

文章编号: 1674-5566(2021)01-0029-10

DOI:10.12024/jsou.20190502657

不同激素组合对人工诱导星康吉鳗性成熟效果的比较

李晓龙¹, 李 慷¹, 汝高盟¹, 江兴龙², 刘利平^{1,3,4}

(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. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 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:通过分析星康吉鳗(*Conger myriaster*)人工催熟过程中其外表形态、性腺发育和性类固醇激素含量的变化关系, 以为星康吉鳗的人工繁殖提供数据支撑。实验共收集野生星康吉鳗 100 尾[(288.30 ± 62.34) g], 分为对照组和 3 个激素注射组: 实验组 A (CPE: 2 mg/kg), 实验组 B (HCG: 200 IU/kg) 和实验组 C (CPE: 1 mg/kg 和 HCG: 100 IU/kg)。每周进行 1 次激素注射, 共注射 12 次激素, 对照组不做处理。结果表明: 实验组 C 亲鱼卵母细胞发育至细胞核移位阶段, 星康吉鳗性腺发育状态最佳。完成 12 次激素注射后, 所有的实验组星康吉鳗卵母细胞发育均达到 III 期, 而对照组卵母细胞发育仍停滞在第 II 期。通过对类固醇激素进行 ELISA 检测表明, 在第 12 次注射后, 实验组 C 星康吉鳗性腺中睾酮含量[(217.00 ± 31.76) ng/g] 显著高于对照组[(123.24 ± 21.05) ng/g]。与对照组相比, 注射激素实验组星康吉鳗性腺中 17 α -羟孕酮含量呈现缓慢上升趋势。至实验结束时, CPE 和 HCG 组合激素注射的星康吉鳗性腺发育到第 V 期。综上所述, CPE + HCG 能够有效地促进星康吉鳗的性腺发育, 可作为催熟激素用于星康吉鳗的人工繁殖。

关键词: 星康吉鳗; 人工繁殖; 性腺发育; 类固醇激素

中图分类号: S 965.2 **文献标志码:** A

星康吉鳗(*Conger myriaster*)属于鳗鲡目(Anguilliformes)星康吉鳗科(Congridae)星鳗属(*Conger*), 是我国东海、渤海等近海常见的食用鱼类^[1]。2004 年星康吉鳗的捕捞量达到 10 000 t^[2], 但市场消费供给方式仍旧依靠野生捕捞; 随着捕捞量逐年增加, 野生资源面临枯竭^[3], 星康吉鳗的人工繁殖已经引起了世界各地众多研究者的关注^[3-5]。

一般认为, 星康吉鳗的产卵季节在每年秋季到冬季之间, 性腺在鳗鱼向深水区迁移的过程中继续发育^[6]。研究人员在西北太平洋发现的星康吉鳗初孵仔鱼, 证实了它的迁移生殖活动同日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)类似^[7]。有学者尝试使用外源激素促进星康吉鳗卵巢发育, 通过检测体内类固醇含量的变化来研究其内分泌机制; 在 10 °C 条件下, 研究人员成功地通过激素注射诱导

星康吉鳗性腺发育成熟并排卵^[8-10]。因此, 星康吉鳗的人工繁殖是可行的。

DUFOR 等^[11]研究发现睾酮、雌二醇对欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)的性腺发育进程具有反馈调节作用^[12]。花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)^[13]、日本鳗鲡^[14]、欧洲鳗鲡^[15]的研究结果表明, 随着卵巢的发育, 鳗鲡血清及性腺中类固醇激素的含量呈现上升趋势。此外, 研究发现欧洲鳗鲡注射激素后, 胸鳍、眼径和性腺增大^[16], 甚至引起消化道的变形^[17]。

目前, 有关星康吉鳗的研究多集中于其生物学特性、捕获渔具的选择和资源调查等方面^[18-22], 而对人工催熟研究的相关数据较为稀缺。本研究在已有的不同品种鳗鲡人工繁殖经验的基础上, 开展对星康吉鳗人工催熟技术研究, 期望在完善催熟技术的过程中实现星康吉鳗

收稿日期: 2019-05-14 修回日期: 2019-08-19

基金项目: 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心开放基金(RE201803); 中国博士后科学基金面上资助项目(2018M641984); 中国-东盟海上合作基金项目(DF)

作者简介: 李晓龙(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产养殖。E-mail: 1249570460@qq.com

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

人工繁殖。

1 材料与amp;方法

1.1 实验用鱼

实验用野生星康吉鳗采自浙江舟山附近海域,共200尾,平均体质量为 (288.30 ± 62.34) g,驯养于养殖基地水池中,待星康吉鳗正常摄食,并完全适应周围环境后,挑取活力好,无伤的健康鱼100尾作为实验用鱼。

1.2 实验分组及处理方式

100尾星康吉鳗随机分为4组,其中,实验组A:CPE 2 mg/kg,实验组B:HCG 200 IU/kg,实验组C:CPE 1 mg/kg和HCG 100 IU/kg,每周注射1次,对照组不做处理。实验期间投喂冰鲜鱼占鱼体质量2%,每天定时投喂1次。培育池采用人工模拟自然环境,池底1/2铺设沙子厚约4 cm,布置管道,石块等遮蔽物,实验水体为沙滤海水,养殖池水体 32 m^3 ,水温 $15 \sim 27 \text{ }^\circ\text{C}$,盐度 $22 \sim 28$ 。

