

基于耳石微化学的大洋河刀鲚生境履历研究

张健 杨培民 姜涛 胡宗云 朱春月 张伯序 刘忠航 杨健 胡玉海

THE HABITAT HISTORY OF *COILIA NASUS* IN DAYANG RIVER BASED ON OTOLITH MICROCHEMISTRY

ZHANG Jian, YANG Pei-Min, JIANG Tao, HU Zong-Yun, ZHU Chun-Yue, ZHANG Bo-Xu, LIU Zhong-Hang, YANG Jian, HU Yu-Hai

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2023.2023.0012>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于耳石微化学的长江安徽和县江段刀鲚生境履历重建

RECONSTRUCTING HABITAT HISTORY OF *COILIA NASUS* FROM THE HEXIAN SECTION OF THE YANGTZE RIVER IN ANHUI PROVINCE BY OTOLITH MICROCHEMISTRY

水生生物学报. 2017, 41(5): 1054–1061 <https://doi.org/10.7541/2017.132>

洞庭湖中是否存在溯河洄游型刀鲚

ARE THERE STILL ANADROMOUS THE ESTUARINE TAPER-TAIL ANCHOVIES *COILIA NASUS* IN DONGTING LAKE?

水生生物学报. 2020, 44(4): 838–843 <https://doi.org/10.7541/2020.100>

基于耳石微化学的乌苏里白鲑生境履历分析

MICROCHEMISTRY ANALYSIS OF OTOLITHS OF *COREGONUS USSURIENSIS* FROM THE HEILONG RIVER BASIN

水生生物学报. 2019, 43(4): 825–831 <https://doi.org/10.7541/2019.097>

刀鲚肌间骨新类型的发现

THE IDENTIFICATION OF NEW TYPES OF INTERMUSCULAR BONES IN *COILIA NASUS*

水生生物学报. 2020, 44(1): 104–111 <https://doi.org/10.7541/2020.013>

刀鲚嗅觉受体基因 *MOR-51D* 克隆、序列分析及组织表达

CLONING, SEQUENCE ANALYSIS AND TISSUES EXPRESSION OF *COILIA NASUS* OLFACTORY RECEPTOR GENE *MOR-51D*

水生生物学报. 2017, 41(1): 33–42 <https://doi.org/10.7541/2017.5>

鲈鲤早期鱼苗的耳石标记研究

OTOLITH MARKING OF *PERCOCYPRIS PINGI* AT EARLY LIFE STAGES

水生生物学报. 2021, 45(4): 889–897 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.259>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2023.2023.0012

基于耳石微化学的大洋河刀鲚生境履历研究

张健¹ 杨培民¹ 姜涛² 胡宗云¹ 朱春月¹
张伯序¹ 刘忠航¹ 杨健^{2,3} 胡玉海²

(1. 辽宁省淡水水产科学研究院辽宁省水生动物病害防治重点实验室, 沈阳 111000; 2. 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, 无锡 214081; 3. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081)

摘要: 为探明大洋河刀鲚(*Coilia nasus*)的“生境履历”, 利用电子探针微区分析技术(EPMA)对2020年7月和9月采自大洋河下游水域20尾刀鲚的矢耳石进行了锶(Sr)和钙(Ca)的微化学分析研究。定量线分析结果显示, 刀鲚样本均为淡水起源, 淡水生境Sr/Ca比值在(1.49±0.61—2.75±0.53), 淡水系数(F_c)在(0.08—0.52), 淡水区域径长在(150—900 μm)。进入第二变化阶段后“生境履历”波动显著, Sr/Ca比值变化可将大洋河刀鲚分为3种模式, 第一种是中高值区(半咸水或海水)越冬, 繁殖季溯河洄游至低值区(淡水); 第二种是长期栖息于中高值区, 无溯河洄游现象; 第三种是在中高值区和低值区多次转换, DYH 05、19个体最高完成9次转换。Sr面分析结果也与上述Sr/Ca比值结果相同。这三种模式直观地反映出大洋河刀鲚群体“生境履历”的多样性特点。

关键词: 大洋河; 耳石; 电子探针微区分析; 生境履历; 刀鲚

中图分类号: Q178.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2024)01-0130-08



刀鲚(*Coilia nasus*)隶属于鲱形目、鲱科、鲱属^[1], 又名刀鱼、凤尾鱼等。刀鲚在我国主要分布于黄渤海、东海及各通海河流和与之相通的附属湖泊内, 辽宁省境内辽河、鸭绿江和大洋河均有自然分布的群体^[2-4]。

大洋河位于辽东半岛, 发源于辽宁省岫岩县千山山脉东侧, 经哨子河、龙王庙、黄土坎最终流入黄海, 是一条单独入海河流。大洋河流程164 km, 流域面积6200 km², 是辽河、鸭绿江之间的最大河流^[1, 4]。近年来, 由于人类活动等原因辽河和鸭绿江已很难见到刀鲚踪影, 目前辽宁仅在大洋河可见小规模刀鲚渔汛。与长距离洄游的长江刀鲚和黄河刀鲚不同, 因受大洋河下游荒地拦河坝的影响, 大洋河刀鲚无法越坝上溯, 洄游和栖息范围仅限于河口至坝下约30 km^[5]距离。该河段河道较为开阔, 河水污染较小, 河口区受径流和潮流影响, 浮游动

