

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200424004

http://www.yykxjz.cn/

丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 王亚楠, 孙鲁峰, 客涵, 杨健, 姜涛. 基于耳石微化学的黄河垦利段刀鲚生活史初步研究. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 31-37

CONG X R, LI X Q, DONG G C, WANG Y N, SUN L F, KE H, YANG J, JIANG T. Preliminary investigations on *Coilia nasus* from the Kenli section of the Huanghe River based on otolith microchemistry. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(1): 31-37

基于耳石微化学的黄河垦利段刀鲚生活史初步研究*

丛旭日¹ 李秀启^{1①} 董贯仓¹ 王亚楠¹
孙鲁峰¹ 客涵¹ 杨健² 姜涛²

(1. 山东省淡水渔业研究院 山东省淡水水产遗传育种重点实验室 山东 济南 250013;

2. 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 江苏 无锡 214081)

摘要 为研究黄河刀鲚(*Coilia nasus*)生境履历特征,利用电子探针微区分析技术(EPMA)对采集自黄河垦利段5尾刀鲚个体(D1、D2、D4、D5和D6)的耳石进行微化学特征研究。定量线分析结果显示,黄河口刀鲚生境履历较为复杂,所有个体核心区 Sr/Ca 值较低,表明其淡水孵化特征,但随着个体生长表现出不同的生活履历。个体 D2 生活史较复杂,其生长轨迹多次往返于淡水—半咸水生境,不具备洄游型刀鲚应有的规律性特征;个体 D1、D4、D5 和 D6 具有明显的洄游特征,不同的是个体 D1 和 D4 的 Sr/Ca 最大值分别为 6.1 和 6.2, D5、D6 生境已延伸至 Sr/Ca 值较高的区域,最大值分别达到 8.44、8.63,但是由于调水、调沙对黄河口盐度变化影响较大,尚不能判断 D5、D6 个体生境已延伸至海水区域。分析的结果显示了同样的特征,个体 D1、D4 核心区表现为蓝色,外缘区域表现为蓝绿色;个体 D2 核心区表现为蓝色、绿色、黄色交替出现,个体 D5、D6 核心区表现为 Sr 值较低的蓝色区域,随着生长耳石外围逐渐形成较为明显的黄色圆环。基于以上结果,本研究重新建立了黄河口刀鲚的生境履历,多数个体孵化和早期的生活主要在淡水生境完成,之后进入盐度较高的区域,往返于半咸水—海水生境中进行索饵、育肥,直至被捕获。以个体 D2 为代表的群体生活史较为复杂,推测可能是由于当年山东东平湖汛期放水而被动进入黄河的定居型刀鲚。

关键词 黄河垦利段; 刀鲚; 耳石; 电子探针微区分析技术

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)01-0031-07

刀鲚(*Coilia nasus*)是一种极为名贵的洄游性经济鱼类。20世纪60年代黄河刀鲚年产量可达1500 t(蔡德霖等, 1980),是黄河下游的重要物种,但受过

度捕捞、水利工程、黄河断流等影响,山东东平湖产卵场已被严重破坏,黄河口及河段很长时间内已无刀鲚分布。近年来,根据山东省淡水渔业研究院对黄河

* 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2018YFD0900902)资助 [This work was supported by National Key Research and Development Plan “Blue Granary Science and Technology Innovation” (2018YFD0900902)].

丛旭日, E-mail: congxuri90@126.com

① 通讯作者: 李秀启, 研究员, E-mail: xiuqili@sina.com

收稿日期: 2020-04-24, 收修改稿日期: 2020-07-13

口渔获物调查数据及对当地渔民的走访发现,黄河刀鲚再一次在黄河下游出现,但资源量依然较低。随着刀鲚经济价值的提高,相关针对资源保护的科研工作正在开展,但多数集中于长江河段。近日,黄河流域生态保护和高质量发展已上升为国家战略,渔业资源的合理开发和保护显得尤为重要,但黄河河段刀鲚研究依然空白,相关工作严重滞后。