1.3 样品采集

采样参考林静等^[13]的方法,同时结合星康吉鳗性腺发育情况,分别在激素注射的第0(T1)、10(T2)、12(T3)次采集样品。采样前用MS-222麻醉星康吉鳗,称量体质量,测量体长、肛长、左眼水平眼径、左眼垂直眼径和胸鳍长。采用断尾取血的方法取血3 mL,静置冰浴2 h后,2 500 r/min离心5 min,取上清液于 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ 保存待测;取性腺称量,切取性腺保存于Bouin氏试剂中固定,24 h后70%乙醇冲洗,并保存待用;通过H.E染色来观察性腺发育变化情况,将部分新鲜性腺保存于 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ 供后续进行激素含量测定。

1.4 性腺及血清中性类固醇激素的测定

采用酶联吸附剂法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)进行激素测定,对性腺及血清中睾酮(testosterone, T)、 17α -羟基孕酮(17α -hydroxyprogesterone, 17α -OHP)、DHP、雌酮(estrone, E1)、雌二醇(estradiol- 17β , E2)和雌三醇(estriol, E3)6种与性腺发育有关的类固醇激素进行检测。检测原理如下:(1)让抗原或者抗体结合到固相载体的表面,并且使其能够保持活性;(2)让抗原或者抗体与酶结合形成酶标抗

原或者抗体,既保留抗原或者抗体的活性,同时又能够保留酶的活性。测定时,通过洗涤的方法使得固相载体表面的抗原抗体复合物跟其他物质分开,最终在固相载体表面结合的酶量与受检样品的酶量呈现一定比例。接着加入酶反应的底物,底物会被酶催化形成有色产物,形成产物的量跟受检测的物质直接相关,根据颜色深浅,通过酶标仪进行定性、定量分析。

1.5 形态学指标及性腺发育指数计算方法

测量其全长(L_T)、左眼水平直径(A)和左眼垂直直径(B)、胸鳍鳍长(L_P)、肛门至头部的距离(肛长 T_A);解剖后称其内脏质量(W_V)、性腺质量(W_C)、去除内脏质量(W)等指标。

1.6 数据处理

实验数据经过Excel处理,采用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示,统计分析采用SPSS 22.0统计软件,Duncan氏T分析差异性,显著性标准用 $P < 0.05$ 表示。

$$I_{GS} = (W_C/W) \times 100 \quad (1)$$

$$I_F = (L_P/L_T) \times 100 \quad (2)$$

$$I_V = (W_V/W) \times 100 \quad (3)$$

$$I_0 = [(A+B)/4]^2 \times (\pi/L_T) \times 100 \quad (4)$$

$$I_A = (T_A/L_T) \times 100 \quad (5)$$

式中: I_{GS} 为性腺指数,%; W_C 为性腺质量,g; W 为去除内脏质量,g; I_F 为鱼鳍指数,%; L_P 为胸鳍鳍长,cm; L_T 为全长,cm; I_V 为内脏指数,%; W_V 为内脏质量,g; I_0 为眼径指数; A 为左眼水平直径,cm; B 为左眼垂直直径,cm; I_A 为肛长指数,%; T_A 为肛长,cm。

2 结果

2.1 形态学指标的变化

经过长时间的外源激素注射,实验组星康吉鳗的眼径指数逐渐增加,T3时期实验组星康吉鳗眼径指数($1.36\% \pm 0.10\%$)高于对照组($1.07\% \pm 0.04\%$)。对照组以及实验组均出现肛长指数下降的情况。不同采样时间及不同实验组之间眼径指数、鱼鳍指数、肛长指数和肝脏指数无显著性差异($P > 0.05$,表1)。

表 1 星康吉鳗在不同阶段的形态学数据

Tab. 1 Morphological data at different development stages of *Conger myriaster*

采样时间 Sampling time	实验组别 Group	眼径指数 Ocular index/%	鱼鳍指数 Fin index/%	肛长指数 Anal index/%	内脏指数 Visceral index/%
T1	初始组	0.93 ± 0.05 ^{Aa}	6.52 ± 0.80 ^{Aa}	0.62 ± 0.01 ^{Aa}	1.37 ± 0.09 ^{Aa}
	对照组	0.90 ± 0.05 ^{Aa}	5.67 ± 0.16 ^{Aa}	0.38 ± 0.01 ^{Aa}	1.29 ± 0.24 ^{Aa}
T2	A	1.09 ± 0.14 ^{Aa}	6.21 ± 0.21 ^{Aa}	0.38 ± 0.00 ^{Aa}	1.31 ± 0.04 ^{Aa}
	B	1.04 ± 0.12 ^{Aa}	6.29 ± 0.21 ^{Aa}	0.39 ± 0.01 ^{Aa}	1.07 ± 0.03 ^{Aa}
	C	0.96 ± 0.09 ^{Aa}	6.14 ± 0.24 ^{Aa}	0.39 ± 0.00 ^{Aa}	1.25 ± 0.20 ^{Aa}
T3	对照组	1.07 ± 0.04 ^{Aa}	6.84 ± 0.10 ^{Aa}	0.46 ± 0.08 ^{Aa}	1.70 ± 0.12 ^{Aa}
	A	1.36 ± 0.10 ^{Aa}	6.14 ± 0.41 ^{Aa}	0.40 ± 0.02 ^{Aa}	1.24 ± 0.09 ^{Aa}
	B	1.36 ± 0.21 ^{Aa}	6.48 ± 0.32 ^{Aa}	0.40 ± 0.01 ^{Aa}	1.13 ± 0.18 ^{Aa}
	C	1.63 ± 0.09 ^{Aa}	6.08 ± 0.54 ^{Aa}	0.40 ± 0.01 ^{Aa}	1.12 ± 0.03 ^{Aa}

注:大写字母表示相同采样时间不同激素处理组之间的差异显著性($P < 0.05$);小写字母表示相同激素处理组不同采样时间的差异显著性($P < 0.05$)。

Notes: Data with different capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at different treatments and different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at the different sampling time.

