



长江下游苏通江段刀鲚产卵场的初步研究

薛向平¹, 彭云鑫¹, 方弟安^{1,2*}, 徐东坡^{1,2}, 王小豪^{2,3}, 任可成¹

(1. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部长江下游

渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081;

3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

摘要: 为揭示苏通江段刀鲚早期资源的时空分布情况, 本实验于2018—2020年每年5~8月对该江段累计进行84 d的早期资源调查。调查期间共采集到刀鲚受精卵646枚, 其中2019年采集到328枚, 占总数的50.77%; 其中在4月没有采集到刀鲚受精卵, 5和6月采集到刀鲚受精卵的平均丰度均显著高于其他采集月份, 各年采集到刀鲚受精卵峰值分别出现在5月15日(4.96枚/100 m³), 6月16日(26.48枚/100 m³), 5月24日(26.11枚/100 m³)。Pearson相关性分析显示, 各采样断面空间分布存在显著性差异, 平均丰度分布江左岸(1.42枚/100 m³)>江右岸(0.87枚/100 m³)>江心(0.69枚/100 m³); 苏通江段下游S1(崇明岛绿华镇水域)和S2(海门市新通海沙水域)、中游S5(南通港闸区水域)和上游S8(如皋长青沙典园水域)采集到刀鲚受精卵的平均丰度和频次均显著高于其他采集断面; 环境因子分析显示, 刀鲚受精卵丰度与温度呈极显著负相关, 在水温21.1~25.3℃、溶氧6.80~7.41 mg/L范围内采集到刀鲚受精卵的丰度较高。结果表明, 5和6月为长江苏通江段刀鲚产卵高峰期, 在水温21.1~25.3℃、溶氧6.80~7.41 mg/L范围内适宜刀鲚产卵, 推测崇明岛绿华镇、海门市新通海沙、南通港闸区和如皋长青沙典园附近水域为刀鲚的潜在产卵场。本研究调查数据为开展刀鲚资源修复提供基础数据和参考。

关键词: 刀鲚; 产卵场; 苏通江段; 鱼类早期资源; 时空分布

中图分类号: S 931

文献标志码: A

长江口是我国最大的河口区, 根据动力条件和河槽演变的差异, 河口区可分为三个区段: 近河口段、河口段以及口外海滨段^[1-2]。长江下游江苏南通市如皋至海门江段(以下简称苏通江段)地处河口段, 该江段跨度大、覆盖水域广阔, 沿江岸线长度居江苏第二, 多沙洲、浅滩分布, 是连接长江与东海的关键枢纽, 也是刀鲚(*Coilia nasus*)的必经洄游通道^[3-4]。由于长江径流携带了大量的有机物汇入东海, 使得河口段及附近水域的生物

饵料丰富, 渔业生产力较高, 盛产刀鲚, 历年来对该江段洄游鱼类生物学的研究一直备受众多水产学者关注^[5-9]。

刀鲚隶属鲱形目(Clupeiformes)鲱科(Engraulidae)鲱属(*Coilia*), 有淡水定居和洄游两种生态类型, 作为一种溯河洄游性鱼类, 刀鲚在长江、钱塘江、淮河和其他的通海河流中分布广泛, 其中以长江流域产量最为集中^[10-12]。刀鲚属于一次成熟连续产卵鱼类, 每逢繁殖季节, 性成熟个体集

收稿日期: 2020-11-23 修回日期: 2021-02-03

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901205); 农业农村部物种资源保护项目(213013500804)

第一作者: 薛向平(照片), 从事渔业资源调查与评估, E-mail: 1952731116@qq.com

通信作者: 方弟安, 从事渔业资源评估与修复方面研究, E-mail: fangda@ffrc.cn



群沿江进行生殖洄游寻找适宜水域产卵,其卵呈球形、无黏性、卵内具油滴,浮于水体表面^[13]。当精子通过卵膜孔被“摄入”卵内形成受精卵,就开始了早期胚胎的发育过程,朱栋良^[14]通过对长江刀鲚自然繁殖的胚胎观测发现,卵子受精后迅速发育,在水温 25~27 °C 的条件下,卵裂过程大约持续 2 h 后进入囊胚期,从受精到出膜大约历时约 32 h,发育时间因水温不同有一定差异^[15-16]。

历史上有关长江刀鲚产卵场的报道多集中在通江湖泊、河流等长江附属水域,如江西省的鄱阳湖东湖、程家池、草湾湖^[17-18];安徽省的菜子湖、巢湖和皖河沿江河流等^[14,19];江苏省南通、常熟浒浦港、上海崇明岛南岸等江面刀鲚亲鱼集群活动明显^[19-20],但关于该江段是否存在刀鲚产卵场却鲜有报道。据有关调查显示,刀鲚生殖洄游最远可达洞庭湖且数量众多,曾是长江下游沿江各省市主要渔获物,但近年来随着捕捞强度增大、水体污染和沿江水利工程建设等综合影响,刀鲚种群资源不断衰退,已不能形成明显的汛期;鉴于此,刀鲚于 2007 年被列入首批“国家重点保护经济水生动植物资源名录”,同时在长江下游安徽安庆、南通如皋、上海等多个江段也相继建立刀鲚种质资源保护区^[7,21-22]。

基于长江生态大保护,实施“全江段十年禁渔”的背景下,本课题组在刀鲚种质资源保护区的重点水域(苏通江段)于 2018—2020 年每年 5~8 月开展刀鲚早期资源调查,通过对采集刀鲚受精卵的地理位置和发育时期综合分析,推测刀鲚产卵场的位置,同时分析刀鲚受精卵的时空变化规律及其与环境因子的相关性,以期对刀鲚资源修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

2018—2020 每年的 5~8 月,在鱼类繁殖高峰期对长江下游苏通江段进行刀鲚早期资源调查,其中,2018—2019 年的 4 月也进行了采集,但均未采集到刀鲚受精卵,所以仅在讨论中进行了分析论述。采样点的布设参考曹文宣等^[23]编著的《长江鱼类早期资源》一书中提出的调查应全面覆盖研究水域鱼类繁殖和栖息场为基本要求,共设置 13 个采样断面,根据调查断面的江面宽度,每个采集断面均匀设置 1~5 个采集点位(图 1)。

1.2 调查方法和样品的保存及鉴定

样品采集 调查过程中所使用的主动网具为大型浮游生物网,网目的规格为 0.5 mm,网长约 2 m,网口面积为 0.50 m²,采样时间选择在一天中平潮期,对各断面逐点位进行采集,由于调查水域跨度大,因此样品采集分 2 组同时进行,由采样江段的上游(S7~S13)和下游(S1~S3)向中游(S4~S6)会合,每个月采样时间持续约 7 d,所有断面均持续 3 d 采集,为避免因采集过程造成收集数据随机性问题的影响,每次采集连续 3 次重复采样,取平均丰度作为 1 个有效数据。网口使用生物网口流量计(型号:438115, HYDRO-BIOS 公司,德国)记录流量,并对各点位透明度、溶氧、温度等(HACH 系列)实时测量记录。采集过程使用机动船提供适当动力使拖网上边框刚好没入水中,对表层水体(≤1 m)进行拖曳,每次持续拖行 10 min。

