

刘守海, 杨旖祎, 何彦龙, 等. 基于 DNA 条形码的长江口鱼类浮游生物形态分类研究[J]. 海洋学报, 2021, 43(8): 93–104, doi:10.12284/hyxb2021062

Liu Shouhai, Yang Yiyi, He Yanlong, et al. Morphological classification of ichthyoplankton in the Changjiang River Estuary based on DNA barcoding[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(8): 93–104, doi:10.12284/hyxb2021062

基于 DNA 条形码的长江口鱼类浮游生物形态分类研究

刘守海^{1,2}, 杨旖祎^{1,2}, 何彦龙^{1,2}, 季晓^{1,2}, 王宇坛^{1,2}, 张海景³,
毛如意^{1,2}, 蒋晓山^{1,2}, 程祥圣^{1,2*}

(1. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 201206; 2. 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室, 上海 201206; 3. 国家海洋局东海海洋环境调查勘察中心, 上海 200137)

摘要: DNA 条形码技术是利用一段较短的 DNA 序列实现快速准确物种鉴定的工具。本研究采用传统形态学和 DNA 条形码技术相结合, 对长江口及其邻近水域的鱼类浮游生物种类进行准确鉴定, 并对部分种类仔稚鱼进行了形态学描述。结果表明: 2016 年春、夏季和 2017 年夏季共获得鱼类浮游生物 55 种, 隶属 9 目 19 科。其中鲈形目种类数最多, 为 35 种。鱼类浮游生物在类群上季节变化不明显, 但在种类上有明显的季节变化。仅有凤鲚 (*Coilia mystus*)、日本鳀 (*Engraulis japonius*) 和小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 在春、夏季同时出现。首次描述了龙头鱼 (*Harpadon nehereus*) 仔、稚鱼阶段的形态特征; 对龙头鱼、前鳞龟鲛 (*Chelon affinis*)、四指马鲛 (*Eleutheronema tetradactylum*)、少鳞鳢 (*Sillago japonica*) 和日本须鲷 (*Paraplagusia japonica*) 这 5 种仔、稚鱼的可量性状、鳍的发育、黑色素的分布等情况进行了描述, 绘制了仔、稚鱼形态图。以上研究可为河口鱼类育幼场的研究提供科学依据, 也为鱼类早期发育阶段分类资料的积累探索新途径。

关键词: 长江口; 鱼卵仔鱼; 形态学; DNA 条形码

中图分类号: Q954.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)08-0093-12

1 引言

鱼类浮游生物 (Ichthyoplankton) 是鱼卵、仔鱼和稚鱼的统一简称, 鱼卵和仔、稚鱼是鱼类生活史早期发育的重要阶段。作为鱼类种群补充的重要来源, 它们的种类分布和数量变化是评估海域鱼类产卵场、亲鱼资源量和渔业资源补充量最直接有效的数据资料之一。仔、稚鱼既是生物能的消费者, 又是生物能的转换器, 是海洋食物链中的重要环节之一, 基于此, 鱼类浮游生物已成为海洋生物多样性与海洋生态学的重要研究对象^[1]。准确鉴定鱼类浮游生物是开展这

些研究的基础。鱼类发育过程的形态变化非常复杂, 因此, 如何系统准确地找出各发育阶段的形态变化、找出最基本的特征是这一基础的前提。通过传统形态学方法来认识鱼类早期发育变化的方法有 3 种^[2]: 第 1 种是人工授精法, 通过对某种成鱼进行人工授精获得的样品与天然采集到的样品进行比较来鉴别种类^[3-4], 这种方法鉴定的种类是绝对可靠的, 但往往受海上条件所限, 在海上进行现场人工授精是比较困难的; 第 2 种方法是动态研究法, 即用大量不同大小的标本, 按发育期先、后进行追踪观察, 比较形态和器官的发育差异, 以形态进行分类^[5-8]; 第 3 种方法是静态研究法, 是以单个个体完整性为重点, 追寻个体形

收稿日期: 2020-08-21; 修订日期: 2020-12-25。

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2016YFC1402305, 2016YFC1402103, 2016YFC1402201, 2016YHC1402405); 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室开放基金课题 (202007, 202010); 东海分局青年海洋科技基金 (201801)。

作者简介: 刘守海 (1986—), 男, 浙江省温岭市人, 工程师, 从事海洋鱼类浮游生物研究。E-mail: liush@ecs.mnr.gov.cn

* 通信作者: 程祥圣, 男, 教授级高级工程师, 主要从事海洋生态环境研究。E-mail: chengxs@ecs.mnr.gov.cn

态发育阶段的主要特征,其优点是仅用少数标本便可进行鉴定分类,但此方法要求鉴定者非常熟悉各科、属、种的幼体形态特征^[9]。

随着科学技术的进步,鱼类浮游生物鉴定工作的准确性得到很大的提升,如扫描电镜技术的发展让研究者可以通过电子显微镜观察鱼卵的卵膜结构来进行种类的鉴定^[10-12]。近年来,随着 DNA 条形码(DNA barcoding)技术在鱼类鉴定研究中广泛应用^[13],更多学者尝试利用 DNA 条形码对鱼类浮游生物进行种类鉴定。Pegg 等^[14]利用 CO I 基因对澳大利亚南部大堡礁的仔鱼进行了鉴定。Valdez-Moreno 等^[15]利用 DNA 条形码对墨西哥尤卡坦半岛附近海域的成鱼和仔鱼(早期鱼类)进行种类鉴定研究。Ko 等^[16]应用 DNA 条形码评估了 5 家研究机构仔鱼形态鉴定结果的精确度,通过 DNA 条形码鉴定到种水平的仔鱼占 69%。该研究认为, DNA 条形码技术是种类鉴定的最好方法之一。周美玉等^[17]将从形态学特征鉴定为 2 种类型鱼卵和 3 种类型仔、稚鱼的样品,应用 DNA 条形码技术分析鉴定出鱼卵种类为 3 种、仔、稚鱼种类为 4 种。刘守海等^[18]通过 DNA 条形码技术鉴定调查所获得的 7 目 10 科样品,鉴定到种的比例高达 94.7%。周晓梦等^[19]应用 DNA 条形码和形态对短吻红舌鳎(*Cynoglossus joyneri*)鱼卵、仔鱼进行了鉴定。以上结果说明, DNA 条形码应用于鱼卵和仔、稚鱼的鉴定可大大提高种类鉴定结果的精确性,这些研究大大提高了鱼类浮游生物的鉴别准确性。

长江口水域由于长江径流带来了大量的营养物质,孕育了丰富的饵料资源,使之成为多种经济鱼类的产卵、育幼和索饵的重要场所^[20]。长江口的鱼类浮游生物研究始于 20 世纪 80 年代^[21-24],长江口共有鱼类浮游生物 56 科 123 种,其中鉴定到种为 93 种,鉴定到属为 6 种,鉴定到科为 17 种,未定种为 7 种。以上调查皆通过形态获得种类鉴定结果,且有一定比例的种类未定到种。本文以 2016 年 5 月和 8 月及 2017 年 8 月长江口及其邻近海域的仔、稚鱼样品为材料,采用形态学与 DNA 条形码相结合的形式进行鱼类浮游生物分类研究,获得了长江口春夏季鱼类浮游生物物种名录,通过摄影、绘图等手段,记录并描述报道较少种类的鱼类早期发育阶段的形态特征,为河口鱼类育幼场的研究提供了科学依据,也为鱼类早期发育阶段资料的积累探索了新途径。