2.2 性腺的发育

T3 采样结果显示,激素处理组 A、B 和 C 的星康吉鳗性腺发育与 T1 采样时相比,性腺指数显著上升,性腺指数大小依次为:实验组 C > 实验组 B > 实验组 A,其中实验组 A 性腺指数($5.49\% \pm 1.35\%$)显著高于对照组($0.94\% \pm$

0.14% , $P < 0.05$)。对照组星康吉鳗在 T1 与 T3 采样时期性腺发育基本停滞,性腺指数分别为 $0.84\% \pm 0.17\%$ 和 $0.94\% \pm 0.14\%$,卵母细胞发育停留在 I ~ II 期。实验组 C 星康吉鳗的采样结果显示,性腺发育最佳($7.02\% \pm 2.66\%$),卵母细胞发育到第 V 期,见表 2。

表 2 不同采样时期星康吉鳗的性腺发育相关参数

Tab. 2 Gonadal development index of *Conger myriaster* at different sampling time

采样时间 Sampling time	实验组别 Group	卵巢质量 Average ovary mass/g	性腺指数 GSL/%	发育阶段 Development stages
T1	初始组	2.88 ± 0.37	0.84 ± 0.17 ^b	I
	对照组	2.77 ± 0.43	1.01 ± 0.21 ^{Bb}	I、II
T2	A	12.01 ± 2.03	4.91 ± 0.69 ^{Aa}	III、IV
	B	8.59 ± 2.70	3.66 ± 1.79 ^{ABa}	III
	C	20.13 ± 10.62	6.30 ± 2.86 ^{Aa}	IV
T3	对照组	2.41 ± 0.29	0.94 ± 0.14 ^{Bb}	II
	A	13.65 ± 2.61	5.49 ± 1.35 ^{Aa}	III、IV
	B	15.69 ± 5.06	6.80 ± 1.72 ^{Aa}	IV
	C	23.17 ± 2.08	7.02 ± 2.66 ^{Aa}	IV、V

注:大写字母表示相同采样时间不同激素处理组之间的差异性显著($P < 0.05$);小写字母表示相同激素处理组不同采样时间的差异性显著($P < 0.05$)。

Notes: Capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at different treatments and different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at the different sampling time.

2.3 性腺的组织结构

星康吉鳗卵巢的显微切片结果显示,卵母细胞外部形状多为椭圆形或圆形,细胞核位于细胞中央或一侧。细胞质被伊红染成浅红色,细胞核被苏木精染成紫红色。另外,细胞质中充满了各种大小规格的脂肪泡。依据广义的卵巢组织形态结构分类方法,将鱼类的卵母细胞发育时期分为 6 个阶段^[23]。结合星康吉鳗的性腺发育状态,对星康吉鳗的发育时相进行判断。结果显示,星

康吉鳗在捕获时卵母细胞处于发育的第 I 期,只有少量卵母细胞发育达到第 II 期(图版)。在 T3 采样时期观察发现对照组星康吉鳗性腺发育迟缓,性腺仅发育到第 II 期。实验组 C 性腺发育最佳,观察发现切片中部分卵母细胞已发育到第 V 期,此时的卵母细胞直径为 $500 \sim 600 \mu\text{m}$,细胞直径更大。此时,细胞核偏离细胞中央,到达动物极一端,核膜逐渐溶解,但仍具核膜轮廓,且细胞直径变得更大(图版)。

