

DOI: 10.12264/JFSC2025-0006

巢湖中存在洄游型刀鲚及其出生溯源的耳石微化学证据

陈凌杰¹, 轩中亚², 马凤娇³, 杨彦平², 刘凯^{1, 2, 3*}

1. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081;

3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081

摘要: 为了解巢湖中刀鲚(*Coilia nasus*)的生涯履历并追溯其出生起源。利用电子探针微区分析技术(EMPA)分析了 2022 年 7 月 25 日采自巢湖的 9 尾刀鲚(*Coilia nasus*)成鱼个体的矢耳石中锶和钙微化学特征。并进一步利用激光剥蚀连接多接收电感耦合等离子体质谱(LA-MC-ICP-MS)技术分析了其中 5 尾成鱼矢耳石的锶同位素($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)特征。研究发现, 巢湖中采集的 9 尾刀鲚个体中 7 尾的耳石 Sr/Ca 值从核心到边缘均低于 3, 显示为淡水生活史个体。此外, 22CH03 个体 Sr/Ca 值短暂高于 3, 但个体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值稳定地处于 0.71053 附近, 显示其为淡水生活史个体。另有 1 尾个体 22CH07 的耳石具有 Sr/Ca 值的剧烈波动, 在核心附近的低 Sr/Ca 值区之后升高, 达到 5.37 ± 0.57 ; 最后在边缘降至低于 3, 显示其出生于淡水, 生长于河口及近海, 后又上溯到淡水的洄游生活史。22CH07 耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值最初处于 0.71451 的高值, 其区域与低 Sr/Ca 值区域对应, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值高于巢湖及其支流, 与鄱阳湖接近, 据此推测其为鄱阳湖起源的个体; 之后降低到 0.70945 附近, 与高 Sr/Ca 值区域对应, 表明其迁移到河口等半咸水生境生活; 边缘降低到 0.71079, 与巢湖背景 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值接近。以上结果表明巢湖中存在溯河洄游型刀鲚个体, 且推测其来自鄱阳湖, 提示巢湖仍具有一定的江湖连通性。另外, 鉴于本研究较小的样本量, 尚需进一步调查巢湖中是否存在巢湖出生并返回巢湖繁殖的溯河洄游型刀鲚种群。

关键词: 刀鲚; 耳石; 巢湖; 溯河洄游; 微化学; Sr/Ca; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)06-0742-11

刀鲚(*Coilia nasus*)隶属于鲱形目(Clupeiformes)、鳀科(Engraulidae)、鲚属, 是典型的溯河洄游型鱼类, 在长江、黄河、钱塘江等流域及黄海、东海和渤海沿岸均有分布^[1-2]。历史上, 每年春、夏季刀鲚亲鱼沿江上溯进行生殖洄游, 陆续进入与长江相连的湖泊以及水流平缓的河湾地带繁殖^[3]。孵化后的刀鲚鱼苗顺流而下进入河口咸水或海水生境, 在那里生长至性成熟后再上溯繁殖^[4]。自 20 世纪 80 年代起, 大量闸坝枢纽建设导致刀鲚生殖洄游受阻、栖息生境破碎, 叠加水环境污染及过度捕捞, 致使刀鲚资源量迅速下降, 已不能

形成渔汛^[5-7]。为保护并恢复刀鲚资源, 自 2019 年起, 已全面禁止刀鲚天然资源生产性捕捞。自 2021 年起, 长江流域重点水域实行为期 10 年的禁渔, 全面禁止天然渔业资源的生产性捕捞。禁捕之后, 刀鲚淡水生活史阶段的捕捞压力消失, 刀鲚上溯繁殖的成鱼以及进入海洋前的早期资源得到保护, 目前长江刀鲚资源显示出明显的回升态势^[8-10]。

历史上, 长江中下游曾拥有东亚最大的淡水湖泊群^[11], 其显著特征是使众多湖泊与河流相互连通。然而, 自 1950 年以来, 受水利工程建设和

收稿日期: 2025-02-15; 修订日期: 2025-03-26.

基金项目: 安徽省重点水域水生生物资源监测项目(2023AHNYNC016XQ); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2024XT1003).

作者简介: 陈凌杰(2000–), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源保护. E-mail: clj1938895096@163.com

通信作者: 刘凯, 研究员, 研究方向为事鱼类生态学与物种保护研究. E-mail: Liuk@ffrc.cn

湖泊围垦等人为活动的影响, 绝大多数湖泊与长江的自然连通被切断, 成为阻隔湖泊。目前, 仅洞庭湖、鄱阳湖和石臼湖仍保持与长江的自然连通状态^[12]。巢湖地处长江下游的安徽省境内, 是我国第五大淡水湖, 由于巢湖与长江连通的河流通道于 20 世纪 50 年代以来建设了多个闸门, 使得巢湖成为人工控制水位的半封闭湖泊^[13]。由于多年的地理隔离, 巢湖中的刀鲚被认为已成为陆封生态型^[14]。然而, 闸坝是否会完全阻隔溯河洄游型刀鲚进入巢湖还有待研究。

为适应不同的生境类型, 长江水域内的刀鲚形成了溯河洄游型、淡水定居型、陆封型等多种生态类型。陆封型刀鲚不进行生殖洄游, 能够在太湖、巢湖、洪泽湖等阻隔淡水湖泊中完成生活史过程。由于刀鲚各生态型之间存在十分相似的外观, 利用传统形态学(颌骨长短)难以准确鉴定出溯河洄游型刀鲚^[15]。在分子遗传学方面, 大多数研究认为溯河洄游型和陆封型刀鲚之间无显著的遗传分化, 难以有效分辨溯河洄游型刀鲚和陆封型刀鲚个体^[16-17]。因此, 需要更准确的研究方法来解决上述刀鲚的种群生态学难题。

耳石是一种生物矿化的碳酸钙结构, 在保持鱼类听力和平衡等方面发挥着重要作用^[18]。耳石具有持续生长且代谢惰性的特点, 并且耳石中部分元素、同位素的特征与其形成过程中周围水环境具有相关性, 因此耳石可以提供鱼类一生中经历栖息地环境的信息, 是一种优良的时空动态“记录器”^[18-19]。耳石微化学关注耳石中的特定元素, 可以用于揭示鱼类栖息地的时空利用、产卵场和洄游模式^[20]。例如, 耳石中 Sr/Ca 值主要与环境水中的 Sr/Ca 值有关^[21], 且有研究证实水体中的 Sr/Ca 值与盐度之间存在正相关性^[22]。因此, 耳石的 Sr/Ca 值常被用作估计鱼类在不同盐度环境中的生境利用和洄游情况的有力工具^[23], 之前已有多项研究使用 Sr/Ca 值展现了刀鲚的海淡水洄游生境履历^[1,24-25]。

