

长江短颌鲚耳石 Sr/Ca 值变化特征及其江海洄游履历

徐钢春, 顾若波, 刘洪波, 姜涛, 杜富宽, 聂志娟, 杨健, 徐跑*

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室,江苏 无锡 24081)

摘要:为确证长江刀鲚生殖洄游季节的短颌刀鲚是否为江海洄游个体,采用 X 射线电子探针微区分析技术(EPMA)研究了 2013 年 4 月 27 日采自长江靖江段的 1 尾短颌鲚(XGC-A)和 1 尾长颌鲚(XGC-B)耳石的锶(Sr)和钙(Ca)的微化学特征,同时将实验结果与确认是江海洄游型长江刀鲚耳石的 Sr 和 Ca 的微化学特征进行了比对分析。定量线分析结果显示,短颌鲚和长颌鲚个体的 Sr/Ca 值均波动显著,不仅具有对应淡水生活的低值(1.59 ± 0.80 、 1.55 ± 0.74),而且出现了对应于海水生活的高值(4.38 ± 1.33 、 3.56 ± 0.94),显示出其溯河洄游的履历;耳石元素面分布分析结果同时验证了短颌鲚和长颌鲚均参与江海洄游的事实。研究表明,目前长江中存在参与江海洄游的短颌鲚个体。

关键词:刀鲚;短颌;长颌;耳石;电子探针;长江

中图分类号:Q 176; S 917.4

文献标志码:A

长江刀鲚(*Coilia nasus*),隶属鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Engraulidae)、鲱属(*Coilia*),俗称刀鱼,为长江中重要的洄游性鱼类^[1],每年春季成熟的长江刀鲚从海区进入河口沿长江上溯至平缓的河流或者湖泊产卵。根据 FAO 渔业概述(FAO Fisheries Synopsis),鲱属鱼类主要栖息于江河湖泊、海洋和沿岸海域,也可以生活在低盐的环境并且常栖息于河口区域。在中国分布的鲱属鱼类有 4 种,分别是短颌鲚、七丝鲚(*Coilia grayi*)、凤鲚(*Coilia mystus*)和刀鲚,其中刀鲚特指长颌鲚,而认为短颌鲚只生活在淡水环境中^[2-3]。关于“长颌鲚”、“短颌鲚”之称的刀鲚分类地位之争由来已久,学术界并无定论。1908 年, Krayenberg 等^[4]曾将短颌鲚的拉丁学名定为 *Coilia brachygnathus*,长颌鲚定为 *Coilia ectenes*,但随着众多学者从形态学、分子生物学等角度进行大量的研究后,认为短颌鲚和湖鲚是刀鲚的同种异名^[5-11];因此,用 *C. nasus* 作为广义上刀鲚的拉丁学名已逐渐成为共识,而确证长江短颌鲚参与江海洄游的事实则成为进一步完善刀鲚不同类群生态关系的研究重点。

近年来,由于水质污染、酷渔滥捕和水利工程等原因,溯河洄游刀鲚群体数量急剧下降,目前已不能形成渔汛^[12];每年春夏季大量捕获的刀鲚样品表明,刀鲚上颌骨长度并不是一种稳定的特征,存在上颌骨长度短于鳃盖骨边缘及上颌骨长度至胸鳍基部的过渡态,呈正态分布,为典型的数量遗传性状^[13]。然而,对于样品中的短颌鲚是否参与江海洄游的生活史“履历”却很难用形态学、分子生物学的手段进行判别,长江短颌刀鲚是否仅生活在淡水环境^[2-3],至今尚未确证。

鱼类耳石元素指纹分析(elemental fingerprinting)能有效表征鱼类特定生活阶段所特有的微化学组成,是重建洄游性鱼类生境履历的重要研究手段,其耳石中锶(Sr)、钙(Ca)元素沉积情况的变化常被用来作为反演不同生境条件的“指纹”^[14-16]。由于耳石元素指纹具有与生境相关的专一性和客观性特点,即使仅有 1 尾样本鱼个体,也能有效掌握其生活史生境履历。九段沙和靖江水域刀鲚^[17]、带鱼(*Trichiurus haumela*)^[15]、鄱阳湖刀鲚^[16]、日本褐鲷

收稿日期:2014-02-18 修回日期:2014-04-04

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201203065);国家自然科学基金(31372533);中央级公益性科研院所基本科研业务费院级专项(2012A0705);江苏省自然科学基金(SBK201321669)

