

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00982

利用低盐度养殖的凡纳滨对虾培育亲虾初探

杜学芳^{1,2}, 孔杰², 罗坤², 王浩², 张瑞标², 王清印², 许圣钰³

1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;
2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;
3. 青岛海王水产种业科技有限公司, 山东 青岛 266071

摘要: 以在盐度 2~3 条件下养殖至 9 月龄的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)成虾为材料, 研究低盐度养殖对虾在不同盐度驯养条件下的繁殖性能, 以期利用低盐度养殖对虾培育亲虾提供科学依据。实验盐度梯度设置为 1、8、15、23 和 30。雌虾经剪切单侧眼柄后进行促熟培育, 促熟期间的雄虾养殖水温控制在 $(27\pm0.5)^{\circ}\text{C}$, 雌虾水温控制在 $(28\pm0.5)^{\circ}\text{C}$ 。定期检查雌虾卵巢和雄虾精英的发育情况, 采用精英人工移植技术对不同盐度条件下培育的亲虾进行组合交配, 统计受精率和孵化率, 组织切片观察卵巢发育, 综合评价各实验组合的繁殖性能。结果表明, 在实验盐度梯度范围内, 雌虾卵巢都可发育成熟; 盐度 1 组雌虾成熟比例仅 10%, 且全部死亡; 盐度 8 和 15 下发育成熟的雌虾达 70%, 可正常产卵, 但产出的卵子受精率较低, 不能孵化出无节幼体; 盐度 23 和 30 下发育成熟的雌虾超过 76%, 可正常产卵、孵化, 但孵化率较低。组织切片观察, 盐度 8~30 范围内各组雌虾卵巢发育无明显差异。在盐度 8~30 范围内, 凡纳滨对虾雄虾精巢都能够正常发育成熟, 但盐度 30 和 23 实验组的雄虾精巢发育速度明显快于盐度 15 和 8 组; 随着盐度的降低, 精英发育成熟所需要的时间明显延长; 所有盐度实验组的精英被移植后都可与卵子受精并孵化出无节幼体。

关键词: 凡纳滨对虾; 低盐养殖; 亲虾培育; 繁殖性能

中图分类号: S968.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-0982-08

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 又称南美白对虾, 具有适应性强、食性广、抗逆力强等特点, 是世界对虾养殖的三大主要品种之一^[1]。2000 年以来, 凡纳滨对虾产量已经占到中国养殖对虾总产量的 80%以上^[2]。凡纳滨对虾为广盐性对虾种类, 具有较强的盐度适应能力, 在盐度 1~40 条件下均可生长, 有纯淡水、半咸水、海水等多种养殖模式^[3-4]。鉴于海水养殖与淡水养殖系统的生态结构, 特别是微生态结构方面有重大差别^[5], 因此, 探讨在低盐养殖环境中凡纳滨对虾的发育特征, 对于在低盐条件下培育无特定病原(specific pathogen free, SPF)种虾具有重要的理论

与实践意义。

SPF 对虾是指在严格控制病原侵入的养殖条件下培育的对虾, 不带有目前对虾养殖中能够检测并常出现的特定病毒。1985 年由美国夏威夷海洋研究所与 Tufts 大学开发出的 SPF 对虾养殖系统, 能够严格控制养殖过程中的各项环境条件, 因此能够显著减少病害发生的机率, 养殖安全性大大提高。中国淡水养殖凡纳滨对虾的年产量已经达到 60 万 t 以上^[6], 近年来, 中国一直依靠从国外进口凡纳滨对虾 SPF 亲虾, 供不应求且价格昂贵, 严重制约凡纳滨对虾养殖业的发展。有报道, 凡纳滨对虾在较低盐度下性腺仍能发育^[7-9]。

收稿日期: 2013-02-26; 修订日期: 2013-05-14.

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA10A404); 青岛市关键技术攻关类项目(11-1-1-11-hy).

