态已有一些相关报道, 描述了蓝圆鲹耳石形态特征, 其耳石

呈不规则四边形, 翼叶和基叶明显<sup>[17]</sup>, 而关于其他圆鲹属鱼类的耳石形态报道尚少。圆鲹属鱼类有相似的生活史, 生命周期短、世代更新快<sup>[18]</sup>。圆鲹属鱼类不仅在鱼体外形上较为相似、不易区分<sup>[19]</sup>, 且其在许多地方有不同的俗名, 容易产生混淆, 根据传统鱼类外部形态特征来识别圆鲹属鱼类会产生一定偏差。而利用其耳石对圆鲹属鱼类进行种间判别, 不仅佐证了传统鱼体外形分类, 而且有利于保护圆鲹属鱼类的种类多样性, 合理开发其鱼类资源。因此, 本文描述了中国南海东沙群岛海域的 3 种圆鲹属鱼类的矢耳石形态特征, 通过其形态学指标的判别分析对不同种类进行鉴别, 以期圆鲹属鱼类的鉴别提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

3 种圆鲹属鱼类 [长体圆鲹 (*D. macrosoma*)、泰勃圆鲹 (*D. tabl*)、无斑圆鲹 (*D. kurroides*)] 于 2014 年 3 月至 5 月采自中国南海东沙群岛海域, 共 105 尾<sup>[2,20]</sup>(表 1)。样品在实验室解冻后测量叉长 (fork length, FL), 精确到 1 mm, 称量体质量 (body mass, BM), 精确到 1 g, 鉴定性别并提取耳石。提取后的耳石除去包膜和黏液并清洗, 然后放入盛有 95% 乙醇的离心管保存。

### 1.2 矢耳石形态术语

本文研究参考郭弘艺等<sup>[10]</sup>、叶振江等<sup>[13]</sup>、飯塚景記和片山知史<sup>[21]</sup>的研究, 并结合圆鲹属的耳石形态指标使用如下术语, 对 3 种圆鲹属耳石形态进行描述和分析 (图 1)。

耳石前部: 耳石靠近鱼体头部的前面部分称为耳石前部。耳石后部: 耳石靠近鱼体尾部的后面部分。耳石背部: 耳石靠近鱼体背部的背面部分。耳石腹部: 耳石靠近鱼体腹部的腹面部分。

外侧面: 朝向鱼体外侧的面。内侧面: 朝向鱼体内侧的面。翼叶: 为背侧向前延伸的叶状突起。

表1 3种圆鲹属鱼类采样信息

Tab.1 Sampling data of three *Decapterus* species

种类 species	采样海域 location	采样日期 sampling date	样品数量 number of samples	叉长范围/mm fork length range	体质量范围/g body mass range
长体圆鲹 <i>D. macrosoma</i>	115°30'E, 21°03'N	2014年3月	56	164~246	51~159
泰勃圆鲹 <i>D. tabl</i>	115°30'E, 21°03'N	2014年4月	25	290~340	318~484
无斑圆鲹 <i>D. kurroides</i>	115°30'E, 21°03'N	2014年5月	24	272~364	281~769

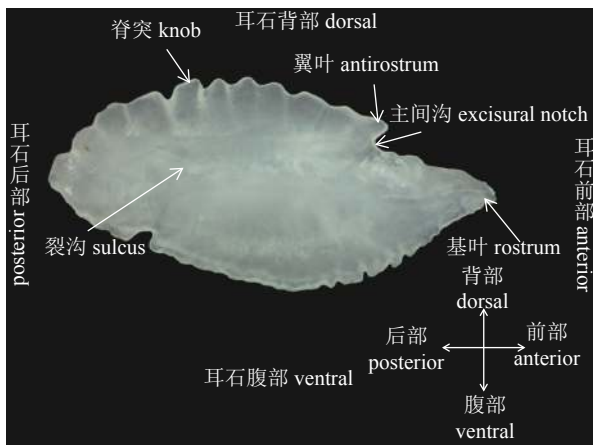


图1 圆鲹属矢耳石形态术语 (长体圆鲹左耳石内侧面)

Fig.1 Sagittae with technical terms of genus *Decapterus* (internal face of left otolith of *D. macrostoma*)

基叶: 位于腹侧前端的叶状突起。主间沟: 位于基叶与翼叶之间的凹槽。裂沟: 从主间沟开始, 沿耳石中轴延伸的凹槽; 在耳石前部的裂沟, 为裂沟前部; 在耳石后部的裂沟为裂沟后部; 其余在耳石中部为裂沟中部。脊突: 背侧表面的脊状突起。

