

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

吴盟, 鲁强, 刘如聪, 江兴龙, 宋宗诚, 李慷, 刘利平

Changes of individual morphology and oocyte characteristics and analysis of tissue nutrient content during the ovary development of conger eel (*Conger myriaster*)

WU Meng, LU Qiang, LIU Rucong, JIANG Xinglong, SONG Zongcheng, LI Kang, LIU Liping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503026>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

我国近海星康吉鳗群体的形态学、遗传学比较研究

Comparison of morphological and genetic characteristics of *Conger myriaster* populations in China

水产学报. 2020, 44(3): 358 <https://doi.org/10.11964/jfc.20180911440>

不同激素组合对人工诱导星康吉鳗性成熟效果的比较

Comparative analysis of the effects of HCG and CPE combinations on the sexual maturation of common Japanese conger *Conger myriaster*

上海海洋大学学报. 2021, 30(1): 29 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190502657>

海州湾星康吉鳗的摄食生态特征

Feeding ecology of *Conger myriaster* in Haizhou Bay

中国水产科学. 2015, 22(3): 517 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2015.14334>

星康吉鳗形态性状与体重的通径分析及生长曲线拟合

Path analysis and growth curve fitting of the morphological traits and body weight of *Conger myriaster*

中国水产科学. 2020, 27(10): 1167 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2020.20039>

山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系

Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter

中国水产科学. 2018, 25(5): 1115 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2018.17426>

罗非鱼粪便在分解过程中形态和营养成分变化

Changes in Shape and Nutrients in Decomposition of Tilapia Feces

水产科学. 2015, 34(10): 634 <https://doi.org/10.16378/j.cnki.1003-1111.2015.10.007>

文章编号: 1674-5566(2021)03-0442-12

DOI:10.12024/j.sou.20200503026

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

吴 盟¹, 鲁 强¹, 刘如聪¹, 江兴龙², 宋宗诚³, 李 慷^{1,4}, 刘利平^{1,4}

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心, 福建 厦门 361021; 3. 威海圣航水产科技有限公司, 山东 威海 264299; 4. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306)

摘 要: 对星康吉鳗 (*Conger myriaster*) 卵巢发育过程中的个体形态学和卵母细胞特征变化, 以及卵巢、肝脏、肌肉中营养成分的变化情况进行研究。结果表明: 星康吉鳗卵巢发育分为 5 个时期, 即卵母细胞单层滤泡期、卵母细胞出现脂肪泡期、卵母细胞卵黄充满期 (早期、中期、末期)、卵母细胞核极化期和卵母细胞成熟期。卵母细胞直径、细胞核直径、脂肪泡直径和卵黄球直径随着卵母细胞的发育逐渐增长。卵母细胞中脂肪泡的初始发生位点在细胞核周围, 并且发生时间上脂肪泡先于卵黄球, 随着卵母细胞发育, 脂肪泡呈环状分布并逐渐向细胞膜方向延伸; 卵母细胞中卵黄球的初始发生位点在细胞膜周边的细胞质层, 随着卵母细胞发育, 卵黄球呈环状分布并向细胞核方向延伸。发育过程中星康吉鳗性体指数、肝体指数、眼径指数、肛长指数之间均呈正相关性; 消化道指数与性体指数、肝体指数、眼径指数、肛长指数分别呈负相关性。营养成分变化表明, 星康吉鳗主要储存脂肪的位置在肌肉, 脂肪的转运在星康吉鳗的卵巢发育中起到了重要作用。研究结果可为星康吉鳗全人工繁殖提供参考。

关键词: 星康吉鳗; 性腺发育; 卵母细胞; 个体形态学; 营养成分

中图分类号: S 917 **文献标志码:** A

星康吉鳗 (*Conger myriaster*) 属于脊索动物门 (Chordata) 硬骨鱼纲 (Osteichthyes) 鳗鲡目 (Anguilliformes) 康吉鳗科 (Congridae) 康吉鳗属 (*Conger*)^[1]。星康吉鳗广泛分布于中国东海、黄海和渤海湾, 日本北海道南部到冲绳岛北部海域及朝鲜半岛附近^[2-4], 是常见的食用鱼类和重要的经济性鱼类。但随着人们的过度捕捞和对海洋环境的污染, 星康吉鳗的数量在逐渐减少。目前, 星康吉鳗的生活史还不清楚, 全人工繁殖尚未完成, 食用性资源全部来自于野外捕捞, 仍缺乏繁殖生物学的基础研究。然而明确星康吉鳗的完整生活史和性腺发育过程中的生物学变化, 对于星康吉鳗的全人工繁殖有重要意义。鳗鲡目鱼种生活史中重要的 3 个环节分别是成鳗产

卵场的具体位置、成鳗的洄游方式及柳叶鳗变态发育的环境条件。最新研究依据捕获鳗苗的发育情况, 推测星康吉鳗的产卵场应在距离冲之鸟岛西部 380 km 的九州-帕劳海岭区域带^[5], 且产卵场位于日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 产卵场西部附近^[6], 但具体位置仍未明确; 星康吉鳗低龄群体在近海区域呈季节性洄游; 发育期群体从秋季开始向深水区迁移, 冬季在深水区越冬, 次年春季达大陆架边缘海域, 从此处开始向远海区进行产卵洄游^[3,7]; 星康吉鳗柳叶鳗的变态发育地点为海湾和入海河口交界处, 此处海水盐度较低、水体浑浊度高, 有利于幼苗隐蔽和变态发育^[8]。星康吉鳗的人工激素促熟最新研究表明, 星康吉鳗雌鳗已经可以产卵, 但产卵率、受精率

收稿日期: 2020-05-03 修回日期: 2020-06-11

基金项目: 中国-东盟海上合作基金项目 (DF); 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心开放基金 (RE201901); 上海市科技兴农项目 (2020-02-08-00-10-F01471)

作者简介: 吴 盟 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类繁殖生物学。E-mail: 18621083831@163.com

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

较低,受精卵质量较差,受精卵孵化的多数幼苗存活时间短,仅有 1 尾存活至 19 d,为目前幼苗存活的最长时间^[9]。星康吉鳗的全人工繁殖过程中相关生物学条件未明晰,成鳗性腺成熟、产卵、卵母细胞受精及胚胎发育时期所需的最适温度、盐度、压力、光照及流水等相关因素仍需明确;有针对性地星康吉鳗进行亲本营养强化,从而提高卵母细胞质量的条件仍需探究;成鳗性腺发育过程相关生物学基础信息依旧缺乏。因此,本实验开展对星康吉鳗卵巢发育过程中个体形态学、卵母细胞特征变化及组织营养成分的研究,以期星康吉鳗全人工繁殖提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用星康吉鳗为山东、辽宁沿海捕捞的野生成鱼,经过山东威海圣航水产科技有限公司的水泥池内驯化养殖 1 周年后,从中挑选健康具活力的雌性星康吉鳗 60 尾,体质量为 400 ~ 850 g。实验时雌鳗养殖于直径 3 m、水深 1 m 的圆形玻璃钢桶中,每个玻璃钢桶中养殖 15 尾,水温 15 ~ 19 °C,海水盐度 30 ~ 31,用黑色遮阳网布遮光,依据日本鳗鲡的人工繁殖过程^[10],设计本实验全程不喂食。