然而, 在个体来源判别方面, 耳石微化学的应用仍受到一些限制。离子沉积进耳石的过程中需通过多层生物膜, 尽管最终沉积在耳石内的含量与周围环境中的含量相关, 但耳石的 Sr/Ca 值

并不能直接反映水的 Sr/Ca 值, 因此很难利用耳石 Sr/Ca 值与水环境 Sr/Ca 值的直接比来重建刀鲚的来源^[26]。尽管利用耳石核心多元素特征能够区分不同群体的刀鲚^[27-28], 但由于水环境中溶解的元素含量可能具有年际变化, 如果使用耳石核心多元素特征判别个体来源, 需要采集与待测个体同年份出生的幼鱼建立背景基线, 这对于前期研究不足的区域很难实现。Sr 同位素($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)为这一难题提供了解决方法, 由于 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 几乎不受生物分馏的影响, 且鱼类耳石中的 Sr 主要来自水环境^[21], 因此耳石中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值能够直接反映个体所经历的不同水环境^[29]。在淡水系统中, 水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值主要取决于流域内基岩的地质构造和年龄, 这使得不同地理区域的水体具有独特的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 特征, 并且在不同年份间都相对稳定^[30]。相比之下, 在海洋系统中, 当代的海水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.70918, 具有均一性, 且与淡水的比值存在显著差异^[31]。这种差异使得 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值可以用于调查个体出生起源及迁徙路径, 并在确定洄游鱼类淡水生活史方面具有重要意义。之前的研究已经发现, 鄱阳湖独特的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值可以用于刀鲚来源判别^[32]。因此, 耳石 Sr/Ca 值和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值可以分别提供多方面的生活史信息, 这为探究巢湖刀鲚是否迁移及追溯其起源提供了基础。本研究旨在通过分析巢湖刀鲚耳石 Sr/Ca 值检验巢湖中是否仍具有溯河洄游型刀鲚, 以及建立巢湖水域 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 背景值并利用以往研究中公布的长江中下游 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值, 追溯巢湖刀鲚个体的出生起源。

1 材料与方法

1.1 样品采集

刀鲚样品于 2022 年 7 月 25 日采集于巢湖水域, 根据形态特征(上颌骨长与头长之比是否大于 1), 随机选取刀鲚 9 尾(图 1)。样本在捕获后立即冷冻保存, 并随后被运送至实验室进行进一步的处理。使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量样品的全长、体长、头长和上颌骨长。使用精度为 0.01 g 的电子天平测量样品体重。

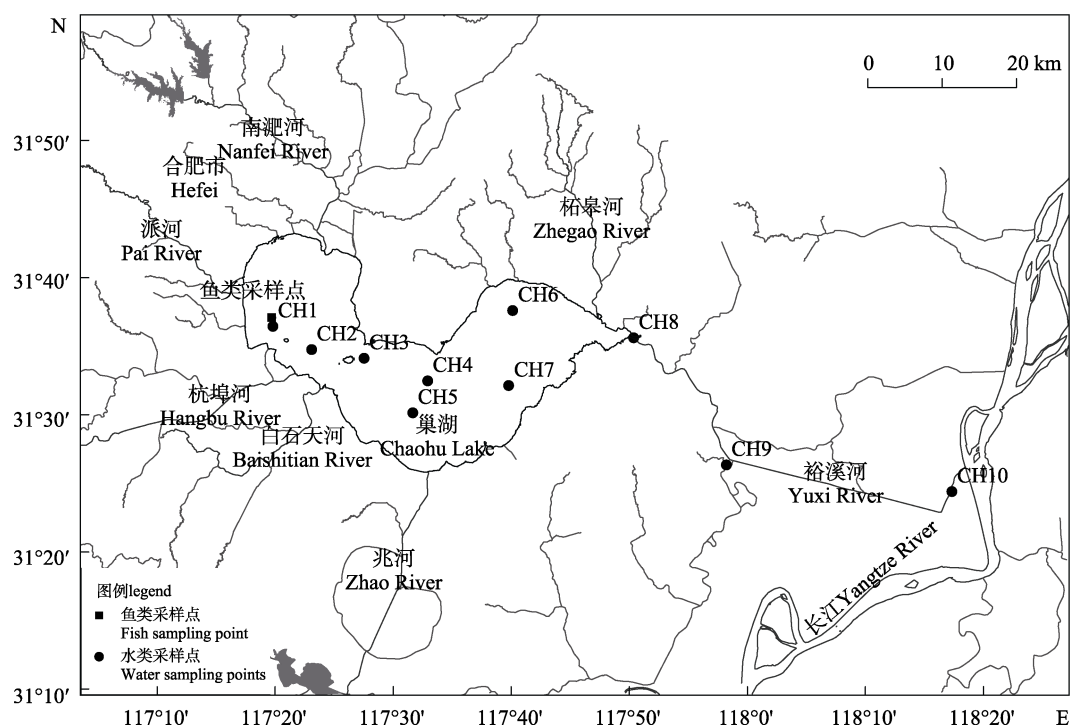


图 1 巢湖鱼类及水样采样点

Fig. 1 Sampling location of *Coilia nasus* and water samples in the Chaohu Lake

1.2 水样采集及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分析

于 2024 年 8 月 28—29 日, 采集巢湖水样(图 1)。在每个采样点, 采集近表层水, 其深度控制在 1 m 左右, 在采样点以 100 m 间隔取水 3 次, 每次使用采水器采集 300 mL 水, 使用酸洗过的 1 L 采样瓶充分混合为一个水样。利用针筒抽取部分水样并经 $0.45\ \mu\text{m}$ 针头式过滤器过滤, 将 250 mL 水样瓶冲洗 3 遍, 随后开始正式采集水样, 将过滤后的水样灌进水样瓶并带回实验室做进一步分析。

水样的 Sr 同位素组成通过多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS, Neptune plus)测定。Sr 同位素的化学分离和测试工作在科荟测试(天津)科技有限公司的实验室中完成。在测试样品之前, 使用 NBS987 $200\ \mu\text{g/L}$ 标准溶液对 Neptune Plus 进行参数调整, 包括等离子体部分(矩管位置和载气流速等参数)和离子透镜参数, 以实现最大灵敏度。在仪器测试过程中, 采用自由雾化器进样的方式。为监控 ^{84}Kr 、 ^{86}Kr 对 ^{84}Sr 、 ^{86}Sr 的干扰和 ^{87}Rb 对 ^{87}Sr 的干扰, 分别测量了 ^{83}Kr 和 ^{85}Rb 。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值通过指数归一化校正, 校正系数为 $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.375209$ 。测试过程中, 每 4~6 个样品测