### 1.3 矢耳石形态特征测量

取出保存于离心管中的耳石, 待乙醇挥发后用电子天平称取耳石质量 (otolith mass, *OM*), 精确到 0.01 mg。使用体视显微镜 OLYMPUS SZ61 对耳石整体形态进行拍摄, 图像采集后使用生物图像处理软件 Image-Pro Plus 6.0 测量耳石形态学指标, 精确到 0.01 mm (图 2)。

耳石长 (otolith length, *OL*): 耳石从前端到后端的长度。耳石宽 (otolith width, *OW*): 耳石从背部到腹部的长度。基叶长 (rostrum length, *RL*): 主间沟到耳石前部基叶方向的最前部分。基叶宽 (rostrum width, *RW*): 主间沟到耳石腹部方向基叶的最腹部分。耳石面积 (otolith area, *OA*): 耳石的实际二维面积。

### 1.4 数据处理

3 种圆鲹属鱼类耳石共 105 对, 进行成对 *t* 检验显示, 左右耳石的质量和形态学指标无显著差异 ( $P>0.05$ ), 统一使用左耳石作为研究材料。使用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 检验 3 种圆鲹属种类之间矢耳石的度量特征和称量特征差异, 并采用 LSD 法对 3 种圆鲹属进行多重比较, 分析各指标差异, 在单因素方差分析之前对度量特征和称量特征的指标进行正态分布检测和 Tamhane's T2 检验。对圆鲹属鱼类矢耳石的度量特征和称量

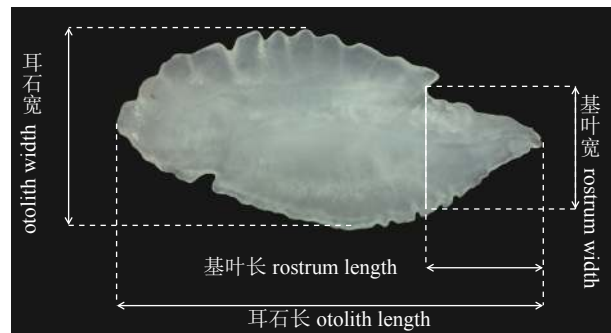


图2 圆鲹属矢耳石测量 (长体圆鲹左耳石内侧面)

Fig.2 Measurements of the genus *Decapterus* sagittal otolith (internal face of left otolith of *D. macrostoma*)

特征的数据进行标准化 (normalization), 并采用 Min-Max 标准化 (Min-Max normalization) 处理, 标准化指标值 = (原始指标值 - 原始指标值最小值) / (原始指标值最大值 - 原始指标值最小值)。通过幂函数和线性回归分析 (linear regression analysis, LRA) 分别对耳石长与耳石质量、耳石长与叉长的关系进行拟合, 并采用协方差分析 (analysis of covariance, ANCOVA) 对 3 种圆鲹属的相关拟合方程进行差异性检验。采用判别分析法 (discriminant analysis, DA) 即使用步进式方法进行判别分析 (没有差异的指标不适合进入方程会被剔除) 及 Wilks 的 Lambda 检验。数据的分析处理使用 SPSS 20.0 和 Excel 2007 软件完成。

## 2 结果

### 2.1 矢耳石形态的特征

圆鲹属鱼类矢耳石整体形态呈长椭圆形, 耳石背部均有脊突, 基叶发达, 种间差异明显, 裂沟从耳石前部的主间沟一直延伸至耳石后部, 位于耳石后部的裂沟向下弯曲 (表 2、图 3)。3 种圆鲹属鱼类为同属鱼类, 其耳石属间形态特征区分明显。长体圆鲹在耳石后部下方有较大缺口, 而泰勃圆鲹和无斑圆鲹则不是很明显, 无斑圆鲹耳石整体轮廓则较为光滑; 泰勃圆鲹耳石背部脊突比其他 2 种圆鲹属鱼类耳石发育更为明显呈锯齿状, 无斑圆鲹与其他 2 种圆鲹属相比脊突和翼叶发育不明显; 3 种圆鲹属鱼类耳石基叶发达, 长体圆鲹耳石基叶前端略微向下弯曲, 泰勃圆鲹的基叶前端略宽厚, 无斑圆鲹的基叶发育显著且偏长。