2 材料与方法

2.1 样品采集和形态学鉴定

于 2016 年 5 月、8 月以及 2017 年 8 月在长江口

及其邻近海域设置采样站点(图 1),按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)使用浅水 I 型网(网长为 145 cm、网口内径为 50 cm、网口面积为 0.5 m²、筛绢孔径为 0.505 mm)和大型浮游生物网(网长为 280 cm、网口内径为 80 cm、网口面积为 0.5 m²、筛绢孔径为 0.505 mm)在站点分别进行垂直拖网和水平拖网。采集到的标本现场进行初步处理,用无水乙醇保存。

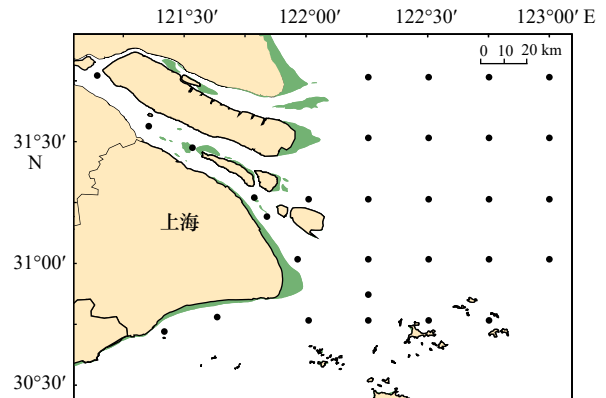


图 1 长江口海域采样站点图

Fig. 1 Sampling stations in the Changjiang River Estuary

在室内 Nikon SMZ 25 体视显微镜(尼康,日本)下,根据鱼卵和仔、稚鱼形态特征,对样品进行初步鉴定^[2,25]。用 NIS-Elements D 软件进行拍照并获取体长、头长、眼径等参数。从形态鉴定结果中,按 1~10、10~50、50~100、大于 100 的数量组,分别取 1 个、3 个、5 个、10 个个体进行 DNA 条形码分子实验。

2.2 DNA 条形码分析方法

鱼卵取单个整粒鱼卵,体长小的仔鱼取整条,较大的仔、稚鱼取尾部。取肌肉约 100 mg,使用海洋动物组织基因组 DNA 提取试剂盒(北京天根生化科技有限公司)提取总 DNA。使用通用引物 F1: TCR ACY AAY CAY AAA GAY ATY GGC AC 和 R1: TAG ACT TCW GGG TGR CCR AAG AAT CA 扩增仔、稚鱼的线粒体 DNA 的 CO I 部分序列,PCR 总反应体系为 50 μL,其中包括: 10×PCR 缓冲液 5 μL、dNTP 4 μL(浓度为 2.5 mmol/L)、上下游引物各 2 μL(浓度为 10 mmol/L)、Taq DNA 聚合酶 0.8 μL(浓度为 5 U/μL)、模板 DNA 1 μL,加双蒸水至总体积 50 μL。样品在 AG-22331 型 PCR 仪上进行扩增,94℃ 预变性 5 min; 94℃ 变性 30 s、52℃ 退火 45 s、72℃ 延伸 1 min, 35 个循环; 72℃ 延伸 10 min; 4℃ 保存。扩增产物使用 1.0% 的琼脂糖凝胶电泳检测后送至上海杰李生物技术有限公司胶回收双向测序后拼接。

2.3 数据处理

利用 DNASTar 软件包对测得的序列和 GenBank

下载序列进行校对,用Clustal X对所有序列进行比对排序并去除两端冗余列。将确定有效的CO I基因序列在Bold System(Barcode of Life Data System)数据库和GenBank中进行BLAST分析来物种鉴定。采用遗传相似度不低于99%的为同一物种,92%~99%为同一属,85%~92%为同一科的标准对本调查海域的鱼类浮游生物进行种类鉴定^[13,16],对于比对到不同物种上的序列,进一步通过构建系统发育关系树来确定物种。结果按照《拉汉世界鱼类名典》^[26]进行同种异名的校正。

3 结果与分析

3.1 2016–2017年长江口及邻近海域鱼类浮游生物种类组成

2016年5月、8月以及2017年8月,调查共获得鱼类浮游生物9目19科55种,其中鉴定到种的有45种,鉴定到属的有5种,鉴定到科的有5种,鉴定到种的比例为81.8%。鲈形目种类数最多有33种,其次是鲤形目有6种,鲱形目和鲽形目含有相同种类数都为4种,鲻形目2种,鲀形目2种,鲉形目2种,鳗鲡目1种,仙女鱼目1种。在鲈形目中,以虾虎鱼科和石首鱼科最多,两者占鲈形目种类的近80%(表1)。

从种类组成的季节分布来看,鱼类浮游生物类群的季节变化不明显,其中,以鲤形目的鲤科,鲱形目的鳀科,鲈形目的石首鱼科和虾虎鱼科为主。但在种类上有明显的季节变化,夏季鱼类浮游生物种类数多于春季。在5月和8月均出现的种类仅有凤鲚(*Coilia mystus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)。仅在5月出现的种类有16种,以淡水的鲤科和咸淡水的虾虎鱼科为主,包括鲤科的鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、鳊鱼(*Parabramis peknensis*)、虾虎鱼科的斑点竿虾虎鱼(*Luciogobius guttatus*)、睛尾蝌蚪虾虎鱼(*Lophiogobius ocellicauda*)、斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)等。仅在8月出现的种类有36种,以虾虎鱼科(14个)、石首鱼科(6个)和鲤科(3个)为主。包括鲤科的寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulis*)、银飘鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、石首鱼科的棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、叫姑鱼(*Johnius grypotus*)、鲉(*Miichthys miiuy*)、虾虎鱼科的阿部氏鲯虾虎鱼(*Mugilogobius abei*)、髯缟虾虎鱼(*Tridentiger barbatus*)、孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)、拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*)等。

3.2 形态描述

我国已知海洋鱼类已超3000种,但资料可查的

鱼卵与仔、稚鱼种类不超过300种^[2,27]。在传统方法研究下,一些仔、稚鱼常见种或隐存种^[18],如龙头鱼(*Harpadon nehereus*)、前鳞龟鲟(*Chelon affinis*),没有得到认识。仔、稚鱼发育是连续变化的一个过程,目前有很多种类只有某个阶段的形态特征描述及图谱^[28],如四指马鲛(*Eleutheronema tetradactylum*)、少鳞鱈等。因此,本文选择之前报道较少种类进行形态特征描述,并绘制手绘图,获得分类鉴定资料。

3.2.1 龙头鱼 *Harpadon nehereus* (Hamilton 1822)

(1) 分类地位

仙女鱼目 Aulopiformes, 狗母鱼科 Synodontidae, 龙头鱼属 *Harpadon*。

(2) 参考序列

JX534239, KP112261。

(3) 形态特征

全长为5.97 mm, 体长为5.82 mm。卵黄囊已全部吸收。头长为0.83 mm, 占体长的14.3%, 眼径为0.29 mm, 占头长的34.9%。眼变黑, 口、咽、消化道已经相通, 消化道细长, 自胸鳍基至肛门处的消化道背缘两侧有3对椭圆形黑色素斑块, 3对色素斑呈等间隔分布。肛门位于体中央稍后。肛前距为4.11 mm, 占体长的70.6%。肛后尾部腹缘有1个菊花状黑色素。尾端脊索平直。背部鳍膜起始于颅顶, 然后向后一直延伸到尾部鳍膜, 无色透明, 腹部鳍膜起点略低于背部鳍膜(附图A1a)。

