

DOI: 10.12264/JFSC2023-0307

湖南湘江重现溯河洄游型刀鲚

姜涛¹, 李鸿², 杨健¹, 陈修报¹, 薛峻仁¹, 刘洪波¹

1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心渔业微化学实验室, 江苏 无锡 214081;

2. 湖南农业大学, 湖南 长沙 410022

摘要: 随着十年禁捕政策的实施, 长江刀鲚资源恢复效果已日益凸显, 一些传统栖息地被发现重新有了刀鲚的分布。湖南湘江水域曾是洞庭湖水系内刀鲚的主要分布水域之一, 但洄游型刀鲚长期被认为在该水域已绝迹。近期笔者对 2023 年 6 月 13 日采集自湖南湘江湘阴段的 1 尾刀鲚标本进行耳石微化学特征研究, 以验证其所属的生态类型。结果发现, 该个体耳石锶钙比生境特征可分为 5 个阶段, 其中既有对应于淡水生境的 S_I (1.37 ± 0.60)、 S_{III} (2.80 ± 0.16) 和 S_V (2.47 ± 0.62) 阶段, 也有对应于河口半咸水的 S_{II} (5.50 ± 1.10)、 S_{IV} (4.52 ± 0.94) 阶段。此外 S_{II} 阶段有部分锶钙比高于 7, 说明该个体还进入过海水栖息。锶含量面分布分析结果显示, 自核心至边缘亦依次呈现蓝色、黄绿色、蓝色、黄绿色以及蓝色的不同盐度生境变化的“分色图谱”特征。上述结果确证了所研究个体为典型的溯河洄游型刀鲚。这也首次客观证实了十年禁捕政策实施后, 洄游型刀鲚不仅能够重新自海区经长江进洞庭湖, 而且更能自湖上溯至湘江水域。为保护洞庭湖内及各支流洄游型刀鲚资源, 同时也为持久守护长江十年禁捕的成效, 亟需开展洞庭湖及各支流内洄游性刀鲚的分布和关键生境的调查以及其资源保护。

关键词: 刀鲚; 耳石; 微化学; 电子探针; 湘江; 洞庭湖

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)12–1409–08

刀鲚(*Coilia nasus*)是我国重要鱼类, 也是“长江三鲜”之一。作为洄游型鱼类, 历史上每年春、夏季刀鲚亲鱼自河口沿长江上溯, 陆续进入沿岸湖泊进行繁殖, 最远可至中游的洞庭湖水域^[1]。刀鲚一直价格昂贵[最高单尾可达 6 万元, 即便目前市场所售海刀(在湖区所捕获的刀鲚个体)依旧达高 600 元/斤]。由于酷鱼滥捕, 其资源量早已锐减。以长江下游为例, 1973 年亲鱼产量达 3545.1 t, 及至 1993—2002 年年均捕捞量仅为 891.5 t^[2]。此外, 长江靖江段作为刀鲚的传统捕捞区域其单船渔获量 1989 年可达 1133.3 kg, 而 2009 年已低至 66.4 kg^[3]。同时长江流域溯河洄游型/淡水定居型长颌鲚、溯河洄游型/淡水定居型短颌鲚以及陆封型湖鲚 5 种生态表型群体混栖的情况^[4]也为刀鲚的

资源调查和准确评估带来困难。自 20 世纪 90 年代以来, 洞庭湖岳阳水域和鄱阳湖湖口水域已监测不到溯河洄游型刀鲚^[2], 刀鲚甚至被认为已无法洄游至鄱阳湖^[5]。根据廖伏初等^[6]1990—1999 年资源监测结果显示, 该时期洞庭湖水域内以刀鲚为代表的洄游型鱼类已极为罕见; 至 2003 年后更是很难监测到长颌鲚, 且该鱼种于 2002 年被列入湖南省重点保护品种^[7]。在此后长达 15 年内也再未有洞庭湖水域有洄游型刀鲚分布的报道。2018 年, 本团队在岳阳市开展调查时曾发现有长颌鲚, 通过实验室确证为洄游型长颌鲚, 并以此推断洞庭湖中仍可能分布有洄游型刀鲚个体^[8]。可惜的是, 同期湖区内渔船渔获物调查中除淡水定居型的短颌鲚未发现有洄游型刀鲚个体, 因此一直无

收稿日期: 2023-11-14; **修订日期:** 2023-12-15.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF0608203).