### 2.2 矢耳石的度量特征和称量特征

单因素方差分析显示, 3 种圆鲹属鱼类 105 个

表2 圆鲹属耳石形态特征

Tab.2 Morphological character of <i>Decapterus sagittae</i>						
种类 species	整体形态 general morphology	主间沟 excisural notch	脊突 knob	翼叶 antirostrum	基叶 rostrum	裂沟形态 sulcus shape
长体圆鲹 <i>D. macrosoma</i>	长椭圆形	明显	明显	发达	发达	中部平直, 后部向下弯曲
泰勃圆鲹 <i>D. tabl</i>	长椭圆形	明显	明显	较发达	发达	中部较窄, 后部膨大向下弯曲
无斑圆鲹 <i>D. kurroides</i>	长椭圆形	不明显	不明显	不明显	发达	中部较细长, 后部向下弯曲明显

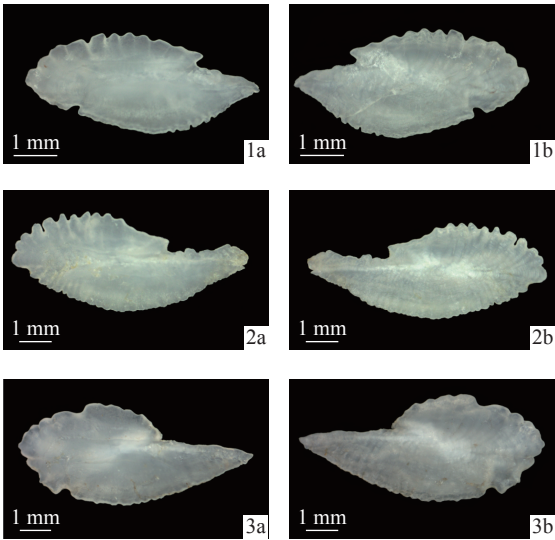


图3 圆鲹属矢耳石形态

1a. 长体圆鲹 (内侧面); 1b. 长体圆鲹 (外侧面); 2a. 泰勃圆鲹 (内侧面); 2b. 泰勃圆鲹 (外侧面); 3a. 无斑圆鲹 (内侧面); 3b. 无斑圆鲹 (外侧面)

Fig.3 Morphology of *Decapterus sagittae*

1a. *D. macrosoma* (internal face); 1b. *D. macrosoma* (external face); 2a. *D. tabl* (internal face); 2b. *D. tabl* (external face); 3a. *D. kurroides* (internal face); 3b. *D. kurroides* (external face)

左矢耳石的 6 个特征指标差异显著 ( $P<0.05$ )。对圆鲹属鱼类矢耳石的度量特征和称量特征 (表 3) 进行数据标准化处理后 (表 4), 耳石长以无斑圆鲹为最大, 泰勃圆鲹次之, 长体圆鲹最小。

2.3 耳石长与耳石质量的关系

协方差分析表明, 3 种圆鲹属之间的耳石长与耳石质量的关系差异显著 ( $P<0.05$ ), 拟合幂函数方程为:

长体圆鲹  $OM=0.108OL^{2.368}$  ( $R^2=0.750$ ,  $n=56$ , 图 4-1a)

泰勃圆鲹  $OM=0.871OL^{1.188}$  ( $R^2=0.776$ ,  $n=25$ , 图 4-2a)

无斑圆鲹  $OM=0.021OL^{3.221}$  ( $R^2=0.662$ ,  $n=24$ , 图 4-3a)

2.4 耳石长与叉长的关系

协方差分析表明, 3 种圆鲹属之间的耳石长与叉长的关系差异显著 ( $P<0.05$ ), 拟合线性方程为:

长体圆鲹  $FL=30.065OL+54.293$  ( $R^2=0.433$ ,  $n=56$ , 图 4-1b)

泰勃圆鲹  $FL=19.621OL+173.412$  ( $R^2=0.331$ ,  $n=25$ , 图 4-2b)

无斑圆鲹  $FL=33.816OL+46.110$  ( $R^2=0.521$ ,  $n=24$ , 图 4-3b)

2.5 圆鲹属鱼类的判别分析

判别分析显示, 6 个耳石指标仅耳石面积、耳石质量、基叶长被用于最终的判别分析, 其中基叶长贡献率最大 (表 5)。判别分析结果显示, 3 种圆鲹的判别成功率分别为 100%、100%、91.7% (表 6), 判别函数可以将三者明显区分, 判别函数