样品的鉴定与保存 对所采集的样品进行现场分拣,将分拣完成的鱼卵在显微镜(Olympus SZX 16)下针对发育时期进行拍照记录并计数,将拍照完成后的鱼卵按不同点位与照片相匹配编号,使用无水乙醇保存,统一进行分子测序。鉴定方法主要基于 DNA 条形码线粒体细胞色素 C 氧化酶亚基 I (cytochrome C oxidase subunit I, COI) 序列,利用 COI 序列引物(COI-F: 5'-CACAAA GACATTGGCACCCT-3'; COI-R: 5'-AGTCAG CTGAACACTTTTAC-3'),经常规 PCR 扩增后进行测序,所测序列在 NCBI 数据库进行比对确认鱼卵所属种类。

1.3 数据处理与分析

刀鲚受精卵为浮性卵,在水流作用下与漂流性卵类似,均可通过锥形拖网收集,因此,本次调查依据《河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范》进行刀鲚受精卵采集^[24],对采集到的受精卵的丰度计算方法参考曹文宣等^[23]的仔稚鱼丰度计算方法,依据所采集刀鲚受精卵的数量、采集时间、流量计转数差、圆锥状浮游生物网网口面积,按公式计算:

$$Q_i = (C_i \times S \times 0.3) / t$$

$$D_i = N_i / (Q_i \times t)$$

式中, Q_i 为有效采集中第 i 次采集所用网具网口的过水流量(m³/s), C_i 为第 i 次有效采集流量计的转数差(r), S 为采集所用网具的网口面积(m²),

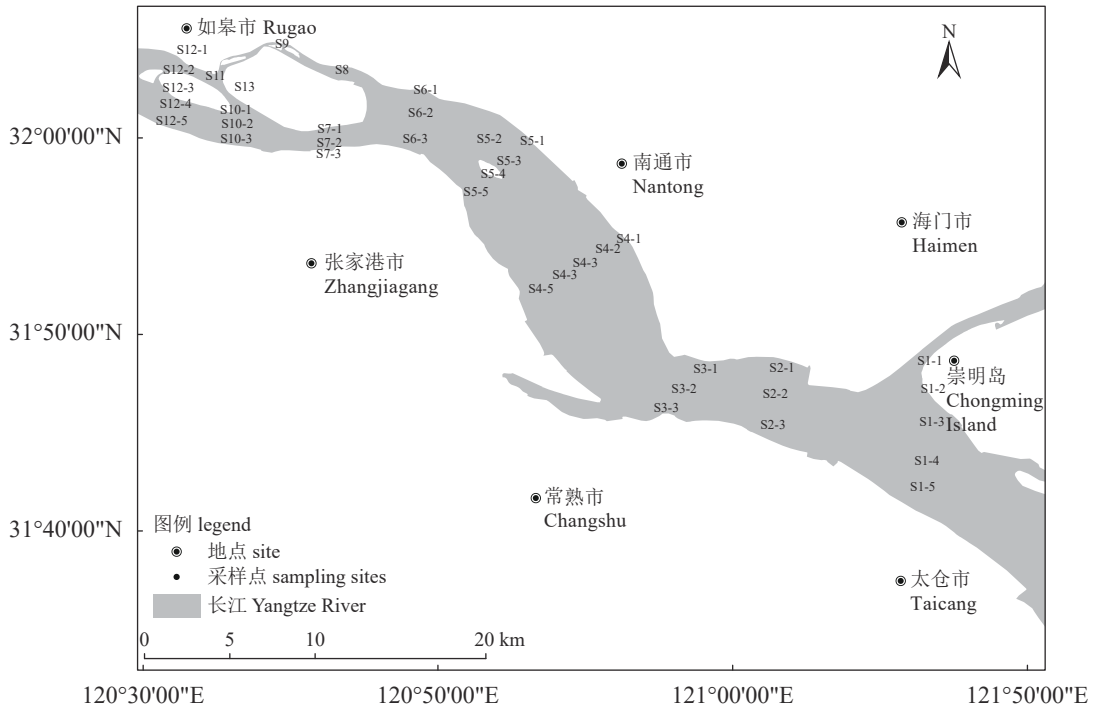


图 1 长江苏通江段早期资源调查点位设置

苏通江段下游: S1 (崇明岛绿华镇)、S2 (海门市新通海沙) 和 S3 (徐六泾); 苏通江段中游: S4 (南通狼山)、S5 (南通港闸区) 和 S6 (南通东三圩); 苏通江段上游: S7 (张家港北长圩)、S8 (如皋长青沙典园)、S9 (如皋南九组)、S10 (张家港六圩)、S11 (如皋又来沙)、S12 (张家港沙泥圩) 和 S13 (如皋长青沙临江村)

Fig. 1 Point setting of early resources survey in Sutong section of the Yangtze River

Downstream of Sutong section: S1 (Lvhu town of Chongming island), S2 (Xintong Haisha of Haimen), S3 (Xuliujing of Changshu); S4 (Langshan of Nantong); midstream of Sutong section: S5 (Gangzha district of Nantong); S6 (Dongsanyu of Nantong); upstream of Sutong section: S7 (Beichangyu of Zhangjiagang), S8 (Dianyuan of Changqingsha in Rugao), S9 (Zhanan Jiuzu of Rugao), S10 (Liuyu of Zhangjiagang), S11 (Youlaisha of Rugao), S12 (Shaniyu of Zhangjiagang), S13 (Linjiang village of Changqingsha in Rugao)

0.3 为流量计转子螺距 (m/r), t 为每次有效采集所用时间 (s), N_i 为第 i 次采集刀鲚受精卵的数量 (枚), D_i 为第 i 次采集刀鲚受精卵的丰度 (枚/m³)。

运用 ArcGis 10.2 作反距离权重插值分析, 使用 Origin 2018 软件和 Excel 制作条形图和折线图, 采用 SPSS 23.0 作 Pearson 单因素相关性分析。

1.4 刀鲚产卵场位置绘制

平潮期的确定 苏通江段受到潮汐作用强烈、流态复杂, 水流方向一天中多次变化, 为减小潮汐对产卵推算位置的影响, 通过中国港口网和海事服务网查阅采集日当天潮汐的动态变化 (涨潮期、平潮期、落潮期), 现场观测及结合渔民提供的信息确定一天中潮水和长江径流相稳定的时间段 (平潮期), 进行样品采集。

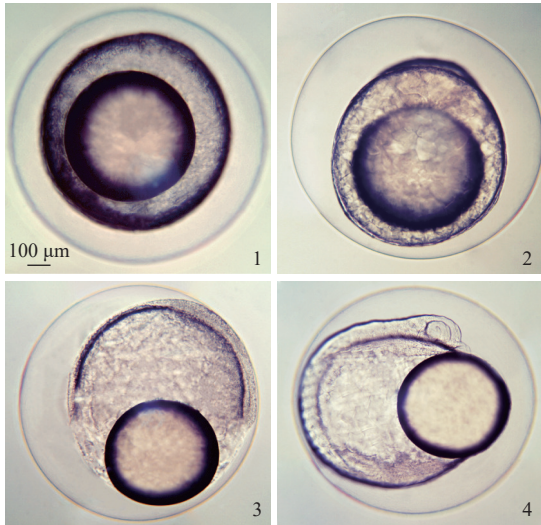
刀鲚产卵场分布图的绘制 样品采集选择在一天中平潮期进行, 筛选发育时期受精卵至囊胚早期的刀鲚受精卵 (处于此发育阶段的刀鲚受精卵距产卵时间较短), 依据 2018—2019 年对不同