作者简介: 杜学芳(1987-), 女, 硕士研究生, 研究方向为对虾繁殖生物学. E-mail: duxuefangyong-1019@163.com

通信作者: 王清印, 博导, 研究员. E-mail: qywang@public.qd.sd.cn

袁路等^[7]发现在盐度 5 的条件下雄虾精英能够发育且产生具有一定活力的精子, Parnes 等^[8]在低盐度养殖的凡纳滨对虾中发现了 1 只性腺完全成熟的雌虾。因此, 在低盐海水甚至淡水中培育 SPF 亲虾, 建立淡水或低盐度水 SPF 亲虾生产系统, 有望为凡纳滨对虾亲虾的培育提供新的途径。本文研究了低盐条件下养殖的凡纳滨对虾在不同盐度条件下的性腺发育、人工授精的受精率、孵化率, 并对其性腺发育情况做了组织学观察, 以期在低盐 SPF 生产系统中培育凡纳滨对虾亲虾提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 亲虾来源 实验在河北省黄骅市海壬水产种业科技有限公司进行。实验用亲虾 800 尾, 约 9 月龄, 平均体质量(30 ± 0.83) g, 于 2012 年 11 月取自广州。养殖期间的池水盐度为 2~3。亲虾经过降温、运输 10 h 后到达河北黄骅, 经消毒后入池暂养。

1.1.2 亲虾暂养 亲虾按雌雄分开, 分别于 $5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的方形水泥池中暂养 10 d, 暂养密度为 9 尾/ m^2 。暂养初始水温为(21 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 以后每天升温 1°C , 雄虾暂养水温稳定在(27 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 雌虾暂养水温稳定在(28 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 。暂养期间养殖水的盐度为 3。养殖用水使用地下淡水与自然海水配置而成。暂养池水深保持在 60 cm, 每天换水 25%, 并吸污 1 次。投喂沙蚕和鲮鱼, 每天投喂 4 次, 投喂量为亲虾体质量的 8%~12%。水质指标控制在以下范围内: pH 8.0~8.6, 溶解氧含量 $>6.0 \text{ mg/L}$, 氨氮质量浓度 $<0.5 \text{ mg/L}$, 亚硝酸盐质量浓度 $<0.1 \text{ mg/L}$ 。

1.2 实验方法

1.2.1 亲虾促熟 亲虾暂养 10 d 后, 将雌虾与雄虾称重, 分别移入 10 个 $5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的方形水泥池中, 每池 60 尾虾。移入当天雌虾剪除单侧眼柄。

实验设置 1、8、15、23 和 30 这 5 个盐度梯度, 各组从暂养期间的盐度 3 起每天调整 2 度至各设定梯度, 盐化后稳定 3 d 开始投喂活饵, 剪除

雌虾眼柄, 进行实验。促熟期间的水温雄虾控制在(27 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 雌虾控制在(28 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2 雌虾性腺发育组织学观察 雌虾剪除眼柄后每天观察并记录其性腺发育情况。根据雌虾卵巢的形态、大小及色泽等特征, 将其卵巢发育划分为形成期、增殖期、小生长期、大生长期、成熟期和恢复期等 6 期^[10-13]。形成期和增殖期在体外观察时几乎看不出卵巢的形态和色泽。小生长期后卵巢体积明显增大, 外观清晰。至成熟期外观观察可见卵巢几乎占满整个头胸部, 并向背部延伸至尾节, 呈暗红色。第 1 次产卵后的卵巢进入恢复期, 体积变小, 卵巢萎缩。实验中发现性腺发育达到成熟期的个体后用眼标进行个体标记, 统计各盐度梯度下的雌虾性腺发育情况。

从每个盐度梯度中挑选发育成熟的 3 尾雌虾, 活体解剖取出卵巢, 使用 Bouin's 氏液固定 24 h, 梯度酒精脱水后石蜡包埋。切片厚度 $7 \mu\text{m}$, HE 染色, Nikon 显微镜观察并拍照, 对不同盐度梯度下发育成熟的对虾卵巢进行组织学观察比较。