全长为9.75 mm, 体长为9.24 mm。头长为1.25 mm, 占体长的13.5%, 眼径为0.47 mm, 占头长的37.6%。口裂增大。胸鳍基至肛门前共有5对椭圆形黑色素斑块, 在原来第1对、第2对之间和原来第3对后面, 各增加1对色素斑。肛门位于体中央稍后。肛前距为6.84 mm, 占体长的74.0%。肛后尾部腹缘有1个菊花状黑色素。脊索向上翘。臀鳍鳍条出现, 尾鳍有20~22鳍条(附图A1b)。

全长为30.55 mm, 体长为26.35 mm。头长为3.94 mm, 占体长的15.0%, 眼径为1.31 mm, 占头长的33.2%。肛门前共有6对椭圆形黑色素斑块, 胸鳍前增加1对黑色素斑。肛门位于体中央稍后。肛前距为19.34 mm, 占体长的73.4%。肛后尾部腹缘菊花状黑色素消失。第一背鳍10鳍条, 脂鳍出现, 腹鳍鳍条形成。尾鳍基底出现4个较小斑块状色素(附图A1c)。

全长为40.37 mm, 体长为34.27 mm。头长为6.73 mm, 占体长的19.6%, 眼径为1.25 mm, 占头长的18.6%。两侧至肛门前共有7对黑色素斑。肛门位于体中央稍后。肛前距为25.81 mm, 占体长的75.3%。第一背

鳍 12 鳍条, 脂鳍始点在臀鳍中间位置。腹鳍 15 鳍条。臀鳍 8 鳍条。尾鳍基底 4 个黑色素块消失 2 个, 仅剩 2 处较小斑块状色素(附图 A1d)。

(4) 研究概况

有关龙头鱼早期生活史的研究, Delsman^[29] 记录了 0.8 mm 的龙头鱼鱼卵; 冲山宗雄^[9] 对日本海域体长为 25~30 mm 的龙头鱼稚鱼的形态作过描述。本文描述龙头鱼从仔鱼到稚鱼(体长为 5.82~34.27 mm) 的个体发育形态, 补充了仔、稚鱼形态特征变化的描述。

3.2.2 前鳞龟鲷 *Chelon affinis* (Günther 1861)

(1) 分类地位

鲷形目 Mugiliformes, 鲷科 Mugilidae, 龟鲷属 *Chelon*。

(2) 参考序列

JF911709。

(3) 形态特征

全长为 26.54 mm, 体长为 21.82 mm。头长为 6.51 mm, 占体长的 29.8%, 眼径为 2.13 mm, 占头长的 32.7%。上下颌有色素, 自头后至尾柄的体侧中轴以上星状、树枝状和菊花状色素不规则分布。臀鳍基部分布树枝状和菊花状色素。肛门位于体中央稍后。肛前距为 15.00 mm, 占体长的 68.7%。所有鳍条都已形成。背鳍 2 个, 第一背鳍 II 鳍棘 5 鳍条, 第二背鳍 II 鳍棘 7 鳍条。臀鳍起始位置比第二背鳍起点略靠前, 臀鳍 II 鳍棘 12 鳍条(附图 A2)。

(4) 研究概况

冲山宗雄^[9] 对日本海域体长为 4.1~12.0 mm 的前鳞龟鲷形态作过描述。国内未见前鳞龟鲷早期生活史的研究报道。本文描述了体长为 21.82 mm 前鳞龟鲷稚鱼的形态。

3.2.3 四指马鲛 *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw 1804)

(1) 分类地位

鲈形目 Perciformes, 马鲛科 Polynemidae, 四指马鲛属 *Eleutheronema*。

(2) 参考序列

KC878730。

(3) 形态特征

全长为 11.18 mm, 体长为 9.88 mm。体前部呈椭圆形, 头较大, 头长为 3.02 mm, 占体长的 30.6%, 眼径为 0.69 mm, 占头长的 22.8%。吻钝圆, 上颌骨有左右对称的 1 对黑色素。肛门位置约为体中部, 肛前距为 5.68 mm, 占体长的 57.5%。脊索尾椎骨向上弯曲。背鳍 2 个, 第一背鳍 VI 鳍棘, 第二背鳍 I 鳍棘 15 鳍条。

臀鳍位置与第二背鳍相对应, 臀鳍 II 鳍棘 17 鳍条。腹部胸鳍下方有 1 个黑色素。臀鳍基有 1 排黑色素, 始于臀鳍中部, 约 10 个(附图 A3)。

(4) 研究概况

有关四指马鲛早期生活史的研究, 多以人工培育下四指马鲛早期发育的形态及生长的观察为主^[30-32]。王晓东^[33] 描述了全长为 13.4 mm 四指马鲛稚鱼的形态, 各鳍鳍条数目基本稳定, 鳞片开始出现。本文较详细描述了体长为 9.88 mm 四指马鲛稚鱼的形态, 发现臀鳍基有 1 排黑色素, 始于臀鳍中部, 约 10 个。

3.2.4 少鳞鳢 *Sillago japonica* (Temminck et Schlegel 1843)

(1) 分类地位

鲈形目 Perciformes, 鳢科 Sillaginidae, 鳢属 *Sillago*。

(2) 参考序列

AP017438。

(3) 形态特征

全长为 13.89 mm, 体长为 12.71 mm。头长为 3.35 mm, 占体长的 26.4%, 眼径为 1.15 mm, 占头长的 34.3%。头部眼后方有数个小块状黑色素, 下颚、腹部正中、臀鳍基底有点状黑色素分布, 尾柄背缘、腹缘及体侧正中线有斑块状黑色素分布, 尾鳍基底出现 2 丛黑色素。肛门位于体中央略前。肛前距为 6.07 mm, 占体长的 47.8%。第一背鳍 VIII 鳍棘, 第二背鳍 19 鳍条, 胸鳍、腹鳍、臀鳍和尾鳍鳍条已形成(附图 A4)。

(4) 研究概况

有关少鳞鳢早期生活史的研究, 水戸敏^[34-35] 对日本福冈外海的少鳞鳢进行了人工授精、孵化实验, 详细描述了鱼卵和仔、稚鱼的发育与形态; 冲山宗雄^[9] 对体长为 2.6~16.5 mm 的少鳞鳢仔、稚鱼的形态作过描述; 王晓东^[33] 描述了全长为 6.5~16.5 mm 少鳞鳢仔稚鱼的形态。本文描述了体长为 12.71 mm 少鳞鳢稚鱼的形态, 发现尾柄背缘、腹缘及体侧正中线有斑块状黑色素分布, 尾鳍基底出现 2 丛黑色素。

3.2.5 日本须鳎 *Paraplagusia japonica* (Temminck & Schlegel 1846)