作者简介: 姜涛(1984–), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为渔业微化学, E-mail: jiangt@ffrc.cn; 共同第一作者, 李鸿(1982–), 男, 正高级农艺师, 研究方向为渔业资源. E-mail: lihongfish@163.com

通信作者: 杨健, 博士, 研究员, 研究方向为渔业微化学. E-mail: jiany@ffrc.cn

法确证是否还有洄游群体能进入洞庭湖水域。

除了洞庭湖湖区,与洞庭湖相连的湘江、资江、沅江、澧水均曾有刀鲚分布,并且曾是 20 世纪 70 年代湘江主要经济鱼类之一^[9]。湘江又称湘水,全长 856 km,是洞庭湖流域最大支流。湘江下游分两支注入洞庭湖(其中一支经湘阴濠河口注入洞庭湖,另一支与资江、沅江、澧水相汇,经湘江洪道汇入洞庭湖),并经城陵矶汇入长江^[10],而历史上刀鲚在湘江内主要分布在湘阴及以下江段^[9]。迄今,湘江流域内已 10 多年未见刀鲚^[10],2017 年至 2018 年湘江下游汨罗段资源调查也并未发现有刀鲚个体^[11]。

2018 年 12 月,农业农村部发布了《关于调整长江流域专项捕捞管理制度的通告》,规定自 2019 年 2 月 1 日起停止发放刀鲚、凤鲚、中华绒螯蟹专项捕捞许可证。而长江“十年禁捕”也从 2021 年 1 月起正式实施,其中就包括洞庭湖等水域。得益于上述政策,长江刀鲚资源恢复明显。以鄱阳湖星子县刀鲚资源为例,上述相关保护政策施行后洄游型刀鲚所占渔获比例上升至 31.66% (2019 年)甚至 92.03% (2020 年),较禁捕前平均增长了 43 倍^[12]。同时长江刀鲚资源调查也显示,与之前的小型化情况相比^[13],刀鲚平均体长和平均体质量均有了显著增加^[14]。除了原有分布区资源量的增加外,目前越来越多的水域发现有洄游型刀鲚的分布^[15-17]。刀鲚历史上最远能够溯河洄游到的洞庭湖水域^[18],在长江禁捕的新形势下,长江刀鲚亲鱼上溯的阻碍已完全破除,溯河洄游型刀鲚在回到洞庭湖的同时,继续上溯直至重回湘江水域的可能性完全存在。

笔者本年度 6 月在湘江下游湘阴段水域调查中采集到 1 尾刀鲚标本,根据形态鉴定为典型长颌鲚表型个体。基于前期利用耳石微化学(otolith microchemistry)技术研究验证刀鲚洄游个体并分析其生境履历、洄游特征的成功经验^[19-21],本研究拟利用耳石微化学技术验证其是否是洄游型刀鲚个体,以期确证新形势下湘江是否有洄游型刀鲚群体的分布,进而为湘江乃至洞庭湖流域刀鲚资源的科学评价以及保护上述水域刀鲚资源提供

重要的技术支撑,也为有效评价长江十年禁捕工作的成效提供最新的科学依据。

1 材料与方法

2023 年 6 月 13 日,在湘江下游湘阴段采集刀鲚 1 尾(图 1),根据形态鉴定为长颌鲚个体(上颌骨长大于头长),全长 37.8 cm,体长 35.3 cm,体重 104.3 g。摘取其矢耳石进行微化学分析。

由于耳石矢状面最大,具有更高的分辨率^[22]。因此本研究刀鲚耳石用树脂(Epofix, 丹麦 Struers 公司)包埋后,对其矢状面进行打磨。处理过程参考 Xuan 等^[23]和胡玉海等^[21]。待耳石核心完全暴露且表面无明显划痕后,对耳石进行清洗和过夜烘干(37 °C)。为增加样品表面导电性,对干燥的耳石薄片使用真空镀膜机(JEE-420 型,日本电子株式会社)蒸镀碳膜(36 A, 25 s)。

耳石矢状面上最长径的锶(Sr)、钙(Ca)元素含量定量线分析以及矢状面 Sr 含量面分析采用电子探针微区分析仪(EPMA, JXA-8100 型,日本电子株式会社)进行。分析条件参考 Xuan 等^[23]:其中定量线分析标样分别为钛酸锶(SrTiO_3)和碳酸钙(CaCO_3),加速电压为 15 kV,电子束流为 20 nA,束流直径为 5 μm ,每点驻留时间为 15 s;面分析加速电压为 15 kV,电子束流为 500 nA,束流直径为 5 μm ,像素尺寸为 10 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$,驻留时间为 30 ms。定量线分析结果按惯例标准化计算为锶钙比($\text{Sr}/\text{Ca} \times 1000$)。根据之前的研究结果,刀鲚耳石锶钙比与生境履历关系分别为<3 淡水生境、3~7 河口半咸水生境、>7 海水生境,对应的锶面分布分析生境“分色图谱”结果依次为蓝色、绿至黄色、红色^[23-24]。