激素组 ($n = 30$) 使用人绒毛膜促性腺激素 (human chorionic gonadotropin, HCG) 和鲤鱼脑垂体 (carp pituitary extract, CPE) 混合液进行注射促熟,每周注射 1 次,一共注射 8 次;自然发育组 ($n = 30$) 不进行激素处理。实验开始后在激素注射前进行首次采样,随后每 2 周采样 1 次,每组每次采样 6 尾,因相关研究^[11]表明,星康吉鳗在常规人工养殖无外源激素的条件下,卵巢最多发育至卵母细胞卵黄充满期末期,所以本研究中星康吉鳗卵巢的前 3 个时期样本主要采集于自然发育组,后 2 个时期样本采集于激素组。

1.2 形态学指标的称量

雌鳗经 MS-222 麻醉,称量体质量、全长、肛长、左眼垂直眼径、左眼水平眼径、肝脏质量、性腺质量、消化道质量等形态学指标;分别取适量肌肉、性腺和肝脏保存于 -80 °C,用于营养成分的测定;此外将部分性腺和肝脏于 Bouin 氏液中固定 24 h,然后置于质量分数为 75% 乙醇溶液中保存,用于组织学观察。

通过以上称量的数据对性腺指数 (GSI)、肝体指数 (HSI)、消化道指数 (DI)、眼径指数 (OI)^[12]、肛长指数 (AI) 进行计算,计算公式如下:

$$G_{SI} = G_W / T_{BW} \times 100 \quad (1)$$

$$H_{SI} = L_W / T_{BW} \times 100 \quad (2)$$

$$D_I = D_W / T_{BW} \times 100 \quad (3)$$

$$O_I = [(D_E + D_H) / 4]^2 \times \pi / T_L \times 100 \quad (4)$$

$$A_I = T_A / T_L \times 100 \quad (5)$$

式中: G_{SI} 为性腺指数; G_W 为性腺质量,g; T_{BW} 为体质量,g; H_{SI} 为肝体指数; L_W 为肝脏质量,g; D_I 为消化道指数; D_W 为消化道质量,g; O_I 为眼径指数; D_E 为左眼垂直眼径,mm; D_H 为左眼水平眼径,mm; T_L 为全长,cm; A_I 为肛长指数; T_A 为肛长,cm。

1.3 组织学观察

性腺和肝脏经乙醇梯度脱水、二甲苯透明、石蜡包埋后进行切片,厚度为 4 μ m, H. E 染色,中性树脂封片。装片用光学显微镜进行观察、拍照 (尼康 ECLIPSE 80I), 使用 NIS -Elements Viewer 软件测量卵母细胞直径、细胞核直径、油滴直径、卵黄球直径、核仁直径,目标对象的均值取自于 30 个同一时相的细胞。参考林鼎等^[13]和 YAMAMOTO 等^[14]对日本鳗鲡卵母细胞发育分期标准进行卵母细胞发育分期,卵巢发育分期以切片中相应时相卵母细胞所占比例超过 60% 为划分标准。

1.4 营养成分的测定

测定性腺、肝脏、肌肉的水分、粗灰分、粗蛋白、粗脂肪含量。水分使用 105 °C 恒温烘干法^[15],灰分使用马弗炉烧灼法^[16],粗蛋白使用凯氏定氮法^[17],粗脂肪使用甲醇-氯仿抽提法^[18]。

1.5 数据分析

利用 SPSS 19.0 统计软件中的 LSD 法对卵母细胞各时相之间的特征参数进行差异性比较分析;利用 SPSS 19.0 中的 Scheffe 检验法分别对卵巢不同发育时期性腺指数、肝体指数、消化道指数、眼径指数、肛长指数进行分析;利用 SPSS 19.0 统计软件中的 Kendall rank correlation 法分析卵巢不同发育时期性腺指数、肝体指数、消化道指数、眼径指数、肛长指数的相关性。显著性水平 P 设为 0.05,高显著性水平 P 设为 0.01,极显著性水平 P 设为 0.001。

2 结果

2.1 卵母细胞发育时相划分

本实验用的星康吉鳗为成鳗,性腺都有发育,故本研究未见卵原细胞时相卵母细胞。

卵母细胞单层滤泡时相(os时相):卵母细胞呈多边椭圆形(图版 I-1),细胞质薄有较强嗜碱性。细胞核占整个细胞体积的三分之二左右,细胞核中平均散落着4~6个核仁,一般有1个体积明显较大的核仁,卵母细胞外包围着一层滤泡细胞。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞单层滤泡期(OS期)。

卵母细胞出现脂肪泡时相(oo时相):卵母细胞呈近椭圆形,细胞体积相较于上个时相有显著性增长(图版 I-2)。细胞核占细胞体积的二分之一到三分之二,细胞核中核仁紧紧贴在核膜内侧,一般有1~2个较大核仁。脂肪泡从细胞核周围开始出现在光镜下呈现透明空泡状,然后脂肪泡随着细胞发育逐渐向外呈环状延伸,较大的脂肪泡分布在核周围,较小的脂肪泡分布在细胞质外周。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞出现脂肪泡期(OO期)。

卵母细胞卵黄充满时相(v时相):早期(ev时相,图版 I-3)细胞呈圆形或椭圆形,细胞体积相较于上一个时相有显著性增长($P < 0.05$)。脂肪泡已经充满整个细胞质,此时期从细胞膜内周边开始出现卵黄球并呈环状分布,卵黄球直径较小约2~5 μm ,呈强嗜碱性。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞卵黄充满期早期(EV期)。中期(mv时相,图版 I-4)细胞呈圆形或椭圆形,细胞体积相较于上一个时期有显著性增长($P < 0.05$)。此时期开始细胞核中无明显较大核仁,脂肪泡直径继续增长,卵黄球直径有轻微增长。卵黄球数目逐渐增多并由细胞质外围向细胞质中层区域延伸,脂肪泡基本都处于细胞质内层区域。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞卵黄充满期中期(MV期)。末期(lv时相,图版 I-5)细胞呈圆形或椭圆形,细胞体积相较于上一个时期有显著性增长($P < 0.05$)。卵黄球直径继续增长且卵黄球之间排列紧密,充满除脂肪泡外的整个细胞质,此时脂肪泡分散在细胞质中,不再具有分布规律性。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞卵黄充满期末期(LV期)。

卵母细胞核极化时相(nm时相):细胞大部分呈椭圆形小部分呈圆形(图版 I-6),细胞体积相较于上一个时相有显著性增长($P < 0.05$)。脂肪泡直径和上一个时相末期相近,卵黄球直径有显著性增长。细胞核开始向动物极一端移动,此时动物极部分的细胞质中脂肪泡较少,卵黄球呈现超高密度聚集,在显微镜下呈现一片深蓝紫色,细胞核直径此时达到整个卵母细胞发育时相的最大值。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞核极化期(NM期)。

卵母细胞成熟时相(om时相):细胞近圆形(图版 I-7),细胞体积相较于上一个时相有显著性增长($P < 0.05$),此时相细胞体积达到峰值。脂肪泡融合成几个大脂肪泡,卵黄球直径有显著性增长。此时相卵母细胞为主的卵巢处于卵母细胞成熟期(OM期)。

2.2 卵母细胞各时相细胞内容物变化情况

卵母细胞直径、细胞核直径、脂肪泡直径和卵黄球直径随着卵母细胞的发育逐渐增长。其中卵母细胞直径在各相邻时相间均有显著性增长;细胞核直径在前4个相邻时相间有显著性增长,并在nm时相达到峰值;细胞核与细胞的直径比随卵母细胞发育逐渐下降;脂肪泡直径和卵黄球直径在nm时相前增长缓慢,但从nm时相到om时相有显著性增长($P < 0.05$)。大核仁仅出现在os时相和oo时相;小核仁在各时相均存在。卵母细胞各时相细胞内容物的具体数据及变化情况如表1所示。