表3 矢耳石的度量特征和称量特征

Tab.3 Measurement characteristics and weigh characteristics of sagittae						$\bar{X} \pm SD$
种类 species	耳石长/mm <i>OL</i>	耳石宽/mm <i>OW</i>	基叶长/mm <i>RL</i>	基叶宽/mm <i>RW</i>	耳石质量/mg <i>OM</i>	耳石面积/mm <sup>2</sup> <i>OA</i>
长体圆鲹 <i>D. macrosoma</i>	5.33±0.44 <sup>c</sup>	2.35±0.19 <sup>c</sup>	1.51±0.21 <sup>c</sup>	1.38±0.13 <sup>c</sup>	5.76±1.20 <sup>c</sup>	8.07±1.09 <sup>c</sup>
泰勃圆鲹 <i>D. tabl</i>	7.34±0.41 <sup>b</sup>	3.04±0.13 <sup>b</sup>	2.68±0.28 <sup>b</sup>	1.77±0.10 <sup>b</sup>	9.31±0.70 <sup>b</sup>	13.57±1.06 <sup>b</sup>
无斑圆鲹 <i>D. kurroides</i>	8.37±0.51 <sup>a</sup>	3.65±0.30 <sup>a</sup>	3.08±0.26 <sup>a</sup>	2.07±0.21 <sup>a</sup>	20.15±4.67 <sup>a</sup>	18.83±2.50 <sup>a</sup>

注: 不同上标小写字母表示种间差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同上标小写字母表示种间差异不显著 ( $P>0.05$ )

Note: Different superscript lowercase letters indicate significant difference between species ( $P<0.05$ ), while the same superscript lowercase letters indicate insignificant difference between species ( $P>0.05$ ).

表4 矢耳石数据标准化的度量特征和称量特征

Tab.4 Measurement characteristics and weigh characteristics of data normalization of sagittae						$\bar{X} \pm SD$
种类 species	耳石长 OL	耳石宽 OW	基叶长 RL	基叶宽 RW	耳石质量 OM	耳石面积 OA
长体圆鲹 <i>D. macrosoma</i>	0.49±0.26	0.53±0.19	0.51±0.23	0.58±0.23	0.55±0.27	0.52±0.25
泰勃圆鲹 <i>D. tabl</i>	0.51±0.26	0.54±0.23	0.65±0.25	0.42±0.28	0.53±0.27	0.43±0.26
无斑圆鲹 <i>D. kurroides</i>	0.54±0.28	0.45±0.23	0.46±0.27	0.41±0.23	0.54±0.26	0.51±0.24

