

文章编号: 1674-5566(2017)05-0674-08

DOI:10.12024/jso.20170502052

## 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系繁殖力的比较分析

袁新程<sup>1</sup>, 戴习林<sup>1</sup>, 朱其建<sup>1</sup>, 李玉峰<sup>1</sup>, 胡彦杰<sup>1</sup>, 周 迅<sup>1</sup>, 丁福江<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

**摘 要:** 为探讨罗氏沼虾繁殖性能, 本实验通过测定 5 个罗氏沼虾专门化品系选择系(A、B、C、D、E 系)连续 3 次抱卵的单位体质量抱卵量( $F_w$ )、卵巢发育周期( $C_o$ )、受精卵卵径( $D_e$ )、卵黄蛋白原(VTG)含量、组织蛋白酶 D(CTSD)活性等指标, 比较分析 5 个选择系的繁殖力, 以期筛选出高繁殖力品系罗氏沼虾。结果显示: 罗氏沼虾绝对抱卵量( $F$ )、 $F_w$  与体质量正相关显著( $P < 0.05$ ),  $F$  与  $F_w$  呈极显著正相关( $P < 0.01$ ); 5 个选择系的三次抱卵  $F_w$  平均值范围为  $(1.96 \sim 2.30) \times 10^3$  粒/g, 各系间差异显著( $P < 0.05$ ), 其中 B 和 D 的  $F_w$  较高, 分别为  $2.26 \times 10^3$  粒/g 和  $2.30 \times 10^3$  粒/g; 5 个选择系受精卵中 VTG 含量、CTSD 活性的平均值范围分别为  $3.48 \sim 5.80 \mu\text{g/g}$ 、 $271.81 \sim 320.82 \text{ U/g}$ , 各系间差异均显著( $P < 0.05$ ), 其中受精卵 VTG 含量最高为 B 的  $5.80 \mu\text{g/g}$ , CTSD 活性最高为 D 的  $320.82 \text{ U/g}$ , 次之为 B 的  $303.09 \text{ U/g}$ , 两者无差异( $P > 0.05$ );  $C_o$  范围为  $18.8 \sim 23.8 \text{ d}$ , 第二次大于第一次( $2 \sim 8 \text{ d}$ ), 各系间无差异( $P > 0.05$ ), 但均显著小于对照组( $P < 0.05$ );  $D_e$  平均值范围为  $542.3 \sim 552.0 \text{ nm}$ , 各系间无差异, B、D 选择系  $D_e$  均值较大, 分别为  $551.7 \text{ nm}$ 、 $552.0 \text{ nm}$ 。因此可认为罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系中 B 和 D 的繁殖力最强, A 选择系次之, C 和 E 选择系最弱, 此可为罗氏沼虾专门化品系选择系的选育提供依据。

**关键词:** 罗氏沼虾; 专门化品系; 繁殖力; 卵黄蛋白原; 组织蛋白酶 D

**中图分类号:** S 966.12 **文献标志码:** A

罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*) 又称马来西亚大虾、淡水长脚大虾, 原产于东南亚、西太平洋岛屿<sup>[1]</sup>, 属于甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)长臂虾科(Palaemonidae)沼虾属(*Macrobrachium*), 是世界上最大的淡水虾。由于其具有生长快、个体大、食性广等特点, 目前已成为我国主要淡水养殖虾类之一。随着罗氏沼虾养殖业的迅速发展, 人们对罗氏沼虾苗种的需求量越来越大, 但近年来罗氏沼虾种质退化严重, 优质苗种数量减少, 阻碍了罗氏沼虾养殖业的发展, 主要原因为繁殖力下降, 生长缓慢以及性早熟等<sup>[2-3]</sup>。因此, 高繁殖力也成为罗氏沼虾良种选育的重要方向。

近几年来, 水产动物的繁殖力研究主要集中在鱼类<sup>[4-9]</sup>和对虾类<sup>[10-11]</sup>, 沼虾类的繁殖力相关研究也有一些报道<sup>[12-14]</sup>, 但鲜见罗氏沼虾的繁殖

力研究报道, 研究主要集中在罗氏沼虾的生长<sup>[15-16]</sup>、性腺发育<sup>[17]</sup>、抗病性<sup>[18-20]</sup>等方面。有研究表明虾卵中含有大量的卵黄蛋白原(Vitellogenin, VTG), 并被组织蛋白酶 D 水解为卵黄磷蛋白(Lipovitellin, Lv)和卵黄高磷蛋白(Phosvitin, Pv), 是胚胎和幼体早期发育的主要营养物质<sup>[21-23]</sup>。同时有学者发现组织蛋白酶 D(Cathepsin D, CTSD)具有多种生物功能, 如降解细胞内外蛋白质, 激活酶原, 参与水产动物免疫系统调节等, 对水产动物的胚胎和幼体早期发育有着重要作用<sup>[24-26]</sup>。因此, 本实验通过比较分析罗氏沼虾 5 个专门化选择品系的相关繁殖力指标和受精卵质量指标(如受精卵 VTG 含量、CTSD 活性、卵径等), 探讨罗氏沼虾繁殖性能, 以期为罗氏沼虾选育和亲本管理提供基础数据与理论指导。

