

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00970

基于傅立叶耳石形态分析法对几种家鱼仔稚鱼的种类判别分析

曾祥波¹, 张国华²

1. 集美大学 水产学院, 福建 厦门 361021;
2. 中国科学院 水生生物研究所, 湖北 武汉 430072

摘要: 于室内养殖条件下研究了鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)胚后发育阶段矢耳石的形态发育, 采用椭圆傅立叶分析法, 基于矢耳石形态, 比较了以孵化后日龄、耳石形态、发育期以及不同体长组为基础的判别方式上, 对这3种家鱼苗的种类判别成功率。结果表明, 总判别成功率均表现出了逐渐增加的趋势。孵化后4 d时, 总判别率为79.79%; 10 d时, 总判别率始达90%以上, 18 d时, 总判别成功率稳定在100%。在尾椎上翘期以前的各发育期, 总判别率均低于90%, 而鳃二室期之后, 总判别成功率达95%以上。据矢耳石形态, 圆形和近圆形阶段总判别成功率较低, 分别为61%和81%, 在长椭圆形阶段后, 总判别成功率达90%以上。而以体长为基础的判别成功率, 初始总判别成功率便在90%以上。因此, 若以判别率的高低为标准, 则以不同体长组来鉴别鱼苗种类为最佳, 而据耳石形态和发育期来鉴别鱼苗种类, 则具有普遍的适用性。

关键词: 傅立叶; 耳石; 仔稚鱼; 种类判别

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)06-0970-08

有关鱼类早期生活史和渔业资源量的调查研究中, 需要准确鉴定鱼苗(仔、稚鱼)的种类。目前鱼苗鉴别的方法主要是依据各发育期的形态特征, 要求鉴定者对鱼苗各发育期的各个特征都有非常熟悉的了解, 以及较强的实践经验与技能, 非专业人士一般难以胜任。这种传统的鉴别鱼苗的方法, 只能对活体或保存完好的样本进行有效的鉴定, 而对残缺、死亡已久的鱼苗, 以及被摄食的鱼苗等则不能有效鉴定, 而这时耳石几乎是唯一可以辨认的存留物。耳石是位于鱼类内耳中的一种石灰质的凝结物, 其在特征上是相当保守的, 这种保守性可以用以阐明种、属、科之间的关系^[1]。虽然鱼类耳石形态受环境等因素的影响, 但主要还是由鱼类固有的基因所决定^[2]。利用耳石的形态特征, 国外学者对不同鱼类的幼鱼或成鱼的种类^[3-5], 甚至不同的种群进行了判别分析^[6-8], 均

取得了较好的判别效果。近年国内学者也进行了这方面的研究^[9-12], 但利用耳石形态来鉴别鱼苗的种类的研究国内外还未见报道。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)是我国著名的传统养殖对象, 俗称“四大家鱼”, 在淡水渔业中占有很大的比重。由于人类活动影响, 自20世纪70年代初期起, 长江中四大家鱼的资源量不断衰退, 鱼苗产量大幅度下降, 产卵规模不断缩小^[13], 因此, 对其资源的保护和资源量的准确评估是非常紧迫和重要的。

本研究的目的在于弄清鲢、鳙和草鱼耳石的发育过程, 利用傅立叶分析方法(Fourier analysis)对其耳石形态进行分析, 比较在日龄、发育期和体长等方式上对其鱼苗种类判别效果, 探讨耳

收稿日期: 2011-11-30; 修订日期: 2012-02-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39670125); 集美大学科研基金资助项目(C60813).