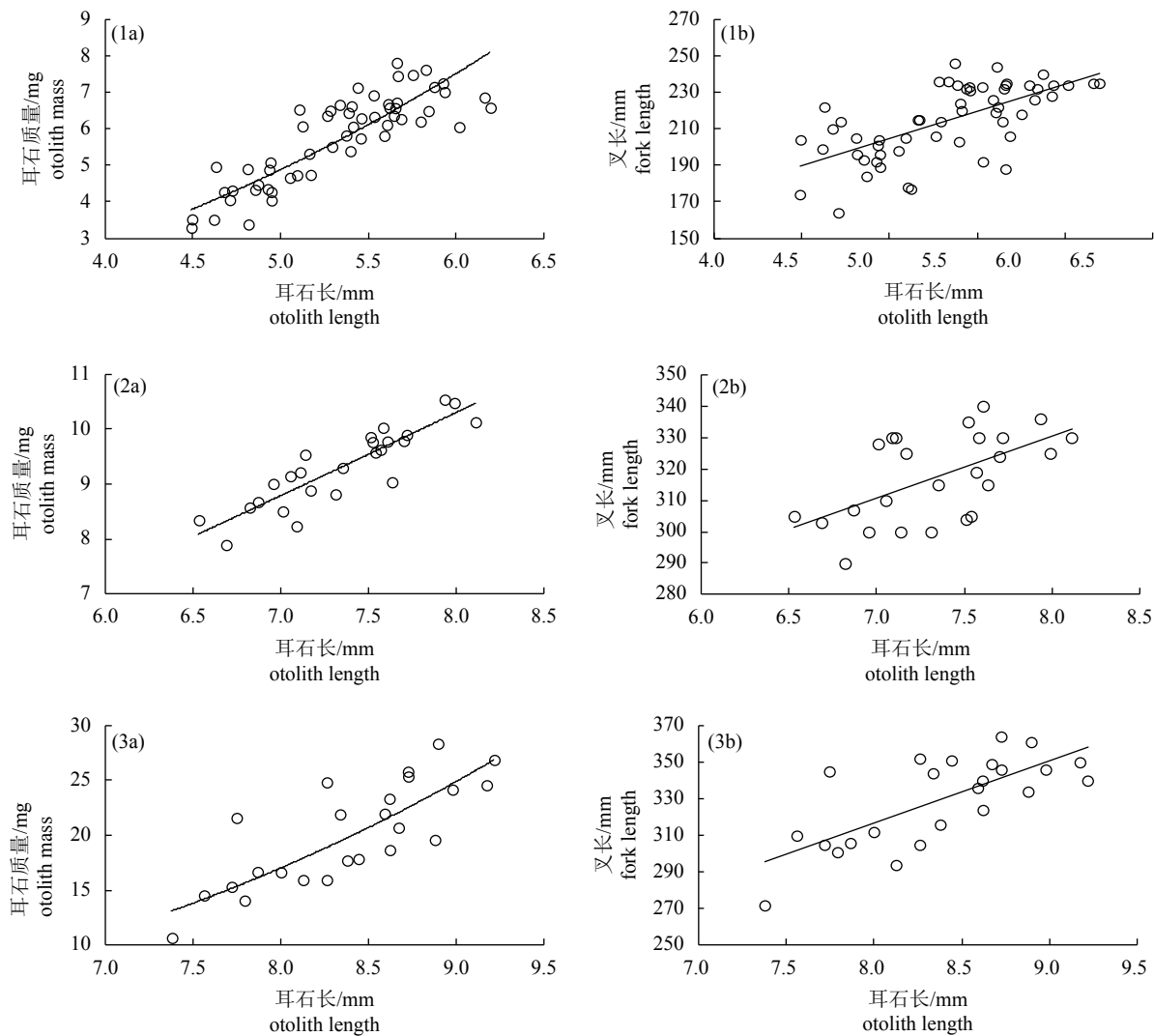


图4 圆鲹属鱼类叉长、耳石质量与耳石长的关系

Fig.4 Relationship among fork length, otolith mass and otolith length of genus *Decapterus*

1 可将长体圆鲹和其他 2 种圆鲹明显区分, 判别函数 2 又可将泰勃圆鲹与无斑圆鲹明显区分 (图 5), 判别函数 1 能够解释 83.5% 的耳石指标信息。3 种圆鲹属鱼类判别函数为: 判别函数 1= $2.039 \times RL - 0.191 \times OM + 0.654 \times OA - 10.237$ ; 判别函数 2= $-0.747 \times RL + 0.832 \times OM - 0.868 \times OA + 3.649$ 。

3 讨论

3.1 耳石形态的属间和属内特征

本文分析了 3 种圆鲹属鱼类的矢耳石形态特征, 圆鲹属鱼类矢耳石整体形态特征较为相似, 均呈长椭圆形, 耳石背部均有脊突, 基叶发达, 种间差异明显。其他属耳石形态如: 鲚属<sup>[10]</sup> 鱼类的矢



表5 3种圆鲂的逐步判别 (Wilks's Lambda检验)

Tab.5 Stepwise discriminant of three *Decapterus* species (Wilks' Lambda)

判别步骤 discrimination step	形态指标 morphometric index	统计量 statistics	自由度1 df1	自由度2 df2	自由度3 df3	精确 F exact F			
						统计量 statistics	自由度1 df1	自由度2 df2	显著性 sig.
1	耳石面积 OA	0.103	1	2	102	441.767	2	102	0
2	耳石质量 OM	0.031	2	2	102	236.458	4	202	0
3	基叶长 RL	0.026	3	2	102	173.187	6	200	0

表6 3种圆鲂属的判别分析结果

Tab.6 Discriminant analysis of three *Decapterus* species

判别前种类 predicted species	判别后种类 discriminated species			样品数量 number of samples
	长体圆鲂	泰勃圆鲂	无斑圆鲂	
长体圆鲂 <i>D. macrosoma</i>	56 (100%)	0	0	56 (100%)
泰勃圆鲂 <i>D. tabl</i>	0	25 (100%)	0	25 (100%)
无斑圆鲂 <i>D. kurroides</i>	0	2 (8.3%)	22 (91.7%)	24 (100%)