点位采集到刀鲚受精卵的丰度和频次等数据, 初步推测产卵场位置所在断面, 并于 2020 年在刀鲚产卵高峰期推测产卵场所在断面扩大采样范围, 从而获得预测产卵场区域刀鲚受精卵的丰度变化梯度, 然后结合采集点位经纬度使用 ArcGis 10.2 作反距离权重插值分析, 依据不同区域的丰度变化, 结合产卵高峰期采样时的最大流速和刀鲚受精卵发育时间推算刀鲚潜在的产卵场范围。

2 结果

2.1 刀鲚受精卵的数量与鉴定

参考施永海等^[15] 和徐跑等^[16] 研究判定采集到刀鲚受精卵的发育时期, 对采集到的鱼卵通过镜检比对剔除死卵和受精初期发育特征不明显的刀鲚卵, 并使用显微镜 (Olympus SZX 16) 拍照记录 (图版), 初步筛选出受精卵-囊胚早期鱼类受精卵共计 882 枚, 统一编号进行分子测序。结果显示, 刀鲚受精卵 646 枚, 占测序有效数据的 73.24%,



图版 刀鲚受精卵的发育时期

1. 受精卵; 2. 囊胚期; 3. 原肠胚期; 4. 肌节出现期

Plate The developmental stage of *C. nasus* fertilized eggs

1. fertilized egg; 2. blastula stage; 3. gastrula stage; 4. appearance of myomere

其他种类鱼卵占 26.76%。2018—2020 年采集刀鲚受精卵分别为 97 枚 (15.02%)、328 枚 (50.77%) 和 221 枚 (34.21%)。

2.2 刀鲚受精卵时间分布特征

2018—2020 年调查数据分析显示, 5 和 6 月采集到刀鲚受精卵的丰度高于其他采集月份, 2019 年 6 月各断面的平均丰度最高为 4.59 枚/100 m³, 2018 年 8 月各断面均未采集到刀鲚受精卵 (图 2)。苏通江段下游 S1 和 S2、中游 S5 和上游 S8 各月份刀鲚受精卵丰度高于其他采样断面, S8 在 5 和 6 月断面平均丰度相当, 分别为 10.46 和 10.45 枚/100 m³; 断面平均丰度与年份的关系显示, 各调查年的 S1、S2、S5 和 S8 刀鲚受精卵丰度占比均明显高于其他采集断面, 其中 2020 年 S8 丰度最高为 13.82 枚/100 m³, 与其他断面存在极显著差异 (图 3, $P < 0.01$)。

2.3 刀鲚受精卵空间分布

研究结果显示, 苏通江段下游 S1(S1-1、S1-2) 和 S2(S2-1、S2-2); 中游 S4(S4-2)、S5(S5-1、S5-2) 和 S6(S6-1); 上游 S8 出现频率达 50% 及以上, 其中 S8 出现频次最高为 8 次 (66.67%), 刀鲚受精卵出现频率呈现距入海口近有增大趋势 (图 4)。刀鲚受精卵平均丰度的分布总体呈现左岸 > 右岸 > 江心, 江左岸的平均丰度变幅为 0.05~2.86 枚/100

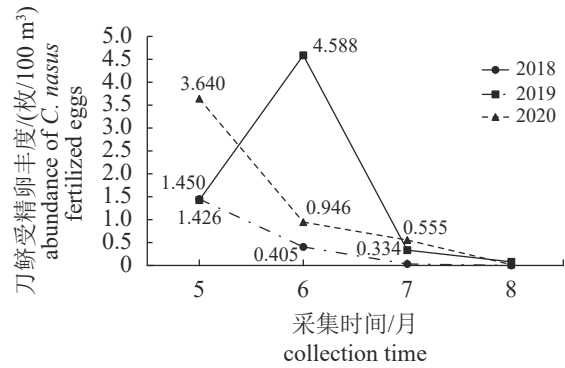


图 2 2018—2020 年 5~8 月各断面刀鲚受精卵平均丰度变化

Fig. 2 Variation of *C. nasus* fertilized eggs average abundance of each section from May to August in 2018-2020

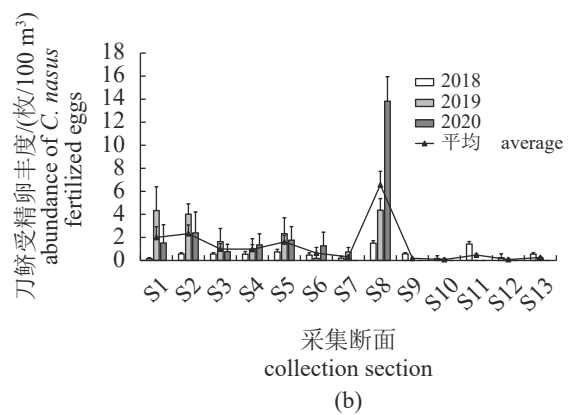
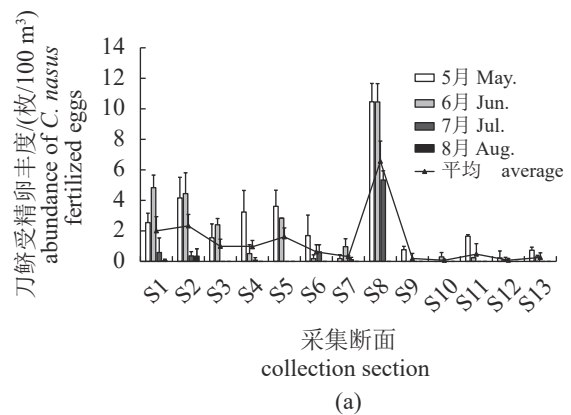


图 3 采样期间各断面刀鲚受精卵平均丰度变化

(a) 月平均丰度变化, (b) 年平均丰度变化

Fig. 3 Variation of *C. nasus* fertilized eggs average abundance of different sections in the sampling period

(a) variation of monthly eggs average abundance, (b) variation of eggs average abundance

m³, 江右岸变幅为 0~2.85 枚/100 m³, 江心变幅为 0~2.68 枚/100 m³ (图 5)。Person 相关性分析显示, 各采样断面空间分布存在显著性差异, 江右岸刀