2.3 卵巢发育各时期个体形态学特征变化

性腺指数从OS期到OO期没有明显变化,此后每个时期之间性腺指数均有显著性增长($P < 0.05$,表2)。

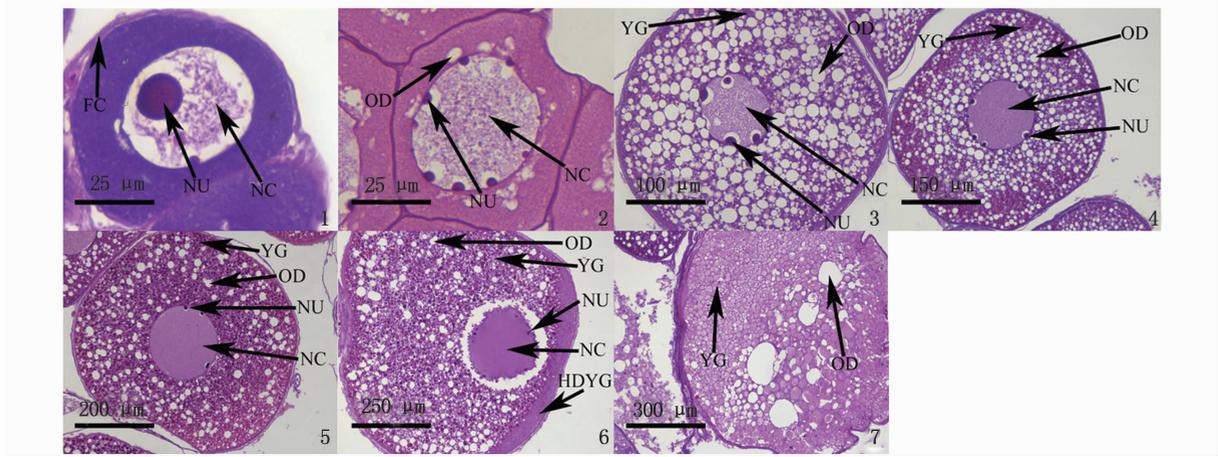
肝体指数在整个发育时期呈上升趋势(表2)。OS期到LV期增长缓慢,无显著性差异;LV期到NM期增长迅速,有显著性差异;NM期到OM期有些许下降但无显著性差异($P > 0.05$)。从图版II中可以看出,随着卵巢的发育,肝脏细胞的细胞核逐渐偏位,细胞质内逐渐出现圆形或椭圆形空泡样脂滴,肝细胞索排列逐渐变得紊乱,肝细胞形状逐渐变得不规则。

眼径指数在整个发育时期呈上升趋势,OS期与OM期之间有显著性差异;肛长指数在整个发育时期呈上升趋势,OS期与OM期之间有显著性

差异;消化道指数在整个发育时期呈下降趋势, OS 期到 V 期下降迅速, V 期到 OM 期下降趋缓(表 2)。

GSI、HSI、DI、OI、AI 间有很高的相关性(表

3),其中 GSI、HSI、OI、AI 相互之间呈正相关性, DI 与 GSI、HSI、OI、AI 分别呈负相关性。GSI 与 HSI、OI、AI 间呈线性正相关, GSI 与 DI 间呈指数型负相关(图 1)。



1. 卵母细胞单层滤泡时相; 2. 卵母细胞出现脂肪泡时相; 3. 卵母细胞卵黄充满时相早期; 4. 卵母细胞卵黄充满时相中期; 5. 卵母细胞卵黄充满时相末期; 6. 卵母细胞核极化时相; 7. 卵母细胞成熟时相; FC. 滤泡细胞; NU. 核仁; NC. 细胞核; OD. 脂肪泡; YG. 卵黄球; HDYG. 高密度卵黄球。

1. Phase of single-layer follicular cells; 2. Phase of oil drop; 3. Phase of yolk filled early stage; 4. Phase of yolk filled middle stage; 5. Phase of yolk filled late stage; 6. Phase of nucleus polarized; 7. Phase of mature oocyte; FC. Follicle cell; NU. Nucleolus; NC. Nucleus; OD. Oil drop; YG. Yolk globule; HDYG. High density yolk globule.

图版 I 星康吉鳗卵母细胞发育的组织学观察

Plate I Histological observation of the oocyte development of *C. myriaster*

表 1 星康吉鳗卵巢中不同时相卵母细胞特征参数

Tab. 1 Characteristic parameters of oocytes in different developmental phases of conger eel

特征参数 Characteristic parameters	os	oo	ev	mv	lv	nm	om
细胞平均直径 Mean cell diameter/ μm	67 ± 20^a	109 ± 23^f	326 ± 46^e	371 ± 39^d	432 ± 77^c	580 ± 43^b	789 ± 81^a
细胞直径范围 Cell diameter range/ μm	32 ~ 128	42 ~ 167	170 ~ 404	294 ~ 475	336 ~ 582	502 ~ 661	657 ~ 939
细胞核平均直径 Mean nucleus diameter/ μm	36 ± 12^f	55 ± 16^e	102 ± 16^d	123 ± 15^c	138 ± 22^b	172 ± 26^a	180 ± 35^a
细胞核直径范围 Nucleus diameter range/ μm	14 ~ 60	23 ~ 120	64 ~ 131	92 ~ 159	97 ~ 185	119 ~ 261	133 ~ 239
大核仁平均个数 Average number of large nucleoli/个	1	1 ± 1	-	-	-	-	-
大核仁平均直径 Mean large nucleoli/ μm	12 ± 3^b	16 ± 2^a	-	-	-	-	-
大核仁直径范围 Diameter range of large nucleoli/ μm	5 ~ 18	13 ~ 20	-	-	-	-	-
小核仁平均个数 Average number of small nucleoli/个	5 ± 2	9 ± 2	5 ± 1	6 ± 2	7 ± 2	4 ± 2	9 ± 1
小核仁平均直径 Mean small nucleoli/ μm	5 ± 1^c	5 ± 1^c	12 ± 2^a	10 ± 3^b	11 ± 4^{ab}	11 ± 5^b	7 ± 2^c
小核仁直径范围 Diameter range of small nucleoli/ μm	4 ~ 7	3 ~ 8	8 ~ 16	4 ~ 15	6 ~ 22	3 ~ 25	5 ~ 12
脂肪泡平均直径 Oil drop average diameter/ μm	-	8 ± 3^d	13 ± 2^c	16 ± 3^{bc}	19 ± 4^{bc}	19 ± 3^b	67 ± 26^a
脂肪泡直径范围 Oil drop diameter range/ μm	-	1 ~ 16	9 ~ 18	11 ~ 21	12 ~ 29	14 ~ 27	32 ~ 143
卵黄球平均直径 Yolk globule average diameter/ μm	-	-	3 ± 0.5^c	4 ± 0.6^c	6 ± 2^c	10 ± 2^b	23 ± 11^a
卵黄球直径范围 Yolk globule diameter range/ μm	-	-	2 ~ 5	2 ~ 5	4 ~ 9	6 ~ 13	9 ~ 52

注: 同行中标有不同小写字母者表示各时相间有显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Means with different lower-case letters within the same row are significantly different at the 0.05 probability level.