植物资源较丰富^[6], 其优越的生境条件和较短的洄游距离可能导致其具有独特的生境履历。

耳石位于硬骨鱼类内耳中, 其主要成分为碳酸钙, 并含有多种矿质元素。其中锶(Sr)和钙(Ca)元素在耳石微化学技术研究中作为反演鱼类生境履历特征被广泛运用。目前, 基于耳石微化学的刀鲚生境履历研究主要集中在长江、黄河群体, 而有关大洋河刀鲚生境履历的系统研究尚未见报道。本研究采用电子探针微区分析技术(EPMA), 通过探明大洋河河口及3个不同河段所采刀鲚矢耳石中Sr/Ca比值变化及Sr元素面分布状况, 来较为详细地探讨其不同盐度自然水体中的溯河洄游习性及生境履历特征, 辨识其不同的生态类型, 并与我国其他水域刀鲚耳石微化学的相关研究结果进行比较, 以期科学准确地掌握大洋河刀鲚生活习性、制定大洋河刀鲚资源保护和关键生境修复策略提供理论依据。

收稿日期: 2023-01-09; **修订日期:** 2023-04-23

基金项目: 辽宁省民生科技计划项目(2021JH2/10200031); 辽宁省农业科学院基本科研业务费项目(2021HQ1918); 辽宁省自然科学基金面上项目(2022-MS-070)资助 [Supported by the Project of Livelihood Science and Technology in Liaoning Province (2021JH2/10200031); the Fundamental Research Funds of Liaoning Academy of Agricultural Sciences (2021HQ1918); the Natural Science Foundation of Liaoning Province (2022-MS-070)]

作者简介: 张健(1980—), 男, 高级工程师, 硕士; 研究方向为淡水养殖。E-mail: zhanglnly@126.com

通信作者: 杨培民(1979—), 正高级工程师; 研究方向为淡水养殖。E-mail: pmyang313@163.com

1 材料与方 法

1.1 材 料

2020年7月和9月在大洋河下游荒地拦河坝至河口区共设置4处采样点如图1(各点位与河口间距离: 红旗沟约30 km、石山桥约25 km、肖家园约15 km), 用三层流刺网(长160 m、高3 m、网目5、4和5 cm)共采集刀鲚样本20尾(红旗沟6尾、肖家园2尾、石山桥3尾和河口9尾), 现场测量其体长、体质量, 在实验室依据徐钢春等^[7, 8]报道的方法判断其雌雄和性成熟度(表1), 并取出矢耳石(以下简称耳石), 使用去离子水清洗后, 置于室温晾干待用。另取7—13节脊椎骨洗刷后, 用1%双氧水浸泡2h, 蒸馏水冲洗后晾干, 置于解剖镜下统计明暗带轮纹数鉴定刀鲚年龄, 并用鳞片和鳃盖骨辅助确定刀鲚年龄。

1.2 耳石分析前处理

耳石样品使用环氧树脂(Epofix, 丹麦司特尔公

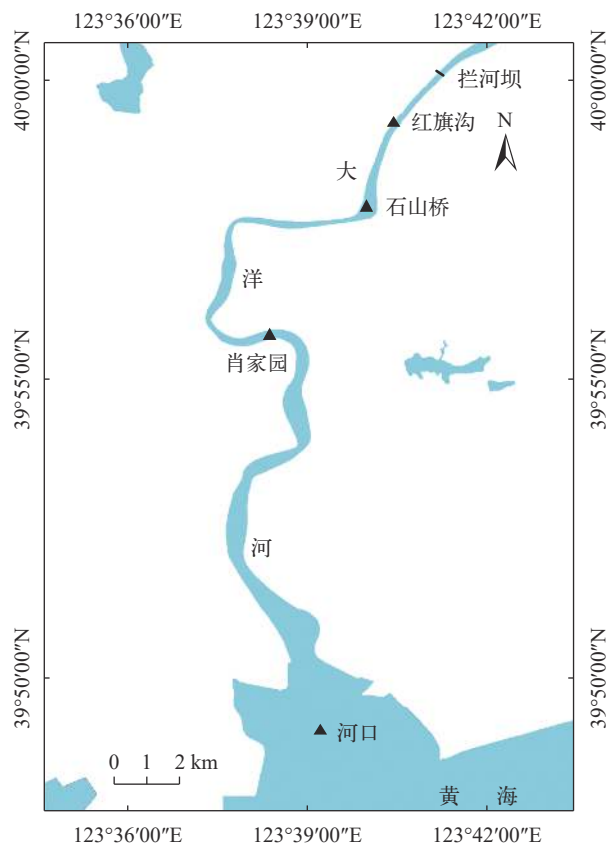


图1 大洋河刀鲚样本采集地点

Fig. 1 Sample sites of *Coilia nasus* in Dayang River

▲从上至下: 红旗沟采样点、石山桥采样点、肖家园采样点、河口采样点

From top to bottom: sampling points in Hongqigou; sampling points in Shishan Bridge; sampling points in Xiao Jiayuan; sampling points in Estuaries