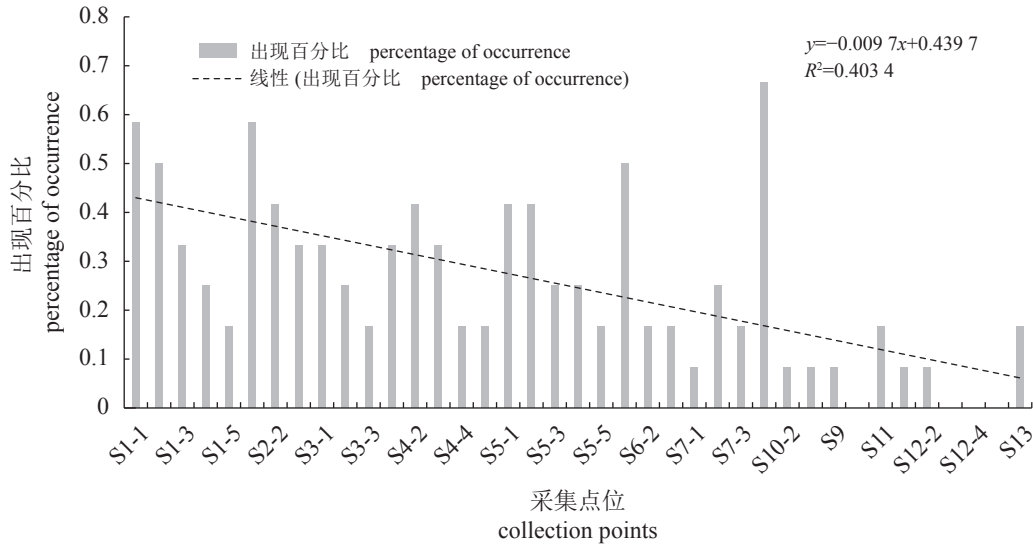


图 4 2018—2020 年各点位采集到刀鲚受精卵的频次

Fig. 4 Frequency of *C. nasus* fertilized eggs collected at each point from 2018 to 2020

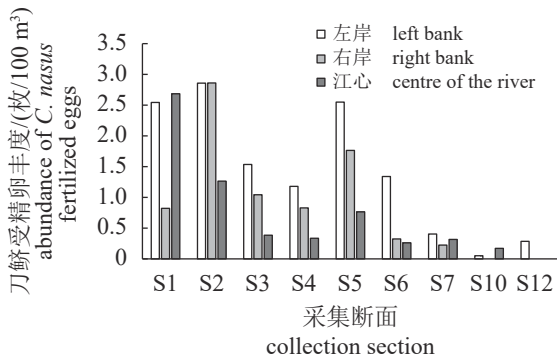


图 5 各断面左、中和右岸刀鲚受精卵丰度变化

Fig. 5 Abundance variation of *C. nasus* fertilized eggs on the left, middle and right banks

鲚受精卵丰度与江左岸差异极显著 ($P < 0.01$), 与江心差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 长江苏通江段刀鲚潜在产卵场推测

基于 2018—2019 年调查数据确定采集到刀鲚卵的高丰度区域, 分析显示, 2018—2019 年各年采集到的刀鲚卵的高丰度区域无明显变化, 并于 2020 年在所对应的各个高丰度区域附近增设断面扩大调查范围, 以进一步了解刀鲚卵的分布状况, 调查结果发现, 高丰度区域同样在 2018—2019 年确定的高丰度水域附近, 其中 S1(S1-3)、S2(S2-1)、S5(S5-3) 和 S8 采集到刀鲚受精卵的丰度较高, 丰度依次为 16.84、13.67、15.20 和 16.64 枚/100 m³, 其他增加断面刀鲚受精卵的丰度都随着距高丰度区域远而降低。通过刀鲚受精卵的丰度和各点位的经纬度数据, 采用 ArcGis10.2 中反

距离加权插值分析做出刀鲚受精卵丰度分布 (图 6)。

鉴于苏通江段的特殊性, 整个采样时间均在平潮期进行, 这一阶段的水流在长江径流和潮汐的相互作用下, 水流逐渐放缓直至反向流动, 转变过程在一定程度上可以减小水流的单一流向对产卵位置产生的偏差。但期间在复杂水流或者风浪的影响下, 产卵场预测位置仍会出现一定偏差, 因此, 本研究对存在刀鲚产卵场的潜在水域作了区域性预测, 依据在平潮期刀鲚受精卵高丰度位置, 产卵高峰期测得的最大流速 (0.4 m/s) 和平均水温 (24.05 °C) 下发育至囊胚早期所需时间约为 2 h^[14] 计算漂流距离, 然后以刀鲚受精卵高丰度区域为中心, 漂流距离为半径 (2.88 km) 的圈内水域为刀鲚的潜在产卵场。

2.5 刀鲚受精卵丰度与环境因子的相关性

刀鲚与水环境因子关系 将 2018—2020 年苏通江段几个重要环境因子 [酸碱度 (pH)、温度 (T)、溶解氧 (DO)、浊度 (TUB)、透明度 (SD) 及深度 (H)] 指标进行统计 (表 1), 温度从 5 月至 8 月持续上升, 最高达到 32.4 °C; 浊度随月份呈波动变化, 其中在 6~7 月幅动较大, 可能与长江水流量增大有关。2018—2020 年不同月份刀鲚受精卵丰度随温度变化趋势显示 s, 高丰度集中分布在 5、6 月, 此时江水温度在 21.1~25.3 °C, 随着江水温度的升高, 丰度逐渐下降, 当江水温度达到 28 °C 时, 刀鲚受精卵的丰度趋于零, 刀鲚受精卵丰度与温度相关性分析显示呈极显著负相关 ($P < 0.01$) (图 7), 表明江水温度较高不适合刀鲚产卵。

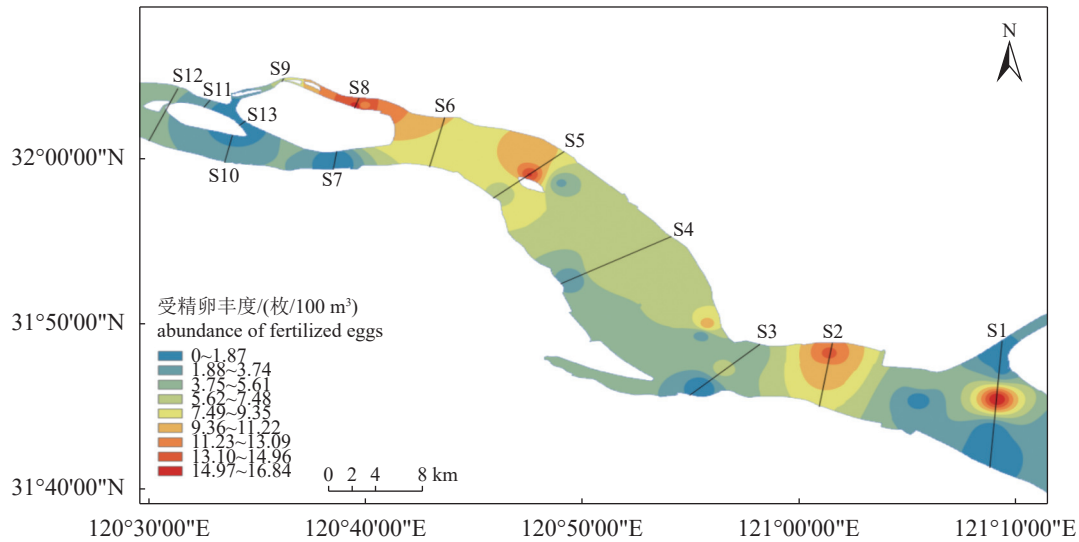


图 6 2020 年长江苏通江段各点位刀鲚受精卵平均丰度分布

Fig. 6 Average abundance distribution of *C. nasus* fertilized eggs at each point in Sutong section of Yangtze River in 2020