由于刀鲚耳石矢状面无法直接观察年轮,需要通过酸蚀手段以显现^[22],因此微化学分析完成后,对耳石薄片重新抛光并去除表面碳层。随后使用 5% EDTA 对其进行酸蚀。具体酸蚀过程为每酸蚀 5 s 将耳石薄片取出,于自来水下冲洗、擦干后观察表面年轮情况,直至清晰,随后用 BX-51 型多功能显微镜(日本奥林巴斯株式会社)拍摄年轮照片,并用自带软件(Stream Start, 日本奥林巴斯株式会社)测量核心至年轮的距离。

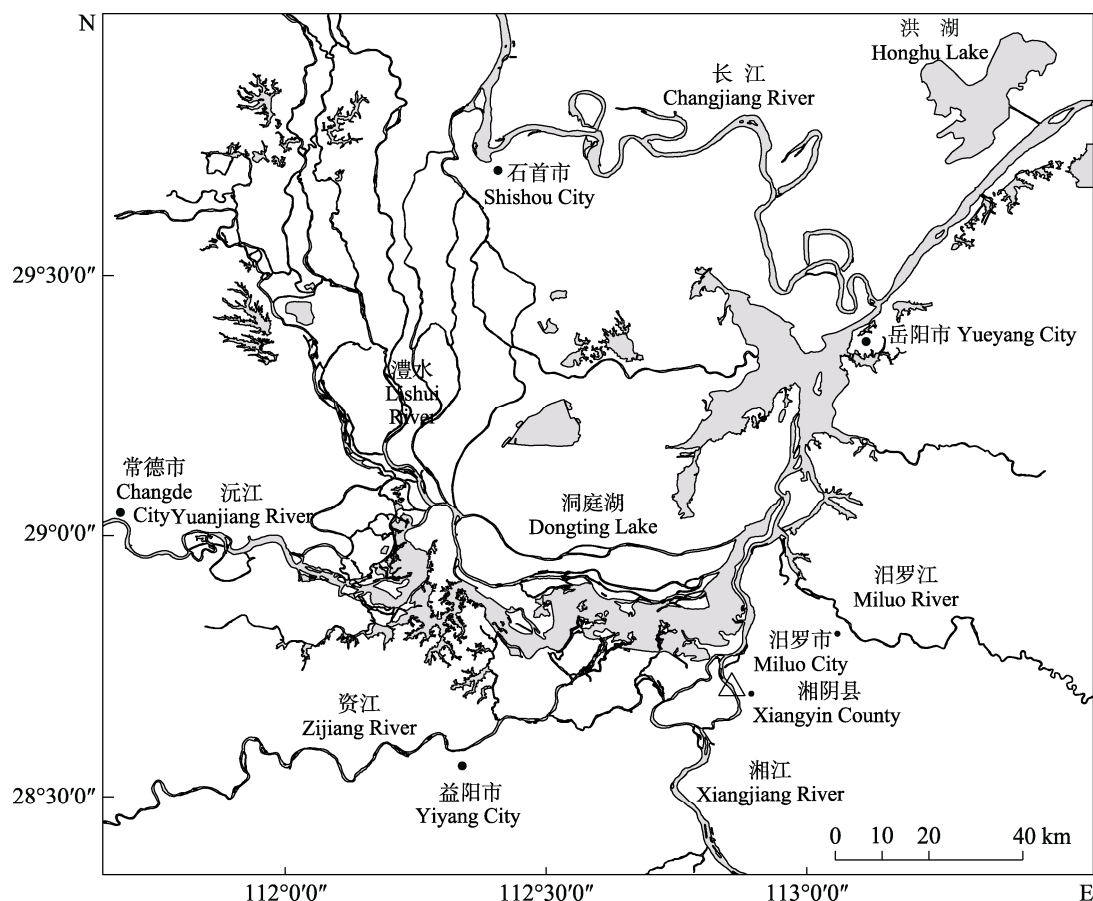


图 1 湘江刀鲚的采样点(△)