司)包埋固定后, 切掉多余树脂, 使用研磨机(Disco-plan-TS, 丹麦司特尔公司)进行粗磨至耳石核心即将暴露, 再用1200目和4000目砂纸精磨, 打磨同时用金相显微镜(C3230B, 上海精密仪器仪表有限公司)观察, 直至耳石核心完全暴露, 最后用抛光机(Roto Pol-35, 丹麦司特尔公司)结合抛光液和绒布抛光盘进行抛光至表面无明显划痕。所有样品使用Milli-Q (Simplicity, 美国密理博公司)水超声清洗5min后, 于烘箱内37℃过夜烘干, 随后使用真空镀膜机(JEE-420, 日本电子株式会社)蒸镀碳膜(36 A, 25s)。

1.3 耳石微化学分析

参考Yang等^[9]的方法, 使用X射线电子探针微区分析仪(JXA-8100型, 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和 2×10^{-8} A, 束斑直径为5 μ m, 每点驻留时间15s, 以间距10 μ m自耳石核心至边缘的最长径连续打点测定。标准样品取用碳酸钙(CaCO_3)和钛酸锶(SrTiO_3)。定量线分析后, 再对耳石样品进行面分析, 以便获得耳石过核心面Sr含量分布分色图谱。加速电压和电子束电流为15 kV和 5×10^{-7} A, 束斑直径为5 μ m, 像素为8 μ m \times 8 μ m, 每点驻留时间为30ms。

1.4 淡水系数 F_C

参考Jiang等^[10]给出的淡水系数公式 $F_C = L_f / L_T$, 式中 L_f 为自耳石核心开始连续对应淡水生境 $\text{Sr}/\text{Ca} \leq 3$ 的耳石半径长度; L_T 为耳石的定量线分析长轴。

1.5 数据处理

数据采用Excel2016进行统计分析, 使用SPSS19.0进行非参数检验(Mann-Whitney U -test)。引入分析格局转变(Regime shifts)的STARS(Sequential t -test Analysis of Regime Shifts)方法, 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。因此, 本研究设定截断长度 $CL=10$, Huber权重为1, 置信度 $P=0.1$, 按照惯例耳石 Sr/Ca 比值标准化为 $\text{Sr}/\text{Ca} \times 10^3$ 。依据长江、黄河及日本有明海及周边水域刀鲚不同盐度生境 Sr/Ca 的研究结果^[9, 11, 12], 结合4处采样点位盐度监测值(红旗沟、石山桥和肖家园盐度在0.09‰—0.15‰; 河口盐度在0.55‰—9.80‰), 本研究以此为参考, 将大洋河刀鲚的耳石微化学特征分为3种类型: $\text{Sr}/\text{Ca} \leq 3$ (蓝色)、(3—7)(绿色)、 > 7 (黄-红色), 分别对应淡水、半咸水和海水。

2 结果

2.1 Sr/Ca比值的动态变化

定量线分析结果显示(表 2), 大洋河刀鲚耳石样本Sr/Ca比值变化较为复杂, 个体间生长阶段存在一定的差异, 表现出不同的生境“履历”。根据上述耳石Sr/Ca比值可将大洋河刀鲚划分为3种生境模式。第一种模式, 包括DYH 01、02、03、04、06、07、08、09、10、11和18个体。此类刀鲚个体耳石自核心开始的第一阶段低值区Sr/Ca比值为1.49—2.69, 淡水区域径长为170—670 μm , 淡水系数 F_c 在0.08—0.46。刀鲚个体在淡水区域孵化生长一段时间, 进入第二变化阶段后栖息于半咸水和海水之间, 待繁殖季到来, 溯河洄游至淡水区域; 第二种模式, 包括DYH 12、13、14、15、16和17个体。此类刀鲚第一阶段低值区Sr/Ca比值为1.93—2.67, 淡水区域径长为150—900 μm , 淡水系数 F_c 在0.08—0.52。此类刀鲚个体淡水孵化后, 进入第二变化阶段后, 长期栖息于半咸水和海水中, 直至河口区被捕获; 第三种模式, 包括DYH 05、19和20个体。第一阶段低值区Sr/Ca比值为1.97—2.75, 淡水区域径长为220—340 μm , 淡水系数 F_c 在0.11—0.18。该类刀鲚个体生境履历较为多变, 淡水区孵化生长时间短, 进入第二变化阶段后在半咸水和淡

水区域多次转换, 其中DYH 05和19变化阶段多达9次, 直至被渔获。

2.2 Sr含量的分色图谱比较

Sr含量的分色图谱结果更能直观清晰地显示出大洋河刀鲚个体的生境履历特征。从图 2可知, 大洋河刀鲚20个样本耳石核心区域均为蓝色, 表明大洋河刀鲚为淡水起源。DYH 07、08、12、13、14、15、16和17个体耳石蓝色核心区外仅表现为Sr含量中值和高值的蓝绿色、黄绿色或红色同心环, 而DYH 01、02、03、04、05、06、09、10、11、18、19和20个体耳石蓝色核心外表现为Sr中值区(黄绿色)和低值区(蓝色)交替变化, 这与定量线分析结果(表 2)完全相同。