表 1 2018—2020 年刀鲚产卵高峰 (5~6 月) 苏通江段水环境因子指标

Tab. 1 Water environment indexes at Sutong section of the Yangtze River in *C. nasus* spawning peak (May and June) from 2018-2020

环境因子 environment factors	最大值 maximum value	最小值 minimum value	平均值 average value
水温/°C T	28.20	20.50	24.05±2.97
酸碱度 pH	8.87	7.14	7.99±0.26
溶解氧/(mg/L) DO	9.44	5.74	7.76±0.85
浊度/NTU TUB	124.00	11.40	31.39±11.34
透明度/m SD	0.85	0.15	0.48±0.14
深度/m H	29.10	2.00	10.55±7.52

潜在产卵场生境特征 采样过程中对各潜在产卵场的沿岸植被情况和实地生境特征调查如表 2 所示, 在推测产卵场位置所在断面岸线均有植被分布, 相比于其他断面具有人为干扰较少, 底质多为泥沙等特点, 由于苏通江段沿岸多港口, 船只活动在一些大型港口往来频繁。根据岸线调查分析发现, 左岸线植被覆盖程度明显较右岸高, 由于沿岸多港口, 江左、右存在岸线均呈片段化存在。

3 讨论

3.1 刀鲚受精卵的时空分布特征

据历史资料报道, 长江洄游性刀鲚在每年 2

月开始生殖洄游, 3~4 月达到高峰, 自河口起最远可上溯至洞庭湖 (距河口约 1 400 km) 产卵, 近年来调查发现, 刀鲚洄游距离和个体大小均有下降趋势^[25]。黎雨轩^[26] 和何为等^[27] 通过对长江下游刀鲚上溯通道崇明、靖江、南京和安庆 4 个江段的调查发现, 4 月在这些江段均未采集到性腺发育成熟的刀鲚亲鱼; 而在 5~7 月与苏通江段重合水域崇明至靖江江段采集到的大部分亲鱼性腺成熟指数 (GSI) 超过 V 期进入繁殖期, 这与本实验在 4 月均没有采集到刀鲚受精卵, 8 月采集到少量, 而在 5~6 月采集到的刀鲚受精卵丰度高相一致, 推测该江段 5~6 月为刀鲚产卵高峰期, 在此期间各断面采集到刀鲚受精卵丰度均明显高于其他采集月份。结合上述调查结果, 建议在 5~6 月刀鲚产卵高峰期对该江段实行更为严格的生境保护措施, 包括此期间来往船只限流、限速以及产生噪音的管制, 确保该江段在刀鲚资源补充过程中发挥重要的作用。

河口是溯河洄游和降海洄游鱼类的必经通道, 每逢繁殖季节, 性成熟的刀鲚个体会集群沿江进行生殖洄游, 在河口及沿江寻找适合水域产卵^[28-30]。本研究发现的潜在产卵场水域均位于河口段, 丰富的浮游动、植物和多沙洲、浅滩分布, 为刀鲚产卵、育幼营造了良好的栖息地。相关研究表明, 沙洲、浅滩等复杂河道形态结构可为众多水生动物、植物提供适宜的栖息和繁殖场所^[31-32]。苏通江段 4 月的调查显示, 受精卵和性腺发育成熟的刀鲚亲

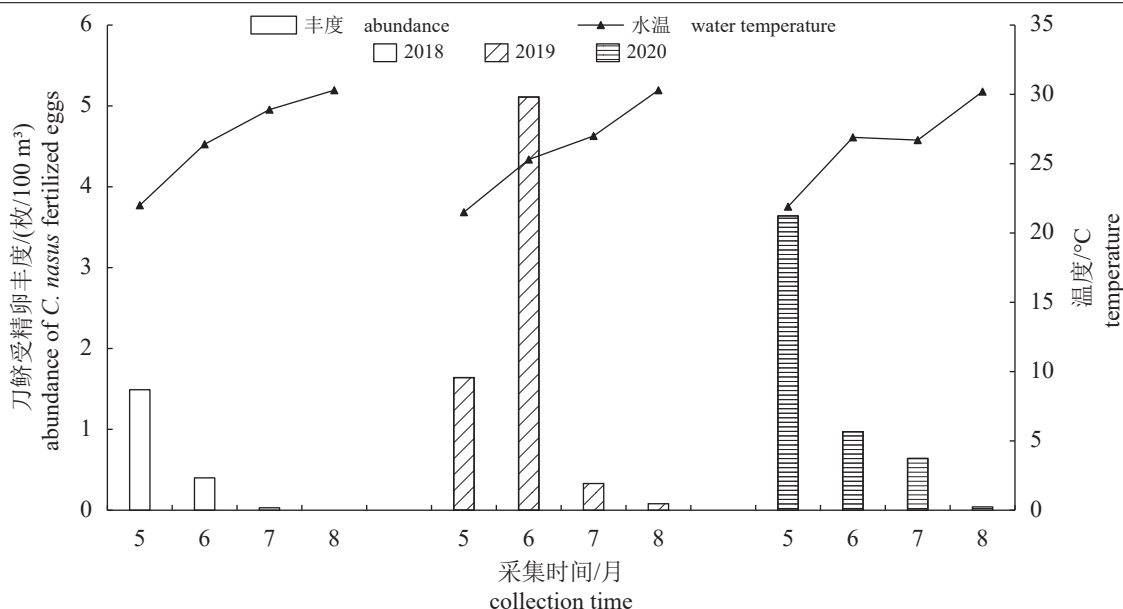


图7 2018—2020年长江苏通江段各采集月刀鲚受精卵平均丰度与水温的变化关系

Fig. 7 The relationship between *C. nasus*'s fertilized eggs average abundance and water temperature variation in Sutong section of the Yangtze River in each collection month in 2018-2020

表2 长江下游苏通江段潜在产卵场生境特征

Tab. 2 The potential spawning habitat characteristics of the Sutong section in the lower reaches of the Yangtze River

潜在产卵场位置 potential spawning site	生境特征 characteristics of habitat
崇明岛绿华镇附近水域(S1) waters near Chongming Lvhu town	崇明岛顶端距左岸较近, 岸线植被覆盖率较高, 北分支分流较小, 水体浑浊、多浅滩分布、底质泥沙、人为干扰较少
海门市新通海沙附近水域(S2和S3) waters near Xintong Haisha of Haimen	间断岸线分布、底质泥沙、人为干扰相对较少、水体浑浊、潜在产卵场区域深度较浅
南通市港闸区附近水域(S5) waters near Gangzha district of Nantong	断面靠近港闸区域, 有人工河道存在, 存在潜在产卵场区域为江心沙洲浅滩附近、入水植物少许分布、底质泥沙、人为干扰较少
如皋长青沙典园附近水域(S8) waters near Dianyuan of Changqingsha in Rugao	有芦苇深入水中, 成簇分布, 自然岸线、植被覆盖率较高、底质泥沙、人为干扰较少

