

4 种石首鱼耳石形态特征的比较

区又君¹, 廖 锐^{1,2}, 李加儿¹, 李刘冬¹, 勾效伟¹

(1 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300;
2 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:比较研究了黄唇鱼 *Bahaba flavolabiata*、大黄鱼 *Pseudosciaena crocea*、丁氏鲷 *Wak tingi* 和棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus* 耳石的形态特征和微结构,总结了 4 种鱼耳石形态的异同鉴别特征. 结果表明:矢耳石呈长圆形或者盾形,基叶、翼叶、后基叶、副基叶以及中央突均不发达,主凹槽明显且贯穿整个耳石,背面具数个圆形晶状突或尖形晶状突或两者兼有. 星耳石翼叶较基叶发达,中央突发达,为粗壮突起,四周边缘分布有数量不等的叶形晶状突,为宽叶形或窄叶形. 黄唇鱼、大黄鱼和棘头梅童鱼的微耳石略呈纺锤体形,丁氏鲷的微耳石略呈长方形. 矢耳石、星耳石和微耳石的平均长高比分别为 1.259~1.890、1.332~1.531 和 0.643~0.716. 矢耳石长占体长的比为 4%~6%,矢耳石高占体长的比为 2%~5%. 矢耳石仅有 1 个中心核和 1 个原基,星耳石大部分具 1 个中心核和 1 个原基,但也有少数具有 1 个以上的中心核或原基.

关键词:黄唇鱼; 大黄鱼; 丁氏鲷; 棘头梅童鱼; 耳石; 形态; 微结构
中图分类号:S917.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2012)02-0203-08

Comparison of Morphological Characteristics of Otolith
in Four Sciaenid Fishes

OU You-jun¹, LIAO Rui^{1,2}, LI Jia-er¹, LI Liu-dong¹, GOU Xiao-wei¹

(1 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2 College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Characteristics of otolith morphology and microstructure of *Bahaba flavolabiata*, *Pseudosciaena crocea*, *Wak tingi* and *Collichthys lucidus* were comparatively studied, and characteristics of difference and similarity of otolith morphology in four sciaenid fishes were summarized. Results indicated that sagittas are long circle or shield shape. The rostrum, antirostrum, postrostrum, parastrostrum and central protrusion are very small. Sculcus is obvious and runs through the whole otolith with many rounded aragonite crystals or sharp aragonite crystals in back. The antirostrum is bigger than rostrum and central protrusion is big in asteriscus. There are a lot of leafed aragonite crystals on the edge of wide-leaf or narrow-leaf like in shapes. The lapillus of *B. flavolabiata*, *P. crocea* and *C. lucidus* are spindle-like in shape, and that of *W. tingi* is rectangular. The ratio between length and height of sagitta, asterisci and lapillus were 1.259–1.890, 1.332–1.531 and 0.643–0.716, respectively. The percentage between sagitta length and body length was 4%–6%, and that between sagitta height and body length was 2%–5%. One centronucleus and one primordium were found in sagitta and most of asteriscus, however, more than one centronucleus or one primordium were observed in a few of asteriscus.

Key words: *Bahaba flavolabiata*; *Pseudosciaena crocea*; *Wak tingi*; *Collichthys lucidus*; otolith; morphology; microstructure

鱼类耳石外部形态特征常具有科、亚科、属、种的鉴别特征。Gaemers^[1]利用矢耳石外部形态的保守性阐明了丽鱼科鱼类的科(亚科)、属、种之间的关系;朱元鼎等^[2]根据矢耳石的形态特征对石首鱼类进行分类研究,也就是说石首鱼的矢耳石具有科、亚科、属的鉴别特征;郑文莲^[3]提出鲮科等鱼类的耳石不仅可作为科的鉴别特征之一,也作为亚科和属的鉴别特征之一;张国华等^[4]研究了6种鲤科鱼类耳石形态以及在种类和种群识别中的应用;叶振江^[5]进行了中国海洋鱼类的形态学分析和应用研究。经过100多年的发展,鱼类耳石研究已经成为一个相对独立的研究学科,在多个研究层面深入开展^[6-19]。然而,耳石中心核大小和形态是否具有种类差异性尚鲜见有报道。

我国在石首鱼类种质资源研究与开发利用方面已做了大量工作,其中在形态、资源和分子生物学等方面的研究较多^[20-23],由于不同种间的形态分类较困难,导致石首鱼类的研究存在较大分歧。黄唇鱼 *Bahaba flavolabiata* 为国家二级保护水生野生动物^[24],由于环境的急剧恶化和过度捕捞,其资源迅速减少,濒临灭绝。在自然海区,黄唇鱼常与大黄鱼 *Pseudosciaena crocea*、丁氏鲷 *Wak tingi* 和棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus* 同时出现,廖锐等^[25]采用鱼体外形特征分析方法进行了这4种鱼的形态差异和判别分析研究,朱元鼎等^[2]描述了其矢耳石的形态,但鲜见有星耳石、微耳石、微结构及其量化研究的相关报道。本文研究了4种石首鱼耳石的形态特征和参数,并对矢耳石、星耳石的中心核和原基进行量化研究,比较其不同种间的差异,为黄唇鱼的研究和石首鱼类的分类提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源

4种石首鱼所有样本均在广东省虎门海域分批采集。其中黄唇鱼20尾,大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼各60尾。

1.2 样品的形态观察、测量和拍照

样本收集后即测量体长、体质量等生长指标;解剖取出耳石,经无水乙醇清洗、晾干;矢耳石长、高(宽)和厚用游标卡尺测量(精确到0.02 mm),星耳石和微耳石在Leica DM LB2显微镜下用目镜测微尺测量。