1.2.3 雄虾精英发育组织学观察 每隔 15 d 统计 1 次雄虾精英发育情况。将精英发育成熟的雄虾进行眼柄标记。采用成熟的精英进行人工授精。在下个时间段进行精英发育情况统计时, 使用过的精英按照成熟的精英进行统计。

精英发育情况依据肉眼观察可从外形上划分为以下四个阶段^[7,14-15]: 未发育阶段, 其特征为少量不透明乳白色黏液, 没有精子和精子团; 透过表皮, 可以看到一小点白色的区域。早期发育阶段, 其特征为大量黏液, 其中有薄而硬的片状物质但没有精子和精子团; 精英刚刚开始发育, 肉眼可见呈白线状。晚期发育阶段, 其特征为精英呈白色, 白色柔软具有精子团, 但还不足够成熟。成熟阶段, 其特征为精英饱满凸出, 精英变硬呈乳白色, 用手轻轻挤压时, 精英可随用力方向上下移动。

1.2.4 人工授精及幼体孵化 采用精英移植方法进行人工授精。选用各个盐度梯度下性腺发育成熟的雄虾精英, 与各盐度梯度下发育成熟的雌虾进行人工授精, 所有的人工授精组合重复 3 次以

上。人工授精后的雌虾单独置于 100 L 塑料桶中进行产卵及孵化,统计总卵量、受精率、未受精率、孵化率等指标。

2 结果与分析

2.1 不同盐度实验组的雌虾性腺发育

本实验从剪除单侧眼柄至实验结束共 73 d。实验期间各盐度梯度组的雌虾发育成熟情况及实验结束时的存活情况分别如图 1 及表 1 所示。

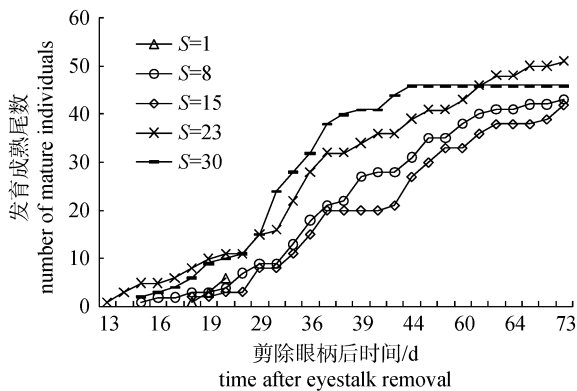


图 1 凡纳滨对虾雌虾在不同盐度条件下的性腺发育
Fig.1 Gonad development of *Litopenaeus vannamei* females in different salinity

在 1 至 30 范围内的 5 个盐度梯度中,均观察到性腺发育成熟的凡纳滨对虾雌虾。其中,盐度 1 组在剪除眼柄后第 18 天发现有雌虾性腺发育成熟,但实验 33 天时雌虾全部死亡,期间共发现 3 尾性腺发育至成熟期的雌虾及 3 尾发育至 IV 期的雌虾。8 和 15 盐度组分别于剪除眼柄后 15 天和 18 天发现有雌虾性腺发育成熟。剪除眼柄后 73 天,8、15、23 和 30 四个盐度组的性腺发育至成

熟期的个体数都达到了实验雌虾总数的 70%。盐度 23 实验组在第 13 天发现性腺发育成熟的个体,且该组性腺发育成熟的个体数最多,共有 51 尾雌虾发育至成熟期,发育成熟比例达到 85%。盐度 30 实验组的雌虾性腺发育时间较早且集中,第 15 天发现首个性腺发育成熟个体;第 46 天时发现最后一尾性腺发育成熟的雌虾;至实验结束,发育成熟比例达到 76.7 %。