试 1 次 NBS987 以确保数据的准确性。

1.3 耳石前处理

提取并清洗刀鲚左右矢耳石, 在室温下干燥后保存待用, 本研究优先使用左耳石, 在其不可用的情况下使用右耳石。为获得更高分辨率, 研磨耳石面积最大的矢状面。将耳石包埋于环氧树脂(Epofix, 丹麦 Struers 公司), 待树脂硬化后, 先后使用 1200 grit、2400 grit 和 4000 grit 的防水耐磨砂纸研磨耳石矢状面, 并在研磨过程中使用金相显微镜进行观察, 直至耳石核心暴露。使用二氧化硅抛光液在抛光布上抛光。随后超声清洗耳石 5 min, 再用 Milli-Q 去离子水冲洗, 将所有耳石烘干后等待后续分析。

1.4 耳石 Sr/Ca 分析

在本研究中, 首先采用电子探针微区分析仪(EPMA, JXA-8100 型, 日本电子株式会社)沿耳石核心至边缘的最长轴对耳石矢状面上的 Sr 和 Ca 元素含量进行定量线分析。分析条件参考 Xuan 等^[33], 使用 SrTiO_3 和 CaCO_3 作为标样, 设定加速电压为 15 kV, 电子束流为 20 nA, 束流直径 $5\ \mu\text{m}$, 每点驻留时间为 15 s。

为了观察刀鲚耳石 Sr/Ca 值变化的趋势, 利用 R 4.13 中的“changepoint”包进行变点分析, 采用 pruned exact linear time (PELT) 算法来识别耳石从核心到边缘 Sr/Ca 值数据中的关键变化点。其目的是确定一种分段方法, 以实现每个分段内数据较为一致, 并且各分段之间存在显著的统计差异。分段的长度将根据数据波动的特征来调整, 以便将 Sr/Ca 值序列划分为若干个相对稳定的片段。同时利用赤池信息准则(AIC)来评估数据变化点分划的复杂度和拟合度, 力图能在敏感地捕捉数据波动特征的同时, 维持模型的简洁度。

1.5 耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分析

参考轩中亚等^[32]的方法, 用激光剥蚀连接多接收电感耦合等离子体质谱(LA-MC-ICP-MS)分析耳石中的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, 采用线扫的方式从核心到边缘进行激光烧蚀耳石微区取样。LA-MC-ICP-MS 的激光束斑能量密度为 $6.12\text{ J}/\text{cm}^2$, 斑束直径为 $50\text{ }\mu\text{m}$, 频率为 6 Hz , 剥蚀速度为 $10\text{ }\mu\text{m}/\text{s}$ 。在每次消融样品前, 对每种同位素的背景信号进行 160 个周期的测量, 并将这些测量值的平均值用作样品分析期间的空白校正。同时, 以磷灰石

标样(Durango)作为标样, 并以海洋鱼类四指马鲛(*Eleutheronema tetradactylum*)的耳石作为海洋碳酸钙样本 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的参考样品, 每处理 5 个样品后, 分别检测一次, 以此来评估仪器运行的精确性和准确性。

耳石从核心到边缘的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值按照十个检测值平滑处理。利用 R 4.13 中的 changepoint 包来进行变点分析, 以检测耳石从核心到边缘 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值数据分布中的突变过程, 从而推测发生 Sr 同位素变化的转折点。

2 结果与分析

2.1 基础生物学数据

巢湖水域捕获 9 尾刀鲚样品, 上颌骨长度为 $(53.33\pm 3.6)\text{ mm}$, 上颌骨长度/头长为 1.24 ± 0.03 。平均体长为 $(295.06\pm 16.59)\text{ mm}$, 平均体重为 $(95.66\pm 14.82)\text{ g}$ (表 1)。

2.2 巢湖湖区水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值

巢湖水域的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围为 $0.710570\sim 0.710849$ (平均值为 0.710728 ± 0.000082), 整体上较为一致, 湖区与船闸之间 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值差异不显著。

表 1 巢湖刀鲚标本信息
Tab. 1 Specimen information for *Coilia nasus* from the Chaohu Lake

编号 sample code	全长/mm total length	体长/mm body length	体重/g body weight	上颌骨长/头长 supermaxilla/ head length
22CH01	312.11	281.35	80.72	1.26
22CH02	314.09	292.65	93.26	1.27
22CH03	345.35	315.57	117.86	1.22
22CH04	287.91	265.12	73.72	1.26
22CH06	319.14	289.46	97.32	1.23
22CH07	312.58	288.52	86.65	1.20
22CH08	331.49	300.41	93.08	1.28
22CH09	320.57	287.33	89.2	1.22
22CH10	343.76	314.47	118.8	1.22

2.3 刀鲚耳石 Sr/Ca 值

定量线分析的结果清晰地反映了巢湖 9 尾刀鲚个体耳石上 Sr/Ca 值的波动情况(图 2)。分析结果显示, 每个刀鲚个体的耳石 Sr/Ca 值均包含多个具有显著差异的阶段。其中 22CH01、22CH02、22CH04、22CH06、22CH08、22CH09、22CH10

个体的耳石 Sr/Ca 值始终小于 3。22CH03 个体耳石核心至边缘区域的 Sr/Ca 值大部分低于 3, 但其第二阶段的 Sr/Ca 值平均值为 3.19 ± 0.59 , 范围在 $200\text{ }\mu\text{m}$ 径长至 $600\text{ }\mu\text{m}$ 径长, 共有 21 个测量点。值得注意的是, 刀鲚个体 22CH07 的 Sr/Ca 值变化与其他个体不同。其耳石从核心到边缘的 Sr/Ca

值变化可划分为 7 个具有显著差异的阶段, 第一阶段至第三阶段, Sr/Ca 值 < 3 ; 第四阶段至第七阶段, Sr/Ca 值在 3~7 之间, 其中第二阶段的 Sr/Ca 值最小, 范围为 280 μm 径长至 640 μm 径长, 共

有 19 个测量点, 该阶段 Sr/Ca 值平均值为 1.03 ± 0.32 ; 第六阶段 Sr/Ca 值最高, 平均值为 5.37 ± 0.57 , 范围在 1600 μm 径长至 1860 μm 径长, 共有 14 个测量点。

