

文章编号: 1674-5566(2024)03-0768-08

DOI: 10.12024/jsou.20231204367

基于耳石微化学 Sr/Ca 的浙江南部近海银姑鱼的生境履历重建

黄庆竹^{1,2,3}, 黄慧娴^{1,2,3}, 李建华^{1,2,3,4,5}, 高春霞^{1,2,3,4,5}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘要: 浙江南部近海是我国重要的渔场水域, 银姑鱼是该海域中常见的经济鱼类。研究针对浙江南部近海的银姑鱼栖息环境进行探究, 以期揭示其个体发育过程中的环境变化史。实验基于该海域的银姑鱼耳石样品展开, 并运用 ICP-MS 技术测定耳石微结构的 Sr、Ca 等元素。通过分析 Sr/Ca 比值, 发现银姑鱼的栖息环境变动范围为 $3.39 \times 10^{-3} \sim 8.12 \times 10^{-3}$, 表明其存在咸淡水定居型和咸淡水-海水混合型两种生境类型, 另外 Sr 元素也被证实能有效地示踪鱼类的生境履历。这一发现不仅丰富了我们对于银姑鱼生态习性的理解, 也为银姑鱼洄游路径研究提供较为可行和准确的方法和途径。

关键词: 银姑鱼; 耳石; 生境履历; 浙江南部近海

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

耳石是硬骨鱼体内的钙碳酸盐岩结构体, 不仅具有听觉和维持平衡的作用, 还能提供鱼类个体一生所在栖息地的生境信息^[1-2]。耳石被称为时间和水体环境的“记录器”^[3], 其生长具有可持续性、代谢惰性, 这使得耳石成为一种理想的自然生境标记材料, 因此目前基于耳石微化学技术重建鱼类生境履历已是鱼类生活史研究领域的热点之一^[4]。河口栖息的鱼类在不同生活史阶段往往会在咸淡水等不同环境中栖息生存。耳石中包含了 Sr、Mg 等微量元素, Ca 元素的含量占到了 99% 以上。海水中的 Sr 和 Ca 含量较高, 河口区中等, 而淡水区较低, 这一特点为利用 Sr/Ca 比值来研究鱼类的生境履历提供了理论基础^[5]。JIANG 等^[6]利用耳石微化学技术, 探究了洄游性刀鲚 (*Coilia nasus*) 幼鱼的生境履历, 研究发现, 它们需要在淡水中生活近一年的时间才慢慢转入盐度较高的海域生活, 并且不同地区刀鲚的生活履历也存在差异。另外, 杨琴等^[7]也是利用了该技术对长江口及邻近海域凤鲚 (*Coilia mystus*) 生境履历进行重建, 首次证明了长江口及邻近海域

凤鲚存在 3 个孵化场及 4 种生境履历类型, 准确反映了凤鲚个体组成及其生活史的多样性和复杂性。耳石中 Sr/Ca 比值的变化能客观有效地反演鱼类生活史中不同盐度生境履历的改变, 在重建生境履历方面发挥巨大的作用^[8]。

浙江南部近海受沿岸上升流、台湾暖流及黑潮暖流的影响, 水域内的营养盐和饵料生物丰富, 为鱼类提供了良好的繁殖和育肥场所^[9]。银姑鱼 (*Pennahia argentata*) 也称白姑鱼, 隶属鲈形目 (Perciformes) 石首鱼科 (Sciaenidae) 银姑鱼属 (*Pennahia*), 喜暖温水, 栖息于 40~100 m 深的海岸海湾的沙质或泥质底部^[10], 是我国常见的经济鱼类, 常做近海洄游, 广泛分布于我国南海、东海、黄海和渤海沿岸, 在浙江南部近海渔业中占有重要的地位^[11]。在 2000 年银姑鱼全国范围内的捕捞量已下滑至 22 万 t, 而到 2020 年捕捞量已不到 9 万 t, 渔业资源呈明显下滑趋势^[12]。由于长期的过度捕捞, 银姑鱼渔获组成出现低龄化、小型化和性早熟现象, 马超等^[13]在闽南海域采集的 2017—2018 年银姑鱼样本体长为 45~202 mm, 鉴定出 1~

收稿日期: 2023-12-10 修回日期: 2024-01-21

基金项目: 国家自然科学基金 (31902372); 温台渔业资源调查专项 (158053)