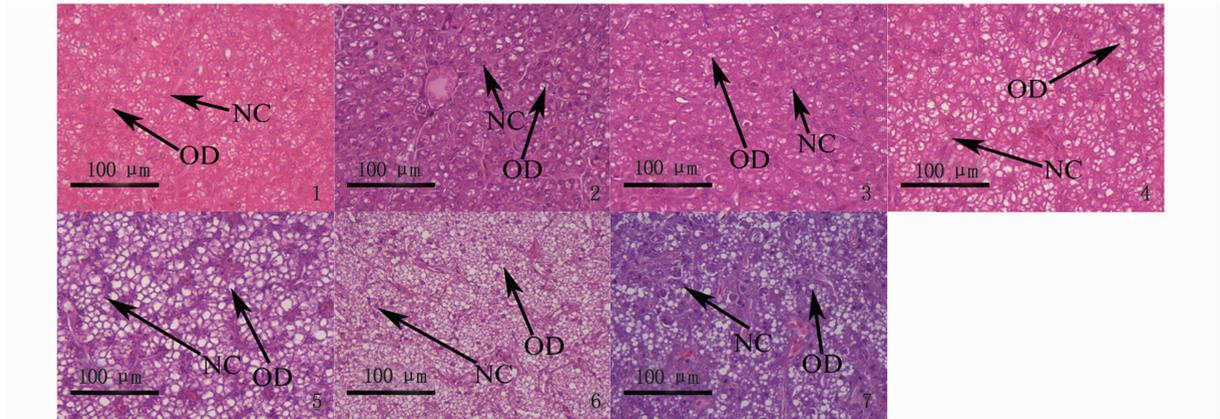
表 2 星康吉鳗不同时期形态学参数

Tab.2 Morphometric indices of conger eel in different developmental stage

指标 Index	OS	OO	EV	MV	LV	NM	OM
GSI	1.17 ± 0.05 ^c	1.70 ± 0.30 ^c	7.76 ± 0.60 ^d	9.58 ± 0.30 ^{cd}	13.46 ± 3.06 ^c	24.30 ± 2.82 ^b	36.56 ± 5.62 ^a
HSI	1.02 ± 0.15 ^c	1.18 ± 0.08 ^c	1.19 ± 0.03 ^{bc}	1.25 ± 0.03 ^{bc}	1.27 ± 0.05 ^{bc}	1.77 ± 0.05 ^a	1.66 ± 0.05 ^{ab}
DI	2.40 ± 0.18 ^a	1.68 ± 0.29 ^b	1.18 ± 0.23 ^c	1.09 ± 0.06 ^{cd}	1.00 ± 0.14 ^{cd}	0.85 ± 0.14 ^d	0.76 ± 0.05 ^d
OI	0.76 ± 0.04 ^c	0.82 ± 0.03 ^c	0.84 ± 0.03 ^{bc}	0.85 ± 0.03 ^{bc}	0.89 ± 0.05 ^{ab}	0.90 ± 0.05 ^{ab}	0.93 ± 0.05 ^a
AI	24.24 ± 0.78 ^c	25.37 ± 0.65 ^{bc}	25.31 ± 0.64 ^{bc}	25.23 ± 0.81 ^{bc}	25.35 ± 1.15 ^{bc}	26.27 ± 1.15 ^b	28.57 ± 1.29 ^a

注:同行中标有不同小写字母者表示各时相间有显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Means with different lower-case letters within the same row are significantly different at the 0.05 probability level.



1. 单层滤泡期肝脏组织; 2. 脂肪泡期肝脏组织; 3. 卵黄充满期早期肝脏组织; 4. 卵黄充满期中期肝脏组织; 5. 卵黄充满期末期肝脏组织; 6. 核极化期肝脏组织; 7. 成熟期肝脏组织; NC. 细胞核; OD. 脂肪泡。

1. Liver tissue in single-layer follicular cells stage; 2. Liver tissue in oil drop stage; 3. Liver tissue in yolk filled early stage; 4. Liver tissue in yolk filled middle stage; 5. Liver tissue in yolk filled late stage; 6. Liver tissue in nucleus polarized stage; 7. Liver tissue in maturation stage; NC. nucleus; OD. Oil drop.

图版 II 星康吉鳗卵巢发育时期同步肝脏组织学观察

Plate II Histological observation of the simultaneous liver during ovary development of *C. myriaster*

表 3 星康吉鳗各形态学指数相关性分析

Tab.3 Significance tests of the correlation coefficients between GSI, HSI, DI, OI, AI for conger eel

指标 Index	GSI	HSI	DI	OI	AI
GSI	-	0.438 ***	-0.708 ***	0.528 ***	0.440 ***
HSI	0.438 ***	-	-0.421 ***	0.338 ***	0.316 **
DI	-0.708 ***	-0.421 ***	-	-0.416 ***	-0.378 ***
OI	0.528 ***	0.338 ***	-0.416 ***	-	0.313 **
AI	0.440 ***	0.316 **	-0.378 ***	0.313 **	-

注:表中标有不同个数星号者表示不同显著性差异水平(* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$)。

Notes: Table marked with different numbers of asterisks indicate different levels of significant difference (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$).

2.4 卵巢发育过程中营养物质含量变化

卵巢中水分比例先下降后逐渐升高;肝脏中水分比例到了成熟期有明显升高;肌肉中水分比例逐步升高(图 2a)。性腺、肝脏和肌肉中灰分比

例没有明显变化规律(图 2b)。性腺和肝脏中蛋白质比例逐渐下降,肌肉蛋白质比例逐渐升高(图 2c)。性腺和肝脏的脂肪比例逐渐升高,肌肉的脂肪比例逐渐下降(图 2d)。