矢耳石较大,在卡尔·蔡司 Stemi2000CS 体视显微镜下以落射光观察,用CCD拍照(10×0.65,×0.8,×1.0,×1.25倍);星耳石和微耳石用二甲苯

透明后,采用 Canon powerShot S50 数码相机与 Leica DM LB2 显微镜组成的照相系统(10×10倍)进行拍照。

1.3 耳石微结构样品的制备、观察和拍照

用改进的传统耳石打磨方法制备耳石。把矢耳石先用磨刀石打磨,磨至接近中心时换用1500#的砂纸,细细打磨,直至耳石中心显现;然后翻转耳石,用同样的方法打磨另一面,磨至耳石中心后,用蛋白酶K溶液进行蚀刻,直至能清晰分辨出日轮,然后用酒精清洗耳石表面,风干。用中性树胶固定于载玻片上,显微镜观察,用装有测微尺的光学显微镜测量耳石中心核和原基的大小,当测量形状呈圆形时,测量直径,否则测量长径,将所测量的目微尺上的格数换算成相应的以mm或μm为单位的数据,精确度0.02 μm。星耳石直接用二甲苯透明后封片、观察和测量。采用 Canon powerShot S50 数码相机与 Leica DM LB2 显微镜组成的照相系统对耳石样品进行拍照。

1.4 耳石形态主要描述术语

参考 Gaemers^[1]、郑文莲^[3]、Messieh^[26] 和 张国华^[27] 的研究,使用以下术语:

