

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.15092

信江发现溯河洄游型刀鲚的实证研究

卢明杰¹, 姜涛², 刘洪波³, 陈婷婷², 杨健^{2,3}

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;
2. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;
3. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心 院长江中下游渔业生态环境评价和资源养护重点实验室, 江苏 无锡 214081

摘要: 利用电子探针微区分析技术, 对 2014 年 8 月 1 日采自江西省余干县瑞洪镇信江(鄱阳湖水系五大河流之一)江段的刀鲚(*Coilia nasus*)的矢耳石进行了锶和钙的微化学分析研究。元素定量线分析表明, 样品的锶钙比值($\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3$)波动显著, 不仅具有对应淡水生活的低值($\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3 < 3$), 而且出现了对应于海水生活的高值($3 < \text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3 < 7$), 显示出其典型的溯河洄游特征。耳石 Sr 含量的面分析结果与之相同, 均具有对应淡水生活的低值(蓝色)区域和海水生活的高值(绿色)区域。这两种耳石微化学类型首次直观地证实, 目前距长江河口约 1000 km 的信江中存在溯河洄游型刀鲚。

关键词: 刀鲚; 耳石; 电子探针; 信江; 鄱阳湖

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)05-0978-08

刀鲚(*Coilia nasus*)是长江中的名贵鱼类, 具有很高的经济价值。每年春季亲鱼自海区进入河口沿长江溯河进行产卵洄游, 历史上最远可上溯至洞庭湖一带^[1]。由于过度捕捞、生境破坏等不利影响, 目前其在传统主产区长江中下游江段的产量锐减, 已不能形成渔汛, 资源状况令人堪忧^[2]。为此, 掌握溯河洄游刀鲚在长江中下游干流、通江湖泊及通湖支流中的分布区、产卵场, 对于保护和可持续利用刀鲚资源意义重大, 但这在技术上较难实现。最近本实验室通过耳石微化学分析方法发现, 鄱阳湖里存在洄游型的刀鲚^[3], 为解决上述技术难题提供了突破口。鄱阳湖是我国第一大淡水湖泊。信江是鄱阳湖水系五大河流之一, 位于鄱阳湖最南端。其源出赣东北的怀玉山区, 由东向西横贯上饶市, 流经上饶市和鹰潭市入湖, 干流全长 360.5 km, 主河年径流量近 $165.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[4]。位

于余干县的通湖河口远至长江口 1000 km。迄今, 在该江中从未有刀鲚分布的报道。2014 年 8 月, 笔者在对信江近湖江段进行刀鲚资源调查时采集到疑似溯河洄游而来的刀鲚标本, 将其耳石用于本研究。

根据已有的报道, 对鱼类耳石进行微化学特征分析可以准确地反演出其盐度生境“履历”, 特别是基于耳石中锶(Sr)和钙(Ca)元素的沉积含量(包括 Sr/Ca 含量比)的方法应用尤其广泛^[5–10]。由于元素在耳石中积累的稳定性和生境相关性, 即使仅有数枚标本也可以客观、准确地反演出其生境的动态变化过程^[4–5, 11]。迄今, 应用该方法已在许多洄游型鱼类的研究中取得了突破性成果^[12–13]。笔者实验室也曾利用太湖陆封型湖鲚(*Coilia ectenes taihuensis*)、鄱阳湖定居型短颌鲚(*Coilia brachygnathus*)和长江洄游性刀鲚耳石标本, 建立了可以反演不同生境(淡水、半咸水和海水)的耳石 Sr 元素

收稿日期: 2015-03-09; 修订日期: 2015-04-20.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31372533).