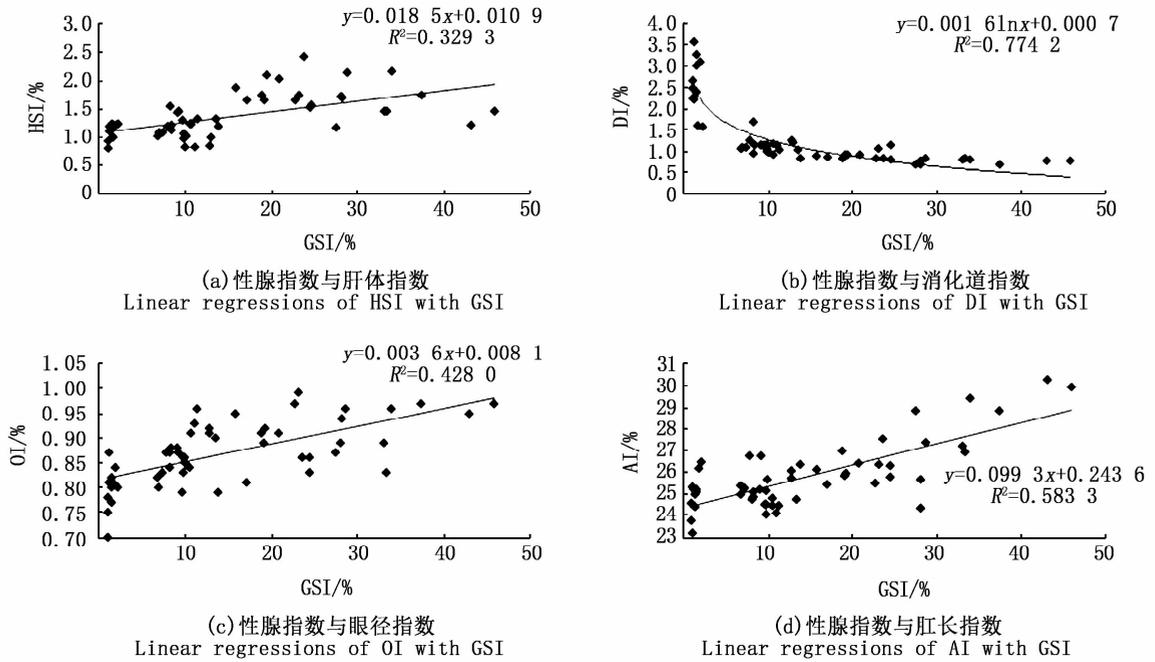
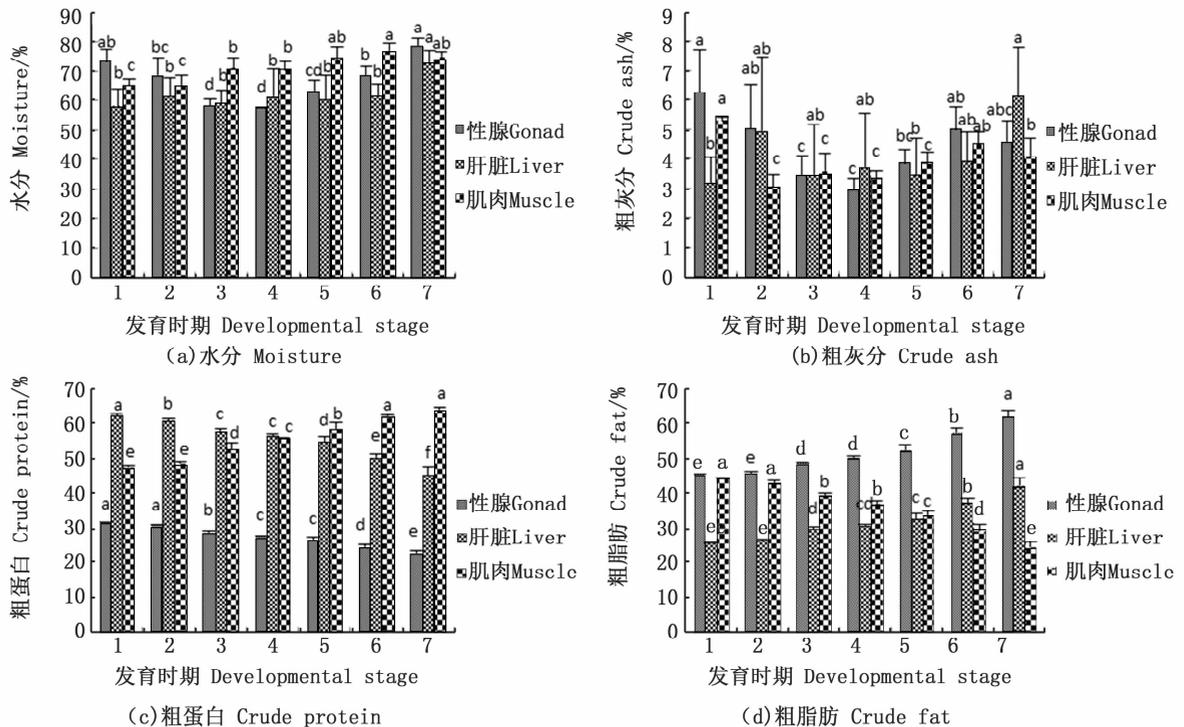


图 1 星康吉鳗性腺指数与其他形态学指数线性回归关系

Fig. 1 Linear regressions of HSI, DI, OI, AI with GSI of *C. myriaster*



1. OS 期; 2. OO 期; 3. EV 期; 4. MV 期; 5. LV 期; 6. NM 期; 7. OM 期; 相同底纹柱上标不同字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

1. OS stage; 2. OO stage; 3. EV stage; 4. MV stage; 5. LV stage; 6. NM stage; 7. OM stage; The means with different lower-case letters within the same pattern column are significantly different at the 0.05 probability level.

图 2 星康吉鳗性腺, 肝脏和肌肉的常规营养成分含量 (干样)

Fig. 2 Content of routine nutritional components in gonad, liver and muscle of *C. myriaster* (dry sample)

3 讨论

3.1 星康吉鳗卵母细胞的发育特点

星康吉鳗卵母细胞直径的范围,从 os 时相到 om 时相为 32 ~ 939 μm (表 1), YAMAMOTO 等^[14]在 1974 年研究日本鳗鲡人工繁殖中卵细胞直径的范围,从染色仁期到卵母细胞成熟期为 20 ~ 950 μm ,两者比较接近。星康吉鳗卵母细胞直径和细胞核直径同步增大,但细胞核直径占卵母细胞直径的比例却随着卵巢发育越来越小,由最开始三分之一的比例逐步缩小到五分之一。这与日本鳗鲡、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、梭鱼 (*Liza haematocheila*)、西伯利亚鲟 (*Acipenser baerii*)、乌鳢 (*Channa argus*) 和香鱼 (*Plecoglossus altivelis*) 的细胞核直径占卵母细胞直径的比例变化趋势基本相同^[14,19-23],说明在一般情况下,鱼类的细胞核占卵母细胞的体积比例随着卵母细胞的发育逐渐减小。星康吉鳗卵母细胞在 os 时相,细胞质呈强嗜碱反应(图版 I-1);日本鳗鲡卵母细胞 os 时相,青鱼、梭鱼、西伯利亚鲟的性腺 II 期中卵母细胞所在时相,乌鳢卵母细胞一层滤泡时相和香鱼卵母细胞 2 时相中期,其细胞质均呈强嗜碱反应^[14,19-23]。以上的鱼类虽然卵母细胞分期方法不同,但卵母细胞发育早期细胞质均呈强嗜碱反应,说明此时卵母细胞中含有大量嗜碱性结构,如粗面内质网、游离核糖体和高尔基体。这些细胞器和蛋白质等物质合成密切相关,说明星康吉鳗等鱼类卵母细胞在早期已经为卵巢发育做好了准备。

本研究中,细胞核中核仁紧贴在核膜内侧(图版 I),大核仁仅存在于 os 时相和 oo 时相,小核仁在各时相均存在。大核仁直径在前两个时相上升;小核仁直径从 os 时相到 ev 时相逐渐上升,从 mv 时相到 nm 时相基本保持不变,到 om 时相逐渐下降(表 1)。这与日本鳗鲡、乌鳢和香鱼的研究中核仁变化情况类似^[14,21-22]。核仁的主要作用是 rRNA 和核糖体的合成,而核糖体是蛋白质翻译的细胞器,所以核仁的变化体现了卵母细胞对发育过程中物质需求。从大小核仁数量和直径的变化可以看出从 oo 时相到 v 时相需要合成大量物质。v 时相细胞核的体积变大,核仁数量变多,则核仁在核膜的分布范围越广,越有利于增加核糖体的生产数量及提高物质从核孔转

移的效率。

3.2 星康吉鳗卵母细胞的卵黄发生过程特点

硬骨鱼类存在 3 种不同形态和性质的卵黄物质:脂肪泡、卵黄泡、卵黄球。它们在不同鱼种中出现的时间和位置不同^[24]。星康吉鳗卵母细胞中脂肪泡最开始出现在细胞核周围,呈环状分布,并且先于卵黄球的发生时间(图版 I-2)。星康吉鳗的脂肪泡随着卵母细胞的发育逐渐向细胞膜方向扩散且直径逐渐变大(图版 I)。这与林鼎等^[13]和 YAMAMOTO 等^[14]对日本鳗鲡卵母细胞的研究中脂肪泡发生规律基本一致^[13-14];但在香鱼的卵母细胞研究中发现,卵黄球已经充满细胞质后脂肪泡才在卵黄球间出现^[21]。星康吉鳗卵母细胞从 nm 时相到 om 时相的脂肪泡直径剧增、数量减小,大部分的小脂肪泡都融合成了几个大脂肪泡。此时的脂肪泡平均直径在 67 μm 左右,最大可到 143 μm (图版 I,表 1),这些脂肪泡在星康吉鳗后期产卵、受精卵的成活率及浮性上起到了重要作用。

