

## 长江下游刀鲚(*Coilia nasus*)仔稚鱼的时空分布<sup>\*</sup>

刘 熠<sup>1,2</sup>,任 鹏<sup>1</sup>,杨习文<sup>1,2</sup>,李新丰<sup>1,2</sup>,徐东坡<sup>1,2\*\*</sup>,方弟安<sup>1,2\*\*</sup>

(1:中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站,无锡 214081)

(2:上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306)

**摘要:** 刀鲚(*Coilia nasus*)是长江下游重要的经济鱼类之一,具有溯河洄游型和淡水定居型两种生态类型。本研究于2016年5—8月在刀鲚繁殖高峰期同时对长江下游湖口、安庆和靖江江段进行刀鲚早期资源调查,研究分析对比了长江下游江段刀鲚仔稚鱼的丰度情况、时空格局及其与主要环境因子的关系。结果表明:在调查期间,靖江江段刀鲚仔稚鱼平均密度最高;刀鲚仔稚鱼在调查各江段于6月下旬至7月上旬之间均出现一段较短时间的高峰期,这与刀鲚的产卵类型有关;湖口刀鲚仔稚鱼的爆发时间早于安庆和靖江江段,这种现象可能是由于湖口江段存在的定居型刀鲚产卵造成的;推测长江江水倒灌的特殊环境现象刺激了刀鲚性腺的发育,使得湖口江段8月产卵群体较多;各江段断面空间上的刀鲚仔稚鱼密度差异可能是沿岸地形和水体动力学差异所产生的现象;各江段刀鲚仔稚鱼密度最高峰时的水流量均处于较低水平,水温分别为25.87、25.27和21.67℃,均达到了刀鲚产卵所需条件。研究结果初步反映了长江下游刀鲚仔稚鱼的时空特征,为长江下游刀鲚资源的保护提供了参考依据。

**关键词:** 长江下游;刀鲚;仔稚鱼;时空分布

## Spatial and temporal distribution of larvae and juvenile *Coilia nasus* in the lower reaches of the Yangtze River<sup>\*</sup>

LIU Yi<sup>1,2</sup>, REN Peng<sup>1</sup>, YANG Xiwen<sup>1,2</sup>, LI Xingfeng<sup>1,2</sup>, XU Dongpo<sup>1,2\*\*</sup> & FANG Di'an<sup>1,2\*\*</sup>

(1: *Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, P.R. China*)

(2: *National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education (Shanghai Ocean University), Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P.R. China*)

**Abstract:** *Coilia nasus* is one of the most important economic fishery species in the lower reach of the Yangtze River. It has two ecological types, one is anadromous and the other is freshwater resident. This study investigated the early resource of *Coilia nasus* in the lower reaches of the Yangtze River in Hukou, Anqing and Jingjiang during the peak breeding season from May to August 2016. The abundance, temporal and spatial distribution patterns of larval and juvenile *C. nasus* in the lower reaches of the Yangtze River and their variation and relationship with major environmental factors were analyzed. Results showed that the mean density of larvae and juveniles *C. nasus* in the Jingjiang section was highest during the investigation period. There was a short peak period between late June and early July in the surveyed river section, which may be related to the *C. nasus* spawning type. The occurrence of larval and juvenile *C. nasus* in Hukou section was earlier than in Anqing and Jingjiang section, which may result from resident *C. nasus* spawning in Hukou section. It is inferred that the special environment phenomenon of the back-flow of the Yangtze River stimulates the *C. nasus* gonad development, which resulted in more spawning populations in the Hukou section in August. The density difference of larval and juvenile *C. nasus* in the three sampling sites may be due to the difference between coastal topography and water dynamics. The water flow of larval and juvenile *C. nasus* at the highest density was lower in all river segments, and the water temperature was 25.87, 25.27 and 21.67℃, respectively. The hydrodynamic environment of the three sites meet the requirement for *C.*

\* 2019-04-22 收稿;2019-09-02 收修改稿。

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2017JBFR04)和农业农村部财政专项联合资助。

\*\* 通信作者; E-mail: xudp@ffrc.cn; fangda@ffrc.cn.

*nasus* spawning. Results in this study preliminarily reflect the spatial-temporal characteristics of larval and juvenile *C. nasus* in the lower reaches of the Yangtze River and provide information for *C. nasus* resource conservation.

**Keywords:** The lower reaches of the Yangtze River; *Coilia nasus*; larval and juvenile; spatial and temporal distribution

刀鲚(*Coilia nasus*)属鲱形目(Clupeiformes)、鳀科(Engraulidae)、鲚属(*Coilia*),俗称刀鱼,分布在中国、日本、朝鲜沿海和与之相通的河流、附属湖泊,其成鱼脂肪丰满,肉质鲜美,是长江中下游重要的经济鱼类之一<sup>[1-3]</sup>。近年来,随着长江下游城市经济的迅速发展,长江下游干流江段沿岸密集分布着许多工厂建设,引起水质污染加剧,渔业方面的捕捞力度也随需求量增加而加大,种种原因导致水域生境受到的压力过大,渔业资源明显下降<sup>[4-6]</sup>。受上述因素影响,刀鲚的产卵场和育幼场不断遭到破坏,洄游距离也逐渐缩短,1970s鄱阳湖分布着的大量洄游性刀鲚产卵场已经极少<sup>[7-8]</sup>;长江口的刀鲚年产量历史最高3945 t,到2009年已经下滑至年均产量仅为86.2 t;长江定居型刀鲚的资源也不容乐观,种群的小型化现象较为严重<sup>[7,9-10]</sup>。产卵场和育幼场的破坏是导致刀鲚补充群体减少的重要原因,鱼类栖息地是鱼类产卵和育幼的主要场所,为鱼类种群提供了必要生存基础<sup>[11]</sup>。因此,对刀鲚栖息地的保护是展开刀鲚保护工作的首要方向,针对刀鲚栖息地的保护需对其早期资源的进行全面研究。

历代学者对刀鲚早期资源有较系统的探究,如在其资源动态监测、食性、刀鲚人工繁殖、年龄与生长等方面<sup>[12-18]</sup>,但对长江下游各江段刀鲚仔稚鱼的研究较少。长江下游江段是指湖口至东海入海口的一段长约940 km的干流江段,途径江西、安徽、江苏和上海等多个省市<sup>[19]</sup>。其中湖口江段连通鄱阳湖,是鄱阳湖与长江下游进行生态联系的首要江段,其水域生境复杂,为多种洄游型鱼类提供了关键洄游通道<sup>[20]</sup>;安庆和靖江江段均是已知刀鲚的重要繁殖场,靖江江段刀鲚产量非常高,其刀鲚年际产量能占长江下游总产量的28%<sup>[21]</sup>。可见,系统地对长江下游刀鲚早期资源的时空格局进行探究,有利于对长江下游刀鲚栖息地进行多方面的保护。为此,本研究利用鱼类早期资源调查方法,探究长江下游湖口、安庆和靖江江段刀鲚仔稚鱼的时空格局,对比不同江段刀鲚仔稚鱼的丰度情况,分析刀鲚仔稚鱼丰度的变化规律及其与主要环境因子的关系,以期为长江下游刀鲚资源的保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间与地点