作者简介: 卢明杰(1989–), 男, 硕士研究生, 从事渔业生态环境监测与保护研究. E-mail: 18751582275@163.com

通信作者: 杨健(1964–), 研究员, 博士生导师, 从事渔业生态环境监测与保护研究. E-mail: jiany@ffrc.cn

面分布分析图和定量线分析(Sr/Ca比)的标准^[3, 14]。利用这些研究积累,本研究拟对上述采集的信江刀鲚标本进行耳石Sr和Ca元素的分析测定,以期在客观和准确地确认信江中是否存在洄游型刀鲚的同时,探讨其溯河洄游能力和信江中存在刀鲚产卵场的可能性。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2014年8月1日在位于江西省余干县瑞洪镇的信江江段(图1, 距信江入湖口约10 km)共采集到刀鲚标本47尾,其中仅有7尾上颌骨长度超过了鳃盖骨(即长颌鲚),很可能是洄游型刀鲚。选取这7个个体用于本研究(表1)。鱼体解剖后,取出矢耳石(以下简称耳石,本研究按惯例统一使用左矢耳石),随后用去离子水去除其上有机组织和黏液并于室温下晾干待用。

耳石样品前处理参见姜涛等的方法^[3],样品磨至核心暴露后,清洗、烘干,再用日本电子株式会社的JEE-420镀膜仪镀膜。

1.2 耳石微化学分析

耳石锶钙元素分析参考杨健等^[5]的方法。利用日本电子株式会社的JXA-8100电子探针微区分析仪(EPMA)对耳石表面进行以10 μm为间隔

的连续定量线分析(以下简称线分析)和以每个像素点为7 μm×7 μm的面分布分析(以下简称面分析),具体设定参数见表2。分析中使用的标准样品为碳酸钙(CaCO₃)和钛酸锶(SrTiO₃)。

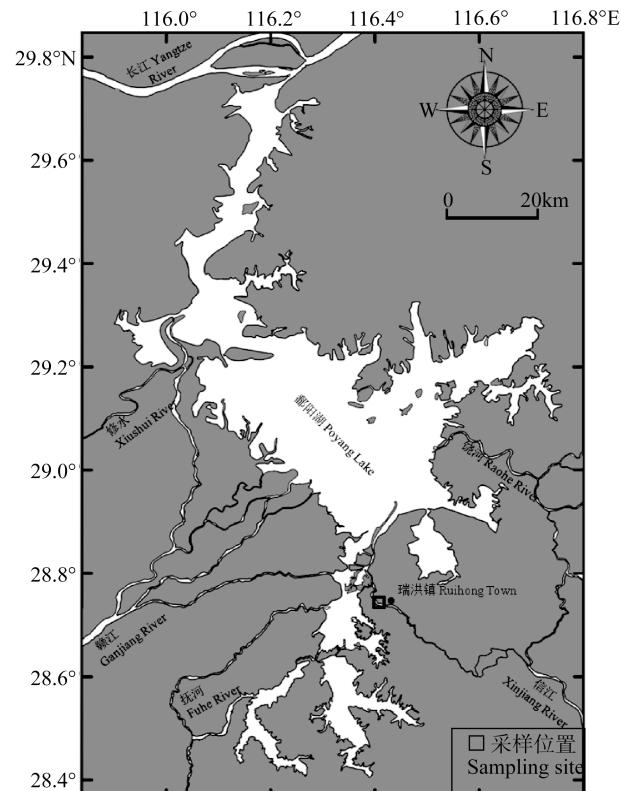


图1 刀鲚的采样位置

Fig. 1 Sampling location of *Coilia nasus*

表1 刀鲚标本的信息

Tab. 1 Details of *Coilia nasus* samples

样本编号 sample code	全长/cm total length	体重/g body weight	头长/mm head length	上颌骨长/mm upper jaw length	性成熟度* sexual maturity*	年龄/a age
14XJCE01	20.1	23.77	30.5	37.1	♂III	1+
14XJCE02	21.3	22.71	30.3	38.2	♂III	1+
14XJCE03	24.3	43.95	35.5	41.2	♀III	2+
14XJCE04	22.2	29.03	32.2	39.1	♀III	1+
14XJCE05	22.4	27.64	31.5	39.1	♀II	1+
14XJCE06	24	40.57	34.5	37.2	♀III	2+
14XJCE07	25.1	43.27	32.8	41.2	♀III	2+

注: *为目测性腺成熟度。

Note: * denotes visual gonad maturity.

