

## 东海星康吉鳗野生群体繁殖生物学相关特性周年变化

汝高盟<sup>1</sup>, 刘添宇<sup>1</sup>, 李 慷<sup>1</sup>, 李晓龙<sup>1</sup>, 陈桃英<sup>1,2,3</sup>, 刘利平<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 中国-东盟海水养殖技术“一带一路”联合实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 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:** 为了掌握星康吉鳗(*Conger myriaster*)野生群体繁殖相关性状, 实验采用外部形态特征、性腺组织学观察和形态指标体系分析, 研究了浙江嵊泗附近东海海域星康吉鳗繁殖生物学相关特性的周年变化。在2017年10月至2018年10月间共采集星康吉鳗235尾。结果显示, 浙江嵊泗附近海域常年有星康吉鳗分布; 体长为494~631 mm的星康吉鳗占79.1%、体质量为140~390 g的星康吉鳗占79.1%; 星康吉鳗的平均体质量、体长、肥满度和性腺指数在2018年1月最高, 2018年4月最低, 而肝体指数在2018年4月最高。周年采集的235尾样本中, 仅发现1尾雄鱼(0.43%), 另有6尾幼鱼未发现性腺, 无法分辨性别。雄鱼仍处于精原细胞阶段, 雌鱼卵母细胞处于核仁周期至次级卵黄球期, 处于核仁周期和油球早期的星康吉鳗雌鱼分别占总量的21.28%和61.70%, 此时卵母细胞直径为51.12~167.73  $\mu\text{m}$ , 核径为26.71~83.42  $\mu\text{m}$ 。分析表明, 从核仁周期到次级卵黄球时期, 星康吉鳗雌鱼的肥满度显著上升( $P<0.05$ )。本研究可为星康吉鳗资源评估及人工繁殖提供详细的基础资料。

**关键词:** 星康吉鳗; 繁殖生物学; 性腺发育; 东海

**中图分类号:** S 917.4      **文献标志码:** A

星康吉鳗(*Conger myriaster*)俗称星鳗、沙鳗, 属硬骨鱼纲(Osteichthyes)鳗鲡目(Anguilliformes)康吉鳗科(Congridae)星鳗属(*Conger*), 是一种海洋底层鱼类<sup>[1-2]</sup>, 广泛分布于我国东海、黄海、渤海以及朝鲜半岛和日本附近海域<sup>[3]</sup>, 是东亚国家重要的经济鱼种。星康吉鳗营养期主要生活在大陆架边缘水域, 繁殖期的星康吉鳗移向深水区, 低龄和小个体的星康吉鳗则随水域温度等因素进行季节性的迁徙洄游<sup>[4]</sup>。近些年来, MU等<sup>[5]</sup>利用星康吉鳗耳石化学特性研究其繁殖区和迁徙模式, 证实了中国沿海海域的星康吉鳗来自于北太平洋西部的同一产卵区。星康吉鳗在生殖洄游时, 性腺逐步发育成熟, 据报道, 在韩国海岸捕获的星康吉鳗平均性腺指数为2.36%<sup>[6]</sup>, 而成熟时性腺指数可达40%<sup>[7-8]</sup>。星康吉鳗的洄游时间较长, 从夏季到冬季, 随着洋

流进入中国海域, 最终在春季到达中国黄海及东海海岸<sup>[9]</sup>。星康吉鳗性腺及卵细胞发育的研究并不完善<sup>[10-11]</sup>, 尚无从自然界获取到完全成熟的卵细胞的报道。有学者通过人工繁殖手段对养殖的星康吉鳗的卵巢和卵母细胞进行研究, 如UTOH等<sup>[12-13]</sup>通过调控温度和注射人绒毛膜促性腺激素获得成熟的卵细胞及具有活性的精子, 但初孵仔鱼存活时间极短。

星康吉鳗人工养殖的幼苗主要来自天然捕捞, 近年来, 由于过度捕捞, 其野生资源量下降。数据显示, 1995—2008年日本海域星康吉鳗渔获量从13 000 t降到6 300 t; 1985—2001年韩国海域星康吉鳗渔获量从20 000 t降到8 000 t<sup>[14]</sup>。目前, 星康吉鳗的人工繁殖尚未突破, 相关研究主要集中在养殖、营养成分、染色体组型、资源与分布、渔具选择与捕食行为等方面<sup>[7-8, 15-20]</sup>, 对其繁殖

收稿日期: 2024-09-29      修回日期: 2025-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(32072994); 国家重点研发计划(2022YFE0203900); 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心开放基金(RE201901)

作者简介: 汝高盟(1997—), 女, 博士研究生, 研究方向为水产养殖。E-mail: 643801486@qq.com

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

生物学特性的基础研究报道较少,主要集中在卵母细胞发育、精子结构等方面<sup>[11-12,14,21]</sup>。本论文在浙江舟山附近海域采集一年(2017年10月—2018年10月)的星康吉鳗样本,通过外部形态特征变化、性腺组织学观察、形态指标体系等分析浙江嵊泗附近海域东海星康吉鳗繁殖生物学相关特征,旨在为其资源评估及人工繁殖提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 星康吉鳗的采集

样品采集于浙江舟山嵊泗附近海域,于2017年10月—2018年10月期间共采集8次(2017年10月、12月,2018年1月、3—6月及10月),每次采集30尾左右,共采集235尾样本。

### 1.2 生物学相关指标测定

星康吉鳗生物学指标包括体质量、体长(Body length,  $B_L$ )、肛长、腹围、头长(Head length,  $H_L$ )、吻长(Snout length,  $S_L$ )、左胸鳍长(Pectoral fin length,  $P_L$ )、左眼水平眼径(Horizontal eye diameter)及左眼垂直眼径(Vertical eye diameter)。

具体形态指标测量参考图1。解剖后,取性腺和肝脏称重(精确至0.1 g)。计算性腺指数(Gonadosomatic index, GSI)、肝体指数(Hepatosomatic index, HSI)、肥满度(Fatness, K)、眼径指数(Eye index, EI)、胸鳍指数(Pectoral fin index, PI)和肛长指数(Anal length index, AI)。生物学相关指数的计算参考吴盟等<sup>[11]</sup>、谢刚等<sup>[22]</sup>研究方法,公式如下:

$$G_{SI} = (G_W / B_W) \times 100\% \quad (1)$$

$$H_{SI} = (L_W / B_W) \times 100\% \quad (2)$$

$$K = (B_W / B_L^3) \times 100 \quad (3)$$

$$E_I = \left\{ \left[ (V_D + H_D) / 4 \right]^2 \times \pi / T_L \right\} \times 100\% \quad (4)$$

$$P_I = (P_L / T_L) \times 100\% \quad (5)$$

$$A_I = (A_L / T_L) \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $G_{SI}$  为性腺指数 GSI, %;  $G_W$  为性腺质量, g;  $B_W$  为体质量, g;  $H_{SI}$  为肝体指数 HIS, %;  $L_W$  为肝脏质量, g;  $K$  为肥满度;  $B_L$  为体长, cm;  $E_I$  为眼径指数, %;  $V_D$  为左眼水平直径, mm;  $H_D$  为右眼垂直直径, mm;  $P_I$  为胸鳍指数 PI, %;  $P_L$  为胸鳍鳍长, mm;  $T_L$  为全长, mm;  $A_L$  为肛长, mm。