鱼类早期资源调查方法依据曹文宣所著《长江鱼类早期资源》<sup>[22]</sup>。长江刀鲚的繁殖期从4月下旬开始,到11月份才结束,据历史调查结果,江西和湖南江段繁殖期在5—7月,安徽江段在4—8月,江苏江段在4—10月,崇明江段在4—11月,总的繁殖高峰期集中在5—8月<sup>[7,14]</sup>。据此,本研究于2016年5月18日至8月15日(刀鲚繁殖高峰期内)在长江下游湖口、安庆、靖江3个江段同时开展刀鲚早期资源调查。

采样点设置如图(图1)所示,湖口、安庆、靖江江段各取一个断面,在断面南北两岸和江段中心各取一个位点,按顺序分别对其进行编号:湖口南岸(A1:29°47'12"N,116°16'30"E)、中心(A2:29°47'29"N,116°16'20"E)、北岸(A3:29°47'41"N,116°16'7"E);安庆南岸(B1:30°28'48"N,116°59'59"E)、中心(B2:30°28'56"N,116°59'40"E)、北岸(B3:30°29'5"N,116°59'24"E);靖江南岸(C1:31°56'19"N,120°6'9"E)、中心(C2:31°56'52"N,120°6'30"E)、北岸(C3:31°57'26"N,120°6'40"E)。

### 1.2 调查方法和样品的保存与鉴定

鱼类早期资源的采样使用主动网具,网具规格为0.5 mm网目的圆锥状浮游生物网,网长2 m,网口面积为0.50 m<sup>2</sup>,锥形网尾部连有一个圆柱型的鱼苗收集装置,网口固定一个螺旋桨式的流量计用于测量过水流量,采样时使用机动船进行拖拽。在调查期间,每日8:00至12:00之间在每个断面设置的三个采样点进行定量采集,根据采集到的鱼类早期资源数量(300~500尾)确定每次采集时间,采样同时记录每次拖网持续的时间。

环境因子的采集使用Dretec电子水温计测量水温,采用萨氏透明度盘测量透明度,使用德国HYDRO-BIOS公司数字网口流量计记录流量计转数来换算过水流量,在各个采样点的每次采样均进行环境因子数据的统计。浮游生物网中所采集到的仔稚鱼样品使用5%的福尔马林溶液进行保存带回实验室在体式解剖镜

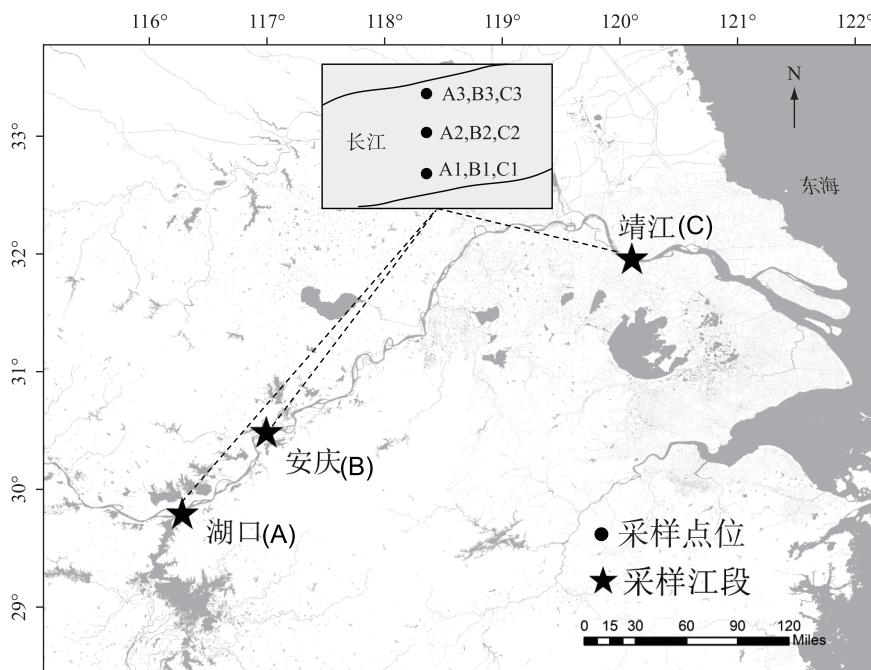


图 1 长江下游刀鲚早期资源采样点设置

Fig.1 Sampling distributions on *Coilia nasus* resources of early life history stages in the lower reaches of the Yangtze River

(Olympus SZX 16) 下依据曹文宣<sup>[22]</sup>的方法进行仔稚鱼种类的鉴定与统计计数, 其中刀鲚卵黄囊期至脊索弯曲期的仔鱼鉴定主要基于刀鲚仔鱼的肌节数目, 结合其细长的体态、较长的消化道来进行准确鉴定, 发育至脊索弯曲后期后的刀鲚体态逐渐接近于成鱼, 可基于其体态特征与鳍条位置进行鉴定。所有鱼类早期资源样品鉴定完成后使用 75% 的中性酒精保存, 将刀鲚仔稚鱼样品单独分开存留。

### 1.3 数据分析与处理

在一个江段的调查中, 将所有点位均进行了鱼类早期资源采样的日期作为一次有效采样天数。仔稚鱼密度计算方法参考曹文宣<sup>[22]</sup>和易伯鲁等<sup>[23]</sup>的计算方法, 依据所采集仔稚鱼的数量、采集时间、流量计流量差、圆锥状浮游生物网网口面积按下列公式处理:

$$Q_i = (0.3C_i \cdot a) / t \quad (1)$$

$$D_i = N_i / (Q_i \cdot t) \quad (2)$$

式中,  $Q_i$  为第  $i$  次采集圆锥状浮游生物网网口的过水流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $C_i$  为第  $i$  次采集流量计的流量差,  $a$  为主动网具网口面积 ( $\text{m}^2$ ), 0.3 为流量计的常数,  $t$  为每次采集仔稚鱼的时 (s),  $D_i$  为第  $i$  次采集仔稚鱼的密度 (ind./ $\text{m}^3$ ),  $N_i$  为第  $i$  次采集仔稚鱼数量 (ind.)。

使用 PRIMER 5.0 软件分析刀鲚仔稚鱼的时间动态。将调查期间各江段不同月份作为样本, 刀鲚仔稚鱼密度为变量, 建立 1 个仔稚鱼密度的原始矩阵, 再根据 Bray-Curtis 相似性系数, 构建相似性三角矩阵。根据不同月份的相似性指数, 使用组平均连接法进行等级聚类分析 (Cluster analysis) 和非参数多维尺度分析 (non-Metric Multidimensional scaling, MDS), 并通过相似性分析 (ANOSIM) 分析对不同类群间差异显著性进行检验<sup>[24-27]</sup>。检验 MDS 分析结果的优劣用胁强系数 (stress) 来衡量, 通常认为当 stress<0.2 时, 其图形有一定的解释意义; 当 stress<0.1 时, 可以认为是一个好的排序; 当 stress<0.05 时, 说明具有很好的代表性<sup>[28]</sup>。数据处理使用 Excel 2016 软件, 使用 Origin 2018 软件制作直方图、折线图、断层图等各种分析图。数据分析使用 SPSS 19.0 软件处理, 差异性分析使用单因素方差分析, 相关性分析采 Pearson 相关性检验。

