

## 养殖密度对罗氏沼虾生长、性别分化与性腺发育的影响

戴习林<sup>1\*</sup>, 周梦颖<sup>1</sup>, 鞠波<sup>1</sup>, 过正乾<sup>1</sup>,  
蒋飞<sup>1</sup>, 苏建<sup>1</sup>, 丁福江<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201516)

**摘要:** 通过比较4个养殖密度( $7.50 \times 10^4$ 、 $12.75 \times 10^4$ 、 $42.00 \times 10^4$ 、 $97.50 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>)条件下罗氏沼虾的生长、存活、性别分化、性腺发育等指标, 研究养殖密度对罗氏沼虾生长、性别分化和早期性腺发育的影响。结果显示, 在实验密度范围内, 养殖密度显著影响罗氏沼虾的生长、规格整齐度、性别分化与性腺发育, 随着实验时间延长, 密度对生长的抑制效应越明显;  $7.50 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组罗氏沼虾体质量增速加速度与 $97.50 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组的倍数由养殖10 d时的2.3上升到80 d时的3.4; 低密度组罗氏沼虾性别分化与性腺发育比高密度组早约10 d, 但规格显著大于高密度组;  $7.50 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组雌虾初始平均体长( $4.158 \pm 0.592$ ) cm比 $97.50 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组大1.09 cm; 养殖密度对性别比没有影响, 但对雌虾成活率影响较大。研究表明, 养殖密度显著影响罗氏沼虾生长和性腺发育, 合适的养殖密度是预防罗氏沼虾性早熟的有效措施。

**关键词:** 罗氏沼虾; 养殖密度; 性别分化; 性腺发育

**中图分类号:** S 968.2

**文献标志码:** A

罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)是全球淡水主要养殖虾类, 我国2012年养殖产量12.5万<sup>[1]</sup>。随着高产模式的开发推广, 养殖密度逐步增加, 而罗氏沼虾生长缓慢、性成熟时间提前、个体偏小现象日益严重, 已严重影响罗氏沼虾产业发展<sup>[2]</sup>。多数学者<sup>[5-8]</sup>认为, 养殖密度过大会加剧生物对食物、空间的竞争, 使得生物活动耗能增加, 过高的密度对生物的生长、生存、繁殖、代谢等生命活动都有重要影响, 密度已成为一个环境胁迫因子。吴长功等<sup>[9-10]</sup>认为, 甲壳动物的性染色体或性别决定机制处于进化的早期阶段, 性别决定的遗传力明显小于高等脊椎动物, 其性别分化更易受到外界环境的影响, 但至今鲜见关于养殖密度对罗氏沼虾性别分化和早期性腺发育影响的报道。本实验旨在通过研究密度对罗氏沼虾生长、性别分化和早期性腺发育的

影响, 探讨养殖密度与性早熟之间的关系, 以为罗氏沼虾性别分化及性腺发育的深入研究提供理论基础, 为罗氏沼虾种虾培育、苗种生产及养殖技术的改进提供指导。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验用虾

实验于2012年6—9月在上海申漕特种水产开发公司育苗场进行。随机捞取同一育苗池中已淡化至淡水的健康仔虾5万尾, 置于25 m<sup>2</sup>水泥池, 经驯化暂养15 d, 剔除极大和极小个体后作为实验用虾。

#### 1.2 实验水槽与实验用水

实验水槽为育苗场玻璃温室车间内水泥池

收稿日期: 2014-06-11 修回日期: 2014-11-17

资助项目: 上海市科委重点攻关项目(11391901400); 上海市现代农业产业技术体系建设项目[沪农科产字(2014)第5号]; 上海市教育委员会重点学科建设项目(J50701)

通信作者: 戴习林, E-mail: xldai@shou.edu.cn

(3.5 m×7.15 m)。实验用水为经10 mg/L漂白精消毒、暗房沉淀和充分曝气的育苗场邻近山红河水, 盐度0.3,  $\text{Ca}^{2+}$ 为50 mg/L,  $\text{Mg}^{2+}$ 为20 mg/L。

### 1.3 实验设计

实验密度设计高密度组 $97.50 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ 、中密度组 $42.00 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ , 同时设计2个低密度组:  $7.50 \times 10^4$ 和 $12.75 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ 。每密度实验组设3个重复。

### 1.4 实验方法

**实验用虾的放养** 各实验池水位80 cm, 按设定密度计算放养仔虾数, 随机选取实验用虾带水计数入池, 并按完全随机实验设计方法安排各实验池和布放实验用虾。同时随机选取60尾, 游标卡尺测量体长, 吸干体表水分, 分析天平称量体质量, 平均体长和平均体质量分别为(1.137±0.153) cm、(0.022±0.009) g。

**样品采集及数据测定** 实验前50 d, 每10 d采用拉网方式随机采集各实验池中罗氏沼虾, 测量体长和称取体质量, 观察外部形态, 检查第二性征区分雌雄, 并每口池随机采集5尾, 用Bouin氏液固定, 用于组织学切片, 期间每日观察记录饵料台内虾的第二性征。

实验至第50天移池, 统计每口实验池中所有存活虾数量、雌雄虾数量, 检查已性别分化的雌虾性腺发育状况, 并随机选取不少于60尾, 测定体长、体质量。继续养殖至第80天, 放水统计每口实验池中所有存活虾数量、雌雄虾数量、雌虾性腺发育状况, 全数测定各实验池罗氏沼虾体长、体质量, 期间每日观察每池是否出现抱卵虾, 并通过饵料台检查位于台内雌虾的性腺发育状况。