通信作者:徐跑, E-mail: xup@ffrc.cn

(*Salmo trutta*)^[18]、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)^[19]等研究均有成功的实例。目前,中国水产科学研究院淡水渔业研究中心的全国农业科研创新团队“刀鲚种质资源与繁养技术研究创新团队”实验室研究了长江洄游性刀鲚、太湖陆封性刀鲚等的耳石微化学特征,并建立了其海水、河口半咸水、淡水生境履历的耳石锶钙比值(即 Sr/Ca × 1000)标准和锶分布图像类型^[20]。以此为研究基础并比对窦硕增等^[21]对长江刀鲚 Sr/Ca 值分析的结果,首次对长江靖江段捕获的短颌刀鲚开展耳石元素微化学特征分析,并尝试直观而确切地判别目前长江中的短颌刀鲚是否为参与江海洄游个体,为完善对短颌刀鲚生活史的认识及鲚属分类提供重要的基础资料。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

所用的刀鲚于2013年4月27日采自长江靖

江段(东经:120°13.735,北纬:31°56.226)。根据所捕获的刀鲚上颌骨的长度是否超过鳃盖骨的标准选择上颌骨长度差异极显著的典型短颌刀鲚(XGC-A)、长颌刀鲚(XGC-B)各1尾开展研究(图1)。短颌刀鲚和长颌刀鲚的生物学数据见表1。

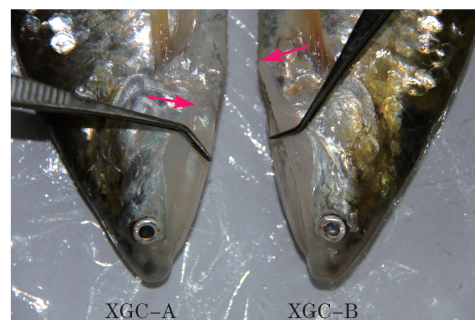


图1 短颌刀鲚和长颌刀鲚的上颌骨性状

↑ 示上颌骨末端位置

Fig. 1 Supramaxilla of short jaw and long jaw estuarine tapertail anchovy

↑ shows the terminal position of jaw

表1 短颌刀鲚和长颌刀鲚的生物学数据

Tab. 1 Biological data of short jaw and long jaw estuarine tapertail anchovy

样品 sample	上颌骨长/cm jaw length	上颌骨长/头长 jaw length/head length	体长/cm body length	体质量/g body weight
短颌刀鲚 short jaw estuarine tapertail anchovy	4.64	0.83	33.00	154.52
长颌刀鲚 long jaw estuarine tapertail anchovy	5.43	1.18	32.55	151.57

测量短颌刀鲚和长颌刀鲚的形态学数据后解剖取出矢耳石,经去离子水清洗后,置于室温下干燥待用。

元素微化学分析统一选用左矢耳石(以下简称耳石)为对象,右矢耳石作为年轮鉴定材料。耳石样品使用环氧树脂(Epofix;丹麦 Struers 公司)包埋固定后,用500目砂纸粗磨,1200目砂纸精磨至核心将要暴露。首先,右矢耳石纵切面采用XTL-3400型体视显微镜成像系统鉴定刀鲚年龄并拍照;而后,左矢耳石横切面换用装有机织布抛光盘的抛光机(Roto Pol-35,丹麦 Struers 公司)配合抛光液抛光至核心完全暴露且表面无明显刮痕。将处理完的包有耳石的树脂块放入MQ水中超声清洗5 min,然后自然晾干24 h。待完全晾干后,再将样品置于真空镀膜机(JEE-420,日本电子株式会社)中蒸镀碳膜(36A,25S)。

1.2 耳石微化学分析

参考 Yang 等^[20]、姜涛等^[16]的方法,使用 X 射线电子探针微区分析仪(JXA-8100型 EPMA,日本电子株式会社)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。EPMA 加速电压和电子束电流分别为 15 kV, 2.0×10^{-8} A,束斑直径为 5 μ m,每点驻留时间为 15 s,以 10 μ m 为间隔连续打点测定。标准样品取用碳酸钙(CaCO₃)和钛酸锶(SrTiO₃)。定量线分析完后,再对耳石样品进行面分布分析。此时 EPMA 加速电压和电子束电流分别为 15 kV, 5.0×10^{-8} A,束斑直径为 5 μ m,像素为 7.0 × 7.0 μ m,每点驻留时间为 30 s。