收稿日期: 2017-05-11 修回日期: 2017-05-26

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系建设项目(沪农科产字[2016]第 5 号)

作者简介: 袁新程(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物种质资源与种苗工程。E-mail: xcyuan2016@163.com

通信作者: 戴习林, E-mail: xldai@shou.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用虾的基础群体是依据马来西亚罗氏沼虾上海养殖群体的外部形态(体长、体质量、头胸甲宽、第一腹节宽、第一腹节高)差异,并结合聚类分析结果,建立的 5 个专门化品系选择系。其中依据第一腹节宽与体长的比值划分出 A 系(0.173,0.189)、B 系(0.189,0.232);依据第一腹节高与体长的比值划分出 C 系(0.174,0.196);依据头胸甲宽与体长的比值划分出 D 系(0.195,0.221)和 E 系(0.221,0.317)<sup>[27]</sup>。实验虾为尚未产过卵的 5 个专门化品系子五代亲本。对照组虾(Control group)为上海养殖群体尚未产过卵的亲本。实验用水为已经过充分曝气无余氯的自来水。

### 1.2 亲虾的饲养管理

从实验虾和对照组虾各养殖池(25 m<sup>2</sup>, 10 尾/m<sup>2</sup>)中分别选取附肢完整、健康、个体大小一致、性腺发育良好的罗氏沼虾作为受试虾,其中雄虾平均体质量(29.87 ± 0.43)g,平均体长(14.03 ± 0.06)cm;雌虾平均体质量(18.42 ± 0.59)g,平均体长(9.01 ± 0.08)cm。每组各设 3 个重复,每个重复有 1 尾雄虾和 4 尾雌虾,置于 LLDPE 黑色圆桶(Φ = 1.5 m)中,其中 4 尾雌虾分别用红、橙、黄、绿 4 种荧光材料 VIF(Visible implant fluorescence)进行标记以示区别。所有重复试验桶置于同一个循环过滤系统中,期间连续充气,持续循环过滤(每只桶滤速约 8 L/min),每 7 天换 70% 的同温淡水,维持水深 80 cm,管道热水循环恒温(28.0 ± 0.5)℃。每日早 7 点晚 8 点各投喂一次野杂鱼肉,日投饵量约 5% ~ 10%,以次餐有少许剩余为准,每餐前及时清除残饵和粪便。每日早中晚观察 3 次,记录抱卵情况,发现抱卵虾及时采样。

### 1.3 抱卵量及卵径的测定

用消毒镊子快速小心剥离抱卵虾腹部卵,吸水纸包裹 1 min 吸干表面后用分析天平(0.001 g)称质量,后采用电子天平称取雌虾体质量(0.01 g),游标卡尺(0.02 mm)测定其体长,并迅速将雌虾放养于原桶中。镜检受精状况,从受精卵块中随机挑取一小块卵块称重并全部计数,按比例换算出该雌虾所抱受精卵总粒数,即为抱卵

亲虾的绝对抱卵量;同时再随机挑取 30 粒受精卵,在生物显微镜下目测微尺(0.01 mm)测定其卵径。剩余卵保存于 -40℃ 冰箱中。

### 1.4 CTSD 活性及 VTG 含量的测定

样品预处理:解冻 -40℃ 保存的虾卵,分别准确称取 1 g 置于玻璃匀浆器中,加入 9 倍的预冷生理盐水,冰浴研磨,匀浆液在 4℃, 10 000 r/min 条件下离心 10 min,取上清液于 1.5 mL 离心管中,置于 4℃ 冰箱中待测。

受精卵中 CTSD 活性和 VTG 含量测定:参照酶联免疫吸附方法<sup>[28]</sup>,分别采用购自上海酶联生物科技有限公司的组织蛋白酶 D(CTSD)ELISA 试剂盒和鱼卵黄蛋白原(VTG)ELISA 试剂盒,并在 ST-360 酶标仪(上海科华实验系统有限公司)450 nm 波长下测定各自吸光度(OD 值),由标准曲线计算出各样品中 CTSD 活性和 VTG 含量。具体操作按试剂盒说明进行。

### 1.5 数据处理

Excel 2007 整理分析实验数据,SPSS 17.0 进行单因素方差分析和 Person 相关分析,Duncan 氏法均值多重比较, $P < 0.05$  表示差异显著。单位体质量抱卵量、卵巢发育周期和卵径的计算式如下:

$$F_w = F/W \quad (1)$$

$$D_E = (D_L + D_W)/2 \quad (2)$$

$$C_o = T_{i+1} - T_i \quad (3)$$

式中: $F_w$  为单位体质量抱卵量(粒/g); $F$  为每尾雌虾的绝对抱卵量(粒); $W$  为该雌虾体质量(g); $D_E$  为卵径(nm); $D_L$  为受精卵的长径(nm); $D_W$  为受精卵的短径(nm); $C_o$  为卵巢发育周期(d); $T_{i+1}$  为该雌虾第  $i+1$  次抱卵初始时间(日期); $T_i$  为该雌虾第  $i$  次抱卵初始时间(日期)。

