

长江口水域四种鱼类的耳石微化学研究*

刘洪波¹ 姜涛¹ 邱晨² 杨健^{1①}

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 中国水产科学研究院长江中下游渔业生态环境评价与资源养护重点实验室 无锡 214081; 2. 南京农业大学无锡渔业学院 无锡 214081)

摘要 利用 X-射线电子探针微区技术(electron probe microanalysis, EPMA), 对长江口不同水域中捕获的焦氏舌鳎、皮氏叫姑鱼、鲢鱼和光泽黄颡鱼耳石中的 Sr 含量进行耳石微化学研究, 结果发现, 焦氏舌鳎是典型的海水鱼类, 不仅 Sr:Ca 比(按惯例标准化为 $Sr:Ca \times 10^3$)的移动平均值高(>7), 而且 Sr 含量面分析图亦呈现为对应高盐度海水的黄色或红色图谱。虽然皮氏叫姑鱼和鲢鱼从出生直至被捕 Sr:Ca 比的移动平均值都在 3—7 间波动, 总体上属河口半咸水栖息鱼类, 但从 Sr 含量面分析图来看, 皮氏叫姑鱼生活史履历更为复杂, 可包括淡水(对应蓝色图谱)和半咸水生境(对应绿色图谱); 而鲢鱼仅在长江口较高盐度半咸水或海水生境中活动, 未见进入过淡水的履历。光泽黄颡鱼表现出仅利用淡水生境的履历, 其 Sr:Ca 比的移动平均值仅在 1.5—3 间窄幅波动, 整个生活史均在淡水区域里活动, 表现为长江口典型的淡水栖息鱼类。本研究从新的角度提供了较为客观、直观和最新的信息, 用以较为准确地重建和掌握长江口这些不同鱼类的生境利用特征。

关键词 耳石; 微化学; 焦氏舌鳎; 皮氏叫姑鱼; 鲢鱼; 光泽黄颡鱼; 长江口

中图分类号 S931; Q959.4 **doi:** 10.11693/hyhz20180300069

长江口是太平洋西岸的第一大河口, 其上游可延伸到海洋潮汐所至的安徽大通, 下游经江苏启东、上海南汇等地汇入大海(庄平等, 2006)。受惠于长江干流淡水径流和海洋咸水潮汐的交互作用, 使得这段水域具有多样的生境和丰富的营养物质, 其盐度范围可达 0.14—32.31 (史赞荣等, 2012), 适合 300 余种鱼类依各自的生态习性和盐度需求在此产卵、繁育、索饵、停留调整体液渗透压等等(庄平等, 2006)。这些鱼类或具有极高的经济价值, 或具有独特的科研价值, 或具有良好的水产品开发潜力, 都是生物多样性的宝贵资源。

不同的鱼类有不同的生活履历, 其不同的发育阶段生活环境亦可能截然不同。研究发现, 不同水环境之间的元素成分有很大差异, 比如海水中锶(Sr)的浓度为 8mg/L, 比淡水中的浓度要高出 100 多倍(王夔,

1991)。水环境中元素的变化信息可以在鱼类的硬组织(如耳石)中记录并保存; 因此, 分析耳石中元素的信息可以有效揭示不同鱼类各自的生活史及所经历的环境变化。利用先进的 X-射线电子探针微区分析(Electron probe microanalysis, EPMA)、激光烧蚀等离子质谱仪(Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, LA-ICPMS)分析和稳定同位素比质谱分析(Isotope ratio mass spectrometry, IRMS)等技术, 对保存于耳石中的环境元素进行深入的分析, 可以反演、重建和掌握鱼类整个生活史过程中大量的生态学、生理学等方面的信息及其生境的时空变化过程。这无疑对鱼类种群资源的管理和生物多样性的保护具有十分重要的意义。

已有研究表明, 积累在长江口鱼类耳石内的 Sr 含量存在显著的种间差异(窦硕增等, 2011)。利用该元

* 农业财政专项“长江渔业资源与环境调查-长江下游渔业资源与环境调查”, CJDC-2017-22 号; 中央级公益性科研院所(中国水产科学研究院级)基本科研业务费专项资金项目“基于我国经济鲟属的鱼类耳石微化学研究”, 2016PT01 号。刘洪波, 博士, 助理研究员, E-mail: liuhb@ffrc.cn