2.4 星康吉鳎性腺及血液中激素含量的变化

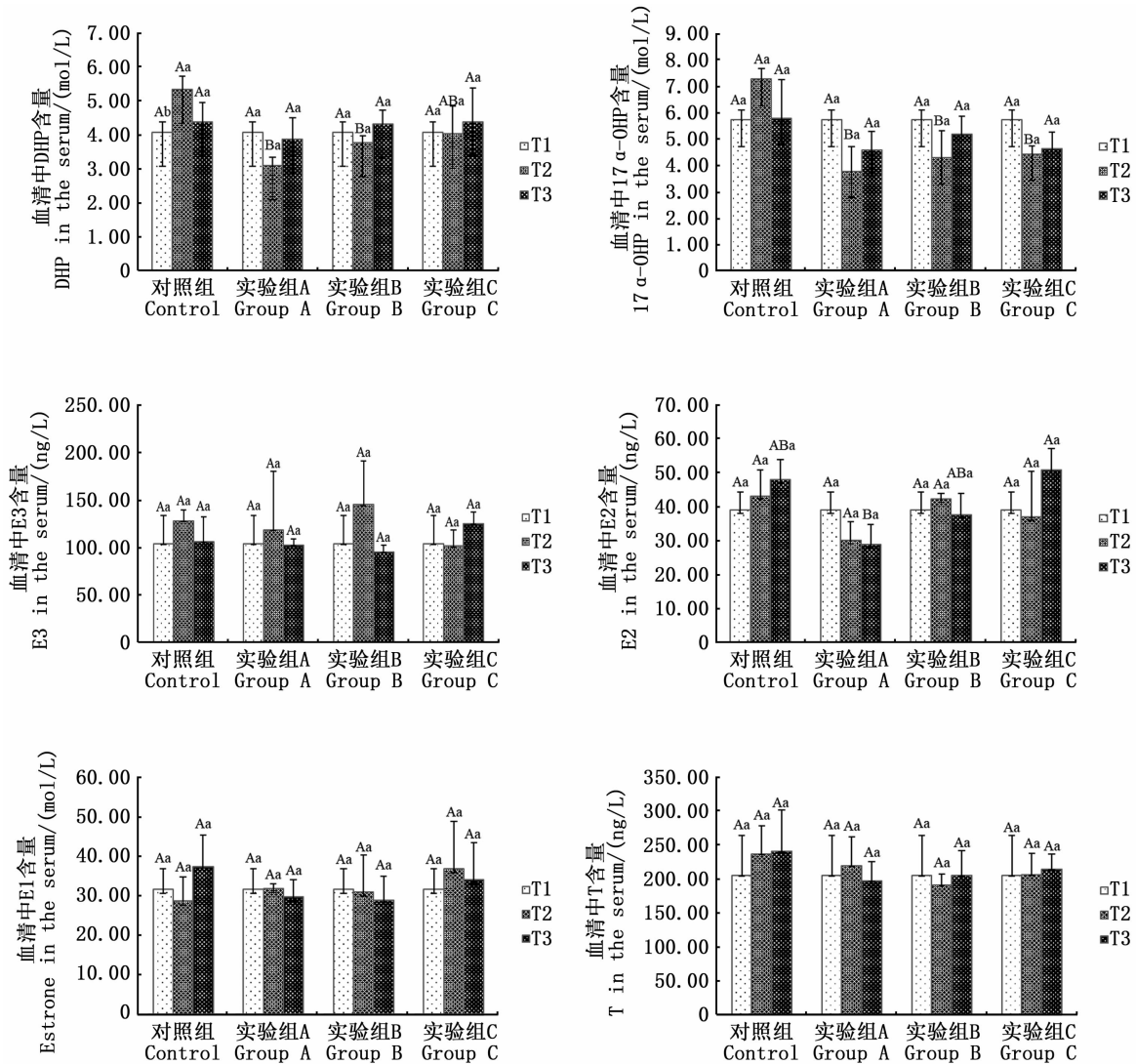
2.4.1 血清内激素含量的变化

从图1可以看出,随着持续进行人工激素诱导,实验组血清中DHP和OHP呈现先下降后上升的趋势,与此相比,未进行激素诱导的对照组鳎血清中DHP和OHP呈现出先增加后下降的趋势。对照组及实验组中E3、T、E1变化趋势不明显。其中实验组C血清中的E2、E3的含量与其他实验组相比具有较高的水平,分别为

(50.86 ± 6.34) ng/L和(125.11 ± 12.47) ng/L。

2.4.2 性腺内激素含量的变化

图2为不同外源激素组合处理雌性星康吉鳎后,性腺中的6种类固醇激素的含量变化。结果显示,随着注射次数的增加(性腺未完全发育成熟前)实验组DHP含量呈现缓慢下降趋势,E3、E1呈现出先下降后上升的趋势,对照组及实验组鳎性腺中DHP、E3、E2、E1的含量整体呈下降趋势。与对照组[(2.86 ± 0.44) nmol/g]相比,注