3 讨论

3.1 大洋河刀鲚的生境履历特征

鱼类耳石伴随鱼类持续生长, 环境元素经过鱼体吸收不断的沉积在耳石中而不会被分解^[13]。基于此特性, 近年来耳石微化学分析技术受到广泛关注, 尤其是Sr和Ca元素比值变化在了解洄游性鱼类生活史中的生境履历和“三场一通道”中常有报道。丛旭日等^[14]、轩中亚等^[15]、姜涛等^[16]和卢明杰等^[17]利用耳石微化学技术证实了东平湖、洞庭湖、鄱阳湖和信江存在洄游型刀鲚; 陈婷婷等^[18, 19]

表 1 大洋河采集刀鲚的样本信息

Tab. 1 Sample information of *Coilia nasus* from Dayang River

样本编号 Sample code	采样时间 Sampling time	采样点位 Sampling site	体长 Body length (mm)	体质量 Body weight (g)	性别 Gender	年龄(冬龄) Age	性成熟度 Sexual maturity
DYH01	2020.7.17	红旗沟	293	109.5	♀	3	VI
DYH02	2020.7.17	红旗沟	305	126.5	♀	3	V
DYH03	2020.7.17	红旗沟	282	79.3	♀	3	VI
DYH04	2020.7.17	红旗沟	310	170.4	♀	3	IV
DYH05	2020.7.17	红旗沟	265	76.9	♀	2	VI
DYH06	2020.7.17	红旗沟	289	144.4	♀	3	V
DYH07	2020.7.17	肖家园	165	15.8	♂	1	II
DYH08	2020.7.17	肖家园	180	21.8	♂	1	II
DYH09	2020.7.17	石山桥	170	15.7	♀	1	II
DYH10	2020.7.17	石山桥	155	15.2	♂	1	II
DYH11	2020.7.17	石山桥	142	11.1	♀	1	II
DYH12	2020.9.13	河口	265	69.4	♂	2	VI
DYH13	2020.9.13	河口	249	64.9	♀	2	VI
DYH14	2020.9.13	河口	222	49.0	♂	2	VI
DYH15	2020.9.13	河口	248	56.0	♂	2	VI
DYH16	2020.9.13	河口	228	36.6	♀	2	VI
DYH17	2020.9.13	河口	256	77.3	♀	2	VI
DYH18	2020.9.13	河口	221	47.9	♂	2	VI
DYH19	2020.9.13	河口	264	76.8	♀	2	VI
DYH20	2020.9.13	河口	231	45.0	♀	2	VI

和李孟孟等^[20]利用耳石微化学技术完成了南京江段刀鲚、靖江段刀鲚、安徽和县江段刀鲚生境履历重建。本研究完成了对大洋河刀鲚耳石微化学分析, 客观真实地反映了大洋河刀鲚生活史中不同的生境履历, 为大洋河刀鲚资源保护提供可靠依据。

本研究中所有刀鲚个体Sr/Ca比值均从低值阶段(≤ 3 蓝色)开始, 说明大洋河刀鲚与长江刀鲚^[19, 20]同为淡水孵化起源。大洋河刀鲚经过一段时间生长发育后进入第二变化阶段, 在半咸水(> 3 且 ≤ 7 绿色)和海水(> 7 黄红色)区域完成越冬和育肥。

表 2 大洋河刀鲚耳石锶钙比微化学变化

Tab. 2 Fluctuation of Sr/Ca microchemistry in otoliths of *Coilia nasus* from Dayang River