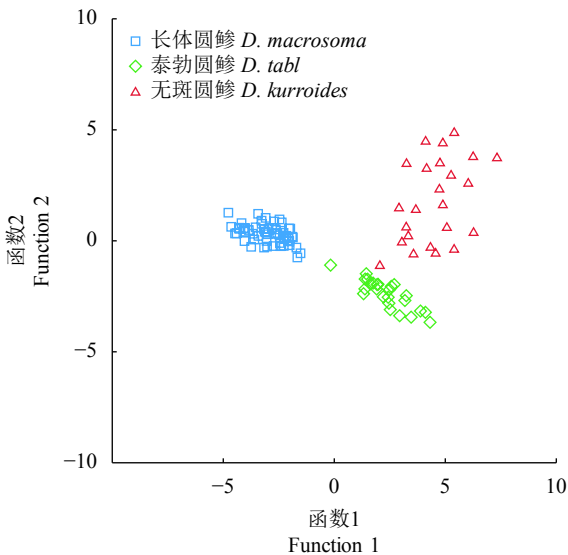


图5 3种圆鲂属的典型判别函数散点图

Fig.5 Scatterplot of canonical discriminant functions for three *Decapterus* species

耳石形态呈不规则的扁椭球形，一般前端略膨大后端较尖细；天竺鲷属<sup>[11]</sup>鱼类的矢耳石形态均不规则，耳石无侧叶，前部较尖后部略圆钝，背部中央有缺刻；石斑鱼属<sup>[12]</sup>鱼类的矢耳石形态较相似，耳石细长呈三角形或梭形。以上不同属鱼种的研究说明了鱼类耳石在形态上具有明显的特异性，同属

鱼类耳石整体形态在一定程度上具有较为相似的外形和共同的特异性。

鱼类耳石形态可能受相似的遗传因素<sup>[22-23]</sup>和环境因素<sup>[24-25]</sup>等影响，但不同鱼种的耳石形态主要受遗传因素的影响，而环境因素则对同种鱼不同群体的耳石形态产生较大影响<sup>[23]</sup>。此外，耳石的形态也与鱼类的外形关系密切<sup>[26]</sup>，在长距离洄游的环境因素影响下，鱼体外形会呈现流线型，并影响其耳石形态也为流线型<sup>[27]</sup>。南海圆鲂属鱼类资源在春秋季节分布广泛，同时，从秋季到春季之间南海圆鲂属鱼类存在洄游现象<sup>[28]</sup>。笔者认为圆鲂属鱼类耳石整体呈长椭圆形的主要因素是遗传基因，但与其鱼体外形(长圆形或纺锤形，稍侧扁<sup>[2]</sup>)和生活环境也密切相关<sup>[27,29]</sup>。

圆鲂属鱼类耳石形态不仅因同属具有共性，而且其属内形态也差异明显。长体圆鲂的翼叶发达呈锐角三角形，泰勃圆鲂翼叶则呈小三角形较发达，而无斑圆鲂翼叶发育不明显；泰勃圆鲂背部脊凸发育呈锯齿状比其他两类圆鲂发育显著；无斑圆鲂的耳石整体形态较其他两类圆鲂光滑。

近年来，国内耳石信息<sup>[30-34]</sup>的研究使得传统分类得到进一步完善，耳石形态具有种的特异性<sup>[35-36]</sup>和不易被消化等特点，在捕食者食性分析中得到广泛运用，如食鱼哺乳动物等的食性分析<sup>[37-38]</sup>。因此，耳石形态的研究在种类鉴定和种群判别上具有重要意义<sup>[39-42]</sup>，也对系统分类学和摄食生态学等领域的发展起到重要作用。

3.2 多元统计分析能有效分析和识别圆鲂属鱼类

耳石是存储鱼类生活信息的载体<sup>[3-4]</sup>，通过测量耳石形态指标能更为准确地进行种类鉴定和种群判别分析。耳石是在鱼类生长过程中所形成的碳酸钙硬组织，不同种鱼类耳石在形成过程中会有不同变化并因种而异<sup>[23]</sup>。圆鲂属鱼类矢耳石的度量特征和称量特征在数据标准化处理后，标准化的耳石长

以无斑圆鲈为最大, 泰勃圆鲈次之, 长体圆鲈最小; 耳石宽则以泰勃圆鲈最大, 长体圆鲈次之, 无斑圆鲈最小。

本研究结果显示, 利用3种圆鲈属鱼类的耳石长分别与耳石质量、体长进行拟合方程, 2个指标均随耳石长的增长而增长, 呈一定的上升趋势, 说明其耳石长与耳石质量、体长存在一定正相关性变化, 耳石长与耳石质量、体长大小关系密切, 与其他研究有较为相似的结果<sup>[43]</sup>, 耳石长度的增长在一定程度上影响着耳石质量和体长的变化, 耳石形态指标与鱼体外部形态指标在发育过程中有相似之处, 也在一定程度上印证了耳石形态与鱼体外形关系密切的可能。