表2 电子探针分析的条件

Tab. 2 The analysis parameters of electron probe microanalysis

分析项目 analysis item	加速电压/kV accelerating voltage	电子束电流/A beam current	束斑直径/μm beam diameter	驻留时间/s dwell time
线分析 life history transect analysis	15	2.0×10 ⁻⁸	5	15
面分析 X-ray intensity map analysis	15	5.0×10 ⁻⁷	5	0.03

1.3 数据处理

数据统计主要利用 Excel 2007 进行数据汇总和作图，并使用 SPSS 19.0 软件进行非参数检验 (Mann-Whitney U-test)。

2 结果与分析

2.1 基于线分析的耳石 Sr/Ca 比

信江刀鲚个体耳石 Sr/Ca 比变化复杂，从核心至边缘可见显著的由低到高再降低的 3 个阶段变化(图 2)。表 3 和图 2 的结果显示 7 尾刀鲚个体生长趋势为：第 1 阶段分别为从耳石核心沿矢状面向边缘至 920 μm、680 μm、1190 μm、720 μm、750 μm、1000 μm、940 μm 耳石径的区域，Sr/Ca 比值较低；第 2 阶段分别为从核心向边缘方向的 930~1560 μm、690~1540 μm、1200~1600 μm、730~1240 μm、760~1530 μm、1010~2060 μm、

950~1570 μm 范围，Sr/Ca 比值最高；第 3 阶段的 Sr/Ca 比值较低。7 尾鱼耳石均显示 Sr/Ca 比变动的第 1 阶段与第 2 阶段、第 2 阶段与第 3 阶段间存在极其显著的差异 ($P<0.01$)，而除了样品 14XJCE02 和 14XJCE03，其他样品的第 1 阶段与第 3 阶段没有显著性差异 ($P>0.05$)。虽然这两个样品的第 1 阶段与第 3 阶段差异显著 ($P<0.01$)，但是其值依旧明显低于第 2 阶段，且两者第 3 阶段的 Sr/Ca 比甚至分别低于各自的第 1 阶段比值。

2.2 信江水域刀鲚耳石 Sr 含量的面分析结果

图 3 显示，刀鲚个体的耳石从核心到边缘，可以明显的分为 3 个颜色差异明显的同心环区域，分别为在核心及其附近蓝色的低 Sr 浓度区以及外围的黄绿色较高的 Sr 浓度区还有靠近边缘的蓝色的低 Sr 浓度区。这种耳石上 Sr 分布分为三个区的现象与线分析 Sr/Ca 比不同阶段差异的结