耳石微化学分析能有效地反演洄游性鱼类的“履历”,在耳石中, Sr、Ca 元素沉积变化被用作研究不同盐度海、淡水生境条件的“指纹”(窦硕增等, 2011; 杨健等, 2010; 姜涛, 2014; 姜涛等, 2016), 结果具有独特的生境相关性及客观性的优势, 即使仅有 1 尾样本也能有效把握其生境状态(徐钢春等, 2014)。姜涛等(2013)通过分析鄱阳湖刀鲚耳石微化学特征发现, 鄱阳湖内存在 2 种不同生活史的刀鲚群体; 卢明杰等(2015)研究大辽河口红狼牙鰕虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)生活史类型后发现, 其可以适应广盐度水体。近几年来, 该技术也已经应用到大水面放流效果评价中。李秀启等(2017)验证了耳石标记技术在识别鳙(*Aristichthy snobilis*)放流个体的可行性并提出了最佳标记浓度; 司飞等(2019)探究了耳石微化学技术在牙鲢(*Paralichthy solivaceus*)增殖放流过程中的应用。为更好地保护黄河口刀鲚, 本研究依托 EPMA 技术, 对黄河刀鲚进行耳石微化学分析, 以探究其生活史, 为刀鲚种质资源的保护、资源量的提高、渔业资源的可持续发展提供可行性建议。

1 材料与方法

1.1 实验材料

刀鲚于 2016 年 5 月采自黄河垦利段(图 1), 主要捕捞网具为刺网。共取得刀鲚 5 尾(表 1), 捕获后置

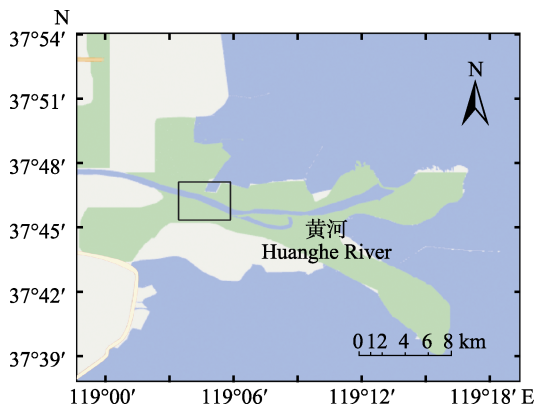


图 1 刀鲚采样地点

Fig.1 The sampling sites of *C. nasus*

表 1 刀鲚采样资料

Tab.1 Sample details of *C.nasus* from the Kenli section of the Huanghe River

样本编号 Sample code	采样时间 Sampling date	体长 Body length/cm	体重 Body weight/g
D1	2016-05-23	21.4	28.4
D2	2016-05-23	18.9	25.3
D4	2016-05-23	23.8	30.1
D5	2016-05-23	18.4	27.9
D6	2016-05-23	18.1	26.9

于 -20°C 冷冻待用。解剖后取出矢耳石, 为降低误差, 统一使用左矢耳石进行分析, 使用去离子水清洗耳石表面杂质及薄膜, 置于室温晾干待用。

耳石样品使用环氧树脂包埋固定制成树脂块, 然后将树脂块固定于载破片上, 凝固后切去多余树脂部分。使用 Discoplan-TS 研磨机进行粗磨至耳石刚要暴露, 再用 1200 目的砂纸精磨至耳石核心完全暴露, 最后采用 Roto Pol-35 磨抛机配合抛光液抛光至耳石表面无划痕。处理好的耳石置于 Milli-Q 超纯水中超声清洗 5 min, 于烘箱内 38°C 过夜烘干。

1.2 耳石微化学分析

参考 Yang 等(2006)的方法, 使用 X 射线 EPMA 电子探针微区分析仪(JXA-8100, 日本)分析耳石样品。自耳石核心沿最长径至耳石边缘的一条直线进行定量线分析(line transect analysis)。EPMA 加速电压和电子束电流分别为 15 kV 和 2×10^{-8} A, 束斑直径为 $5\ \mu\text{m}$, 每点驻留时间为 15 s, 以 $10\ \mu\text{m}$ 为间隔连续打点测定。标准样品取用碳酸钙(CaCO_3)和钛酸锶(SrTiO_3)。定量线分析完成后, 再对耳石样品进行面分布分析(mapping analysis)。此时, EPMA 加速电压和电子束电流分别为 15 kV 和 5×10^{-7} A, 束斑直径为 $5\ \mu\text{m}$, 像素为 $7\ \mu\text{m}\times 7\ \mu\text{m}$, 每点驻留时间为 30 ms。