实验以头胸部第三步足基部与第五步足基部是否具有生殖孔作为罗氏沼虾雌雄鉴别依据。雌虾性腺发育程度分为3个类别: I型(已成熟型, 腹部侧甲已延伸形成抱卵腔, 包括抱卵虾和未抱卵虾)、II型(近成熟型, 透过头胸甲胃区附近可见已膨大的橙黄色卵巢)、III型(未成熟或未发育型, 所有剩余雌虾)。

**日常管理** 实验期间, 连续曝气, 设置饵料台, 定时全池投喂“明辉牌”罗氏沼虾配合饲料(3次/d), 日投饵量为各池虾体质量的10%~15%, 定时观察虾活力、摄食、残饵状况, 适时调整

投饵量, 适时排污。及时添加因蒸发和排污损失的水量, 50 d移池时更换池水50%, 定期监测水质, 维持 $\text{TAN} \leq 0.1$  mg/L,  $\text{NO}_2^- - \text{N} \leq 0.005$  mg/L。

### 1.5 组织学切片的制备及观察

Bouin氏液固定的样品经70%酒精浸泡后, 依次用梯度乙醇脱水, 二甲苯透明, 石蜡包埋, LeicaRM2255轮转式切片连续切片, 二甲苯脱蜡, 梯度乙醇复水后苏木精—伊红染色, 中性树胶封片后在Nikon显微镜下观察并拍照。

### 1.6 数据处理

采用Excel 2007和SPSS 13.0对实验数据进行整理和分析, 回归分析和单因素方差分析处理数据, Duncan氏法均值多重比较,  $P < 0.05$ 表示存在显著性差异, 数据以平均值±标准差(mean±SD)表示。体长变异系数、成活率、肥满度与特定生长率的计算公式:

$$\text{体长变异系数(CV, \%)} = (SD_t / MN_t) \times 100$$

$$\text{成活率(\%)} = (N_t / N_0) \times 100$$

$$\text{肥满度(CF, g/cm}^3\text{)} = W_t / L_t^3$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = [(\ln W_t - \ln W_1) / t] \times 100$$

式中,  $SD_t$ 为养殖 $t$ 天后罗氏沼虾体长(cm)的标准差,  $MN_t$ 为养殖第 $t$ 天后罗氏沼虾体长的平均值(cm);  $N_t$ 为养殖 $t$ 天后罗氏沼虾数量(尾, 包括样品虾数);  $N_0$ 为各实验池初始虾数量(尾);  $L_t$ 为第 $t$ 天罗氏沼虾平均体长(cm);  $W_1$ 和 $W_t$ 分别为初始体质量和第 $t$ 天罗氏沼虾体质量(g),  $t$ 为养殖时间(d)。

## 2 结果

### 2.1 养殖密度对罗氏沼虾生长及存活的影响

随着养殖时间的延长, 密度对罗氏沼虾生长的影响逐步增加(表1)。养殖15 d, 各组罗氏沼虾体长为2.2~2.5 cm, 各密度组间平均体长无显著差异( $P > 0.05$ ); 养殖25 d,  $7.50 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ 组罗氏沼虾平均体长已显著大于2个高密度组( $P < 0.05$ ); 养殖50 d后, 各密度组间罗氏沼虾平均体长相互间均差异显著( $P < 0.05$ )。养殖50与80 d罗氏沼虾的体长变异系数、体质量、特定生长率、肥满度、成活率均随着养殖密度的增加而降低, 除成活率外其余指标在各密度组差异显著( $P < 0.05$ )(表2)。同时, 中低密度组产量显著低于2个高密度组, 但 $42.00 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ 组罗氏沼虾密度比 $97.50 \times 10^4$ 尾/ $\text{hm}^2$ 组降低一半, 但二者单位

表1 不同养殖时间各密度组罗氏沼虾的平均体长

Tab. 1 Mean body length of *M. rosenbergii* of each stocking density groups for different culture days

养殖天数/d culture days	养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density			
	7.50×10 <sup>4</sup>	12.75×10 <sup>4</sup>	42.00×10 <sup>4</sup>	97.50×10 <sup>4</sup>
15	2.459±0.477	2.353±0.349	2.273±0.431	2.359±0.439
25	3.362±0.395 <sup>a</sup>	3.183±0.493 <sup>ab</sup>	2.790±0.558 <sup>c</sup>	3.000±0.558 <sup>bc</sup>
35	4.139±0.515 <sup>a</sup>	3.744±0.682 <sup>b</sup>	3.713±0.663 <sup>b</sup>	3.583±0.580 <sup>b</sup>
45	5.364±1.148 <sup>a</sup>	4.669±0.706 <sup>b</sup>	4.562±0.680 <sup>bc</sup>	4.118±0.839 <sup>c</sup>
50	5.472±0.898 <sup>a</sup>	5.080±1.002 <sup>b</sup>	4.403±0.784 <sup>c</sup>	3.911±1.062 <sup>d</sup>
80	7.497±1.226 <sup>a</sup>	7.064±1.281 <sup>b</sup>	6.528±1.223 <sup>c</sup>	5.723±1.248 <sup>d</sup>

注：同行数据上标中不含有相同英文字母表示相互间差异显著( $P<0.05$ )，下同

Notes: no same superscript lower-case letters in a line data mean significant differences ( $P<0.05$ ), the same below