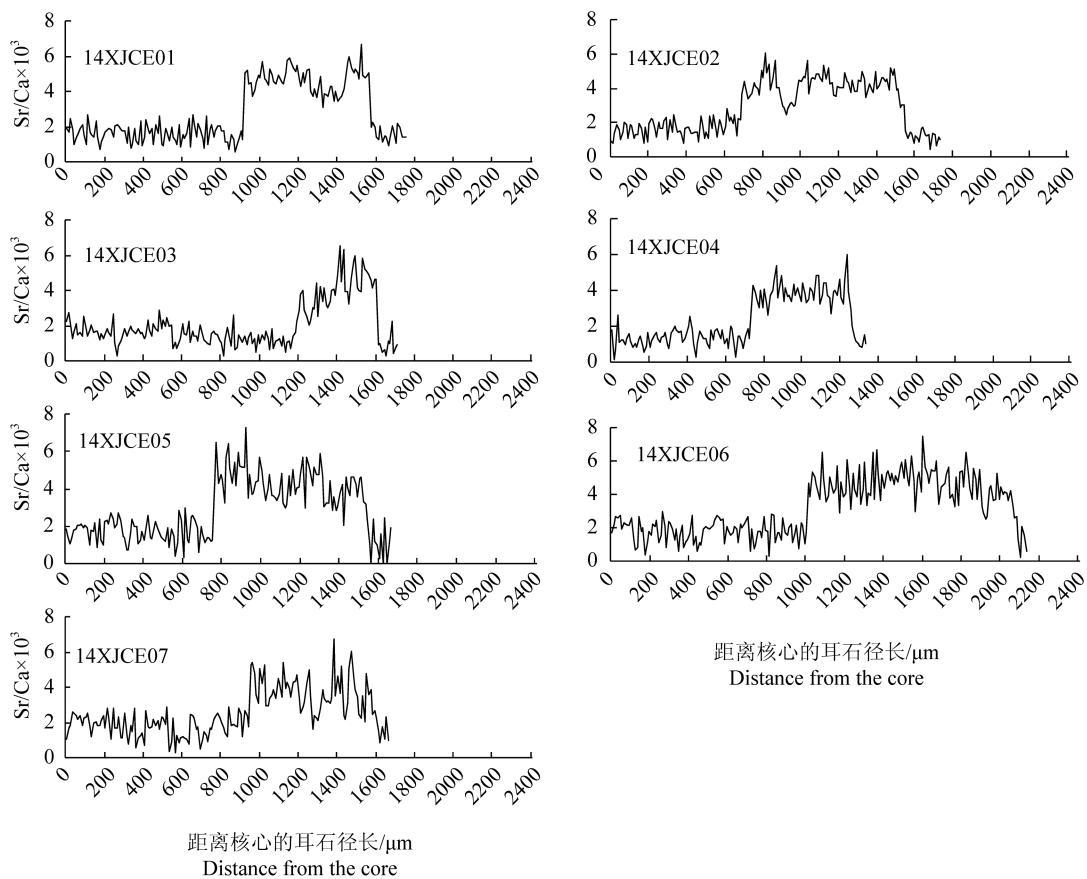


图 2 7 尾信江刀鲚个体耳石 Sr/Ca 比线分析结果

Fig. 2 Otolith Sr/Ca ratio transects of 7 *Coilia nasus* samples collected from the Xinjiang River, Jiangxi Province

表3 信江刀鲚耳石Sr/Ca比的变化

Tab. 3 Variance of Sr /Ca ratio in otoliths of *Coilia nasus* from the Xinjiang River, Jiangxi Province $n=7; \bar{x} \pm SD$

样本编号 sampling code	Sr/Ca 比变化阶段 Sr/Ca ratios variation	耳石径长/ μm distance from otolith core	元素测定点数量 number of detected points	Sr : Ca/ $\times 10^3$
14XJCE01	1	0~920	92	1.6 \pm 0.51 ^a
	2	930~1560	63	4.68 \pm 0.71 ^b
	3	1570~1750	18	1.61 \pm 0.41 ^a
14XJCE02	1	0~680	68	1.65 \pm 0.49 ^a
	2	690~1540	86	4.17 \pm 0.71 ^b
	3	1550~1730	19	1.17 \pm 0.33 ^c
14XJCE03	1	0~1190	119	1.48 \pm 0.51 ^a
	2	1200~1600	41	4.09 \pm 1.09 ^b
	3	1610~1710	11	0.9 \pm 0.51 ^c
14XJCE04	1	0~720	72	1.32 \pm 0.47 ^a
	2	730~1240	52	3.89 \pm 0.64 ^b
	3	1250~1330	9	1.41 \pm 0.67 ^a
14XJCE05	1	0~750	75	1.68 \pm 0.59 ^a
	2	760~1530	78	4.32 \pm 0.97 ^b
	3	1540~1660	13	1.18 \pm 0.92 ^a
14XJCE06	1	0~1000	100	1.79 \pm 0.64 ^a
	2	1010~2060	106	4.62 \pm 0.98 ^b
	3	2070~2130	7	1.57 \pm 0.95 ^a
14XJCE07	1	0~940	94	1.79 \pm 0.63 ^a
	2	950~1570	63	3.75 \pm 1.05 ^b
	3	1580~1660	9	1.77 \pm 0.69 ^a

注: Sr/Ca比右上角的相异字母表示阶段间差异极显著($P<0.01$); 同一字母表示阶段间差异不显著($P>0.05$) (Mann-Whitney U-test)。

Note: Sr/Ca ratios with different superscript letters are extremely significantly different ($P<0.01$), with the same superscript letters are not significantly different ($P>0.05$) among different phase (Mann-Whitney U test).