作者简介: 黄庆竹 (2001—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: 13045568916@139.com

通信作者: 高春霞, E-mail: cxgao@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

2龄个体居多,而JEON等^[14]2018年调查韩国南部海域银姑鱼样本体长为128~357 mm,二者相比,我国近海的银姑鱼渔获体长明显较小。

对银姑鱼的洄游、生活史等生物学研究多集中在早期,近年来对东海银姑鱼的研究甚少,在银姑鱼资源量明显下降的形势下,重建银姑鱼生境履历,可以建立起完善的生境“地图”,再根据“地图”上每片水域的生态条件,制定相应的养护管理措施,能有效地帮助其资源的养护和可持续发展。因此,本研究通过对银姑鱼耳石的微量元素进行分析,尝试探究银姑鱼在个体发育过程中所处栖息环境的盐度变化履历,旨在为银姑鱼洄游路径研究提供较为可行和准确的方法和途径。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验所用样本均采自浙江南部近海,调查网具为底拖网,采样时间为2019年8月和11月,具体调查站位如图1所示。渔获冷冻后带回实验室测量分析,在实验室内采集银姑鱼样品生物学数据,采集数据类型包括体长、体质量和性别,长度测量精确至1 mm,质量测量精确至0.1 g。使用镊子于银姑鱼内耳囊中摘取左、右矢耳石,去除表面结缔组织后放入装有95% (体积分数) 乙醇溶液的离心管中编号保存。本实验统一使用左矢耳石,若左矢耳石破裂,则以右矢耳石代替。

1.2 微量元素测定

在元素分析前,耳石均经过超声波清洗除污、干燥、环氧树脂包埋固定风干后沿短轴切割、双面研磨,制作成耳石核区充分暴露、厚度500 μm 左右的切片,置于光学显微镜(OlympusCX23)下,拍照系统自带显微图像分析处理软件(FCSnap)测量耳石轮径和半径(精确到0.01 mm)。使用GeoLas HD激光剥蚀系统利用193 nm准分子激光在耳石样品沿耳石切片的腹缘轴线从核心至边缘每隔60 μm 连续打点(剥蚀点位置与年龄读取的轴方位一致),选这条轴线是因为它可以通过耳石微结构分析清晰地辨别对应个体洄游过程中各不同生活史阶段的耳石区域^[15],具体银姑鱼矢耳石激光剥蚀点位置如图版所示。激光剥蚀点定位通过配置在激光系统的反射光显微镜在计算机上的成像系统控制完成,每个区域3个元素值的平均值表示其元素组成,待测定元素的含量通过碳酸盐标样定量获得。激光剥蚀点直径为44 μm ,剥蚀时间55 s,激光能量为80 mJ左右,频率为5 Hz。剥蚀后的样品通过Ar和He混合气体(气流量控制在0.6 L/min)送入ICP-MS,在无任何样品条件下对Ar、He混合气体进行LA-ICP-MS测试,以确定元素检测限水平。以上测定均在上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室年龄和生长研究中心完成。

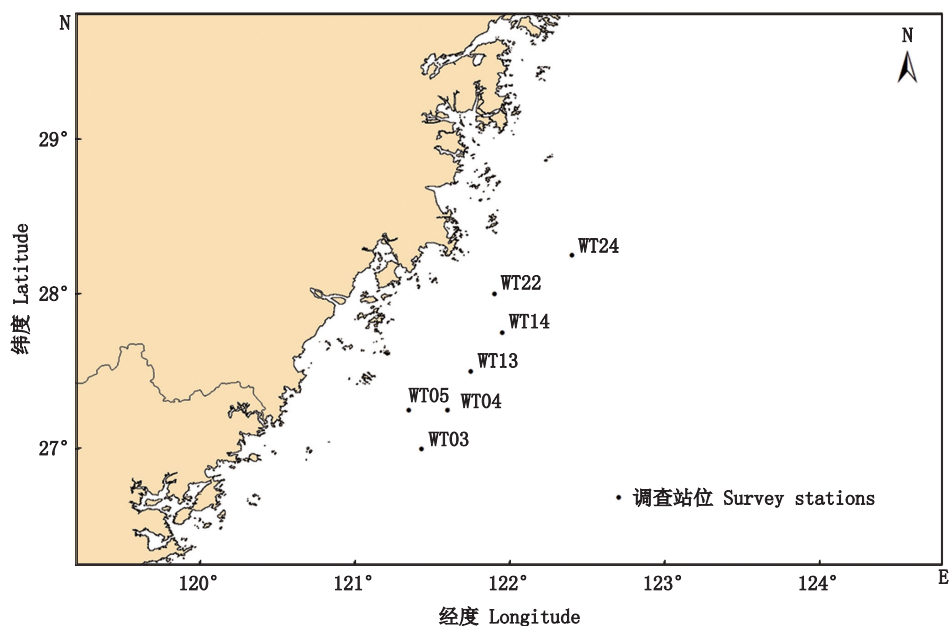
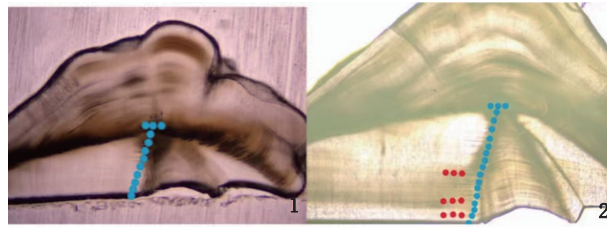