星康吉鳗卵母细胞中卵黄球从 ev 时相开始出现,最先出现在卵母细胞细胞膜周边的细胞质层,随着卵母细胞发育向细胞核方向呈环状分布(图版 I-3)。多数鱼种的卵黄发生位点在细胞核周围的细胞质层,然后向细胞膜方向生长,例如乌鳢卵母细胞的卵黄最先出现在细胞核周围的油球间^[22],这种情况与星康吉鳗的卵黄发生情况相反。少数鱼种的卵黄发生位点在细胞膜边缘的细胞质层,然后向细胞核的方向延伸生长,例如:日本鳗鲡在脂肪泡形成后才开始形成卵黄球,且卵黄球先出现在细胞膜周边的细胞质层^[14];香鱼卵母细胞的卵黄球也最先出现在细胞质外层^[21]。以上鱼种卵母细胞的卵黄球发生情况与星康吉鳗一致。因日本鳗鲡和星康吉鳗均属于鳗鲡目,推测鳗鲡目的鱼种都是这种卵黄发生方式。星康吉鳗卵巢发育过程中,卵黄球在卵母细胞中的分布范围和致密程度均逐渐增加,说明卵黄球的积累对卵母细胞的成熟和受精卵的质量有重要影响。om 时相细胞核移向动物极,同时动物极周围的细胞质中卵黄球呈高致密状态(图版 I-6),因受精孔在动物极细胞核附近的细胞膜上,推测此高密度卵黄球区域对受精过程起到重要作用。

3.3 星康吉鳗发育过程中形态学变化特征

星康吉鳗的 GSI 是整个卵巢发育过程中最能体现成熟程度的指标。从 OS 期到 OO 期卵巢发育较缓,从 OO 期到 V 期 GSI 有较大增幅, V 期内部 GSI 增长较缓,从 LV 期到 OM 期 GSI 增幅最大(表 2)。类似现象有:日本鳗鲡在第二卵黄球期到成熟期有极显著性增长^[25];双色鳗鲡(*Anguilla bicolor bicolor*)和孟加拉鳗鲡(*Anguilla bengalensis*)在卵原期到油滴期发育较慢,但从油滴期到第二卵黄球期间有较大增幅^[26];欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)的 GSI 从油滴期到第二卵黄球期有较大增幅^[27]。星康吉鳗卵巢从 OO 期到 V 期 GSI 有较大增幅,主要是由于卵黄积累到了较迅速时期,卵母细胞内容物增多导致细胞直径增长;从 LV 期到 OM 期 GSI 有较大增幅,主要是由于脂肪泡和卵黄球数量、直径的增长,脂肪泡融合及水合作用。

星康吉鳗的 HSI 在整个卵巢发育时期呈上升趋势,其中从 OS 期到 LV 期上升缓慢,从 LV 期到 NM 期有较大增幅。OLIVEREAU 等^[28]研究中欧洲鳗鲡的 GSI 和 HSI 呈正相关关系;LOKMAN 等^[29]研究中非迁徙的短鳍澳洲鳗鲡的 GSI 和 HSI 呈正相关关系;本研究中星康吉鳗的 GSI 和 HSI 呈线性正相关关系($R^2 = 0.33, P < 0.001$, 图 1a)。但长鳍澳洲鳗鲡^[29]和银化阶段的日本鳗鲡^[30]的 GSI 和 HSI 无线性回归关系,说明鳗鲡目下不同鱼种的 GSI 和 HSI 的关系受到很多因素影响。

星康吉鳗卵巢发育过程中 OI 呈上升趋势(图 1c)。相类似 OI 变化情况的鱼种有日本鳗鲡^[25]、双色鳗鲡和孟加拉鳗鲡^[26]、欧洲鳗鲡^[12]等鳗鲡目的鱼种。星康吉鳗的 GSI 和 OI 呈线性正相关($R^2 = 0.43, P < 0.001$),银化阶段的日本鳗鲡的 GSI 和 OI 也呈线性正相关^[30]($R^2 = 0.61, P < 0.001$)。有研究^[31]表明,扩大的眼径是为了适应光线变暗的深海环境,通过眼径的大小可以在无伤情况下判断鳗鲡卵巢的发育情况。

星康吉鳗的 AI 随卵巢发育呈上升趋势。相关研究表明,自然状态下星康吉鳗的肛长指数与鱼体大小、捕食能力呈正相关^[32],说明星康吉鳗的成熟程度和肛长密切相关。

星康吉鳗卵巢发育过程中 DI 呈指数型下降。星康吉鳗的 GSI 和 DI 呈指数型负相关

($R^2 = 0.77, P < 0.001$),银化阶段的日本鳗鲡 GSI 和 DI 也呈指数型负相关^[30]($R^2 = 0.59, P < 0.001$)。这是因为卵巢发育过程中星康吉鳗处于饥饿状态,消化道附着的脂肪在早期先被转运用于基础代谢,消化道指数的下降,为发育过程中卵巢体积的增大腾出足够的空间。相关研究^[30]表明消化道退化有利于鱼体的渗透调节,减少不必要的冗余系统。

3.4 星康吉鳗发育过程中营养成分变化特点

因整个实验过程中星康吉鳗没有食物摄入,故星康吉鳗发育过程中各器官组织之间物质相互转运导致营养成分发生变化。日本鳗鲡和欧洲鳗鲡在人工繁殖过程中均不喂食,性腺能够正常发育。在日本鳗鲡相关的研究中讨论过性腺中脂类的来源,表明性腺中的脂类物质从肌肉转移到肝脏,再从肝脏转移到性腺^[33];欧洲鳗鲡的研究中也表明相类似的脂类转化途径^[34]。在日本鳗鲡中证实性腺发育过程中雌二醇与肝脏上相应受体结合,从而调控卵黄蛋白原的产量^[35-39];通过电镜观察证明鲤(*Cyprinus carpio*)和大西洋鲑(*Salmo salar*)卵黄蛋白原通过血液运输经过一种缺糖类促性腺激素介导进入卵母细胞^[40];星康吉鳗卵巢发育的相关研究证实,雌激素受体 β 亚基 mRNA 在脑垂体、肝脏中高表达^[41],卵黄蛋白原基因在肝脏中高表达,表达水平从脂肪泡期到卵黄充满期末期逐渐升高,然后保持不变持续到核极化期^[42];在大西洋鲑鱼相关研究中发现 HSI 和肝脏能量含量呈正相关关系^[43]。从上述研究结合图版 I 卵母细胞中脂肪泡和卵黄球的积累过程,图版 II 肝脏细胞中脂肪小泡的变化情况,图 2d 粗脂肪变化情况,表 2 中 HSI 的变化情况,推测星康吉鳗卵巢发育过程中,肌肉中脂肪通过血液向肝脏转运,同时肝脏中生成的卵黄蛋白原被转运到卵巢中用于卵巢发育。肌肉中脂肪含量减少导致蛋白质占比升高,同时肌肉中水分含量上升可以保证支持肌肉细胞结构。有研究表明随着性腺发育,日本鳗鲡^[44],鲟鱼(*Tenualosa reevesii*)^[45]以及北海鲱鱼(*Clupea harengus*)^[46]肌肉中的水分与脂肪呈明显的线性负相关,这与星康吉鳗的情况类似。大多数洄游性鱼类都有类似的脂肪转运现象,刀鲚(*Coilia nasus*)和凤鲚(*Coilia mystus*)在产卵洄游中,卵巢脂肪含量呈明显上升趋势:凤鲚在第 4 和第 5 发