表2 各养殖密度组罗氏沼虾的养殖效果

Tab. 2 The culture results of *M. rosenbergii* of each stocking density group

	养殖天数/d culture days	养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density			
		7.50×10 <sup>4</sup>	12.75×10 <sup>4</sup>	42.00×10 <sup>4</sup>	97.50×10 <sup>4</sup>
体长变异系数/% CV	50	16.47±2.65	18.00±2.15	20.11±7.09	25.36±5.81
	80	16.21±1.23 <sup>a</sup>	17.89±1.43 <sup>ab</sup>	18.60±1.17 <sup>ab</sup>	20.59±2.67 <sup>b</sup>
平均体质量/g average body weight	50	4.120±2.501 <sup>a</sup>	3.316±2.182 <sup>b</sup>	2.077±1.274 <sup>c</sup>	1.614±1.254 <sup>c</sup>
	80	11.484±5.469 <sup>a</sup>	10.017±5.322 <sup>b</sup>	7.328±3.971 <sup>c</sup>	4.900±3.391 <sup>d</sup>
特定生长率/(%/d) SGR	50	2.515±1.088 <sup>a</sup>	1.969±1.365 <sup>b</sup>	1.114±1.173 <sup>c</sup>	0.115±2.042 <sup>d</sup>
	80	2.860±0.766 <sup>a</sup>	2.655±0.824 <sup>b</sup>	2.252±0.838 <sup>c</sup>	1.669±0.922 <sup>d</sup>
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	50	0.707±0.293 <sup>a</sup>	0.600±0.280 <sup>b</sup>	0.441±0.178 <sup>c</sup>	0.358±0.208 <sup>d</sup>
	80	1.451±0.522 <sup>a</sup>	1.328±0.526 <sup>b</sup>	1.048±0.422 <sup>c</sup>	0.778±0.379 <sup>d</sup>
存活率/% survival rate	50	84.5±2.16	83.79±6.84	78.37±3.79	71.48±12.68
	80	74.51±6.77 <sup>a</sup>	73.76±6.50 <sup>a</sup>	67.15±3.94 <sup>ab</sup>	56.96±9.96 <sup>b</sup>
单位产量/(g/m <sup>2</sup> ) specific yield	80	64.27±9.34 <sup>a</sup>	99.87±2.84 <sup>a</sup>	268.80±43.80 <sup>b</sup>	265.73±35.80 <sup>b</sup>

产量基本相同，没有差异。

## 2.2 养殖密度对罗氏沼虾体长、体质量与养殖天数关系的影响

由罗氏沼虾平均体长( $L$ , cm)与养殖天数( $D$ , d), 体质量( $W$ , g)与 $L$ 均可回归得到各密度组 $L$ - $D$ 线性回归方程( $\alpha=0.05$ ),  $W$ - $L$ 的幂函数回归方程( $\alpha=0.01$ )(表3)。将各 $L$ - $D$ 回归方程分别代入 $W$ - $L$ 回归方程即可得到 $W$ - $D$ 的关系方程, 微分此方程, 得体质量增速 $[V_w, (g/d)]$ 与 $D$ 的关系方程(图1), 可看出二者也呈幂函数关系, 且增速随时间加速递增。再微分图3中 $V_w$ - $D$ 方程, 得体质量增速加速度 $[a_w, (g/d^2)]$ 与 $D$ 的关系方程, 代入 $D$ 可

得到在不同养殖时间条件下的体质量增速加速度值(表4), 养殖10 d, 体质量增速已随密度增加而减小, 随着养殖天数的增加, 各密度组罗氏沼虾体质量增速加速度逐步增大, 且在相同养殖天数条件下, 罗氏沼虾体质量增速加速度随着密度的降低而增加。

## 2.3 养殖密度对罗氏沼虾幼虾性别分化和性腺发育的影响

各密度组雄虾性别分化最小体长大多大于雌虾, 且密度越大最小体长越小, 最小个体仅2.624 cm(表5); 同时发现各密度组间同性别已分化罗氏沼虾平均体长(各密度组性别已分化的个

表 3 各养殖密度组罗氏沼虾体长、体质量、养殖天数相互间的回归方程  
 Tab. 3 The regression equations of body length, body weight and culture days of *M. rosenbergii* of each stocking density group

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	L-D回归方程 regression equations of L-D		W-L回归方程 regression equations of W-L		W-D关系方程 relation equations of W-D
	方程 equation	r <sup>2</sup>	方程 equation	r <sup>2</sup>	
7.50×10 <sup>4</sup>	$\hat{L}_1=0.080D+1.314$	0.988	$\hat{W}_1=0.013L^{3.291}$	0.994	$\hat{W}_1=0.013(0.080D+1.314)^{3.291}$
12.7×10 <sup>4</sup>	$\hat{L}_2=0.074D+1.235$	0.997	$\hat{W}_2=0.013L^{3.306}$	0.992	$\hat{W}_2=0.013(0.074D+1.235)^{3.306}$
42.00×10 <sup>4</sup>	$\hat{L}_3=0.067D+1.224$	0.990	$\hat{W}_3=0.015L^{3.213}$	0.993	$\hat{W}_3=0.015(0.067D+1.224)^{3.213}$
97.50×10 <sup>4</sup>	$\hat{L}_4=0.054D+1.444$	0.974	$\hat{W}_4=0.015L^{3.217}$	0.990	$\hat{W}_4=0.015(0.054D+1.444)^{3.217}$