作者简介: 曾祥波(1975-), 男, 博士, 主要从事鱼类生态学方面的研究. E-mail: qbzeng@jmu.edu.cn

通信作者: 张国华, 研究员. E-mail: Davisgzhang@21cn.com

石形态的分析方法是否适用于鱼苗鉴定, 为家鱼苗及其他鱼苗种类鉴定寻找一条新的途径。

1 材料与方法

1.1 鱼苗来源及饲养管理

实验用鱼苗取自华中农业大学水产试验站人工繁殖的鱼苗。取当天孵化环道中同批脱膜的鱼苗, 充气后运回实验室, 分别用 50 L 左右的圆缸饲养, 用蛋黄和捞取的浮游生物做开口饵料, 之后的饲养过程中, 投喂浮游生物和剪碎的水蚯蚓, 1 天投喂 2 次, 分别为 8:30 和 18:00, 期间用虹吸管吸除残饵与废物, 隔 1~2 d, 用充分曝气的水换水 1/3, 饲养 1 个月左右。

1.2 耳石样品的摘取和保存

以鱼苗脱膜当天为孵出第 1 天, 孵出 20 d 内, 每天取样 1 次, 20 d 后, 间隔 1~2 d 取样; 每天下午 17:00 点开始取样, 每次 35 尾左右, 在 Olympus 双目解剖镜下用圆规及直尺测量其体长, 逐尾鉴定其发育期后, 用 95% 酒精一一对应保存于 0.5~2 mL 的离心管内。发育期的鉴定参照《长江草、青、鲢、鳙四大家鱼早期发育的研究》^[14]。

将保存的样品置于双目解剖镜下, 用解剖针剖开鱼体的听囊, 取出矢耳石(Sagitta), 经无水酒精清洗并晾干后, 用中性树胶封于载玻片上保存。

1.3 耳石的图像拍摄及轮廓数据的傅立叶转换与处理

使用 LEICA GZ6 显微镜上的 LEICA DC 100 型号数字照相机, 拍照过程中, 所有种类及其耳石均采用同一放大倍数。用于傅立叶分析的照片原则上采用左耳石, 极少数个体未采集到左耳石或有损坏或异形现象, 就采用右耳石的图像, 再将图像翻转 180 度成左面镜像的照片。图像按 72 个相同的等份(即以 5° 的角度), 以逆时针方向旋转, 读取图像轮廓数据, 然后写成数据文件(图 1)。

本研究采用 Kuhl 和 Giardina^[15]提出的椭圆傅立叶计算方法, 利用傅立叶分析和数据的标准化程序——EFA 程序(Elliptic Fourier analysis), 对数据文件进行处理, 消除傅立叶形态特征值对耳石图形位置、大小和方向等的敏感性。取前 20 组傅

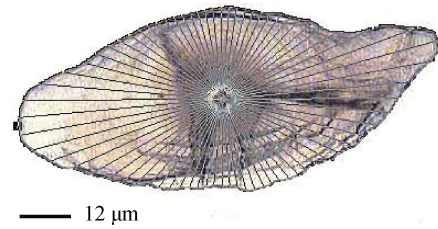


图 1 耳石轮廓获取的示意图

Fig. 1 A demonstration of the drawing otolith's outline

立叶谐值, 每一组谐值由四个形态变量表示, 所得出的谐值经过标准化处理, 标准化后的数据用于分析。数据标准化后, 耳石图形的大小、位置、旋转角度和测量基点对傅立叶谐值已无影响^[15]。

1.4 数据处理方法

采用 Statistica6.0 进行数据处理, 判别分析采用逐步向前分析的方式, 先验分组概率指定为由各类样本量决定。取不同的 F 选入值、剔除值(一般分别为 1、0), 运行后, 将剔除的变量从变量选择栏中去除, 相应地增添新的变量, 直至全部的变量(本文为 77 个)都被引入计算。

2 结果与分析

2.1 矢耳石发育和形态变化

鲢、鳙和草鱼矢耳石的形态发育经历了大致相同的过程。1~8 d, 圆形或近圆形。9~13 d, 椭圆形。14~16 d, 前、后端伸展, 两端圆钝的形状。17~19 d, 中部圆凸, 两端较尖的菱形。20 d 后, 耳石变为—端长尖, 另一端圆钝, 中部两侧有薄片状物突出的长菱形状。从 18 d 起, 矢耳石各部分的结构已初步显露出来, 33 d 时, 已形似箭矢(图版—I)。