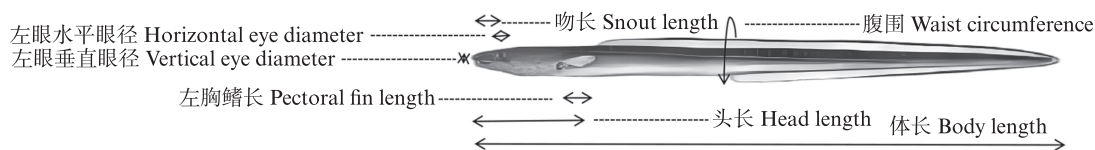


图1 星康吉鳗形态指标测量框架图

Fig. 1 Measurement framework diagram of morphological indicators for *Conger myriaster*

### 1.3 性腺组织切片

取性腺的前、中、后部分组织, Bouin's 液固定 24 h 后, 转入 70% 乙醇中保存, 80%、90%、100%、100% 乙醇梯度脱水 25 min, 二甲苯透明, 浸于石蜡中水浴 45~55 min (60 °C), 包埋, 冷却后切片 (厚度 5 μm), 烘干 (无风, 40 °C, 3~4 h), 采用 H.E 染色, 中性树胶封片。用 Nikon DS-Ri1 型光学显微镜拍照观察, Image-Pro Plus 6.0 图像分析软件测量卵母细胞直径、细胞核直径和油滴直径。测量卵细胞直径和细胞核直径时, 随机选择 30 个卵细胞进行测量; 测量油滴直径时, 每个卵母细胞随机测量 10 个油滴的直径。参考林鼎等<sup>[23]</sup>和 UTOH 等<sup>[24]</sup>的分期方法划分星康吉鳗生殖细胞的时相。

### 1.4 形态指标体系分析

为消除鱼体规格对分析产生的影响, 将头部的度量特征值除以头长, 剩余度量特征值除以体长, 转化为标准化性状, 连同眼径指数、胸鳍指数、肛长指数及肥满度等共 9 个性状, 应用单因素方差分析 (One-way ANOVA)、主成分分析 (Principal component analysis, PCA)、聚类分析 (Cluster analysis) 3 种分析方法, 分析各个发育时期形态指标间的差异及相互关系。

单因素方差分析: 若方差齐性, 采用 ANOVA 检验; 若方差不齐, 则采用 Duncan's 法进行多重比较检验, 以  $P < 0.05$  为差异显著。

主成分分析: 主成分分析是将多个指标化为少数指标的统计方法, 对上述 1.2 中的 9 个性状的数据进行分析<sup>[25-26]</sup>。

## 1.5 数据分析

实验数据用Excel软件处理,均用平均值±标准差(Mean±SD)表示,采用SPSS20.0统计软件对实验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)。

## 1.6 实验伦理说明

所有鱼类的处理均遵循上海海洋大学动物伦理委员会(2016年第4号)的指导原则以及《实验动物管理条例》(经中华人民共和国国务院批

准并授权)。

## 2 结果

### 2.1 东海星康吉鳗形态学周年变化特征

#### 2.1.1 体长、体质量及生长变化的关系

从图2可以看出,在2017年10月—2018年10月采集周期中,235尾星康吉鳗的体质量为90~740 g,平均(282.95±115.28)g;体长为402~768 mm,均值为(566.20±64.37) mm。

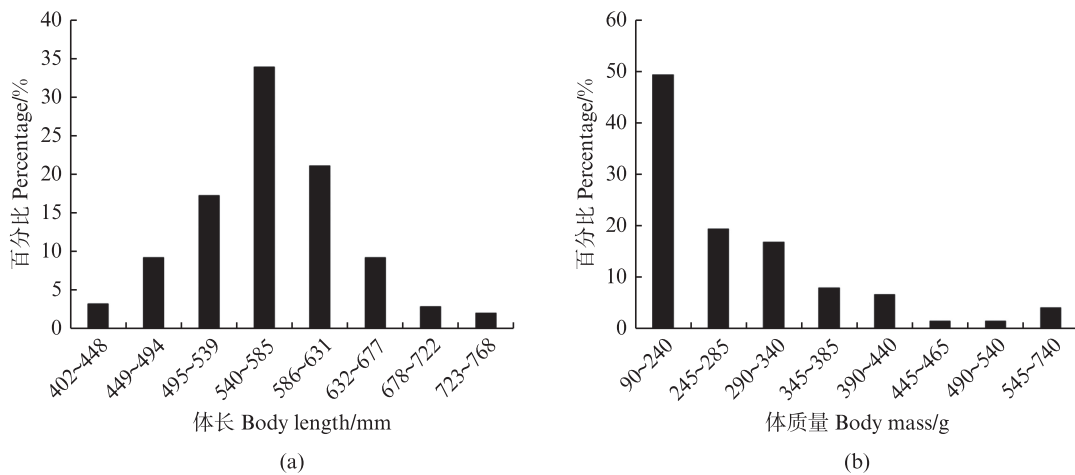


图2 东海星康吉鳗群体体长和体质量周年变化特征

Fig. 2 Distribution of body length and body mass of *Conger myriaster* during the reproductive period

根据星康吉鳗体长和体质量实测值拟合回归曲线,发现体长(L)和体质量(W)呈指数函数关系(图3),符合 $W=aL^b$ 方程<sup>[27]</sup>, $a$ 是条件因子, $b$ 是异速生长系数。因此得到星康吉鳗体长与体质量的回归方程: $W=2\times 10^{-7}L^{3.2993}$  ( $r=0.9442$ ,  $P<0.05$ )。  $b>3$ 表明星康吉鳗呈正异速生长,即星康吉鳗的体长越长,其肥满度越高。

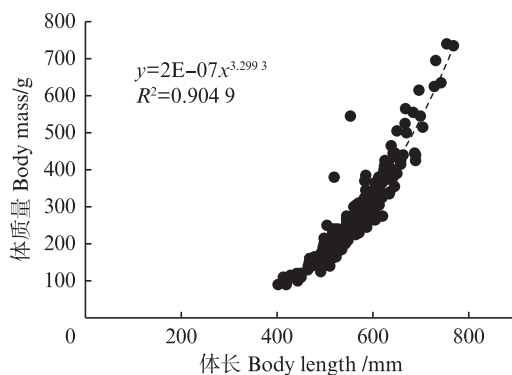


图3 星康吉鳗全长与体质量的幂指数函数关系

Fig. 3 Power-exponential function relationship between body length and body mass of *Conger myriaster*