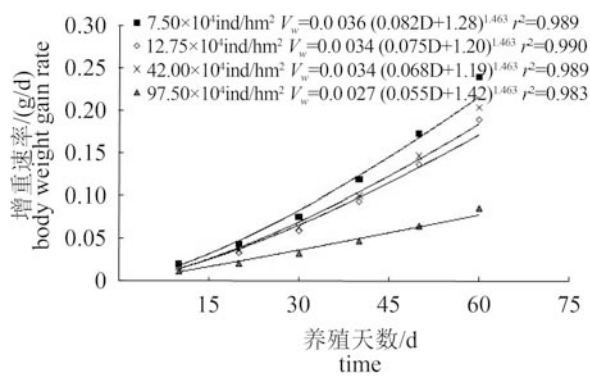


图 1 各养殖密度组罗氏沼虾体质量增重速度与养殖天数的关系曲线

Fig. 1 The curve of body weight gain rate and culture days of *M. rosenbergii* of each stocking density group

体中体长排序末端极小的30尾罗氏沼虾的体长平均值)间差异显著( $P<0.05$ ), 而同密度组雌雄虾平均体长间无差异( $P>0.05$ ), 但 $7.50\times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组雌虾平均体长比雄虾大0.392 cm, 养殖密度越大, 则差异逐步减少, 直至 $97.50\times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>时, 雌虾平均体长比雄虾小0.123 cm。低密度组罗氏沼虾性别分化比高密度早, 且早于高密度组完成性别分化(表6)。养殖15 d,  $7.50\times 10^4$ 与 $12.75\times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组性别分化罗氏沼虾个体百分率分别是6.67%与3.33%, 前者性别分化集中在15~25 d, 后者集中在15~35 d, 而高密度组养殖15 d未出现性别分化个体, 实验至45 d时, 仅 $97.50\times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>组罗氏沼虾未完全性别分化, 而其余3组已完成。可见, 养殖密度

表 4 各密度组不同养殖天数的罗氏沼虾体质量增速加速度

Tab. 4 Body weight gain acceleration of *M. rosenbergii* of each stocking density groups for different culture days

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	养殖天数/d time							
	10	20	30	40	50	60	70	80
$7.50\times 10^4$	0.001 793	0.002 742	0.003 773	0.004 872	0.006 03	0.007 241	0.008 499	0.009 801
$12.75\times 10^4$	0.001 418	0.002 168	0.002 985	0.003 858	0.004 781	0.005 748	0.006 754	0.007 798
$42.00\times 10^4$	0.001 108	0.001 612	0.002 146	0.002 705	0.003 284	0.003 883	0.004 498	0.005 129
$97.50\times 10^4$	0.000 765	0.001 033	0.001 314	0.001 607	0.001 909	0.002 22	0.002 539	0.002 866

表 5 各密度组罗氏沼虾性别分化体长

Tab. 5 The sex differentiation body length of *M. rosenbergii* of each stocking density group

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	最小体长/cm minimum body length		平均体长/cm average body length	
	雌 female	雄 male	雌 female	雄 male
$7.50\times 10^4$	3.128	3.322	4.158±0.592 <sup>a</sup>	3.766±0.334 <sup>a</sup>
$12.75\times 10^4$	2.968	2.906	3.666±0.345 <sup>b</sup>	3.445±0.307 <sup>b</sup>
$42.00\times 10^4$	2.670	2.796	3.335±0.270 <sup>c</sup>	3.258±0.209 <sup>c</sup>
$97.50\times 10^4$	2.624	2.752	3.068±0.167 <sup>d</sup>	3.191±0.195 <sup>c</sup>

表6 各密度组不同养殖天数的已性别分化的罗氏沼虾数百分率

**Tab. 6 The percentage of number of sex differentiation *M. rosenbergii* of each stocking density groups for different culture days** %

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	养殖天数/d time				
	15	25	35	45	50
7.50×10 <sup>4</sup>	6.67±11.55	86.67±11.55	100	100	100
12.75×10 <sup>4</sup>	3.33±5.57	74.10±23.11	93.35±11.55	100	100
42.00×10 <sup>4</sup>	0	37.17±14.46	85.20±25.63	100	100
97.50×10 <sup>4</sup>	0	52.60±21.82	83.33±10.41	90.87±7.98	100

显著影响罗氏沼虾性别分化时的个体大小。

各密度组雌虾性腺发育状况与各密度组性别分化体长变化规律基本相似。单因素方差分析实验表明, 80 d时各密度组已成熟 I 型体长的30尾最小雌虾平均体长和未抱过卵的30尾最大雌虾体长的平均体长, 2个低密度组间、2个高密度组间差异不显著( $P>0.05$ ), 而高低密度组间差异

显著( $P<0.05$ ), 且已抱卵最小体长、抱卵平均体长、未抱卵最大体长、未抱卵平均体长, 随密度由高至低逐步减小(表7)。但各密度组之间 I 型与 II 型个体百分比随密度增加而降低, III 型雌虾个体百分比随密度增加而增加, 存在显著差异( $P<0.05$ ), 7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组 I 型与 II 型个体百分比最高, III 型雌虾个体百分比最低仅11.21%(表8)。可见, 养

表7 各密度组几种类型罗氏沼虾雌虾体长

**Tab. 7 The body length of four types of female *M. rosenbergii* of each stocking density groups**

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	抱卵最小体长/cm minimum body length of shrimp with eggs	抱卵平均体长/cm average body length of shrimp with eggs	未抱卵最大体长/cm maximum body length of shrimp being not spawned	未抱卵平均体长/cm average body length of shrimp being not spawned
7.50×10 <sup>4</sup>	7.146	7.936±0.328 <sup>a</sup>	9.054	8.605±0.200 <sup>a</sup>
12.75×10 <sup>4</sup>	6.844	7.691±0.296 <sup>a</sup>	8.952	8.491±0.233 <sup>a</sup>
42.00×10 <sup>4</sup>	6.284	7.205±0.375 <sup>b</sup>	8.674	8.126±0.242 <sup>b</sup>
97.50×10 <sup>4</sup>	6.024	7.231±0.792 <sup>b</sup>	8.476	7.858±0.276 <sup>c</sup>