2.2 基于日龄的种类判别

取 F 值为 1, 剔除值为 0, 对 25 d 内的矢耳石作逐日作判别分析。由于孵化后前 3 d 的耳石过小, 不易操作, 因此, 这种比较方式从孵化后第 4 天时开始。结果表明, 对这 3 个种类各自的判别成功率和总判别成功率表现出大致相同的判别趋势。5 d 时, 判别成功率几为最低值, 之后, 随着日龄的增加, 判别成功率显著增加, 总判别成功率在 8 d 时已达 90% 以上, 对草鱼和鳙鱼的判别

成功率在 13 d 时便已达 100%，鲢 13~16 d，仍可错判为鳙，18 d 后，总判别成功率便稳定在 100% (表 1)。

2.3 基于矢耳石形态的种类判别

根据矢耳石的形态发育过程，将耳石形态划分为 6 个阶段：圆形(4~7 d)、近圆形(8~10 d)、长椭圆形(11~13 d)、菱形前期(14~16 d)、两端略尖的菱形(17~20 d)和一端长尖的长菱形(21~25 d)。

取 F 的选入值为 1，剔除值为 0，分别对每一阶段作逐步判别分析，并检验其判别方程的可靠性。结果表明，圆形和近圆形阶段总判别成功率较低，分别为 61% 和 81% 左右，长椭圆形阶段后，总判别成功率达 90% 以上(表 2)。

为检验所建立的判别方程的有效性和实用性，分别另取各自耳石用于检验，结果见表 3。圆形和近圆形阶的总检验成功率分别只有 40% 和 60% 左

表 1 孵出后 4~25 d 基于矢耳石性状的日判别成功率

Tab.1 The day classification success based on the sagitta shape variables from the 4th to 25th day after hatching

| 日龄/d day age | 种类判别成功率 species classification success | | | 总判别成功率 total classification success |
|-----------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| | 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> | 鳙 <i>Aristichthys nobilis</i> | |
| 4 | 77.42(31) | 83.87(31) | 77.78(27) | 79.69 |
| 5 | 76.47(34) | 74.19(31) | 74.19(31) | 74.95 |
| 6 | 80.65(31) | 77.5(40) | 73.53(34) | 77.22 |
| 7 | 91.18(34) | 77.5(40) | 81.48(27) | 83.39 |
| 8 | 89.66(29) | 84.38(32) | 96.88(32) | 90.30 |
| 9 | 100.00(34) | 90.91(33) | 87.88(33) | 92.93 |
| 10 | 97.22(36) | 91.43(35) | 85.29(34) | 91.31 |
| 11 | 100.00(36) | 87.5(40) | 96.97(33) | 94.82 |
| 12 | 97.14(34) | 94.59(37) | 94.59(37) | 95.44 |
| 13 | 96.97(32) | 100.00(41) | 100.00(34) | 98.99 |
| 14 | 96.88(31) | 100.00(30) | 100.00(34) | 98.96 |
| 15 | 100.00(34) | 100.00(32) | 100.00(36) | 100.00 |
| 16 | 96.77(30) | 100.00(31) | 100.00(38) | 98.92 |
| 18 | 100.00(25) | 100.00(32) | 100.00(35) | 100.00 |
| 20 | 100.00(30) | 100.00(25) | 100.00(33) | 100.00 |
| 21 | 100.00(32) | 100.00(27) | 100.00(26) | 100.00 |
| 23 | 100.00(29) | 100.00(19) | 100.00(15) | 100.00 |
| 25 | 100.00(21) | 100.00(17) | 100.00(17) | 100.00 |

注：括号内数字为样本数。

Note: The numbers in brackets are sampling numbers.