(1) 分类地位

隶属于鲽形目 Pleuronectiformes, 舌鳎科 Cynoglossidae, 须鳎属 *Paraplagusia*。

(2) 参考序列

JQ639066。

(3) 形态特征

全长为 6.08 mm, 体长为 5.92 mm。头长为 1.42 mm, 占体长的 24.0%, 眼径为 0.36 mm, 占头长的 25.4%。

卵黄囊仍未完全消失,卵黄囊下方有一簇色素。口钝圆,上、下颌及鳃盖骨形成。颅顶上方棘冠出现2条长棘条,长度分别为1.13 mm和1.49 mm。体部背缘有5个丛状黑色素,每丛5~6个树枝状黑色素或点状黑色素,腹缘有1列不规则排列的黑色素分布。肛门位于体中央略前。肛前距为2.51 mm,占体长的42.4%。尾部鳍膜上出现弹性丝(附图A5)。

(4) 研究概况

有关日本须鲷早期生活史的研究,男卓志^[36]报道了日本若狭湾西部及其邻近海域直径为0.8 mm左右的日本须鲷卵和体长为5.95~12.30 mm的日本须鲷仔、稚鱼形态;丘台生^[37]描述了我国台湾沿海体长为4.0~7.9 mm的日本须鲷仔稚鱼形态;冲山宗雄^[9]对体长为10.2~12.3 mm的日本须鲷仔稚鱼的形态作过描述;万瑞景和张仁斋^[25]描述了1984年6月采自东海海域的体长6.80 mm的日本须鲷仔鱼形态,体侧背缘自头后至尾端有10余个丛状黑色素,体侧的腹缘也有9个丛状黑色素分布。本文描述了体长为5.92 mm日本须鲷仔鱼的形态,发现体部背缘有5个丛状黑色素,每丛5~6个树枝状黑色素或点状黑色素,腹缘有1列不规则排列的黑色素分布。

4 讨论

DNA条形码技术是一项通过标准化的短基因片段的序列差异来对物种进行鉴定的技术。相对于传统的形态分类方法,DNA条形码技术最大的优势在于它能准确鉴定不同发育阶段的个体、形态相似度较高的物种和因缺少形态学分类数据而导致很难进行区分的个体^[38]。这项技术运用到鱼类浮游生物的鉴定中,快速解决了很多传统形态学分类方法无法解决的问题^[28]。物种判别标准是分子鉴定研究中最重要因素,根据Ward等^[39]、Ko等^[16]、周美玉等^[17]的研究结果,本文采用遗传相似度不低于99%的为同一物种、92%~99%为同一属、85%~92%为同一科的标准对本调查海域的鱼类浮游生物进行种类判定。大多数的种类能够准确鉴定到种(表1)。部分样品序列因与某一物种相似度不高而未鉴定到种,如有序列与数据库中的寡鳞瓢鱼相似度最大为98%,故鉴定到瓢鱼属。有些样品序列与两个种类的相似度均为99%~100%,且这些种类在本调查区域均有出现^[40-41],故只将其鉴定到科或属的水平。如最后鉴定为鳊虾虎鱼属的序列,其与数据库中的阿部氏鳊虾虎鱼和粘皮鳊虾虎鱼(*Mugilogobius myxodermus*)相似度为

99%以上,且二者在本调查海域均有分布记录。本研究中样品序列与大鳍弹涂鱼(*Periophthalmus magnuspinnatus*)和青弹涂鱼(*Scartelaos histophorus*)相似度均为99%的序列,因此无法准确鉴定,故将其鉴定为虾虎鱼科^[42]。此外,本研究鉴定的序列,与数据库中黑鳃梅童鱼(*Collichthys niveatus*)(HM219223)和小黄鱼相似度达99%以上,根据Cheng等^[43]研究可知,黑鳃梅童鱼序列疑为形态鉴定有误,故本研究将其鉴定为小黄鱼。因此数据库的完整性与可靠性对鉴定结果的准确性至关重要。

长江口鱼类浮游生物在种类上有明显的季节变化,而类群无明显的季节变化。本研究中,仅在5月出现的种类有16种,有36种仅在8月出现。在温带和亚热带河口,鱼类浮游生物的数量在夏季达到峰值,且具有优势种种类季节变动模式^[23]。本研究中,河口鱼类浮游生物主要类群为虾虎鱼科和鲤科,但同一类群里种类有季节变化,如同为鲤科,5月出现的种类为鲢鱼、青鱼、鳊鱼,8月出现的种类为寡鳞瓢鱼、银瓢鱼。根据生态位竞争排斥原理,生态上类似的种很少能共存于一个生态位中,因而生活在一起的各个物种都必须有它们自己独特的生态位^[44],即相同科或者相同属鱼类在时间上出现明显的错位分布,因为生态位接近,时间错位分布可以减少对空间和食物资源的竞争^[45]。这一现象在长江口成鱼也有出现,鳊科鳊属的银鳊(*Pampus argenteus*)(出现于5-8月)和灰鳊(*Pampus cinereus*)(出现于8-9月),尾数有明显的时间错位分布现象^[45]。成鱼的繁殖策略和产卵区域水体环境的季节变化是河口鱼类浮游生物种类季节变动的主要因素之一^[46-47]。

本研究采用传统形态学和现代分子生物学方法相结合的研究思路,在DNA条形码技术的辅助鉴定下,收集了鱼类浮游生物形态特征,积累了鱼类早期发育的形态分类信息^[28]。本研究首次描述了隐存种^[18]前鳞龟鲃稚鱼、河口常见优势种^[48]龙头鱼仔稚鱼阶段的形态特征;报道了少鳞鳊、四指马鲛和日本须鲷等种类在不同发育阶段或不同体长的特征。这些工作完善了鱼类浮游生物的分类鉴定资料,为鱼类早期发育阶段分类资料的积累探索了新途径。

致谢: 何日光、彭小家、陈耀辉等同志在室内样品和数据处理等方面做了大量工作,谨致谢忱。特别感谢陈莲芳研究员对本文审阅并提出宝贵意见。

表 1 长江口鱼类浮游生物种名录 (2016 年春季 (5 月)、夏季 (8 月) 和 2017 年夏季 (8 月))

Table 1 List of ichthyoplankton species of Changjiang River Estuary (spring (May), summer (August) 2016 and summer (August) 2017)