基叶(Rostrum):位置最低、位于腹面前端的叶状突起。

翼叶(Antirostrum):耳石背部向前延伸的叶状突起。

后基叶(Postrostrum):处于耳石腹面后端的突起。

副基叶(Pararostrom):耳石背部向后的突起。

主凹槽(Sulcus):从主间沟开始,沿耳石中轴延伸的凹槽。一般而言,海洋鱼类矢耳石的主凹槽常常贯穿或几乎贯穿整个耳石。

嵴突(Knob):耳石背部表面的嵴状突起。

圆形晶状突(Rounded aragonite crystal):耳石表面的圆形的晶体状突起。

尖形晶状突(Sharp aragonite crystal):耳石表面的尖锐的晶体状突起。

叶形晶状突(Leafed aragonite crystal):耳石边缘的叶片状突起。

中央突(Central protrusion):耳石的基叶和翼叶之间的突起,其有无、长度等因种而异。

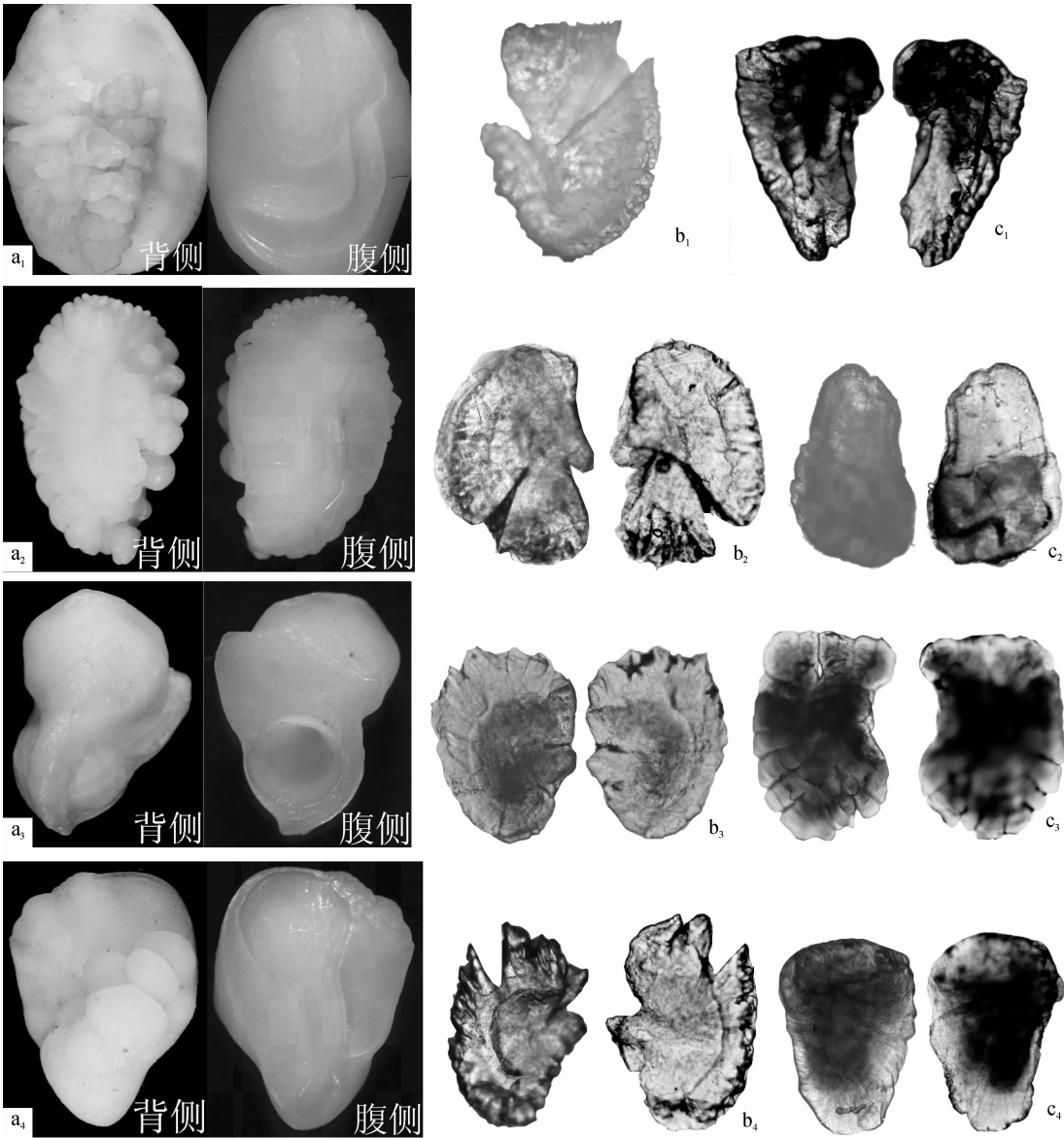
2 结果

4种石首鱼体内有矢耳石、星耳石和微耳石各1对。

2.1 耳石形态

黄唇鱼:矢耳石略呈长方形,前端圆形,后端呈截形,两侧近平行,外缘具有数个叶形晶状突(6~33),在显微镜下可见背部布满黑色的细点状沉积,后部约2/3分布有20个以上的圆形晶状突以及10个左右的宽叶形尖形晶状突,两者形成一大群突起,大部分伸达外缘,晶状突在显微镜下可见较多圆孔;基叶与翼叶或者不发达或者等长或者基叶略长于翼叶;后基叶与副基叶均不发达;无中央突,嵴突明显,

一般8个,主凹槽明显且贯穿整个耳石(图1a₁)。星耳石表面较粗糙,翼叶较基叶发达,翼叶长为星耳石长的0.42倍,约为基叶长的2.05倍。中央突粗长,约成扇形,其长度约为星耳石长的0.50倍,为翼叶长的2.51倍。边缘分布不少于30个叶形晶状突,以窄叶形居多;嵴突明显且层次分明;主凹槽明显,连至星耳石中心;腹部内缘分布许多圆形晶状突(图1b₁)。微耳石略呈锥形,边缘分布约8个叶形晶状突,为近波纹形;无明显的嵴突(图1c₁)。



a₁:黄唇鱼右矢耳石(11.5 mm×8.5 mm);b₁:黄唇鱼左星耳石(2.0 mm×1.5 mm);c₁:黄唇鱼微耳石(1.5 mm×2.3 mm);a₂:大黄鱼右矢耳石(5.5 mm×3.2 mm);b₂:大黄鱼星耳石(1.4 mm×0.7 mm);c₂:大黄鱼微耳石(0.8 mm×1.2 mm);a₃:丁氏鲷右矢耳石(8.0 mm×5.3 mm);b₃:丁氏鲷星耳石(2.0 mm×1.2 mm);c₃:丁氏鲷微耳石(3.0 mm×5.0 mm);a₄:棘头梅童鱼右矢耳石(5.5 mm×4.1 mm);b₄:棘头梅童鱼星耳石(1.4 mm×1.0 mm);c₄:棘头梅童鱼微耳石(0.8 mm×1.1 mm)。

图1 4种石首鱼的耳石形态
Fig. 1 Otolith morphology of four sciaenid fishes

大黄鱼:矢耳石背面晶状突明显呈2部分,偏向背部分布的是尖形晶状突,而偏向腹部的为圆形晶

状突,一般尖形晶状突多于圆形晶状突,晶状突在显微镜下可见较多圆孔。四周边缘光滑,一般无叶形晶

状突. 嵴突较明显, 主凹槽明显. 基叶、翼叶、中央突均不发达(图 1a₂). 星耳石表面粗糙, 翼叶较基叶发达, 为星耳石长的 0.36 倍, 约为基叶的 2.40 倍. 中央突发达, 为粗壮突起, 其长度约为星耳石长的 0.46 倍, 为翼叶长的 1.30 倍. 嵴突明显, 主凹槽明显且贯穿整个耳石, 为弧形弯向背部. 背部里缘和后端里缘分布数个圆形晶状突. 边缘四周分布许多叶形晶状突(图 1b₂). 微耳石略呈纺锤形, 背部膨大, 腹部小, 四周边缘较薄, 中间厚(图 1c₂).

丁氏鲷: 矢耳石背面前端具数个圆形晶状突或者少量块状突起, 前端边缘分布有 4~10 个叶形晶状突, 基叶、翼叶、中央突均不发达. 嵴突不明显(图 1a₃). 星耳石嵴突明显, 主凹槽不明显, 边缘分布多于 10 个的叶形晶状突, 其中后端边缘的叶形晶状突较为细小, 而两侧边缘的叶形晶状突相对大(图 1b₃). 微耳石略呈长方形, 前端较后端大, 背部中央内凹, 腹面光滑, 稍隆起, 背面粗糙, 背面明显长于腹面, 边缘分布 7~37 个叶形晶状突, 以宽叶形为主. 嵴突、主凹槽明显, 基叶翼叶中央突均不发达(图 1c₃). 丁氏鲷是该 4 种鱼中唯一微耳石大于星耳石的种类.