表 2 矢耳石各形态阶段的判别成功率

Tab. 2 Classification success based on the morphology development stage of the sagitta

| 耳石形态 otolith morphology | 种类判别成功率 species classification success | | | 总判别成功率 total classification success |
|---------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| | 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> | 鳙 <i>Aristichthys nobilis</i> | |
| 圆形 round shape | 66.67 (105) | 56.14 (114) | 60.64 (90) | 61.02 |
| 近圆形 near-round shape | 77.50 (80) | 85.00 (80) | 82.28 (79) | 81.59 |
| 长椭圆形 oval shape | 89.29 (94) | 91.84 (98) | 89.29 (84) | 90.23 |
| 菱形前期 rhombic prophase | 97.40 (77) | 97.26 (73) | 97.73 (88) | 97.48 |
| 菱形 rhombic shape | 95.56 (45) | 100.00 (102) | 100.00 (114) | 99.23 |
| 长尖菱形 needle rhombic shape | 100.00 (62) | 100.00 (43) | 100.00 (38) | 100.00 |

注：括号内数字为样本数。

Note: The numbers in brackets are sampling numbers.

右, 长椭圆形阶段后, 总检验成功率可达 80% 以上(表 3)。结果显示, 利用这种方式进行种类判别, 只在长椭圆形阶段后, 才具有实际的应用价值。

2.4 基于各发育期矢耳石性状的种类判别

由于鳔一室期之前的发育期多不足 24 h, 因此只进行了鳔一室期之后的判别分析。基于各发育期的种类判别成功率见表 4。总判别成功率随着鱼苗的发育而逐渐增加, 在鳔一室期和卵黄吸尽期判别成功率较低, 均只有 61% 左右, 至鳔二室期时, 总判别成功率已达 95% 以上, 臀鳍形成

期时, 总判别成功率可达 100%。

2.5 基于不同体长组的种类判别

以孵出后 4 d 时鱮鱼的最低体长 8.60 mm 作为起始体长, 按不同的体长间隔分成不同的体长组, 在相同的体长范围内, 对 3 个种类进行判别分析, 总判别成功率初始就达到 90% 以上(表 5)。

3 讨论

胚胎期、仔鱼期、稚鱼期这 3 发育期统称为鱼类早期生活史阶段, 这个阶段时间不长, 2~3

表 3 矢耳石各形态阶段判别分析的检验成功率

Tab.3 The test success from the discriminant analysis based on the morphology development stage of the sagitta %

| 耳石形态 otolith morphology | 种类检验成功率 test success | | | 总检验成功率 total test success |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | 鲢 | 草鱼 | 鱮 | |
| | <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | <i>Ctenopharyngodon idellus</i> | <i>Aristichthys nobilis</i> | |
| 圆形 round shape | 36.00 (25) | 44.00 (25) | 28.00 (25) | 36.00 |
| 近圆形 near round shape | 60.00 (20) | 55.00 (20) | 55.00(20) | 56.67 |
| 长椭圆形 oval shape | 70.00(20) | 95.00 (20) | 75.00(20) | 80.00 |
| 菱形前期 rhombic prophase | 90.00 (20) | 90.00 (20) | 95.00 (20) | 91.66 |
| 菱形 rhombic shape | 70.00 (10) | 85.00 (20) | 100.00 (20) | 85.00 |
| 长尖菱形 needle rhombic shape | 90.00 (20) | 90.00 (20) | 100.00 (20) | 93.33 |

注: 括号内数字为样本数.

Note: The numbers in brackets are sampling numbers.