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 $\times 10^3$	淡水系数 F_c	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 $\times 10^3$	淡水系数 F_c
DYH01	1	0—300	31	2.69 \pm 0.63	0.16	DYH10	1	0—490	50	2.64 \pm 0.67	0.36
	2	310—1050	75	4.21 \pm 1.09			2	500—1280	79	5.18 \pm 1.41	
	3	1060—1220	17	2.52 \pm 0.68			3	1290—1350	7	2.31 \pm 0.92	
	4	1230—1620	40	3.30 \pm 0.69		DYH11	1	0—250	26	2.08 \pm 0.65	0.18
	5	1630—1820	20	1.96 \pm 1.02			2	260—1190	94	4.71 \pm 1.00	
DYH02	1	0—320	33	2.38 \pm 0.76	0.15	3	1200—1390	20	2.45 \pm 0.84		
	2	330—1040	72	4.33 \pm 1.14		DYH12	1	0—150	16	2.67 \pm 0.47	0.08
	3	1050—1400	36	2.37 \pm 0.66			2	160—1980	183	3.85 \pm 0.83	
	4	1410—1630	23	3.30 \pm 0.53		DYH13	1	0—210	22	1.93 \pm 0.81	0.12
	5	1640—2160	53	1.94 \pm 0.84			2	220—1780	157	4.59 \pm 1.13	
DYH03	1	0—490	50	2.28 \pm 0.74	0.26	DYH14	1	0—900	91	2.13 \pm 0.58	0.52
	2	500—1060	57	3.74 \pm 0.99		2	910—1730	83	4.99 \pm 1.03		
	3	1070—1870	85	2.49 \pm 0.93		DYH15	1	0—180	19	2.64 \pm 1.01	0.09
DYH04	1	0—520	53	2.24 \pm 0.78	0.21		2	190—1950	177	4.32 \pm 1.27	
	2	530—2120	160	4.77 \pm 1.35		DYH16	1	0—800	81	2.11 \pm 0.55	0.41
	3	2130—2440	32	2.14 \pm 0.98			2	810—1930	113	4.53 \pm 0.94	
DYH05	1	0—220	23	2.38 \pm 0.69	0.11	DYH17	1	0—690	70	1.95 \pm 0.65	0.34
	2	230—710	49	5.12 \pm 1.18			2	700—2050	136	4.00 \pm 0.87	
	3	720—840	13	2.87 \pm 0.76		DYH18	1	0—250	26	2.02 \pm 0.56	0.13
	4	850—910	7	3.83 \pm 0.90			2	260—740	49	3.24 \pm 0.73	
	5	920—1140	23	2.58 \pm 0.76			3	750—1380	64	2.40 \pm 0.61	
	6	1150—1500	36	3.06 \pm 0.56			4	1390—1860	48	4.07 \pm 0.75	
	7	1510—1700	20	1.97 \pm 0.61			5	1870—1980	12	2.75 \pm 0.64	
	8	1710—1790	9	3.44 \pm 0.57		DYH19	1	0—260	27	1.97 \pm 0.73	0.14
	9	1800—1930	14	1.45 \pm 0.83			2	270—450	19	4.08 \pm 0.98	
DYH06	1	0—170	18	1.68 \pm 0.91	0.08	3	460—530	8	1.84 \pm 0.58		
	2	180—500	33	3.22 \pm 0.73		4	540—1180	65	4.04 \pm 1.10		
	3	510—620	12	2.01 \pm 0.69		5	1190—1290	11	2.82 \pm 0.71		
	4	630—1830	121	4.22 \pm 1.00		6	1300—1480	19	3.66 \pm 0.69		
	5	1840—2020	19	1.39 \pm 0.69		7	1490—1560	8	2.01 \pm 0.50		
DYH07	1	0—620	63	1.49 \pm 0.61	0.46	8	1570—1800	24	3.05 \pm 0.50		
	2	630—1360	74	5.15 \pm 1.21		9	1810	1	2.21		
DYH08	1	0—670	68	1.53 \pm 0.61	0.46	DYH20	1	0—340	35	2.75 \pm 0.53	0.18
	2	680—1460	79	3.92 \pm 0.82			2	350—1100	76	4.24 \pm 1.22	
DYH09	1	0—640	65	2.17 \pm 0.68	0.44		3	1110—1300	20	2.83 \pm 0.79	
	2	650—1410	77	4.63 \pm 0.89			4	1310—1580	28	3.26 \pm 0.73	
	3	1420—1450	4	2.15 \pm 0.50			5	1590—1720	14	2.15 \pm 0.62	
					6		1730—1860	14	4.59 \pm 0.86		

大洋河刀鲚越冬后的刀鲚个体间表现出不同的生境履历, DYH 01、02、03、04、06、07、08、09、10、11和18越冬后在4—8月繁殖季节溯河洄游, Sr/Ca比值降低至 <3 , 面分析过渡至蓝色(除DYH 07和08外; 图2)。该类刀鲚生境履历较为规律, 完成了淡水孵化-半咸水(咸水)越冬-淡水繁殖的过程, 与Yang等^[10]描述的洄游型刀鲚一致。DYH 07和08个体较为特殊, 其捕获位置为淡水区域, 但其耳石边缘并未出现Sr/Ca比值 <3 和蓝色同心环, 这是因为Sr在耳石沉积富集过程存在一定的“时滞效应”^[21], 表明DYH 07和08个体进入淡水时间较短, 耳石尚未响应生境的变化。相同的情况在长江刀鲚^[22]和黄河刀鲚^[13]上也有报道。DYH 14个体进入第二变化阶段后, 定量线分析和面分析均显示该类刀鲚越冬育肥、生长直至性成熟一直栖息于Sr/Ca较高的中值河口区, 而未进入淡水区域。需要注意的是, 面分布显示DYH 12、13、15、16和17个体在完成早期淡水生境履历后, 上述个体出现了

多次淡蓝色的环带, 对应线分析也在3左右多次波动。与之相比DYH 09和10等在上溯前显示出明显的蓝色和低锶钙比(<3)特征。上述情况反应相较于后者选择离河口较远的近岸海域栖息, 前者可能选择了易受冲淡水和潮汐影响的河口水域栖息。相似情况在钱塘江口刀鲚群体中也有发现^[10, 23]。上述多样性的情况也印证了刀鲚在海中不集群生活的特性^[24]。值得注意的是, 本研究中多数上溯亲鱼耳石边缘锶钙比值已经下降, 且多数个体已降至3以下, 面分析也显示出多数个体边缘已有蓝色印迹, 上述情况与亲鱼在淡水水域捕获的情况相一致。另外, 大洋河刀鲚雌雄达到完全性成熟体长分别为245和231 mm^[5], 结合表1中年龄和性成熟度, 这些个体虽为淡水孵化起源, 但达到完全性成熟后未发生溯河洄游产卵现象。此类刀鲚生活史的改变, 一种可能是因为短距离溯河洄游中淡水区停留时间很短, 产卵后迅速降河至河口区, 而耳石中元素富集变化不显著; 亦或是这些个体不进入淡水区