鱼^[26-27]均未采集到, 说明该江段此时大部分亲本性腺发育尚未成熟, 笔者推测产生这种现象的原因可能由于个体较大刀鲚先进行洄游, 此期间洄游个体性腺还没有发育成熟继续沿江向上洄游, 刘凯等^[22]在2010—2012年长江口调查结果也呈现大个体出现时间早、所占比例高的特点, 此时江水温度较低, 在洄游过程中性腺逐渐发育成熟; 而体型较小则洄游时间较晚, 随着江水温度快速升高加速性腺发育, 同时正值长江径流开始增大, 体型小难以抵抗水流致使在河口段附近水域寻找适宜水域进行繁殖, 而浮游动、植物丰度较高和崇明岛的沙洲分流作用形成的缓流区, 可能导致崇明岛的尖端浅滩水域(调查设置的S1-2点位)成为刀鲚选择的首个产卵区。河口区域水运发达, 自然资源丰富^[33], 沿岸工业化程度较高, 多设港口和厂区, 其中以右岸尤甚, 江左岸刀鲚受精卵

丰度显著高于右岸, 潜在产卵场分布也均趋于左岸, 产卵场所在区域岸线植被覆盖率相对较高, 造成江左、右岸分布差异的原因也可能与左右两岸受水流冲刷力不同有关, 具体相关性影响因素, 有待进一步研究。

3.2 长江苏通江段刀鲚潜在产卵场分布

地处河口区的苏通江段, 受到潮汐和长江径流的双重影响, 选择在一天中的平潮期采集刀鲚受精卵。结果显示, 2018—2020年在苏通江段下游S1和S2、中游S5和上游S8附近水域各年采集到刀鲚受精卵的丰度和频次均高于其他采集断面; 同时这些区域水流较平缓, 浅滩较多, 底质多为泥沙, 整个采样江段呈一大“S”形, 局部有小“S”, 这与朱栋良^[14]和黄仁术^[34]研究发现刀鲚产卵要求的生境特征相一致。

洄游个体逐渐小型化, 缺乏充足的能量抵抗水流作用做远距离洄游, 致使大部分性腺发育成熟的小型个体在沿江寻找适宜水域繁育^[34-35], 紧邻河口的苏通江段是刀鲚洄游必经的线路, 调查发现该江段多沙洲、浅滩分布, 沙洲阻隔和水文特殊造成的丰富浮游动、植物, 为刀鲚在该水域产卵提供可能。据20世纪70年代对长江流域刀鲚资源调查显示, 江苏南通至崇明岛沿江水域刀鲚亲鱼集群明显, 黎雨轩^[26]在2006—2008年对该江段的调查发现, 绝大部分刀鲚个体性腺已发育成熟, 而此时正值长江下游刀鲚繁殖盛期, 本研究所发现该江段刀鲚潜在产卵场正处于报告中发现刀鲚亲鱼群聚范围, 因此推测该区域可能有刀鲚产卵场的存在。

3.3 刀鲚产卵与环境因子关系

刀鲚的生殖洄游过程需要温度、流量、盐度等环境因子的刺激, 淡水相对于海水渗透压低, 适于卵的存活^[36-37]。有关研究表明, 刀鲚产卵所需条件为水深0.5~3.0 m, 水温15.0~27.5 °C, 溶解氧6.20~8.24 mg/L, 流速较缓, 区域所含浮游动、植物丰富的水域^[38]。徐钢春等^[6]研究发现, 人工饲养的刀鲚亲鱼最佳产卵水温20~28 °C, 30.5 °C停止产卵。而本实验调查发现, 江水温度在20.1~31.0 °C均采集到刀鲚受精卵, 说明在此温度范围内均存在产卵行为, 稍高于历史调查刀鲚产卵的最高水温。调查发现, 刀鲚受精卵高丰度集中的环境条件为温度21.1~25.3 °C、溶解氧6.80~7.41 mg/L, 同时在平潮期测得潜在产卵场区域水深均小于3.0 m, 这与历史研究刀鲚产卵所需环境条件相吻合。当超过最适温度采集到刀鲚受精卵丰度明显下降, Pearson相关性分析显示, 刀鲚繁殖活动与温度呈极显著负相关($P < 0.01$), 说明高温环境下不利于刀鲚繁殖。Greenway Hank等^[39]发现, 挺水植物和浮水植物能够减缓水体流速、消除湍流, 调查发现的潜在产卵场区域岸线植被丰富完整, 有芦苇等挺水植物分布, 流速相对较缓, 同时在该区域存在浅滩(落而不干)深度较浅(1.1~3.0 m), 水体浑浊等适合产卵因素存在。沿岸工业化建设致使岸线片段化存在, 刀鲚受精卵高丰度区域岸线植被覆盖率高, 可见岸线的分布对刀鲚的产卵具有一定的影响, 可能由于沿岸植被的覆盖对该区域水体的浮游动、植物生物量和水体的生化指标产生作用, 具体的相关性是下一步工作的重点。