## 2 结果与分析

### 2.1 抱卵量、组织蛋白酶 D 活性及卵黄蛋白原含量的比较

如表 1 所示,在连续 3 次抱卵过程中,试验罗氏沼虾雌虾单尾抱卵量  $F$  平均为  $4.52 \times 10^4$  粒/尾, $F_w$  平均为  $2.11 \times 10^3$  粒/g,雌体体质量最大的两个选择系 B、D 的  $F$  值最大,均显著大于 C、E 选择系和对照组( $P < 0.05$ ), $F_w$  值也显著大于 E 选择系和对照组( $P < 0.05$ ),而 B、D 选择系与 A 选择系间无显著差异( $P > 0.05$ );C、E 选择系和

对照组的  $F$ 、 $F_w$  也均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 对照组虾最小。

相关分析试验虾 BL、BW、 $F$ 、 $F_w$  间的相关系数(表 3), 发现  $F$  与 BW 呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )。  $F_w$  与 BW 呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 与  $F$  呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 相关系数为 0.803。表明各选择系罗氏沼虾的体质量越大, 绝对抱卵量和单位体质量抱卵量就越大, 反之则小。

而从表 1 又知, 试验雌虾的受精卵的 CTSD 平均活力为 292.7 U/g, VTG 平均含量为 3.87  $\mu\text{g/g}$ , 且 B 选择系的 VTG 含量最高为 5.80  $\mu\text{g/g}$ , 显著高于 A、C、E 选择系和对照组 ( $P < 0.05$ ), D 的 VTG 含量次之; D 选择系的 CTSD 活性最高为 320.82 U/g, 显著大于 A、C、E 选择系和对照组 ( $P < 0.05$ ), B 的 CTSD 活性次之, B 和 D 选择系的 VTG 含量、CTSD 活性没有因  $F$ 、 $F_w$  最高而降低, 且两者间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 1 5 个选择系绝对抱卵量、单位体质量抱卵量、组织蛋白酶 D 活性及卵黄蛋白原含量比较 (均值  $\pm$  标准差)

Tab.1 The comparisons of vitellogenin concentration, the activities to cathepsin D,  $F$  and  $F_w$  between 5 specialized strains of shrimp *M. rosenbergii* (Mean  $\pm$  SE)

选择系 Strains	体长/cm BL	体质量/g BW	绝对抱卵量 /[ (粒/尾) $\times 10^4$ ] $F$	单位体质量抱卵量 /[ (粒/g) $\times 10^3$ ] $F_w$	组织蛋白酶 D /(U/g) CTSD	卵黄蛋白原 /( $\mu\text{g/g}$ ) VTG
A	9.34 $\pm$ 0.36	21.48 $\pm$ 2.61	4.91 $\pm$ 1.03 <sup>ab</sup>	2.07 $\pm$ 0.45 <sup>ab</sup>	287.93 $\pm$ 38.46 <sup>bc</sup>	4.33 $\pm$ 0.42 <sup>ab</sup>
B	9.58 $\pm$ 0.45	22.39 $\pm$ 3.32	5.13 $\pm$ 1.17 <sup>a</sup>	2.26 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	303.09 $\pm$ 71.36 <sup>ab</sup>	5.80 $\pm$ 0.97 <sup>a</sup>
C	9.29 $\pm$ 0.23	20.98 $\pm$ 2.41	4.29 $\pm$ 0.85 <sup>bc</sup>	1.98 $\pm$ 0.36 <sup>ab</sup>	288.52 $\pm$ 65.41 <sup>bc</sup>	3.48 $\pm$ 0.27 <sup>bc</sup>
D	9.56 $\pm$ 0.37	22.04 $\pm$ 3.10	5.10 $\pm$ 1.15 <sup>a</sup>	2.30 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>	320.82 $\pm$ 60.95 <sup>a</sup>	4.34 $\pm$ 0.40 <sup>ab</sup>
E	9.23 $\pm$ 0.27	19.33 $\pm$ 2.98	3.91 $\pm$ 0.98 <sup>c</sup>	2.06 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>	271.81 $\pm$ 48.59 <sup>c</sup>	2.81 $\pm$ 0.22 <sup>bc</sup>
Control group	9.24 $\pm$ 0.25	19.36 $\pm$ 2.17	3.80 $\pm$ 0.84 <sup>c</sup>	1.96 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>	284.03 $\pm$ 49.21 <sup>bc</sup>	2.47 $\pm$ 0.55 <sup>c</sup>

注: 同一列中右上标含有相同字母表示数据间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 不含有相同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 表 2 同此  
Note: Data within the same column and followed by the same letter are not significantly different ( $P > 0.05$ ), followed by significantly different ( $P < 0.05$ ), the same in tab. 2

### 2.2 卵巢发育周期和卵径大小比较

如表 2 所示, 试验虾卵巢发育周期  $C_{01}$  平均为 19.3 d,  $C_{02}$  平均为 23.6 d, 各选择系罗氏沼虾  $C_{01}$  大小顺序为  $D < C < E < B < A$ ,  $C_{02}$  大小顺序为  $C < D < B < A < E$ , D 选择系卵巢发育周期均值最小, 为 18.8 d, 其次为 B 和 C 选择系; 且各选择系的  $C_{02}$  值均大于  $C_{01}$  值, 可见各选择系后一次抱卵均比前一次抱卵时间长。图 1 表明各选择系罗氏沼虾连续 3 次抱卵卵径大小均无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 其中 A、B、D 选择系在 3 次抱卵过程中卵径大小较稳定, 而 C、E 选择系卵径有变小的趋势。