Fig. 1 Sampling site (△) of *Coilia nasus* in the Xiangjiang River

2 结果与分析

本研究中, 无论是定量线分析的刀鲚耳石锶钙比值(图 2), 还是锶面分析所显示的矢状面上的 Sr 含量变化(图 3), 均清晰地显示出了多个比值区段/颜色区域的存在。其中耳石自核心至边缘的定量线分析结果显示, 锶钙比值从开始的低值(<3), 经高值(≥ 3)回到低值(<3); 其中高值区除了大部分在 3~7 外, 部分还有 >7 以及一个短期的低值区部分(<3)(图 2a)。耳石面分布分析直观地显示了核心及其周边的蓝色区(低值区)以及中间黄、绿色区(高值区)以及边缘的蓝色窄带(低值区), 其中高值区部分还有一条明显的低值区域(蓝色)(图 3a)。进一步分析上述不同值区的锶钙比值, 按照刀鲚不同生境对应锶钙比特征可以发现本研究中刀鲚耳石自核心至边缘共分 5 个阶段, 分别为 S_I 阶段(0~1020 μm), 锶钙比值为 1.37 ± 0.60 ; S_{II} 阶段(1020~

1650 μm), 锶钙比值为 5.50 ± 1.10 ; S_{III} 阶段(1650~1680 μm), 锶钙比值为 2.80 ± 0.16 ; S_{IV} 阶段(1680~2050 μm), 锶钙比值为 4.52 ± 0.94 ; 以及 S_V 阶段(2050~2070 μm), 锶钙比值为 2.47 ± 0.62 (图 2b)。同时, 除了 S_{III} 和 S_V 没显著性差异, 其余阶段间均存在显著差异($P < 0.05$, Mann-Whitney U -test)。结合耳石年轮(图 3b)可以发现第 1 年轮和第 2 年轮分别位于 S_{II} 阶段刚开始部分(1072 μm), 以及 S_{III} 阶段中间部分(1663 μm , 图 2a)。

3 讨论

Yang 等^[24]首次利用耳石微化学成功验证了耳石微化学可以清晰地揭示刀鲚和凤鲚的洄游特征, 以及湖鲚淡水陆封型的生境履历特征; 并建立了耳石锶钙比在 <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的判别标准, 以及相应区间 Sr 含量面分布呈现结果分别为蓝色、

黄绿色和红色“分色图谱”特征。自此以后,大量研究结果均证实了上述标准的准确性^[25-28]。本研究在湘江湘阴段采集到 1 尾长颌鲂个体,从耳石微化学研究结果来看其耳石径长上的锶钙比值不仅有低于 3 的阶段(S_I 、 S_{III} 和 S_V),还有高于 3 (S_{IV})甚至到达 7 以上的阶段(S_{II})(图 2);同时对应的耳石 Sr 含量面分布图也直观地显示除了核心的蓝色区、周边的黄绿色环带以及边缘的蓝色窄带(图 3)。由此可见该个体为典型溯河洄游型个体无疑,换言之目前洞庭湖上游湘江水域也有洄游型刀鲂的分布。

值得注意的是,由于代谢惰性^[29]以及耳石中元素与环境元素的直接相关的特性^[30],耳石日益

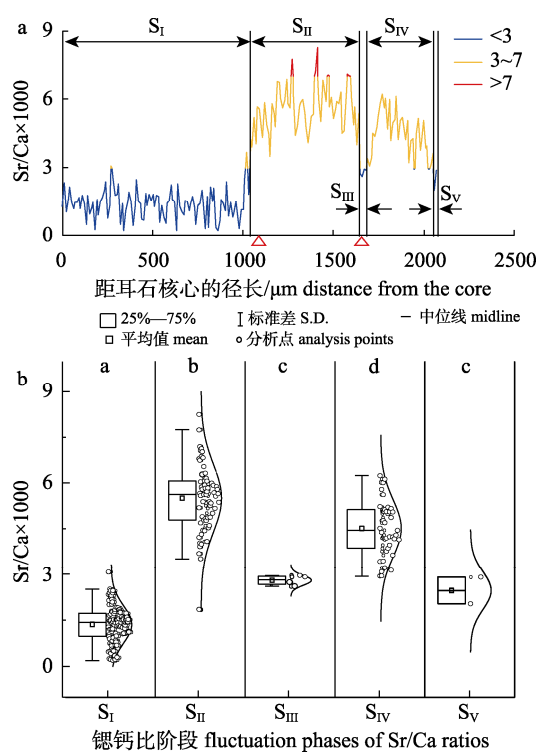


图 2 湖南湘江刀鲂耳石自核心至边缘的锶钙比值变化
a. 自耳石核心至边缘(S_I ~ S_V)的锶钙比值变化,红色三角所示为年轮距核心距离;b. 不同阶段差异性分析,顶端不同字母代表显著性差异($P<0.05$, Mann-Whitney U -test).