本文对3种圆鲈属矢耳石形态指标进行了分析。从3种圆鲈属鱼类的典型判别函数散点图可以看出, 长体圆鲈与无斑圆鲈能被区分开, 而泰勃圆鲈与无斑圆鲈之间则有少数部分存在重合区域。本文判别成功率高于 Tuset 等<sup>[44]</sup>对3种鲈属鱼类[黑尾鲈 (*Serranus atricauda*)、九带鲈 (*S. cabrilla*)、纹首鲈 (*S. scriba*)]矢耳石形态研究的判别成功率, 表明耳石形态在种类鉴定的应用中有较好的效果。同时, 也印证了耳石的形态可作为鱼种识别和鉴定的天然标志。因此, 圆鲈属鱼类的矢耳石是鉴别圆鲈属鱼类的材料之一, 这将为相关海域圆鲈属鱼类的种类鉴定提供依据。

#### 参考文献:

- [1] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016: 1081-1084.
- [2] 国家水产总局南海水产研究所, 厦门水产学院, 中国科学院海洋研究所, 等. 南海诸岛海域鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 162-163.
- [3] 麦谷泰雄. 魚類の耳石情報解析に関する研究 [J]. 日本水産学会志, 1994, 60(1): 7-11.
- [4] 廖锐, 区又君. 鱼类耳石研究和应用进展 [J]. 南方水产, 2008, 4(1): 69-75.
- [5] TUSET V M, ROSIN P L, LOMBARTE A. Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus* [J]. Fish Res, 2006, 81(2/3): 316-325.
- [6] PANELLA G. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns [J]. Science, 1971, 173(4002): 1124-1127.
- [7] 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 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1963: 1-140.
- [8] 郑文莲. 我国鲈科等鱼类耳石形态的比较研究 [C]//鱼类学论文集 (第二辑), 北京: 科学出版社, 1981: 39-54.
- [9] 张国华, 但胜国, 苗志国, 等. 六种鲤科鱼类耳石形态以及在种
- 类和群体识别中的应用 [J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 683-688.
- [10] 郭弘艺, 唐文乔, 魏凯, 等. 中国鲈属鱼类的矢耳石形态特征 [J]. 动物学杂志, 2007, 42(1): 39-47.
- [11] 叶振江, 张弛, 王英俊, 等. 中国天竺鲷属鱼类的矢耳石形态特征 [J]. 海洋学报 (中文版), 2010, 32(5): 87-92.
- [12] 王英俊, 叶振江, 张弛, 等. 中国海域习见石斑鱼属鱼类矢耳石形态特征 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2011(Z1): 55-60.
- [13] 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.
- [14] 王英俊, 叶振江, 杨永恒, 等. 耳石形态在黄海蓝点马鲛群体鉴别方面的应用 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2007(S1): 155-158.
- [15] 于鑫, 曹亮, 南鸥, 等. 基于矢耳石形态分析的凤鲈 (*Coilia mystus*) 群体识别研究 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 768-774.
- [16] 方华华, 高天翔. 耳石形态在斑尾复鰕虎鱼群体鉴别中的研究 [J]. 中国农学通报, 2012(29): 92-97.
- [17] 叶振江. 中国海洋鱼类耳石形态学分析及应用研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2010: 1-216.
- [18] 张其永, 郑晓敏, 张杰. 闽南-台湾浅滩圆鲈种群年龄结构和生长特性的研究 [J]. 热带海洋, 1984, 3(4): 26-36.
- [19] 许成玉, 黄克勤. 东海圆鲈属鱼类外部形态特征的比较研究 [J]. 东海海洋, 1983, 1(4): 8-13.
- [20] 沈世杰, 吴高逸. 台湾鱼类图鉴 [M]. 台湾: 国立海洋生物博物馆, 2011: 434-436.
- [21] 飯塚景記, 片山知史. 日本産硬骨魚類の耳石の外部形態に関する研究 [J]. 水研センター研報, 2008(25): 1-222.
- [22] REICHENBACHER B, REICHARD M. Otoliths of five extant species of the annual killifish *Nothobranchius* from the East African Savannah [J]. PLoS One, 2014, 9(11): e0124984.
- [23] 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.
- [24] TUSET V M, OTERO-FERRER J L, GÓMEZ-ZURITA J, et al. Otolith shape lends support to the sensory drive hypothesis in rockfishes [J]. J Evol Biol, 2016, 29(10): 2083-2097.
- [25] VIGNON M. Ontogenetic trajectories of otolith shape during shift in habitat use: interaction between otolith growth and environment [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2012, 420: 26-32.
- [26] NOLF D. A survey of Perciform otoliths and their interest for phylogenetic analysis, with an iconographic synopsis of the Percoidei [J]. Bull Mar Sci, 1993, 52(1): 220-239.
- [27] BARDARSON H, MCADAM B J, THORSTEINSSON V, et al. Otolith shape differences between ecotypes of Icelandic cod (*Gadus morhua*) with known migratory behaviour inferred from data storage tags [J]. Can J Fish Aquat Sci, 2017, 74(12): 2122-2130.
- [28] 张立, 李渊, 林龙山, 等. 南海中南部主要经济种类渔业资源声学评估 [J]. 海洋渔业, 2016, 38(6): 577-587.
- [29] PÁEZ D J, HEDGER R, BERNATCHEZ L, et al. The morpholo-