育阶段卵巢脂肪含量变动比上升了73.05%，肝脏脂肪含量变动比下降了34.9%，肌肉脂肪含量变动比下降了15.12%；刀鲚在第四发育阶段卵巢脂肪含量变动比上升了91.42%，肝脏脂肪含量变动比下降了21.74%，肌肉脂肪含量变动比下降了19.20%^[47]。

本研究表明，星康吉鳗的脂肪主要存储在肌肉中，少部分储存在肝脏。不同鱼类脂肪的主要储存位置不同，比如：刀鲚、红鲑 (*Oncorhynchus nerka*) 把高水平含量的脂类储存在肌肉^[47-48]；凤鲚主要把脂肪积聚在卵巢和肝脏^[47]；板鳃类成熟个体、眼斑拟石首鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 主要把脂肪积聚在肝脏^[49-52]。这些鱼类储存脂类物质在不同的器官中表明，进行远距离洄游的种类大部分以肌肉作为主要储存脂肪的器官。星康吉鳗的产卵场在远离大陆架的深海中，表明星康吉鳗要进行远距离产卵洄游，这与它脂肪的储存位置比较吻合，肌肉中的脂类既可以供应游泳中能量消耗，同时也可以转运用于卵巢发育。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志: 硬骨鱼纲 鳗鲡目 背棘鱼目[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 199-203.
Editorial Committee of Zoology of China Academy of Sciences. Fauna sinica: Osteichthyes Anguilliformes[M]. Beijing: Science Press, 2010: 199-203.
- [2] PARK C D. Conger-eel fisheries in Korea[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(1): 127-128.
- [3] TOKIMURA M. Conger-eel fisheries and fisheries resources in the East China Sea[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(1): 125-126.
- [4] OKAMURA O, KITAJIMA T. Fishes of the Okinawa trough and the adjacent waters I[M]. Tokyo: Japan Fisheries Resource Conservation Association, 1984: 92-93.
- [5] KUROGI 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.
- [6] MILLER M J, YOSHINAGA T, AOYAMA J, et al. Offshore spawning of *Conger myriaster* in the western North Pacific: evidence for convergent migration strategies of anguilliform eels in the Atlantic and Pacific[J]. Naturwissenschaften, 2011, 98(6): 537-543.
- [7] 牟秀霞, 李明坤, 尹洁, 等. 山东半岛东南部海域星康吉鳗资源密度时空分布及其与环境因子之间关系[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1759-1767.
MU X X, LI M K, YIN J, et al. Relationship between spatio-temporal distribution of *Conger myriaster* and the environment factors in the southeast waters of Shandong Peninsula[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1759-1767.
- [8] YAGI Y, KODONO N, KINOSHITA I, et al. Late-stage metamorphosing *Conger myriaster* leptocephali collected in a river estuary of Ariake Bay, Japan [J]. Ichthyological Research, 2010, 57(3): 310-313.
- [9] HORIE N, UTOH T, YAMADA Y, et al. Development of embryos and larvae in the common Japanese conger *Conger myriaster*[J]. Fisheries Science, 2002, 68(5): 972-983.
- [10] 柳凌, 李荣, 张洁明, 等. 日本鳗鲡雌鳗卵巢发育期间肌肉脂肪酸的组成及消耗[J]. 水生生物学报, 2009, 33(6): 1011-1019.
LIU L, LI R, ZHANG J M, et al. Composition and metabolizing of lipids and fatty acids in muscle of female *Anguilla japonica* during the period of artificial inducing ovarian maturation [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(6): 1011-1019.
- [11] UTOH T, HORIE N, MIKAWA N, et al. Annual changes in ovarian development and plasma estradiol-17 β level in reared female common Japanese conger, *Conger myriaster* [J]. Fisheries Science, 2005, 71(1): 38-47.
- [12] PANKHURST N W. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.) [J]. Journal of Fish Biology, 1982, 21(2): 127-140.
- [13] 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.
- [14] YAMAMOTO K, OMORI M, YAMAUCHI K. Oogenesis of the Japanese eel [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1974, 40(1): 9-15.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3 - 2016 National food safety standard Determination of moisture in food [S]. Beijing: Standard Press of China, 2016.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of PRC, State Food and Drug Administration. GB 5009.5—2016 National food safety standard Determination of protein in foods [S]. Beijing: Standard Press of China, 2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北

- 京: 中国标准出版社, 2017.
- State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.4—2016 National food safety standard Determination of crude ash in foods[S]. Beijing: Standard Press of China, 2017.
- [18] FOLCH J, LEES M, STANLEY S H G. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [19] 湖南师范学院生物系鱼类研究小组. 青鱼性腺发育的研究[J]. 水生生物学集刊, 1975, 5(4): 471-488.
- Fishery Research Group, Department of Biology, Hunan Teachers' College. Studies on the gonadal development of the snail carp, *Mylopharyngodon piceus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1975, 5(4): 471-488.
- [20] 李明德, 周爱莲, 潘永浩. 梭鱼性腺发育的组织学特征及其分期[J]. 海洋学报, 1982, 4(5): 627-631.
- LI M D, ZHOU A L, PAN Y H. Histological characteristics and stages of *Liza haematocheila* gonad development [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1982, 4(5): 627-632.
- [21] 龚启祥, 曹克驹, 曾嵘. 香鱼卵巢发育的组织学研究[J]. 水产学报, 1982, 6(3): 221-234.
- GONG Q X, CAO K J, ZENG Z. A histological study on the development of ovary of Ayu [J]. Journal of Fisheries of China, 1982, 6(3): 221-234.
- [22] 岳朝霞, 高书堂, 邓凤姣, 等. 乌鳢卵巢发育的组织学研究[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 1996, 42(2): 225-232.
- YUE Z X, GAO S T, DENG F J, et al. A histological study on the ovary development of *Channa argus*[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 1996, 42(2): 225-232.
- [23] 田美平, 庄平, 张涛, 等. 西伯利亚鲟性腺早期发生、分化、发育的组织学观察[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 496-506.
- TIAN M P, ZHUANG P, ZHANG T, et al. Histological observation on early development and differentiation of gonad in Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 496-506.
- [24] 张贤芳, 张耀光, 王志坚. 硬骨鱼类的卵巢发育和卵子发生研究综述[J]. 海南师范学院学报(自然科学版), 2006, 19(1): 70-74, 78.
- ZHANG X F, ZHANG Y G, WANG Z J. Review of ovarian development and genesis of osteichthyes[J]. Journal of Hainan Normal University (Natural Science), 2006, 19(1): 70-74, 78.
- [25] HYEON J Y, HUR S P, KIM B H, et al. Involvement of estrogen and its receptors in morphological changes in the eyes of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, in the process of artificially-induced maturation [J]. Cells, 2019, 8(4): 310.
- [26] ARAI T, KADIR S R A. Opportunistic spawning of tropical anguillid eels *Anguilla bicolor bicolor* and *A. bengalensis*[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 41649.
- [27] MORDENTI O, DI BIASE A, BASTONE G, et al. Controlled reproduction in the wild European eel (*Anguilla anguilla*): two populations compared [J]. Aquaculture International, 2013, 21(5): 1045-1063.
- [28] OLIVEREAU M, OLIVEREAU J. Effect of estradiol-17 β on the cytology of the liver, gonads and pituitary, and on plasma electrolytes in the female freshwater eel[J]. Cell and Tissue Research, 1979, 199(3): 431-454.
- [29] LOKMAN P M, VERMEULEN G J, LAMBERT J G D, et al. Gonad histology and plasma steroid profiles in wild New Zealand freshwater eels (*Anguilla dieffenbachii* and *A. australis*) before and at the onset of the natural spawning migration. I. Females [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1998, 19(4): 325-338.
- [30] HAN Y S, LIAO I C, HUANG Y S, et al. Synchronous changes of morphology and gonadal development of silvering Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. Aquaculture, 2003, 219(1/4): 783-796.
- [31] PANKHURST N W, LYTHGOE J N. Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* [J]. Journal of Fish Biology, 1983, 23(2): 229-240.
- [32] 刘西方, 刘贺, 薛莹, 等. 海州湾星康吉鳗的摄食生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 517-527.
- LIU X F, LIU H, XUE Y, et al. Feeding ecology of *Conger myriaster* in Haizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 517-527.
- [33] OZAKI Y, KOGA H, TAKAHASHI T, et al. Lipid content and fatty acid composition of muscle, liver, ovary and eggs of captive-reared and wild silver Japanese eel *Anguilla japonica* during artificial maturation[J]. Fisheries Science, 2008, 74(2): 362-371.
- [34] PALSTRA A, VAN GINNEKEN V, VAN DEN THILLART G. Effects of swimming on silvering and maturation of the European eel, *Anguilla anguilla* L. [C]//VAN DEN THILLART G, DUFOUR S, RANKIN J C. Spawning Migration of the European Eel. Dordrecht: Springer, 2009: 229-251.
- [35] OKUMURA H, TODO T, ADACHI S, et al. Changes in hepatic vitellogenin mRNA levels during oocyte development in the Japanese eel, *Anguilla japonica* [J]. General and Comparative Endocrinology, 2002, 125(1): 9-16.
- [36] IJIRI S, KAZETO Y, TAKEDA N, et al. Changes in serum steroid hormones and steroidogenic ability of ovarian follicles during artificial maturation of cultivated Japanese eel, *Anguilla japonica*[J]. Aquaculture, 1995, 135(1/3): 3-16.
- [37] OKUMURA H, MATSUBARA H, ADACHI S, et al. Changes in serum vitellogenin levels and immunohistochemical localization of vitellogenin in hepatic cells during ovarian