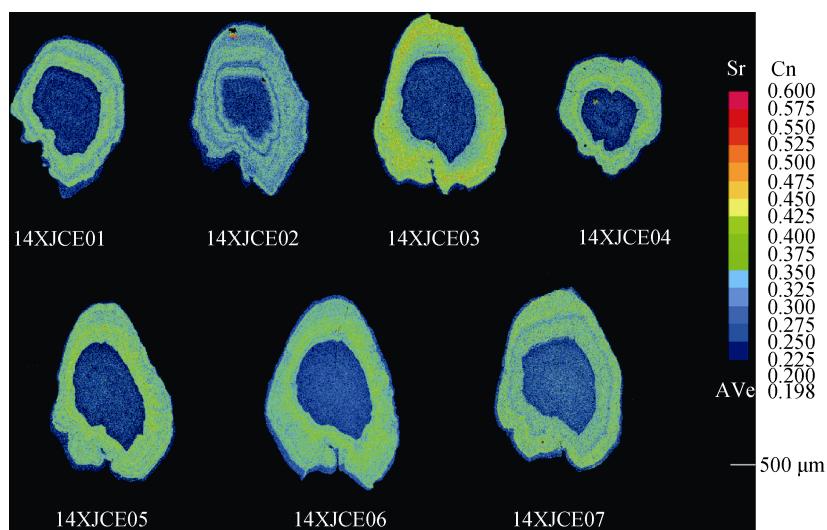


图3 信江刀鲚耳石Sr含量的面分析

Sr浓度由16色表示,从低到高依次对应于蓝色(最低),绿色,黄色乃至红色(最高). Cn: Sr的含量, Ave: Sr含量的平均值.

Fig. 3 Displaying Sr content in the otolith of *Coilia nasus* from the Xinjiang River, Jiangxi Province with X-ray intensity mapping
The values corresponding to Sr concentrations are represented by 16 colours from blue (lowest), through green and yellow, to red (highest).

Cn: Sr concentration; Ave: average of Sr concentrations.

果相印证。整体来说, 面分析中的蓝色同心环区域对应于线分析的第 1 阶段, 其绿色同心环对应于第 2 阶段, 而最外围的耳石边缘蓝色区域对应于第 3 阶段(表 3, 图 3)。

3 讨论

迄今为止, 已有利用耳石元素分析来研究刀鲚生活史^[14-15]的报道, 说明此种方法研究刀鲚生境“履历”的可靠性。本实验室在对刀鲚和凤鲚(*Coilia mystus*)以及鲻(*Mugil cephalus*)耳石的 Sr/Ca 比和生境履历进行研究和比较后得出, 耳石线分析结果中的 Sr/Ca 比值可以分为较为明显的 3 个不同阶段: <3, 3~7, >7(依次对应于面分析结果中的蓝色、绿色、黄-红色同心环区域), 分别对应于淡水、半咸水和海水 3 种不同盐度生境履历^[5, 14]。参照此标准, 本研究对信江水域刀鲚所经历过的环境“履历”和特征进行了反演。结果显示, 刀鲚个体耳石 Sr/Ca 比波动相对较为复杂(图 2), 从低值阶段波动到高值阶段, 随后又回到低值阶段; 其 Sr 含量面分布分析结果显示, 整个耳石从核心至边缘经历了蓝色区域、黄绿色区域以及蓝色区域(图 3)。其类型与定居型湖鲚和短颌鲚情况不同, 而与 Yang 等^[14]研究中所描述的洄游型刀鲚情况相一致, 均表现为在孵化和早期生活史阶段需要稳定的淡水环境(第 1 阶段, Sr/Ca 比值小于 3, 如图 3 中蓝色区域), 等到发育至一定程度后进入河口半咸水区域(第 2 阶段, Sr/Ca 比值大于 3 小于 7, 图 3 中黄绿色区域)进行越冬和育肥。最后从长江口洄游到信江水域(第 3 阶段, 图 3 中靠近耳石边缘处的蓝色区域)(表 3)。需要指出的是, 本研究中部分个体(14XJCE02 和 14XJCE03)第 3 阶段的低值与第 1 阶段低值差异极显著($P<0.01$), 但是其值依旧远小于第 2 阶段(甚至比第 1 阶段要低), 这种差异并不影响判定该两尾个体于第 3 阶段洄游至淡水水域。此外, 在本次前述的采样中, 还采集到了共 40 尾上颌骨长度短于鳃盖骨的短颌鲚个体。通过随机取样并与本实验室在鄱阳湖星子水域的洄游型刀鲚和短颌鲚耳石微化学特征研究结果^[3]的验证, 所有短颌