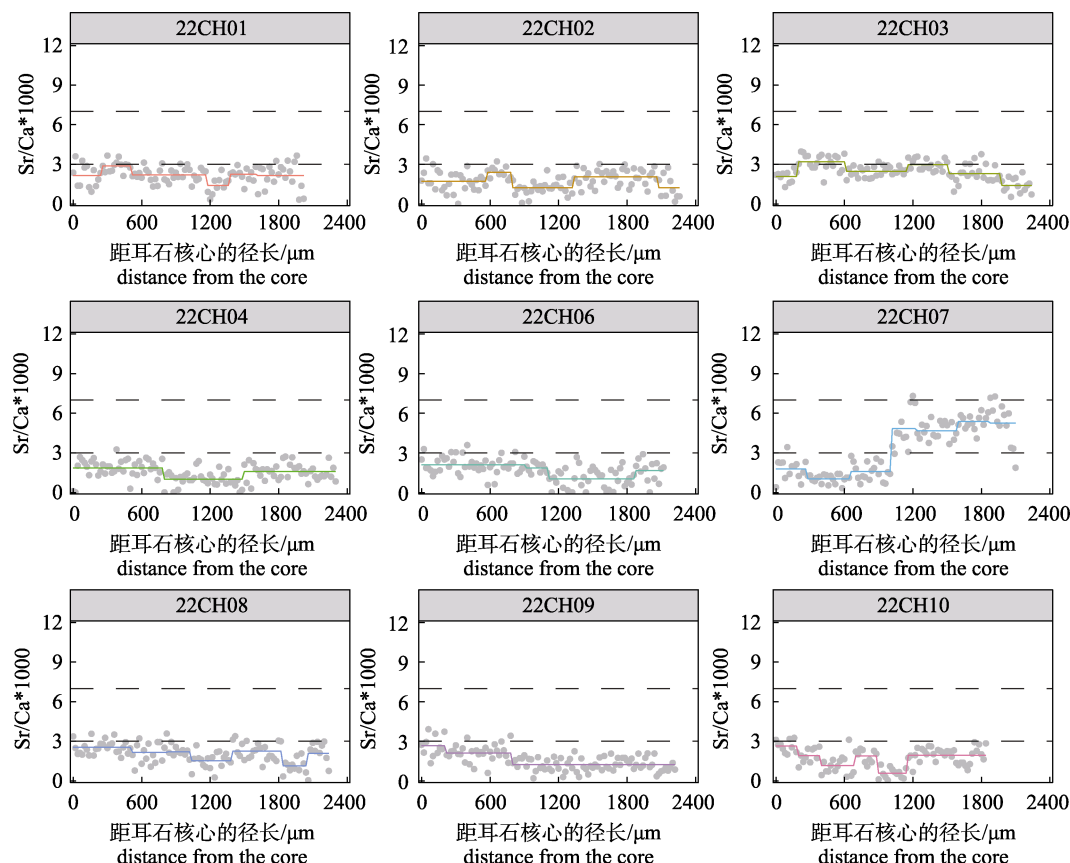


图 2 巢湖刀鲚 Sr/Ca 值和变点分析结果

彩色实线表示变化点之间的平均 Sr/Ca 值; 两条黑色虚线分别对应 Sr/Ca 值为 3 和 7。

Fig. 2 Sr/Ca ratio and trend conversion results of *Coilia nasus* in the Chaohu Lake

The solid colored lines represent the average Sr/Ca values between change points; the two black dashed lines correspond to Sr/Ca values of 3 and 7.

2.4 刀鲚耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值

LA-MC-ICP-MS 线分析的结果反映了巢湖 5 尾刀鲚个体耳石上 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的波动情况。根据变化点分析, 22CH03 个体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值稳定在 0.71053 附近; 22CH06 和 22CH09 个体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值皆稳定在 0.71020 附近, 22CH10 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值稳定在 0.71023 附近。22CH07 个体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值与巢湖其他个体都不同, 其耳石核心的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值接近 0.71451, 直到 1050 μm 转变成 0.70945 附近, 随后从 1975 μm 开始转变成 0.71079 附近(图 3)。

3 讨论

3.1 巢湖刀鲚生境履历

有研究认为刀鲚耳石 Sr/Ca 值在 < 3 、3~7 和 > 7 区间分别对应淡水、河口半咸水和海水生境履历^[24-25,34-36]。据此, 反演了采自巢湖 9 尾刀鲚个体的生境履历的变化过程。22CH01、22CH02、22CH04、22CH06、22CH08、22CH09、22CH10 的 Sr/Ca 值较低且稳定, 显示为淡水生活史。虽然 22CH03 个体耳石核心至边缘区域的 Sr/Ca 值大部

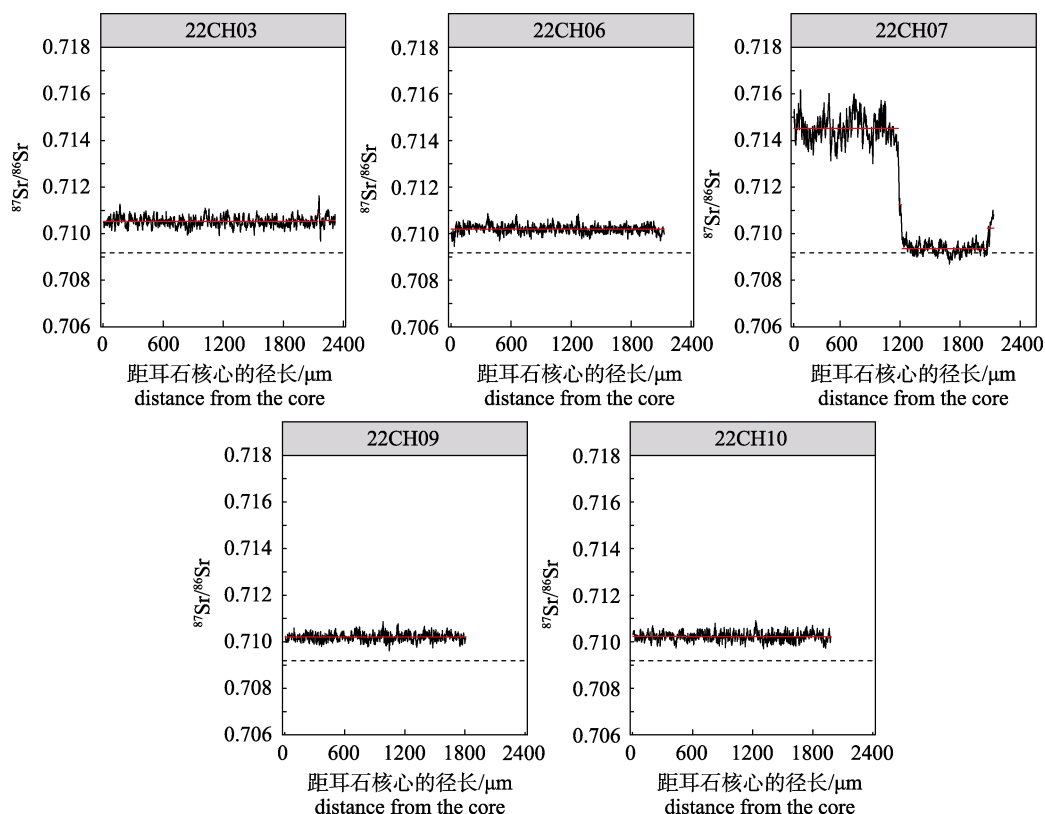


图 3 巢湖刀鲚耳石从核心(0 μm)到边缘记录到的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值变化