#### 2.1.2 体长、体质量及肥满度间的比较

对235尾星康吉鳗按照体长分类,计算体质量与体长的比值(W/L比率)和肥满度。结果发现,星康吉鳗W/L比率随着鱼体的增长而逐渐增加,表明体质量的增长快于体长的增长。从表1可以看出,随着体长的增长,星康吉鳗的肥满度并没有呈现逐步增加的趋势。与日本鳗鲡相比,相同体长范围内星康吉鳗的肥满度略高于日本鳗鲡<sup>[22]</sup>。

#### 2.1.3 生长参数的周年变化

表2为星康吉鳗的形态学参数体质量、体长和肥满度以及肝体指数和性腺指数的周年变化情况,星康吉鳗平均体质量(282.95±115.28)g (90~740 g)。1月平均体质量最大(415.34±132.25)g,4月平均体质量最小(187.50±63.42)g。体长为402~768 mm,平均体长(566.2±64.37) mm,1月平均体长最大为(638.17±55.05) mm,4月平均体长最小为(504.23±55.28) mm。肥满度为0.11~0.67,平均肥满度为0.15±0.02,12月平均肥满度最大为0.16±0.30,4月平均肥满度最小为

0.14±0.01。肝体指数在4月达到最大(1.29%±0.32%), 最大(1.25%±0.83%),4月最小(0.55%±0.33%)。10月最小(1.01%±0.18%)。性腺指数在1月达到

表1 不同体长星康吉鳗的体质量/体长比率、肥满度和性腺指数  
Tab. 1 Body mass/body length, fatness and gonadosomatic index of *Conger myriaster* in different body length groups

体长 Body length/mm	数量 Number/尾	体质量/体长比率 W/L ratio	肥满度 K	性体指数 GSI/%
402~448	8	2.43±0.23 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	0.16±0.11 <sup>a</sup>
449~494	22	3.13±0.33 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	0.41±0.27 <sup>ab</sup>
495~539	41	3.93±0.72 <sup>b</sup>	0.15±0.03 <sup>a</sup>	0.70±0.40 <sup>a</sup>
540~585	80	4.73±0.82 <sup>cg</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.81±0.29 <sup>ab</sup>
586~631	50	5.39±0.64 <sup>d</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	0.98±0.39 <sup>ab</sup>
632~677	22	6.60±0.82 <sup>e</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	1.28±1.01 <sup>b</sup>
678~722	7	7.30±1.01 <sup>e</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	1.57±0.40 <sup>b</sup>
723~768	5	9.21±0.59 <sup>f</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>	1.95±0.92 <sup>b</sup>
合计与均值 Total and mean	235	4.85±1.44 <sup>g</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.86±0.55 <sup>ab</sup>

注:同行不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。  
Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences(P<0.05).

表2 星康吉鳗体质量、体长、肥满度和肝体指数、性腺指数的周年变化情况  
Tab. 2 Analysis of body mass, body length, fatness, HSI and GSI of *Conger myriaster* collected in every month

采样时间 Date	尾数 Number/尾	体质量 Body mass/g	体长 Body length/mm	肥满度 Fatness	肝体指数 HSI/%	性腺指数 GSI/%
2017.01	28	267.14±103.72 <sup>ad</sup>	548.50±59.35 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	1.11±0.22 <sup>a</sup>	0.75±0.43 <sup>a</sup>
2017.12	30	319.50±127.40 <sup>bf</sup>	578.53±63.02 <sup>ac</sup>	0.16±0.03 <sup>a</sup>	1.26±0.27 <sup>a</sup>	1.09±0.62 <sup>a</sup>
2018.01	29	415.34±132.25 <sup>c</sup>	638.17±55.05 <sup>b</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	1.12±0.21 <sup>a</sup>	1.25±0.83 <sup>a</sup>
2018.03	30	237.00±53.78 <sup>df</sup>	543.70±40.05 <sup>cd</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	1.22±0.29 <sup>a</sup>	0.61±0.14 <sup>a</sup>
2018.04	30	187.50±63.42 <sup>e</sup>	504.23±55.28 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	1.29±0.32 <sup>a</sup>	0.55±0.33 <sup>a</sup>
2018.05	28	277.07±104.59 <sup>f</sup>	565.46±64.67 <sup>cd</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	1.26±0.27 <sup>a</sup>	0.89±0.74 <sup>a</sup>
2018.06	30	292.67±65.56 <sup>f</sup>	581.33±42.12 <sup>cd</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	1.07±0.19 <sup>a</sup>	0.75±0.21 <sup>a</sup>
2018.01	30	270.33±107.87 <sup>f</sup>	570.87±50.34 <sup>cd</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	1.01±0.18 <sup>a</sup>	0.96±0.37 <sup>a</sup>
合计与均值 Total and mean	235	282.95±115.28 <sup>f</sup>	566.20±64.37 <sup>cd</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	1.17±0.24 <sup>a</sup>	0.86±0.55 <sup>a</sup>

注:同行不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。  
Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences(P<0.05).

2.1.4 不同发育时相间的形态学变化

不同发育时相的星康吉鳗在吻长/头长、头长/体长、胸鳍长/头长、胸鳍指数、水平眼径/头长、垂直眼径/头长等6项指标无明显变化(表3)。而眼径指数、肛长指数和肥满度随着发育时期而波动增加。

2.2 星康吉鳗性腺发育组织学特征

2.2.1 性腺组织学观察

星康吉鳗性腺成对,紧贴腹膜,与体壁通过膜连接。解剖观察,星康吉鳗的性腺呈长条带状,发育早期的星康吉鳗肉眼无法分辨雌雄。将235尾星康吉鳗进行解剖并取其性腺进行组织学

分析(表4),本实验采集的嵊泗周边海域的星康吉鳗雌雄比为228:1,此外有6尾幼鳗,由于未发现性腺,无法确定雌雄。

星康吉鳗雌鱼卵巢发育周期为核仁周期至次级卵黄球期。嵊泗周围海域全年中大部分星康吉鳗雌鱼处于核仁周期(图版-1,2)及油球早期(图版-3),分别占总量的21.28%和61.70%,此时卵母细胞直径为51.12~167.73 μm(图4a),核径为26.71~83.42 μm(图4b)。当卵细胞发育至油球后期时,出现明显嗜酸性放射带(图版-4,5),宽度为(1.76±0.46) μm,滤泡膜也从单层变成双层,此时油滴直径明显增加至(12.24±2.96) μm(图