图1 浙江南部近海调查站位

Fig. 1 Survey stations in the offshore waters of Southern Zhejiang



1. 幼鱼耳石磨片打点示意图;2. 成鱼耳石磨片打点示意图。

1. Sampling points of otolith grinding template of juvenile;2. Sampling points of otolith grinding template of adult.

图版 银姑鱼矢耳石激光剥蚀点位置

Plate Laser ablating positions of sagittaeotolith of *P. argentat*

考虑采样站点、体长和年龄等指标,选取已进行激光剥蚀取样的11个银姑鱼样本(1~4龄)矢耳石的Sr/Ca比值数据进行分析,样品信息见表1。

表1 激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱仪测试样本列表
Tab. 1 Sample list of LA-ICP-MS

编号 Code	年龄 Age/y	性别 Sex	体长 Length/mm	体质量 Body mass/g
1	1	雌性	129	50.2
2	1	雌性	116	36.8
3	1	雌性	137	54.0
4	2	雌性	145	73.1
5	2	雄性	159	87.6
6	2	雄性	158	77.8
7	3	雄性	174	123.9
8	3	雄性	154	77.8
9	3	雌性	160	89.9
10	4	雌性	200	185.9
11	4	雄性	186	144.9

1.3 数据分析

由于耳石中Sr的含量受环境影响大而Ca含量波动幅度小,按国际惯例,将Sr浓度标准化为Sr:Ca $\times 10^3$ 比值。使用Excel 2019进行数据计算,并绘制银姑鱼个体Sr/Ca比值变化折线图。参考卢明杰等^[16]的研究,引入STARS方法(Sequential t-test analysis of regime shifts),按照截断长度为10依据,Huber权重为1依据,置信度P为0.1绘制耳石Sr/Ca比值格局转变曲线。使用SPSS 26.0进行非参数检验(Mann-Whitney U-test)。参考杨琴等^[7]区分淡水、咸淡水和海水的Sr/Ca $\times 10^3$ (淡水<3、咸淡水3~7、海水>7)来分析浙江南部近海银姑鱼个体生活水体的特征。

2 结果

浙江南部近海银姑鱼耳石核心至边缘的Sr/

Ca比值波动:总体上看最小值为 3.99×10^{-3} ,最大值为 8.12×10^{-3} ,某些样品偶有一次较高的Sr/Ca比值,其他耳石的最大值基本在 $3 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$ 之间波动。结合图2与表2分析,除NO.3的两个阶段无显著性差异($P > 0.05$, Mann-Whitney U-test)外,大体可以分为2~3个阶段,且相邻阶段差异性显著($P < 0.05$);个体上看,耳石中Sr/Ca比值变化各有不同,大概可分为两类:一类耳石样品Sr/Ca比值核心区域较低,至其他区域随年龄增大而呈现阶段性增大,包括NO.6、NO.9和NO.11;另一类样品Sr/Ca比值核心区域较低,其他区域随年龄增大而呈现阶段性减小的趋势,包括NO.1、NO.2、NO.4、NO.5、NO.7、NO.10和NO.11。