分析不同盐度组的雌虾性腺发育统计资料,可以看出,在实验第 22 天时,各实验组的雌虾性腺发育成熟个体数量从高到低依次为:盐度 23 组、盐度 30 组、盐度 8 组、盐度 15 组。此后,盐度 30 实验组的雌虾性腺发育成熟个体数超过 23 实验组;62 天后,盐度 23 实验组的雌虾发育成熟个体数再次超过了 30 实验组;23 实验组和 30 实验组的雌虾发育数量呈交叉上升趋势。盐度 8 实验组的发育成熟的雌虾总数始终多于 15 实验组,而小于 23 和 30 两个盐度组。总体来看,15 盐度组的雌虾性腺发育速度最慢。15 盐度以上,随着盐度增加,雌虾性腺发育速度呈加快趋势。盐度 8 组的性腺发育速度稍快于盐度 15 的雌虾,但这两个实验组雌虾同时期的发育尾数比较接近,差异不明显。

2.2 雌虾性腺解剖及组织学观察

取发育成熟的凡纳滨对虾雌虾进行解剖观测,可见发育成熟的卵巢位于身体背面,肠道上方,心脏下方。卵巢分为前叶、侧叶和后叶三部分,前叶向前延伸至额角基部,侧叶充塞在心脏、肝胰腺之间,一对后叶向后延伸至尾节前方向止。发育成熟的卵巢几乎占满整个头胸部及背部,呈暗红色,向后延伸至尾节。由图 2 组织学切片观察,

表 1 凡纳滨对虾雌虾在不同盐度条件下性成熟及存活情况

Tab.1 Ovary maturation and survival rate of *Litopenaeus vanamei* females in different salinity

盐度 salinity	实验尾数 number of individuals	存活尾数 number of survivals	存活率/% survival rate	发育成熟尾数 number of mature females	成熟比例/% proportion of mature females
1	60	0	0	6	10.0
8	60	49	81.7	43	71.7
15	60	43	71.7	42	70.0
23	60	49	81.7	51	85.0
30	60	46	76.7	46	76.7

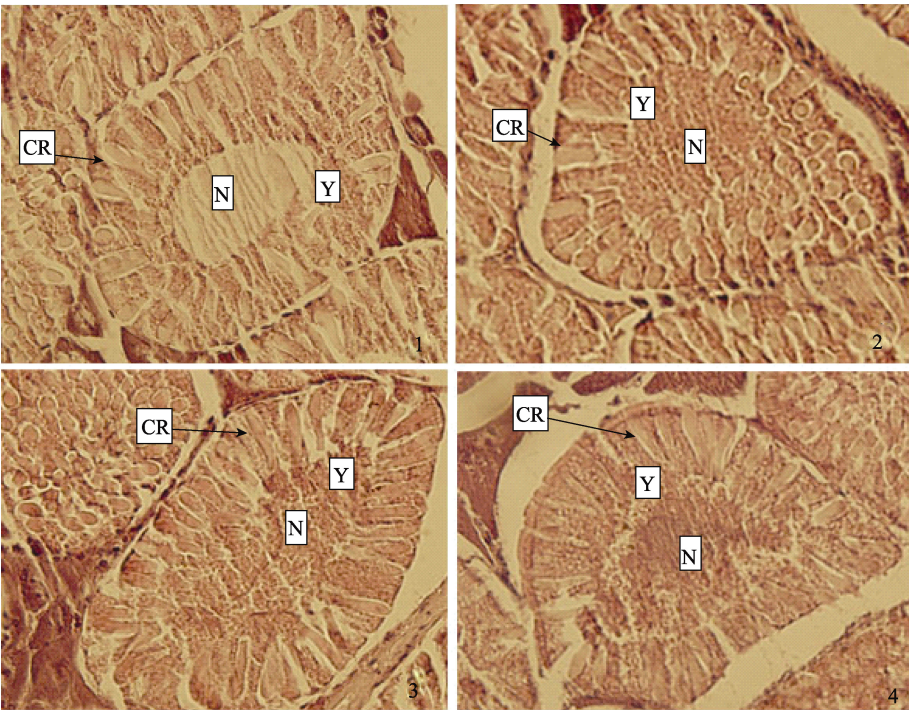


图 2 不同盐度组凡纳滨对虾雌虾成熟卵巢的组织学观察

1.盐度 8 组的雌虾卵巢切片(×320); 2.盐度 15 组的雌虾卵巢切片(×320); 3. 盐度 23 组的雌虾卵巢切片(×320); 4.盐度 30 组的雌虾卵巢切片(×320). CR: 皮质棒; N: 细胞核; Y: 卵黄颗粒.