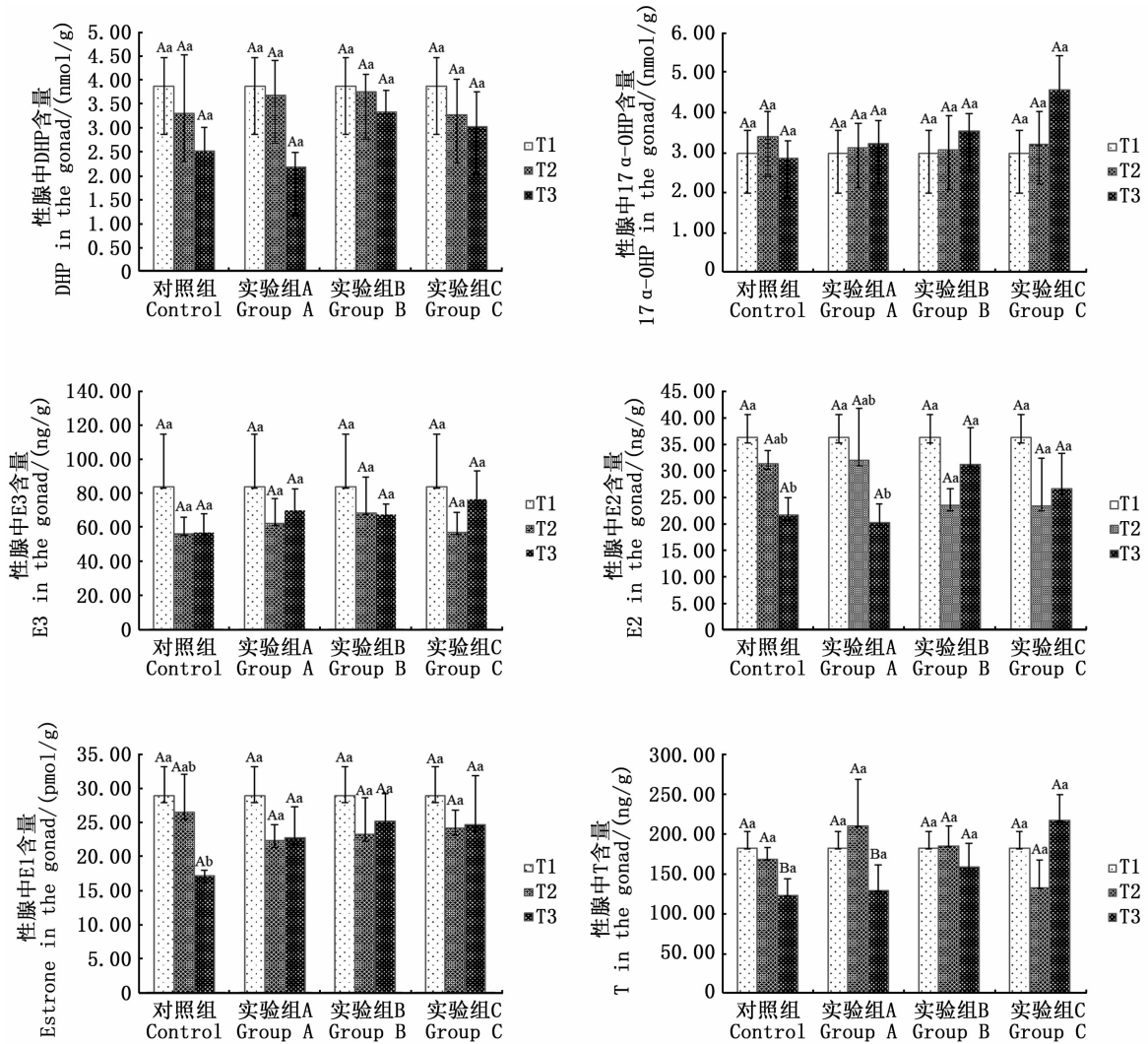


大写字母表示相同采样时间不同激素处理组之间的差异性显著 ($P < 0.05$); 小写字母表示相同激素处理组不同采样时间的差异性显著 ($P < 0.05$)。

Bars with different capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at different treatments and different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at the different sampling times.

图1 星康吉鳎血清内类固醇激素的变化

Fig. 1 Changes of steroid hormone in serum of *Conger myriaster*



大写字母表示相同采样时间不同激素处理组之间的差异性显著 ($P < 0.05$) ;小写字母表示相同激素处理组不同采样时间的差异性显著 ($P < 0.05$) 。

Bars with different capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at different treatments and different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$) at the different sampling times.

图 2 星康吉鳃性腺内类固醇激素的变化

Fig. 2 Changes of steroid hormone in gonad of *Conger myriaster*

射激素实验组 $[(4.57 \pm 0.85) \text{ nmol/g}]$ 的 OHP 含量呈现出明显上升趋势,差异不显著。在 T3 采样期间,实验组 C 星康吉鳃性腺中 T 含量 $[(217.00 \pm 31.76) \text{ ng/g}]$ 显著高于对照组 $[(123.24 \pm 21.05) \text{ ng/g}, P < 0.05]$ 。

3 讨论

3.1 激素注射对形态特征变化的影响

鳃在生殖洄游过程中,外部形态会发生相应的变化。在本次研究中发现,与对照组相比,实验组星康吉鳃眼径指数上升,这与

PANKHURST 等^[17]对欧洲鳃的研究结果一致。随着外源激素的注入,机体相关组织内分泌活动增强,引起代谢活动发生变化。海洋中深层鱼类在长期昏暗的环境中通常会引起机体发生变化,使其眼径增加以适应环境,欧洲鳃在注射雄激素后,鳃胸鳍及眼径均会增加,通过胸鳍变大进而提高游泳能力^[16,24-25]。然而,本实验中星康吉鳃经激素注射后鱼鳍指数和内脏指数均出现下降,这与 PANKHURST 等^[17]的研究结果不同;推测此结果可能是由实验过程中星康吉鳃持续进食有关。PANKHURST 等^[17]对欧洲鳃注射

HCG 过程中发现鱼体消化道发生了明显变形,这与本实验的结果相吻合,由此推测星康吉鳗形态特征的变化与体内激素的内分泌活动存在一定的关联,注射外源激素引起星康吉鳗体内相应的分泌活动,从而引起外部形态的改变。激素对星康吉鳗形态特征变化影响的规律仍需在今后的实验中进一步验证。

3.2 激素注射对性腺发育的影响

实验初期,对星康吉鳗进行随机采样,此时星康吉鳗性腺指数仅为 $0.84\% \pm 0.17\%$,性腺发育时期集中在 I ~ II 期,这与林鼎等^[26]对日本鳗鲡性腺发育分期的研究一致,即降海进行生殖洄游的日本鳗鲡性腺发育大多停留在 II ~ III 期。鳗鲡在人工养殖下不能自发达到性成熟,但是激素注射能够促进星康吉鳗性腺发育,同时还可以通过激素诱导产生配子^[27-28],雌性鳗鲡对于激素刺激具有高度的应答性,但是所获得受精卵的孵化率和仔鱼的存活率都比较低^[29],因此激素注射可能会引导星康吉鳗性腺不正常发育,导致卵质下降。在脑垂体释放激素的刺激下,脑垂体产生并释放促性腺激素(GTHs)作用于性腺^[30]。在这种方式下,日本鳗鲡注射成熟鱼类的脑匀浆液,通过脑垂体之间的联系,刺激卵巢持续分泌类固醇类激素^[31]。欧洲鳗鲡的卵巢发育需要持续进行一定激素的诱导才能进一步发育^[32-33]。本次研究,采用3种不同的激素注射类型来研究星康吉鳗性腺发育,激素注射方式参考 HORIE 等^[8-10]的方法。为了直观了解星康吉鳗性腺发育状况,分别在不同阶段进行性腺切片观察。结果表明,经过长时间激素注射,星康吉鳗性腺发育显著高于对照组,对照组星康吉鳗性腺发育基本停滞在第II期,实验组星康吉鳗性腺发育到第IV期(表2)。这与 ADACHI 等^[34]的研究结果一致,在对日本鳗鲡进行激素处理后,卵母细胞发生卵黄蓄积,进而促进卵母细胞发育成熟。柳凌等^[35]尝试不同外源激素对日本鳗鲡催熟的研究发现,HCG 与 CPE 混合激素注射对鳗鲡性腺发育效果明显。HORIE 等^[8-10]尝试不同的激素催熟星康吉鳗,结果表明采用 HCG 作为催熟激素可以成功诱导星康吉鳗性腺发育成熟。本次研究参考了 HORIE 等^[8-10]的激素催熟方法,同时还研究了混合激素对星康吉鳗性腺发育的影响,实验发现混合激素组(HCG + CPE)作为最有效的激素组合,对星康吉鳗的催熟效果大于单