4c)。少部分星康吉鳗雌鱼卵巢能发育到卵黄球期(图版-6, 7), 此时卵母细胞直径为 107.54~339.58  $\mu\text{m}$ (图 4a), 核径为 47.65~125.27  $\mu\text{m}$ (图

4b)。星康吉鳗雄鱼的精巢仍处于精原细胞阶段(图版-8)。

表 3 星康吉鳗卵巢不同发育时期生物学性状的变化  
Tab. 3 Morphology measuring results of *Conger myriaster* at different pigmentation stages

可量形状 Measurable characteristics	发育阶段 Developmental stages				
	核仁周期 PN	油球早期 e-OD	油球后期 I-OD	初级卵黄球期 PY	次级卵黄球期 SY
头长/体长 $H_L/T_L$	0.12±0.02 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>a</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>	0.12±0.03 <sup>a</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>
吻长/头长 $S_L/H_L$	0.40±0.08 <sup>a</sup>	0.38±0.05 <sup>a</sup>	0.40±0.11 <sup>a</sup>	0.44±0.27 <sup>a</sup>	0.33±0.07 <sup>b</sup>
胸鳍长/头长 $L_P/H_L$	0.50±0.10 <sup>a</sup>	0.48±0.07 <sup>a</sup>	0.53±0.17 <sup>a</sup>	0.59±0.45 <sup>a</sup>	0.51±0.14 <sup>a</sup>
水平眼径/头长 $H_D/H_L$	0.14±0.03 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	0.15±0.10 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>
垂直眼径/头长 $V_D/H_L$	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.11±0.03 <sup>a</sup>	0.13±0.09 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>
眼径指数 EI	9.39±2.14 <sup>b</sup>	9.90±1.87 <sup>b</sup>	9.69±1.70 <sup>b</sup>	9.76±2.08 <sup>b</sup>	12.18±2.69 <sup>a</sup>
胸鳍指数 PI	6.06±0.49 <sup>a</sup>	6.04±0.47 <sup>a</sup>	5.97±0.52 <sup>a</sup>	5.64±0.60 <sup>b</sup>	6.25±1.07 <sup>a</sup>
肛长指数 AI	57.14±9.76 <sup>a</sup>	56.97±8.79 <sup>a</sup>	61.13±2.10 <sup>a</sup>	61.24±1.08 <sup>a</sup>	61.19±0.56 <sup>a</sup>
肥满度 K	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.14±0.02 <sup>b</sup>	0.15±0.02 <sup>b</sup>	0.16±0.03 <sup>a</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>

注: 同行不同小写字母表示显著性差异 ( $P<0.05$ )。

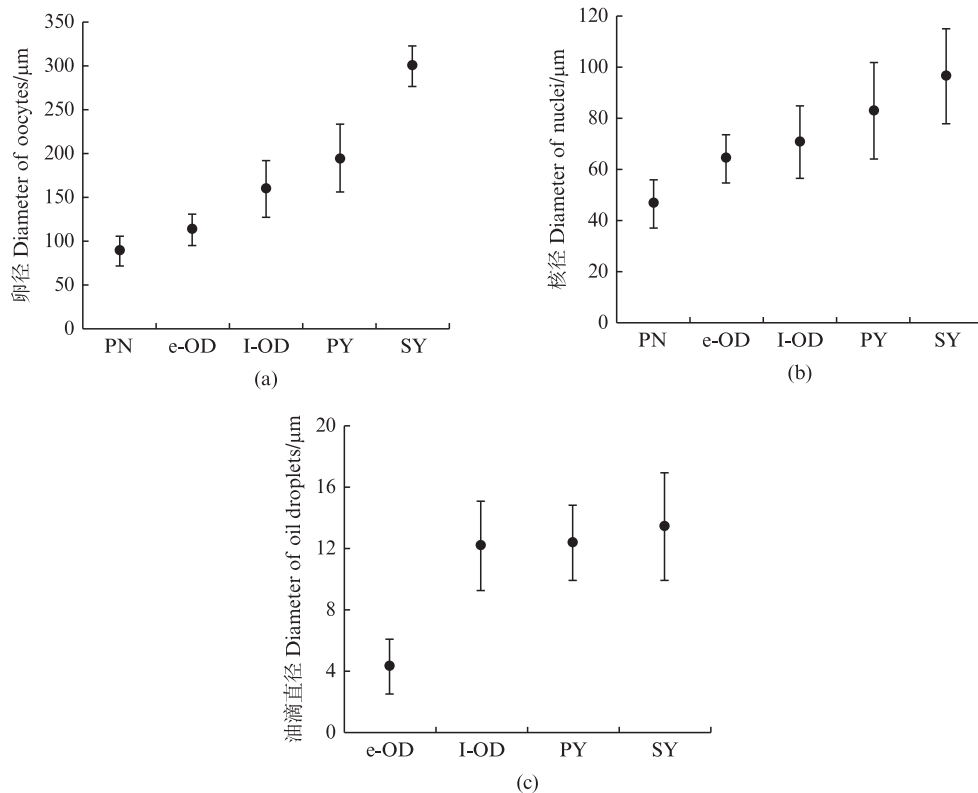
Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

表 4 星康吉鳗性腺发育不同阶段逐月样本数量  
Tab. 4 Number of *Conger myriaster* at different advanced stage of ovaries from October 2017 to October 2018

采样时间 Date	数量 Number	卵巢不同发育时相雌鱼数量					雄鱼数量 Number of male fish	性别不确定鱼数量 Number of Sex unidentified fish
		核仁周期 PN	油球早期 e-OD	油球后期 I-OD	初级卵黄期 PY	次级卵黄期 SY		
2017.01	28	12	11	2	—	—	—	3
2017.12	30	9	8	8	4	—	—	1
2018.01	29	2	14	6	5	2	—	—
2018.03	30	5	25	—	—	—	—	—
2018.04	30	8	20	—	—	—	—	2
2018.05	28	3	24	—	—	1	—	—
2018.06	30	10	20	—	—	—	—	—
2018.01	30	1	23	5	—	—	1	—

注: PN. 核仁周期; e-OD. 油球早期; I-OD. 油球后期; PY. 初级卵黄期; SY. 次级卵黄期。

Notes: PN. Peri-nucleolus stage; e-OD. Early oil droplet stage; I-OD. Late oil droplet stage; PY. Primary yolk globule stage; SY. Secondary yolk globule stage.



N. 核仁周期; e-OD. 油球早期; I-OD. 油球后期; PY. 初级卵黄球期; SY. 次级卵黄球期。条形表示标准偏差。

PN. Peri-nucleolus stage; e-OD. Early oil droplet stage; I-OD. Late oil droplet stage; PY. Primary yolk globule stage; SY. Secondary yolk globule stage. Bars indicate standard deviation.