棘头梅童鱼: 矢耳石背面稍隆起或者具有 2~12 个圆形晶状突, 一般中央的圆形晶状突较大, 晶状突在显微镜下可见较多圆孔; 前端边缘分布有 2~10 个叶形晶状突, 以宽叶形为主. 嵴突明显(图 1a₄). 星耳石表面粗糙, 基叶较翼叶发达. 中央突发达, 为粗

壮突起. 嵴突明显, 主凹槽明显且贯穿整个耳石, 为弧形弯向背部. 背部里缘和后端里缘分布数个圆形晶状突. 边缘四周分布许多叶形晶状突, 其中腹部和后端边缘的叶形晶状突较多且呈波浪状锯齿形, 而背部的叶形晶状突少而宽平(图 1b₄). 微耳石略呈纺锤形, 背部膨大, 腹部小, 四周边缘较薄, 中间厚; 边缘一般分布有少量宽叶形叶形晶状突(图 1c₄).

2.2 耳石形态的比例

在 4 种石首鱼的 3 对耳石中, 矢耳石最大, 黄唇鱼、大黄鱼和棘头梅童鱼的星耳石大于微耳石, 而丁氏鲷的星耳石小于微耳石. 如表 1 所示, 4 种鱼的矢耳石、星耳石长度均大于高度, 微耳石长度均小于高度. 矢耳石长与高之比的平均值在 1.259~1.890, 其中丁氏鲷的比值最小, 大黄鱼最大, 黄唇鱼与棘头梅童鱼较为接近; 星耳石长与高之比的平均值在 1.332~1.531, 其中黄唇鱼的最小, 棘头梅童鱼的最大, 大黄鱼与棘头梅童鱼较为接近; 4 种鱼的微耳石长高比较为接近, 为 0.643~0.716. 4 种鱼的矢耳石长、高均为星耳石长、高的 3 倍以上; 矢耳石高是微耳石高的 2 倍以上; 黄唇鱼、大黄鱼和棘头梅童鱼的矢耳石长是微耳石长的 5 倍以上, 而丁氏鲷的矢耳石长是微耳石长的 1.8 倍. 黄唇鱼、大黄鱼和棘头梅童鱼微耳石长均小于星耳石长, 而高均大于星耳石高. 丁氏鲷微耳石长是星耳石长的 2.5 倍, 微耳石高是星耳石高的 2 倍左右.

表 1 耳石各形态的比例关系及多重比较¹⁾

Tab. 1 The proportion of different partials of otolith and Duncan multiple comparison

参数	黄唇鱼	大黄鱼	丁氏鲷	棘头梅童鱼
矢耳石长/高	1.371 ± 0.059 b (1.296 ~ 1.462)	1.890 ± 0.102 c (1.744 ~ 2.127)	1.259 ± 0.152 a (1.076 ~ 1.640)	1.391 ± 0.117 b (1.220 ~ 1.863)
星耳石长/高	1.332 ± 0.068 a (1.288 ~ 1.442)	1.525 ± 0.134 c (1.889 ~ 1.836)	1.435 ± 0.091 b (1.235 ~ 1.671)	1.531 ± 0.112 c (1.308 ~ 1.813)
微耳石长/高	0.647 ± 0.125 a (0.488 ~ 0.714)	0.644 ± 0.034 a (0.588 ~ 0.714)	0.643 ± 0.047 a (0.528 ~ 0.727)	0.716 ± 0.061 b (0.615 ~ 0.854)
矢耳石长/星耳石长	5.872 ± 0.100 c (5.264 ~ 6.328)	3.215 ± 0.124 a (2.965 ~ 3.868)	4.053 ± 0.339 b (3.511 ~ 4.846)	3.585 ± 0.333 a (3.065 ~ 4.368)
矢耳石高/星耳石高	5.736 ± 0.055 c (5.561 ~ 6.025)	3.648 ± 0.089 a (3.214 ~ 4.535)	4.639 ± 0.458 b (3.603 ~ 5.551)	3.954 ± 0.446 a (3.105 ~ 5.280)
矢耳石长/微耳石长	7.882 ± 0.102 c (6.662 ~ 8.085)	5.942 ± 0.105 b (5.341 ~ 6.874)	1.805 ± 0.142 a (1.472 ~ 2.115)	6.094 ± 0.256 b (4.990 ~ 7.100)
矢耳石高/微耳石高	3.748 ± 0.114 d (2.962 ~ 4.347)	2.846 ± 0.092 b (2.652 ~ 3.693)	2.247 ± 0.234 a (1.737 ~ 2.671)	3.220 ± 0.352 c (2.690 ~ 3.710)
微耳石长/星耳石长	0.746 ± 0.089 b (0.681 ~ 0.743)	0.543 ± 0.165 a (0.386 ~ 0.691)	2.522 ± 0.252 c (1.875 ~ 2.968)	0.603 ± 0.378 a (0.483 ~ 0.765)
微耳石高/星耳石高	1.535 ± 0.056 b (1.314 ~ 1.659)	1.284 ± 0.086 a (1.125 ~ 1.393)	2.061 ± 0.177 c (1.701 ~ 2.430)	1.242 ± 0.128 a (0.945 ~ 1.806)

1) 表中数据为 $M \pm SD$, 圆括号中数据为范围值; 同行数据后面凡具有一个相同字母者表示在 0.05 水平差异不显著 (Duncan's 法).