Fig.2 Histological observation on ovary development of *Litopenaeus vannamei* in different salinity

1. Mature ovary reared in 8 salinity(×320); 2. Mature ovary reared in 15 salinity(×320); 3. Mature ovary reared in 23 salinity(×320); 4. Mature ovary reared in 30 salinity(×320). CR: cortical rod; N: nucleus; Y: grains of yolk.

可见卵巢内充满成熟的卵子。

对不同盐度条件下培育的凡纳滨对虾雌虾成熟卵巢进行组织学观察。在 8–30 四个盐度实验组中，成熟卵巢卵室内的卵细胞形状均不规则，具有明显的辐射状皮质棒，细胞核模糊，核仁溶解，大量的卵黄颗粒充斥在卵细胞中。不同盐度条件下培育的雌虾性腺成熟期的卵细胞在形态结构、细胞大小等方面未见明显差异。

2.3 不同盐度实验组的雄虾精英发育

按照 1.2.3 所述精英发育期的划分标准，不同盐度条件下培育的凡纳滨对虾雄虾的性腺在实验期间的发育情况如图 3 所示。

在同一发育时期，盐度 23 和 30 实验组的雄虾精英发育明显好于盐度 8 和 15 实验组。盐度 30 实验组的雄虾精英发育最快，到实验第 25 天时，处于发育晚期及发育成熟的雄虾已经达到 62%；而同一时期，盐度 8 和 15 两个实验组的雄虾精英大部分仍处于发育早期。盐度 23 实验组的

雄虾精英发育速度稍快于 15 实验组，两个盐度组在不同时期的雄虾发育比例比较接近。盐度 8 实验组的雄虾精英发育最慢。

分析实验期间各组雄虾精英发育情况，可以看出，在所有盐度实验组中雄虾精英都能够正常

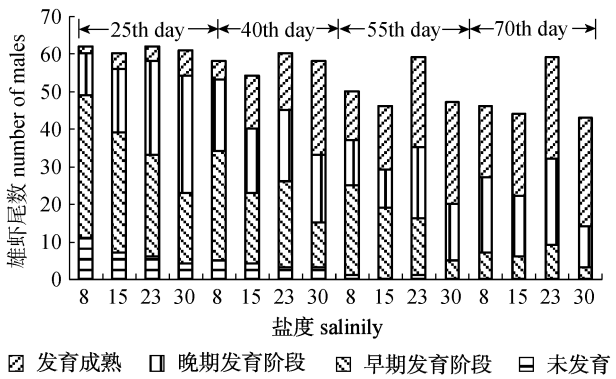


图 3 不同时间凡纳滨对虾雄虾在不同盐度条件下的精英发育

Fig.3 Spermary development of *Litopenaeus vannamei* males in different salinities at different time

发育。到实验 55 天时, 8 盐度组中处于发育晚期及成熟期的雄虾比例达到 50%。15 和 23 盐度组在发育 40 天时, 达到发育晚期及成熟期的雄虾比例即超过 50%, 而 30 盐度组在 25 天时达到发育晚期的雄虾数量已经超过 50%。由此可见, 在 8~30 的盐度范围内, 凡纳滨对虾雄虾精巢都能够正常发育成熟, 但随着盐度的降低, 精英发育成熟所需要的时间明显延长。

2.4 产卵及孵化情况

选用各盐度条件下培育并发育成熟的雄虾精英与各个实验组中发育成熟的雌虾, 分别进行人工授精。结果表明, 各个实验组的雄虾精英与 30 盐度组的雌虾进行人工授精, 均可正常产卵、受精并孵化出无节幼体; 盐度 23 实验组的雄虾与同盐度组的雌虾人工授精后, 在 24 盐度下孵化出无节幼体; 用任何盐度组的雄虾精英与 15 与 8 盐度组的雌虾进行人工授精, 都没有观察到孵化出的无节幼体(表 2)。