红色实线表示变化点之间的平均 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值; 黑色虚线表示现代平均海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值。

Fig. 3 Variations in the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio recorded from the core (0 μm) to the edge of the otoliths of *Coilia nasus* in the Chaohu Lake
The solid red lines represent the average $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio between the change points; and the black dotted lines indicate the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of modern average seawater.

分低于 3, 但 changepoint 分析显示在第二阶段的 Sr/Ca 值高于 3, 且高于 3 的部分靠近核心, 很快又降低至 3 以下。根据之前的研究, 这一数值显示该个体可能在早期生活史期间短暂地经历了河口等半咸水生境^[34-36]。同时, 22CH07 展现出显著的 Sr/Ca 值变化。其耳石中 Sr/Ca 值在第一至第三阶段均处于较低水平, 显示 22CH07 个体的孵化和早期发育过程完全在淡水环境中进行。之后, 该个体耳石中 Sr/Ca 值升高, 且该阶段耳石径长较长, 表明其随后迁移到河口等半咸水生境中继续发育和生长较长的时间。耳石边缘 Sr/Ca 值降低到较低水平, 反映了其最后淡水生境的印记, 基于 Sr/Ca 值的变化情况推测该个体具有溯河洄游生活史。然而, 高 Sr/Ca 值可能不仅仅源自盐度较高的河口区域。尽管淡水环境中的 Sr 含量一般低于海水, 但个别淡水区域可能具有较高的 Sr 含量, 另外个别淡水区域中的低 Ca 含量也可能导

致 Sr/Ca 值较高^[37]。同时, 缺氧或繁殖等生理因素也可能导致 Sr/Ca 值升高^[38]。刘洪波等^[39]发现在长江源区通天河流域的两种高原鳅均存在低 Sr/Ca 与高 Sr/Ca 两种生活史型, 且与上下游水域环境背景值(上游高 Sr、下游低 Sr)相吻合。太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis*)耳石 Sr/Ca 值在太湖不同水域呈现显著差异, 北太湖群体中更存在 Sr/Ca 值高达 21.41 ± 0.50 (N=4) 的特殊高锶型类群, 其数值显著区别于其他太湖类群, 据推测与缺氧等因素有关^[38]。因此, 基于稳定的耳石低 Sr/Ca 值, 可推测这些个体生活在淡水。然而对于耳石中出现高 Sr/Ca 值的现象, 不能排除是因为陆地环境中也可能存在一些 Sr/Ca 值较高的水域或鱼自身的生理因素, 而导致耳石具有较高 Sr/Ca 值。

为进一步揭示这些个体生活史情况, 笔者利用耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 开展进一步分析。本研究发现巢湖的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.710570~0.710849。另外, 大

量的研究显示,现代海水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.70918^[31],长江中下游的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.71005~0.71114^[32],长江口半咸水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值从 0.709661 逐步降低至海水值 0.70918 附近^[40]。22CH06 和 22CH09 个体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值均稳定在 0.71020 附近,22CH10 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值稳定在 0.71023 附近,符合长江中下游和巢湖的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值范围^[41]。由于长江中下游和巢湖之间缺乏 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的差异,目前还是难以判断这些淡水生活史的个体仅在湖区内生活还是曾在长江与巢湖之间进行过迁移。本研究中 22CH03 个体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值也一直较为稳定,与本研究揭示的巢湖水环境 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值(平均值为 0.710728 ± 0.000082)接近,而并没有下降到长江口半咸水水平^[40],因此可以推断该个体并没有迁移到河口的经历,只是一直生活在淡水中。22CH07 个体耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值有一段明显下降到 0.70945 附近,且与 Sr/Ca 值陡升区域一致,因此从两种不同的方式证实了其迁移到河口等半咸水生境生活的经历。

自 20 世纪以来,先后修建了裕溪闸和巢湖闸,在一定程度上阻断了巢湖与长江的自然连通,虽然两座水闸都修建了鱼道,但其功能并未充分发挥。同时,为船只通航考虑而设计的船闸,在其运行期间,也有可能成为水生生物连通闸坝上下游的生态通道^[42]。因此,巢湖和长江之间依然保持一定的江湖连通性。本研究通过耳石 Sr/Ca 值证实了溯河洄游型刀鲚个体能够进入巢湖,证实了洄游型鱼类从长江进入巢湖的可能性。

3.2 巢湖刀鲚个体出生地溯源

本研究首次测定了巢湖湖区的水体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,范围在 0.710570~0.710849 之间,相比之下,巢湖的支流(柘皋河流域)的值则在 0.7100~0.7126 之间^[43]。之前的研究显示长江中游水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.710334~0.710392;长江下游水的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.710580~0.710685^[44]。洞庭湖的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值具有一定的特征:其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.710876~0.711820,其主要支流(沅江,湘江,资水,丽水)的比值为 0.709525~0.712405^[45]。鄱阳湖的水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值在 2011 年冬季和夏季分别测得比值为 0.714391 和 0.713901,其主要支流赣江水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为

0.713286~0.715456^[45]。总体而言,鄱阳湖 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值始终显著高于长江中下游干流及洞庭湖,具有独特性,之前已有研究使用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值区分刀鲚在鄱阳湖和长江干流中的淡水生活史^[32]。同时,尽管巢湖水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值难以与长江干流区分,但和长江口 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值相比略高,长江口 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的范围为 0.710514~0.709212^[40],可以作出区分。