表 4 基于各发育期矢耳石性状的判别成功率

Tab. 4 The classification success based on the sagitta shape variables at separate development stage %

| 发育期 development stage | 种类判别成功率 species classification success | | | 总判别成功率 total classification success |
|---|--|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | 鲢 | 草鱼 | 鱮 | |
| | <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | <i>Ctenopharyngodon idellus</i> | <i>Aristichthys nobilis</i> | |
| 鳔一室期 one chamber air bladder stage | 51.61 (31) | 66.10(59) | 67.24(58) | 61.65 |
| 卵黄吸尽期 exhaustion of yolk stage | 54.69(64) | 58.75(80) | 71.72(99) | 61.72 |
| 背鳍分化期 differentiation of dorsal fin stage | 67.50(80) | 72.45(98) | 90.16(61) | 76.70 |
| 尾椎上翘期 chordal tip lifting stage | 81.63(49) | 93.42(76) | 77.05(61) | 84.03 |
| 鳔二室期 two chamber air bladder stage | 98.44(63) | 98.11(53) | 96.08(51) | 97.54 |
| 腹鳍芽期 ventral fin bud stage | 98.32(119) | 97.14(102) | 92.19(128) | 95.88 |
| 背鳍形成期 formation of dorsal fin stage | 98.41(63) | 100.00(93) | 98.85(87) | 99.09 |
| 臀鳍形成期 formation of anal fin stage | 100.00(36) | 100.00(36) | 100.00(43) | 100.00 |
| 腹鳍形成期 formation of ventral fin stage | 100.00(44) | 100.00(23) | 100.00(23) | 100.00 |

注: 括号内数字为样本数.

Note: The numbers in brackets are sampling numbers.

表 5 不同体长组基于矢耳石性状的判别成功率
 Tab.5 Classification success based on the sagitta shape variables within different body length groups

| 体长组/cm body length group | 种类判别成功率 species classification success | | | 总判别成功率 total classification success |
|-----------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------|--|
| | 鲢 | 草鱼 | 鳙 | |
| | <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | <i>Ctenopharyngodon idellus</i> | <i>Aristichthys nobilis</i> | |
| 0.86~0.90 | 83.33 (42) | 100.00 (31) | 91.18 (34) | 90.65 |
| 0.90~1.00 | 83.95 (81) | 93.75 (48) | 93.44 (122) | 90.44 |
| 1.00~1.10 | 98.28 (58) | 100.00 (49) | 96.88 (64) | 98.25 |
| 1.10~1.20 | 97.06 (34) | 100.00 (38) | 100.00 (43) | 99.13 |
| 1.20~1.30 | 100.00 (35) | 100.00 (26) | 100.00 (33) | 100.00 |
| 1.30~1.45 | 97.22 (36) | 100.00 (71) | 98.11 (53) | 98.75 |
| 1.45~1.75 | 98.53 (68) | 100.00 (86) | 99.07 (108) | 99.24 |
| 1.75 ~2.15 | 100.00(74) | 100.00(34) | 100.00 (61) | 100.00 |

注：括号内数字为样本数。

Note: The numbers in brackets are sampling numbers.

个月，但在鱼的一生中是变化最剧烈的时期，其成活率的大小将影响到今后种群的数量。因此，确研究鱼类早期的生长率与死亡率，对正确评估渔业环境及其资源量的补充等是非常重要的。而传统的鉴别鱼苗的方法，不仅繁琐费时，而且只能由专业人士进行。因此，寻找一条较为简便的鉴别方法是值得进行摸索研究的。

矢耳石(sagitta)和微耳石(lapillus)一般在鱼类胚胎期即已出现，星耳石(Asteriscus)多出现较晚，如，本研究中，鲢、草鱼和鳙的星耳石均在孵出后 10 天才出现，而微耳石形态相对稳定，因此，本研究选择矢耳石作为研究材料。鲢、鳙和草鱼的矢耳石形态，都由初孵仔鱼的圆形或近圆形，经过椭圆形、菱形，最后渐变为前端长尖后端圆钝的长箭矢形。这在其它鱼类也有类似报道，如鲫鱼(*Carassius auratus*)^[16]，南极银鳕(*Notothenia larseni*)^[17]，公鱼(*Hypomesus olidus*)^[18]，香鱼(*Plecoglossus altivelis*)^[19]，唐鱼(*Tanichthys albonube*)^[20]，叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)^[21]及条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[22]。这种形态的变化可能是鱼类矢耳石发育过程中普遍存在的现象。虽然，这些鱼类矢耳石形态发育经过了这些类似的阶段，但在椭圆形阶段后，则表现出了明显的种类差异特征。鲢、草鱼和鳙的矢耳石形态无论在哪个阶段，尽管都非常的相似，但判别结果表明，以日龄为基础的总判别成功率表现出了