类群	中文名	拉丁名	样品数	Genbank 登录号	引用序列	2016年5月	2016年8月	2017年8月
鳃鳃目	海鳃	<i>Muraenox cinereus</i>	2	MW402970-MW402971	HM068279, HM068292	-	-	+
鲱形目	凤鲚	<i>Coilia mystus</i>	12	MW389037-MW389048	JX534238, KF951600	+	+	+
鲱形目	日本鲱	<i>Engraulis japonicus</i>	8	MW389049-MW389056	KF765500, AP017957	+	+	+
鲱形目	黄鲫	<i>Setipinna taty</i>	5	MW401817-MW401821	KC439458	-	-	+
鲱形目	康氏侧带小公鱼	<i>Stolephorus commersonnii</i>	10	MW401803-MW401812	KM236093, KM236094, KM236095	-	+	+
鲱形目	鲢鱼	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1	MW401813	HM776359	+	-	-
鲤形目	青鱼	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	2	MW401814-MW401815	HQ236003	+	-	-
鲤形目	鳊	<i>Parabramis peknensis</i>	1	MW402946	KF857485	+	-	-
鲤形目	寡鳞鳊鱼	<i>Pseudolaubuca engraulis</i>	22	MW389006-MW389027	KC429670	-	+	+
鲤形目	银鳊鱼	<i>Pseudolaubuca sinensis</i>	1	MW402945	KY471356, KR862140	-	+	-
鲤形目	鳊鱼属	<i>Pseudolaubuca</i> sp.	1	-	-	-	+	-
仙女鱼目	龙头鱼	<i>Harpodon nehereus</i>	13	MW402947-MW402959	JX534239, KP112261	-	+	+
鲻形目	前鳞鲀	<i>Chelon affinis</i>	4	MW402960-MW402963	JF911709	+	-	-
鲻形目	鳊鱼	<i>Chelon haematocheilus</i>	6	MW402964-MW402969	KJ622047	+	-	-
鲻形目	虎鲻	<i>Misoux monodactylus</i>	1	MW388799	EU595221, KP330538	-	-	+
鲻形目	鲻	<i>Platycephalus indicus</i>	1	MW388798	HM180794	+	-	-
鲻形目	中国花鲻	<i>Lateolabrax maculatus</i>	3	MW402972-MW402974	EF143385	+	-	-
鲻形目	鳊	<i>Siniperca chuatsi</i>	1	MW402975	KU049658	+	-	-
鲻形目	少鳞鳊	<i>Sillago japonica</i>	3	MW388965-MW388967	AP017438, HM180882	-	-	+
鲻形目	四指马鲛	<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	4	MW388968-MW388971	KC878730	-	+	+
鲻形目	棘头梅童鱼	<i>Collichthys lucidus</i>	13	MW388972-MW388984	JN857362	-	+	+
鲻形目	梅童鱼属	<i>Collichthys</i> sp.	1	-	-	-	+	-
鲻形目	皮氏叫姑鱼	<i>Johnius belangerii</i>	4	MW388985-MW388988	KU754054	-	+	+
鲻形目	叫姑鱼	<i>Johnius graynotus</i>	1	MW402985	KC491206	-	+	-
鲻形目	叫姑鱼属	<i>Johnius</i> sp.	1	-	-	-	+	-
鲻形目	小黄鱼*	<i>Larimichthys polyactis</i>	6	MW403045-MW403050	HM068242, FJ1618559, GU586227	+	+	+
鲻形目	鲻	<i>Mitichthys mituy</i>	2	MW403055-MW403056	EU266377, HM447240	-	-	+
鲻形目	斜棘鲻属	<i>Repomucenus</i> sp.	5	-	-	+	-	-
鲻形目	斑尾刺虾虎鱼	<i>Acanthogobius ommaturus</i>	2	MW403061-MW403062	KM891736	+	-	-
鲻形目	舟山缯虾虎鱼	<i>Amoya chusanensis</i>	1	MW388861	KC196075	-	-	+

续表 1

类群	中文名	拉丁名	样品数	Genbank登录号	引用序列	2016年5月	2016年8月	2017年8月
鲈形目	大弹涂鱼	<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	29	MW388810-MW388838	JN631352, JN033333	-	+	+
鲈形目	矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	1	MW402982	KC495071	+	-	-
鲈形目	多鳞真颌虾虎鱼	<i>Eugnathogobius polylepis</i>	1	MW388864	MG744345	-	-	+
鲈形目	睛尾蝌蚪虾虎鱼	<i>Lophiogobius ocellicauda</i>	4	MW403057-MW403060	KC480264	+	-	-
鲈形目	斑点竿虾虎鱼	<i>Luciogobius guttatus</i>	1	MW402986	KU234481	+	-	-
鲈形目	阿部氏鲷虾虎鱼	<i>Mugilogobius abei</i>	6	MW403063-MW403068	KF128984	-	+	+
鲈形目	鲷虾虎鱼属	<i>Mugilogobius</i> sp.	1	-	-	-	-	+
鲈形目	拉氏狼牙虾虎鱼	<i>Odontamblyopus lacepedii</i>	22	MW388839-MW388860	KR815520	-	+	+
鲈形目	大鳍弹涂鱼	<i>Periophthalmus magnuspinnatus</i>	2	MW388862-MW388863	KT284931	-	-	+
鲈形目	褐吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius brunneus</i>	1	MW402981	HQ536456	+	-	-
鲈形目	髯须虾虎鱼	<i>Tridentiger barbatus</i>	22	MW388916-MW388937	JX536694	-	+	+
鲈形目	孔虾虎鱼	<i>Trypauchen vagina</i>	19	MW388865-MW388883	JQ027694	-	+	+
鲈形目	虾虎鱼科1	-	17	-	-	-	+	+
鲈形目	虾虎鱼科2	-	3	-	-	-	+	+
鲈形目	虾虎鱼科3	-	1	-	-	-	+	-
鲈形目	虾虎鱼科4	-	1	-	-	-	-	+
鲈形目	虾虎鱼科5	-	1	-	-	-	+	-
鲈形目	带鱼	<i>Trichiurus lepturus</i>	19	MW388778-MW388796	JX477078	-	+	+
鲈形目	扁鲀	<i>Auxis thazard</i>	1	MW388797	ABI105447	-	+	-
鲈形目	日本拟鲷	<i>Pseudoesopha japonicus</i>	2	MW396779-MW396780	KJ433568	+	-	-
鲈形目	焦氏舌鲷	<i>Cynoglossus joyneri</i>	11	MW396781-MW396791	KF979127, KU754054, KY008569	-	+	+
鲈形目	半滑舌鲷	<i>Cynoglossus semilaevis</i>	1	MW388770	DQ116751, EU366230	-	+	-
鲈形目	日本须鲷	<i>Paraplagusia japonica</i>	1	MW388771	JQ639066	-	-	+
鲈形目	横纹多纪鲷	<i>Takifugu oblongus</i>	3	MW388774-MW388776	AP009535	-	+	-
鲈形目	黄鳍多纪鲷	<i>Takifugu xanthopterus</i>	2	MW388772-MW388773	AP009533	+	-	-

注: -表示该种类未出现, +表示该种类出现; 小黄鱼*为黑鲷梅童鱼(*Collichthys niveatus*)或小黄鱼(有1条序列结果); 鲷虾虎鱼属为阿部氏鲷虾虎鱼(*Mugilogobius abei*)或粘皮鲷虾虎鱼(*Mugilogobius myxodermus*); 虾虎鱼科1为大鳍弹涂鱼(*Periophthalmus magnuspinnatus*)或青弹涂鱼(*Scartelaos histophorus*); 虾虎鱼科2为鳗虾虎鱼(*Taenioides anguilaris*)或拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*); 虾虎鱼科3为弹涂鱼(*Periophthalmus modestus*)或小头栉孔虾虎鱼(*Paratrypauchen microcephalus*); 虾虎鱼科4为大青弹涂鱼(*Scartelaos gigas*)或孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*); 以上5组的序列分别与两个物种相似度为99%。