表 2 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系间雌虾卵巢发育周期 (均值  $\pm$  标准差)

Tab.2 The ovarian development cycle of females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii* (M  $\pm$  SE)

选择系 Strains	第一次卵巢发育周期/d $C_{01}$	第二次卵巢发育周期/d $C_{02}$	平均值/d Mean
A	21.0 $\pm$ 1.9 <sup>a</sup>	24.0 $\pm$ 2.6 <sup>ab</sup>	22.5 $\pm$ 2.7 <sup>ab</sup>
B	20.3 $\pm$ 1.0 <sup>ab</sup>	23.0 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	21.7 $\pm$ 1.7 <sup>ab</sup>
C	18.6 $\pm$ 3.0 <sup>b</sup>	20.6 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	19.6 $\pm$ 2.4 <sup>b</sup>
D	16.7 $\pm$ 2.0 <sup>b</sup>	21.0 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	18.8 $\pm$ 2.8 <sup>b</sup>
E	19.8 $\pm$ 2.8 <sup>ab</sup>	25.3 $\pm$ 3.9 <sup>ab</sup>	22.5 $\pm$ 4.3 <sup>ab</sup>
Control group	19.5 $\pm$ 1.5 <sup>ab</sup>	27.9 $\pm$ 6.4 <sup>a</sup>	23.8 $\pm$ 5.1 <sup>a</sup>

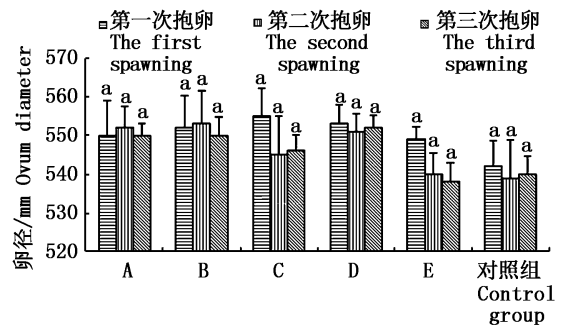


图 1 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系 3 次抱卵间雌虾卵径大小比较

Fig.1 Size of ovum diameter of continuous thrice spawning between different females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

同选择系柱上角标有相同字母的数据间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 标有不同字母的数据之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 图 2-5 同此

Data within the same strains and followed by the same letter are not significantly different ( $P > 0.05$ ), followed by significantly different ( $P < 0.05$ ), the same in fig. 2-5

表 3 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系繁殖性状间的相关系数

Tab.3 The correlation coefficient between reproductive traits in 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

	体长 BL	体质量 BW	绝对抱卵量 F	单位体质量抱卵量 F <sub>w</sub>
体长 BL	1			
体质量 BW	0.916 ** 1			
绝对抱卵量 F	0.636 **	0.619 **	1	
单位体质量抱卵量 F <sub>w</sub>	0.131	0.177 *	0.803 **	1

注:标有“\*\*”为极显著相关( $P < 0.01$ ),标有“\*”为显著相关( $P < 0.05$ )。表 4 同此

Note: Data with “\*\*” were all high significant correlated ( $P < 0.01$ ), Data with “\*” were high significant correlated ( $P < 0.05$ ). the same in tab. 4

2.3 连续 3 次抱卵的繁殖力性状比较

如图 2、3 所示,连续 3 次抱卵过程中,各选择系的 F、F<sub>w</sub> 均呈递增的趋势。其中, A、B、C、D 选择系第二、三次抱卵的 F 均显著大于各自选择系第一次抱卵 F 值( $P < 0.05$ )。C 选择系第三次和 D 选择系第二次抱卵的 F<sub>w</sub> 均显著大于第一次抱卵,其他选择系 3 次抱卵间均无显著差异( $P > 0.05$ )。相关分析各选择系罗氏沼虾后一次抱卵的 F、F<sub>w</sub> 与前两次抱卵的 F、F<sub>w</sub> (表 4) 可知,连续 3 次抱卵中后一次抱卵的 F 与前一次抱卵的 F、F<sub>w</sub> 均呈极显著相关( $P < 0.01$ ),第三次抱卵的 F<sub>w</sub> 与第二次抱卵的 F、F<sub>w</sub> 均呈极显著相关( $P < 0.01$ ),第二次和第三次抱卵的 F<sub>w</sub> 均与第一次抱卵的 F、F<sub>w</sub> 呈显著相关( $P < 0.05$ )。

图 4 中, A、B、E 选择系 3 次连续抱卵的 CTSD 值均无显著变化( $P > 0.05$ ),而 C、D 选择系第三次抱卵的 CTSD 值均显著大于第一、二次抱卵( $P < 0.05$ )。图 5 中 A、B、D 选择系第三次抱