1.3 数据处理

使用 Excel 2010 软件进行数据处理, 使用 SPSS 17.0 软件进行非参数检验(Mann-Whitney U-test)。引入进行格局转变(Regime shifts)分析的 STARS 方法(Sequential T-test Analysis of Regime Shifts), 当多于 1 个连续点出现显著变化(基于数据方差和 t 检验的 P 值), 将视为“转变”, 生成新的移动平均(Rodionov, 2004; Rodionov et al, 2005)。本研究设定截断长度为 10, Huber 权重为 1, 置信度 P 为 0.1, 按照惯例 Sr/Ca 值标准化为 $\text{Sr}/\text{Ca}\times 10^3$ 。

2 结果

2.1 定量线分析比较

定量线分析结果显示(表 2), 每尾刀鲚生长阶段不尽相同。本研究中, 根据 Sr/Ca 值可分为不同生活史阶段, 且相邻不同阶段差异显著 ($P < 0.05$, Mann-Whitney U-test)(表 2)。个体 D1 的 Sr/Ca 值可分为 4 个阶段, 分别为从核心沿矢状面像边缘至 240 μm 耳石径的低值区域, 平均值为 3.63 ± 0.61 ; 241~1320 μm 区域, 平均值为 2.24 ± 0.72 ; 1321~1960 μm 区域, 平均值为 3.57 ± 0.68 ; 1961~2310 μm 区域, 平均值为 4.90 ± 0.69 。个体 D4 可分为 3 个阶段, 0~1180 μm 区域, 平均值为 1.90 ± 0.76 ; 1181~1570 μm 区域, 平均值为 3.83 ± 0.74 ; 1571~2190 μm 区域, 平均值为 4.82 ± 0.77 。个体 D5 可分为 3 个阶段, 0~1080 μm 区域, 平均值为 2.15 ± 0.78 ; 1081~1520 μm 区域, 平均值为 5.61 ± 0.75 ; 1521~1930 μm 区域, 平均值为 4.74 ± 0.70 。个体 D6 可分为 3 个阶段, 0~660 μm 区域, 平均值为 2.13 ± 0.77 ; 661~1120 μm 区域, 平均值为 6.17 ± 0.99 ; 1121~1440 μm 区域, 平均值为 4.84 ± 0.76 。图 2 以折线图的形式表现不同类型黄河刀鲚与东平湖刀鲚耳石矢状面从核心(0 μm)到边缘定量线分析 Sr/Ca 值变化对比。个体 D2 线分析显示, 生活史无规律, 故不做阶段划分。

表 2 刀鲚耳石锶钙比微化学
Tab.2 Fluctuation of Sr and Ca microchemistry in otoliths of *C.nasus*

编号 Code	变化阶段 Significant fluctuation phases	距核心距离 Distance from the core/ μm	测定点数 Detected points	Sr/Ca $\times 10^3$ (Mean \pm SD)
D1	1	0~240	25	3.63 ± 0.61^a
	2	241~1320	108	2.24 ± 0.72^b
	3	1321~1960	64	3.57 ± 0.68^c
	4	1961~2310	35	4.90 ± 0.69^d
D4	1	0~1180	119	1.90 ± 0.76^a
	2	1181~1570	39	3.83 ± 0.74^b
	3	1571~2190	62	4.82 ± 0.77^c
D5	1	0~1080	109	2.15 ± 0.78^a
	2	1081~1520	44	5.61 ± 0.75^b
	3	1521~1930	41	4.74 ± 0.70^c
D6	1	0~660	67	2.13 ± 0.77^a
	2	661~1120	46	6.17 ± 0.99^b
	3	1121~1440	32	4.84 ± 0.76^c

注: 同一样本中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Phases in one otolith sample having the different superscripts indicate significant differences ($P < 0.05$)

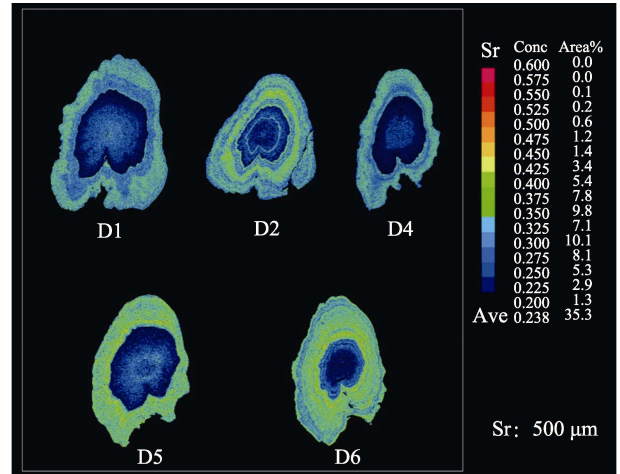


图 2 耳石矢状面二维 Sr 含量分布
Fig.2 Two-dimensional imaging using mapping analysis of the Sr in otoliths of *C.nasus*