由表 2 可看出, 本次实验得到的凡纳滨对虾受精卵的最低孵化盐度为 24。盐度 30 实验组培育的雌虾与盐度 23 实验组培育的雄虾人工授精

后在盐度 30 条件下的受精率较高, 达到 85.25%, 其余各实验组合的受精率均较低。不同盐度实验组培育的亲虾受精后的孵化率均较低, 30 盐度组的雌虾与同盐度条件下培育的雄虾人工授精后的孵化率在所有组合中最高, 也只有 11.72%。

3 讨论

在全人工条件下培育凡纳滨对虾亲虾并繁育子代, 经历从成虾养殖、性腺促熟、自然交尾(或人工授精)、产卵、受精及孵化和幼体培育等诸多环节, 每一个环节的影响因素众多。盐度、温度、饵料及光照等都能影响性腺发育和产卵孵化^[9,16-19]。盐度是影响凡纳滨对虾繁殖的主要环境因子之一^[20], 通过影响对虾的生长、代谢、营养利用以及受精、孵化等方面直接或间接的影响其繁殖^[21-22]。在本研究中, 使用池水盐度为 2~3 的低盐淡水养殖的凡纳滨对虾雌虾, 分别在 1~30 盐度范围内的 5 个梯度盐度条件下培育, 均观察到外观发育正常并达到成熟期的性腺, 且 8 及以上盐度实验组的发育比例都达到了 70%以上。在本实验中低盐度养殖的凡纳滨对虾雌虾可以在低盐度海水甚至

表 2 人工授精后凡纳滨对虾的受精率和孵化率
Tab.2 Fertility and hatching rates of *Litopenaeus vannamei* after spermatophore transplantation

雌虾培育盐度 salinity of female rearing	雄虾培育盐度 salinity of male rearing	孵化盐度 salinity of hatch- ing	总卵量 number of eggs	受精卵 number of fertilized eggs	受精率/% fertility rate	孵化率/% hatching rate
30	30	30	97000	50000	51.55	11.72
30	23	30	61000	52000	85.25	4.59
30	15	30	100000	15000	15.00	10.67
30	8	30	160000	17000	10.63	9.41
23	30	23	272000	97000	35.66	0
23	23	24	133000	42000	31.58	2.53
23	15	23	68800	30400	44.19	0
23	8	23	65600	20800	31.71	0
15	30	15	120000	25260	21.05	0
15	23	15	88000	30400	34.55	0
15	15	15	75200	11200	14.89	0
15	8	15	43200	16000	37.04	0
8	30	8	97200	30400	31.28	0
8	23	8	82000	16000	19.51	0
8	15	8	63200	15000	23.73	0
8	8	8	76000	17000	22.37	0

几近淡水的 1 盐度水体中达到性腺发育成熟。这对于在理论上认识以及在生产实践中利用凡纳滨对虾在低盐度海水甚至淡水中正常繁殖具有重要意义。组织切片观察结果显示, 各盐度条件下培育发育成熟的雌虾卵巢结构没有明显的差别, 但不同盐度组培育的雌虾性腺发育速度不同。这说明盐度对凡纳滨对虾雌虾性腺的发育速度有重要影响。

雄虾精巢的发育受温度、盐度、饵料等多方面的影响, 其发育程度的评价指标包括外观观察、人工授精效果等多个方面。袁路等^[7]发现凡纳滨对虾雄虾在盐度 5 的条件下可以发育成熟, 不同盐度对精英质量、精子总数、精子活力影响显著。姚卫军等^[9]发现盐度 15~30 对精英成熟期影响不显著。在本实验中, 通过外观观察和人工授精的方法, 发现凡纳滨对虾在 8~30 盐度范围内, 精英都能够发育成熟, 并保持一定的精子活力。精英的发育速度与盐度高低具有显著相关关系, 30 盐度条件下精英发育最快; 在 23 盐度条件下, 凡纳滨对虾雄虾的精英发育稍快于盐度 15 实验组, 但差别不大; 8 的低盐度条件下精英发育速度明显减慢。