1.3 数据处理

数据使用 Excel 2007 和 SPASS 19.0 进行统计学计算和分析。

2 结果

短颌刀鲚(XGC-A)和长颌刀鲚(XGC-B)年龄分析显示,两者均为2冬龄个体(图2)。

短颌刀鲚(XGC-A)和长颌刀鲚(XGC-B)耳石 Sr/Ca 值变化复杂,从核心至边缘都有明显的数值波动,XGC-A 个体 Sr/Ca 值波动范围为 0 ~ 8.44,

XGC-B 个体 Sr/Ca 值波动范围为 0 ~ 5.46 (图 3)。从定量线分析的结果来看,本研究中的 XGC-A 和 XGC-B 两尾个体耳石中 Sr/Ca 值的变化过程都可以分为 2 个阶段,第一阶段是从核心出发到距核心 880 μm (XGC-A) 和 1 260 μm (XGC-B) 分别为 88 个和 126 个测定点,其 Sr/Ca 值分别为 (1.59 ± 0.80) 和 (1.55 ± 0.74) ;第二阶段分别从距核心 880 μm 至 2 530 μm (XGC-A) 和 1 260 μm 至 2 390 μm (XGC-B) ($P < 0.01$, Mann-Whitney U-test) (表 2)。

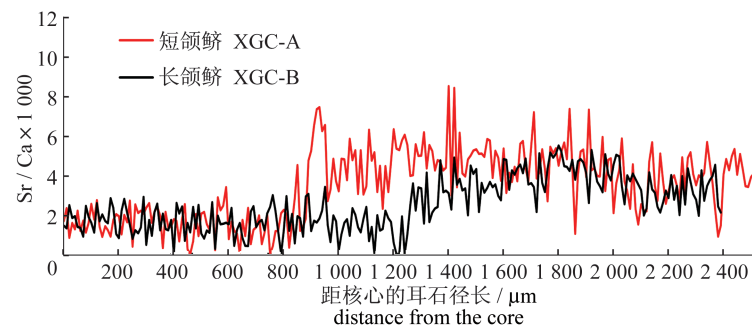


图 3 沿个体短颌鲢和长颌鲢的耳石矢状面从核心 (0 μm) 到边缘定量线分析记录到的 Sr/Ca 值变化

Fig. 3 Fluctuation of otoliths Sr/Ca concentration ratios along line transects from the core (0 μm) to the edge in otoliths of two estuarine tapertail anchovies *C. nasus* (XGC-A and XGC-B)

表 2 刀鲢个体短颌鲢和长颌鲢耳石中锶和钙的微化学变化

Tab. 2 Fluctuation of Sr and Ca microchemistry in otoliths of two estuarine tapertail anchovies *C. nasus* (XGC-A and XGC-B)

个体编号 individual code	锶钙含量比显著变化阶段 significant fluctuation phases of otoliths Sr/Ca concentration ratios	耳石径长/ μm distance from the core	元素测定点数 detected points for element	Sr/Ca $\times 1000$ (mean \pm SD)
短颌鲢 XGC-A	1	0 ~ 880	880	1.59 ± 0.80
	2	880 ~ 2 530	165	4.38 ± 1.33
长颌鲢 XGC-B	1	0 ~ 1 260	126	1.55 ± 0.74
	2	1 260 ~ 2 390	113	3.56 ± 0.94

与定量线分析相比,耳石的矢状面二维 Sr 和 Ca 含量面分布图能够更直观地反映耳石上元素的浓度分布情况 (图 4),两个个体的耳石 Ca 元素分布均一,呈现出单一的黄色,而 Sr 元素分布较为复杂。两者耳石 Sr 元素分布图可以明显地区别为两个区域,分别是核心及其附近蓝色的低 Sr 值区和较外围的 Sr 值较高的黄绿色甚至红色区,反映了两者整个生活史过程均经历了淡水、海水生境的情况,与定量线分析的结果相一致。

3 讨论

根据短颌鲢的上颌骨较短和淡水分布特点, Krayenberg 等^[4]将洞庭湖采集的短颌鲢标本视为有别于刀鲢的有效物种;《中国经济动物志》^[2]、《长江鱼类》^[22]和 FAO 渔业概述^[2]也都