殖密度显著影响罗氏沼虾雌虾卵巢发育。

实验50 d时, 除97.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组仍有9%幼虾未性别分化外, 其余各组虾均已完成性别分化, 各密度组性别比间不存在差异( $P>0.05$ ), 均是雌虾数量高于雄虾, 但仅7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组性

别比符合1:1( $P>0.05$ )。实验至80 d, 各密度组雌性率均降低, 相互间没有差异( $P>0.05$ ), 也是仅7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组性别比符合1:1( $P>0.05$ )(表9)。可见, 养殖密度对性别比例的影响不明显, 但对雌虾成活率影响较大。

表8 实验80天各密度组罗氏沼虾雌虾性腺发育状况

**Tab. 8 The percentage of *M. rosenbergii* with ovarian development stage of each stocking density groups** %

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	I 型 type I	II 型 type II	III 型 type III
7.50×10 <sup>4</sup>	22.62 <sup>a</sup>	66.16 <sup>a</sup>	11.21 <sup>a</sup>
12.75×10 <sup>4</sup>	17.82 <sup>a</sup>	41.32 <sup>b</sup>	40.86 <sup>b</sup>
42.00×10 <sup>4</sup>	4.99 <sup>b</sup>	19.39 <sup>c</sup>	75.63 <sup>c</sup>
97.50×10 <sup>4</sup>	1.27 <sup>c</sup>	10.90 <sup>c</sup>	87.83 <sup>c</sup>

## 2.4 早期性腺切片观察

养殖15 d时, 未见第二性征幼虾的中肠腺背面有两个强嗜碱性细胞团(图版-1), 此为生殖腺原基, 细胞直径约5~8 μm(图版-2), 各养殖密度间个体观察结果一致。养殖25 d时, 各实验组中未见第二性征的幼虫下个体生殖腺细胞形状大小与15 d时无差异, 但低养殖密度组生殖腺细胞数目比高密度组多, 能观察到7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组生殖腺细胞数目最高为120个, 97.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>

表 9 各养殖密度组罗氏沼虾的雌性率、性别比

Tab. 9 The female rate, sex ratio of *M. rosenbergii* of each stocking density groups

养殖密度/(尾/hm <sup>2</sup> ) culture density	雌性率/% female rate		性比(♀/♂) sex ratio		卡方值 Chi-square value	
	第50天	第80天	第50天	第80天	第50天	第80天
7.50×10 <sup>4</sup>	51.86±4.63	48.01±7.78	1.09±0.21	0.95±0.30	0.607	0.404
12.75×10 <sup>4</sup>	56.05±6.82	55.01±3.85	1.31±0.37	1.23±0.20	10.360	6.540
42.00×10 <sup>4</sup>	53.22±2.37	52.19±1.32	1.14±0.11	1.09±0.06	9.713	3.877
97.50×10 <sup>4</sup>	56.01±4.19	48.25±1.34	1.29±0.21	0.93±0.05	57.300	4.185

组为80个; 出现第二性征的低密度组雌性罗氏沼虾生殖腺中已有零星卵原细胞(图版-3), 形状不规则, 细胞大小为9~13 μm, 中央有较大的圆形细胞核, 可见到1~2个核仁; 雄性罗氏沼虾生殖腺中可见到圆形或椭圆形精原细胞(图版-4), 9~11 μm, 核圆形或扁椭圆形, 核仁1~2个。养殖35 d时, 未见第二性征幼虾的生殖腺细胞形状大小与15 d相似, 数目更多, 超过150个; 低密度组雌虾卵巢已分隔成一个个小区, 每小区内卵细胞呈索状放射排列(图版-5), 雄虾精巢中见到生精小管(图版-6), 形状不规则, 每个生精小管中有生殖发生带。养殖45 d, 低密度组部分雌虾卵巢内已有初级卵母细胞和次级卵母细胞(图版-7), 雄虾精巢生精小管中可见到不同发育阶段的精细胞, 7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组雄性个体生精小管中央出现精子(图版-8), 而高密度组卵巢内未见次级卵母细胞, 精巢中未见到精子。

### 3 讨论

#### 3.1 养殖密度与罗氏沼虾性别分化、性腺发育的关系

绝大多数罗氏沼虾体长至2.6~4.0 cm时出现第二性征, 性别分化的日龄随养殖密度的升高而增加, 最早出现性别分化是养殖15 d的低密度7.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组, 而高密度97.50×10<sup>4</sup>尾/hm<sup>2</sup>组出现第二性征是25 d, 但随着养殖密度的增加, 性别分化的规格则越小。可见罗氏沼虾养殖密度过高, 生长速率慢, 虽然性别分化较晚, 但规格偏小, 而密度较低时, 虽然性别分化较早, 但规格较大。同时本实验又发现养殖密度对罗氏沼虾的性腺发育产生的影响与性别分化相同, 且低密度养殖时, 并未因性腺发育较早导致生长速率减缓。同时还发现, 罗氏沼虾性征外部