卵的 VTG 值均显著大于第一、二次抱卵( $P < 0.05$ ),而 C、E 选择系及对照组三次抱卵的 VTG 值均无显著变化( $P > 0.05$ )。

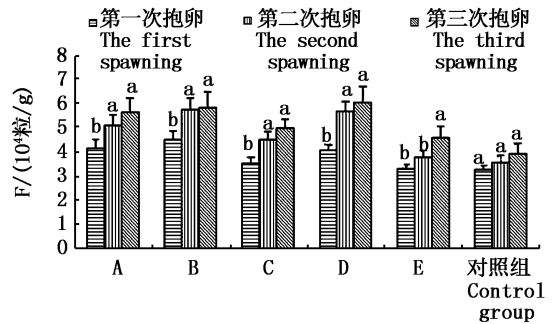


图 2 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系 3 次抱卵间绝对抱卵量大小比较

Fig.2 The comparisons of F of the continuous thrice spawning between different females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

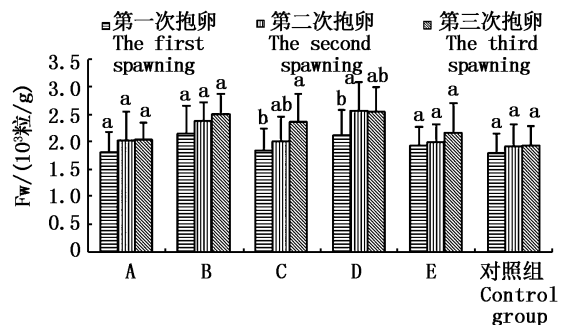


图 3 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系 3 次抱卵间单位体质量抱卵量大小比较

Fig.3 The comparisons of F<sub>w</sub> of the continuous thrice spawning between different females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

表 4 罗氏沼虾 5 个专门化品系选择系连续 3 次抱卵繁殖性状间的相关系数  
Tab.4 The correlation coefficient of reproductive traits between continuous thrice spawning in 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

	绝对繁殖力 F	相对体质量繁殖力 F <sub>w</sub>
第一、二次产卵 the first and the second spawning	绝对繁殖力 F 0.462 **	0.290 *
	相对体质量繁殖力 F <sub>w</sub> 0.456 **	0.255 *
第二、三次产卵 the second and the third spawning	绝对繁殖力 F 0.580 **	0.345 **
	相对体质量繁殖力 F <sub>w</sub> 0.381 **	0.423 **
第一、三次产卵 the first and the third spawning	绝对繁殖力 F 0.443 **	0.272 *
	相对体质量繁殖力 F <sub>w</sub> 0.398 **	0.264 *

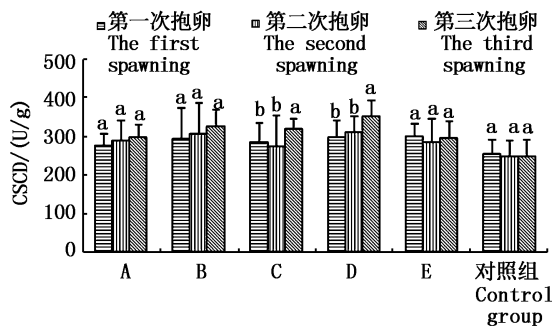


图4 罗氏沼虾5个专门化品系选择系3次抱卵间CTSD活性大小比较

Fig. 4 The comparisons of CTSD of the continuous thrice spawning between different females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

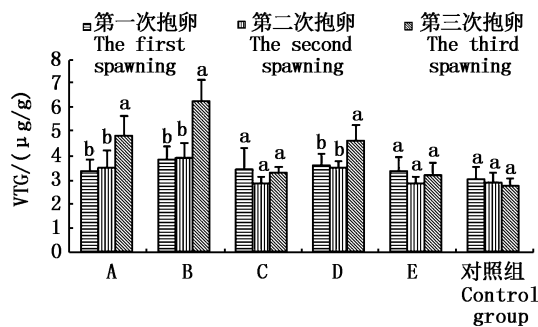


图5 罗氏沼虾5个专门化品系选择系3次抱卵间VTG含量大小比较

Fig. 5 The comparisons of VTG of the continuous thrice spawning between different females of 5 specialized strains of *M. rosenbergii*

### 3 讨论

不同品系间繁殖力差异性分析是筛选繁殖性能优异品系的重要方法,表现繁殖力大小的指标常采用单位体质量产卵量、卵巢发育周期、受精卵卵径与卵黄蛋白含量,以及组织蛋白酶D活性大小<sup>[10-14,26,30]</sup>。杨彦豪等<sup>[10]</sup>通过对不同凡纳滨对虾家系间产卵量、卵径大小及连续产卵的时间间隔进行测定比较,分析了不同家系间繁殖力的差异性。何绪刚等<sup>[12]</sup>通过测定日本沼虾的绝对繁殖力、相对体长繁殖力和相对体质量繁殖力对其繁殖力差异进行了比较分析。范忠刚等<sup>[13]</sup>通过对原种罗氏沼虾杂交后代的怀卵量、相对体质量繁殖力、受精率及受精卵规格的比较研究,分析了其杂交后代繁殖力的差异性,并发现更大的卵粒会发育成更大的幼体,有助于提高种群的