2.3 耳石与鱼体体长的比例关系

如表2所示,4种鱼的矢耳石长度占鱼体体长的比值为4%~6%,其中黄唇鱼与大黄鱼、丁氏鲮与棘头梅童鱼较为接近;矢耳石高占体长的比值为2%~5%。除了黄唇鱼之外,其余3种鱼的星耳石长度与体长的比值均大于1%;只有棘头梅童鱼的星耳石高与体长的比值大于1%。除了丁氏鲮的微耳石长和高与体长的比大于2%、大黄鱼的微耳石高与体长的比值大于1%之外,其余均小于1%。多重分析表明,除了黄唇鱼与大黄鱼的矢耳石长/体长、丁氏鲮与棘头梅童鱼的星耳石长/体长无显著性差异外,其余差异均显著。

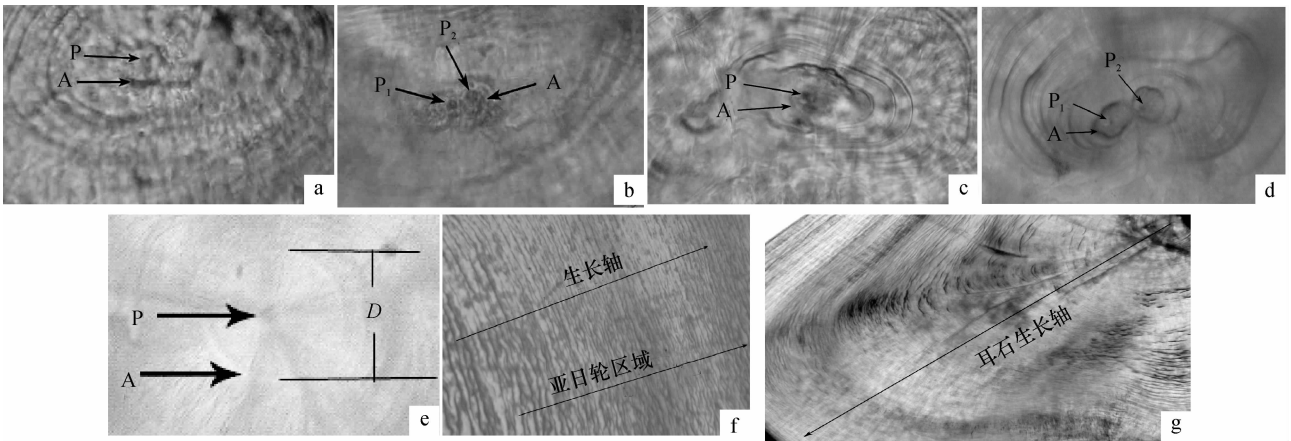
2.4 耳石原基和中心核

2.4.1 耳石原基和中心核的形态特征及界定 如图2a、2b所示,4种石首鱼的矢耳石和星耳石上具有一个生长中心,称为耳石中心核,是指第1个生长轮(首轮)以内的耳石部分,其内有近圆形的深黑色的耳石原基。矢耳石的中心核形状以圆形为主,星耳石的中心核形状以橄榄形和锥形为主;原基以圆形和椭圆形为主(图2c、2d、2e)。矢耳石的快速生长轴上的亚日轮较星耳石上的常见;一般情况下,耳石中心到后端的日轮排列较紧密、清晰,所以均以中心到后端计数测量日轮(图2f、2g)。

表2 耳石与鱼体体长的比例关系及多重比较¹⁾
Tab.2 The proportion between otolith and body length and Duncan multiple comparison

参数	黄唇鱼	大黄鱼	丁氏鲮	棘头梅童鱼
矢耳石长/体长	0.047 9±0.003 3 a (0.043 3~0.052 8)	0.046 3±0.004 0 a (0.039 6~0.053 6)	0.069 5±0.006 0 c (0.058 8~0.079 5)	0.060 3±0.005 9 b (0.051 9~0.082 9)
矢耳石高/体长	0.035 0±0.001 6 b (0.031 9~0.037 3)	0.024 5±0.002 3 a (0.020 1~0.028 1)	0.056 0±0.009 4 d (0.037 5~0.072 2)	0.043 4±0.003 4 c (0.036 7~0.055 8)
星耳石长/体长	0.005 9±0.002 8 a (0.004 9~0.006 3)	0.013 5±0.001 2 b (0.010 9~0.015 6)	0.017 2±0.002 5 c (0.009 7~0.020 5)	0.016 8±0.001 5 c (0.014 2~0.020 8)
星耳石高/体长	0.004 4±0.001 8 b (0.003 9~0.004 9)	0.008 9±0.002 4 c (0.007 1~0.010 2)	0.000 7±0.000 1 a (0.000 6~0.000 8)	0.011 0±0.001 0 d (0.008 2~0.014 1)
微耳石长/体长	0.004 4±0.002 1 b (0.003 9~0.004 9)	0.007 3±0.000 4 c (0.006 3~0.008 2)	0.039 3±0.005 0 d (0.029 1~0.068 3)	0.001 3±0.000 2 a (0.001 0~0.001 7)
微耳石高/体长	0.006 8±0.003 4 b (0.005 9~0.007 1)	0.011 4±0.000 7 c (0.009 5~0.012 3)	0.025 5±0.004 8 d (0.018 6~0.054 8)	0.000 9±0.000 1 a (0.000 7~0.001 3)

1)表中数据为M±SD,圆括号中数据为范围值;同行数据后面凡是有有一个相同字母者表示在0.05水平差异不显著(Duncan's法)。



a:丁氏鲮星耳石原基(P)和首轮(A)(×400);b:丁氏鲮星耳石原基(P₁、P₂)、首轮(A)和多核现象(×400);c:棘头梅童鱼星耳石原基(P)和首轮(A)(×400);d:棘头梅童鱼星耳石原基(P₁、P₂)、首轮(A)和多核现象(×400);e:黄唇鱼矢耳石原基(P)、首轮(A)以及中心核直径(D)(×400);f:黄唇鱼矢耳石生长轴和亚日轮区域(×100);g:棘头梅童鱼矢耳石生长轴和日轮特征(×100)。