一激素 HCG 的使用,成功诱导星康吉鳗卵母细胞到达第V期,这意味着星康吉鳗性腺发育可以通过外源激素 HCG 及 CPE 来进行调控。在日本鳗鲡和欧洲鳗鲡的相关繁殖实验中也有过报道,发现注射 HCG + CPE 后鳗鲡脑区 mRnRH 逐渐增加,进而刺激脑垂体 GTH 的合成并促进性腺发育^[11]。此外,后续的催熟研究应该进一步研究其他影响因素,比如激素注射时间、频率以及亲鳗培育水温等对性腺成熟的影响。

3.3 激素注射对血液及性腺中性类固醇激素含量变化的影响

类固醇激素在鱼类性腺发育过程中起重要作用,鳗鲡同其它硬骨鱼一样,性腺发育以及成熟都是在下丘脑-脑垂体-性腺轴的控制下实现的^[1]。但是因为鳗鲡属于生殖洄游鱼类^[2],很难对其自然发育过程中分泌轴的变化进行研究。因此到目前为止,对鳗鲡繁殖内分泌的研究仍旧局限于外源激素刺激对性腺功能的研究。

星康吉鳗同属于鳗鲡目,也是生殖洄游鱼类。本研究借鉴外源激素刺激对鳗鲡性腺功能研究的结果,对星康吉鳗性腺中6种类固醇激素含量进行了测定,结果表明雌二醇、雌酮、雌三醇和 DHP 含量在各实验组中均表现出下降趋势,这与林静等^[13]对花鳗鲡卵巢内类固醇激素检测结果不一致。本研究同时还发现对照组相关激素的变化趋势同注射激素实验组一致,但是对照组激素含量均低于实验组。SCOTT 等^[15]对日本鳗鲡的研究发现,随着卵巢的发育,日本鳗鲡血清中的类固醇激素含量呈现上升趋势,这个现象与欧洲鳗鲡^[36]的研究结果相一致。在其他硬骨鱼类的人工繁殖过程中,睾酮与雌二醇的含量会逐渐降低^[37-38]。因此这就意味着星康吉鳗在人工催熟过程中体内类固醇激素的含量变化与一般的硬骨鱼类不同。与此同时,实验组星康吉鳗性腺发育指数显著高于对照组($P < 0.05$),由此可以猜测在性腺发育前期,雌二醇、雌酮、雌三醇、DHP 这4种类固醇激素参与性腺发育的调控,适当的外源激素刺激能够弥补星康吉鳗人工条件下繁殖缺乏外界环境条件刺激的不足^[35],因此实验组星康吉鳗性腺内类固醇激素能够维持相对较高的浓度,促进性腺发育。