生存能力。甲壳动物卵黄蛋白原大型脂质转运蛋白超家族的成员,它是一种大分子磷脂糖蛋白,是非哺乳类卵生动物中卵黄蛋白的前体<sup>[29]</sup>,卵黄蛋白原含量较少,供胚胎和幼体早期发育的营养物质就少。雌虾的卵巢发育周期的长短反映了其卵巢再次成熟的能力,卵巢发育周期越短则卵巢再次成熟的能力就越强<sup>[30]</sup>。张志林等<sup>[26]</sup>认为组织蛋白酶D具有多种生物功能,如降解细胞内外蛋白质,激活酶原与生长因子,参与水产动物免疫系统调节等。水燕等<sup>[22]</sup>认为甲壳动物卵黄蛋白原在卵母细胞内被组织蛋白酶D酶切修饰后,加工成卵黄磷蛋白和卵黄高磷蛋白,为胚胎发育提供氨基酸和脂类等营养物质。

本实验通过测定5个选择系间罗氏沼虾 $F_w$ 、CTSD活性、VTG含量、 $D_E$ 和 $C_0$ 值的大小,对其繁殖力的差异性进行比较分析。结果发现3次连续抱卵中B和D选择系的 $F_w$ 最大,可反映受精卵质量的CTSD活性、VTG含量及 $D_E$ 并没有因抱卵量大而减小,相反均大于其他选择系,且 $C_0$ 也相对较短,说明卵巢再次成熟的能力强于其他选择系,因此可认为B、D选择系的繁殖力最大,A选择系次之,C、E选择系的繁殖力相对较低。同时,影响罗氏沼虾抱卵量大小的因素较多,有研究发现罗氏沼虾的产卵量因其性腺发育情况不同而异<sup>[31]</sup>,温度、水质以及投喂饲料的不同也会引起抱卵量的差异。本试验雌虾的平均怀卵量范围为38 000~51 300粒,相对体质量繁殖力最大为2 300粒/g,与李增崇<sup>[31]</sup>测定的结果相似,但大于范忠刚等<sup>[13]</sup>研究的1 200粒/g。引起这种差异的原因可能是由于实验用虾来源和规格不同,本实验所用罗氏沼虾是已人工选育的子五代亲虾,有别于范忠刚等研究的从孟加拉和越南引进的罗氏沼虾亲虾。同时本次实验虾规格一致,水温、雌虾比例、饲料密度、换水等饲养和管理条件基本相同,引起各选择系间繁殖力差异的主要原因可能是各选择系种质不同而导致的,但是否与其亲虾的生长速度有关,还需要进一步的研究。

另外试验发现各选择系罗氏沼虾雌虾体质量与绝对抱卵量、单位体质量抱卵量均呈显著相关,这与以往研究结果相一致<sup>[11,14,32]</sup>,且连续3次抱卵中后一次抱卵的绝对抱卵量、单位体质量抱卵量均与前一次抱卵的绝对抱卵量、相对体质量

量抱卵量呈显著正相关,表明各选择系罗氏沼虾亲虾后一次抱卵的繁殖力大小均受前一次抱卵亲虾繁殖力大小的影响,前一次抱卵量大,则后一次抱卵量就大,反之则小。而不同选择系罗氏沼虾的两次抱卵间的 CTSD 活性、VTG 含量和卵径大小无显著相关。因此在亲虾培育过程中,挑选体质量大、且第一次抱卵较大者雌虾进行育苗,有利于提高繁殖力和苗种生产能力。