形态的分化早于内部生殖腺的分化, 罗氏沼虾内部性征形态学上的分化较外部性征出现晚10 d左右。这与李富花等<sup>[15]</sup>研究的中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)、赵光凤等<sup>[16]</sup>研究的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)及Nakamura等<sup>[17]</sup>研究的日本对虾(*Marsupenaeus japonicus*)的结果是一致的。李富花等<sup>[18]</sup>观察到中国明对虾外部性征最早是在仔虾后第35天开始出现的, 内部性征是在仔虾后第76天。Nakamura等<sup>[17]</sup>观察到日本对虾的外部性特征是在仔虾后第20天出现的, 性腺的分化最早是在仔虾后第60天观察到的。由此可见, 罗氏沼虾性别分化与生长日龄和规格都有关, 可以认为规格是第一要素, 生长日龄是第二要素, 即当罗氏沼虾规格达到性别分化和性腺发育规格时则出现第二性征并启动性腺发育, 仅当罗氏沼虾生长较慢, 在生长日龄累积作用下, 规格接近性别分化和性腺发育规格时才出现第二性征或开始性腺发育, 此与尹左芬等<sup>[19]</sup>认为对虾变态发育主要与日龄有关的结论不一致。因此, 罗氏沼虾性早熟现象并非是罗氏沼虾生长日期较短导致出现性成熟, 而是规格偏小, 小于性成熟常规规格的现象。生长日期并不短, 甚至有可能大于正常发育所需日期, 可见采用合适的养殖密度开展生产是防止罗氏沼虾性早熟的有效措施之一, 特别是种虾生产。

#### 3.2 养殖密度与罗氏沼虾生长存活的关系

养殖密度对罗氏沼虾的生长存活具有抑制作用, 且随着时间的延长, 抑制效应越明显, 此与以往的研究结果相同<sup>[11-13]</sup>, 也与谢剑等<sup>[14]</sup>的环境因子与营养一致时单位面积产量的提高是由于放养密度提高所带来的观点一致。刘广斌等<sup>[12]</sup>认为在较高的密度水平下, 需要消耗较多的能量来获取食物和协调种内的关系, 导致代谢

耗能增加、实际的能量利用效率降低, 生长速率减慢。罗氏沼虾性别分化前一直是进行营养生长, 性别分化后在温度适宜的条件下部分能量开始用于性腺发育, 可能影响营养生长。但本实验结果表明, 低密度组罗氏沼虾虽然性别分化和性腺发育较高密度组早, 但生长速率并未减缓, 仍显著高于高密度组。可以认为产生此现象的原因不仅是罗氏沼虾养殖密度的增加使得个体对资源、空间的竞争加剧, 从而引起摄食、能量代谢、行为、生理以及免疫功能的一系列变化, 还有因养殖密度的增加, 加剧了罗氏沼虾为占据地盘、相互的残食, 以及性成熟后雄虾竞争交配权而进行的争斗。

#### 参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 30.  
The Fisheries Bureau of Agriculture Ministry. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 30(in Chinese).
- [2] 刘恩生, 万全. 罗氏沼虾的养殖现状与发展前景[J]. 安徽农业大学学报, 1997, 24(2): 189-192.  
Liu E S, Wan Q. Status and prospect of culture of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 1997, 24(2): 189-192(in Chinese).
- [3] 甘西, 邓凤姣, 陈晓汉, 等. 罗氏沼虾遗传多样性的RAPD研究[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 2000, 46(2): 215-218.  
Gan X, Deng F J, Chen X H, et al. Study of RAPD on diversity of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2000, 46(2): 215-218(in Chinese).
- [4] 李祥云, 张海琪, 朱俊杰, 等. 罗氏沼虾浙江养殖群体与缅甸自然群体遗传差异的RAPD分析[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 360-364.  
Li M Y, Zhang H Q, Zhu J J, et al. Genetic variation between cultured population from Zhejiang Province and natural population from Burma of *Macrobrachium rosenbergii* revealed by RAPD method[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(4): 360-364(in Chinese).
- [5] 廖锐, 区又君, 勾效伟. 养殖密度对鱼类福利影响的研究进展 I. 死亡率、生长、摄食以及应激反应[J]. 南方水产, 2006, 2(6): 76-80.  
Liao R, Ou Y J, Gou X W. A review: influence of stocking density on fish welfare. I mortality, growth, feeding and stress response[J]. South China Fishery Science, 2006, 2(6): 76-80(in Chinese).
- [6] 于赫男. 环境胁迫对罗氏沼虾和凡纳滨对虾行为、生长及生理活动的影响[D]. 广州: 暨南大学, 2007.  
Yu H N. Effects of environmental stress on behavior, growth and physiological activity of *Macrobrachium rosenbergii* and *Litopenaeus vannamei*[D]. Guangzhou: Jinan University, 2007(in Chinese).
- [7] 陈文霞. 不同养殖策略对凡纳滨对虾生长、摄食与氮收支的影响[D]. 广州: 广东海洋大学, 2012.  
Chen W X. The effect of different rearing strategy on growth and N budget of *Penaeus vannamei*[D]. Guangzhou: Guangdong Ocean University, 2012(in Chinese).
- [8] Dong Z, Junda L. Effects of density and simulated recruitment and mortality on sex change in a protandric simultaneous hermaphroditic shrimp, *Lysmata wurdemanni*[J]. Marine Biology, 2007, 150: 639-645.
- [9] Wu C, Xiang J. Genetic determination and exogenous influence in sex differentiation in Crustacean[J]. Developmental & Reproductive Biology, 2002, 11(2): 88-94.
- [10] 楼允东, 刘艳红, 邱高峰. 虾蟹类性别决定研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(2): 157-163.  
Lou Y, Liu Y, Qiu G. Advances in sex determination of shrimps(prawns) and crabs[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(2): 157-163(in Chinese).
- [11] 张天时, 孔杰, 刘萍等. 饲料和养殖密度对中国对虾幼虾生长及存活率的影响[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 41-47.  
Zhang T S, Kong J, Liu P, et al. Effect of diet and stocking density on growth and survivorship of juvenile shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 41-47(in Chinese).
- [12] 刘广斌, 马牲. 凡纳滨对虾高密度养殖实验[J]. 海洋湖沼通报, 2004, (3): 54-58.  
Liu G B, Ma S. Intensive culture of shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2004, (3): 54-58(in Chinese).
- [13] 肖鸣鹤, 肖英平, 吴志强, 等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、消化酶活力和生理生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1088-1093.  
Xiao M, Xiao Y, Wu Z, et al. Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activities and biochemical indices of juvenile *Procambarus clarkii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(7): 1088-1093(in Chinese).
- [14] 谢剑, 戴习林, 臧维玲, 等. 凡纳滨对虾幼虾低盐度粗养水体养殖容量的研究[J]. 海洋渔业, 2010, (3): 303-312.  
Xie J, Dai X L, Zang W L, et al. Study on carrying capacity of *Litopenaeus vannamei* juveniles in extensive culture water with low salinity[J]. Marine Fisheries, 2010, (3): 303-312(in Chinese).
- [15] 李富花, 相建海. 中国对虾促雄腺形态结构和功能的初步研究[J]. 科学通报, 1996, 41(15): 1418-1422.