图2 4种石首鱼的耳石微结构
Fig.2 Otolith microstructure of four sciaenid fishes

4种石首鱼的矢耳石上仅有1个中心核和1个原基,未发现异常的耳石;星耳石大部分具1个中心核和1个原基,但在丁氏鲮和棘头梅童鱼中也有少数星耳石具有1个以上的中心核或原基,包括1

个中心核 2 个原基、2 个中心核 2 个原基等多种形式(图 2b、2d)。

2.4.2 耳石中心核大小 4 种石首鱼矢耳石和星耳石中心核的直径见表 3。单因子方差分析结果表明:矢耳石中心核直径差异显著 ($F = 32.89, P < 0.001$),星耳石中心核直径差异显著 ($F = 10.59, P < 0.001$)。多重检验分析表明,4 种鱼的矢耳石中心核直径之间差异显著,其大小顺序为棘头梅童鱼 > 大黄鱼 > 黄唇鱼 > 丁氏鲷;在星耳石中心核直

径中,黄唇鱼与棘头梅童鱼和丁氏鲷之间差异显著,而与大黄鱼无显著差异,大黄鱼与棘头梅童鱼和丁氏鲷之间差异显著,棘头梅童鱼星耳石中心核直径略大于丁氏鲷,但相互之间无显著差异。除了丁氏鲷矢耳石中心核直径与星耳石中心核直径之间差异不显著之外($t = -0.172, P > 0.05$),其他 3 种鱼的矢耳石中心核直径与星耳石中心核直径差异显著($P < 0.001$),且矢耳石中心核直径明显大于星耳石中心核直径。

表 3 耳石中心核的直径
Tab.3 The centronucleus diameter of otolith

种类	矢耳石		星耳石	
	$M \pm SD$	范围	$M \pm SD$	范围
黄唇鱼	68.15 ± 17.13 b	42.86 ~ 95.92	46.72 ± 5.09 a	38.00 ~ 58.00
大黄鱼	83.38 ± 13.70 c	51.02 ~ 102.04	41.75 ± 11.39 a	30.00 ~ 65.00
丁氏鲷	57.86 ± 14.03 a	32.65 ~ 83.67	57.17 ± 14.94 b	25.00 ~ 105.00
棘头梅童鱼	99.59 ± 15.84 d	81.63 ~ 142.86	57.97 ± 16.45 b	30.00 ~ 95.00

1) 同列数据后凡具有一个相同字母者表示在 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

2.4.3 耳石原基大小 4 种石首鱼矢耳石和星耳石原基的直径见表 4。多重检验分析表明,黄唇鱼矢耳石原基直径与大黄鱼和棘头梅童鱼差异显著,而与丁氏鲷无显著差异,大黄鱼与棘头梅童鱼也无显著性差异。黄唇鱼由于星耳石原基大多不清晰而未作

测量,大黄鱼星耳石原基直径与丁氏鲷和棘头梅童鱼差异显著,而丁氏鲷的星耳石原基直径略大于棘头梅童鱼,但两者间无显著差异。大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼矢耳石原基直径显著大于星耳石原基直径(t 检验, $P < 0.001$)。

表 4 耳石原基的直径¹⁾
Tab.4 The primordium diameter of otolith

种类	矢耳石		星耳石	
	$M \pm SD$	范围	$M \pm SD$	范围
黄唇鱼	11.42 ± 3.17 b	5.11 ~ 15.34		
大黄鱼	8.76 ± 2.17 a	6.22 ~ 12.78	7.69 ± 2.97 b	5.00 ~ 15.00
丁氏鲷	11.14 ± 2.48 b	6.11 ~ 15.72	5.33 ± 1.65 a	3.00 ~ 12.00
棘头梅童鱼	8.42 ± 2.83 a	5.11 ~ 15.34	5.37 ± 1.57 a	3.00 ~ 12.00

1) 同列数据后凡具有一个相同字母者表示在 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法)。

3 讨论

3.1 耳石形态

张国华等^[4]研究 6 种鲤科鱼类的微耳石和星耳石的形态指出,微耳石和星耳石在亚科、属和种水平上是可区分的,亲缘关系越接近的分类单位,耳石的形态可能越相似。朱元鼎等^[2]研究指出,石首鱼科鱼类的矢耳石具有亚科和属的鉴别特征,并对矢耳石作出详细的描述。叶振江等^[28]分析了中国近海天竺鲷属 *Apogon* 鱼类的矢耳石形态特征,8 种天竺鲷属鱼类耳石形态呈现出非常显著的共性特征,不同鱼种在某些形态特征方面又体现出显著差异。对中国海域 12 种石斑鱼属 *Epinephelus* 鱼类矢耳石形态的

研究表明,听沟同是该属鱼类耳石形态分类的重要特征之一^[29]。本研究结果中,黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼的矢耳石、星耳石和微耳石分别具有石首鱼科鱼类的共同特征,同时又表现出不同属间的形态差异,其主要鉴别特征如下:

(1) 相同特征

矢耳石:基叶、翼叶、后基叶、副基叶以及中央突均不发达,一般主凹槽明显且贯穿整个耳石,背面具数个圆形晶状突或尖形晶状突或两者兼有。腹部均具有一蝌蚪印迹,分为头区和尾区。