## 2 结果

### 2.1 长江下游不同刀鲚仔稚鱼密度的逐日变化

由于鱼类早期资源调查是在野外环境下展开的生态学实验,容易受恶劣天气等环境影响导致不能保证每天有效采样。在2016年5月18日至8月15日设定调查时间内,湖口江段受环境因素影响较小,有效采样时间为87天,共采集刀鲚仔稚鱼837尾;安庆江段少数时间受大风影响,有效采样时间为78天,共采集刀鲚仔稚鱼1239尾;靖江江段靠近长江口,江面较宽且易受潮汐影响,导致风浪较大不易过江,有效采样时间为40天,共采集刀鲚仔稚鱼1281尾。

调查发现,在采样期间湖口江段平均密度为 $1.56 \text{ ind./100 m}^3$ ,安庆江段平均密度为 $10.46 \text{ ind./100 m}^3$ ,靖江江段平均密度为 $29.94 \text{ ind./100 m}^3$ 。3个江段中刀鲚仔稚鱼密度在7月初之前的整体趋势均为在波动中逐渐上升,湖口江段在6月20日达到密度最高峰( $50.37 \text{ ind./100 m}^3$ ),随后安庆江段在7月1日达到密度最高峰( $96.05 \text{ ind./100 m}^3$ ),靖江江段在6月26日达到密度最高峰( $320.02 \text{ ind./100 m}^3$ )。湖口江段的刀鲚仔稚鱼密度达到峰值后恢复至之前较低水平。安庆江段和靖江江段达到峰值后则在波动中不断下降,其中安庆江段在7月12—20日一直保持较高水平,并在7月18日出现小高峰 $56.92 (\text{ind./100 m}^3)$ ;靖江江段在6月29日和7月26日出现了2次小高峰,峰值分别为 $172.01$ 和 $39.98 \text{ ind./100 m}^3$ (图2a1、b1、c1)。

刀鲚仔稚鱼密度变化在空间上的对比结果如图2的a2、b2、c2所示。湖口江段密度在中心点达到的峰值时最大,为 $130.15 \text{ ind./100 m}^3$ ;南岸点其次,为 $19.23 \text{ ind./100 m}^3$ ;北岸点最小,为 $6.77 \text{ ind./100 m}^3$ 。对湖口江段3个采样点进行差异性分析结果表明,南北两岸刀鲚仔稚鱼密度存在极显著性差异( $n=88, P<0.01$ )。安庆江段密度在南岸点达到的峰值最大,为 $173.96 \text{ ind./100 m}^3$ ;北岸点其次,为 $113.01 \text{ ind./100 m}^3$ ;中心点最小,为 $42.26 \text{ ind./100 m}^3$ 。对安庆江段3个采样点进行差异性分析结果表明,南北两岸刀鲚仔稚鱼密度差异不显著性,南北两岸和中心点均存在显著性差异( $n=78, P<0.05$ )。靖江江段密度在南岸点达到的峰值最大,为 $930.24 \text{ ind./100 m}^3$ ;北岸点其次,为 $318.03 \text{ ind./100 m}^3$ ;中心点最小,为 $101.54 \text{ ind./100 m}^3$ 。对靖江江段3个采样点进行差异性分析结果表明,南岸和中心点存在显著性差异( $n=40, P<0.05$ )。

### 2.2 刀鲚仔稚鱼密度与环境因子的变化关系

调查期间,湖口江段平均水温为 $25.76^\circ\text{C}$ ,水温变化范围为 $21.47\sim30.20^\circ\text{C}$ ,变化幅度达到 $8.73^\circ\text{C}$ ;安庆江段平均水温为 $25.78^\circ\text{C}$ ,水温变化范围为 $21.07\sim30.00^\circ\text{C}$ ,变化幅度达到 $8.93^\circ\text{C}$ ;靖江江段平均水温为 $26.02^\circ\text{C}$ ,水温变化范围为 $20.87\sim30.03^\circ\text{C}$ ,变化幅度达到 $9.16^\circ\text{C}$ 。3个江段在平均水温和温差变化等方面相差不大,且均在6月中旬至7月中旬出现小高峰后回调了一段时间,各江段刀鲚仔稚鱼的密度最高峰均出现在这个时期(图3a1、b1、c1)。对各点水温和刀鲚仔稚鱼密度的相关性分析均显示无显著性相关( $P>0.05$ )。

通过对各江段透明度的统计,湖口江段平均透明度为 $42.03 \text{ cm}$ ,最高峰值为 $55.67 \text{ cm}$ ,7月2日前透明度一直在 $34.7\sim55.7 \text{ cm}$ 之间波动,7月4日透明度下降到整个调查期间最低值( $22.6 \text{ cm}$ ),然后缓慢回升。安庆和靖江江段也有一个透明度骤然下降的过程,安庆平均透明度为 $29.15 \text{ cm}$ ,最高峰值为 $41.33 \text{ cm}$ ,在7月9日降至最低( $16 \text{ cm}$ );靖江平均透明度为 $21.48 \text{ cm}$ ,最高峰值为 $30.33 \text{ cm}$ ,在7月8日降至最低 $10 \text{ cm}$ 后再波动回升(图3a2、b2、c2)。对各点透明度和刀鲚仔稚鱼密度的相关性分析均显示无显著性相关( $P>0.05$ )。

通过对各江段过水流量的统计,湖口江段呈波动性上升状态,刀鲚平均密度最高时过水流量为 $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ ,调查期间平均过水流量为 $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ;安庆江段呈波动性下降趋势,刀鲚平均密度最高时过水流量为 $0.64 \text{ m}^3/\text{s}$ ,调查期间平均过水流量为 $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ ;靖江江段过水流量整体呈波动性下降趋势,平均密度最高时过水流量为 $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ ,调查期间平均过水流量为 $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ (图3a3、b3、c3)。对安庆江段过水流量和刀鲚仔稚鱼密度的相关性分析显示两者显著相关( $P<0.05$ ),其它2个江段无显著性相关( $P>0.05$ )。

### 2.3 各月份刀鲚仔稚鱼密度的空间分布

对5—8月的刀鲚仔稚鱼进行月份尺度上的空间分布分析。结果表明(图4),5月份安庆江段密度分布较为平均,其中北岸点密度较高,为 $0.40 \text{ ind./100 m}^3$ ;湖口与靖江江段未采集到刀鲚仔稚鱼。6月份湖口江段密度主要集中在中心点,为 $6.26 \text{ ind./100 m}^3$ ;安庆江段南北两岸密度相差不大,分别为 $18.58$ 和 $19.21 \text{ ind./100 m}^3$ ;靖江江段刀鲚仔稚鱼主要集中分布在南岸点,为 $119.53 \text{ ind./100 m}^3$ ,且各采样点的密度均高于