22CH07 个体早期阶段耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值与鄱阳湖水体高度吻合,且鄱阳湖 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值始终显著高于长江中下游干流及洞庭湖,根据对中国生物可利用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的大尺度实测值和建模研究^[46],鄱阳湖流域的高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值具有独特性,因此笔者推测其为鄱阳湖孵化的个体,在未来可以进一步对长江中下游湖泊和小型支流开展 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 调查,以实现更精准和可靠的溯源研究。耳石作为研究鱼类洄游生态学中洄游履历、个体溯源等的重要工具,其特性使得即便在样本量有限的情况下,也能得出准确的结论。如姜涛等^[35]利用 1 尾刀鲚成功证实距长江口约 1436 km 的湘江湘阴江段发现有溯河洄游型刀鲚的分布;轩中亚等^[47]利用 2 尾干制的刀鲚个体耳石,借助电子探针微区分析(EPMA)技术,成功证实距长江河口约 1400 km 的洞庭湖中仍可能存在溯河洄游型刀鲚个体;也有研究基于 1 尾短颌鲚标本证实了被一直认为仅有淡水定居型的短颌鲚群体中有洄游型个体存在^[48]。因此本研究利用耳石代谢惰性^[49]以及耳石中元素与环境元素的直接相关性^[50],确认巢湖中出现溯河洄游个体这一结果无疑是可靠的。

刀鲚作为一种洄游型鱼类,可能具有生殖溯源的特性^[27],但并非所有个体都能返回出生栖息地。禁捕前,长江沿岸捕捞压力极大,刀鲚上溯的规模锐减,迷航到非出生水域的几率较低。近年来,长江禁捕消除了捕捞压力,这一举措为包括刀鲚在内的众多水生生物种提供了休养生息的机会。有研究表明,自 2019 年刀鲚专项捕捞停止后,长江刀鲚的规格开始逐渐增长,资源密度也明显上升^[8]。在资源密度上升的情况下,即使迷航个体的比例较小,仍然会有一些个体扩散到非出生水域。在生境连通的情况下,洄游鱼类迷航个体扩散到非出生水域的情况已有许多报道^[31,51]。尽管

排除了 22CH07 这一洄游型个体为巢湖孵化的可能性,但由于本研究样本量较少,仍然需要做进一步的调查,以了解巢湖中是否还存在巢湖出生并洄游进入巢湖繁殖的刀鲚种群。

4 结论

本研究利用 EMPA 分析耳石中的 Sr/Ca 值,成功重建了来自巢湖的 9 尾刀鲚鱼的生境履历,发现其中 1 尾刀鲚经历了淡水到海水再到淡水的生境转换,推测该个体具有溯河洄游生活史;进一步利用 LA-MC-ICP-MS 分析耳石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,推测这尾溯河洄游型刀鲚的出生地为鄱阳湖。这一发现证实了巢湖和长江并非完全阻隔,而是仍具有一定的江湖连通性,并且鄱阳湖出生的洄游刀鲚有可能扩散到非出生湖泊中。有必要开展进一步的调查,以研究巢湖中是否具有出生于巢湖并洄游进入巢湖繁殖的刀鲚种群,这将对巢湖等非自然连通湖泊的生态保护和生物多样性维持具有重要意义。

参考文献:

- [1] Jiang T, Liu H B, Shen X Q, et al. Life history variations among different populations of *Coilia nasus* along the Chinese coast inferred from otolith microchemistry[J]. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 2014, 59(2): 383-389.
- [2] Hu Y H, Jiang T, Liu H B, et al. Habitat histories of different ecomorphotypes of *Coilia nasus* from the Yalu River in Dandong City of Liaoning Province based on otolith microchemical analysis[J]. Marine Fisheries, 2023, 45(3): 278-290. [胡玉海, 姜涛, 刘洪波, 等. 基于耳石微化学分析的丹东鸭绿江刀鲚不同生态表型生境履历的研究[J]. 海洋渔业, 2023, 45(3): 278-290.]
- [3] Yuan C M. Reproductive migration of *Coilia ectenes*[J]. Bulletin of Biology, 1987, 22(12): 1-3. [袁传宓. 刀鲚的生殖洄游[J]. 生物学通报, 1987, 22(12): 1-3.]
- [4] Yuan C M, Qin A L. Ecological habits and distribution of *Coilia* along the Chinese coast and its changes of output[J]. Marine Sciences, 1984, 8(5): 35-37. [袁传宓, 秦安龄. 我国近海鲚鱼生态习性及其产量变动状况[J]. 海洋科学, 1984, 8(5): 35-37.]
- [5] Liu F, Lin P C, Li M Z, et al. Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策[J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 144-156.]
- [6] Zhang M Y, Xu D P, Liu K, et al. Studies on biological characteristics and change of resource of *Coilia nasus* Schlegel in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6): 694-698. [张敏莹, 徐东坡, 刘凯, 等. 长江下游刀鲚生物学及最大持续产量研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 694-698.]
- [7] Guo H Y, Zhang X G, Tang W Q, et al. Temporal variations of *Coilia nasus* catches at Jingjiang section of the Yangtze River in fishing season in relation to environmental factors[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(12): 1850-1859. [郭弘艺, 张旭光, 唐文乔, 等. 长江靖江段刀鲚捕捞量的时间变化及相关环境因子分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(12): 1850-1859.]
- [8] Ma F J, Yang Y P, Fang D A, et al. Characteristics of *Coilia nasus* resources after fishing ban in the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(10): 1580-1590. [马凤娇, 杨彦平, 方弟安, 等. 长江禁捕后长江口刀鲚资源特征[J]. 水生生物学报, 2022, 46(10): 1580-1590.]
- [9] Jiang T, Yang J, Xuan Z Y, et al. Preliminary report on the effects of resource recovery on anadromous *Coilia nasus* in Poyang Lake under the national 10-year fishing ban[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(1): 24-30. [姜涛, 杨健, 轩中亚, 等. 长江禁渔对鄱阳湖溯河洄游型刀鲚资源恢复效果初报[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 24-30.]
- [10] Wu J M, Li L K, Cheng P L, et al. Species identification and resource dynamics of *Coilia nasus* in the Poyang Lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(6): 743-749. [吴金明, 李乐康, 程佩琳, 等. 鄱阳湖刀鲚的鉴定与资源动态研究[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 743-749.]
- [11] Xie C, Huang X, Mu H Q, et al. Impacts of land-use changes on the lakes across the Yangtze floodplain in China[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(7): 3669-3677.
- [12] Luo B. Studies on fish resources of Chaohu lake in the early period of ten-year fishing ban in the Yangtze River[D]. Guiyang: Guizhou University, 2023. [罗斌. 长江十年禁渔初期巢湖鱼类资源现状研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.]
- [13] Guo L G, Xie P, Ni L Y, et al. The status of fishery resources of Lake Chaohu and its response to eutrophication[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(5): 700-705. [过龙根, 谢平, 倪乐意, 等. 巢湖渔业资源现状及其对水体富营养化的响应研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(5): 700-705.]
- [14] Yuan C M, Lin J B, Qin A L, et al. The history and current status of the classification of fish species in the genus *Cirrus* in China: reflections on the renovation of old fish taxonomy[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science