Sr: 锶; Conc: Sr 浓度;
Area%: 面积占比; Ave: Sr 浓度表平均值
Sr: Strontium; Conc: Concentration of Sr;
Area%: The area proportion;
Ave: The average concentration of Sr

2.2 面分析比较

面分析的结果更能直观清晰地显示出黄河刀鲚个体的生境履历。Yang 等(2011)关于长江刀鲚的研究表明, 刀鲚对应淡水、淡咸水、海水生境的 Sr/Ca 有十分明显的微化学特征, 具体表现为 <3 (蓝色)、 $3\sim 7$ (黄绿色)、 >7 (黄红色), III类水体中, Sr/Ca $\times 10^3$ 值平均为海水区 8.3 ± 4.5 、河口区 5.6 ± 1.1 、淡水区 2.7 ± 1.5 (Sector *et al*, 2000; Yang *et al*, 2011)。个体 D2 核心区域表现为蓝色, 随着个体的生长, 黄色、蓝色交替出现; 个体 D1、D4 核心区表现为蓝色, 外缘区域表现为蓝绿色; 个体 D5、D6 核心区域表现为 Sr 值较低的蓝色区域, 随着刀鲚生长, 耳石外围逐渐形成较为明显的黄色圆环, 表明其已经进入 Sr 值较高的生活环境。

3 讨论

耳石中元素 Sr 和 Ca 浓度比值的变化在国内外研究中已经被广泛应用于鱼类生活史中(Wells *et al*, 2000; Gillanders *et al*, 2005; Arai *et al*, 2006; 陈婷婷等, 2016; 熊瑛等, 2014; 丛旭日等, 2019), 但有关黄河刀鲚的研究尚未见报道。蔡德霖等(1980)研究表明, 黄河刀鲚的生活史特征较为单一, 成鱼每年 4—5 月沿黄河溯河洄游至东平湖, 6—7 月产卵, 等孵化后于次年初进入黄河口海域。由此可见, 历史上黄河垦利段是刀鲚重要的洄游通道, 东平湖是主要产卵场, 黄河口海域为索饵场、越冬场。对于现阶段黄河刀鲚是否为洄游型刀鲚的争论较大, 有的学者认为, 黄河垦利段已