### 参考文献:

- [1] NEW M B. Farming freshwater prawns: a manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*): FAO Fisheries technical paper. NO. 428 [S]. Rome:FAO,2002:16-18.
- [2] 罗坤,杨国梁,孔杰,等. 罗氏沼虾不同群体杂交效果分析[J]. 海洋水产研究,2008,29(3):67-73.  
LUO K, YANG G L, KONG J, et al. Analysis of the effect of hybridization between different groups of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 67-73.
- [3] 周劲松,曹哲明,杨国梁,等. 罗氏沼虾缅甸引进种和浙江本地种及其杂交种的生长性能与 SRAP 分析[J]. 中国水产科学,2006,13(4):667-673.  
ZHOU J S, CAO Z M, YANG G L, et al. Study on hybrid of burma introduced and Zhejiang locally-cultured populations of giant prawn *Macrobrachium rosenbergii* de man and SRAP marker[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 667-673.
- [4] 王彦,张世萍,占学伟. 不同体色黄鳝繁殖力比较研究[J]. 湖北农业科学,2008,47(5):571-572.  
WANG Y, ZHANG X P, ZHAN X W. The comparison of individual fecundity of *Monopterus albus* from different colours [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2008, 47(5): 571-572.
- [5] 杨代勤,陈芳,阮国良,等. 3 个品系黄鳝的繁殖力比较研究[J]. 水生生态学杂志,2009,30(4):133-135.  
YANG D Q, CHEN F, RUAN G L, et al. Comparative study on fecundity of different strains of *Monopterus albus* [J]. Journal of Hydroecology, 2009, 30(4): 133-135.
- [6] 段国庆,江河,胡王,等. 不同来源黄鳝 (*Monopterus albus*) 繁殖力的比较分析[J]. 渔业科学进展,2016,37(2):84-90.  
DUAN G Q, JIANG H, HU W, et al. The comparison of individual fecundity of *Monopterus albus* from different sources[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(2): 84-90.
- [7] 谷伟,王炳谦,赵吉伟,等. 虹鳟养殖品系个体繁殖力遗传进展的初步研究[J]. 淡水渔业,2010,40(6):71-74.  
GU W, WANG B Q, ZHAO J W, et al. Primary study on the genetic improvement of fecundity for the five cultural varieties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) [J]. Freshwater Fisheries, 2010, 40(6): 71-74.
- [8] 霍堂斌,袁美云,阿达可白克·可尔江,等. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼繁殖力的比较研究[J]. 大连海洋大学学报,2010,25(6):511-517.  
HUO T B, YUAN M Y, ADAKBEK K A, et al. The comparison of individual fecundity between Northern pike *Esox lucius* and Amur pike *Esox reichrti* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(6): 511-517.
- [9] PALACIOS E, RACOTTA I S, ARJONA O, et al. Lipid composition of the pacific lion-paw scallop, *Nodipecten subnodosus*, in relation to gametogenesis: 2. Lipid classes and sterols[J]. Aquaculture, 2007, 266(1/4): 266-273.
- [10] 杨彦豪,黄光华,杨春玲,等. 凡纳滨对虾不同家系间繁殖参数的比较[J]. 水产科学,2014,33(9):574-577.  
YANG Y H, HUANG G H, YANG C L, et al. Comparison of reproductive parameters in pacific white leg shrimp families [J]. Fisheries Science, 2014, 33(9): 574-577.
- [11] 袁瑞鹏,刘建勇,张嘉晨,等. 凡纳滨对虾不同家系间繁殖性状的比较[J]. 海洋学报,2016,38(6):89-97.  
YUAN R P, LIU J Y, ZHANG J C, et al. A comparative study of reproductive traits among different *Litopenaeus vannamei* families[J]. Haiyang Xuebao, 2016, 38(6): 89-97.
- [12] 何绪刚,龚世园,张训蒲,等. 武湖日本沼虾繁殖生物学研究[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1538-1542.  
HE X G, GONG S Y, ZHANG X P, et al. Reproductive biology of *Macrobrachium nipponensis* in lake Wuhu [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1538-1542.
- [13] 范忠刚,屈长青,邓潜,等. 原种罗氏沼虾杂交后代的繁殖参数研究[J]. 生物学杂志,2014,31(3):43-45.  
FAN Z G, QU C Q, DENG Q, et al. Studies on reproductive parameters in the hybrid offspring of protospecies of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Biology, 2014, 31(3): 43-45.
- [14] 王志铮,杨磊,施建军,等. 日本沼虾 (*Macrobrachium nipponensis*) 池养越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的影响效应[J]. 海洋与湖沼,2012,43(1):166-173.  
WANG Z Z, YANG L, SHI J J, et al. Effect of morphometric Traits on individual fecundity of the pond cultured over-wintering gravid *Macrobrachium nipponensis* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(1): 166-173.
- [15] 戴习林,鞠波,臧维玲,等. 罗氏沼虾池塘间歇运转人工湿地调控水质效果及其生长特征[J]. 上海海洋大学学报,2014,23(5):680-689.  
DAI X L, JU B, ZANG W L, et al. The effect of regulating-controlling water quality by constructed wetlands at intermittent operation for *Macrobrachium rosenbergii* culture and the prawn growth characteristic[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 680-689.
- [16] FELIX N, SUDHARSAN M. Effect of glycine betaine, a feed