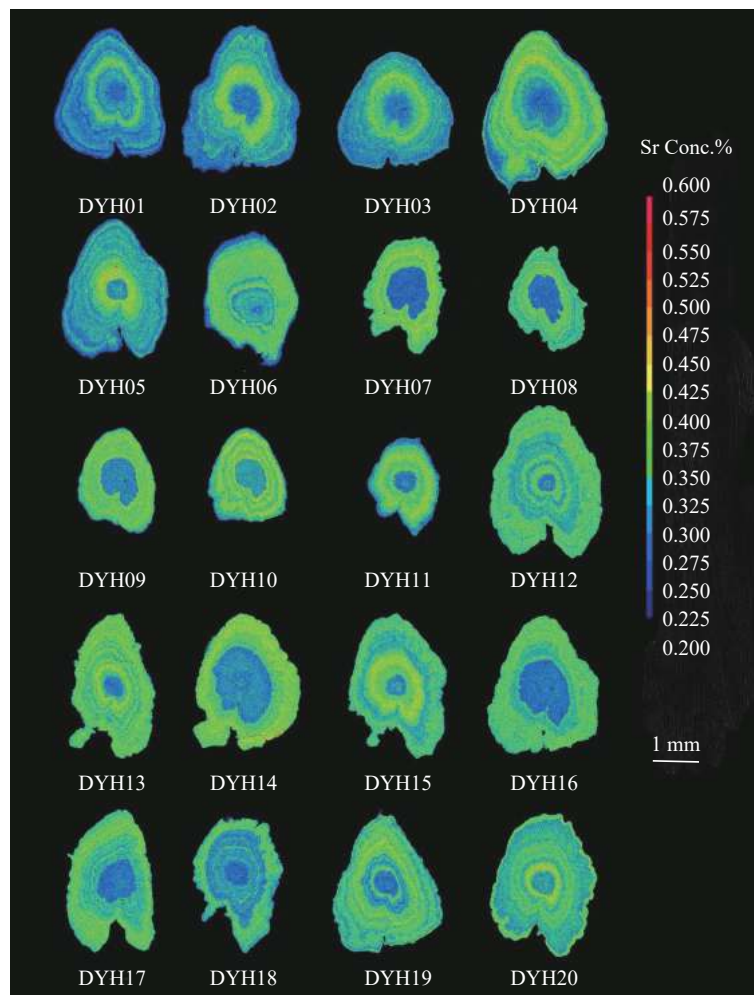


图2 大洋河刀鲚耳石Sr含量面分析

Fig. 2 Two-dimensional imaging of Sr concentration in otoliths of *C. nasus* from the Dayang River

产卵, 其产卵场在非淡水区(如河口)^[20]。DYH 05、19和20刀鲚个体生境履历较为复杂多变, 耳石蓝色核心区外缘表现为中值区(黄绿色)和低值区(蓝色)的多次交替变化(表 2和图 2)。大洋河刀鲚洄游水域属于感潮河段, 受每月大潮期及雨季强降水的影响较大, 大洋河水位变化明显, 刀鲚会随着潮流溯河洄游或降河入海, 这可能是该类刀鲚耳石表现淡水和半咸水交替变化的主要原因。另外, 黑褐新康虾(*Neomysis awatschensis*)是大洋河下游常见的浮游动物, 也是大洋河刀鲚重要的天然饵料^[1], 每年4月开始栖息在肖家园下游(淡水)至河口区(半咸水)河段, 这正值大洋河刀鲚越冬后生长和性腺发育的重要时点。DYH 05、19和20个体往返于两处河段的觅食行为, 不仅为鱼体提供必要的能量补充, 也表现出该类刀鲚对不同盐度栖息地的灵活利用。

淡水系数 F_c 可有效区分洄游性鱼类早期生活史阶段对淡水生境的依存程度^[11]。本研究提出的3种生活史模式中刀鲚个体虽均为淡水起源, 但其个体间淡水依存程度仍然存在一定的差异。根据表 2中 F_c 值的高低, 可将大洋河刀鲚早期淡水生境分为短暂停留型和适度停留型。短暂停留型刀鲚 F_c 值在0.08—0.26(共13尾), 其经过短暂发育后随潮流降河至河口区索饵生长, 该类刀鲚对淡水依存度不高, 幼体对盐度变化具有较强的适应性; 适度停留型刀鲚 F_c 值在0.36—0.52(共7尾), 该类刀鲚淡水依存度较高, 待生长发育到一定程度后降河至河口半咸水区进行越冬和育肥。通过对上述两种类型刀鲚个体 F_c 的研究, 反映了大洋河刀鲚幼鱼分批降河入海的特点, 同时也反映出幼鱼在短距离洄游通道中能够灵活选择不同索饵场的特性。

3.2 大洋河刀鲚的生活史模式

根据大洋河刀鲚洄游通道中产卵场、索饵场和越冬场设置了4处采样点。通过对4个样点刀鲚的线、面分析发现样点间刀鲚和同一样点刀鲚存在一定的共性和差异性。红旗沟、石山桥和肖家园所有个体以及河口部分个体(DYH 18、19和20)具有洄游特征, 均表现淡水-半咸水(咸水)-淡水的生境履历, 而河口捕获的DYH 12、13、14、15、16和17刀鲚个体与上述刀鲚个体不同, 线、面分析清晰直观地显示了该类刀鲚进入第二阶段后无淡水区活动经历, 仅发生了淡水-半咸水(咸水)的生境履历过程。另外, 从表 1和表 2分析得出, DYH 7、8、9、10和11刀鲚个体虽为1龄, 性成熟度仅为II期, 但仍会在繁殖季同性成熟刀鲚一同溯河洄游, 证明大洋河刀鲚上溯洄游与个体年龄和性成熟度无明显关联, 这与管卫兵等^[25]、卢明杰等^[17]提出的