① 通讯作者: 杨健, 博士生导师, 研究员, E-mail: jiany@ffrc.cn

收稿日期: 2018-03-28, 收修改稿日期: 2018-07-01

素所记录的履历,可重建鱼类生活史和进行种群识别(窦硕增等, 2011; Jiang *et al*, 2014)。作为传统的捕捞调查方法的重要补充,本研究将选取长江口不同水域中渔获的习见种焦氏舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、鲢鱼(*Miichthys miiuy*)和光泽黄颡鱼(*Pseudobagrus nitidus*)开展耳石微化学研究,尝试追溯和重建其生长、发育过程中生境变动的轨迹,“复原”其各自的生活史特征,准确划分其生态类型,探讨其生境选择性,以期从新的角度推动长江口水

域针对具有不同生境履历的经济鱼类的有效管理和保护。

1 材料与方法

本研究上述四种鱼的样本均于 2010 年夏季采自长江口水域。样品编号、基本生物学数据见表 1。焦氏舌鲷的体长为 15.8—18.7cm, 1—2 龄; 皮氏叫姑鱼体长为 12.2—16.8cm, 1—3 龄; 鲢鱼体长为 12.1—17.2cm, 2 龄; 光泽黄颡鱼体长为 8.5—10.9cm, 1—2 龄。

表 1 焦氏舌鲷(JS)、皮氏叫姑鱼(PJ)、鲢鱼(m)、光泽黄颡鱼(GH)的基本数据
Tab.1 Sampling specifications of *C. joyneri* (JS), *J. belengerii* (PJ), *M. miiuy* (m), and *P. nitidus* (GH)

种类	编号	采样时间	采样地	体长(cm)	年龄
焦氏舌鲷	JS-1	2010	168 海区水域	15.8	1+
焦氏舌鲷	JS-3	2010	168 海区水域	18.7	1+
焦氏舌鲷	JS-4	2010	168 海区水域	16.8	1+
焦氏舌鲷	JS-5	2010	168 海区水域	18	2
皮氏叫姑鱼	PJ-1	2010	168—169 海区水域	12.2	1
皮氏叫姑鱼	PJ-3	2010	168—169 海区水域	16.8	2
皮氏叫姑鱼	PJ-4	2010	168—169 海区水域	15.1	2
皮氏叫姑鱼	PJ-5	2010	168—169 海区水域	14.9	3
鲢鱼	m-1	2010	168—169 海区水域	12.6	2
鲢鱼	m-4	2010	168—169 海区水域	17.2	2
鲢鱼	m-5	2010	168—169 海区水域	16	2
鲢鱼	m-6	2010	168—169 海区水域	12.1	2
光泽黄颡鱼	GH-2	2010	167 海区水域	9.4	1
光泽黄颡鱼	GH-3	2010	167 海区水域	10.9	1
光泽黄颡鱼	GH-5	2010	167 海区水域	8.5	2

用于 EPMA 分析的矢耳石样品制备方法参照 Jiang 等(2017)和 Chen 等(2017)。即先取出矢耳石, 用去离子水洗净, 干燥并拍照(图 1 之 A1、B1、C1、D1)后将其平整面朝下包埋于环氧树脂(EpoFix, 丹麦 Struers 公司)中, 待树脂完全固化后, 切去不含耳石部分多余的树脂, 用备有金刚石磨轮的碾磨机(Discoplan-TS 型, 丹麦 Struers 公司)磨耳石至其核心暴露, 然后配合抛光液在装有机织布抛光盘的磨抛机(LaboPol-35, 丹麦 Struers 公司)上抛光至耳石表面光滑。接着放于 Milli-Q 水中用超声波水浴 5min, 晾干拍照(图 1 之 A2、B2、C2、D2)。

为进行 EPMA 分析, 耳石标本在真空镀膜机(JEE-420, 日本电子株式会社)中镀上碳(carbon)膜(36A, 25s)。然后, 从耳石核心顺着最长轴依次向边缘用 EPMA 分析仪(JXA-8100 型, 日本电子株式会社)