图2显示,NO.8、NO.9、NO.10分2个阶段,第1阶段分别为从耳石核心至900、540、1200 μm 的区域,Sr/Ca比值最低;第2阶段为上述距离至边缘的区域,Sr/Ca比值显著高于第1阶段($P < 0.05$)。NO.6分为3个阶段,第1阶段为核心至360 μm 的区域,Sr/Ca比值较高;第2阶段为360~960 μm 区域,Sr/Ca比值最低;第3阶段为960 μm 至耳石边缘,Sr/Ca比值最高;其中第1阶段与第3阶段之间差异性不显著($P > 0.05$)。

NO.1、NO.2、NO.5、NO.7和NO.11分为2个阶段,第1阶段分别为从耳石核心至480、480、480、780、420 μm 的区域,Sr/Ca比值最高;第2阶段为上述距离至边缘的区域,Sr/Ca比值显著低于第1阶段($P < 0.05$)。NO.4分为3个阶段,第1阶段耳石核心至480 μm 区域,Sr/Ca比值最高;第2阶段在480~1080 μm 区域,比值最低;第3阶段为1080 μm 至边缘区域,Sr/Ca比值高于第2阶段,略低于第1阶段,且与第1阶段差异性不显著($P > 0.05$)。

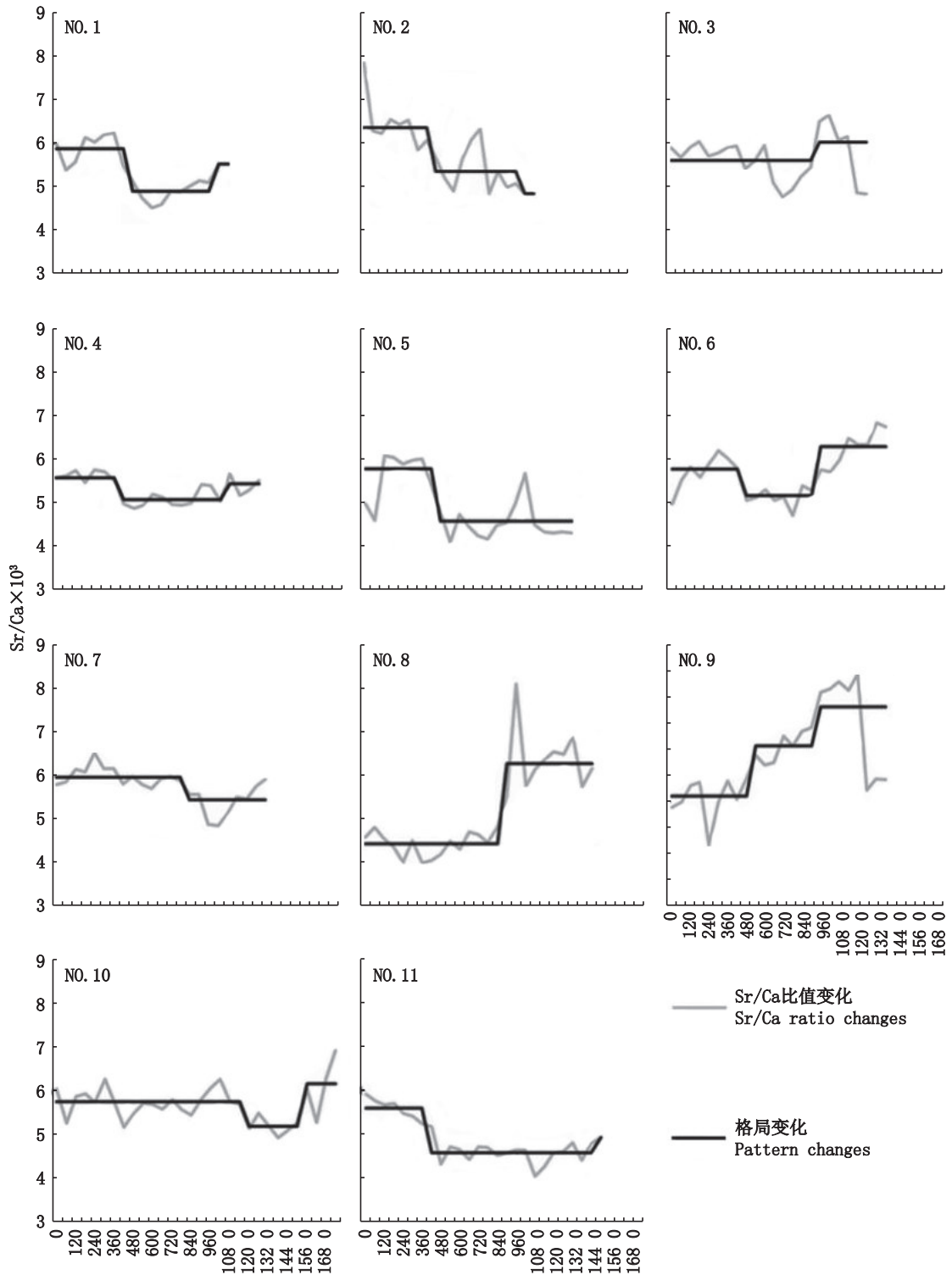


图2 银姑鱼耳石核心到边缘的Sr/Ca比值变化和格局变化

Fig. 2 Sr/Ca ratio changes and pattern changes from the core to the edge of otolith of *P. argentata*

表2 银姑鱼矢耳石中Sr/Ca比值变化
Tab. 2 Fluctuation of Sr/Ca ratio in the otolith of of *P. argentata*

样本编号 Sample	年龄 Age	核心区 Sr/Ca 比值 Sr/Ca ratio of the core	Sr/Ca 比值变化阶段 Change phase of Sr/Ca ratio	耳石径长 Distance from the core/ μm	Sr/Ca $\times 10^3$
NO.1	1	5.99	1 ^a	0~480	5.88 \pm 0.34
			2 ^b	480~1 080	5.02 \pm 0.33
NO.2	1	7.83	1 ^a	0~480	6.46 \pm 0.60
			2 ^b	480~1 140	5.31 \pm 0.51
NO.3	1	5.88	1	0~1 260	5.65 \pm 0.52
			1 ^a	0~480	5.58 \pm 0.15
NO.4	2	5.57	2 ^b	480~1 080	5.07 \pm 0.18