鲚个体均为淡水定居型个体(数据另文发表)。比较各刀鲚样品的第 1 阶段, 发现 14XJCE03 的第 1 阶段较长, 处于 Sr/Ca 比值低水平较久, 说明其早期生活在淡水中生活的时间相对较长(表 3)。由此可见本研究的耳石线分析和面分析结果首次直观地确认和证实了目前信江存有洄游型的刀鲚。

本研究中的刀鲚耳石面分析结果显示, 耳石边缘的蓝色同心区域(对应于淡水生境)较大。信江采样水域距离长江口有 1000 km 左右, 而距姜涛等^[3]报告的星子采样水域不足 200 km。星子水域距离长江口 800 km 以上, 而此处所捕洄游型刀鲚耳石边缘的蓝色同心区域却很小。这种现象反映出星子水域刀鲚入湖的时间尚短, 而信江水域所采刀鲚入湖的时间明显较长。另外, 作为较小型的鱼类, 刀鲚个体长虽然仅 20~25 cm, 但其可溯河远至 1000 km 的距离足以说明其具有非常强的洄游能力。相比较而言, 大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)也是一种溯河洄游性鱼类, 其个体(叉长超过 60 cm)远比刀鲚大的多, 洄游距离(采样点至外海生活地太平洋近 1000 km)和本研究中刀鲚相近^[16]。刀鲚溯河洄游如此远的距离, 产卵回归性(homing)可能是一个重要原因(或者说产卵回归性可能是洄游型刀鲚生活史中不可或缺的繁殖需求)。回归性的产卵方式应该是长距离溯河洄游性鱼类的特征, 这种习性被认为有利于鱼类回到水域生产力较高^[17]、可相对保证高繁殖成功率的传统产卵场, 从而维持种内不同群体间遗传结构上的相对保守性^[18], 并进而促使种内产生不同的地理群体^[19]。由此可见, 刀鲚溯河回归洄游同样可能是自然选择较固定的淡水产卵/孵化环境的结果。

考虑到长江刀鲚在性腺还未完全发育时即入长江口开始溯河洄游(性腺发育 I~III 期)^[20], 且有报道称在下游靖江江段已有大量 IV 个体的同时, 在安徽的安庆江段仍有大量 III 期的个体^[21]。这些一方面反映了长江刀鲚可能存在有多个不同的产卵场, 另一方面也说明刀鲚可能在进入长江后其性腺会继续不断发育, 在到达产卵场时最终成熟的特征。这些推论均有待于今后研究的证实。