测定 Sr 和 Ca 的含量。利用 SrTiO₃ 和 CaCO₃ 作为测定结果准确度检验的标准物质。加速电压和电子束电流分别为 15kV 和 2×10⁻⁸ A。根据耳石的不同规格将电子束电流分别聚焦于 3μm(光泽黄颡鱼)或 5μm(焦氏舌鲷、皮氏叫姑鱼、鲢鱼)直径的点上, 且每间隔 10μm 测量下一点, 记录时间为 15s。有代表性耳石样本的 Sr 元素含量 X-射线强度面分布分析亦用上述 JXA-8100 型 EPMA 分析仪进行, 加速电压不变, 电子束电流提高到 5×10⁻⁷ A, 每点驻留时间为 0.03s, 同时根据耳石规格将电子束电流聚焦的束斑直径分别设定为 3μm(光泽黄颡鱼)或 5μm(焦氏舌鲷、皮氏叫姑鱼、鲢鱼), 像素大小分别设定为光泽黄颡鱼: 4×4μm、焦氏舌鲷: 5×5μm、鲢鱼: 8×8μm 和皮氏叫姑鱼: 10×10μm。

为便于研究, Sr:Ca 浓度比值(即 Sr:Ca 比, 按惯例

标准化为 $\text{Sr}:\text{Ca} \times 10^3$ 根据 SrO 和 CaO 的分子量用 $\text{Sr}:\text{Ca} \times 10^3$ 的方式表达。运用 Excel 2013 导出数据和绘制线分布图, 并参考 Rodionov(2004)、Rodionov 等(2005)和卢明杰等(2015)的 STARS (Sequential t-test analysis of regime shifts)方法绘制 $\text{Sr}:\text{Ca}$ 平均值发生显著变化的趋势转换图, 用移动平均值表示 $\text{Sr}:\text{Ca}$ 高低

波动特征比值(李孟孟等, 2017), 以客观分析和判定本研究各鱼种生活环境所经历的变化。稳态转换的参数是截断长度为 10、置信度水平为 0.1、权重为 1。 $\text{Sr}:\text{Ca}$ 比对应的淡水(<3)、半咸水(3—7)、海水(>7)等生境履历的划分方法见 Yang 等(2011)。其在 Sr 元素耳石面分布图谱上分别对应为蓝色、绿黄色、红色等区域。