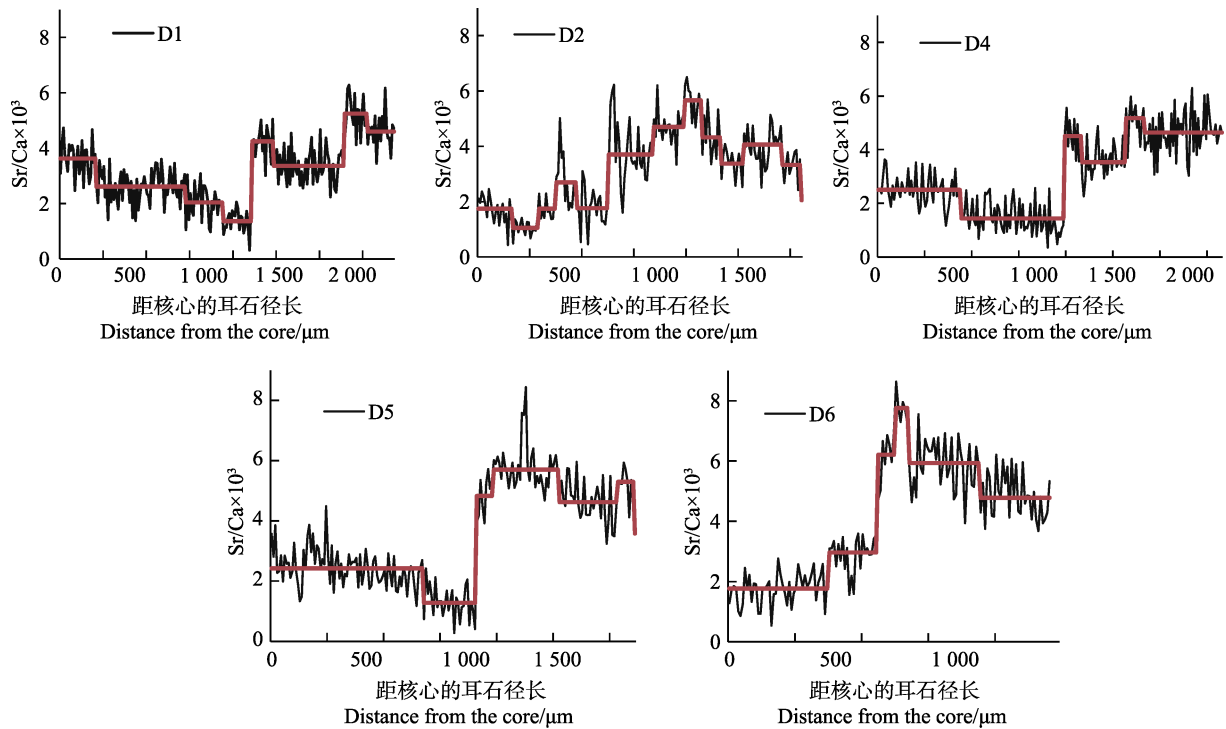


图 3 不同类型刀鲚耳石矢状面从核心(0 μm)到边缘定量线分析 Sr/Ca 值的变化

Fig.3 Fluctuation of otolith Sr/Ca concentration ratios along line transects from the core (0 μm) to the edge in otoliths of *C. nasus*

不存在洄游型刀鲚,其再次出现是由于东平湖内定居型刀鲚被动进入黄河所致,但此观点缺乏充足论据。本研究从耳石微化学的角度出发,获得的结果客观真实地反映出黄河垦利段刀鲚的生境利用情况,为证明“三场一通道”依然分布洄游型刀鲚及其生活史多样性提供了理论基础。

本研究结果显示,黄河垦利段刀鲚的生境履历具有复杂性的特点。Brown 等(2009)研究表明,海水的 $\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3$ 值相对稳定(8.17~8.87),而河流(0.27~19.18)和淡水湖泊波动较大(0.20~5.02)。然而,孙珊等(2019)和徐江玲(2007)研究表明,受调水、调沙的影响,黄河口区域盐度的时空变化较为剧烈,调水、调沙前后表层盐度变化范围约为 6~25,垂直方向亦波动较大,故不能通过传统研究方法判断黄河刀鲚是否到达盐度较高的海水区域。本研究的个体可分为 2 种类型。个体 D2 属于第 I 类型,其生活史较复杂,淡水孵化后其生长轨迹多次往返于淡水一半咸水生境,格局发生多次转变,不具备洄游型刀鲚应有的规律性特征,此外,耳石边缘 Sr/Ca 值反映样品被捕获时的环境条件,个体 D2 耳石边缘 Sr/Ca 值(<3)较其他个体低,这是因为 Sr/Ca 值变化存在时滞效应,表明个体 D2 进入此水域的时间较短,耳石尚未响应生境的变化。大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)耳石的此种效应可持续 12 d(王臣等, 2015);李孟孟等(2017)对长江安庆江

段刀鲚的研究也存在此种效应。个体 D1、D4、D5 和 D6 属于第 II 类型,孵化和早期的生活均在盐度较低的淡水中进行,淡水生境履历较长。线分析显示,个体 D1 和 D4 能达到的 Sr/Ca 最大值分别为 6.50 和 6.29,并未达到海水区的平均值(8.3)。D5 和 D6 个体 Sr/Ca 的最大值虽然达到 8.44 和 8.63,但由于黄河口区域盐度二维变化受调水、调沙影响较大,尚不能判断其生境履历已延伸到盐度较高的海水区。此外,个体 D5 虽然进入 Sr/Ca 值较高的区域生活,但停留时间较为短暂。STARS 法计算显示,个体 D5 没有形成“转变”,而个体 D6 形成了“转变”(图 3)。

通过 EPMA 技术分析显示,本研究首次直观地了解黄河口刀鲚的生境履历特征。以个体 D1、D4、D5 和 D6 为代表的群体孵化、育幼阶段均在淡水中进行,索饵阶段进入 Sr/Ca 值较高的河口区,个体的 Sr/Ca 值均有一个从低值阶段(<3)突然升高至高值阶段(3~7)的变化,根据对长江刀鲚多年研究,第 I 阶段到第 II 阶段突越性的变化(从淡水进入半咸水生活)对洄游性刀鲚来说是至关重要的(姜涛等, 2013),个体 D1、D4、D5 和 D6 变化剧烈,都存在突越性变化,表明其主动进入盐度较高的区域,符合洄游型刀鲚的特征。以个体 D2 为代表的群体生活史较为复杂,无规律,推测可能是由于当年东平湖汛期放水而被动进入黄河的定居型刀鲚,其生活史轨迹受黄河水流的影