- gical plastic response to water current velocity varies with age and sexual state in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*[J]. Freshw Biol, 2008, 53(8): 1544-1554.
- [30] TRACEY S R, LYLE J M, DUHAMEL G. Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification[J]. Fish Res, 2006, 77(2): 138-147.
- [31] CAMPANA S E, CASSELMAN J M. Stock discrimination using otolith shape analysis[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1993, 50(5): 1062-1083.
- [32] ASSIS C A. The lagenar otoliths of teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematics[J]. J Fish Biol, 2003, 62(6): 1268-1295.
- [33] 王茂林, 张秀梅, 高天翔, 等. 水体钙离子质量浓度对褐牙鲈幼鱼鱼体和耳石元素成分的影响 [J]. 南方水产科学, 2013, 9(3): 31-38.
- [34] 王岩, 陈作志, 张俊, 等. 南海北部陆坡海域粗鳞灯笼鱼耳石形态特征 [J]. 南方水产科学, 2017, 13(6): 65-72.
- [35] CAMPANA S E. Otolith science entering the 21st century[J]. Mar Freshw Res, 2005, 56(5): 485-495.
- [36] SMALE M J, HECHT T, WATSON G W. Otolith Atlas of southern African marine fishes[J]. Copeia, 1996, 1(1): 1-253.
- [37] MARCUS J, BOWEN W D, EDDINGTON J D. Effects of meal size on otolith recovery from fecal samples of gray and harbor seal pups[J]. Mar Mamm Sci, 1998, 14(4): 789-802.
- [38] FITCH J E, BROWNELL J L. Fish otoliths in cetacean stomachs and their importance in interpreting feeding habits[J]. Journal de L'office des Recherches sur les Pêcheries du Canada, 1968, 25(12): 2561-2574.
- [39] 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]. 青岛: 中国科学院大学 (中国科学院海洋研究所), 2017: 1-78.
- [40] 宋骏杰. 耳石和听沟形态分析方法及其在三种石首科鱼类群体判别中的应用 [D]. 青岛: 中国科学院大学 (中国科学院海洋研究所), 2018: 1-100.
- [41] BEGG G A, BROWN R W. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis[J]. Trans Am Fish Soc, 2000, 129(4): 935-945.
- [42] SMITH M K. Regional differences in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49(4): 795-804.
- [43] 张晓霞, 叶振江, 王英俊, 等. 青岛海域小眼绿鳍鱼耳石形态的初步研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2009, 39(4): 622-626.
- [44] TUSET V M, LOMBARTE A, GONZÁLEZ J A, et al. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp.[J]. J Fish Biol, 2003, 63(6): 1491-1504.

## 更正声明

由于作者疏忽, 本刊 2017 年 13 卷第 6 期第 78 页武宇辉等“不同鲍养殖模式下浮游植物群落结构与水质特征的比较”一文讨论 3.1 中, 第一句“TN、TP 浓度均表现出龙须菜收获前显著高于收获后 ( $P<0.01$ )”应为“TN、TP 浓度均表现出龙须菜收获后显著高于收获前 ( $P<0.01$ )”。

作者特此致歉!

《南方水产科学》编辑部

2019 年 4 月 20 日