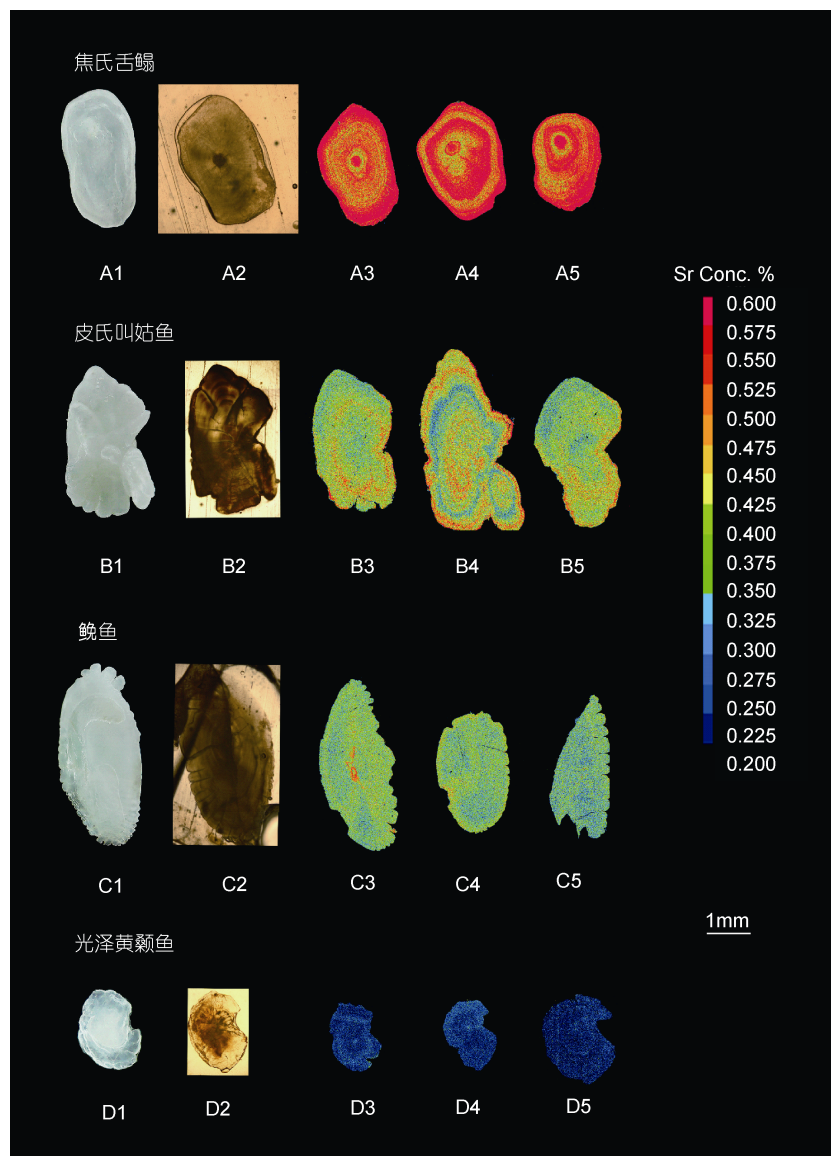


图1 长江口水域焦氏舌鲷、皮氏叫姑鱼、鲢鱼和光泽黄颡鱼的耳石形态特征(A1—D1)、耳石显微结构(B2—D2)和 Sr 含量电子探针面分布图谱(A3—D5)

Fig.1 The otolith morphology (A1—D1), microstructures (B2—D2), and Sr concentration maps (A3—D5) by electron probe microanalysis of *C. joyneri*, *J. belengerii*, *M. niloticus* and *P. nitidus*, respectively, from the Changjiang (Yangtze) River estuary

2 结果

四种鱼耳石 Sr 含量面分布分析图见图1之 A3、A4、A5、B3、B4、B5、C3、C4、C5、D3、D4、D5。

从耳石核心($0 \mu\text{m}$)至边缘 $\text{Sr}:\text{Ca}$ 比定量线分析图见图2。由图1及图2可清晰地知道四种鱼各自不同的耳石形态和生活史过程中的生境履历。

4 尾焦氏舌鲷(图1之 JS-1、JS-3、JS-4、JS-5)的耳石

表面和边缘光滑, 薄而透明(图 1 之 A1), 耳石上的年轮在 1—2 之间(图 1 之 A2)。耳石的 Sr 元素含量面分布分析图为统一的黄色和红色(图 1 之 A3、A4、A5), 从核心到边缘的 Sr:Ca 比大于 7, 最大值达 16.3 ± 1.4 (图 2 之 JS-3)。

4 尾皮氏叫姑鱼(图 1 之 PJ-1、PJ-3、PJ-4、PJ-5)的耳石大而厚, 边缘一侧有脚趾状突起(图 1 之 B1), 从耳石上推断年龄为 2 或 3(图 1 之 B2)。Sr 含量强度分析图有兰色、绿色甚至红色的环带(图 1 之 B3、B4、

B5), 耳石定量线分析的 Sr:Ca 比绝大部分在 3—7 之间波动(图 2 之 PJ-1、PJ-3、PJ-4、PJ-5)。

4 尾鲢鱼(图 1 之 m-1、m-4、m-5、m-6)的耳石近椭圆形, 椭圆一端有细密状小齿, 另一端有趾状突起(图 1 之 C1), 从耳石切片上推测为 2 龄(图 1 之 C2)。耳石 Sr 含量面分析图均呈现绿色(图 1 之 C3、C4、C5), 线定量分析图显示 Sr:Ca 比在 3—6 之间波动(图 2 之 m-1、m-4、m-5、m-6)。