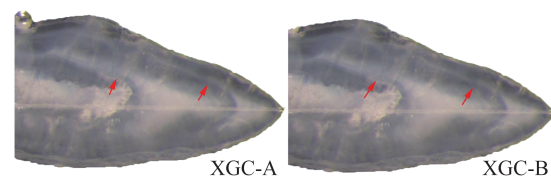


图 2 短颌鲢 (XGC-A) 和长颌鲢 (XGC-B) 的年轮特征

↑ 示暗轮

Fig. 2 Annual-ring features of short jaw and long jaw estuarine tapertail anchovy

↑ show the annual-ring

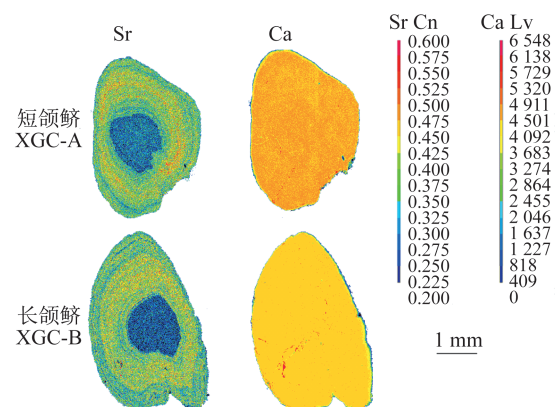


图 4 刀鲢个体短颌鲢和长颌鲢的耳石矢状面二维 Sr 和 Ca 含量的面分布

Fig. 4 Two-dimensional imaging using mapping analysis of the Sr and Ca in otoliths of two estuarine tapertail anchovies *C. nasus* (XGC-A and XGC-B)

采用了这种分类;因此,很长一段时期内短颌鲢被认为是仅存在于淡水环境且有别于刀鲢的物种。20世纪90年代以来,随着种群生态学、遗传学技术的发展及专业仪器设备的升级完善,众多学者对这种分类方法提出了质疑,大量研究结果也表明:短颌鲢是刀鲢的同种异名^[5-11],短颌鲢并不能成为一个有效物种。目前,太湖、洞庭湖、洪湖等地的短颌鲢均归为刀鲢,学术界普遍认为刀鲢和短颌鲢的形态差异仅仅限于上颌骨的长短,而上颌骨的长短并不是稳定的特征,可能与鱼类的发育阶段或营养状况有关^[23],或与其生态分布、生活习性有关^[7],不能作为分类依据。因此,既然短颌鲢与长颌鲢同属刀鲢,为同一物种,它们之间并无生殖隔离;而根据孟德尔遗传定律,其繁育子代的上颌骨性状势必存在分化,短颌鲢也就理所当然有参与江海洄游的生态习性。目前,上颌骨性状分化已得到证实^[13],长江中不仅存在上颌骨不超过鳃盖骨的短颌鲢和上颌骨向后延伸至胸鳍基部的刀鲢,还有上颌骨长略超过鳃盖骨但达不到胸鳍基部的中间型。对于短颌鲢是否参与江海洄游的事实,因实验技术手段的限制,一直未能得到确证;但是研究短颌鲢的江海洄游履历将完善对短颌鲢生活史的重新认识,对于阐明不同类群刀鲢的生态关系具有重要的参考价值。

近年来,耳石指纹元素中 Sr/Ca 值和 Sr 含量已被广泛应用于鱼类(包括刀鲢)生活史生境履历的研究^[15-16,19,24-26]。其中,窦硕增等^[15]采用 X 射线电子探针微区分析技术研究发现,刀鲢中除存在淡海水洄游性个体生活史型外,还存在出生并生活于河口或近海的非洄游性个体生活史型,证实了民间所说存在“海刀”的事实。姜涛等^[16]则首次证实鄱阳湖同时存在溯河洄游和淡水定居的刀鲢个体。本实验中,短颌鲢和长颌鲢个体耳石 Sr/Ca 值均较为复杂,从面分布分析结果可以看出,整个耳石从核心至边缘依次经历了蓝色、绿色甚至红色然后波动回黄色、绿色,在较外缘处再一次上升至红色后回落至蓝色(图3)。这与 Yang 等^[20]和 Dou 等^[21]所描述的洄游性刀鲢情况相一致。其中,短颌鲢个体表现为孵化和早期生活都需要在淡水中完成(Sr/Ca 值小于3,图3短颌鲢所示核心处蓝色区),待发育到一定程度后进入半咸水区域(Sr/Ca 值大于3小于7,图3短颌鲢所示绿色至黄色)甚至是到过盐度较高的外海水域(Sr/Ca 值大于7,图3短颌