			3 ^a	1 080~1 260	5.44 \pm 0.21
NO.5	2	4.98	1 ^a	0~480	5.71 \pm 0.59
			2 ^b	480~1 320	4.64 \pm 0.49
NO.6	2	4.97	1 ^a	0~360	5.73 \pm 0.38
			2 ^b	360~960	5.17 \pm 0.21
NO.7	3	5.79	3 ^a	960~1 380	6.29 \pm 0.43
			1 ^a	0~780	5.98 \pm 0.22
NO.8	3	4.58	2 ^b	780~1 320	5.40 \pm 0.37
			1 ^a	0~900	4.43 \pm 0.28
NO.9	3	4.89	2 ^b	900~1 220	6.38 \pm 0.74
			1 ^a	0~540	5.07 \pm 0.40
NO.10	4	6.03	2 ^b	540~1 380	6.31 \pm 0.76
			1 ^a	0~1 200	5.73 \pm 0.29
NO.11	4	5.91	2 ^b	1 200~1 740	5.55 \pm 0.64
			1 ^a	0~420	5.59 \pm 0.23
			2 ^b	420~1 500	4.59 \pm 0.25

注:同一样本中上标字母相同,表示不同阶段差异不显著($P>0.05$),字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

Notes: Phases in one otolith sample having the same letter indicate insignificant differences ($P>0.05$); whereas different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

3 讨论

已有研究^[17-18]证明,环境元素浓度变化是影响鱼类耳石元素摄取的决定性因素,所以通过对耳石样品中对应区域 Sr/Ca 比值的变化,我们可以研究银姑鱼的生境变迁,重建其生境“地图”。结合图表的信息我们能发现,在距核心的一定位置,部分样品会出现显著特征,如在 480 μm 处出现阶段变化,在 900~960 μm 处出现与核心附近相似的升降趋势(图2)。参考陈佳杰等^[19]所分析的东、黄渤海银姑鱼洄游路线可知,在东海近海海域存在3个银姑鱼产卵场,禁渔线外有一大范围的索饵场。幼鱼索饵要游至禁渔线外的索饵场,距核心 480 μm 处的变化极有可能是银姑鱼个体进行索饵时生境发生了转变,不同位置的产卵场向同一位置索饵场游动,就会出现两类 Sr/Ca 比值变化趋势不同的情况。银姑鱼的拐点年