长江刀鲚在1龄和性腺发育 I—III期便可溯河洄游结论一致。本研究通过线、面分析与年龄、性成熟度等生物学特征相结合, 更明确了不同点位刀鲚个体的生境履历特点, 也充分体现了耳石微化学技术对大洋河刀鲚生境履历的客观性和准确性。

4 结论

刀鲚作为辽宁地区主要的经济鱼类, 近年来资源量急剧衰退, 资源保护工作已迫在眉睫^[1]。本研究首次通过多点采样, 较为详细地完成了对大洋河下游荒地拦河坝至河口4处点位刀鲚耳石微化学较为系统地分析和比较, 客观完整地反映了大洋河刀鲚生活史中不同的生境履历, 并依据洄游特性和淡水系数(F_c)分别划分了不同的生态类型。由此证明, 大洋河刀鲚同其他水域洄游性刀鲚一样, 利用耳石微化学技术反演其生境履历是准确和可靠的。但为更进一步精准地判断大洋河刀鲚洄游履历, 在今后的工作中将对大洋河下游区域背景进行详细调查研究。综上这些有针对性的结果可为大洋河刀鲚“三场一通道”的定位和保护及资源的可持续利用和合理管理提供重要而急需的理论基础。

参考文献:

- [1] Xie Y H. Freshwater Fishes in Northeast Region of China [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2007: 27-29. [解玉浩. 东北地区淡水鱼类 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007: 27-29.]
- [2] Huo T B, Zheng W J, Li G, et al. Individual fecundity of tapertail anchovy *Coilia nasus* from Shuangtaizi Estuary [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2016, 29(6): 31-36. [霍堂斌, 郑文军, 李耕, 等. 双台子河口刀鲚个体生殖力 [J]. 水产学杂志, 2016, 29(6): 31-36.]
- [3] Zhang S S. The genetic diversity study of *Coilia nasus* of Liaoning Province in China [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016: 12-15. [张赛赛. 中国辽宁地区刀鲚遗传多样性研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2016: 12-15.]
- [4] Shi W L. Fish fauna characteristics of Dayang River and its adjacent rivers [J]. *Fisheries Science*, 1985, 4(4): 53-57. [史为良. 大洋河及其毗邻河流的鱼类区系特征 [J]. 水产科学, 1985, 4(4): 53-57.]
- [5] Zhang J, Yang P M, Hu Z Y, et al. Reproductive biology of *Coilia nasus* in Dayang River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(6): 91-96. [张健, 杨培民, 胡宗云, 等. 大洋河刀鲚繁殖生物学特性 [J]. 淡水渔业, 2021, 51(6): 91-96.]
- [6] Wei H X, Yang P M, Jiang X H, et al. Study on community characteristics of plankton in *Coilia nasus* migratory section of dayang river [J]. *Journal of Aquaculture*,