- Li F H, Xiang J H. A preliminary study on androgenic gland morphology and function of *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(15): 1418-1422(in Chinese).
- [16] 赵光凤, 李广丽, 朱春华. 凡纳滨对虾性别分化的初步研究[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(3): 19-23.
- Zhao G F, LI G L, Zhu C H. Preliminary study on sex differentiation of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(3): 19-23(in Chinese).
- [17] Nakamura K, Matsuzaki N, Yonekura K. Organogenesis of genital organ and androgenic gland in the kuruma prawn[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(12): 2261-2267.
- [18] 李富花, 相建海. 中国对虾早期性别分化研究[J]. 海洋科学集刊, 2002, 44: 101-104.
- Li F H, Xiang J H. Study on early sex differentiation of *Penaeus chinensis*[J]. Studia Marina Sinica, 2002, 44: 101-104(in Chinese).
- [19] 尹左芬, 宋微波, 马琳, 等. 对虾(*Penaeus orientalis*)外生殖器官的发育与分化[J]. 海洋湖沼通报, 1986, 4: 56-61.
- Yin Z F, Song W B, Ma L, *et al.* Studies on the organs of *Penaeus orientalis*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1986, 4 56-61(in Chinese).

## Effects of stocking density on growth, sexual differentiation and gonad development of *Macrobrachium rosenbergii*

DAI Xilin<sup>1\*</sup>, ZHOU Mengying<sup>1</sup>, JU Bo<sup>1</sup>, GUO Zhengqian<sup>1</sup>,  
JIANG Fei<sup>1</sup>, SU Jian<sup>1</sup>, DING Fujiang<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Co. Ltd., Shanghai 201516, China)