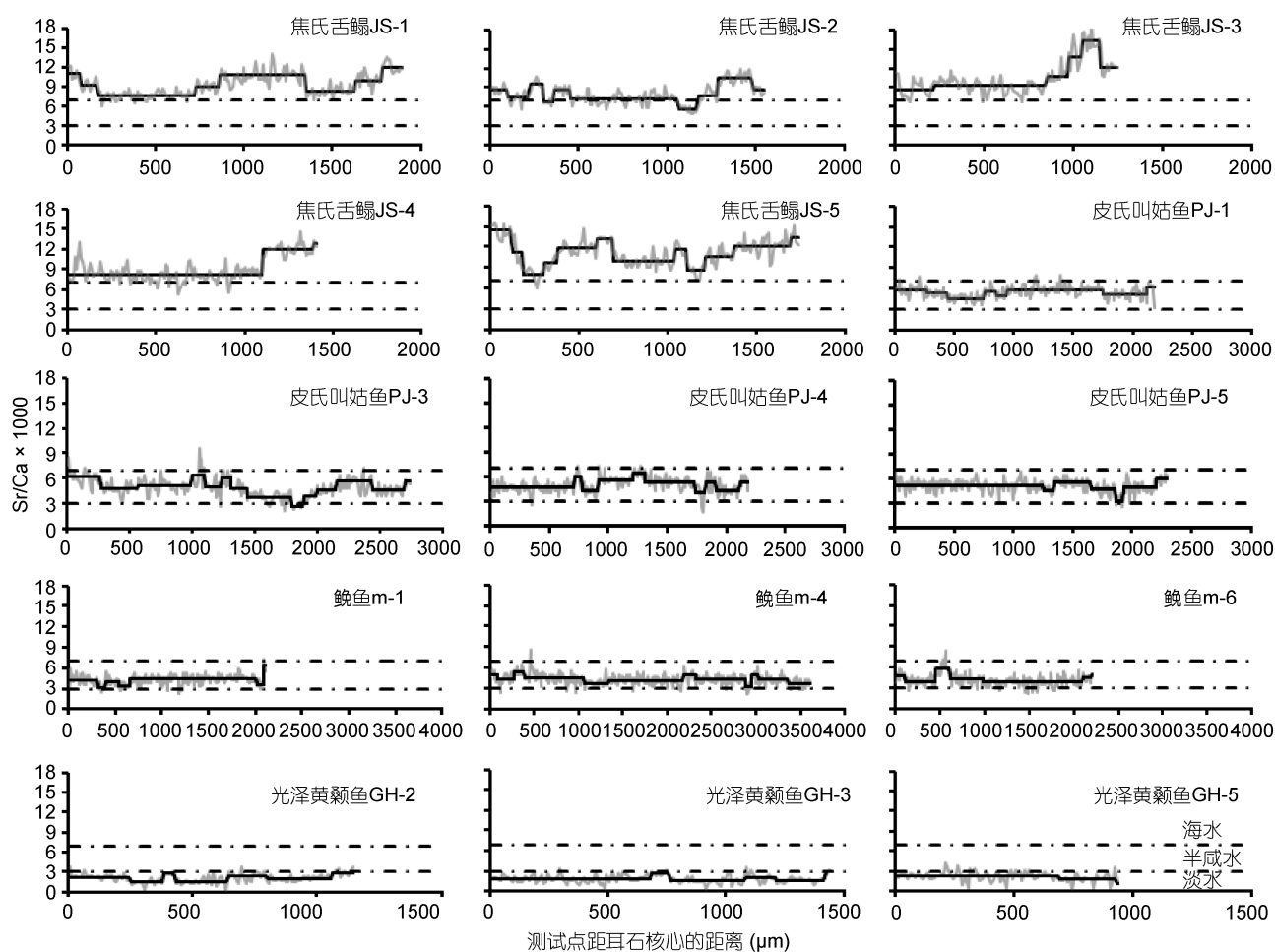


图 2 长江口焦氏舌鳎(JS-1, -3, -4, -5)、皮氏叫姑鱼(PJ-1, -3, -4, -5)、鲢鱼(m-1, -4, -5, -6)和光泽黄颡鱼(GH-2, -3, -5)耳石从核心(0 μm)到边缘电子探针定量线分析 Sr:Ca 值(按惯例标准化成 $\text{Sr:Ca} \times 10^3$)的变化

Fig.2 Fluctuation of Sr:Ca ratios (standardized to $\text{Sr:Ca} \times 10^3$ customarily) of electron probe microanalysis along line transects from the core (0 μm) to the edge in otoliths of *C. joyneri* (JS-1, -3, -4, -5), *J. belengerii* (PJ-1, -3, -4, -5), *M. miiuy* (m-1, -4, -5, -6), *P. nitidus* (GH-2, -3, -5) from the Changjiang River estuary

3 尾光泽黄颡鱼(图 1 之 GH-2、GH-3、GH-5)的耳石中间较厚, 边缘呈半透明状(图 1 之 D1), 从打磨至耳石核心的剖面图上估测鱼龄为 1—2 之间(图 1 之 D2)。耳石 Sr 含量面分析图统一为兰色(图 1 之 D3、D4、D5), 线定量分析图显示 Sr:Ca 比较为平稳地在 3

以下水平波动(图 2 之 GH-2、GH-3、GH-5)。

3 讨论

由于基于耳石中生境元素分析所获得的耳石微化学研究结果具有“有”或“无”的客观特性, 即使

仅分析数个样本(Arai *et al.*, 2002; 姜涛等, 2013)仍可准确呈现各种鱼类的栖息地类型和生境变化的过程; 因此成为了解析和反演鱼类生境履历的有力工具(Tsukamoto *et al.*, 1998; Secor *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2015), 为渔业资源管理和人工繁养所需生境重建技术的发展提供了新手段。