- development in the Japanese eel [J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(5): 880-887.
- [38] KWON H C, MUGIYA Y. Involvement of growth hormone and prolactin in the induction of vitellogenin synthesis in primary hepatocyte culture in the eel, *Anguilla japonica* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1994, 93(1): 51-60.
- [39] WANG Y S, LOU S W. Structural and expression analysis of hepatic vitellogenin gene during ovarian maturation in *Anguilla japonica* [J]. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 2006, 100(4/5): 193-201.
- [40] WIEGAND M D, IDLER D R. Failure of antibody to carbohydrate-rich gonadotropin to inhibit rapid ovarian growth in landlocked Atlantic salmon [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1984, 55(2): 260-268.
- [41] MIKAWA N, UTOH T, HORIE N, et al. Cloning of estrogen receptor- β cDNA of common Japanese conger *Conger myriaster* and expression of the gene during oocyte development [J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(6): 960-970.
- [42] MIKAWA N, UTOH T, HORIE N, et al. Cloning and characterization of vitellogenin cDNA from the common Japanese conger (*Conger myriaster*) and vitellogenin gene expression during ovarian development [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2006, 143(4): 404-414.
- [43] LAMBERT Y, DUTIL J D. Can simple condition indices be used to monitor and quantify seasonal changes in the energy reserves of cod (*Gadus morhua*)? [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54(S1): 104-112.
- [44] 谢刚, 杨红波, 邢惠铃, 等. 鳗鲡肌肉生化成分的分析 [J]. *淡水渔业*, 1989(4): 6-9.
- XIE G, YANG H B, XING H L, et al. Analysis of biochemical components of eel muscle [J]. *Freshwater Fisheries*, 1989(4): 6-9.
- [45] 孙建贻. 鲟鱼生殖洄游期间肌肉含脂量和含水量的变化 [C]//鱼类学论文集:第四辑. 北京: 科学出版社, 1985: 141-145.
- SUN J Y. Changes of muscle fat content and water content of *Tenualosa reevesii* during reproductive migration [C]// *Proceedings of Fish Science 4*. Beijing: Science Press, 1985: 141-145.
- [46] ILES T D, WOOD R J. The fat/water relationship in North Sea herring (*Clupea harengus*), and its possible significance [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1965, 45(2): 353-366.
- [47] 吴利红, 唐文乔, 张亚. 从体内脂肪的转移过程探讨凤鲚和刀鲚溯河产卵洄游距离的差异性 [J]. *水产学报*, 2017, 41(2): 212-220.
- WU L H, TANG W Q, ZHANG Y. Research on the differences of anadromous migratory distance between *Coilia mystus* and *Coilia nasus* based on the transfer process of body lipid [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 212-220.
- [48] HATANO M, TAKAHASHI K, MATHISEN O A, et al. Biochemical differences in sockeye salmon that are ocean feeding and on the spawning grounds [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 1995, 19(4): 269-284.
- [49] ABDEL-AZIZ S H, EL-NADY F S. Lipid dynamics in the common torpedo, *Torpedo torpedo*, from the south eastern Mediterranean [J]. *Journal of Fish Biology*, 1993, 43(2): 155-162.
- [50] CRAIK J C A. The lipids of six species of shark [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1978, 58(4): 913-921.
- [51] ROSSOUW G J. Function of the liver and hepatic lipids of the lesser sand shark, *Rhinobatos annulatus* (Müller & Henle) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1987, 86(4): 785-790.
- [52] CRAIG S R, MACKENZIE D S, JONES G, et al. Seasonal changes in the reproductive condition and body composition of free-ranging red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. *Aquaculture*, 2000, 190(1/2): 89-102.

Changes of individual morphology and oocyte characteristics and analysis of tissue nutrient content during the ovary development of conger eel (*Conger myriaster*)

WU Meng¹, LU Qiang¹, LIU Rucong¹, JIANG Xinglong², SONG Zongcheng³, LI Kang^{1,4}, LIU Liping^{1,4}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering Research Center of the Modern Technology for Eel Industry, Ministry of Education, Xiamen 361021, Fujian, China; 3. Weihai Shenghang Aquatic Technology Limited Company, Weihai 264299, Shandong, China; 4. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The changes of individual morphology and oocyte characteristics of conger eel during the development of ovary were studied; meanwhile, the nutritional components of ovary, liver and muscle were investigated. The results showed that the ovary development of conger eel could be divided into 5 stages: the single-layer follicular cells stage, the oil drop stage, the yolk filled stage (early, middle and late), the nucleus polarized stage, and the mature oocyte stage. The diameter of the oocyte, nucleus, oil drop, and the yolk globule gradually increased with the development of the oocyte. The initial location of oil drops was around the nucleus, and preceded the yolk sphere. The oil drops were distributed in a ring shape and gradually extended toward the cell membrane through the oocyte development. The initial occurrence site of yolk sphere was in the cytoplasmic layer around the cell membrane, which was distributed in a ring shape as the oocyte developed and extended toward the nucleus. The gonadosomatic index, hepatosomatic index, ocular index, and anal length index all showed positive correlations during development. The digestive gut index was negatively correlated with gonadosomatic index, hepatosomatic index, ocular index, and anal length index. The changes in nutritional composition indicated that the fat storage location is in muscle, and the fat transportation plays a critical role during the ovary development. The results of this study give an essential reference for the artificial reproduction of conger eel.

Key words: *Conger myriaster*; gonad development; oocyte; individual morphology; nutrient content