- Edition), 1976(2): 1-12. [袁传宓, 林金榜, 秦安龄, 等. 关于我国鲚属鱼类分类的历史和现状——兼谈改造旧鱼类分类学的几点体会[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1976(2): 1-12.]
- [15] Cheng Q Q, Li S F. Morphological discrimination between two populations of *Coilia ectenes*[J]. Marine Sciences, 2004, 28(11): 39-43. [程起群, 李思发. 刀鲚和湖鲚种群的形态判别[J]. 海洋科学, 2004, 28(11): 39-43.]
- [16] Zong S B. Population genetic structure and local adaptation of Japanese grenadier anchovy, *Coilia nasus*[D]. Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2021. [宗绍兵. 刀鲚种群遗传结构及本地适应性机制研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2021.]
- [17] Yang Q L. Phylogenetic analysis of genus *Coilia* in China and molecular phylogeography of *C. nasus* and *C. mystus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 杨巧莉. 中国鲚属鱼类进化关系及刀鲚、凤鲚的分子系统地理学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012
- [18] Campana S. Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications[J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 188: 263-297.
- [19] Thomas O R B, Ganio K, Roberts B R, et al. Trace element-protein interactions in endolymph from the inner ear of fish: Implications for environmental reconstructions using fish otolith chemistry[J]. Metallomics, 2017, 9(3): 239-249.
- [20] Campana S E, Chouinard G A, Hanson J M, et al. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks[J]. Fisheries Research, 2000, 46(1-3): 343-357.
- [21] Walther B D, Thorrold S R. Water, not food, contributes the majority of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish[J]. Marine Ecology Progress Series, 2006, 311: 125-130.
- [22] Izzo C, Reis-Santos P, Gillanders B M. Otolith chemistry does not just reflect environmental conditions: A meta-analytic evaluation[J]. Fish and Fisheries, 2018, 19(3): 441-454.
- [23] Yang J, Arai T, Liu H, et al. Reconstructing habitat use of *Coilia mystus* and *Coilia Ectenes* of the Yangtze River estuary, and of *Coilia Ectenes* of Taihu Lake, based on otolith strontium and calcium[J]. Journal of Fish Biology, 2006, 69(4): 1120-1135.
- [24] Chen T T, Jiang T, Liu H B, et al. Do all long supermaxillary-type estuarine tapertail anchovies (*Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846) migrate anadromously?[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(2): 270-273.
- [25] Jiang T, Yang J, Liu H B, et al. Life history of *Coilia nasus* from the Yellow Sea inferred from otolith Sr: Ca ratios[J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 95(4): 503-508.
- [26] Hüssy K, Limburg K E, de Pontual H, et al. Trace element patterns in otoliths: The role of biomineralization[J]. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 2021, 29(4): 445-477.
- [27] Jiang T, Liu H B, Lu M J, et al. A possible connectivity among estuarine tapertail anchovy (*Coilia nasus*) populations in the Yangtze River, Yellow Sea, and Poyang Lake[J]. Estuaries and Coasts, 2016, 39(6): 1762-1768.
- [28] Jiang T, Liu H B, Hu Y H, et al. Revealing population connectivity of the estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus* in the Changjiang River Estuary and its adjacent waters using otolith microchemistry[J]. Fishes, 2022, 7(4): 147.
- [29] Capo R C, Stewart B W, Chadwick O A. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: Theory and methods[J]. Geoderma, 1998, 82(1-3): 197-225.
- [30] Brennan S R, Fernandez D P, MacKey G, et al. Strontium isotope variation and carbonate versus silicate weathering in rivers from across Alaska: Implications for provenance studies[J]. Chemical Geology, 2014, 389: 167-181.
- [31] Avigliano E, Niklitschek E, Chung M T, et al. Isotope geochemistry as a natural tag of fish in Patagonian freshwater environments: The invasive Chinook salmon case[J]. Science of The Total Environment, 2023, 873: 162395.
- [32] Xuan Z Y, Yang Y P, Hua Z, et al. Preliminary study for using otolith $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ to track the natal origin and reconstructing the early life history habitats of *Coilia nasus* from the Poyang Lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2024, 31(10): 1218-1229. [轩中亚, 杨彦平, 华忠, 等. 基于耳石 Sr 同位素反演鄱阳湖刀鲚出生起源及早期发育阶段生境履历的初步研究[J]. 中国水产科学, 2024, 31(10): 1218-1229.]
- [33] Xuan Z Y, Jiang T, Liu H B, et al. Otolith microchemical evidence revealing multiple spawning site origination of the anadromous tapertail anchovy (*Coilia nasus*) in the Changjiang (Yangtze) River Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2023, 42(1): 120-130.
- [34] Khumbanyiwa D D, Li M M, Jiang T, et al. Unraveling habitat use of *Coilia nasus* from Qiantang River of China by otolith microchemistry[J]. Regional Studies in Marine Science, 2018, 18: 122-128.
- [35] Jiang T, Li H, Yang J, et al. Reappearance of anadromous *Coilia nasus* in the Xiangjiang River, Hunan Province[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(12): 1409-1416. [姜涛, 李鸿, 杨健, 等. 湖南湘江重现溯河洄游型刀鲚[J]. 中国水产科学, 2023, 30(12): 1409-1416.]
- [36] Sokta L, Jiang T, Liu H B, et al. Loss of *Coilia nasus* habitats in Chinese freshwater lakes: An otolith microchemistry assessment[J]. Heliyon, 2020, 6(8): e04571.
- [37] Hamer P, Henderson A, Hutchison M, et al. Atypical correlation of otolith strontium: Calcium and barium: Calcium across a marine - freshwater life history transition