本研究结果显示焦氏舌鳎是典型的海水鱼类, 不仅耳石核心 Sr:Ca 比 >7 , 表现出高 Sr 的黄色和红色, 其边缘部分也均为高 Sr 的红色图谱(Sr:Ca 比最高达到 16.3)(图 2 之 JS-3), 同时出生后的发育和生长阶段亦都需要生活于较高盐度的海水环境, 无生活于淡水环境的履历, 仅 JS-2 似短暂出入过半咸水生境。该经济鱼种对咸水环境高盐度的生境有很好的适应能力。

皮氏叫姑鱼和鲢鱼同属石首鱼科, 二者耳石形态均较厚较大, 边缘有突起(图 1 之 B1、C1)。皮氏叫姑鱼为近海小型底层鱼类, 随着传统底层经济鱼类资源的衰退, 其在渔获中的比例逐渐增加, 已成为长江口邻近海域鱼类群落中的优势鱼种及重要的近岸渔业渔获目标种和饵料种, 在海洋食物网和海洋生态系统中占有越来越重要的地位和作用(王凯等, 2012); 而鲢鱼应属近海较大型底层鱼类, 是传统的经济食用鱼类(熊瑛等, 2015), 目前该资源群体在长江口呈现日渐衰退的趋势, 而人工育苗技术尚未完全成熟, 特别是早期发育过程中仔稚鱼的高死亡率和畸形率(钟俊生等, 2005), 因此, 通过对耳石样品的微化学高精度分析, 客观解析其全生活史过程中对不同盐度环境的需求就有十分重要的意义。参照本研究室前期研究所归纳得不同盐度水域生境划分标准(Yang *et al.*, 2011), 两种鱼从出生直至被捕获耳石 Sr:Ca 比仅在 3—7 间波动(图 3), 其 Sr 含量面分布分析图也多为体现半咸水(中等盐度)水域生境的橙绿色(皮氏叫姑鱼)或绿色(鲢鱼), 应该都不是季节性进入河口的海洋鱼类(张衡等, 2009), 而是较为典型的河口半咸水环境栖息的鱼类。与黄海南部在海水中孵化的鲢鱼相比(熊瑛等, 2015), 本研究鲢鱼耳石核心处 Sr:Ca 比 <7 , 其应该在半咸水环境孵化。夏季, 长江口邻近海域盐度约 24—26(何晓燕等, 2010), 黄海南部则高达 34(熊瑛等, 2015), 虽然二者相差悬殊, 前者小于 30, 为半咸水盐度, 而后者大于 30, 为典型海水盐度, 却仍然与罗海忠等(2006)对舟山近海鲢鱼胚胎和早期仔鱼的发生及与盐度关系的研究、即“鲢鱼在盐度 26—40 孵化率最

高, 畸形率相对较低”的结论不矛盾, 本研究所在的长江口门区亦是自然条件下孵化鲢鱼的盐度适宜环境。

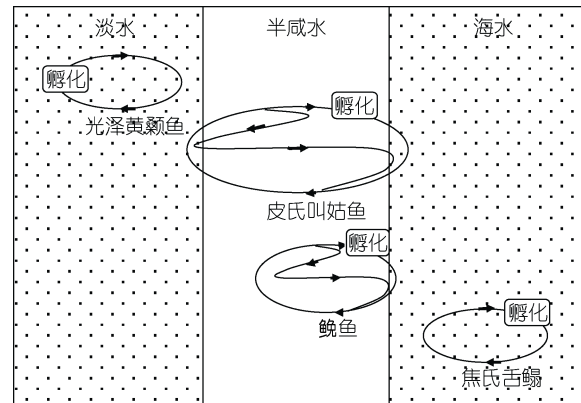


图 3 本研究中基于耳石微化学的长江口水域四种鱼类生境履历模式

Fig.3 Life history patterns of four fish species from the Changjiang River estuary revealed by otolith microchemical analysis

生活在相近水域的鱼类, 为避免剧烈的食物竞争, 往往采取分化栖息地(生态位)的策略来缓和生存压力(李忠义等, 2009)。本研究的结果也体现出相关的趋势。皮氏叫姑鱼和鲢鱼虽然同生活在长江口半咸水区域, 二者面分布图却反应出皮氏叫姑鱼个体的活动范围比鲢鱼更广更分散, 有兰色, 橙绿色, 甚至红色等多种同心圆环(图 1 之 B3、B4、B5), 而鲢鱼则是较为单一的绿色同心圆环(图 1 之 C3、C4、C5), 推测皮氏叫姑鱼用广散移动的方式来缓解与其它鱼类的生存竞争(李忠义等, 2009)。