值得注意的是本研究中在信江水域发现洄游型刀鲚的时间正处于信江主汛期内(5—7月),是否是汛期入湖江流引导刀鲚的某些群体横穿鄱阳湖进入信江上溯尚不得而知,但是考虑到前人总结的下游水域刀鲚产卵期为4—10月^[21],本研究中的刀鲚个体性腺发育尚处在II~III期,应该为当年繁殖亲鱼。其性腺仍会在溯河洄游到达产卵场时发育成熟。因此可以推测靠近鄱阳湖的信江瑞洪镇江段应该不是刀鲚的产卵场,换言之在距信江口更上游的江段才很可能有洄游型刀鲚的产卵场。而其所孵化起源的刀鲚幼鱼将可能对长江干流、长江口及相邻海区资源量的补充起到作用。鱼类产卵场一般在丰水期水面宽,向阳、光照充足,枯水期露出水面的沙滩或草地,以便丰水期鱼类所产卵的附着^[22]。信江下游(入湖河口至鹰潭江段)水流较缓^[23],存在满足于上述产卵场的特征的环境。因此,下一步对信江中刀鲚可能的产卵场进行准确定位和开展原地保护将非常重要。目前在信江在鹰潭江段建有拦河水坝。该水利工程对刀鲚洄游和产卵场的影响在今后的研究中需要重点关注。特别值得注意的是,在距长江口和相邻海区如此之远的信江中采集到洄游型刀鲚,这说明本研究中的刀鲚对信江产卵场生境具有不可或缺的需求。同属溯河洄游性鱼类的长江鮰(*Macrura reevesii*)产卵场位于鄱阳湖支流赣江的峡江江段。由于万安水电站的建设破坏了这处唯一的产卵场,再加上鮰资源的过度捕捞以及赣江、鄱阳湖、长江的环境污染和生境破坏,导致长江鮰资源的急剧下降和仔幼鱼的补充缺乏^[24~25],直至最后的灭绝。因此,相关部门对信江水域洄游型刀鲚的资源及其可能的产卵场生境保护就需要高度重视,以避免重蹈长江鮰灭绝的覆辙。

参考文献:

- [1] Yuan C M, Qin A Q, Liu R H, et al. On the classification of the anchovies, *Coilia*, from the lower Yangtze River and the southeast coast of China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1980(3): 67~82. [袁传宓, 秦安黔, 刘仁华, 等. 关于长江中下游及东南沿海各省的鲚属鱼类种下分类的探讨[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1980(3): 67~82.]
- [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 Environment Yangtze Basin, 2005, 14(6): 22~26. [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): 22~26.]
- [3] 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.]
- [4] Tong X F. Fishery status and resource conservation strategies from Xinjiang River waters[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2009(4): 9~11. [童晓峰. 信江水域渔业现状及资源保护策略[J]. 江西水产科技, 2009(4): 9~11.]
- [5] 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.]
- [6] Wells B K, Bath G E, Thorrold S R, et al. Incorporation of strontium, cadmium, and barium in juvenile spot scales reflects water chemistry[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2000, 57(10): 2122~2129.
- [7] Gillanders B M. Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish[J]. Aquat Living Resour, 2005, 18(3): 291~300.
- [8] Arai T, Yang J, Miyazaki N. Migration flexibility between freshwater and marine habitats of the pond smelt *Hypomesus nipponensis*[J]. J Fish Biol, 2006, 68(5): 1388~1398.
- [9] Arai T, Goto A, Miyazaki N. Migratory history of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus*[J]. Ichthyol Res, 2003, 50(1): 9~14.
- [10] Secor D H, Rooker J R. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes?[J]. Fish Res, 2000, 46(1-3): 359~371.
- [11] 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 migratory history of anadromous[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.]
- [12] Tsukamoto K, Nakai I, Tesch W V. Do all freshwater eels migrate? [J]. Nature, 1998, 396(6712): 635~636.