图4 星康吉鳗卵巢发育过程中卵母细胞各种特性变化

Fig. 4 Changes in various characteristics of oocytes during oogenesis in *Conger myriaster*

### 2.2.2 肝体指数和性腺指数的变化

核仁周期的星康吉鳗性腺指数平均值为0.5%(表5);油球期性腺指数平均值为0.79%~1.63%;卵黄发生中期的性腺指数平均值达到3.30%。全年星康吉鳗性腺指数为0.02%~4.23%,平均性腺指数为 $0.86\% \pm 0.55\%$ 。肝体指数范围0.75%~1.80%,平均肝体指数为 $1.17\% \pm 0.27\%$ 。肝体指数随着性腺指数的增加而浮动增加。

### 2.3 形态学变化与性腺发育关系的分析

#### 2.3.1 单因素方差分析

ANOVA分析显示,不同发育时相的星康吉鳗仅肥满度存在显著性差异( $P < 0.05$ ),其他指标没有明显差异( $P > 0.05$ ),检验结果见表6。因此,从核仁周期卵原时期到次级卵黄球时期,星康吉鳗的肥满度即体型大小将发生显著变化。

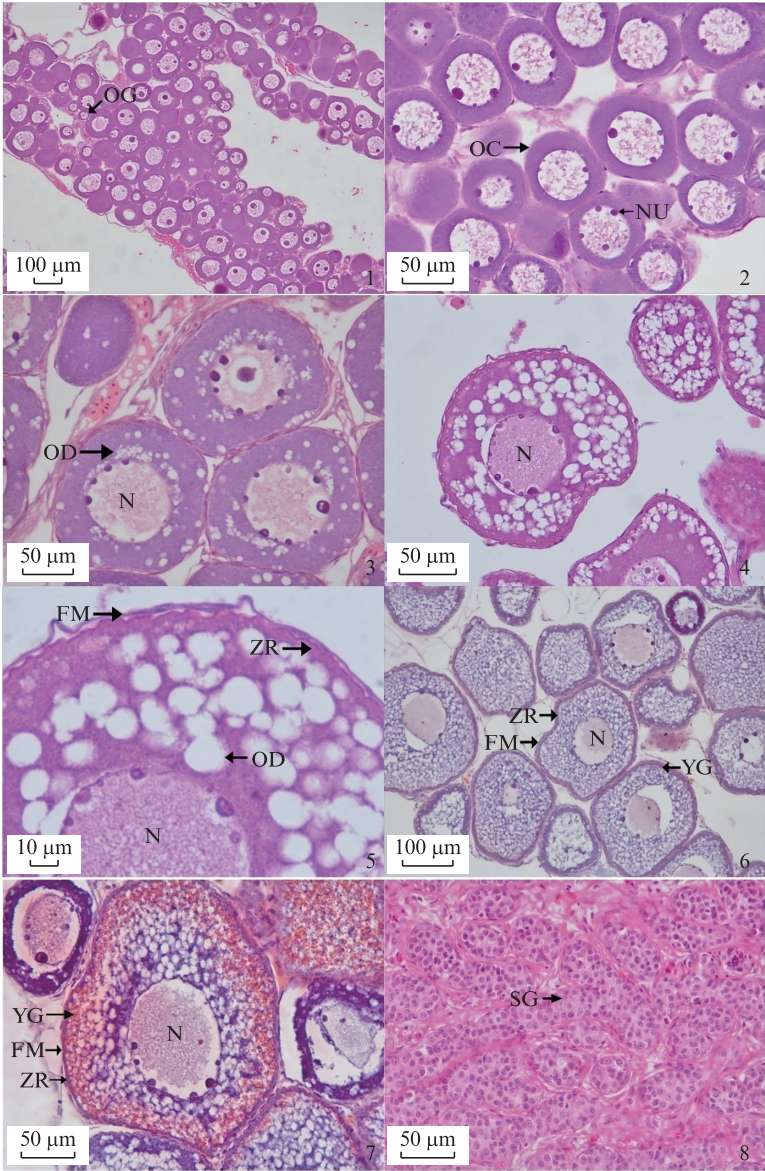
#### 2.3.2 主成分分析

对直接测量的外部形态学指标进行标准化处理后,将得到的9个性状指标进行主成分分析,分析其与星康吉鳗性腺发育的对应关系,结果见表7。由于前3个主成分的累计贡献率已达到

76.401%,故舍去其他主成分。主成分I的贡献率为49.130%,负荷量较大的主要是水平眼径/头长、垂直眼径/头长、胸鳍长/头长、吻长/头长等4个性状,反映的主要是头部前端及胸鳍特征;主成分II的贡献率为15.094%,负荷量较大的主要为头长/体长、眼径指数、胸鳍指数、肛长指数等4个性状,主要反映的是体型及眼径特征;主成分III的贡献率为12.177%,反映的主要是肥满度。因此,星康吉鳗性腺发育过程中,可根据头部4个指标:水平眼径/头长、垂直眼径/头长、胸鳍长/头长、吻长/头长,体型和眼径特征4个性状:头长/体长、眼径指数、胸鳍指数、肛长指数以及肥满度评价星康吉鳗性腺发育状况。

#### 2.3.3 系统分析

分别比较不同月份间星康吉鳗9项标准化测量性状的差异。分析显示,2017年10月至2018年10月间,水平眼径/头长、垂直眼径/头长、胸鳍长/头长、吻长/头长、头长/体长、眼径指数、胸鳍指数、肛长指数、肥满度等9项性状间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。



1. 卵原细胞和第Ⅱ时相卵母细胞,×100;2. 第Ⅱ时相卵母早期母细胞,即周边核仁早期细胞,×400;3. 第Ⅲ时相早期卵母细胞,即油球早期,×400;4. 第Ⅲ时相晚期卵母细胞,即油球晚期,×400;5. d图中处于油球晚期的卵母细胞放大观察,×1 000;6. 第Ⅳ时相早期卵母细胞,即第一次卵黄球时期,×200;7. 第Ⅳ时相中期卵母细胞,即第二次卵黄球时期,×400;8. I期精巢;×400。OG. 卵原细胞;OC. 卵母细胞;N. 细胞核;NU. 核仁;OD. 油滴;ZR. 放射带;FM. 滤泡细胞膜;YG. 卵黄颗粒;SG. 精原细胞

1. The oocytes of the chromatin nucleolus stage and the phase 2, ×100; 2. The oocytes of the phase 2, that is the peri-nucleolus stage, ×400; 3. The oocytes of the early phase 3, that is the early oil droplet stage, ×400; 4. The oocytes of the late phase 3, that is the late oil droplet stage, ×400; 5. A magnifying view of oocyte at the late oil droplet stage in figure a, ×1 000; 6. The oocytes of the early phase 4, that is the primary yolk globule stage, ×200; 7. The oocytes of the middle phase 4, that is the secondary yolk globule stage, ×400; 8. The teste of the phase 1. OG. Oogonia; OC. Oocytes; N. Nucleus; NU. Nucleolus; OD. Oil droplet; ZR. Zona radiata; FM: Follicle membrane; YG. Yolkgranules;SG. Earlyspermatogonia.