<https://www.china-fishery.cn>

4 总结

本研究从推测长江苏通江段刀鲚产卵场位置入手, 并对刀鲚受精卵时空分布及其与环境因子的相关性进行初步分析探讨, 旨在了解该江段刀鲚早期资源的分布状况, 以为长江苏通江段刀鲚资源保护提供有针对性、可行性的策略。随着长江“十年禁捕”工作的深入落实, 捕捞强度大幅降低, 鱼类资源将得到逐步恢复。同时苏通江段地处感潮河段, 拥有2个国家级刀鲚种质资源保护区, 水文的特殊性使得该水域拥有丰富的饵料, 刀鲚群聚频繁、活跃, 对该水域资源变动的持续监控和更为严格管控对洄游性刀鲚资源的整体恢复具有重要作用。由于正值长江全面禁捕初期, 加上该江段的特殊性, 给调查过程造成一些困难, 本实验仅对刀鲚产卵场可能存在的区域做出推测, 后期将对调查水域的生境, 包括各推测产卵场水域的水质指标、浮游动植物分布情况、地理特征以及沿岸植被的详细资料进行典型对应分析与验证, 以为刀鲚资源的保护提供参考。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 倪勇. 长江口区凤鲚的渔业及其资源保护[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 75-77.
Ni Y. Fishery resources conservation for *Coilia mystus* in the Changjiang estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 75-77 (in Chinese).
- [2] 沈焕庭, 吴华林, 吴加学, 等. 长江河口物质通量[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 14-15.
Shen H T, Wu H L, Wu J X, et al. Material flux of the Changjiang Estuary[M]. Beijing: China Ocean Press, 2001: 14-15(in Chinese).
- [3] 罗秉征. 河口及近海的生态特点与渔业资源[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1): 24-30.
Luo B Z. Ecological characteristics and fishery resources of the Yangtze River Estuary and adjacent sea[J]. Resources and Environment in the Yangtze Valley, 1992, 1(1): 24-30 (in Chinese).
- [4] 段学军, 陈雯, 朱红云, 等. 长江岸线资源利用功能区划方法研究——以南通市域长江岸线为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 621-626.
Duan X J, Chen W, Zhu H Y, et al. Method to make
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- function division of waterfront resources along the Yangtze River - a sample on the waterfront for Nantong city[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(5): 621-626 (in Chinese).
- [5] Fang D A, Yang X J, Feng X T, *et al.* FoxL2 combined with Cyp19a1a regulate the spawning upstream migration in *Coilia nasus*[J]. *Gene*, 2019, 710: 307-315.
- [6] 徐钢春, 聂志娟, 杜富宽, 等. 长江刀鲚亲鱼强化培育及自然产卵规律研究[J]. *水生生物学报*, 2016, 40(6): 1194-1200.
- Xu G C, Nie Z J, Du F K, *et al.* Intensive culture and natural spawning of broodstock *Coilia nasus* under artificial feeding conditions[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(6): 1194-1200 (in Chinese).
- [7] 毛成贵, 矫新明, 钟俊生, 等. 长江口刀鲚资源现状及保护研究进展[J]. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2015, 24(3): 78-83.
- Mao C Z, Jiao X M, Zhong J S, *et al.* Research progress on resource status and protection of *Coilia nasus* in Yangtze River estuary[J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Sciences Edition)*, 2015, 24(3): 78-83 (in Chinese).
- [8] 黄艳飞. 长江洄游性刀鲚早期资源分布与生长时空异质性研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2014.
- Huang Y F. Temporal and spatial variability of abundance and growth, and analysis of feeding habitat of anadromous *Coilia ectenes* larvae in the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2014(in Chinese).
- [9] 聂志娟, 徐钢春, 杜富宽, 等. 长江刀鲚体内菌群PCR-DGGE指纹图谱及多样性比较分析[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(5): 1019-1026.
- Nie Z J, Xu G C, Du F K, *et al.* PCR-DGGE fingerprinting and diversity analysis of the predominant bacterial community in *Coilia nasus*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(5): 1019-1026 (in Chinese).
- [10] 袁传宓, 秦安龄. 我国近海鲚鱼生态习性及其产量变动状况[J]. *海洋科学*, 1984, 8(5): 35-37.
- Yuan C M, Qin A L. Ecological habits and distribution of *Coilia* along the Chinese coast and its changes of output[J]. *Marine Sciences*, 1984, 8(5): 35-37 (in Chinese).
- [11] 郭弘艺, 刘东, 张旭光, 等. 长江靖江段沿岸刀鲚的生长、死亡参数及种群补充[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(10): 2831-2839.
- Guo H Y, Liu D, Zhang X G, *et al.* Growth, mortality and recruitment pattern of *Coilia nasus* at Jingjiang section of the Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(10): 2831-2839 (in Chinese).
- [12] 贺刚, 方春林, 吴斌, 等. 鄱阳湖刀鲚生殖群体特征及状况分析[J]. *水生态学杂志*, 2017, 38(3): 83-88.
- He G, Fang C L, Wu B, *et al.* Reproductive characteristics and situation of *Coilia ectenes* (Engraulidae) in Poyang Lake[J]. *Journal of Hydroecology*, 2017, 38(3): 83-88 (in Chinese).
- [13] 徐钢春. 基于组学的刀鲚群体产卵不同步分子机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- Xu G C. Molecular mechanism of population-asynchronous spawning in *Coilia nasus* based on multi-omics[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017(in Chinese).
- [14] 朱栋良. 长江刀鱼的天然繁殖与胚胎发育观察[J]. *水产科技情报*, 1992, 19(2): 49-51.
- Zhu D L. Observation of natural reproduction and embryonic development of *Coilia ectenes* in Yangtze River[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1992, 19(2): 49-51 (in Chinese).
- [15] 施永海, 张根玉, 张海明, 等. 刀鲚的全人工繁殖及胚胎发育[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(1): 36-43.
- Shi Y H, Zhang G Y, Zhang H M, *et al.* Complete artificial propagation and embryonic development of *Coilia nasus*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(1): 36-43 (in Chinese).
- [16] 徐跑, 徐钢春, 刘凯, 等. 长江刀鲚种质资源及人工繁殖技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 97-103.
- Xu P, Xu G C, Liu K, *et al.* Planting resources and artificial propagation technique of *Coilia nasus* in Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2016: 97-103(in Chinese).
- [17] 周辉明, 方春林, 傅培峰. 鄱阳湖刀鲚产卵场调查[J]. *水产科技情报*, 2015, 42(3): 140-141,145.
- Zhou H M, Fang C L, Fu P F. Investigation into the spawning grounds of *Coilia nasus* in Poyang Lake[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2015, 42(3): 140-141,145 (in Chinese).
- [18] Jiang T, Yang J, Lu M J, *et al.* Discovery of a spawning area for anadromous *Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846 in Poyang Lake, China[J]. *Journal of Applied*

- Ichthyology*, 2017, 33(2): 189-192.
- [19] 长江水产研究所资源捕捞研究室, 南京大学生物系鱼类研究组. 刀鲚的生殖洄游[J]. 淡水渔业, 1977, 7(6): 19-24.
Research department of the Yangtze River fisheries research institute, Department of Fish of Nanjing University. Spawning migration of *Coilia nasus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 1977, 7(6): 19-24 (in Chinese).
- [20] 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海市水产研究所. 上海鱼类志 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 103-116.
East China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai Fisheries Research Institute. The fishes of Shanghai area[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1990: 103-116 (in Chinese).
- [21] 代培, 严燕, 朱孝彦, 等. 长江刀鲚国家级水产种质资源保护区(安庆段)刀鲚资源现状[J]. 中国水产科学, 2020, 27(11): 1267-1276.
Dai P, Yan Y, Zhu X Y, *et al.* Status of *Coilia nasus* resources in the national aquatic germplasm resources conservation area in the Anqing section of the Yangtze River[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(11): 1267-1276 (in Chinese).
- [22] 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江口刀鲚渔汛特征及捕捞量现状[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3138-3143.
Liu K, Duan J R, Xu D P, *et al.* Present situation of *Coilia nasus* population features and yield in Yangtze River estuary waters in fishing season[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(12): 3138-3143 (in Chinese).
- [23] 曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 1-34.
Cao W X, Chang J B, Qiao Y, *et al.* Fish resources of early life history stages in Yangtze River[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 1-34 (in Chinese).
- [24] 中华人民共和国农业部. SC/T 9407—2012 河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. SC/T 9407-2012 Technical specification for drifting fish eggs and larvae sampling in river[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013 (in Chinese).
- [25] 董文霞, 唐文乔, 王磊. 长江刀鲚繁殖群体的生长特性[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(5): 669-674.
Dong W X, Tang W Q, Wang L. Growth characteristics of reproductive population of *Coilia nasus* in the Yangtze River[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(5): 669-674 (in Chinese).
- [26] 黎雨轩. 长江洄游性刀鲚的繁殖生态学研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
Li Y X. A Study on the breeding ecology of *Coilia nasus* on the Yangtze River migration[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2009(in Chinese).
- [27] 何为, 李家乐, 江芝娟. 长江刀鲚性腺的细胞学观察[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 292-296.
He W, Li J L, Jiang Z J. Cytological observations on the gonad of *Coilia ectenes* in Yangtze River[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(3): 292-296 (in Chinese).
- [28] Mwijage A P, Shilla D A, Machiwa J F. Differences in trophic resources and niches of two juvenile predatory species in three Pangani estuarine zones, Tanzania: Stomach contents and stable isotope approaches[J]. *Journal of Biological Research*, 2018, 25: 13.
- [29] 刘引兰, 吴志强, 胡茂林. 我国刀鲚研究进展[J]. 水产科学, 2008, 27(4): 205-209.
Liu Y L, Wu Z Q, Hu M L. Advances on tapertail anchovy *Coilia ectenes* in China[J]. *Fisheries Science*, 2008, 27(4): 205-209 (in Chinese).
- [30] Kafayat A F, Martins A A, Shehu L A, *et al.* Life-stages, exploitation status and habitat use of *Lutjanus goreensis* (Perciformes: Lutjanidae) in coastal marine environments of Lagos, SW Nigeria[J]. *Revista De Biologia Tropical*, 2015, 63(1): 199-212.
- [31] Hauer C, Gunther U, Schmutz S, *et al.* Morphodynamic effects on the habitat of juvenile cyprinids (*Chondrostoma nasus*) in a restored Austrian lowland river[J]. *Environmental Management*, 2008, 42(2): 279-296.
- [32] Deng Y, Cao M X, Ma A X, *et al.* Mechanism study on the impacts of hydraulic alteration on fish habitat induced by spur dikes in a tidal reach[J]. *Ecological Engineering*, 2019, 134: 78-92.
- [33] 吴凤平, 许长新. 长江南京以下段水运潜力及其开发研究[J]. 中国软科学, 2000(2): 91-93.
Wu F P, Xu C X. Research on the water transport potential of the Yangtze River below Nanjing. sponsored by China Society of Fisheries