龄在 1.19 左右^[20],此时银姑鱼达到性成熟,要进行产卵洄游,而 960 μm 左右的区域出现周期现象,说明该区域附近是银姑鱼耳石出现 1 龄年轮的位置。

水体盐度与鱼类耳石中 Sr/Ca 比值与淡水、咸淡水、海水盐度呈相关关系,可以通过对耳石中 Sr/Ca 比值的分析来反演研究鱼类个体在不同盐度的水域动态变化^[21]。本研究的银姑鱼样本年龄在 1 龄到 4 龄不等,从耳石核心到边缘的 Sr/Ca 比值变化波动不大,平均值最小为 $(4.43 \pm 0.28) \times 10^{-3}$ (NO. 2),最大为 $(6.46 \pm 0.60) \times 10^{-3}$ (NO.8),都在 $3 < \text{Sr}/\text{Ca} < 7$ 范围内,均无 $\text{Sr}/\text{Ca} < 3$ 的情况。对个体生境履历进行分类,可以得到以下几种类型(图3):第一种为咸淡水定居型,生境履历的不同阶段均为 $3 < \text{Sr}/\text{Ca} < 7$,包括 NO.1、NO.3、NO.4、NO.5、NO.6、NO.7、NO.11,涵盖各个年龄阶段(1~4龄)。尽管这些样品个体在不同

阶段显示出差异变化,但阶段平均值最低 $(4.59 \pm 0.25) \times 10^{-3}$,最高 $(6.29 \pm 0.43) \times 10^{-3}$;个体变化最低值 4.03×10^{-3} ,最高值 6.63×10^{-3} ,整体平稳处于咸淡水域中生活。第二种为咸淡水-海水混合型,个体生境履历存在 $3 < \text{Sr}/\text{Ca} < 7$ 和 $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$ 两种特征,包括 NO.8、NO.9、NO.10,样品年龄分别为3龄、3龄、4龄。这些样品存在两个阶段的变化,第一阶段 $3 < \text{Sr}/\text{Ca} < 7$,说明个体在这段时期生活在咸淡水水域中, $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$ 出现在第2阶段,处于个体生长后期的后期。除 NO.9 存在多次 $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$ 的特征,其他样品 $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$ 均只出现一次,推测这种类型的个体并不会长期处于海水中,高盐度水域生活史属于偶然经历,因为生长个体较大,游泳能力较

强,能游至盐度较高的海水水域边缘摄食。

在11尾样品中,NO.2的Sr/Ca比值变化最为特殊,仅核心区 $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$,其他区域再无经历海水生境的迹象,由表2可得,浙江南部近海银姑鱼核心区Sr/Ca比值存在 $3 < \text{Sr}/\text{Ca} < 7$ 和 $\text{Sr}/\text{Ca} > 7$ 的情况,表明银姑鱼早期孵化场存在咸淡水孵化与海水孵化两种。但咸淡水孵化的个体占多数,出现海水孵化的个体仅有NO.2一个,结合其整体经历,存在海水孵化场的可能性不大。银姑鱼受精卵为浮性卵^[22],由此推断该海水孵化个体可能属于咸淡水孵化个体,其受水流的影响才进入到海水水域中孵化。因此,将NO.2归为第一种类型。