本次实验结果发现实验组星康吉鳗性腺中 17α -羟基孕酮含量比性腺发育初期明显上升,对照组无明显波动。ADACHI 等^[34]研究发现日本鳗鲡

在性腺发育后期,17 α -羟基孕酮具有较高的活性,17 α -羟基孕酮随着卵母细胞的发育逐渐上升^[13],这表明17 α -羟基孕酮在性腺发育后期通过体内积累,促进卵母细胞水合作用发生。对照组17 α -羟基孕酮含量很低,性腺发育基本停滞,混合激素注射组17 α -羟基孕酮含量最高,其性腺指数最高。因此,可以推断17 α -羟基孕酮在性腺后期发育过程中起到重要的作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] DE VLAMING V L. Environmental control of teleost reproductive cycles: a brief review[J]. Journal of Fish Biology, 1972, 4(1): 131-140.
- [3] TOKIMURA M. Conger-eel fisheries and fisheries resources in the East China Sea (II. conger-eel fisheries and fisheries management) (fisheries biology and fisheries of white-spotted conger-eel *Conger myriaster*) [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(1): 125-126.
- [4] KIMURA Y, ISHIKAWA S, TOKAI T, et al. Early life history characteristics and genetic homogeneity of *Conger myriaster* leptocephali along the east coast of central Japan [J]. Fisheries Research, 2004, 70(1): 61-69.
- [5] GORIE S, TANDA M, KATAYAMA S. Age and growth of white-spotted conger *Conger myriaster* collected in northeast Harima Nada, Seto Inland Sea [J]. Aquaculture Science, 2004, 52(2): 407-411.
- [6] 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.
- [7] LEE T W, BYUN J S, et al. Microstructural growth in otoliths of conger eel (*Conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage [J]. Marine Biology, 1996, 125(2): 259-268.
- [8] HORIE N, UTOH T, YAMADA Y, et al. Artificial induction of ovarian maturation and ovulation in the common Japanese conger *Conger myriaster* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2001, 67(5): 842-849.
- [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] HORIE N, YAMADA Y, OKAMURA A, et al. Effective hormonal treatments for induction of ovarian maturation and ovulation in the common Japanese conger *Conger myriaster* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2003, 69(3): 337-346.
- [11] DUFOUR S, BURZAWA-GERARD E, LE BELLE N, et al. Reproductive endocrinology of the European eel, *Anguilla anguilla* [M]//AIDA K, TSUKAMOTO K, YAMAUCHI K. Eel Biology. Heidelberg: Springer, 2003: 373-383.
- [12] BRAUN A M, THOMAS P. Biochemical characterization of a membrane androgen receptor in the ovary of the Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*) [J]. Biology of Reproduction, 2004, 71(1): 146-155.
- [13] 林静, 湛嘉, 帅滇, 等. 人工诱导花鳗成熟过程中卵巢内6种性类固醇激素的含量及变化[J]. 水产学报, 2015, 39(9): 1341-1349.
LIN J, ZHAN J, SHUAI D, et al. Quantification of 6 sexual steroid hormones in the ovary of marbled eel *Anguilla marmorata* during artificial induced maturation [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(9): 1341-1349.
- [14] 浦金城, 湛嘉, 刘登攀, 等. 人工诱导日本鳗成熟过程中血清及性腺内类固醇激素含量的变化[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(1): 48-54.
PU J C, ZHAN J, LIU D P, et al. The determination of steroid hormones in *Anguilla japonica* gonad and blood during the artificial induction of maturation by UPLC-MS/MS [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(1): 48-54.
- [15] SCOTT P, WITTHAMES P R, TURNER R J, et al. Plasma concentrations of ovarian steroids in relation to oocyte final maturation and ovulation in female plaice sampled at sea [J]. Journal of Fish Biology, 1998, 52(1): 128-145.
- [16] PANKHURST N W, LYTHGOE J N. Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.) [J]. Journal of Fish Biology, 1983, 23(2): 229-240.
- [17] PANKHURST N W, SORENSEN P W. Degeneration of the alimentary tract in sexually maturing European *Anguilla anguilla* (L.) and American eels *Anguilla rostrata* (LeSueur) [J]. Canadian Journal of Zoology, 1984, 62(6): 1143-1149.
- [18] 张世义, 肖真义, 张有为. 星鳗叶状幼体在我国东部沿海的发现[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 117-118.
ZHANG S Y, XIAO Z Y, ZHANG Y W. Leptocephalus of the *Astroconger myriaster* from the East China sea [J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(1): 117-118.
- [19] 麻秋云, 牟秀霞, 任一平, 等. 东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量 [J]. 水产学报, 2018, 42(6): 881-888.
MA Q Y, MU X X, REN Y P, et al. The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6): 881-888.
- [20] 张波, 唐启升. 东、黄海六种鳗的食性 [J]. 水产学报, 2003, 27(4): 307-314.
ZHANG B, TANG Q S. Feeding habits of six species of eels in East China sea and Yellow Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 307-314.

- [21] 唐逸民, 吴常文. 星鳎 *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.
- [22] 李明坤, 张崇良, 李敏, 等. 山东南部近海秋、冬季星康吉鳎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.
- [23] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002.
LIN H R. Fish physiology [M]. Guangzhopu: Guangdong Higher Education Press, 2002.
- [24] 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.
- [25] HORIE N, UTOH T, MIKAWA N, et al. Influence of artificial fertilization methods of the hormone-treated Japanese eel *Anguilla japonica* upon the quality of eggs and larvae (Comparison between stripping-insemination and spontaneous spawning methods) [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 2008, 74(1): 26-35.
- [26] 林鼎, 林浩然. 鳎繁殖生物学研究Ⅲ. 鳎性腺发育组织学和细胞学研究[J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 157-164.
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): 157-164.
- [27] 谢骏, 余德光, 王广军, 等. 人工诱导池塘养殖鳎成产卵以及胚胎和仔鱼发育[J]. 水产学报, 2005, 29(5): 688-694.
XIE J, YU D G, WANG G J, et al. Spawning and development of embryo and larva in cultivated *Anguilla japonica* by artificial induction [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(5): 688-694.
- [28] 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.
- [29] OKAMURA A, HORIE N, MIKAWA N, et al. Recent advances in artificial production of glass eels for conservation of anguillid eel populations [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2014, 23(1): 95-110.
- [30] NAGAHAMA Y, YOSHIKUNI M, YAMASHITA M, et al. Regulation of oocyte growth and maturation in fish [J]. Current Topics in Developmental Biology, 1995, 30: 103-145.
- [31] KAZETO Y, TOSAKA R, MATSUBARA H, et al. Ovarian steroidogenesis and the role of sex steroid hormones on ovarian growth and maturation of the Japanese eel [J]. The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 2011, 127(3/5): 149-154.
- [32] PEDERSEN B H. Induced sexual maturation of the European eel *Anguilla anguilla* and fertilisation of the eggs [J]. Aquaculture, 2003, 224(1/4): 323-338.
- [33] PÉREZ L, PEÑARANDA D S, DUFOUR S, et al. Influence of temperature regime on endocrine parameters and vitellogenesis during experimental maturation of European eel (*Anguilla anguilla*) females [J]. General and Comparative Endocrinology, 2011, 174(1): 51-59.
- [34] ADACHI S, IJIRI Y, KAZETO K, et al. Oogenesis in the Japanese eel, *Anguilla japonica* [M]//AIDA K, TSUKAMOTO K, YAMAUCHI K. Eel Biology. Tokyo: Springer, 2003: 301-317.
- [35] 柳凌, 郭峰, 张洁明, 等. 外源激素及环境因子对日本鳎卵巢发育的影响[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 6-11.
LIU L, GUO F, ZHANG J M, et al. Effects of exterior hormones and environmental factors on the ovarian development in Japanese eel [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2003, 12(1): 6-11.
- [36] LOKMAN P M, WASS R T, SUTER H C, et al. Changes in steroid hormone profiles and ovarian histology during salmon pituitary-induced vitellogenesis and ovulation in female New Zealand longfinned eels, *Anguilla dieffenbachii* gray [J]. Journal of Experimental Zoology, 2001, 289(2): 119-129.
- [37] GOETZ F W. Hormonal control of oocyte final maturation and ovulation in fishes [J]. Fish Physiology, 1983, 9: 117-170.
- [38] YAMAUCHI K. Studies of gonadal steroids involved in final gonadal maturation in the Japanese eel, *Anguilla japonica*, a review [J]. Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 1990, 75(6): 859-860.