星耳石:翼叶较基叶发达,嵴突明显,主凹槽明显且贯穿整个耳石,为弧形弯向背部。中央突发达,为粗壮突起,四周边缘分布数量不等的叶形晶状突,

为宽叶形或者窄叶形,可以根据叶形晶状突的形状初步区分不同种类。

微耳石:黄唇鱼、大黄鱼和棘头梅童鱼的微耳石略呈纺锤形,背部膨大,腹部小,四周边缘较薄,中间厚,丁氏鲷的微耳石略呈长方形。

(2) 矢耳石特征区别

① 形态

黄唇鱼:略呈长方形,前端圆形,后端呈截形,两侧近平行;

大黄鱼:略呈盾形或梨形,前端宽圆,后端狭尖;

丁氏鲷:盾形,前端宽圆,后端狭尖;

棘头梅童鱼:近盾形,前端宽圆,后端狭尖。

② 蝌蚪印迹

黄唇鱼:头区昂扬,尾区为“J”字型凹沟;

大黄鱼:头区昂扬,圆形,尾区为“T”字型凹沟;

丁氏鲷:头区长形,俯伏,尾区前部为一细狭浅沟,后部扩大成球状、凹陷;

棘头梅童鱼:与大黄鱼相似。

③ 晶状突

黄唇鱼:叶形晶状突多于圆形晶状突和尖形晶状突;

大黄鱼:尖形晶状突多于圆形晶状突。四周边缘光滑,一般无叶形晶状突;

丁氏鲷:圆形晶状突多于叶形晶状突,一般无尖形晶状突;

棘头梅童鱼:圆形晶状突略多于叶形晶状突。一般中央的圆形晶状突较大,叶形晶状突以宽叶形为主。

已有研究表明,鱼类矢耳石的长度大于其高度。如鲷科鱼类矢耳石的长度均大于高度,其比值在1.39~3.30,其中及达叶鲷 *Caranx (Atule) djeddaba*、大甲鲷 *Megalaspis cordyla* 和长颌鲷 *Chorinemus lysan3* 种达3倍以上,只有金带细鲷 *Selaroides leptolepis*、脂眼凹肩鲷 *Selar crumenophthalmus*、牛眼凹肩鲷 *Selar boops*、竹荚鱼 *Trachurus japonicus* 小于2;另外,鲷科的多数种类的矢耳石长占体长的比值都在2%~3%,大于3%的只有竹荚鱼等6种,小于2的有黄条鲷 *Seriola aureovittata* 等6种^[3]。本研究中,4种石首鱼科鱼类矢耳石、星耳石的长度均大于高度,其长高比分别为1.259~1.890和1.332~1.531;微耳石的长度均小于高度,长高比为0.643~0.716;矢耳石长度占体长的比值都在4.79%~6.95%。结果表明,黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼的矢耳石相对长度与竹荚鱼的相差不大,而明显大于其他鲷科等鱼类。

3.2 矢耳石原基和中心核

大多数鱼类的耳石通常具有1个中心核和1个

原基,少数耳石具有1个中心核、2个原基,或2个中心核、2个原基,如草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*^[30]、条石鲷 *Oplegnathus fasciatus*^[31] 等,或者3个中心核、3个原基,如唐鱼 *Tanichthys albonubes*^[32]、虹鳟 *Oncorhynchus mykiss*、硬头鳟 *Salmo gairdneri* 和大鳞大麻哈鱼 *Oncorhynchus tshawytscha*^[33]。本研究发现,黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼的矢耳石只具有一个中心核和一个原基;星耳石大部分只具有单中心核和单原基,少数出现多核、多原基现象,例如丁氏鲷和棘头梅童鱼。由此可见,不同种类鱼不同耳石的原基数目可能存在较大的差异,这些多核多原基的产生机理及其生理意义尚不清楚,有待于进一步的研究。

在耳石的微结构特征中,其中心核大小和形态可能具有种群差异性,这种差异对识别不同的种群有积极意义。Rybock等^[34]认为,分布区重迭的洄游的硬头鳟和定居于淡水的虹鳟种群间的耳石中心核大小存在显著差异,从而为这2个种群的识别提供了可行的途径。耳石中心核大小也被应用于区分硬头鳟的夏季和冬季种群^[35]。宋昭彬等^[36]认为,耳石中心核大小可用于鉴别草鱼和鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* 仔鱼的人工繁殖和野生种群。然而,Neilson等^[33]研究发现:即使是来源于同一雌鱼的后代,耳石中心核的大小也会有变异,而且还受水温等的影响,从而限制了耳石中心核特征在鉴别鱼类种群工作中的应用。

耳石中心核大小和形态是否具有亚科、属和种的差异性至今尚鲜见报道,本研究中的4种石首鱼的矢耳石中心核大小存在显著差异,可以根据中心核大小加以区分,初步断定矢耳石中心核大小可能具有种的鉴别特征。但由于所研究的种类数量较少,因此,石首鱼科鱼类矢耳石中心核大小是否具有亚科和属特征尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] GAEMERS P A M. Taxonomic position of Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths[J]. Neth J Zool, 1984, 34(4): 556-595.
- [2] 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:上海科学技术出版社,1963.
- [3] 郑文莲. 我国鲷科等鱼类耳石形态的比较研究[M]//中国鱼类学会. 鱼类学论文集:第2辑. 北京:科学出版社,1981:39-46.
- [4] 张国华,但胜国,苗志国,等. 6种鲤科鱼类耳石形态以及在种类和种群识别中的应用[J]. 水生生物学报,