Fig. 2 Fluctuation of Sr/Ca concentration ratios from the core to the edge in the otolith of *Coilia nasus* from the Xiangjiang River of Hunan Province
a. Fluctuation S_I ~ S_V of otolith Sr/Ca concentration ratios along the line transects from the core to the edge, and the red triangles represent the annuli; b. Comparison of different phases and different letters at the top indicate significant difference ($P<0.05$, Mann-Whitney U -test).

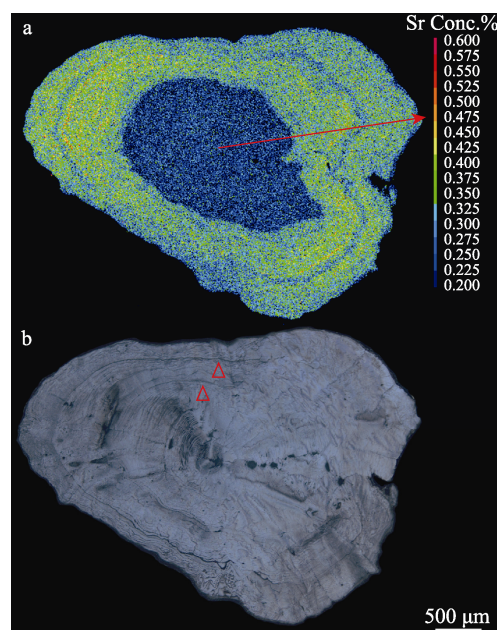


图 3 湖南湘江刀鲂耳石 Sr 含量面分布图谱(a)和酸蚀后所示年轮特征(b)

红色虚线所示为定量线分析路径;红色三角所示为年轮.
Fig. 3 Mapping of Sr concentration in otoliths of *Coilia nasus* from the Xiangjiang River of Hunan Province (a) and the characteristics of annuli after etching with EDTA (b)
Red dot line indicates the line transects; red triangles indicated the annuli.

成为研究鱼类洄游生态学中洄游履历、群体结构、群体溯源等的重要工具^[31-36]。而这种特征也使得耳石微化学不同于其他学科,即便样本量有限也不影响结论的准确性和可靠性。如 Sih 等^[37]在研究太平洋岛链的长尾滨鲷(*Etelis coruscans*)和红钻笛鲷(*Etelis boweni*)群体关联性时,每个采样点仅 3 尾标本;Amano 等^[38]在利用耳石溯源日本仙台湾石蝶(*Platichthys bicoloratus*)育幼场时,每个采样点样本量也仅 3 或 6 尾。而本研究团队也曾基于有限的样本量成功开展研究的案例,如基于 1 尾长颌鲂标本证实了鄱阳湖依旧分布有洄游型刀鲂^[39];基于 2 尾标本发现舟山海区除钱塘江刀鲂个体外还有长江刀鲂的分布^[40];基于 1 尾短颌鲂标本证实了被一直认为仅有淡水定居型的短颌鲂群体中有洄游型个体的存在^[41]。因此本研究在湘江水域仅发现有 1 尾洄游型刀鲂,但其所反映的结果无疑是可靠的。

除此以外,比较本研究中的湘江个体与之前研究中的刀鲂个体耳石边缘部分的微化学特征可

以发现, 本研究中耳石边缘(S_V)虽已降至 3 以下(淡水生境), 但较窄, 仅 $20\ \mu\text{m}$ ($2050\sim 2070\ \mu\text{m}$), 短于在之前的研究中所发现疑似洞庭湖刀鲚个体的 $40\ \mu\text{m}$ ^[8]。而鄱阳湖赣江水域刀鲚边缘低值区为 $(33\pm 11)\ \mu\text{m}$ ^[15], 甚至略长于本研究湘江个体。值得注意的是, 鄱阳湖赣江刀鲚调查点距长江口约 900 km, 而岳阳城陵矶距长江口约为 1356 km, 本研究湘江湘阴段更是距城陵矶水域约 80 km (距长江口 1436 km) 远超之前研究的距离。这一方面说明了刀鲚亲鱼生殖洄游期间上溯十分迅速, 另一方面也反映了本研究中洞庭湖个体是鄱阳湖洄游群体中“迷航”个体的可能性较低。由于长距离洄游型的鱼类常具有“母河回归”的繁殖特性^[42], 而刀鲚也有类似的现象^[43-44]。这种独特的习性使得刀鲚形成了多个独特的地理种群^[20,45]。因此, 本研究中所发现的湘江洄游型个体应该属于该水域的特有群体, 由此可见湘江水域对于长江刀鲚种群多样性的重要性。此外, 由于刀鲚自长江口沿江上溯需要经由洞庭湖后才能进入湘江水域, 换言之本研究证实的湘江洄游刀鲚个体同时也反映了洞庭湖已有刀鲚群体的分布, 相关水域的生态系统功能正逐步恢复。