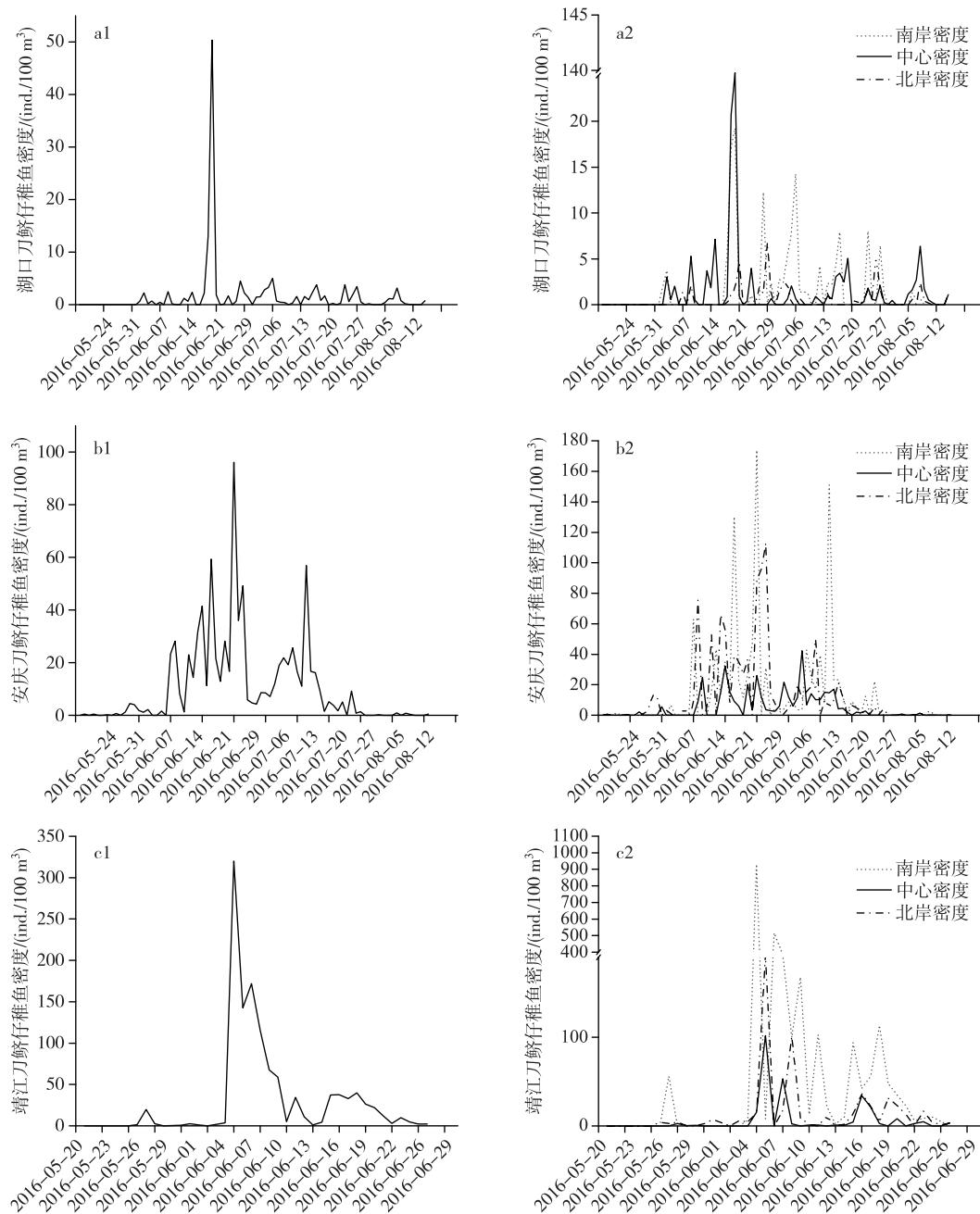


图2 湖口、安庆和靖江江段刀鲚仔稚鱼密度的逐日变化

(a1、b1 和 c1 分别为湖口、安庆、靖江江段刀鲚仔稚鱼平均密度变化；

a2、b2 和 c2 分别为湖口、安庆、靖江江段刀鲚仔稚鱼在不同采样点的密度变化)

Fig.2 The daily density change of larvae and juvenile *C. nasus* in Hukou, Anqing and Jingjiang sections

(a1, b1 and c1 showed the average density of larvae and juvenile *C. nasus* in Hukou, Anqing and

Jingjiang sections, respectively; a2, b2 and c2 showed the density of larvae and juvenile *C. nasus*

in different sampling sites of Hukou, Anqing and Jingjiang sections, respectively)