- 1999,23(6):683-688.
- [5] 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,2010.
- [6] 邓维德,赵亚辉,康斌,等. 耳石在鱼类年龄与生长研究中的应用[J]. 动物学杂志,2010,45(2):171-180.
- [7] 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.
- [8] 杨健,刘洪波. 长江口崇明水域鲻鱼耳石元素微化学分析[J]. 中国水产科学,2010,17(4):853-858.
- [9] 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]. 中国水产科学,2008,15(6):917-923.
- [10] 刘伟,战培荣,赵春刚,等. 黑龙江秋大麻哈鱼耳石形态发育研究[J]. 水生生物学报,2010,34(6):1069-1076.
- [11] 解涵,金广海,解玉浩,等. 依耳石显微结构判断安氏新银鱼的早期生活史[J]. 水产科学,2010,29(1):35-39.
- [12] 李小燕,王高鸿,刘永定. 超重环境对斑马鱼仔鱼早期发育和耳石形态学与化学组成的影响[J]. 航天医学与医学工程,2009,22(6):399-403.
- [13] 颜云榕,侯刚,贺雄军,等. 基于矢耳石重量与年龄关系对北部湾二长棘犁齿鲷年龄鉴定的研究[J]. 台湾海峡,2011,30(1):63-70.
- [14] OOEZKI Y, WATANABE Y. Comparison of somatic growth and otolith increment growth in laboratory-reared larvae of *Pacific saury*, *Cololabis saira*, under different temperature conditions [J]. *Marine Biology*, 2000, 136(2):349-359.
- [15] BARNETT-JOHNSON R, TEEL D J, CASILLAS E. Genetic and otolith isotopic markers identify salmon populations in the Columbia River at broad and fine geographic scales[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, 89(3/4):533-546.
- [16] BERUMEN M L, WALSH H J, RAVENTOS N, et al. Otolith geochemistry does not reflect dispersal history of clownfish larvae[J]. *Coral Reefs*, 2010, 29(4):883-891.
- [17] TSUNAGAWA T, SUZUKI T, ARAI T. Otolith Sr:Ca ratios of freshwater goby *Rhinogobius* sp. TO indicating absence of sea migrating traits[J]. *Ichthyol Res*, 2010, 57(3):319-322.
- [18] MILLER J A. Scales of variation in otolith elemental chemistry of juvenile staghorn sculpin (*Leptocottus armatus*) in three Pacific Northwest estuaries[J]. *Mar Biol*, 2007, 151(2):483-494.
- [19] OHARA K, HOTTA M, TAKAHASHI D, et al. Use of microsatellite DNA and otolith Sr:Ca ratios to infer genetic relationships and migration history of four morphotypes of *Rhinogobius* sp. OR[J]. *Ichthyol Res*, 2009, 56(4):373-379.
- [20] 李加儿,许晓娟,区又君,等. 浅色黄姑鱼鳃结构及其呼吸面积的研究[J]. 南方水产,2008,4(1):22-27.
- [21] 丁爱侠,贺依尔. 岱衢族大黄鱼放流增殖试验[J]. 南方水产,2011,7(1):73-77.
- [22] 李鹏飞,周永东,徐汉祥. 大黄鱼、鲈鱼及美国红鱼线粒体 DNA 的 Cyt b 基因序列比较[J]. 南方水产,2008,4(3):43-47.
- [23] 邵艳卿,张殿昌,苏天凤,等. 浅色黄姑鱼脑垂体 CDMA 文库的构建[J]. 南方水产,2006,2(6):8-12.
- [24] 农业部水生野生动植物保护办公室,广东省海洋与渔业局. 水生野生保护动物识别手册[M]. 北京:科学出版社,2004:269.
- [25] 廖锐,区又君,勾效伟,等. 黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鲷和棘头梅童鱼的形态差异和判别分析[J]. 大连水产学院学报,2009,24(4):305-310.
- [26] MESSIEH S N. Use of otoliths in identifying herring stocks in the southern Gulf of St. Lawrence and adjacent water [J]. *J Fish Res Bd Can*, 1972, 29(8):1113-1118.
- [27] 张国华. 耳石形态和元素组成及其与鱼类群体识别的研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所,2000.
- [28] 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,2010,32(5):87-92.
- [29] 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,2011,41(1/2):55-60.
- [30] 宋昭彬,常剑波,曹文宣. 草鱼仔鱼耳石的自然标记和生长轮的清晰度[J]. 动物学报,2003,49(4):508-513.
- [31] 王菲,程家骅,罗海忠. 东海条石鲷仔鱼耳石日轮与生长的关系[J]. 中国水产科学,2010,17(2):320-328.
- [32] 史方,孙军,林小涛,等. 唐鱼仔鱼耳石的形态发育及日轮[J]. 动物学杂志,2006,41(4):10-16.
- [33] NEILSON J D, GEEN G H, CHAN B. Variability in dimensions of salmonid otolith nuclei: Implications for stock identification and microstructure interpretation [J]. *Fish Bull*, 1985, 83(1):81-89.
- [34] RYBOCK J T, HORTON H F, FESSLER J L. Use of otoliths to separate juvenile steelhead trout from juvenile rainbow trout[J]. *Fish Bull*, 1975, 73(3):654-659.
- [35] MCKERN J L, HORTON H F, KOSKI K V. Development of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) otoliths and their use for age analysis and for separating summer from winter races and wild from hatchery stocks[J]. *J Fish Res Board Can*, 1974, 31(8):1420-1426.
- [36] 宋昭彬,曹文宣. 草鱼和鲢仔鱼耳石原基和中心核特征的研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2003,40(4):774-777.