图版 星康吉鳎性腺不同发育时期组织学

Plate Gonad histology of *Conger Myriaster* at different developmental stages

表5 星康吉鳎性腺不同发育时相的肝体指数和性腺指数比较  
Tab.5 HSI and GSI values for each gonad development stage of *Conger myriaster*

测量形状 Measurable characteristics	发育阶段 Developmental stages				
	PN	e-OD	I-OD	PY	SY
肝体指数 HSI/%	1.16±0.28 <sup>b</sup>	1.18±0.27 <sup>b</sup>	1.17±0.28 <sup>b</sup>	1.09±0.19 <sup>b</sup>	1.49±0.29 <sup>a</sup>
性腺指数 GSI/%	0.50±0.21 <sup>d</sup>	0.79±0.26 <sup>c</sup>	1.63±0.47 <sup>b</sup>	1.84±0.52 <sup>b</sup>	3.30±1.08 <sup>a</sup>

注:同行不同小写字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。  
Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences( $P<0.05$ ).

表6 ANOVA 检验形态学指标与星康吉鳗卵巢不同发育时相相关性  
Tab. 6 ANOVA test to assess the correlation between morphological indexes and different developmental phases of the ovary in *Conger myriaster*

指标 Items	头长 $H_L$ /体长 $B_L$	吻长 $S_L$ /头长 $H_L$	胸鳍长 $P_L$ /头长 $H_L$	水平眼径 $H_d$ /头长 $H_L$	垂直眼径 $V_d$ /头长 $H_L$	眼径指数 $E_L$ /%	胸鳍指数 $P_L$ /%	肛长指数 $A_L$ /%	肥满度 $K$ /%
显著性 Singnificance	0.367	0.185	0.113	0.290	0.184	0.127	0.140	0.150	0 (*)

表7 星康吉鳗性腺发育中前3个主成分的贡献率和各指标的负荷量  
Tab. 7 Contribution rate of the first three principal components and load capacity of each factor

指标 Characteristic	主成分 Principal components		
	I	II	III
水平眼径 Horizontal eye diameter/头长 Head lengthmm	0.960	0.069	0.045
垂直眼径 Vertical eye diameter/头长 Head lengthmm	0.956	0.077	0.058
胸鳍长 Pectoral fin length/头长 Head lengthmm	0.950	0.062	0.110
吻长 Snout length/头长 Head length <sub>L</sub> mm	0.919	0.115	0.062
头长 Head length/体长 Head length <sub>L</sub> mm	0.871	0.304	0.025
眼径指数 Eye index/%	0.203	0.743	0.013
胸鳍指数 Pectoral fin index/%	0.180	0.603	0.281
肛长指数 Anal length index/%	0.040	0.545	0.540
肥满度 Fatness/%	0.056	0.160	0.839
特征值 Eigenvalues	4.422	1.358	1.096
贡献率 Contribution rate/%	49.130	15.094	12.177
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	49.130	64.224	76.401

3 讨论

3.1 星康吉鳗外部形态特征变化

本研究中嵎泗周围海域各月份星康吉鳗体长、体质量在3月、4月较低,其他月份间没有规律可循,但随卵巢发育时相呈现出明显的规律性:从核仁周期到次级卵黄球时期,星康吉鳗的体长、体质量随之增长,且体质量的增长快于体长,二者呈现正相关关系。

单因素方差分析及Duncan’s法多重比较也显示在卵母细胞卵黄充满期前,星康吉鳗主要在于体质量、眼径指数及肛长指数的增长。根据主成分分析,星康吉鳗个体间差异主要在头部前端细节及胸鳍特征。因此,随着个体增长,性腺发育过程中,星康吉鳗的外部形态性状将发生一定的变化,这应是长期进化的结果。研究发现,鳗鲡在生殖洄游期间,外部形态会相应发生变化以适应环境<sup>[28]</sup>。如为了适应深海中的微弱光线,鳗鲡眼径一般随之调节变大;通过给欧洲鳗鲡注射性激素后,其眼径、胸鳍变大并进入繁殖期。由此推测,星康吉鳗外部形态的变化应受到体内激

素的调节,后续开展其人工繁殖时,可对此指标进行测定并证实。此外,根据聚类分析,不同月份间的星康吉鳗存在个体差异,可能与随机捕获的星康吉鳗批次、时间不同有关,这一点在日本鳗鲡中也存在相似规律<sup>[29]</sup>。

3.2 星康吉鳗性腺发育的周年变化规律

3.2.1 星康吉鳗性腺发育特征规律

本文发现,自然采集的星康吉鳗雌鱼占极大比例:99.6%(雌鱼:雄鱼=228:1)。MU等<sup>[30]</sup>通过研究得出我国东海和黄海南部的星康吉鳗雌雄性别比分别为88:0和2.67:1,KAWAZU等<sup>[31]</sup>推测星康吉鳗雌雄鱼在产卵洄游路线、性腺发育时间以及栖息环境选择上不同,因此导致同一区域捕获的星康吉鳗雌雄数量差异悬殊。因此星康吉鳗自然种群可能存在雌多雄少的特点,雌雄鱼的分布可能存在空间差异,这一点需要更多的研究支持。

本研究中雌性星康吉鳗卵巢性体指数范围在0~4.23%,卵细胞的发育时相从核仁周期至第二次卵黄球期,这与唐逸民等人对浙江北部近海的星康吉鳗性腺研究一致,性腺发育大多为I~



Ⅲ期<sup>[1]</sup>。本研究只获取了从卵原细胞期到第二次卵黄球时期的星康吉鳗卵母细胞,这一阶段各卵母细胞特性逐步变化,卵母细胞直径和核径逐渐增大,油滴和卵黄颗粒的直径也随之增大。HOQUE等<sup>[32]</sup>认为卵母细胞成熟过程中卵黄球直径增大是由卵母细胞显著水合作用引起的,而卵黄蛋白水解提高渗透压可引起卵母细胞在成熟过程中发生水合作用<sup>[33]</sup>。虽然卵母细胞发育过程中油滴融合的机制尚不清楚,但是油滴直径与卵黄颗粒大小成正相关,因此推测油滴融合也与卵母细胞水合作用有关。