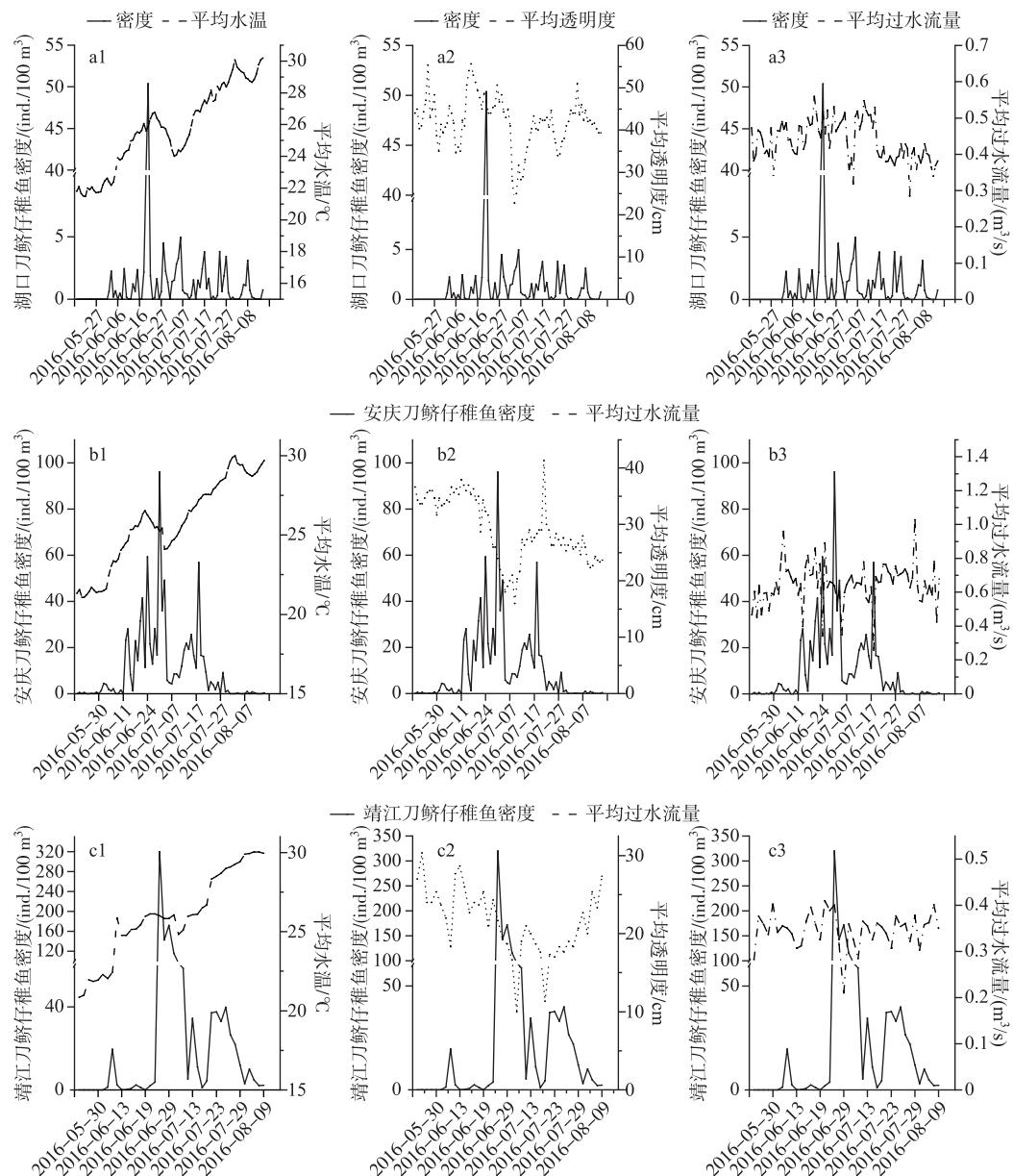


图3 湖口、安庆和靖江江段刀鲚仔稚鱼密度与环境因子的变化关系(a1、b1 和 c1 分别为湖口、安庆、靖江江段刀鲚仔稚鱼密度与水温的关系;a2、b2 和 c2 分别为湖口、安庆、靖江江段刀鲚仔稚鱼密度与透明度的关系;a3、b3 和 c3 分别为湖口、安庆、靖江江段刀鲚仔稚鱼密度与过水流量的关系)

Fig.3 Changes between environmental factors with larvae and juvenile *C. nasus* density in Hukou, Anqing and Jingjiang sections(a1, b1 and c1 showed the relationships between *C. nasus* larvae and juvenile density and water temperature in the Hukou, Anqing and Jingjiang sections, respectively; a2, b2 and c2 showed the relationships between *C. nasus* larvae and juvenile density and transparency in the Hukou, Anqing and Jingjiang sections, respectively; a3, b3 and c3 showed the relationships between *C. nasus* larvae and juvenile density and water flow in the Hukou, Anqing and Jingjiang sections, respectively)

其它江段。7月份湖口江段刀鲚仔稚鱼主要分布在南岸点,为 $2.47 \text{ ind./100 m}^3$ ;安庆江段主要分布在南北两岸,分别为 $21.14$ 和 $17.79 \text{ ind./100 m}^3$ ,中心点仔稚鱼密度最低;靖江江段仔稚鱼主要集中分布在南岸点,密度为 $59.17 \text{ ind./100 m}^3$ 。8月份湖口江段刀鲚仔稚鱼集中在中心点,为 $1.10 \text{ ind./100 m}^3$ ;安庆江段主要分布在南岸点,为 $0.36 \text{ ind./100 m}^3$ ;靖江江段主要集中分布在南北两岸,分别为 $6.03$ 和 $5.13 \text{ ind./100 m}^3$ ,且各采样点密度均高于其它江段。

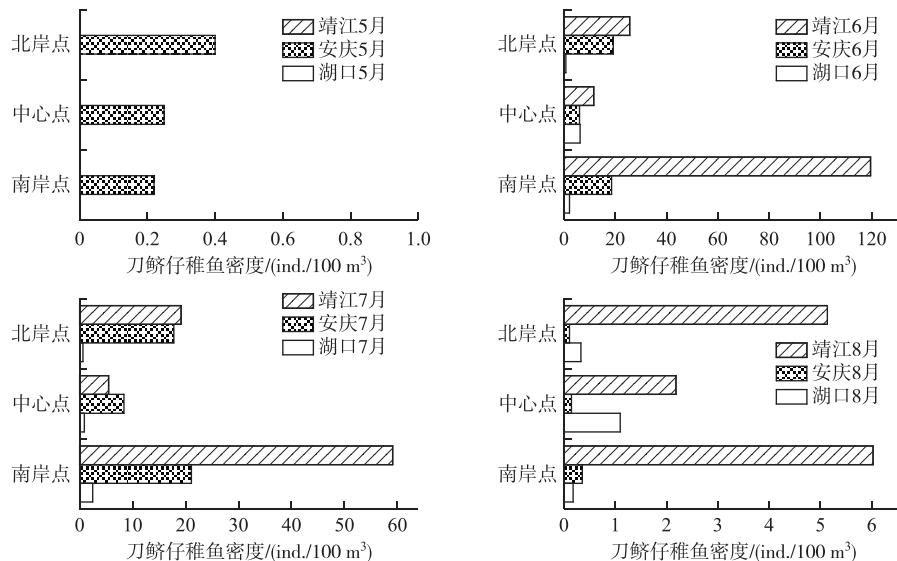


图 4 5—8月长江下游各江段刀鲚仔稚鱼密度的空间分布

Fig.4 The spatial distribution of density of larvae and juvenile *Coilia nasus* in each section of the lower reaches of Yangtze River from May to August

#### 2.4 聚类分析

将6—8月各江段刀鲚仔稚鱼密度进行聚类分析,由各月份聚类分析树状图可以看出,以相似度22.01为界限可将9个月份分为两组(图5):安庆8月单独聚为一组,其余月份聚为一组。其中,湖口6—8月、安庆6—7月、靖江6—8月以相似度44.47为界限可分为两个小组:湖口6月、7月和8月相似度较高,聚为一组;靖江6月、7月、8月和安庆6月、7月相似度较高,聚为一组。

基于各时期间Bray-Curtis相似性指数的9个月份刀鲚仔稚鱼密度MDS平面图(图6)的胁强系数为0.01 (Stress<0.05),能很好地解释各月份间的聚类结果,MDS图具有很好的代表性。相似性分析(Analysis of similarity, ANOSIM)对组间差异显著性进行检验,结果显示 $R=0.85$ ,  $P(\text{level}\%) = 11.1\%$ ,说明两组间差异性不显著。

### 3 讨论

#### 3.1 各江段刀鲚仔稚鱼丰度的时间特征

黎雨轩<sup>[14]</sup>在长江洄游性刀鲚繁殖生物学的研究中,对安庆、靖江和崇明3个江段刀鲚成熟个体的性体指数(CSI)和性腺发育分期进行了时空变化上的分析,发现刀鲚在4月份不进行繁殖,从长江下游往上游,5、6月份在河口附近进行繁殖,6、7月份在靖江繁殖,7、8月则在安庆繁殖。王生等<sup>[29]</sup>在鄱阳湖湖口对刀鲚幼鱼出现时间的研究,推测出湖口江段洄游刀鲚成熟个体产卵时间大概在5—6月左右。本研究发现,刀鲚仔稚鱼在湖口、安庆和靖江江段在6月下旬至7月上旬之间均出现一段高峰期,刀鲚密度的高峰期出现时间较短,这可能和其产卵类型有关,徐钢春等对刀鲚卵巢的研究发现刀鲚属于和鳗鲡等鱼类相似的同步型产卵类型,一年产一次卵,但一生中可多次繁殖活动<sup>[17, 30]</sup>。本研究中刀鲚仔稚鱼大量出现在湖口和靖江江段