随日龄而增加的趋势。孵化后 4d 时，判别成功率为 79.79%；7 d 时，判别成功率升至 83.17%，10 d 时，判别成功率始达 90% 以上，13 d 时，判别成功率达 95% 以上，18 d 时，判别成功率稳定在 100%。矢耳石在鳙一室期至尾椎上翘期这 4 个发育期内，对应日龄为孵化后 11d 之前，判别成功率均低于 90%，而鳙二室期时，总判别成功率达 95% 以上。而以体长为基础的判别成功率，初始判别成功率便在 90% 以上。因此，若以判别率的高低为标准，则以体长组来鉴别鱼苗种类为最佳。

以发育期来鉴别种类，从判别成功率上来讲，初始并没有多大的优势，但其代表了鱼体本身的发育阶段，通常的鱼苗种类的鉴别方法，便是以这些发育期的形态特征为基础的，在相同的发育期内，利用耳石形态来鉴别种类，有助于同形态特征的鉴别结果作验证与比较，同时，对于形态特征非常相似的种类，其耳石特征可能有较大的差异，因此，在相同的发育期内，利用耳石形态来进行比较与鉴别，也不失为一条新的途径。但当鱼体体长数据及发育期情况无法获得时，能依据的只有耳石自身的形态，虽然多数鱼类耳石已被证实具有沉积日轮的特性，但要准确鉴定其日龄，也是较为繁琐的。故据耳石形态来分组鉴定，应是实际可行的，应用起来较为简便。本文将白鲢、草鱼和鳙鱼的矢耳石划分为 6 个阶段，圆形和近圆形阶段总判别成功率较低，分别为 61% 和

81%左右,总检验成功率更低,分别只有40%和60%左右,而在长椭圆形阶段时,检验成功率已达80%以上,利用这种方式进行种类判别,只在长椭圆形阶段之后,才具有可靠的实际的应用价值。