4 结论

随着“十年禁捕”政策的实施, 长江刀鲚资源恢复的趋势越来越显现。刀鲚一些传统栖息地的生态系统功能也逐渐得到了恢复。本研究基于耳石微化学的研究手段, 在距长江口约 1436 km 的湘江湘阴江段发现了有溯河洄游型刀鲚的分布。该结果首次证实了“十年禁捕”政策的实施后, 洄游型刀鲚可重新自海区、经长江、穿洞庭湖、上溯至已绝迹 10 余年湘江水域栖息的显著效果。据此, 建议宜尽快较为全面地开展洞庭湖区及湘江、资江、沅江、澧江等流水域内刀鲚群体分布和组成特征调查, 并对湖区内重要栖息地(如分布区、产卵场、孵化场、洄游通道等)进行精确定位, 以便尽早对相应栖息地生境以及不同栖息地间的连通性进行有效保护, 以避免因码头建设、挖沙作业、水利工程等非渔捞人类活动对上述重要生境造成不可逆的破坏。

参考文献:

- [1] Yuan C B, Qin A L. Ecological habits and distribution of *Coilia* along the Chinese coast and its changes of output[J]. Marine Science, 1984(5): 35-37. [袁传宓, 秦安龄. 我国近海鲚鱼生态习性及其产量的变动状况[J]. 海洋科学, 1984(5): 35-37.]
- [2] 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.]
- [3] Guo H Y, Shen L H, Tang W Q, et al. Distribution characteristics and temporal and spatial changes of *Coilia nasus* catches at Jingjiang section of the Yangtze River in fishing season based on the data from fishing log[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 774-781. [郭弘艺, 沈林宏, 唐文乔, 等. 基于渔捞日志的长江靖江段刀鲚渔获量的时空特征分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(5): 774-781.]
- [4] Jiang T, Liu H B, Xuan Z Y, et al. Classification of ecomorphotypes of *Coilia nasus* from the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(2): 518-527. [姜涛, 刘洪波, 轩中亚, 等. 长江中下游流域刀鲚(*Coilia nasus*)生态表型的划分[J]. 湖泊科学, 2020, 32(2): 518-527.]
- [5] Li Y X, Xie S G, Li Z J, et al. Gonad development of an anadromous fish *Coilia ectenes* (Engraulidae) in lower reach of Yangtze River, China[J]. Fisheries Science, 2007, 73(6): 1224-1230.
- [6] Liao F C, He W, Huang X R, et al. Studies on present situation and change trend of Dongting Lake fishery resources and environment[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 623-627. [廖伏初, 何望, 黄向荣, 等. 洞庭湖渔业资源现状及其变化[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 623-627.]
- [7] Liao F C, He X C, He W, et al. Status and protective regulation countermeasure in fishery resources and its environment of Dongting Lake[J]. Journal of Yueyang Vocational Technical College, 2006, 21(6): 32-37. [廖伏初, 何兴春, 何望, 等. 洞庭湖渔业资源与生态环境现状及保护对策[J]. 岳阳职业技术学院学报, 2006, 21(6): 32-37.]
- [8] 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.]
- [9] Wu Y A, Li H, Liao F C, et al. Ichthyography of Hunan[M]. Beijing: Science Press, 2021: 59-60. [伍远安, 李鸿, 廖伏初, 等. 湖南鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 2021: 59-60.]
- [10] Cao Y H, Liao F C, Wu Y A. Aquatic Fauna of Xiangjiang River[M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2012: 1, 29-31. [曹英华, 廖伏初, 伍远安. 湘江水生动物志[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2012: 1, 29-31.]
- [11] Liu Y J, Gao L, Zheng Y H, et al. Seasonal changes and migration characteristics of fish resources in the Miluo reaches of Xiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(2): 51-58. [刘艳佳, 高雷, 郑永华, 等. 湘江汨罗江段鱼类资源季节变化及洄游特征研究[J]. 淡水渔业, 2019, 49(2): 51-58.]
- [12] 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.]
- [13] Dai P, Yan Y, Zhu X Y, et al. Status of *Coilia nasus* resources in the national aquatic germplasm resources conservation area in the Anqing section of the Yangtze River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(11): 1267-1276. [代培, 严燕, 朱孝彦, 等. 长江刀鲚国家级水产种质资源保护区(安庆段)刀鲚资源现状[J]. 中国水产科学, 2020, 27(11): 1267-1276.]
- [14] 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.]
- [15] Yang Y F, Jiang T, Gao X P, et al. Discovery of anadromous *Coilia nasus* in the Ganjiang River, Lake Poyang Basin, China[J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(5): 1595-1606. [杨一帆, 姜涛, 高小平, 等. 赣江发现溯河洄游型刀鲚(*Coilia nasus*)[J]. 湖泊科学, 2021, 33(5): 1595-1606.]
- [16] Gao X P, Wu J M, Kong C P, et al. Biological characteristics of tapertail anchovy *Coilia nasus* breeding population in Poyang Lake[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2022, 35(2): 42-46. [高小平, 吴金明, 孔赤平, 等. 鄱阳湖刀鲚繁殖群体生物学特征[J]. 水产学杂志, 2022, 35(2): 42-46.]
- [17] 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): 743-750. [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): 743-750.]
- [18] The Yangtze River Basin Fishery Administration Supervision and Administration Office under the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the Changjiang Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, the Yangtze River Basin Ecological Environment Supervision Administration of Ministry of Ecology and Environment, et al. Status of aquatic organism resources and their environments in Yangtze River Basin (2022)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 1. [农业农村部长江流域渔政监督管理办公室, 水利部长江水利委员会, 生态环境部长江流域生态环境监督管理局, 等. 长江流域水生生物资源及生境状况公报(2022年)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 1.]