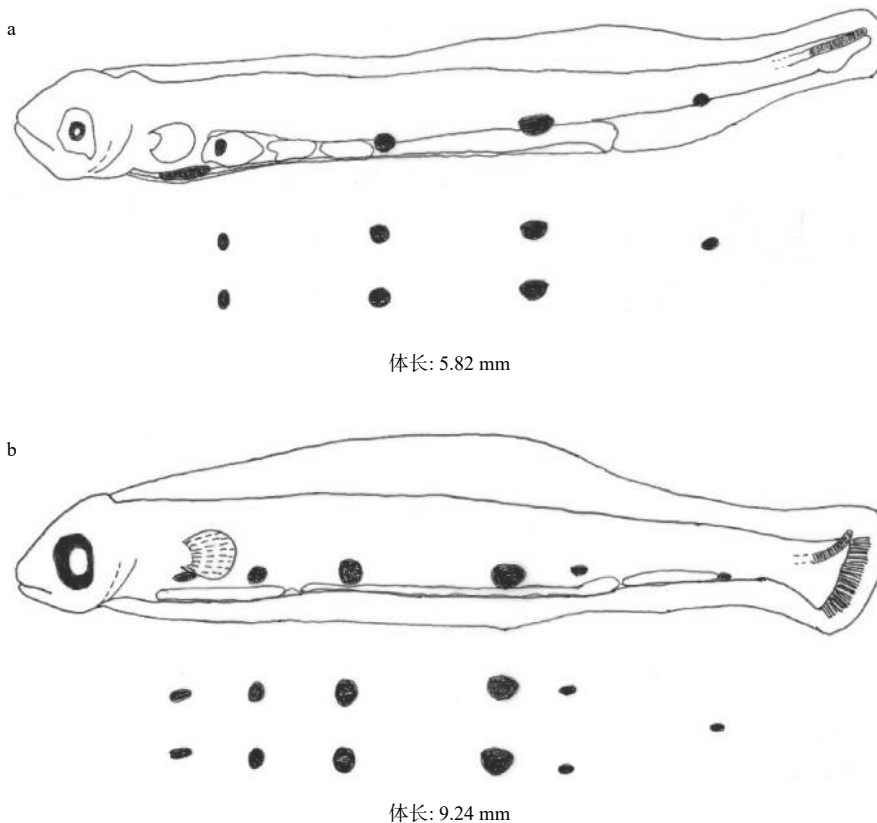
参考文献:

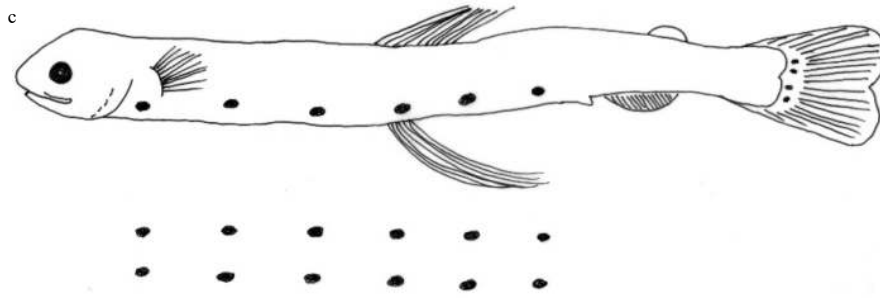
- [1] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.
Shen Guoying, Shi Bingzhang. Marine Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [2] 张仁斋, 陆穗芬, 赵传纲, 等. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
Zhang Renzhai, Lu Suifen, Zhao Chuanyin, et al. Fish Eggs and Larvae in the Offshore Waters of China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985.
- [3] 张孝威, 沙学绅, 何桂芬, 等. 鲮鱼卵子和仔、稚鱼的形态观察[J]. 海洋与湖沼, 1980, 11(2): 161-171.
Zhang Xiaowei, Sha Xueshen, He Guifen, et al. A description of the morphological characters of the eggs and larvae of the flathead fish, *Platycephalus indicus*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1980, 11(2): 161-171.
- [4] Deary A L, Porter S M, Dougherty A B, et al. Preliminary observations of the skeletal development in pre-flexion larvae of sablefish *Anoplopoma fimbria*[J]. *Ichthyological Research*, 2019, 66(1): 177-182.
- [5] 陈莲芳, 郑元甲. 东海区绿鳍马面鲀的早期发育和产卵场、产卵期的探讨[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 73-79.
Chen Lianfang, Zheng Yuanjia. On the early development, the spawning ground and spawning season of *Navodon septentrionalis* (Günther) in the Donghai[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(1): 73-79.
- [6] 江素菲, 白志毅. 闽南-台湾浅滩渔场大头狗母鱼的早期发育及其与多齿蛇鲻的比较[J]. 台湾海峡, 1986, 5(2): 145-174.
Jiang Sufei, Bai Zhiyi. Study on the early development of *Trachinocephalus myops* (Bloch & Schneider) and their comparison with *Saurida tumbil* (Bloch & Schneider) in the fishing ground of the southern Fujian and Taiwan Bank[J]. Taiwan Strait, 1986, 5(2): 145-174.
- [7] Yu H J, Im Y J, Jo H S, et al. Morphological development of eggs, larvae, and juvenile of *Sebastes koreanus* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) from the Yellow Sea[J]. *Ichthyological Research*, 2015, 62(4): 439-449.
- [8] Tran T T, Tran H D, Kinoshita I. Occurrence of two types of larvae of the Asian seaperch (*Lateolabrax*) in the estuaries of northern Vietnam[J]. *Ichthyological Research*, 2017, 64(2): 244-249.
- [9] 冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴[M]. 东京: 东海大学出版会, 2014.
Okuyama Muneo. An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan[M]. Tokyo: Takai University Press, 2014.
- [10] 卞晓东. 鱼卵、仔稚鱼形态生态学基础研究——兼报黄河口海域鱼类浮游生物调查[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Bian Xiaodong. Morphological and ecological study on fish eggs and larvae and ichthyoplankton surveys in the Yellow River estuary[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [11] 高东奎. 鱼类浮游生物形态及分子鉴定方法的应用基础研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Gao Dongkui. Applying basic research on the morphological and molecular approaches to identifying the ichthyoplankton[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [12] 邵广昭, 杨瑞森, 陈康青, 等. 台湾海域鱼卵图鉴[M]. 台湾: 中央研究院动物研究所, 2001.
Shao Guangzhao, Yang Ruisen, Chen Kangqing, et al. An Identification Guide of Marine Fish Eggs from Taiwan[M]. Taiwan: Institute of Zoology, Academia Sinica, 2001.
- [13] Hebert P D N, Cywinska A, Ball S L, et al. Biological identifications through DNA barcodes[J]. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 2003, 270(1512): 313-321.
- [14] Pegg G G, Sinclair W T, Briskey L, et al. mtDNA barcode identification of fish larvae in the southern Great Barrier Reef, Australia[J]. *Scientia Marina*, 2006, 70(S2): 7-12.
- [15] Valdez-Moreno M, Vásquez-Yeomans L, Elías-Gutiérrez M, et al. Using DNA barcodes to connect adults and early life stages of marine fishes from the Yucatan Peninsula, Mexico: potential in fisheries management[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2010, 61(6): 655-671.
- [16] Ko H L, Wang Y Z, Chiu T S, et al. Evaluating the accuracy of morphological identification of larval fishes by applying DNA barcoding[J]. *PLoS One*, 2013, 8(1): e53451.
- [17] 周美玉, 陈晓, 杨圣云. 采用DNA条形码技术对厦门海域鱼卵、仔稚鱼种类的鉴定[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(1): 120-125, 135.
Zhou Meiyu, Chen Xiao, Yang Shengyun. Identification of several fish eggs and larvae by DNA barcoding in Xiamen water[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34(1): 120-125, 135.
- [18] 刘守海, 秦玉涛, 刘材材, 等. DNA条形码技术在仔稚鱼鉴定中的实践[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(2): 92-95.
Liu Shouhai, Qin Yutao, Liu Caicai, et al. Molecular identification of fish larvae and juveniles based on DNA barcoding[J]. *Ocean Development and Management*, 2017, 34(2): 92-95.
- [19] 周晓梦, 郭书新, 宋娜, 等. 短吻红舌鲷鱼卵、仔鱼的DNA条形码和形态学鉴定[J]. 生物多样性, 2017, 25(8): 847-855.
Zhou Xiaomeng, Guo Shuxin, Song Na, et al. Identification of *Cynoglossus joyneri* eggs and larvae by DNA barcoding and morphological method[J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(8): 847-855.
- [20] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
Zhuang Ping, Wang Youhuai, Li Shengfa, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006.