响较大,虽然该个体无洄游型刀鲚的明显特征,但据徐钢春等(2014)、李孟孟等(2017)对于长江刀鲚的研究表明,长颌鲚(*Coilia nasus*)与短颌鲚(*Coilia brachygnathus*)均参与江海洄游,长江安徽和县江段的短颌鲚也存在洄游个体,而短颌鲚属于湖泊定居型刀鲚,分子层面上基于 *Cyt b* 和 D-loop 序列的分子标记亦不能区分洄游型刀鲚与定居型刀鲚(孙超等, 2018),表明刀鲚具有较强的环境适应性,也表明汛期从东平湖进入黄河的定居型刀鲚经过自然演化,一旦具备条件也会进行溯河洄游。此外,个体 D1 和 D5 核心区域的 Sr/Ca $\times 10^3$ 值较高(>3), D2、D4 和 D6 核心区域的 Sr/Ca $\times 10^3$ 值较低(<3),这也在某种程度上反映了存在个体起源于不同产卵场的可能性。姜涛(2014)研究发现,耳石的长度与鱼体的年龄有非常高的相关性,可以作为估算刀鲚生活史的时间尺度,姜涛(2014)的研究还表明,黄河刀鲚大约在 1 龄离开淡水生活[区域为(980 \pm 111) μm]。本研究中,个体 D1(1210 μm)、D4(1160 μm)和 D5(1080 μm)均符合这一特征,均在 1 龄或 1 龄+离开淡水生活,但个体 D2(590 μm)和 D6(560 μm)不到 1 龄就已经离开淡水生活。其中,推测个体 D2 受黄河水流的影响,尚未具备洄游特征,而个体 D6 显示出黄河刀鲚可能来自不同的群体,也表明其较强的环境适应性,与 Jiang 等(2014)在 2009 年捕获的 10 尾黄河刀鲚耳石微化学分析结果相似,视其来源于同一群体。但在本研究中,黄河刀鲚个体表现出不同的生活史特征,2013 年南水北调东线正式通水至今,东平湖定居型刀鲚已成为当地主要经济性鱼类,推测东平湖与黄河联通河道不定期泄洪致使一部分定居型刀鲚进入黄河,是黄河刀鲚的资源群体组成较为复杂、多样的重要原因。

随着黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的提出,黄河流域渔业资源的可持续发展变得尤为重要。近年来,由于产卵场被破坏、闸坝工程的兴建、过度捕捞等因素,黄河刀鲚的种群结构及生活史演变较大。根据调查,黄河与东平湖之间的联通河道大清河只有在每年夏季泄洪时才开闸放水,目前,尚不能证明东平湖具备产卵场的条件,在今后的工作中,应进一步对早期发育阶段的刀鲚进行基础生物学及耳石微化学的分析,结合年龄结构、生长死亡参数及亲体产卵状况更为精确的掌握东平湖、黄河下游及河口地区刀鲚生活史,监测其是否形成固定的洄游种群,从而验证历史上东平湖、黄河山东段、黄河口是刀鲚洄游的“三场一通道”。相关部门也可以利用已有先例的河坝鱼道技术,保护洄游通道及产卵场的生态功能,确保种群正常的繁衍。