鲢所示红色)进行育肥,成熟后洄游至长江产卵(图3短颌鲢所示靠近耳石边缘的蓝绿色斑纹)。由此可见,短颌鲢(XGC-A)个体反映出的是典型溯河洄游刀鲢特征。至此,本研究定量线分析和面分布的分析结果,首次直观地确证了长江中短颌鲢参与江海洄游的事实。

近年来,随着刀鲢纳苗蓄养、苗种采捕运输、池塘扩繁、人工繁殖及苗种培育技术的突破,刀鲢正逐渐成为一种前景广阔的优质淡水增养殖品种^[27-30]。其中,采捕的野生长江刀鲢幼苗中的短颌鲢与长颌鲢因采捕时间点不同而比例不相一致^[28],繁育刀鲢鱼苗的上颌骨长度均表现出正态分布的规律,而生长性能并未表现出显著性的差异。目前,生产单位根据传统的刀鲢分类标准将短颌鲢剔除的做法造成了资源的浪费。本实验确证短颌鲢与长颌鲢(传统意义上的刀鲢)一样参与江海洄游,并澄清短颌鲢与传统意义上刀鲢的生态关系对鲢属鱼类进行资源保护和合理开发利用意义重大;本结果将为下一步开展的长江刀鲢选育中经济性性状的选择提供参考。生产实践中,生长速度是最受关注的问题之一。孙雪兴等^[31]报道5龄湖鲢(包括短颌鲢)均重为67.25g,占渔获量的0.75%;而本实验样本2冬龄短颌鲢体质量达151.20g;这是与饵料丰度有关还是遗传因素决定,有待于进一步考证。

随着刀鲢养殖业的兴起,对长江刀鲢上颌骨(长颌、短颌)等数量性状的证实,可模仿孟德尔经典的实验,采取仿生态的群体自然交配的繁育方式,以2龄长颌刀鲢(♀、♂)、2龄短颌刀鲢(♀、♂)亲鱼为基础,按完全双列杂交的实验设计组成不同的杂交组合,进行同池养殖、促熟及繁育,应用数量遗传学原理分析刀鲢颌骨的遗传规律,统计子代长颌刀鲢与短颌刀鲢的上颌骨长短分布的情况。进一步可研究刀鲢上颌骨性状与生长性能的相关度,发掘长江刀鲢的生长潜能,阐明上颌骨的遗传分离规律,终止长颌鲢与短颌鲢的分类纷争,最终为刀鲢的选择育种中经济性性状指标的确立提供科学依据。

参考文献:

- [1] 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. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 694 - 698.]
- [2] Whitehead P J P, Nelson G J, Wongratana T. FAO species catalogue: Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei) [M]. FAO Fisheries Synopsis, 1988; 305 - 579.
- [3] Wu X W, Yang G R, Le P Q, *et al.* Economic animals of China: Freshwater fishes [M]. Beijing: Science Press, 1963; 18 - 19. [伍献文, 杨干荣, 乐佩琦, 等. 中国经济动物志: 淡水鱼类. 北京: 科学出版社, 1963; 18 - 19.]
- [4] Krayenberg W, Pappenheim P. Ein beitrage zur kenntnis der fische der Jangtze und seiner zuflüsse sitzungsber [J]. Ges Naturf Freunde Berlin, 1908; 95 - 109.
- [5] Chen Q Q, Lu D R. PCR-RFLP analysis of cytochrome b gene does not support *Coilia ectenes taihuensis* being a subspecies of *Coilia ectenes* [J]. Journal of Genetics, 2005, 84(3): 307 - 310.
- [6] Tang W Q, Hu X L, Yang J Q. Species validities of *Coilia brachygnathus* and *C. nasus taihuensis* based on sequence variations of complete mtDNA control region [J]. Biodiversity Science, 2007, 15(3): 224 - 231. [唐文乔, 胡雪莲, 杨金权. 从线粒体控制区全序列变异看短颌鲚和湖鲚的物种有效性. 生物多样性, 2007, 15(3): 224 - 231.]
- [7] Xu Z Q, Ge J C, Huang C, *et al.* Taxonomy of shortjaw tapertail anchovy *Coilia brachygnathus* by jaw length and mitochondrial Cytochrome *b* gene analysis [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(3): 242 - 246. [许志强, 葛家春, 黄成, 等. 基于颌骨长度和线粒体 *Cytb* 序列变异探讨短颌鲚的分类地位. 大连水产学院学报, 2009, 24(3): 242 - 246.]
- [8] Zhou X D, Yang J Q, Tang W Q, *et al.* Species validities analysis of Chinese *Coilia* fishes based on mtDNA CO I barcoding [J]. Acta zootaxonomica Sinica, 2010, 35(4): 819 - 826. [周晓骥, 杨金权, 唐文乔, 等. 基于线粒体 CO I 基因 DNA 条形码的中国鲚属物种有效性分析. 动物分类学报, 2010, 35(4): 819 - 826.]
- [9] Yang Q L, Han Z Q, Sun D R, *et al.* Genetics and phylogeny of genus *Coilia* in China based on AFLP markers [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(4): 795 - 801.
- [10] Xu G C, Wei G L, Li J L, *et al.* Studies on the genetic diversity between farmed *Coilia nasus* and *Coilia nasus taihuensis* by analysing mitochondrial D-loop genes [J]. Journal of Dalian Ocean university, 2012, 27(5): 448 - 452. [徐钢春, 魏广莲, 李建林, 等. 基于线粒体 DNA D-loop 序列分析养殖刀鲚与湖鲚的遗传多样性. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 448 - 452.]
- [11] 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. 青岛: 中国海洋大学, 2012.]
- [12] Shi D, Gong D. Strategies of resource conservation for *Coilia ectenes* in the Yangtze Estuary [J]. Marine Science, 2003, 25: 96 - 97.
- [13] Guo H Y. The sagittal otolith morphometrics of the genus *Coilia* from the lower Yangtze River and the Eastcoast of China and its applications [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2006. [郭弘艺. 长江下游及东海及沿岸刀鲚属鱼类矢耳石的形态特征及其应用. 上海: 上海海洋大学, 2006.]
- [14] Campana S E. Chemistry and composition of fish otoliths; Pathways, mechanisms and applications [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 188: 263 - 297.
- [15] Dou S Z, Yokouchi K K, Yu X, *et al.* Reconstructing migratory history of fish using otolith Strontium: Calciums ratios by EPMA: A case study [J]. 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.]
- [16] 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. 水产学报, 2013, 37(2): 239 - 244.]
- [17] Zhong L, Guo H, Shen H, *et al.* Preliminary results of Sr: Ca ratios of *Coilia nasus* in otoliths by micro PIXE [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2007, 260(1): 349 - 352.
- [18] Arai T, Kotake A, Aoyama T, *et al.* Identifying searun brown trout, *Salmo trutta*, using Sr: Ca ratios of otolith [J]. Ichthyological Research, 2002, 49(4): 380 - 383.