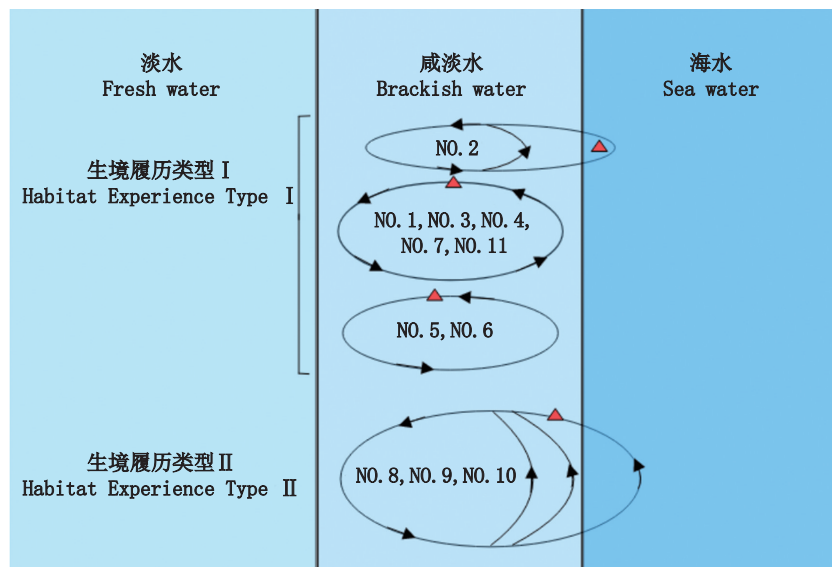


图3 浙江南部近海银姑鱼生境履历模式(红色三角形所在区域为孵化区域)

Fig. 3 Life history patterns of *P. argentata* from the offshore waters of southern Zhejiang (the red triangular area means the incubation area)

4 总结

对2019年夏、秋两季所有航次,所有采样站点的盐度进行平均可知,夏季平均盐度为 33.26 ± 0.96 ,秋季平均盐度为 31.6 ± 1.37 ,表明采样站点都在咸淡水水域。根据以上个体Sr/Ca比值变化分析,本实验调查海域的银姑鱼Sr/Ca比值为 $3.39 \times 10^{-3} \sim 8.12 \times 10^{-3}$,存在咸淡水定居型和咸淡水-海水混合型两种生境类型。本研究调查海域的银姑鱼种群稳定生活在咸淡水中,与实际采样水域的类型是相一致的,说明Sr元素是示踪银姑鱼生境的环境敏感因子,并且到目前为止,利用耳石Sr、Ca元素“指纹”来研究鱼类的生活史的研

究有很多^[23-26],因此我们通过耳石微化学方法研究银姑鱼生活史,反演银姑鱼个体生境履历是客观的并且可靠的。

参考文献:

- [1] TANNER S E, PÉREZ M, PRESA P, et al. Integrating microsatellite DNA markers and otolith geochemistry to assess population structure of European hake (*Merluccius merluccius*) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 142: 68-75.
- [2] TEICHERT N, TABOURET H, LAGARDE R, et al. Site fidelity and movements of an amphidromous goby revealed by otolith multi-elemental signatures along a tropical watershed [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2018, 27(3):

- 834-846.
- [3] RIDZUAN D S, RAWI C S, HAMID S A, et al. Determination of food sources and trophic position in Malaysian tropical highland streams using carbon and nitrogen stable isotopes [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 97-104.
- [4] 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.
- 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 杨琴, 赵峰, 宋超, 等. 长江口及邻近海域凤鲚生境履历重建 [J]. *中国水产科学*, 2019, 26(6): 1175-1184.
- YANG Q, ZHAO F, SONG C, et al. Habitat history reconstruction of *Coilia mystus* from the Yangtze River Estuary and its adjacent sea area [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(6): 1175-1184.
- [8] WALTHER B D, LIMBURG K E. The use of otolith chemistry to characterize diadromous migrations [J]. *Journal of Fish Biology*, 2012, 81(2): 796-825.
- [9] 高春霞, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量 [J]. *中国水产科学*, 2019, 26(5): 925-937.
- GAO C X, MA Q Y, TIAN S Q, et al. Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 925-937.
- [10] SUN D Q, XU T J, WANG R X. Characterization of microsatellites in white croaker (*Pennahia argentata*) through cross species amplification of *Miichthys miiuy* [J]. *Journal of Genetics*, 2013, 92(2): 110-113.
- [11] 张洪亮, 宋之琦, 潘国良, 等. 浙江南部近海春季鱼类多样性分析 [J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(1): 126-134.
- ZHANG H L, SONG Z Q, PAN G L, et al. Diversity analysis of fish in the coastal area of Zhejiang during spring [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 126-134.
- [12] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2021 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 41.
- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 41.
- [13] 马超, 沈长春, 庄之栋, 等. 闽南-台湾浅滩白姑鱼渔业生物学特性研究 [J]. *渔业研究*, 2019, 41(1): 34-41.
- MA C, SHEN C C, ZHUANG Z D, et al. Study on fishery biological characteristics of *Argyrosomus argentatus* in Minnan - Taiwan Bank Fishing Ground [J]. *Journal of Fisheries Research*, 2019, 41(1): 34-41.
- [14] JEON B S, CHOI J H, KIM D N, et al. Age and growth of white croaker *Pennahia argentata* in the southern sea of Korea by otolith analysis [J]. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2021, 54(1): 53-63.
- [15] FOWLER A J, HAMER P A, KEMP J. Age-related otolith chemistry profiles help resolve demographics and meta-population structure of a widely-dispersed, coastal fishery species [J]. *Fisheries Research*, 2017, 189: 77-94.
- [16] 卢明杰, 刘洪波, 姜涛, 等. 大辽河口红狼牙鰕虎鱼耳石微化学的初步研究 [J]. *海洋渔业*, 2015, 37(4): 310-317.
- LU M J, LIU H B, JIANG T, et al. Preliminary investigations on otolith microchemistry of *Odontamblyopus rubicundus* in the Daliao River Estuary, China [J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37(4): 310-317.
- [17] 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.
- [18] TIAN H L, LIU J H, CAO L, et al. Interactive effects of strontium and barium water concentration on otolith in corporation in juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(6): e0218446.
- [19] 陈佳杰, 徐兆礼. 东黄渤海白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*) 渔场空间格局的研究 [J]. *自然资源学报*, 2011, 26(4): 666-673.
- CHEN J J, XU Z L. Spatial-temporal pattern to fishing ground of white croaker in Bohai, Yellow and East China Seas [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(4): 666-673.
- [20] 黄慧娴, 李建华, 麻秋云, 等. 浙江南部近海银姑鱼的年龄与生长 [J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(3): 739-748.
- HUANG H X, LI J H, MA Q Y, et al. Age and growth of *Pennahia argentata* in the offshore waters of southern Zhejiang [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(3): 739-748.
- [21] 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 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25(3): 836-842.