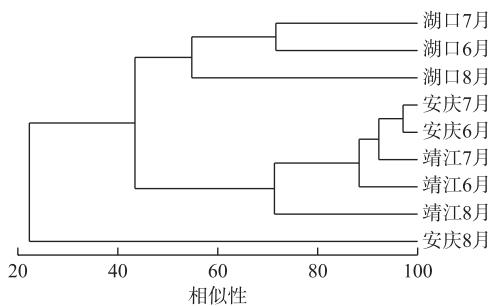


图 5 6—8 月各江段刀鲚仔稚鱼密度聚类分析

Fig.5 The density cluster analysis of larvae and juvenile *Coilia nasus* in each section of the Yangtze River from June to August

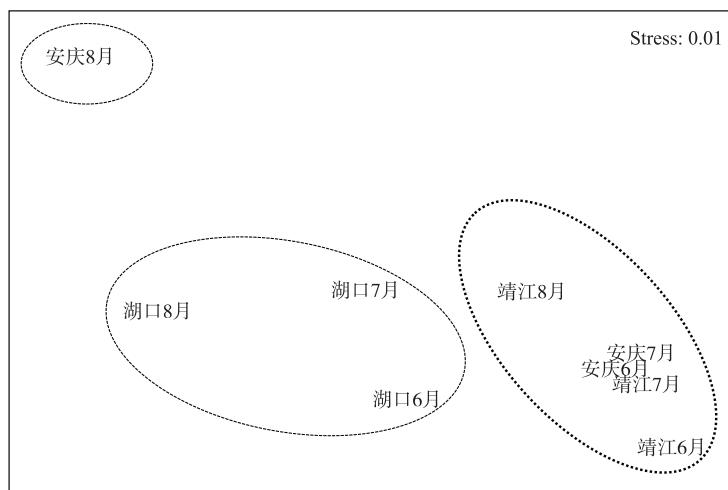


图 6 6—8 月各江段刀鲚仔稚鱼密度非参数多维尺度分析

Fig.6 The density in nonparametric multidimensional scaling analysis of larvae and juvenile *Coilia nasus* in each section of the Yangtze River from June to August

主要发生在 6 月下旬,安庆江段发生在 7 月上旬,这和上述学者研究刀鲚成熟个体在这几个江段产卵的时期大致相同。

现在普遍观点认为长江中刀鲚具有两种生态类型:淡水定居型与溯河洄游型。原来直接将短颌鲚划分为淡水定居型,长颌鲚划分为溯河洄游型,但近年徐钢春等<sup>[31]</sup>通过耳石微化学证明了短颌鲚也存在溯河洄游型个体,姜涛等<sup>[3]</sup>也通过对短颌鲚和长颌鲚矢耳石形态学的对比鉴定发现了长颌鲚中存在淡水定居型个体,传统的通过上颌骨长短来区分刀鲚生态类型的方法已经有了一定的不确定性。湖口江段靠近鄱阳湖,其鱼类组成中定居型刀鲚较多<sup>[20]</sup>。从刀鲚洄游的角度分析各江段暴发期出现的时间,刀鲚自下而上洄游,游至湖口产卵的时间应在安庆之后,但本研究发现湖口刀鲚仔稚鱼密度高峰期出现在安庆江段之前,基于刀鲚洄游产卵的时期先后和湖口江段的鱼类组成结构,推断这种现象是由于湖口江段定居型刀鲚产卵造成的。安庆江段衔接湖口江段,也是长江下游鱼类重要的洄游通道之一,鱼类仔稚鱼时期活动能力较弱,处于被动漂流阶段,一般顺水漂流而下,7 月份安庆江段刀鲚仔稚鱼的大量出现可能有部分来自湖口江段<sup>[32]</sup>。

### 3.2 各江段刀鲚仔稚鱼空间分布

各月份刀鲚仔稚鱼密度的空间分布和聚类分析结果显示,安庆和靖江江段具有一定的相似性,湖口江

段则被分隔开来,刀鲚仔稚鱼密度总体在湖口江段较少,但8月份湖口密度高于安庆,表明8月份湖口水域产卵群体的数量较安庆多。究其原因,这可能与湖口江段地理位置的特殊性对刀鲚发育的影响有关。基于刘熠等<sup>[33]</sup>调查研究发现,2016年7月中下旬湖口江段发生了江水倒灌现象。湖口江段连通长江和鄱阳湖,作为一个必要的环境单元结构参与形成江湖复合生态系统,而江水倒灌则是这个复杂生态系统的表现机制之一,它对许多鱼类的繁殖和补充起着重要的作用<sup>[34-35]</sup>。李云良等<sup>[36]</sup>对长江倒灌鄱阳湖的水动力研究表明,贯穿整个湖区的主河道的流速是受倒灌影响最显著的区域。徐钢春等<sup>[37]</sup>研究发现,刀鲚性腺的完全发育成熟需要一定程度的江水流速刺激,长江倒灌正好为鄱阳湖中的刀鲚性腺发育提供了相应条件,使得湖口水域刀鲚产卵群体增多。

刀鲚自然条件下产卵较喜好平缓的水流,少敌害而浮游动物丰富的水域,如长江沿岸水流较缓的通江支流和湖泊等<sup>[38]</sup>。本研究中南岸、北岸和中心3个采样点刀鲚密度之间差异在各江段的表现不尽相同,湖口江段南北两岸差异性显著,安庆江段中心点与两岸差异性显著,靖江江段南岸与中心点差异性显著,这可能是由于沿岸地形和水体动力学差异所产生的现象。湖口采样点处位于鄱阳湖与长江交汇的不远处,由于江湖水的汇合产生,中心地带的流速加快,造成南北两岸分布上的差异<sup>[39]</sup>。有研究表明,洄游性刀鲚产卵群体通常在靠近江心的水域快速上溯寻找产卵场,而仔稚鱼和幼鱼则选择栖息在沿岸一带育肥和移动<sup>[40]</sup>。安庆江段江面相对较窄,水域环境较为平和,因此,在环境较良好的情况下,刀鲚仔稚鱼更多地聚集在两岸一带。靖江江段靠近长江口,常有沙洲将江水分流,加上潮汐的影响也易造成空间上的差异<sup>[21]</sup>。地理环境的影响在对各月份刀鲚密度的空间分布结果中也有体现,湖口江段在大部分月份都集中在中心点,而安庆南北两岸在各月分布都较为均匀,靖江江段南岸在各月均保持优势。