光泽黄颡鱼是生活在长江口内低盐淡水区的优势种(张衡等, 2009), 其 Sr:Ca 比的移动平均值仅在 1.5—3 间窄幅波动(图 2), 耳石体现的整个生活史 Sr 含量均呈现最低的对典型淡水生境的蓝色(图 1 之 D3、D4、D5), 即其全生活史过程均生活于长江口淡水生境中, 且该区域一年中环境因素主要是盐度的变化较小, 主要受长江径流控制。适应了此水域环境的光泽黄颡鱼已成为该水域丰度最高的淡水鱼类, 占据了绝对优势(史赞荣等, 2012), 可作为研究长江口淡水环境的典型淡水经济鱼种。

虽然四种鱼的栖息地各不相同, 我们仍可按照 $\text{Sr:Ca} \times 10^3$ 的比值 <3 为淡水、3—7 为半咸水、 >7 为海水的标准将四种鱼的生活史型划分为淡水型、河口半咸水型和海水型(图 3)。值得特别注意的是, 本文对应于不同生态类型的四种鱼, 其孵化和早期生

活史所需的水体盐度是相对稳定的, 而不是像刀鲚(*Coilia nasus*)那样, 早期发育阶段存在淡水孵化和海水孵化两种生态类型(窦硕增等, 2011)。另外, 所研究的 4 种鱼类虽然各自生活于长江口不同的生境(从纯淡水的光泽黄颡鱼, 半咸水的皮氏叫姑鱼和鲢鱼, 到海水鱼类焦氏舌鳎); 但其平均体长均未超过 20cm(表 1), 属较为小型、非关键性的经济鱼类。即使这样, 在鱼类主要栖息地、育幼场和产卵场等场所的长江口, 它们渔业资源的严峻现状不容乐观。随着皮氏叫姑鱼、光泽黄颡鱼等逐渐成为优势种, 该水域的物种多样性已明显下降(张衡等, 2009)。对这些非传统型和关键性经济鱼类的生态类型、生境需求和生存策略的研究将越来越具有其重要的渔业意义和资源养护价值。

4 结论

对盐度生境的不同耐受范围决定了不同生态类型的鱼类只能较为局限性地生活在河口的不同水域, 但传统的捕捞调查法很难准确了解这些信息。应用耳石微化学研究法所重建的焦氏舌鳎、皮氏叫姑鱼、鲢鱼和光泽黄颡鱼在长江口的不同生活履历可较为准确地划分其各自的生态类型、了解其实际的盐度需求和生存策略。这将其资源的养护和利用提供客观的依据。今后有必要在继续开展基于耳石微化学的上述 4 种鱼类生活史规律和生境重建的基础上, 为长江口这些鱼类资源的有效利用提出更合理的对策。