- [19] Christian E Z, Roger L N. Effect of analytical conditions in wavelength dispersive electron microprobe analysis on the measurement of strontium-to-calcium (Sr/Ca) ratios in otoliths of anadromous salmonids [J]. Fishery Bulletin, 2003, 101(3):712 - 718.
- [20] 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.
- [21] Dou S Z, Yokouchi K, Yu X, *et al.* The migratory history of anadromous and non-anadromous tapertail anchovy *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary revealed by the otolith Sr:Ca ratio [J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 95(4):481 - 490.
- [22] Ichthyology laboratory of Institute of Hydrobiology in Hubei Province. Yangtze fish [M]. Beijing: Science Press, 1976:24 - 25. [湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类. 北京:科学出版社, 1976:24 - 25.]
- [23] Zhang S Y. Chinese animals (osteichthyes, Acipenseriformes, Elopiformes, Clupeiformes, Gonorhynchiformes) [M]. Beijing: Science Press, 2001:148 - 154. [张世义. 中国动物志(硬骨鱼纲, 鲟形目, 海鲢目, 鲱形目, 鼠鱧目). 北京:科学出版社, 2001:148 - 154.]
- [24] Gillanders B M. Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish [J]. Aquatic Living Resources, 2005, 18(3):291 - 300.
- [25] Arai T, Yang J, Miyazaki N. Migration flexibility between freshwater and marine habitats of the pond smelt *Hypomesus nipponensis* [J]. Journal of Fish Biology, 2006, 68(5):1388 - 1398.
- [26] Tzeng W N, Shiao J C, Iizuka Y. Use of otolith Sr:Ca ratios to study the riverine migratory behaviors of Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Marine Ecology-Progress Series, 2002, 245:213 - 221.
- [27] Zhang C X, Zheng J L. A doption of fries by filling with river flows and rearing of *Coilia nasus* in the Yangtse River [J]. Scientific Fish Farming, 2006(7):26. [张呈祥, 郑金良. 长江刀鲚灌江纳苗与养殖. 科学养鱼, 2006(7):26.]
- [28] Shen L H, Dai Y H, Gu S X, *et al.* Studies on collection and transport of *Coilia nasus* juvenile [J]. Aquaculture, 2011(5):4 - 6. [沈林宏, 戴玉红, 顾树信, 等. 长江刀鲚幼鱼的采集与运输技术研究. 水产养殖, 2011(5):4 - 6.]
- [29] Xu G C, Tang X, Zhang C X, *et al.* First studies of embryonic and larval development of *Coilia nasus* (Engraulidae) under controlled conditions [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(4):593 - 601.
- [30] Xu G C, Xu P, Gu R B, *et al.* Studies on feeding and growth of *Coilia nasus* fingerlings in pond captivity [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(9):2014 - 2018. [徐钢春, 徐跑, 顾若波, 等. 池养刀鲚 (*Coilia nasus*) 鱼种的摄食与生长. 生态学杂志, 2011, 30(9):2014 - 2018.]
- [31] Sun X X, Qiu Y F. Study on the age and growth of Lake Anchovy in Taihu Lake [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1987, 18(1):39 - 47. [孙雪兴, 仇延舫. 太湖湖鲚年龄与生长的研究. 海洋与湖沼, 1987, 18(1):39 - 47.]

Fluctuation of Sr/Ca in otoliths of *Coilia nasus* in the Yangtze River and the validation for the anadromous migratory history

XU Gangchun, GU Ruobo, LIU Hongbo, JIANG Tao, DU Fukuan, NIE Zhijuan, YANG Jian, XU Pao*

(Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Freshwater Fisheries Research Center, Ministry of Agriculture, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: *Coilia nasus* long jaw estuarine tapertail anchovy is an important migratory fish in the Yangtze River. Shortjaw grenadier anchovy has long been thought to only live in freshwater, while there is no evidence for whether it experienced an anadromous migration, which has been an ecological puzzle for it is difficult to distinguish by morphological and molecular biology methods. Otolith element fingerprint could specifically and objectively reflect the environment type which fish had lived in, and the element Sr and Ca microchemistry patterns have been always used to replay the environment type which fish has been experienced. Even one sample is used, its experienced environment type could be effectively replayed. To confirm whether there is anadromous long jaw estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus* in the Yangtze River, an electron probe microanalyzer (EPMA) was applied to analyze the element Sr and Ca microchemistry patterns in otoliths for one short jaw grenadier anchovy (XGC-A) and one long jaw grenadier anchovy (XGC-B), which were collected from Jingjiang Section of Yangtze River on April 27, 2013. Meanwhile, experimental and computational data were compared with the anadromous estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus*. Results of line transect analysis showed a complex Sr/Ca ratio pattern in XGC-A and XGC-B, including a low ration [(1.59 ± 0.80) , (1.55 ± 0.74)] responded to freshwater life, and a high ration [(4.38 ± 1.33) , (3.56 ± 0.94)] responded to seawater life, which suggested that both of them had experienced an anadromous migration. All these differences could be well confirmed by the results of X-ray mapping analysis of EPMA. Results of the microchemistry patterns obtained by both the line transect and mapping analyses confirmed objectively, for the first time, the coexistence of anadromous forms of the shorter supramaxilla estuarine tapertail anchovy *C. nasus* in the Yangtze River. These afore-mentioned microchemistry patterns will provide important information not only for the resources evaluation and protection, but also for the farming plan and future guide in *C. nasus*. This research provides an important basis for further understanding of short jaw grenadier anchovy life history and *Coilia* classification.

Key words: *Coilia nasus*; short jaws; long jaws; otolith; electron probe microanalyzer; the Yangtze River

Corresponding author: XU Pao. E-mail: xup@ffrc.cn