- [19] Jiang T, Liu H B, Xuan Z Y, et al. Similarity of microchemical “fingerprints” between the pectoral fin ray and otolith of *Coilia nasus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(1): 100-107. [姜涛, 刘洪波, 轩中亚, 等. 刀鲚胸鳍条和耳石微化学“指纹”相似性研究[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(1): 100-107.]
- [20] Li Y, Chen J H, Feng G P, et al. Otolith microchemistry assessment: Evidence of migratory *Coilia nasus* of Yangtze River living in the Shengsi Sea area[J]. Fishes, 2022, 7(4): Article No.172.
- [21] 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.]
- [22] Jiang T, Liu H B, Lu M J, et al. The comparison of different pre-treatment methods for acquiring otolith annuli of *Coilia nasus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(2): 62-67. [姜涛, 刘洪波, 卢明杰, 等. 几种前处理方法所获刀鲚(*Coilia nasus*)耳石年轮的效果比较[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(2): 62-67.]
- [23] 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.
- [24] 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.
- [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] Chen T T, Jiang T, Liu H B, et al. Do all long supermaxilla-type estuarine tapertail anchovies (*Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846) migrate anadromously?[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(2): 270-273.
- [27] 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.
- [28] Zhang J, Yang P M, Jiang T, et al. The habitat history of *Coilia nasus* in dayang river based on otolith microchemistry [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2024, 48(1): 130-137. [张健, 杨培民, 姜涛, 等. 基于耳石微化学的大洋河刀鲚生境履历研究[J]. 水生生物学报, 2024, 48(1): 130-137.]
- [29] Campana S E. Otolith science entering the 21st century[J]. Marine and Freshwater Research, 2005, 56(5): 485-495.
- [30] 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.
- [31] Hüssy K, Albertsen C M, Hemmer-Hansen J, et al. Where do you come from, where do you go: Early life stage drift and migrations of cod inferred from otolith microchemistry and genetic population assignment[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2022, 79(2): 300-313.
- [32] Song D D, Xiong Y, Jiang T, et al. Evaluation of spawning-and natal-site fidelity of *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea using otolith microchemistry[J]. Frontiers in Marine Science, 2022, 8: 820492.
- [33] Chittaro P, Hegg J, Fuhrman A, et al. The incorporation of environmentally derived $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and Sr/Ca in early otolith formation of Chinook salmon[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2023, 32(1): 107-119.
- [34] Mikheev P B, Kotsyuk D V, Podorozhnyuk E V, et al. The identification of individuals with hatchery and natural origin in a mixed sample of Amur River chum salmon by otolith microchemistry[J]. Aquaculture and Fisheries, 2023, 8(3): 341-350.
- [35] Lu M J, Jiang T, Liu H B, et al. Existence of anadromous *Coilia nasus* in Xinjiang River of Jiangxi Province as determined by otolith microchemistry[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(5): 978-985. [卢明杰, 姜涛, 刘洪波, 等. 信江发现溯河洄游型刀鲚的实证研究[J]. 中国水产科学, 2015, 22(5): 978-985.]
- [36] Yang J, Liu H B. Otolith microchemistry of grey mullet *Mugil cephalus* from Chongming water in the Yangtze River Estuary, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 853-858. [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.]
- [37] Sih T L, Williams A J, Hu Y, et al. High-resolution otolith elemental signatures in eteline snappers from valuable deepwater tropical fisheries[J]. Journal of Fish Biology, 2022, 100(6): 1475-1496.
- [38] Amano Y, Otake T, Togashi H, et al. Otolith isotopic characterization as a nursery habitat indicator for stone flounder *Platichthys bicoloratus*[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2022, 277: 108028.
- [39] Jiang T, Zhou X Q, Liu H B, et al. Two microchemistry patterns in otoliths of *Coilia nasus* from Poyang Lake, China[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 239-244. [姜涛, 周昕期, 刘洪波, 等. 鄱阳湖刀鲚耳石的两种微化学特征[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 239-244.]
- [40] 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.
- [41] 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.]
- [42] McDowall R M. Diadromy, history and ecology: A question of scale[J]. Hydrobiologia, 2008, 602: 5-14.
- [43] 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.
- [44] 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): Article No.147.
- [45] Xu Q, Jiang T, Yang J, et al. Habitat history of *Coilia nasus* in Fujian waters based on otolith microchemical analysis[J]. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(6): 116-123. [许庆, 姜涛, 杨健, 等. 基于耳石微化学分析的福建水域刀鲚生境履历研究[J]. 渔业科学进展, 2023, 44(6): 116-123.]