参 考 文 献

- 王 凯, 章守宇, 汪振华等, 2012. 马列列岛海域皮氏叫姑鱼渔业生物学初步研究. 水产学报, 36(2): 228—237
- 王 夔, 1991. 生命科学中的微量元素. 北京: 中国计量出版社, 5, 8
- 卢明杰, 刘洪波, 姜 涛等, 2015. 大辽河口红狼牙鰕虎鱼耳石微化学的初步研究. 海洋渔业, 37(4): 310—317
- 史赞荣, 晁 敏, 全为民等, 2012. 长江口鱼类群落的多样性分析. 中国水产科学, 19(6): 1051—1059
- 庄 平, 王幼槐, 李圣法等, 2006. 长江口鱼类. 上海: 上海科学技术出版社
- 李忠义, 戴芳群, 左 涛等, 2009. 长江口及南黄海水域秋季小黄鱼与皮氏叫姑鱼的食物竞争. 水生态学杂志, 2(2): 67—72
- 李孟孟, 姜 涛, 陈婷婷等, 2017. 长江安庆江段刀鲚耳石微化学及洄游生态学意义. 生态学报, 37(8): 2788—2795
- 何小燕, 胡 挺, 汪亚平等, 2010. 江苏近岸海域水文气象要素的时空分布特征. 海洋科学, 34(9): 44—54
- 张 衡, 朱国平, 2009. 长江河口潮间带鱼类群落的时空变化. 应用生态学报, 20(10): 2519—2526
- 罗海忠, 傅荣兵, 陈 波等, 2006. 舟山近海鲢鱼胚胎和早期仔鱼的发生及与盐度的关系. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 25(1): 15—22
- 钟俊生, 楼 宝, 袁锦丰, 2005. 鲢鱼仔稚鱼早期发育的研究. 上海水产大学学报, 14(3): 3231—3237
- 姜 涛, 周昕期, 刘洪波等, 2013. 鄱阳湖刀鲚耳石的两种微化学特征. 水产学报, 37(2): 239—244
- 窦硕增, 横内一树, 于 鑫等, 2011. 基于 EPMA 的耳石 Sr:Ca 比分析及其在鱼类生活履历反演中的应用实例研究. 海洋与湖泊, 42(4): 512—520
- 熊 瑛, 刘洪波, 姜 涛等, 2015. 黄海南部野生银鲳和鲢鱼的耳石元素微化学研究. 海洋学报, 37(2): 36—43
- Arai T, Kotake A, Aoyama T *et al*, 2002. Identifying sea-run brown trout, *Salmo trutta*, using Sr:Ca ratios of otolith. Ichthyological Research, 49(4): 380—383
- Chen, T T, Jiang T, Liu H B *et al*, 2017. Do all long supermaxilla-type estuarine tapertail anchovies (*Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846) migrate anadromously? Journal of Applied Ichthyology, 33(2): 270—273
- Jiang T, Liu H B, Shen X Q *et al*, 2014. Life history variations among different populations of *Coilia nasus* along the Chinese coast inferred from otolith microchemistry. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 59(2): 383—389
- Jiang, T, Yang J, Lu M J *et al*, 2017. Discovery of a spawning area for anadromous *Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846 in Poyang Lake, China. Journal of Applied Ichthyology, 33(2): 189—192
- Liu H B, Jiang T, Huang H H *et al*, 2015. Estuarine dependency in *Collichthys lucidus* of the Yangtze River Estuary as revealed by the environmental signature of otolith strontium and calcium. Environmental Biology of Fishes, 98(1): 165—172
- Rodionov S N, 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophysical Research Letters, 31(9): L09204
- Rodionov S N, Overland J E, 2005. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem. ICES Journal of Marine Science, 62(3): 328—332
- Secor D H, Rooker J R, 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? Fisheries Research, 46(1—3): 359—371
- Tsukamoto K, Nakai I, Tesch W V, 1998. Do all freshwater eels migrate? Nature, 396(6712): 635—636
- Yang J, Jiang T, Liu H B, 2011. Are there habitat salinity markers of the Sr:Ca ratio in the otolith of wild diadromous fishes? A literature survey. Ichthyological Research, 58(2): 291—294

OTOLITH MICROCHEMISTRY OF FOUR FISH SPECIES FROM THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY, CHINA

LIU Hong-Bo¹, JIANG Tao¹, QIU Chen², YANG Jian¹

(1. Key Laboratory of Fishery Eco-environment Assessment and Resource Conservation in Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract An electron probe X-ray micro-analysis (EPMA) was performed to determine Sr and Ca accumulation in otolith of *Cynoglossus joyneri*, *Johnius belengerii*, *Miichthys miiuy*, and *Pseudobagrus nitidus* collected from different water areas in the Changjiang (Yangtze) River estuary, China. X-ray intensity mapping in the otoliths was analyzed in which the level of Sr content (positively related to salinity) is reflected in different colors. The results show that *C. joyneri* was a typical brackish and sea water resident fish species, the mean of Sr:Ca ratio (standardized to $\text{Sr:Ca} \times 10^3$) of the otolith was high (>7), displaying higher salinity patterns. *J. belengerii* and *M. miiuy* were estuarine residents as they had moderate Sr:Ca ratios (3—7), whereas *J. belengerii* seemed to live in different salinity habitats. *Pseudobagrus nitidus* lived in freshwater only and the average Sr:Ca ratio was low (1.5—3); this species could be used as a freshwater habitat indicator in the estuary. This study provides an objective and intuitive tool for discriminating the habitat patterns and migration history of the fish life in the estuary.

Key words otolith; microchemistry; *Cynoglossus joyneri*; *Johnius belengerii*; *Miichthys miiuy*; *Pseudobagrus nitidus*; Changjiang River estuary