- of a diadromous fish[J]. Marine and Freshwater Research, 2015, 66(5): 411.
- [38] Zhou X Q, Liu H B, Jiang T, et al. Comparative study on otolith Sr: Ca ratios of *Neosalanx taihuensis* from Taihu Lake and Hongze Lake of China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(1): 23-32. [周昕期, 刘洪波, 姜涛, 等. 太湖及洪泽湖太湖新银鱼耳石元素锶钙比的比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(1): 23-32.]
- [39] Liu H B, Jiang T, Chen X B, et al. Otolith microchemistry of two *Triplophysa* species in Tongtianhe River[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(9): 2132-2137. [刘洪波, 姜涛, 陈修报, 等. 通天河2种高原鳅耳石锶和钙的微化学特征[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 2132-2137.]
- [40] Sivaji-Patra, Liu C Q, Wang Q L, et al. Major elements and Sr isotopes of the dissolved loads in the Yangtze River Estuary and its adjacent areas[J]. Earth and Environment, 2009, 37(4): 333-336. [Sivaji-Patra, 刘丛强, 汪齐连, 等. 长江口及邻近海域水体主元素和锶同位素地球化学[J]. 地球与环境, 2009, 37(4): 333-336.]
- [41] Luo C, Zheng H B, Wu W H, et al. Temporal variation in Sr and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of Yangtze River: An example from Datong hydrological station[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(7): 835-843. [罗超, 郑洪波, 吴卫华, 等. 长江河水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值的季节性变化及其指示意义: 以长江大通站为例[J]. 地球科学进展, 2014, 29(7): 835-843.]
- [42] Lin P C, Brosse S, Gao X, et al. Species composition and temporal pattern of fish passing through the navigation locks in the middle reach of Yangtze River: Implications for fish conservation[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1441-1444.
- [43] Xu Z F, Ji J P, Shi C. Water geochemistry of the Chaohu Lake basin rivers, China: Chemical weathering and anthropogenic inputs[J]. Applied Geochemistry, 2011, 26: S379-S383.
- [44] Ding T P, Gao J F, Tian S H, et al. Chemical and isotopic characteristics of the water and suspended particulate materials in the Yangtze River and their geological and environmental implications[J]. Acta Geologica Sinica - English Edition, 2014, 88(1): 276-360.
- [45] Luo C, Zheng H B, Tada R, et al. Tracing Sr isotopic composition in space and time across the Yangtze River basin[J]. Chemical Geology, 2014, 388: 59-70.
- [46] Wang X Y, Tang Z H. The first large-scale bioavailable Sr isotope map of China and its implication for provenance studies[J]. Earth-Science Reviews, 2020, 210: 103353.
- [47] Xuan Z Y, Jiang T, Liu H B, et al. Are there still anadromous the estuarine tapertail anchovies *Coilia nasus* in Dongting lake?[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(4): 838-843. [轩中亚, 姜涛, 刘洪波, 等. 洞庭湖中是否存在溯河洄游型刀鲚[J]. 水生生物学报, 2020, 44(4): 838-843.]
- [48] Xu G C, Gu R B, Liu H B, et al. Fluctuation of Sr/Ca in otoliths of *Coilia nasus* in the Yangtze River and the validation for the anadromous migratory history[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(7): 939-945. [徐钢春, 顾若波, 刘洪波, 等. 长江短颌鲚耳石 Sr/Ca 值变化特征及其江海洄游履历[J]. 水产学报, 2014, 38(7): 939-945.]
- [49] Campana S E. Otolith science entering the 21st century[J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56(5): 485.
- [50] Avigliano E, Niklitschek E, Chung M T, et al. Isotope geochemistry as a natural tag of fish in Patagonian freshwater environments: The invasive Chinook salmon case[J]. Science of The Total Environment, 2023, 873: 162395.
- [51] Pess G R, Quinn T P, Gephard S R, et al. Re-colonization of Atlantic and Pacific rivers by anadromous fishes: Linkages between life history and the benefits of barrier removal[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2014, 24(3): 881-900.

Otolith microchemistry provides evidence for the existence of migratory *Coilia nasus* in the Chaohu Lake and tracing their natal origins

CHEN Lingjie¹, XUAN Zhongya², MA Fengjiao³, YANG Yanping², LIU Kai^{1, 2, 3*}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;
3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China

Abstract: The Chinese tapertail anchovy (*Coilia nasus*) is a typical anadromous fish species. Its spawning grounds are located in numerous river-connected lakes throughout the middle and lower reaches of the Yangtze River. Since the mid-20th century, the construction of embankments and sluice gates has disconnected most of these lakes from the main channel of the Yangtze River, preventing *C. nasus* from spawning and rearing offspring. In the Chaohu Lake, the primary river-connected channel has been equipped with sluice gates, resulting in the lake disconnected from the Yangtze River, and the population of *C. nasus* in Chaohu Lake being classified as landlocked. Although fish passages and boat sluice gates may still offer opportunities for migratory fish, no studies have yet investigated whether migratory *C. nasus* still exists in the lake. Investigating the ecological types of *C. nasus* in Chaohu Lake and tracing their origins can enhance our understanding of its migratory ecology and provide a more comprehensive view of lake connectivity, improving our ability to protect the ecology of Chaohu Lake. In July 2022, nine adult *C. nasus* samples were collected from Chaohu Lake in the Anhui Province, China. In this study, the otolith Sr/Ca ratio was analyzed using an Electron Probe Microanalyzer (EPMA) to determine the habitat history of *C. nasus* collected from Chaohu Lake. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratio of otoliths was analyzed using laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS) to trace the origin of some *C. nasus* individuals. The results showed that seven out of nine *C. nasus* individuals collected from Chaohu Lake exhibited low otolith Sr/Ca ratio profiles from the core to the edge. Change-point analysis revealed that the average values at different stages of these otoliths were all below three, indicating a freshwater life history. Moreover, the Sr/Ca ratio of individual 22CH03 exhibited a temporary increase exceeding 3, whereas the ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratio of the individual remained stable at approximately 0.71053, confirming that this individual had a freshwater life history. In contrast, the otoliths of individual 22CH07 displayed sharp fluctuations in Sr/Ca ratios, rising to 5.37±0.57 after a low Sr/Ca ratio region near the core, and decreasing to less than 3 at the edge. This pattern indicated that the individual was born in freshwater, grew in the estuary, and returned to freshwater, reflecting a migratory life history. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios of the otoliths of 22CH07 were initially high at 0.71451, corresponding to the region with high Sr/Ca ratios and higher than the water of Chaohu Lake and its tributaries. This suggests that this fish originated from Poyang Lake. Subsequently, the ratio decreased to 0.70945, aligning with regions with high Sr/Ca ratios, indicating an estuary and nearshore life history. At the otolith margin, the ratio decreased to 0.71079, which was close to the background ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratio of Chaohu Lake. These results indicated the presence of one anadromous *C. nasus* individual in Chaohu Lake, likely originating from Poyang Lake. This suggests that Chaohu Lake maintains connectivity with the Yangtze River to some extent. Additionally, owing to the small sample size of this study, further investigation is needed to determine whether an anadromous *C. nasus* population exists that is both born and reproduces in Chaohu Lake.

Key words: *Coilia nasus*; otolith; the Chaohu Lake; anadromy; microchemistry; Sr/Ca; ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

Corresponding author: LIU Kai. E-mail: Liuk@ffrc.cn