- 2021, **42**(1): 29-36. [魏洪祥, 杨培民, 蒋湘辉, 等. 大洋河刀鲚洄游河段浮游生物群落特征研究 [J]. *水产养殖*, 2021, **42**(1): 29-36.]
- [7] Xu G C, Nie Z J, Zhang C X, *et al.* Histological studies on testis development of *Coilia nasus* under artificial farming conditions [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2012, **31**(2): 247-252. [徐钢春, 聂志娟, 张呈祥, 等. 刀鲚精巢发育的组织学研究 [J]. *华中农业大学学报*, 2012, **31**(2): 247-252.]
- [8] Xu G C, Wan J J, Gu R B, *et al.* Morphological and histological studies on ovary development of *Coilia nasus* under artificial farming conditions [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, **18**(3): 537-546. [徐钢春, 万金娟, 顾若波, 等. 池塘养殖刀鲚卵巢发育的形态及组织学研究 [J]. *中国水产科学*, 2011, **18**(3): 537-546.]
- [9] Yang J, Arai T, Liu H B, *et al.* Reconstructing habitat use of *Cailia 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.
- [10] 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.
- [11] Liu H B, Jiang T, Xuan Z Y, *et al.* Otolith Microchemical Analysis of Tapertail Anchovy *Coilia nasus* from Ariake Sea and Its Adjacent Tributaries in Japan [J]. *Fisheries Science*, 2020, **39**(4): 500-508. [刘洪波, 姜涛, 轩中亚, 等. 日本有明海及周边水域刀鲚耳石微化学研究 [J]. *水产科学*, 2020, **39**(4): 500-508.]
- [12] Cong X R, Li X Q, Dong G C, *et al.* Preliminary investigations on *Coilia nasus* from the Kenli section of the Huanghe River based on otolith microchemistry [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, **43**(1): 31-37. [丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 等. 基于耳石微化学的黄河垦利段刀鲚生活史初步研究 [J]. *渔业科学进展*, 2022, **43**(1): 31-37.]
- [13] Wang J L, Liu W, Wang C, *et al.* Microchemistry Analysis of otoliths of *Coregonus ussuriensis* from the Heilong River basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(4): 825-831. [王继隆, 刘伟, 王臣, 等. 基于耳石微化学的乌苏里白鲑生境履历分析 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(4): 825-831.]
- [14] Cong X R, Li X Q, Dong G C, *et al.* Anadromous tapertail anchovy *Coilia nasus* is still found in Dongping Lake [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2019, **32**(5): 55-59. [丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 等. 东平湖仍有洄游型刀鲚分布的实证研究 [J]. *水产学杂志*, 2019, **32**(5): 55-59.]
- [15] 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.]
- [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 [J]. *水产学报*, 2013, **37**(2): 239-244.]
- [17] 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.]
- [18] Chen T T, Jiang T, Li M M, *et al.* Inversion of habitat history for the long-jaw ecotype *Coilia nasus* collected from Nanjing section of the Yangtze River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, **40**(6): 882-892. [陈婷婷, 姜涛, 李孟孟, 等. 长江南京江段长颌鲚生境履历的反演 [J]. *水产学报*, 2016, **40**(6): 882-892.]
- [19] 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 [J]. *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 [J]. *湖泊科学*, 2016, **28**(1): 149-155.]
- [20] Li M M, Jiang T, Khumbanyiwa D D, *et al.* Reconstructing habitat history of *Coilia nasus* from the Hexian section of the Yangtze River in Anhui Province by otolith microchemistry [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(5): 1054-1061. [李孟孟, 姜涛, Khumbanyiwa D D, 等. 基于耳石微化学的长江安徽和县江段刀鲚生境履历重建 [J]. *水生生物学报*, 2017, **41**(5): 1054-1061.]
- [21] Wang C, Liu W, Zhan P R, *et al.* Exogenous Sr^{2+} sedimentation on otolith of chum salmon embryos [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, **26**(10): 3189-3194. [王臣, 刘伟, 战培荣, 等. 外源 Sr^{2+} 在大麻哈鱼胚胎耳石上的沉积 [J]. *应用生态学报*, 2015, **26**(10): 3189-3194.]
- [22] 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 [J]. *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 [J]. *生态学报*, 2017, **37**(8): 2788-2795.]
- [23] 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 Ma-*

rine Science, 2018(18): 122-128.

- [24] Yuan C B, Qin A L. Ecological habitats and distribution of *Coilia* along the Chinese coast and its changes of output [J]. *Marine Sciences*, 1984(5): 35-37. [袁传宓, 秦安舫. 我国近海鲚鱼生态习性及其产量变动状况 [J]. 海洋科学, 1984(5): 35-37.]

- [25] 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.]

THE HABITAT HISTORY OF *COILIA NASUS* IN DAYANG RIVER BASED ON OTOLITH MICROCHEMISTRY

ZHANG Jian¹, YANG Pei-Min¹, JIANG Tao², HU Zong-Yun¹, ZHU Chun-Yue¹, ZHANG Bo-Xu¹,
LIU Zhong-Hang¹, YANG Jian^{2,3} and HU Yu-Hai²

(1. Liaoning Institute of Freshwater Fisheries Liaoning Key Laboratory of Aquatic Animal Diseases Control, Liaoyang 111000, China; 2. Laboratory of Fishery Microchemistry, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: The main economic fish species in Liaoning Province of China, the resource of *Coilia nasus* has sharply declined in recent years, and currently only small-scale fishing flooding can be seen in the Dayang River. In order to reconstruct *C. nasus* habitat history, an electron probe microanalyzer (EPMA) was used to analyze the Sr and Ca microchemistry patterns in otoliths of 20 *C. nasus* collected from the lower reaches of Dayang River in July and September 2020. Results of line transect analysis showed that the samples of *C. nasus* were of freshwater origin, and the Sr/Ca ratio of freshwater habitats were (1.49±0.61—2.75±0.53). The value of freshwater coefficient (Fc) in the *C. nasus* is between 0.08 and 0.52, and the diameter of the freshwater area is between 150 and 900 μm. After entering the second change stage, the habitat history fluctuates significantly. The change of Sr/Ca ratio divided *C. nasus* into three types: (1) *C. nasus* overwintering in medium and high Sr/Ca ratio areas (brackish water or seawater), and migrates upstream to low Sr/Ca ratio areas (freshwater) during breeding season; (2) *C. nasus* live in medium and high Sr/Ca ratio areas for a long time without anadromous migration; (3) *C. nasus* were transformed for many times in the middle high Sr/Ca ratio areas and low Sr/Ca ratio areas, and DYH05 and 19 individuals completed the transformation for up to 9 times. The Sr content analysis result is also the same as the Sr/Ca ratio above. These three types intuitively reflect the upstream migration habits and habitat history characteristics of the *C. nasus* population in natural water bodies with different salinity levels, in order to provide a theoretical basis for scientifically and accurately grasping the living habits of *C. nasus* from the Dayang River, formulating strategies for protecting resources and habitats restoration of *C. nasus* from the Dayang River.

Key words: Dayang River; Otolith; Electron probe microanalyzer; Habitat history; *Coilia nasus*