- [21] 杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 长江口及其邻近海区的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(4): 346–355.
Yang Donglai, Wu Guangzong, Sun Jiren. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang River and adjacent areas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1990, 21(4): 346–355.
- [22] 朱鑫华, 刘栋, 沙学绅. 长江口春季鱼类浮游生物群落结构与环境因子的关系[J]. 海洋科学集刊, 2002(44): 169–179.
Zhu Xinhua, Liu Dong, Sha Xueshen. Relationship between community structure of ichthyoplankton and environmental factors in the estuary of Changjiang River in spring[J]. Studia Marina Sinica, 2002(44): 169–179.
- [23] 刘淑德, 钱薇薇. 长江口及其邻近水域鱼类浮游生物群落的时空格局[J]. 生物多样性, 2009, 17(2): 151–159.
Liu Shude, Xian Weiwei. Temporal and spatial patterns of the ichthyoplankton community in the Yangtze estuary and its adjacent waters[J]. Biodiversity Science, 2009, 17(2): 151–159.
- [24] 李建生, 胡芬, 林楠. 长江口及邻近海域春季仔、稚鱼的生态分布研究[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 1–8.
Li Jiansheng, Hu Fen, Lin Nan. Ecological distribution of fish larvae and juveniles in the Yangtze River estuary and its adjacent waters in spring[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 1–8.
- [25] 万瑞景, 张仁斋. 中国近海及其邻近海域鱼卵与仔稚鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2016.
Wan Ruijing, Zhang Renzhai. Fish Eggs, Larvae and Juveniles in the Offshore Waters of China and Their Adjacent Waters[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2016.
- [26] 伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 等. 拉汉世界鱼类系统名典[M]. 基隆: 水产出版社, 1999.
Wu Hanlin, Shao Guangzhao, Lai Chunfu, et al. Latin-Chinese Dictionary of Fishes Names by Classification System[M]. Keelung: The Shuichan Press, 1999.
- [27] 卞晓东, 张秀梅, 高天翔, 等. 沙氏下鱚鱼卵的形态学及遗传学鉴别[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 342–352.
Bian Xiaodong, Zhang Xiumei, Gao Tianxiang, et al. Morphological and genetic identification of Japanese halfbeak (*Hyporhamphus sajori*) eggs[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 342–352.
- [28] 刘守海, 程祥圣, 何彦龙, 等. DNA条形码技术在鱼类浮游生物鉴定中的应用及研究展望[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(7): 56–62.
Liu Shouhai, Cheng Xiangsheng, He Yanlong, et al. Review and outlook of DNA barcoding in identification of ichthyoplankton[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(7): 56–62.
- [29] Delsman H C. The study of pelagic fish eggs[C]//4th Pacific Science Congress, [S.l.]: [s.n.], 1929.
- [30] 油九菊, 柳敏海, 傅荣兵, 等. 四指马鲛仔稚鱼发育及生长特征的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(6): 577–581.
You Jiuju, Liu Minhai, Fu Rongbing, et al. Characteristics of morphological development and growth of four-finger threadfin *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw) larvae and juveniles[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(6): 577–581.
- [31] 谢木娇, 区又君, 温久福, 等. 四指马鲛胚胎发育观察[J]. 应用海洋学报, 2016, 35(3): 405–411.
Xie Mujiao, Ou Youjun, Wen Jiufu, et al. Observation on embryonic development of *Eleutheronema tetradactylum*[J]. Journal of Applied Oceanography, 2016, 35(3): 405–411.
- [32] 谢木娇, 区又君, 李加儿, 等. 不同发育阶段的四指马鲛消化道组织学比较研究[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 51–58.
Xie Mujiao, Ou Youjun, Li Jiaer, et al. Histology observation fisheries science, 2016, in digestive tract of *Eleutheronema tetradactylum* at different developmental stages[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(2): 51–58.
- [33] 王晓东. 长江口经济鱼类仔稚鱼形态鉴别的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
Wang Xiaodong. Study on the morphological identification of the commercial fish larvae and juveniles in the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [34] 水戸敏. 日本近海に出現する浮游性魚卵-IXコバンザメ目およびカレイ目[J]. 鱼类学杂志, 1963, 11(3/6): 81–102.
Mito Satoshi. Pelagic fish eggs from Japanese waters-ix Echeineida and Pleuronectida[J]. Journal of Ichthyology, 1963, 11(3/6): 81–102.
- [35] 水戸敏. 日本海洋プランクトン图鉴(第7卷)[M]. 东京: 苍洋社, 1966.
Mito Satoshi. Japan Marine Plankton Atlas (7th)[M]. Tokyo: Taiyo Sha, 1966.
- [36] 南卓志. クロウシノシタの初期生活史[J]. 日本水産学会誌, 1982, 48(8): 1041–1046.
Man Takashi. The early life history of a tongue fish *Paraplagusia japonica*[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1982, 48(8): 1041–1046.
- [37] 丘台生. 台湾的仔稚鱼[M]. 台北: 国立海洋生物博物馆筹备处, 1999.
Qiu Taisheng. Marine Fish Larvae in Waters Around Taiwan[M]. Taipei: Preparatory Office of the Taiwan Museum of Marine Biology, 1999.
- [38] 李琪, 邹山梅, 郑小东, 等. DNA条形码及其在海洋生物中的应用[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(8): 43–47.
Li Qi, Zou Shanmei, Zheng Xiaodong, et al. DNA barcoding and its applications in marine organisms[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(8): 43–47.
- [39] Ward R D, Zemlak T S, Innes B H, et al. DNA barcoding Australia's fish species[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences, 2005, 360(1462): 1847–1857.
- [40] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
Zhuang Ping, Wang Youhuai, Li Shengfa, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[J]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006.