### 3.3 刀鲚仔稚鱼丰度和环境因子的关系

刀鲚在自然条件下产卵,除了自身内部生殖腺需逐渐步入成熟阶段,体内囤积大量的脂肪为洄游和性腺发育提供大量能量外,达到繁殖条件还需要外界环境的刺激,如水温、盐度和水流量等因素<sup>[7]</sup>。历史对刀鲚产卵场基本需求的研究得出,刀鲚喜好选择产卵水深约0.5~3.0 m,水流需要平缓,流速约0.057~0.075 m/s,水温在15.0~27.5℃,水质良好无污染且富有浮游动物的水域<sup>[38]</sup>。本研究在湖口、安庆和靖江3个江段刀鲚仔稚鱼高峰期时的水流量均处于较低水平,温度分别为25.87、25.27和21.67℃,均达到了刀鲚产卵所需条件。何为等<sup>[41]</sup>在南通和安庆江段对刀鲚性腺发育规律进行研究,发现性腺的成熟和水温及洄游时间密切相关;徐钢春等<sup>[42]</sup>通过培育的刀鲚性腺的抽样检查对自然状态下产卵的规律分析得到刀鲚产卵的最低和最高水温分别为20.0和30.5℃,本研究的3个江段温度变化范围为20.87~30.03℃,符合性腺在自然条件下发育成熟的温度条件。

## 4 小结

本研究在刀鲚繁殖期内对长江下游湖口、安庆和靖江江段的刀鲚仔稚鱼时空格局进行了系统的研究,结果发现,在调查期间,靖江江段刀鲚仔稚鱼平均密度最高;由于刀鲚生活史的同步型产卵,刀鲚仔稚鱼在3个江段均出现一段时间较短的暴发期,而湖口刀鲚仔稚鱼的暴发时间早于安庆和靖江江段的现象可能是由于湖口江段定居型刀鲚产卵造成;湖口江段8月产卵群体较多,推测可能是由于长江江水倒灌鄱阳湖的特殊环境现象刺激了刀鲚性腺的发育所致;各江段断面空间上的刀鲚仔稚鱼密度差异可能是沿岸地形和水体动力学差异所造成的。本研究为探索资源变动规律与资源保护策略的关系提供了科学依据,但后期仍需进行许多更为细致的工作,如增加调查江段并对刀鲚早期不同发育阶段组成的时空变化进行研究等,今后将持续系统调查刀鲚早期资源的分布,尤其是产卵场的确定和特征分析,以期能够更加清晰地认识长江下游刀鲚仔稚鱼的时空变化特征。

致谢:感谢上海海洋大学的叶昆同学和刘思磊同学在野外鱼类早期资源采样中的帮助。

## 5 参考文献

- [ 1 ] Ni Y, Wu HL eds. Fishes of Jiangsu Province. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 205. [倪勇,伍汉霖. 江苏鱼类志. 北京:中国农业出版社, 2006: 205.]

- [ 2 ] Yuan CM, Qin AL, Liu RH et al. On the classification of the anchovies, *Coilia*, from the lower Yangtze River and the southeast coast of China. *Journal of Nanjing University*, 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. 南京大学学报, 1980, (3) : 67-82.]
- [ 3 ] Jiang T, Zhou XQ, Liu HB et al. Two microchemistry patterns in otoliths of *Coilia nasus* from Lake Poyang, China. *Journal of Fisheries of China*, 2011, **35**(3) : 23-31. [姜涛, 杨健, 刘洪波等. 刀鲚、凤鲚和湖鲚矢耳石的形态学比较研究. 海洋科学, 2011, **35**(3) : 23-31.]
- [ 4 ] Xie P, Chen YY. Evil quartet of inland waters in China: Impact of human activities on the loss of biodiversity. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(SUPPL.).
- [ 5 ] Li ML, Huang SL. Analysis of the effects and countermeasures of large hydraulic structures on fishery resources in Yangtze River. *Journal of Shanghai University*, 2009, **18**(6) : 759-764. [李美玲, 黄硕琳. 大型水工建筑对长江渔业资源影响及对策浅析. 上海海洋大学学报, 2009, **18**(6) : 759-764.]
- [ 6 ] Mao CZ, Jiao XM, Zhong JS et al. Research progress on resource status and protection of *Coilia nasus* in Yangtze River Estuary. *Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Sciences Edition*, 2015, **24**(3) : 78-83. [毛成责, 矫新明, 钟俊生等. 长江口刀鲚资源现状及保护研究进展. 淮海工学院学报:自然科学版, 2015, **24**(3) : 78-83.]
- [ 7 ] Yuan CM. Spawning migration of *Coilia nasus*. *Bulletin of Biology*, 1987, (12) : 3-5. [袁传宓. 刀鲚的生殖洄游. 生物学通报, 1987, (12) : 3-5.]
- [ 8 ] Huang YF. Temporal and spatial variability of distribution and growth of anadromous *Coilia ectenes* larvae in the Yangtze River [ Dissertation ]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2014. [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[学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2014.]
- [ 9 ] Liu K, Duan JR, Xu DP et al. Present situation of *Coilia nasus* population features and yield in Yangtze River estuary waters in fishing season. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(12) : 3138-3143. [刘凯, 段金荣, 徐东坡等. 长江口刀鲚渔汛特征及捕捞量现状. 生态学杂志, 2012, **31**(12) : 3138-3143.]
- [ 10 ] Zhang MY, Xu DP, Liu K et al. Studies on biological characteristics and change of resource of *Coilia nasus* Schlegel in the lower reaches of the Yangtze River. *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.]
- [ 11 ] Saunders D, Meeuwig J, Vincent A. Freshwater protected areas: strategies for conservation. *Conservation Biology*, 2002, **16**(1) : 30-41.
- [ 12 ] Ge KK, Zhong JS. Daily-age structure and growth characteristics of *Coilia nasus* larvae and juveniles in the surf zone of Yangtze River estuary. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(4) : 716-721. [葛珂珂, 钟俊生. 长江口沿岸碎波带刀鲚仔稚鱼的日龄组成与生长. 水生生物学报, 2010, **34**(4) : 716-721.]
- [ 13 ] Ge KK, Zhong JS, Wu MQ et al. Distribution and abundance of larval Japanese grenadier anchovy *Coilia nasus* in the surf zone of the Yangtze River estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, **16**(6) : 923-930. [葛珂珂, 钟俊生, 吴美琴等. 长江口沿岸碎波带刀鲚仔稚鱼的数量分布. 中国水产科学, 2009, **16**(6) : 923-930.]
- [ 14 ] Li YX. Reproductive ecology of anadromous *Coilia ectenes* in the Yangtze River [ Dissertation ]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2009. [黎雨轩. 长江洄游性刀鲚的繁殖生态学研究[学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.]
- [ 15 ] Li AD, Zhong JS, Luo YM et al. Distribution and abundance of *Coilia nasus* larvae and juveniles in the southern branch of Yangtze River Estuary. *Journal of Shanghai University*, 2015, **24**(5) : 745-753. [李安东, 钟俊生, 罗一鸣等. 长江南支水域刀鲚仔稚鱼数量变动的研究. 上海海洋大学学报, 2015, **24**(5) : 745-753.]
- [ 16 ] Shi YK, Zhang GY, Zhang MH et al. Complete artificial propagation and embryonic development of *Coilia nasus*. *Journal of Shanghai University*, 2015, **24**(1) : 36-43. [施永海, 张根玉, 张海明等. 刀鲚的全人工繁殖及胚胎发育. 上海海洋大学学报, 2015, **24**(1) : 36-43.]
- [ 17 ] Xu GC. The gonad development regularity, artificial reproduction and early life histology of *Coilia nasus* [ Dissertation ]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010. [徐钢春. 刀鲚(*Coilia nasus*)性腺发育、人工繁殖及早期生活史的研究[学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2010.]
- [ 18 ] Zhang Y. Composition and distribution of zooplankton in the surf zone of Yangtze River estuary and the relating with *Coilia nasus* larvae feeding [ Dissertation ]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [张宇. 长江口沿岸碎波带浮游动物分布与刀鲚仔稚鱼摄食相关性研究[学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2011.]