参 考 文 献

- ARAI T, YANG J, MIYAZALD N. Migration flexibility between freshwater and marine habitats of the pond smelt *Hypomesus nipponensis*. *Journal of Fish Biology*, 2006, 68(5): 1388–1398
- BROWN R J, SEVERIN K P. Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2009, 66(10): 1790–1808
- CAI D L, JI D C, ZHOU C W. An ecological investigation and fishery of the anchovy (*Coiliaeetes Jordan et Seale*) in the lower Yellow River. *Journal of Shandong University (Natural Science)*, 1980(2): 97–107 [蔡德霖, 汲岱昌, 周才武. 黄河下游刀鲚的生态和渔业概况. *山东大学学报(自然科学版)*, 1980(2): 97–107]
- CHEN T T, JIANG T, LU M J, *et al.* Microchemistry analysis of otoliths of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* from the Jingjiang section of the Yangtze River. *Journal of Lake Sciences*, 2016, 28(1): 149–155 [陈婷婷, 姜涛, 卢明杰, 等. 基于耳石微化学的长江靖江段长颌鲚与短颌鲚生境履历重建. *湖泊科学*, 2016, 28(1): 149–155]
- CONG X R, LI X Q, DONG G C, *et al.* Anadromous tapertail anchovy *Coilia nasus* is still found in Dongping Lake. *Chinese Journal of Fisheries*, 2019, 32(5): 55–59 [丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 等. 东平湖仍有洄游性刀鲚分布的实证研究. *水产学杂志*, 2019, 32(5): 55–59]
- DOU S Z, YOKOUCHI K, YU X, *et al.* Reconstructing migratory history of fish using otolith strontium: Calcium ratios by EPMA: A case study. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(4): 512–520 [窦硕增, 横内一树, 于鑫, 等. 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. *海洋与湖沼*, 2011, 42(4): 512–520]
- GILLANDERS B M. Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish. *Aquatic Living Resources*, 2005, 18(3): 291–300
- JIANG T, LIU H B, LU M J, *et al.* The comparison of different pre-treatment methods for acquiring otolith annuli of *Coilia nasus*. *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. *渔业科学进展*, 2016, 37(2): 62–67]
- 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. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 2014, 59(2): 383–389
- JIANG T, ZHOU X Q, LIU H B, *et al.* Two microchemistry patterns in otoliths of *Coilia nasus* from Poyang Lake, China. *Journal of Fishery 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. 水产学报, 2013, 37(2): 239–244]
- JIANG T. Study on migratory ecology of *Coilia* fish in Chinese waters inferred from otolith morphometric and microchemical characteristics. Doctoral Dissertation of Nanjing Agricultural University, 2014 [姜涛. 基于耳石形态和微化学特征的我国鲢属鱼类洄游生态学研究. 南京农业大学博士研究生学位论文, 2014]
- LI M M, JIANG T, CHEN T T, *et al.* Otolith microchemistry of the estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus* from the Anqing section of the Yangtze River and its significance for migration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(8): 2788–2795 [李孟孟, 姜涛, 陈婷婷, 等. 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, 2017, 37(8): 2788–2795]
- LI X Q, CONG X R, SHI J H, *et al.* Feasibility analysis of releasing individuals of *Aristichthys nobilis* identification based on otolith Sr markers. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(4): 914–922 [李秀启, 丛旭日, 师吉华, 等. 耳石锶标记在识别鳊(*Aristichthys nobilis*)放流个体的可行性. 湖泊科学, 2017, 29(4): 914–922]
- LU M J, LIU H B, JIANG T, *et al.* Preliminary investigations on otolith microchemistry of *Odontamblyopus rubicundus* in the Daliao River Estuary, China. *Marine Fisheries*, 2015, 37(4): 310–317 [卢明杰, 刘洪波, 姜涛, 等. 大辽河口红狼牙鲷虎鱼耳石微化学的初步研究. 海洋渔业, 2015, 37(4): 310–317]
- RODIONOV S N, OVERLAND J E. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 328–332
- RODIONOV S N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(9): 111–142
- SECTOR D H, ROOKER J R. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fisheries Research*, 2000, 46(1): 359–371
- SI F, REN J G, WANG Q L, *et al.* Strontium marking on otoliths of *Paralichthys olivaceus* based on immersion experiments. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(3): 534–545 [司飞, 任建功, 王青林, 等. 基于浸泡法的牙鲆耳石锶标记技术研究. 中国水产科学, 2019, 26(3): 534–545]
- SUN C, LIU H B, JIANG T, *et al.* Comparison of D-loop and Cytochrome *b* sequences among different *Coilia* species and their potential use in analysis for the identification of species at early life stages. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 27–35 [孙超, 刘洪波, 姜涛, 等. 不同鲢属鱼类 Cyt *b* 和 D-loop 序列的比较及其判别早期生活史个体的潜力分析. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 27–35]
- SUN S, SU B, LI F, *et al.* Effects of water and sediment discharge regulation on environment in the Yellow River Estuary and adjacent waters. *Marine Environment Science*, 2019, 38(3), 399–406 [孙珊, 苏博, 李凡, 等. 调水调沙对黄河河口及邻近海域环境状况的影响. 海洋环境科学, 2019, 38(3): 399–406]
- WANG C, LIU W, ZHAN P R, *et al.* Exogenous Sr²⁺ sedimentation on otolith of chum salmon embryos. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(10): 3189–3194 [王臣, 刘伟, 战培荣, 等. 外源 Sr²⁺ 在大麻哈鱼胚胎耳石上的沉积. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3189–3194]
- WELLS B K, BATH G E, THORROLD S R, *et al.* Incorporation of strontium, cadmium, and barium in juvenile spot (*Leiostomus xanthurus*) scales reflects water chemistry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2000, 57(10): 2122–2129
- XIONG Y, LIU H B, LIU P T, *et al.* Reconstructing habitat history of *Larimichthys polyactis* in Lüsi coastal waters of Jiangsu Province, China based on otolith microchemistry. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(3): 836–842 [熊瑛, 刘洪波, 刘培廷, 等. 基于耳石元素微化学的江苏吕泗近岸小黄鱼生境履历重建. 应用生态学报, 2014, 25(3): 836–842]
- 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. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(7): 939–945 [徐钢春, 顾若波, 刘洪波, 等. 长江短颌鲢耳石 Sr/Ca 值变化特征及其江海洄游履历. 水产学报, 2014, 38(7): 939–945]
- XU J L. The variation characters and formation mechanism of salinity in the Bohai Sea. Master's Thesis of Ocean University of China, 2007 [徐江玲. 渤海盐度的变化特征及其成因分析. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2007]
- 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. *Journal of Fish Biology*, 2006, 69(4): 1120–1135
- YANG J, JIANG T, LIU H B. Are there habitat salinity markers of the Sr: Ca ratio in the otolith of wild diadromous fishes? A literature survey. *Ichthyological Research*, 2011, 58(3): 291–294
- YANG J, LIU H B. Otolith microchemistry of grey mullet *Mugil cephalus* from Chongming water in the Yangtze River estuary, China. *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. 中国水产科学, 2010, 17(4): 853–858]