- [13] Hamilton S L, Regetz J, Warner R R. Post settlement survival linked to larval life in a marine fish[J]. PNAS, 2008, 105(5): 1561–1566.
- [14] Yang J, Arai T, Liu H B, 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]. J Fish Biol, 2006, 69(4): 1120–1135.
- [15] Zhong L, Guo H, Shen H, et al. Preliminary results of Sr : Ca ratios of *Coilia nasus* in otoliths by micro-PIXE[J]. Nucl Instrum Meth A, 2007, 260(1): 349–352.
- [16] Wang J L, Liu W, Tang F J. Analysis of biological traits of Chun salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) in the Amur River, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 93–100. [王继隆, 刘伟, 唐富江. 黑龙江水系(中国)大马哈鱼生物学特征分析[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 93–100.]
- [17] McDowall R M, Gross M R, Coleman R M. Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration[J]. Science, 1988, 239(4845): 1291–1293.
- [18] McDowall R M. Diadromy, diversity and divergence: implications for speciation processes in fishes[J]. Fish Fish, 2001, 2(3): 278–285.
- [19] McDowall R M. Anadromy and homing: two life-history traits with adaptive synergies in salmonid fishes?[J]. Fish Fish, 2001, 2(1): 78–85.
- [20] Guan W B, Chen H H, Ding H T, et al. Reproductive characteristics and conditions of anadromous *Coilia ectenes* (Engraulidae) in Yangtze Estuary[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(1): 73–81. [管卫兵, 陈辉辉, 丁华腾, 等. 长江口刀鲚洄游群体生殖特征和条件状况研究[J]. 海洋渔业, 2010, 32(1): 73–81.]
- [21] 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]. Fish Sci, 2007, 73(6): 1224–1230.
- [22] Li W B. The investigation on the spawning grounds of main commercial fish in Chongyangxi River around Jianyang City[J]. China Fisheries, 2014(3): 69–70. [李万宝. 建阳市崇阳溪主要经济鱼类产卵场调查[J]. 中国水产, 2014(3): 69–70.]
- [23] Zhang J, Qian X B, Bai C R, et al. Space-time distribution characteristics of zooplankton Xinjiang River and its water quality assessment[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013, 35(6): 1353–1358. [张洁, 潜小兰, 白承荣, 等. 信江干流浮游动物分布特征及水质评价[J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(6): 1353–1358.]
- [24] Jiang H, Wang L Q, Guan Y L, et al. Resources investigation of Yangtze River *Reeves shad* and cause analysis of being endangered[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 2(4): 140–142. [江河, 汪留全, 管远亮, 等. 长江鲥鱼资源调查及濒危原因分析[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(4): 140–142.]
- [25] Qiu S L, Huang M G, Chen D Q. The studies on current resource status of Yangtze River Reeve's shad and causes of degradation[J]. Freshwater Fisheries, 1998, 28(1): 18–21. [邱顺林, 黄木桂, 陈大庆. 长江鲥鱼资源现状和衰退原因的研究[J]. 淡水渔业, 1998, 28(1): 18–21.]

Existence of anadromous *Coilia nasus* in Xinjiang River of Jiangxi Province as determined by otolith microchemistry

LU Mingjie¹, JIANG Tao², LIU Hongbo³, CHEN Tingting², YANG Jian^{2,3}

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

3. Key Laboratory of Fishery Ecological 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

Abstract: The estuarine tapetail anchovy *Coilia nasus* (Clupeiformes, Engraulidae) is a highly commercial migratory fish species in the Yangtze River. Because of adverse human activities such as overfishing, *C. nasus* production has sharply declined. Investigating the large-scale distribution of this fish is very important for evaluation of its resources and habitat. Previous evidence revealed the existence of anadromous *C. nasus* in Poyang Lake; this study was conducted to confirm whether there is also anadromous *C. nasus* in the Xinjiang River. An electron probe microanalyzer was applied to analyze Sr and Ca microchemistry patterns in otoliths of *C. nasus* collected from the Ruihong section of the Xinjiang River (the most distant branch of Poyang Lake, ~1000 km from the Yangtze River estuary) near Yugan County in Jiangxi Province. Line transect results clearly showed a complex Sr/Ca ratio (i.e., $\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3$) pattern, including low-ratio freshwater habitat ($\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3 < 3$) and high-ratio seawater habitat ($3 < \text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3 < 7$), which clearly demonstrates that the anchovies had experienced anadromous migration. These two microchemistry patterns verify, for the first time, the existence of anadromous *C. nasus* in the Xinjiang River. Home spawning is thought to be the main reason for such a long migratory for the anchovy in the Xinjiang River, resulting from natural selection for relatively stable spawning conditions. A 1000-km migratory distance reflects an extremely strong migration ability of *C. nasus*, which is a relatively small fish. The anchovies enter into the Xinjiang River to visit habitat required for spawning and early life stages, and there are likely spawning grounds of anadromous *C. nasus* in this river.

Key words: *Coilia nasus*; otolith; electron probe microanalyzer; Xinjiang River; Poyang Lake

Corresponding author: YANG Jian. Email: jiany@ffrc.com