- [19] Chen D, Xiong F, Wang K et al. Status of research on Yangtze fish biology and fisheries. *Environmental Biology of Fishes*, 2009, **85**(4): 337-357.
- [20] Hu ML, Wu ZQ, Liu YL. Fish diversity and community structure in Hukou area of Lake Poyang. *J Lake Sci*, 2011, **23**(2): 246-250. DOI: 10.18307/2011.0213. [胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域鱼类群落结构及种类多样性. 湖泊科学, 2011, 23(2): 246-250.]
- [21] Chen WJ, Gu SX. The Yangtze River in Jingjiang section of *Coilia nasus* resources investigation report. *Journal of Aquaculture*, 2012, **33**(7): 10. [陈卫境, 顾树信. 长江靖江段刀鲚资源调查报告. 水产养殖, 2012, 33(7): 10.]
- [22] Cao WX ed. Fish resources of early life history stages in Yangtze River. Beijing: China Water Power Press, 2007: 2-44. [曹文宣. 长江鱼类早期资源. 北京:中国水利水电出版社, 2007: 2-44.]
- [23] Yi BL, Yu ZT, Liang ZS et al. The distribution, natural conditions and breeding production of the spawning grounds of four famous freshwater fishes on the main stream on the Yangtze River. In: Yi BL, Yu ZT, Liang ZS et al eds. Gezhouba water control project and four famous fishes in Yangtze River. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988: 1-46. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊等. 长江干流草, 青, 鲢, 鲔四大家鱼产卵场的分布, 规模和自然条件. 见: 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊等编. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 1-46.]
- [24] Clarke K, Gorley R. Primer v5: user manual/tutorial. Primer-E, Plymouth, UK. PRIMER v5: User manual/tutorial PRIMER-E, Plymouth, UK, 2001: 91.
- [25] Clarke KR, Warwick RM. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. *Mount Sinai Journal of Medicine New York*, 2014, **40**(5): 689-692.
- [26] Wu RJ, Li RX, Zhu MY et al. Multivariate analysis with primer on marine phytoplankton community structure in mesocosm system. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2006, **37**(4): 316-321. [吴荣军, 李瑞香, 朱明远等. 应用 PRIMER 软件进行浮游植物群落结构的多元统计分析. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 316-321.]
- [27] Zhou H, Zhang ZN. Rationale of the multivariate statistical Software PRIMER and Its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Science*, 2003, **33**(1): 58-64. [周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 58-64.]
- [28] Khalaf MA, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, **239**: 287-299.
- [29] Wang S, Fang CL, Zhou HM et al. Changes in the fishing season and daily catch of *Coilia ectenes* in Poyang Lake. *Journal of Hydroecology*, 2017, **38**(6): 82-87. [王生, 方春林, 周辉明等. 鄱阳湖刀鲚的渔汛特征及渔获物分析. 水生态学杂志, 2017, 38(6): 82-87.]
- [30] Yuan CM, Lin JB, Liu RH et al. The age and growth of *Coilia nasus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1978, (3): 285-298. [袁传宓, 林金榜, 刘仁华等. 刀鲚的年龄和生长. 水生生物学集刊, 1978, (3): 285-298.]
- [31] Xu GC, Gu RB, Liu HB et al. Fluctuation of Sr/Ca in otoliths of *Coilia nasus* in the Yangtze River and the validation for the anadromous migratory history. *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. 水产学报, 2014, 38(7): 939-945.]
- [32] Zhu DL. Natural reproduction and embryonic development of *Coilia nasus* in the Yangtze River. *Fisheries Science & Technology Information*, 1992, (2): 49-51. [朱栋良. 长江刀鱼的天然繁殖与胚胎发育观察. 水产科技情报, 1992, (2): 49-51.]
- [33] Liu Y, Yang XW, Ren P et al. Community characteristics of larvae and juvenile fish in hukou section of the Yangtze River in spring and summer. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(1): 142-154. [刘熠, 杨习文, 任鹏等. 长江湖口段春夏季仔稚鱼群落结构研究. 水生生物学报, 2019, 43(1): 142-154.]
- [34] Yang SR, Li MZ, Zhu QG et al. spatial and temporal variations of fish assemblages in Poyang Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(1): 54-64. [杨少荣, 黎明政, 朱其广等. 鄱阳湖鱼类群落结构及其时空动态. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 54-64]
- [35] Chang JB, Chao WX. The significance of fishery in lakes connected to the river and its resource management countermeasures. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, **8**(2): 153-157. [常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 153-157.]
- [36] Li YL, Yao J, Zhang Q. Numerical study on the hydrodynamic influences of the Yangtze River backflow into Poyang Lake.

- J Lake Sci*, 2017, **29**(5): 1227-1237. DOI: 10.18307/2017.0521. [李云良, 姚静, 张奇. 长江倒灌对鄱阳湖水文水动力影响的数值模拟. 湖泊科学, 2017, **29**(5): 1227-1237.]
- [37] Xu GC. Molecular mechanism of population-asynchronous spawning in *Coilia nasus* based on Multi-Omics [Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017. [徐钢春. 基于组学的刀鲚群体产卵不同步分子机制研究[学位论文]. 南京:南京农业大学, 2017.]
- [38] Li MZ, Duan ZH, 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. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, **20**(8): 957-962. [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. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(8): 957-962.]
- [39] Chen YY, Xu YG et al eds. Development of aquatic organisms and their resources in Honghu Lake. Beijing: Academic Press, 1995: 229-231. [陈宜瑜, 许蕴环等. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社, 1995: 229-231.]
- [40] Guo HY, Liu D, Zhang XG. Growth, mortality and recruitment pattern of *Coilia nasus* at Jingjiang section of the Yangtze River. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, **36**(10): 2831-2839. [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. 生态学杂志, 2017, **36**(10): 2831-2839.]
- [41] He W, Li JL. Study on the development law of *coilia nasus* in the Yangtze river. *China Fisheries*, 2006, (5): 70-72. [何为, 李家乐. 长江刀鲚性腺发育规律的研究. 中国水产, 2006, (5): 70-72.]
- [42] Xu GC, Nie ZJ, Du FK et al. Intensive culture and natural spawning of broodstock *Coilia nasus* under artificial feeding conditions. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(6): 1194-1200. [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. 水生生物学报, 2016, **40**(6): 1194-1200.]