Preliminary Investigations on *Coilia nasus* from the Kenli Section of the Huanghe River Based on Otolith Microchemistry

CONG Xuri¹, LI Xiuqi¹①, DONG Guancang¹, WANG Yanan¹,
SUN Lufeng¹, KE Han¹, YANG Jian², JIANG Tao²

(1. Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Freshwater Aquaculture Genetic Breeding, Jinan Shandong 250013, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Wuxi Jiangsu 214081, China)

Abstract Life histories for *Coilia nasus* in the Kenli section of the Huanghe River were reconstructed using otolith microchemistry. An electron probe microanalyzer (EPMA) was used to analyze the Sr and Ca microchemistry patterns in otoliths of five *C. nasus* individuals (D1, D2, D4, D5 and D6 collected from Kenli section in May 2016). Results of line transect analysis showed that the life history of *C. nasus* was complex. All individuals were born in fresh water with a lower Sr/Ca ratio in the core area; however, as they grew, they demonstrated different life histories. After leaving the freshwater habitats, D1 and D4 mainly lived in the estuarine environment rather than seawater, where the salinity is relatively lower; the maximum Sr/Ca ratios of D1 and D4 were 6.1 and 6.2 respectively. D2 moved between the freshwater and brackish water habitats without migrating. The Sr/Ca ratios of D5 and D6 were higher, manifesting the maximum Sr/Ca ratios of 8.44 and 8.63, respectively. However, because of water and sediment discharge regulations, we cannot judge whether the habitat of D5 and D6 had been extended to the sea. All differences were confirmed from the mapping results of the EPMA data. The otolith of D1 and D4 presented a bluish pattern in the core area and greenish pattern in the outer regions. The otolith of D2 showed a multicolored pattern (alternating bluish, greenish, even yellowish). The otolith of D5 and D6 presented a bluish pattern with lower Sr/Ca ratios in the core area; as they grew, a yellowish circle was formed in outer regions adjacent to the bluish central regions. Based on the results, we were able to reconstruct the habitat history of *C. nasus* in the Kenli section of the Huanghe River. Most of the individuals completed their hatching and early life mainly in freshwater habitat, then entered the estuary or seawater, and leaved to and from the fresh-brackish water habitats for feeding until they were captured. The life history of the freshwater stock represented by D2 is relatively complex, and we speculate that it may enter the Huanghe River because of the water drainage during the flood season in Dongping Lake.

Key words Kenli section; *Coilia nasus*; Otolith; Electron probe microanalyzer

① Corresponding author: LI Xiuqi, E-mail: xiuqili@sina.com