- attractant affecting growth and feed conversion of juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2004, 10(3): 193-197.
- [17] 戴习林, 王海洋, 过正乾, 等. 罗氏沼虾多次产卵对子代生长与遗传结构的影响研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(4): 488-496.
- DAI X L, WANG H Y, GUO Z Q, et al. Study on effects of multiple spawning on growth and genetic structure of progeny of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(4): 488-496.
- [18] 朱其建, 戴习林, 邹卫丽, 等. 罗氏沼虾抗病选育群体的抗病性能及其遗传多样性分析[J]. *水产学报*, 2013, 37(10): 1468-1478.
- ZHU Q J, DAI X L, ZOU W L, et al. Disease resistance and genetic diversity analysis in selected populations of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(10): 1468-1478.
- [19] BHAT S, PATEL A, DAS P, et al. Isolation and characterization of microsatellite loci in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Conservation Genetics*, 2009, 10(5): 1473-1475.
- [20] BHASSU S, SEE L M, HASSAN R, et al. Isolation and characterization of microsatellite loci in the Malaysian giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Molecular Ecology Resources*, 2008, 8(5): 983-985.
- [21] BABIN P J, GIBBONS G F. The evolution of plasma cholesterol: direct utility or a “spandrel” of hepatic lipid metabolism? [J]. *Progress in Lipid Research*, 2009, 48(2): 73-91.
- [22] 水燕, 周鑫, 徐增洪, 等. 虾蟹类卵黄蛋白原的研究进展[J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(2): 177-183.
- SHUI Y, ZHOU X, XU Z H, et al. Research progress on vitellogenin gene of crustaceans [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2012, 39(2): 177-183.
- [23] 张成锋, 蔡生力. 对虾卵黄蛋白的生化性质及卵黄蛋白原合成部位的研究进展[J]. *上海水产大学学报*, 2003, 12(2): 168-173.
- ZHANG C F, CAI S L. Research progress on biochemical character of yolk protein and synthesis sites of vitellogenin in penaeid shrimp[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2003, 12(2): 168-173.
- [24] SCHESTKOWA O, GEISEL D, JACOB R, et al. The catalytically inactive precursor of Cathepsin D induces apoptosis in human fibroblasts and HeLa cells[J]. *Journal of Cellular Biochemistry*, 2007, 101(6): 1558-1566.
- [25] 潘俐玲, 黄桂菊, 喻达辉, 等. 大珠母贝组织蛋白酶 D 的 cDNA 克隆、序列特征分析及应激表达研究[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(10): 4-9.
- PAN L L, HUANG G J, YU D H, et al. Molecular cloning and characterization of cathepsin D in pearl oyster *Pinctada maxima* and its tissue expression profiles under *Vibrio harveyi* challenge[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(10): 4-9.
- [26] 张志林, 肖蓉, 李庆伟. 组织蛋白酶 D 的功能多样性[J]. *中国生物化学与分子生物学报*. 2014, 30(7): 647-654.
- ZHANG Z L, XIAO R, LI Q W. Diversified functions of Cathepsin D [J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2014, 30(7): 647-654.
- [27] 邓平平. 罗氏沼虾快速生长专门化品系选择前系的组建[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- DENG P P. The structuring of *Macrobrachium rosenbergii* rapid growth of specialized strain [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [28] 陈松林, 邓文涛, 贺路, 等. 用酶联免疫吸附受体法检测鱼类生长激素的生物活性[J]. *水产学报*, 1995, 19(3): 217-224.
- CHEN S L, DENG W T, HE L, et al. Elisa-receptor assay for testing the bioactivity of fish growth hormone[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1995, 19(3): 217-224.
- [29] SHI X D, ZHANG S C, PANG Q X. Vitellogenin is a novel player in defense reactions [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2006, 20(5): 769-772.
- [30] ARCOS F G, IBARRA A M, PALACIOS E, et al. Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp *Litopenaeus vannamei*: egg quality and female physiological condition [J]. *Aquaculture*, 2003, 228(1/4): 335-349.
- [31] 李增崇. 罗氏沼虾生物学及人工养殖[J]. *动物学杂志*, 1987, 22(2): 5-8.
- LI Z C. The biology and artificial culture of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1987, 22(2): 5-8.
- [32] MAKINOUCI S, HONCULADA-PRIMAVERA J. Maturation and spawning of *Penaeus indicus* using different ablation methods[J]. *Aquaculture*, 1987, 62(1): 73-81.

## Comparative analysis of fecundity of 5 specialized strains of shrimp *Macrobrachium rosenbergii*

YUAN Xincheng<sup>1</sup>, DAI Xilin<sup>1</sup>, ZHU Qijian<sup>1</sup>, LI Yufeng<sup>1</sup>, HU Yanjie<sup>1</sup>, ZHOU Xun<sup>1</sup>, DING Fujiang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Company, Shanghai 201516, China)

**Abstract:** In order to investigate the breeding performance of *Macrobrachium rosenbergii*, this experiment was conducted by measuring 5 specialized strains of shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (A, B, C, D, E) of the three consecutive spawning unit weight of fecundity ( $F_w$ ) ovarian development cycle ( $C_0$ ), fertilized egg diameter ( $D_E$ ), vitellogenin (VTG) content, and cathepsin D (CTSD) activity index, and comparative analysis of 5 selection strains of fertility was made, with a view to screening the high fecundity strains of *Macrobrachium rosenbergii*. The results showed that the absolute fecundity ( $F$ ),  $F_w$  and body weight were positively correlated ( $P < 0.05$ ),  $F$  and  $F_w$  were also significantly positively correlated ( $P < 0.01$ ). The average value of  $F_w$  of the continuous thrice spawning of the 5 selected strains was  $(1.96-2.30) \times 10^3$  eggs/g, the differences between the strains were significant ( $P < 0.05$ ). The  $F_w$  of B and D were  $2.26 \times 10^3$  eggs/g and  $2.30 \times 10^3$  eggs/g respectively. The average range of VTG content and CTSD activity in the 5 selected strains were 3.48-5.80  $\mu\text{g/g}$ , 271.81-320.82 U/g, and there was significant difference among the strains ( $P < 0.05$ ), while the highest content of VTG in fertilized eggs was B (5.80  $\mu\text{g/g}$ ), the highest CTSD activity was D (320.82 U/g), the second was B (303.09 U/g), and there was no difference between them ( $P > 0.05$ ). The range of  $C_0$  was 18.8-23.8 d, second time larger than the first (2-8 d), there was no difference ( $P > 0.05$ ) between each strain, which were all significantly lower than those in the control group ( $P < 0.05$ ). The mean value range of  $D_E$  was 542.3-552.0 nm, there is no difference among strains, and the average egg diameters of B and D were larger, 551.7 nm and 552.0 nm, respectively. It can be confirmed that among 5 specialized strains of *Macrobrachium rosenbergii*, the fecundity of B and D is the strongest, A is weak, C and E is the weakest, which can provide basis for breeding of specialized strains of shrimp *Macrobrachium rosenbergii*.

**Key words:** *Macrobrachium rosenbergii*; specialized strains; fecundity; vitellogenin; cathepsin D