- 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 [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(3): 836-842.
- [22] 张汉科. 闽中渔场白姑鱼的年龄与生长特性[J]. 台湾海峡, 1987, 6(3): 269-274.
- ZHANG H K. Age and growth of white croaker in the centre Fujian fishing ground[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1987, 6(3): 269-274.
- [23] 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.
- 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.
- [24] 王继隆, 刘伟, 杨文波, 等. 基于耳石微化学特征的大麻哈鱼生境履历分析及其在群组鉴别中的应用[J]. 中国海洋大学学报, 2021, 51(10): 51-59.
- WANG J L, LIU W, YANG W B, et al. Analysis of life history and population identification of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) based on otolith microchemical characteristics [J]. Periodical of Ocean University of China, 2021, 51(10): 51-59.
- [25] LEY J A, ROLLS H J. Using otolith microchemistry to assess nursery habitat contribution and function at a fine spatial scale [J]. Marine Ecology Progress Series, 2018, 606, 151-173.
- [26] PHILLIS C C, OSTRACH DJ, INGRAM BL, et al. Evaluating otolith Sr/Ca as a tool for reconstructing estuarine habitat use [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011, 68(2): 360-373.

Reconstruction of habitat history of *Pennahia argentata* in the offshore waters of southern Zhejiang based on otolith microchemical Sr/Ca

HUANG Qingzhu^{1,2,3}, HUANG Huixian^{1,2,3}, LI Jianhua^{1,2,3,4,5}, GAO Chunxia^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: The offshore waters of southern Zhejiang serve as an important fishing ground in China, where *Pennahia argentata* is a common economic fish species. This study explores the habitat of *P. argentata* in the offshore waters of southern Zhejiang in order to reveal the environmental changes during its individual development. The experiment is based on the otolith samples of *P. argentata* in this area, and ICP-MS technology is used to measure the Sr and Ca elements in the otolith microstructure. By analyzing the Sr/Ca ratio, it is found that the range of environmental changes for *P. argentata* habitat is between 3.39×10^{-3} and 8.12×10^{-3} , indicating the existence of two habitat types: freshwater and brackish water settlement, and brackish-freshwater and seawater mix. In addition, Sr element has been proven to be an effective tracer of the fish habitat history. This discovery not only enriches our understanding of the ecological habits of *P. argentata*, but also provides a new, feasible, and accurate method and approach for studying the migration routes of *P. argentata*.

Key words: *Pennahia argentata*; otolith; habitat history; offshore waters of southern Zhejiang