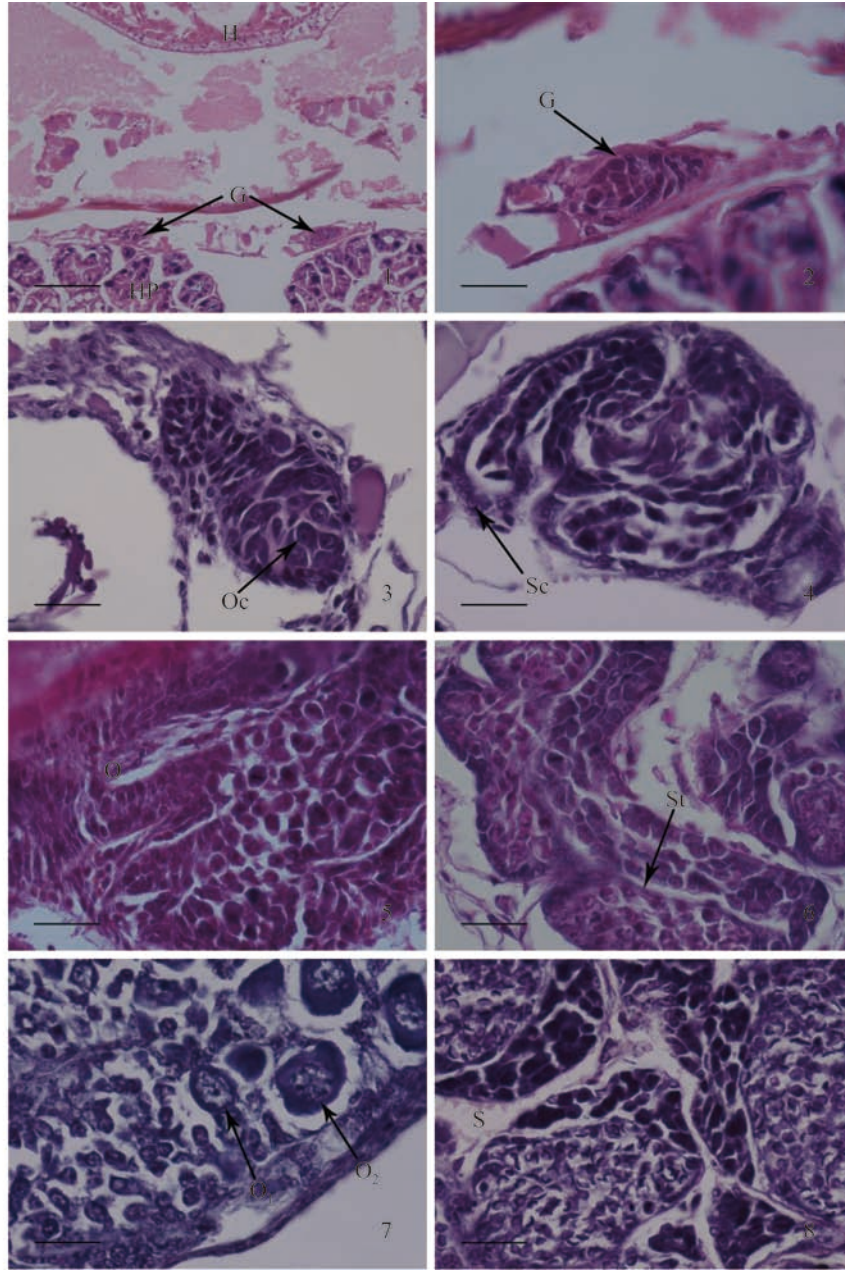
**Abstract:** The effects of stocking density on growth, sex differentiation and early gonadal development of *M. rosenbergii* were analyzed by the indexes (such as growth, survive, sex differentiation and gonadal development) at four stocking densities ( $7.50 \times 10^4$ ,  $12.75 \times 10^4$ ,  $42.00 \times 10^4$  and  $97.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup>). The result showed that: at the stocking densities from  $7.50 \times 10^4$  to  $97.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup>, the growth, specification uniformity, sex differentiation and gonadal development of *M. rosenbergii* were significantly influenced by stocking density. With the time prolonged, the greater growth inhibitory effects from stocking density appeared. The ratio of body weight gain acceleration of *M. rosenbergii* in groups of  $7.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup> to  $97.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup> increased from 2.3 at 10 d to 3.4 at 80 d; the sex differentiation and gonadal development time of low stocking density groups is about 10d earlier than that of the high stocking density group, but the sex differentiation and gonadal development specification of low stocking densities is greater than that of the high stocking densities. The initial average body length of female *M. rosenbergii* in group of  $7.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup> ( $4.158 \pm 0.592$ ) cm is 1.09 cm longer than that in group of  $97.50 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup>; sex ratio was not influenced by stocking density, but the survival rate of female *M. rosenbergii* was significantly influenced. The external morphology scale and age were delayed by the influence of stocking density. The result showed that the growth and gonadal development were significantly influenced by stocking densities. Suitable stocking density is an effective measure to prevent the precocity of *M. rosenbergii*. These results may provide a basis for the breeding production and genetic breeding of *M. rosenbergii*.

**Key words:** *Macrobrachium rosenbergii*; stocking density; sex differentiation; gonad development

**Corresponding author:** DAI Xilin. E-mail: xldai@shou.edu.cn

**Funding projects:** Key Project of Shanghai Science and Technology Committee (11391901400); Construction Project of Shanghai Modern Agriculture Technology System for Shrimp Industry (2014-5); Leading Academic Discipline Project of Shanghai Municipal Education Commission (J50701)





图版  $7.5 \times 10^4$ 尾/hm<sup>2</sup>密度组罗氏沼虾的性腺发育情况

1. 养殖第15天幼虾(体长2.878 cm)性腺原基横切; 2. 养殖第15天幼虾(体长2.878 cm)性腺原基横切; 3. 养殖第25天雌虾(体长3.416 cm)卵巢横切; 4. 养殖第25天雄虾(体长3.472 cm)精巢横切; 5. 养殖第35天雌虾(体长4.416 cm)卵巢横切; 6. 养殖第35天雄虾(体长4.432 cm)精巢横切; 7. 养殖第45天雌虾(体长4.928 cm)卵巢横切; 8. 养殖第45天雄虾(体长5.062 cm)精巢横切。G. 生殖原基; HP. 肝胰腺; H. 心脏; Oc. 卵原细胞; Sc. 精原细胞; St. 精小管; O<sub>1</sub>. 初级卵母细胞; O<sub>2</sub>. 次级卵母细胞, S. 精子。图中标尺长度均为50 μm

**Plate Gonadal development of *M. rosenbergii* in group of  $7.5 \times 10^4$  ind/hm<sup>2</sup>**

1. transverse section of the gland of a 2.878 cm-long *M. rosenbergii* at 15 culture days; 2. transverse section of the gland of a 2.878 cm-long *M. rosenbergii* in at 15 culture days; 3. transverse section of the ovary of a 3.416 cm-long female *M. rosenbergii* in at 25 culture days; 4. transverse section of the testis of a 3.472 cm-long *M. rosenbergii* in at 25 culture days; 5. transverse section of the ovary of a 4.416 cm-long *M. rosenbergii* in at 35 culture days; 6. transverse section of the testis of a 4.432 cm-long *M. rosenbergii* in at 35 culture days; 7. transverse section of the ovary of a 4.928 cm-long *M. rosenbergii* in at 45 culture days; 8. transverse section of the testis of a 5.062 cm-long *M. rosenbergii* in at 45 culture days. G. gland; HP. hepatopancreas; H. heart; Oc. oocyte; Sc. spermatocyte; St. seminiferous tubule; O<sub>1</sub>. primary oocyte; O<sub>2</sub>. secondary oocyte, S. sperm. bar=50 μm