综上所述,当体长数据可得时,在以体长为基础的判别方式上,由于不同种类鱼苗的耳石可能处于不同的发育阶段,因此,具有最好的判别效果;而据发育期和耳石形态来鉴别种类,则具有普遍的适用性,而圆形和近圆形阶段,由于各种类间的差别不大,因此,这种据耳石的外形特征来鉴别早期鱼苗的种类的方法,则不是很适合。相关研究表明,不同种类的鱼类在耳石中心核、耳石原基以及日轮沉积规律等耳石微结构方面存在着一定的差异^[22],而一些研究利用耳石元素微化学分析对鱼类的种群进行了有效的鉴定^[23-24]。因此,通过耳石微结构或耳石元素分析,对早期鱼苗进行鉴定,可能是值得尝试的新途径,这有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] Gaemers P A M. Taxonomic position of the Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths[J]. Neth J Zool, 1984, 34: 566-595.
- [2] Hüsey K. Otolith shape in juvenile cod(*Gadus morhua*): Ontogenetic and environmental effects[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2008, 364: 35-41.
- [3] L'Abée-Lund J H. Otolith shape discriminates between juvenile atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L[J]. J Fish Biol, 1988, 33: 899-903.
- [4] Torres G J, Lombarte A, Morales-Nin B. Sagittal otolith size and shape variability to identify geographical intraspecific differences in three species of the genus *Merluccius*[J]. J Mar Biol Assoc U K, 2000, 80: 333-342.
- [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: 316-325.
- [6] Cadrin S X, Friedland K D. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification[J]. Fish Res, 1999, 43: 129-139.
- [7] 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: 138-147.
- [8] Agüera A, Brophy D. Use of sagittal otolith shape analysis to discriminate Northeast Atlantic and Mediterranean stocks of Atlantic saury, *Scorpaenopsis scorpaenoides* (Walbaum) [J]. Fish Res, 2011, 110: 465-471.
- [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] 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.
- [11] 郭弘芝, 魏凯, 唐文乔, 等. 基于矢耳石形态特征的中国鲚属鱼类种类识别[J]. 动物分类学报, 2010, 35(1): 127-134.
- [12] 潘晓哲, 高天翔. 基于耳石形态的鱈属鱼类鉴别[J]. 动物分类学报, 2010, 35(4): 799-805.
- [13] 余志堂, 邓中焱, 许蕴轩, 等. 葛洲坝枢纽兴建后长江干流四大家鱼产卵场的现状及工程对家鱼繁殖影响的评价[A]. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼[C]. 湖北: 湖北科学技术出版社, 1988: 47-68.
- [14] 易伯鲁, 梁秩燊, 余志堂, 等. 长江草、青、鲢、鳙四大家鱼早期发育的研究[A]. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼[C]. 湖北: 湖北科学技术出版社, 1988: 69-116.
- [15] Kuhl F P, Giardina C R. Elliptic Fourier features of a closed contour[J]. Comput Graph Image Process, 1982, 18: 236-258.
- [16] Mugiya Y, Tanaka S. Otolith development, increment formation, and an uncoupling of otolith to somatic growth rates in larval and juvenile goldfish[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58: 845-851.
- [17] Radtke R L, Hubold G, Folsom S D, et al. Otolith structure and chemical analyses the key to resolving age and growth of the Antarctic silverfish, *Pleuragramma antarcticum*[J]. Antarc Sci, 1993, 5: 51-62.
- [18] 解玉浩, 李勃, 王国恩. 池沼公鱼耳石日轮的观察研究[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 402-407.
- [19] 解玉浩, 李勃, 富丽静, 等. 鸭绿江香鱼耳石日轮与生长的研究[J]. 动物学报, 1995, 41 (2): 125-132.
- [20] 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.
- [21] 赵天, 陈国柱, 林小涛. 叉尾斗鱼仔鱼耳石形态发育与日轮形成特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1364-1368.
- [22] 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): 320-327.

- [23] Veinott G, Porter R. Using otolith microchemistry to distinguish Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr from different natal streams[J]. *Fish Res*, 2005, 71: 349–355.
- [24] Correia A T, Barros F, Sial A N. Stock discrimination of European conger eel (*Conger conger* L.) using otolith stable isotope ratios[J]. *Fish Res*, 2011, 108: 88–94.

Species identification at the larval and juvenile stages for several Chinese domestic fishes by elliptical Fourier analysis of otolith form