### 3.2.2 星康吉鳗形态与性腺发育关系

KUROGI等<sup>[9]</sup>在日本 Okinotorishima 以南 380 km 处发现了星康吉鳗的产卵场,OKAMURA等<sup>[34]</sup>也在日本中部太平洋沿岸对星康吉鳗性腺发育的季节变化进行研究,发现雌鳗从夏季到冬季性腺逐渐发育,早春往南迁移到大陆架边缘。本文结果也呈现基本一致的规律,3—6月捕获的星康吉鳗雌鱼卵巢处于发育早期,卵母细胞处于卵原细胞至油球前期。当年10月到次年1月能够捕获到一些性腺发育相对成熟的个体,卵母细胞处于油球后期至次级卵黄球时期。唐逸民等<sup>[1]</sup>的调查发现,浙江近海及大陆架边缘均有星康吉鳗的分布,4—5月,外侧海区的星康吉鳗个体大,体长超过 600 mm,为成鳗,内侧海区的星康吉鳗个体小,体长低于 600 mm,为幼鳗。本文中星康吉鳗仅 2018 年 1 月的个体大于 600 mm,特别在 4 月、10 月、12 月所采集的星康吉鳗,均有性腺尚未分化的幼鱼,因此所采集的星康吉鳗应该来源于内侧海区。因此,为了全面评估形态学指标与性腺发育的对应关系,非常有必要多收集外侧海区的星康吉鳗成鳗,进一步研究性腺成熟过程中,形态学指标的变化规律。

## 4 结论

2017 年 10 月至 2018 年 10 月间获取的 235 尾中星康吉鳗中,6 尾幼鳗未发现性腺,雄鱼占比仅 0.43%,雌雄比为 228:1;雄鱼性腺处于精原细胞阶段,雌鱼卵巢处于核仁周期至次级卵黄球期,肥满度随着性腺发育发生明显变化。体长 494~631 mm 星康吉鳗占 79.1%、体质量 140~390 g 星康吉鳗占 79.1%,体长和体质量呈指数函数关系。星康吉鳗的平均体质量、体长、肥满度和性体指

数在 2018 年 1 月最高,2018 年 4 月最低,肝体指数在 2018 年 4 月最高。本研究结果将为星康吉鳗资源评估及人工繁殖提供了详细的基础资料。

作者声明本文无利益冲突。

### 参考文献:

- [1] 唐逸民, 吴常文. 星康吉鳗 *Astroconger myriaster* (Brevoort) 的生物学特性与资源分布[J]. 浙江水产学院学报, 1988, 7(1): 19-26.  
TANG Y M, WU C W. On biologic habits and resources distribution of common Japanese conger *Astroconger myriaster* (Brevoort) [J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1988, 7(1): 19-26.
- [2] 杨浩, 史宝, 牛化欣, 等. 星康吉鳗生物学与生态学的研发现状与展望[J]. 海洋科学, 2020, 44(6): 152-158.  
YANG H, SHIB, NIU H X, et al. Advances and future prospects in *Conger myriaster* research [J]. Marine Sciences, 2020, 44(6): 152-158.
- [3] 刘鸿雁, 孙彤彤, 曾晓起, 等. 崂山湾人工鱼礁区星康吉鳗摄食生态及食物网结构[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1339-1351.  
LIU H Y, SUN T T, ZENG X Q, et al. Feeding ecology of *Conger myriaster* and structure of the food webs in artificial reef zone, Laoshan Bay, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1339-1351.
- [4] KATAYAMA S, ISHIDA T, SHIMIZU Y, et al. Seasonal change in distribution of Congereel *Conger myriaster* off the Pacific CoastSouthof Tohoku, north-eastern Japan[J]. Fisheries Science, 2004, 70(1): 1-6.
- [5] MU X X, ZHANG C, ZHANG C L, et al. Age-structured otolith chemistry profiles revealing the migration of *Conger myriaster* in China Seas [J]. Fisheries Research, 2021, 239: 105938.
- [6] BAE J H, BAE H J, PARK H M, et al. Age determination and growth estimates of the white-spotted conger eel, *Conger myriaster* (Brevoort, 1856) in marine waters of South Korea [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2018, 34(3): 542-549.
- [7] 肖佩怡, 蒋小姿, 杨澜, 等. 黄渤海不同群体星康吉鳗形态性状对体质量影响效果的多重分析[J]. 生态学杂志, 2025, 44(1): 131-138.  
XIAO P Y, JIANG X Z, YANG L, et al. Multiple analysis of the effects of morphological traits on body weight of different *Conger myriaster* populations in the Yellow Sea and the Bohai Sea of China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2025, 44(1): 131-138.
- [8] 王桂香, 李慷, 刘如聪, 等. 人工诱导星康吉鳗卵巢发育主要组织脂质代谢分析[J]. 水产学报, 2024, 48