Reappearance of anadromous *Coilia nasus* in the Xiangjiang River, Hunan Province

JIANG Tao¹, LI Hong², YANG Jian¹, CHEN Xiubao¹, XUE Junren¹, LIU Hongbo¹

1. Fishery Microchemistry Laboratory, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

2. Hunan Agricultural University, Changsha 410022, China

Abstract: With the implementation of the 10-year Fishing Ban policy, the abundance of anadromous *Coilia nasus* has dramatically increased in the Changjiang River and the species has been redistributed to some traditional habitats. The Xiangjiang River is one of the main distribution waters of *C. nasus* in the Dongting Lake catchment. However, no anadromous *C. nasus* has been found in this river for several decades. To verify the distribution of anadromous *C. nasus* in this river after the Fishing Ban, microchemical analysis of otoliths was performed on a specimen collected from the Xiangying section of the Xiangjiang River on June 13, 2023. The results showed that the strontium–calcium ratio of otoliths of this individual could be divided into five stages, including S_I (1.37±0.60), S_{III} (2.80±0.16), and S_V (2.47±0.62) stages corresponding to freshwater habitats, while S_{II} (5.50±1.10) and S_{IV} (4.52±0.94) stages corresponded to estuarine water. In addition, some parts of the Sr/Ca ratios were greater than 7 in the S_{II} stage, indicating that it had once entered marine water. The corresponding Sr-content mapping analysis results also show blue, yellow-green, blue, yellow-green, and blue characteristics from the core to the edge of the water. All the aforementioned results reflect the characteristics of a typical anadromous *C. nasus*. To the best of our knowledge, this is the first study to confirm the distribution of anadromous *C. nasus* in the Xiangjiang River in the upper reaches of Dongting Lake by otolith microchemistry. This finding demonstrates the effect of the Fishing Ban policy in that anadromous *C. nasus* could migrate back to the Xiangjiang River through the Changjiang River and Dongting Lake from the sea. To continuously protect the migratory resources in Dongting Lake and its tributaries, as well as the stable effect of the Changjiang 10-year Fishing Ban policy, it is important not only to investigate the distribution of anadromous stocks and their key habitats in Dongting Lake and its tributaries but also to carry out urgent protection of the refunctioned key habitats.

Key words: *Coilia nasus*; otolith; microchemistry; EPMA; Xiangjiang River; the Dongting Lake

Corresponding author: YANG Jian. E-mail: jiany@ffrc.cn