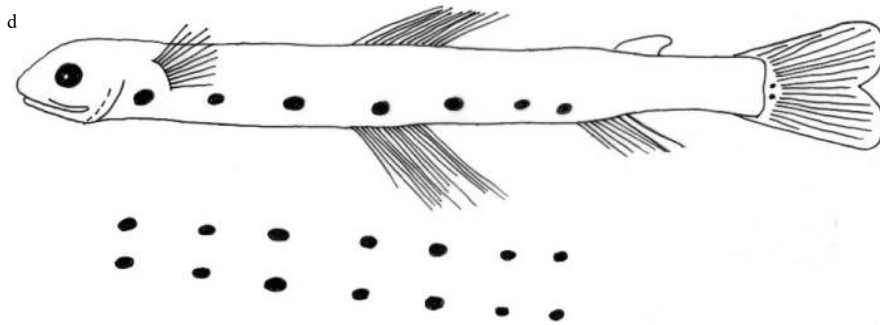
- [41] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Ni Yong, Wu Hanlin. Fishes of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [42] 吕杨, 宋超, 刘媛媛, 等. 基于16S rRNA基因部分序列的长江口虾虎鱼科鱼类系统分类[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 17-25.
Lü Yang, Song Chao, Liu Yuanyuan, et al. Phylogenetic analysis of Gobiidae in the Yangtze Estuary based on partial sequence of Mitochondrial 16S rRNA[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(1): 17-25.
- [43] Cheng Jiao, Ma Guoqiang, Song Na, et al. Complete mitochondrial genome sequence of bighead croaker *Collichthys niveatus* (Perciformes, Sciaenidae): A mitogenomic perspective on the phylogenetic relationships of Pseudosciaenidae[J]. *Gene*, 2012, 491(2): 210-223.
- [44] 林开敏, 郭玉硕. 生态位理论及其应用研究进展[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 283-287.
Lin Kaimin, Guo Yushuo. The research advances on niche theory and its application[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2001, 21(3): 283-287.
- [45] 沈新强, 史赞荣, 晁敏, 等. 夏、秋季长江口鱼类群落结构[J]. 水产学报, 2011, 35(5): 700-710.
Shen Xinqiang, Shi Yunrong, Chao Min, et al. Fish community structure of the Yangtze River Estuary in summer and autumn[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(5): 700-710.
- [46] Lam T J. Environmental influences on gonadal activity in fish[J]. *Fish Physiology*, 1983, 9: 65-116.
- [47] Hernández-Miranda E, Palma A T, Ojeda F P. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 56(5/6): 1075-1092.
- [48] 潘绪伟. 东海区龙头鱼渔业生物学的初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
Pan Xuwei. The primary study on biology of *Harpadon nehereus* in the East China Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.

附录 1





体长: 26.35 mm



体长: 34.27 mm

图 A1 龙头鱼仔稚鱼

Fig. A1 Larvae and juvenile stages of *Harpadon nehereus*

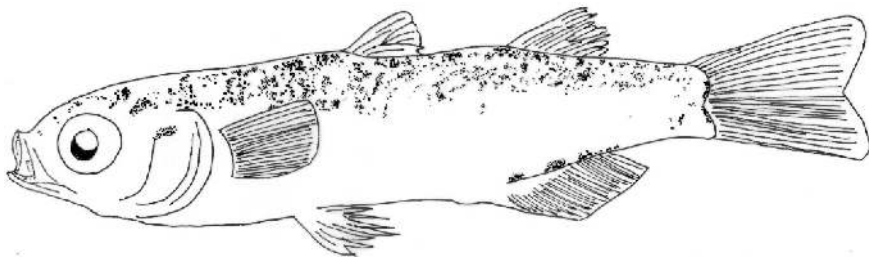


图 A2 前鳞龟鲃稚鱼

Fig. A2 Juvenile stage of *Chelon affinis*

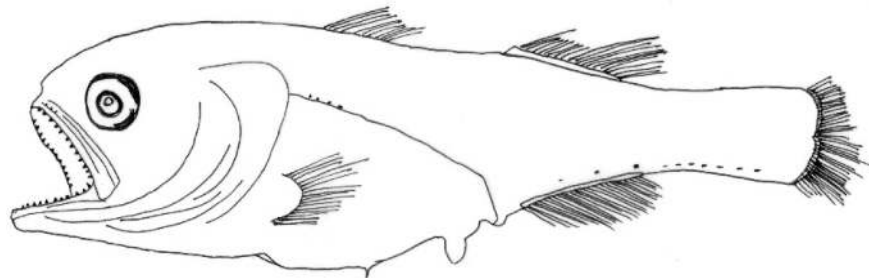


图 A3 四指马鲛稚鱼

Fig. A3 Juvenile stage of *Eleutheronema tetradactylum*

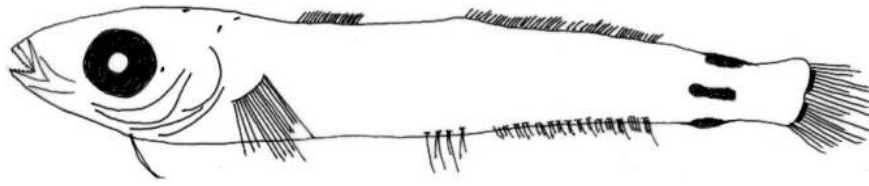


图 A4 少鳞鳕稚鱼

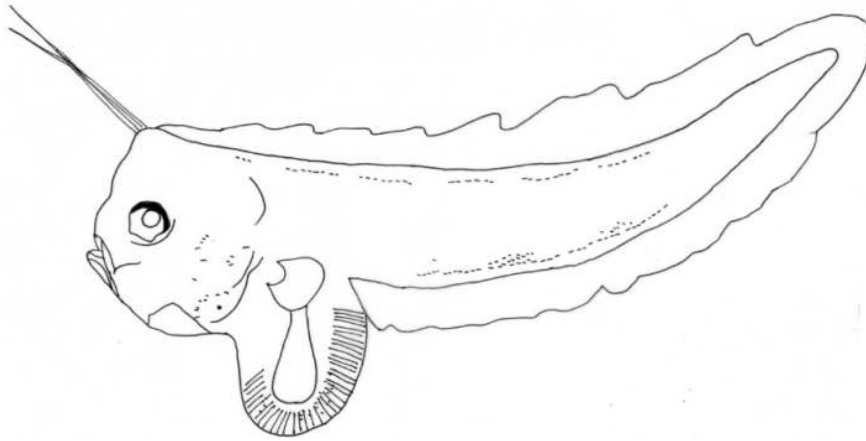
Fig. A4 Juvenile stage of *Sillago japonica*

图 A5 日本须鳕仔鱼

Fig. A5 Larvae stage of *Paraplagusia japonica*

Morphological classification of ichthyoplankton in the Changjiang River Estuary based on DNA barcoding

Liu Shouhai^{1,2}, Yang Yiyi^{1,2}, He Yanlong^{1,2}, Ji Xiao^{1,2}, Wang Yutan^{1,2}, Zhang Haijing³,
Mao Ruyi^{1,2}, Jiang Xiaoshan^{1,2}, Cheng Xiangsheng^{1,2}

(1. East China Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 201206, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecological Monitoring and Restoration Technology, Ministry of Natural Resources, Shanghai 201206, China; 3. East Sea Marine Environmental Investigating and Surveying Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

Abstract: DNA barcoding technology is a tool for rapid and accurate species identification using short orthologous DNA sequence. In this study, both traditional morphology and DNA barcoding technology was used to accurately identify ichthyoplankton species in the Changjiang River Estuary and its adjacent waters. Morphological description was carried out at the same time. The results showed that in spring and summer of 2016 and summer of 2017, 55 species of ichthyoplankton were obtained, belonging to 9 orders and 19 families. Among them, there were 35 species of Perciformes at most. The seasonal variation of ichthyoplankton in fish group was not obvious, while there was significant seasonal variation in species. Only *Coilia mystus*, *Engraulis japonicus* and *Larimichthys polyactis* appeared both in spring and summer. It was the first time to describe the morphological characteristics of *Harpadon nehereus* larva and juvenile. In addition, the quantifiable characters, fin development and melanin distribution of larvae and juvenile of *Harpadon nehereus*, *Chelon affinis*, *Eleutheronema tetradactylum*, *Sillago japonica* and *Paraplagusia japonica*, were described and drew. The research could provide a scientific basis for the study of fish nursery in estuaries, and also provide a new way for the accumulation of taxonomic data in the early stage of fish development.

Key words: Changjiang River Estuary; fish eggs and larvae; morphology; DNA barcoding