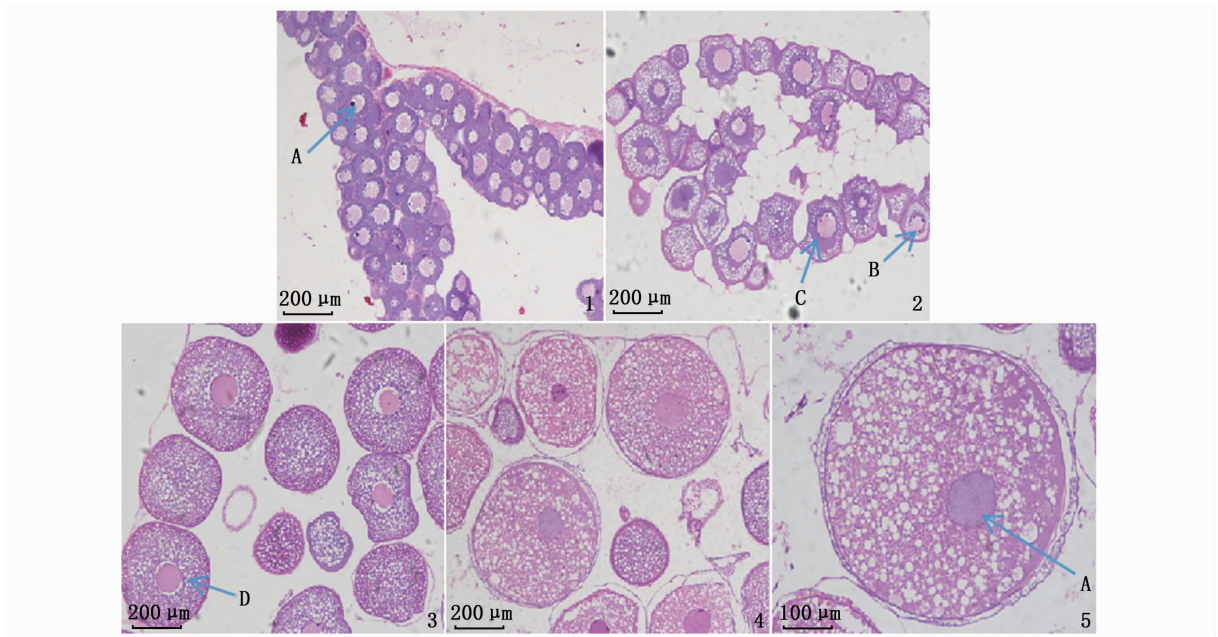
Comparative analysis of the effects of HCG and CPE combinations on the sexual maturation of common Japanese conger *Conger myriaster*

LI Xiaolong¹, LI Kang¹, RU Gaomeng¹, JIANG Xinglong², LIU Liping^{1,3,4}

(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. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: By analyzing the relationship between gonadal development and sex steroid hormone content during artificial ripening process, the aim of this study is to provide knowledge of artificial induction of maturation in *Conger myriaster*. A total of 100 [body mass: (288.30 ± 62.34) g] wild Japanese conger were collected and divided into four groups: group A (CPE: 2 mg/kg), group B (HCG: 200 IU/kg), group C (CPE: 1 mg/kg and HCG: 100 IU/kg) and control group without any hormone injection. The injection was given once a week and lasted for 12 weeks. The results showed that hormones can significantly promote the development of oocytes and induced the development of oocytes to the stage of nuclear transplanted successfully. The gonad of fish from Group C had the best development that about 32 % eels' oocytes developed into IV stage. Moreover, all the fish induced by treatment had developed the oocyte into III stage compared to the control group which was still stagnant in the stage II. The content of testosterone [(217.00 ± 31.76) ng/g] in the gonads of conger eels from treatment group C was significantly higher than that from the control group [(123.24 ± 21.05) ng/g]. This study revealed that the CPE combined with HCG plays a better role in inducing gonad maturation of *Conger myriaster*.

Key words: *Conger myriaster*; artificial reproduction; gonadal development; steroid hormone



1. I ~ II 期; 2. II 期; 3. III 期; 4. IV ~ V 期; 5. V 期; A. 细胞核; B. 核仁; C. 核膜; D. 脂肪泡。

1. I - II period; 2. II period; 3. III period; 4. IV - V period; 5. V period; A. cell nucleus; B. nucleolus; C. cytomembrane; D. fat bubble.

图版 不同发育阶段的卵母细胞

Plate Different development stages of oocyte