- tial and its development of the following sections of the Yangtze River in Nanjing[J]. *China Soft Science*, 2000(2): 91-93 (in Chinese).
- [34] 黄仁术. 刀鱼的生物学特性及资源现状与保护对策[J]. 水利渔业, 2005, 25(2): 33,37.
- Huang R S. The biological characteristics, resource and protection strategy of *Coilia ectenes*[J]. *Reservoir Fisheries*, 2005, 25(2): 33,37 (in Chinese).
- [35] 田思泉, 田芝清, 高春霞, 等. 长江口刀鲚汛期特征及其资源状况的年际变化分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(2): 245-250.
- Tian S Q, Tian Z Q, Gao C X, *et al.* Analyzing of annual changes for the stock status of *Coilia nasus* in fishing season in Yangtze River estuary[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(2): 245-250 (in Chinese).
- [36] 袁传宓. 刀鲚的生殖洄游[J]. 生物学通报, 1987(12): 1-3.
- Yuan C M. The breeding migration of *Coilia nasus*[J]. *Bulletin of Biology*, 1987(12): 1-3 (in Chinese).
- [37] 郭弘艺, 张旭光, 唐文乔, 等. 长江靖江段刀鲚捕捞量的时间变化及相关环境因子分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(12): 1850-1859.
- Guo H Y, Zhang X G, Tang W Q, *et al.* Temporal variations of *Coilia nasus* catches at Jingjiang section of the Yangtze River in fishing season in relation to environmental factors[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(12): 1850-1859 (in Chinese).
- [38] 黎明政, 段中华, 姜伟, 等. 长江干流不同江段鱼卵及仔鱼漂流特征昼夜变化的初步分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(8): 957-962.
- Li M Z, Duan Z H, Jiang W, *et al.* Preliminary analysis on the diel drifting behavior of fish eggs and larvae in different sections of main stream of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(8): 957-962 (in Chinese).
- [39] Greenway H, Gibbs J. Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. II. Energy requirements for maintenance and energy distribution to essential processes[J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30(10): 999-1036.

Preliminary study of *Coilia nasus* spawning grounds at Sutong section in the lower reaches of the Yangtze River

XUE Xiangping¹, PENG Yunxin¹, FANG Di'an^{1,2*}, XU Dongpo^{1,2},
WANG Xiaohao^{2,3}, REN Kecheng¹

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Wuxi 214081, China;

3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: The Sutong section in the lower reaches of the Yangtze River is located in the estuary section and close to the estuary of the Yangtze River, which is the migration channel for *Coilia nasus*. Recent studies have shown that *C. nasus* adult fish resources still indicate a trend downwards. It's of great significance to conduct research on *C. nasus* early resources, which is a supplementary group of adult fish resources. In this study, early resource surveys were conducted in Sutong section for a total of 84 days from May to August each year in 2018-2020 to reveal the spatial and temporal distribution characteristics of *C. nasus* early resources. A total of 646 fertilized eggs of *C. nasus* were collected during the survey period, including 328 eggs collected in 2019 accounting for 50.77% of all. The mean abundance of eggs collected in May and June was significantly higher than that in the other months of collection ($P < 0.05$), where as no fertilized eggs were collected in April. The peak of fertilized eggs collected in each year was on 15 May (4.96 ind./100 m³), 16 June (26.48 ind./100 m³) and 24 May (26.11 ind./100 m³), respectively. Pearson correlation analysis showed significant differences in the spatial distribution of the sampled sections ($P < 0.05$), with mean abundance distribution on the left bank (1.42 ind./100 m³) > right bank (0.87 ind./100 m³) > centre of the river (0.69 ind./100 m³). The mean abundance and frequency of fertilized eggs of *C. nasus* collected in the downstream S1 (waters of Lvhu Town in Chongming Island) and S2 (waters of Xintonghaisha, Haimen City), midstream S5 (waters of Gangzha District in Nantong) and upstream S8 (waters of Changqing Sha Dian Yuan in Rugao) of the Sutong section were significantly higher than those of other collection sections ($P < 0.05$). The analysis of environmental factors showed that the abundance of fertilized eggs of *C. nasus* was negatively correlated with temperature ($P < 0.01$), and the abundance of fertilized eggs of *C. nasus* was higher in the range of 21.1-25.3 °C and 6.80-7.41 mg/L of dissolved oxygen. The results showed that May and June were the peak spawning months for *C. nasus* in Sutong section, and the temperature range of 21.1-25.3 °C and dissolved oxygen range of 6.80-7.41 mg/L were suitable for *C. nasus* spawning. It is speculated that the waters in Lvhu Town of Chongming Island, Xin Tonghaisha of Haimen, Nantong Gangzha District and Changqing Sha Diangyuan of Rugao are potential spawning grounds for *C. nasus*.

Key words: *Coilia nasus*; spawning grounds; Sutong section; the fishes of early life history stage; spatial and temporal distribution

Corresponding author: FANG Di'an. E-mail: fangda@ffrc.cn

Funding projects: National Key Research and Development Plan (2019YFD0901205); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Species Resource Conservation Project (213013500804)