- (8): 089608.
- WANG G X, LI K, LIU R C, et al. Analysis of lipid metabolism in main tissues of artificially induced ovarian development tissues of *Conger myriaster* [J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(8): 089608.
- [9] KUROI H, MOCHIOKA N, OKAZAKI M, et al. Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific [J]. Fisheries Science, 2012, 78(3): 525-532.
- [10] 吴盟, 鲁强, 刘如聪, 等. 星康吉鳗发育过程中个体形态学和卵母细胞特征变化及组织营养成分分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(3): 442-453.
- WU M, LU Q, LIU R C, et al. Changes of individual morphology and oocyte characteristics and analysis of tissue nutrient content during the ovary development of conger eel (*Conger myriaster*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(3): 442-453.
- [11] KI S U, PARK C K, LEE K W, et al. Ovarian development of conger eel in Korea, *Conger myriaster*, in captivity [J]. Development & reproduction, 2021, 25(4): 269-277.
- [12] UTOH T, OKAMURA A, YAMADA Y, et al. Reproductive cycle in reared male common Japanese conger, *Conger myriaster* [J]. Aquaculture, 2004, 240(1/4): 589-605.
- [13] UTOH T, HORIE N, MIKAWA N, et al. Annual changes in ovarian development and plasma estradiol-17 beta level in reared female common Japanese conger, *Conger myriaster* [J]. Fisheries Science, 2005, 71(1): 38-47.
- [14] 史宝, 王成刚, 汤晓华, 等. 星康吉鳗精子的超微结构研究 [J]. 海洋科学, 2023, 47(10): 112-120.
- SHI B, WANG C G, TANG X H, et al. A study on sperm ultrastructure in the whitespotted conger, *Conger myriaster* [J]. Marine Sciences, 2023, 47(10): 112-120.
- [15] 赵新宇, 史宝, 王成刚, 等. 投喂频率对工厂化循环水养殖星康吉鳗生长、生理指标及其水质的影响 [J]. 渔业科学进展, 2024, 45(2): 233-244.
- ZHAO X Y, SHI B, YU C G, et al. Effects of feeding frequency on the growth, physiological indices, and water quality of *Conger myriaster* reared in industrial recirculating aquaculture systems [J]. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(2): 233-244.
- [16] 马晓东. 盐度和温度对星康吉鳗生长的影响及其适应机制初步研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2023.
- MA X D. Preliminary study on the effect of salinity and temperature on the growth of *Conger myriaster* and its adaptation mechanism [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2023.
- [17] 王金星, 赵小凡, 范春雷, 等. 星康吉鳗染色体组型研究 [J]. 四川动物, 1993, 12(2): 14-15.
- WANG J X, ZHAO X F, FAN C L, et al. Study on the karyotype of *Conger myriaster* (Brevoort) [J]. Sichuan Journal of Zoology, 1993, 12(2): 14-15.
- [18] 李明坤, 张崇良, 李敏, 等. 山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系 [J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1115-1122.
- LI M K, ZHANG C L, LI M, et al. Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1115-1122.
- [19] 唐衍力, 孙国微, 赵同阳, 等. 星康吉鳗笼网目选择性研究 [J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 136-142.
- TANG Y L, SUN G W, ZHAO T Y, et al. Mesh size selectivity of *Conger myriaster* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 136-142.
- [20] 杨浩, 史宝, 王成刚, 等. 不同饲料对星康吉鳗幼鱼生长、体成分和消化酶活性的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2024, 39(3): 420-428.
- YANG H, SHI B, WANG C G, et al. Influence of various diets on growth, body composition, and digestive enzyme activities of juvenile white-spotted Conger (*Conger myriaster*) [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2024, 39(3): 420-428.
- [21] LI Z, LIU R, LIU J, et al. Effects of flowing water stimulation on hormone regulation during the maturation process of *Conger myriaster* ovaries [J]. Frontiers in Physiology, 2024, 15: 1404834.
- [22] 谢刚, 祁宝崙, 余德光. 鳗鲡某些繁殖生物学特性的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(4): 267-271.
- XIE G, QI B L, YU D G. Some characteristics of breeding biology of *Anguilla japonica* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(4): 267-271.
- [23] 林鼎, 林浩然. 鳗鲡繁殖生物学研究Ⅲ. 鳗鲡性腺发育组织学和细胞学研究 [J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 157-170.
- LIN D, LIN H R. Studies on the breeding biology of the eel (*Anguilla japonica* Temminck & Schlegel) 3. Histological and cytological studies on the gonadal development of eel [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1984, 8(2): 157-170.
- [24] UTOH T, HORIE N, OKAMURA A, et al. Oogenesis in the common Japanese conger *Conger myriaster* [J]. Fisheries Science, 2003, 69(1): 181-188.
- [25] GREENACRE M, GROENEN P J F, HASTIE T, et al. Principal component analysis [J]. Nature Reviews Methods Primers, 2022, 2(1): 100.
- [26] 尹洁, 牟秀霞, 张崇良, 等. 我国近海星康吉鳗群体的形态学、遗传学比较研究 [J]. 水产学报, 2020, 44(3):

- 358-367.
- YIN J, MU X X, ZHANG C L, et al. Comparison of morphological and genetic characteristics of *Conger myriaster* populations in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(3): 358-367.
- [27] PETRAKIS G, STERGIOU K I. Weight-length relationships for 33 fish species in Greekwaters [J]. Fisheries Research, 1995, 21(3/4): 465-469.
- [28] IJIRI S, KAYABA T, TAKEDA N, et al. Pretreatment reproductive stage and oocyte development induced by salmon pituitary homogenate in the Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. Fisheries Science, 1998, 64(4): 531-537.
- [29] OKAMURA A, UTOH T, ZHANG H, et al. Seasonal changes in maturity in the conger eel *Conger myriaster* at the pacific coast of Atsumi Peninsula, central Japan[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2000, 66(3): 412-416.
- [30] MU XX, ZHANG C, XUE Y, et al. Fishery biology of whitespotted conger *Conger myriaster* (Brevoort, 1856) in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 38(6): 18-24.
- [31] KAWAZU M, KAMEDA T, KUROI H, et al. Biological characteristics of *Conger myriaster* during the initial stage of spawning migration in the East China Sea [J]. Fisheries Science, 2015, 81(4): 663-671.
- [32] HOQUE M, TAKEMURA A, TAKANO K. Annual changes in oocyte development and serum vitellogenin level in the rabbitfish *Siganus canaliculatus* (Park) in Okinawa, Southern Japan [J]. Fisheries Science, 1998, 64(1): 44-51.
- [33] MATSUBARA T, OHKUBO N, ANDOH T, et al. Two forms of vitellogenin, yielding two distinct lipovitellins, play different roles during oocyte maturation and early development of barfin flounder, *Verasper moseri*, a marine teleost that spawns pelagic eggs [J]. Developmental Biology, 1999, 213(1): 18-32.
- [34] OKAMURA A, YAMADA Y, YOKOUCHI K, et al. A silvering index for the Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. Environmental Biology of Fishes, 2007, 80(1): 77-89.

## Annual changes in the reproductive biological characteristics of the wild *Conger myriaster* in the East China Sea

RU Gaomeng<sup>1</sup>, LIU Tianyu<sup>1</sup>, LI Kang<sup>1</sup>, LI Xiaolong<sup>1</sup>, CHEN Taoying<sup>1,2,3</sup>, LIU Liping<sup>1,2,3</sup>

(1. China-ASEAN Belt and Road Joint Laboratory on Mariculture Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To understand the reproductive traits of the wild population of *Conger myriaster*, this study used external morphological characteristics, gonad histological observation, and a morphological index system analysis to investigate the annual changes in the reproductive biology of *Conger myriaster* in the East China Sea waters near Shengsi, Zhejiang. A total of 235 individuals of *Conger myriaster* were collected from October 2017 to October 2018. The results showed that *Conger myriaster* is distributed in the waters near Shengsi, Zhejiang throughout the year. Individuals with a total length of 494-631 mm and a body weight of 140-390 g accounted for 79.1% of the total number. The average body weight, total length, condition factor, and gonadosomatic index (GSI) of *Conger myriaster* were highest in January 2018 and lowest in April 2018, while the hepatosomatic index (HSI) was highest in April 2018. Among the 235 samples collected over the year, only one male (0.43%) was found, and six juvenile fish without gonads observed could not be sexed. The male was still in the spermatogonial stage, while the oocytes of the females were in the perinucleolar to secondary yolk globule stages. The females in the perinucleolar and oil globule early stages accounted for 21.28% and 61.70% of the total number, respectively. The oocyte diameter was 51.12-167.73  $\mu\text{m}$ , and the nuclear diameter was 26.71-83.42  $\mu\text{m}$ . The analysis showed that the condition factor of female *Conger myriaster* increased significantly ( $P<0.05$ ) from the perinucleolar to the secondary yolk globule stage. This study provides detailed basic information for the resource assessment and artificial propagation of *Conger myriaster*.

**Key words:** *Congermyriaster*; reproductive biology; gonadal development; East China Sea