ZENG Xiangbo¹, ZHANG Guohua²

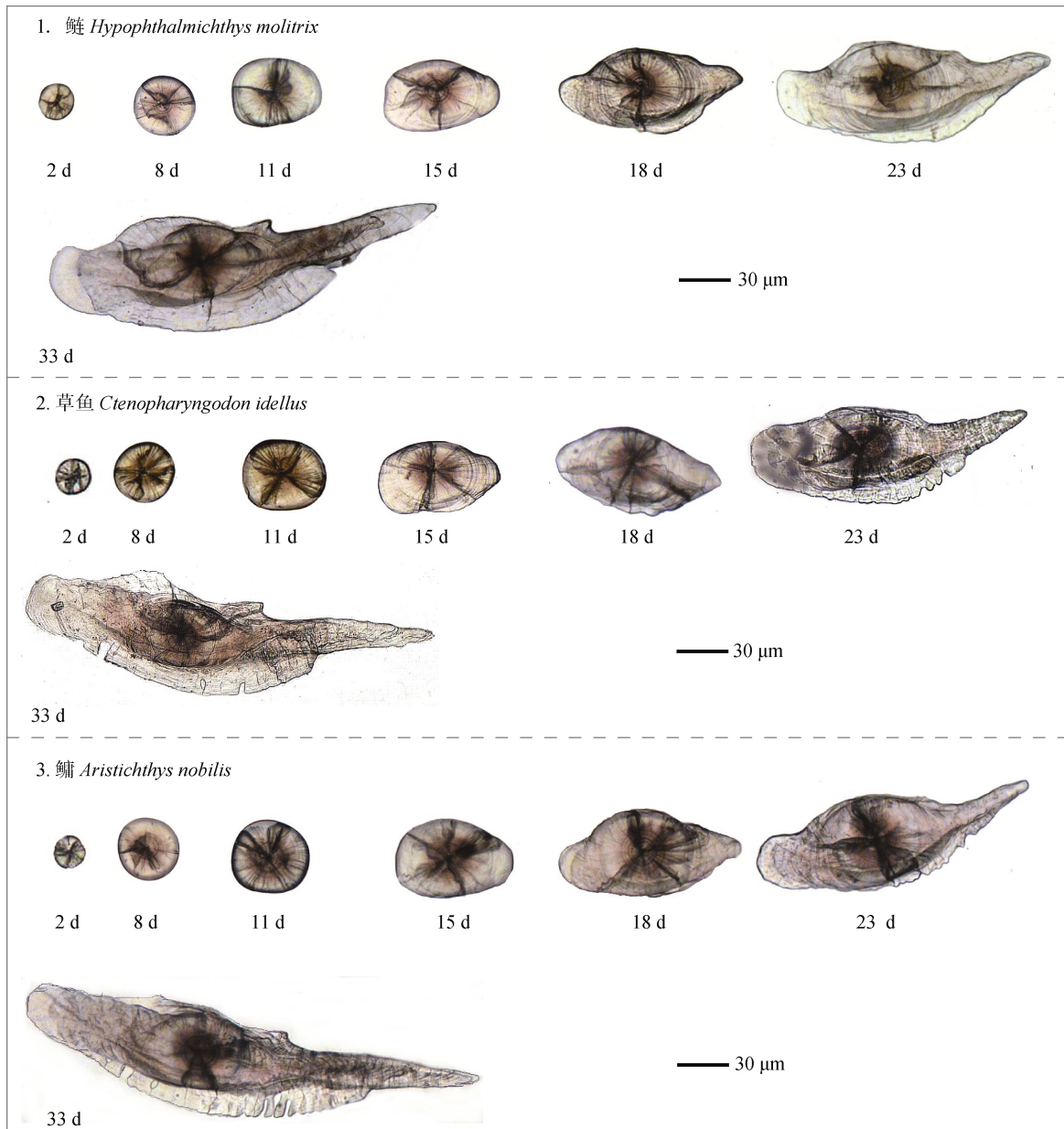
1. Fisheries College of Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China

Abstract: The sagitta morphological development of laboratory cultured *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, and *Ctenopharyngodon idellus* during the postembryonic development stage was studied. Stepwise discriminant analysis was used to distinguish these three species based on the day ages after hatching, sagitta shapes, postembryonic development stages and different body length groups by elliptical Fourier analysis of otolith morphology. The results showed that the total classification success (%) all increased gradually. The classification success was 79.79% on the fourth day after hatching, above 90% on the tenth day after hatching, and up to 100% after 18 days. The classification success was below 90% before the chordal tip lifting stage and above 95% after the two chamber air bladder stage. According to the sagitta morphology, the classification success at round and near round stages was 61% and 81%, respectively, but was over 90% after the oval stage. The classification success based on different body length groups was initially over 90%. So, if only compared by classification success, the approach based on different body length groups performed the best. The approach based on sagitta morphology and postembryonic development stages was more general in use.

Key words: Fourier shape analysis; otolith; larval and juvenile; species identification

Corresponding author: ZHANG Guohua. E-mail: Davisgzhang@21cn.com



图版 I 3 种家鱼的矢耳石发育图

Plate I Sagitta otoliths ontogeny of the three domestic fishes