盐度对凡纳滨对虾对脂肪酸及游离氨基酸的吸收、组成与分布都有影响^[23-24], 而这些营养物质是性腺发育过程中的关键物质。在本实验中, 盐度对性腺发育的影响主要表现在对性腺发育速度的影响, 包括卵黄物质的积累以及精英发育过程等, 但在低盐度条件下雌虾和雄虾的性腺都能够发育成熟, 说明盐度对性腺发育的影响是一个渐进过程。据此可以推断, 在低盐度甚至淡水环境中培育凡纳滨对虾亲虾具有一定的可行性。

受精率和孵化率是判断对虾亲虾培育成功与否的基本指标。本实验中, 尽管凡纳滨对虾亲虾性腺可以发育, 但人工授精后, 只有 30 和 23 盐度组的雌虾产出的卵子孵化出了少量无节幼体, 且其受精率及孵化率远远低于正常水平。孙丽华等^[25]认为当盐度过高或过低时, 细胞与周围介质之间的物质平衡会被破坏, 导致卵细胞受到损伤或内部结构产生一定变化, 从而导致孵化率降低及畸形率升高。彭昌迪等^[26]认为盐度低于 22, 凡纳滨

对虾的受精卵不能正常孵化。本实验中 23 盐度组培育的雌虾产出的卵子在 24 盐度条件下获得了 2.53% 的孵化率, 换言之, 本实验得出的最低孵化盐度为 24, 稍高于彭昌迪的研究结果。

刘永^[27]认为海水相对密度 1.013 5~1.014 5 时(28℃时相对盐度约为 20.8~22.1), 盐度对凡纳滨对虾亲虾的成熟、交配和产卵影响不大, 而对受精及孵化率有很大影响。本实验能够得到不同盐度条件下培育成熟的雌虾和雄虾, 但人工授精后却不能孵化或是孵化率很低, 据此推测凡纳滨对虾受精卵对孵化盐度的要求可能比对性腺发育的盐度要求更高。性腺能够正常发育的盐度条件未必可以满足受精卵孵化的要求。当然, 受精率和孵化率还与性腺成熟程度以及人工授精技术等因素有关, 详细分析这一问题还需要进行更深入细致的实验研究。另外, 调节盐度及环境的变化也可能会影响对虾的性腺发育和孵化, 潘鲁青^[28]研究了海捕中国对虾亲虾暂养过程中温度、盐度突变对卵子孵化率的影响, 发现盐度差需保持在 5 以内, 温度差需保持在 2℃以内, 才能不影响亲虾性腺正常发育。虽然本实验观察到了成熟的卵巢及精英, 但亲虾在低盐度条件下养殖的背景也可能对对虾的性腺发育和繁殖机制产生了未知的影响。

凡纳滨对虾在相同盐度培育条件下, 雄虾精英的发育明显晚于雌虾卵的发育。雌虾卵发育高峰为促熟后 25 天到 40 天左右。在实验 40 天时, 盐度 23 和 30 实验组的雌虾大部分都已经发育成熟。而雄虾在实验 25 天时, 只有少数精英发育成熟的雄虾, 大部分雄虾精英都处于早期发育阶段。实验 40 天时, 成熟的精英仍然较少。

研究表明, 在 2~3 的低盐度条件下养殖的凡纳滨对虾成虾在盐度 8~30 的水体中性腺都能够发育成熟并进行人工授精, 部分实验组合孵化出无节幼体, 这一初步的研究结果对于在低盐度甚至淡水中进行凡纳滨对虾的亲虾培育, 并进而建立低盐度条件下的 SPF 亲虾培育系统具有重要意义。本实验最高盐度为 30, 对于在低盐海水或淡水中培育的凡纳滨对虾成虾, 在盐度高于 30 的

海水中性腺发育、卵子受精、仔虾孵化的结果如何, 还需要进行进一步的研究。同时, 也需要进一步探讨低盐度养殖的凡纳滨对虾能否在低盐度条件下实现正常受精并孵化出无节幼体, 以及在低盐度条件下提高受精率和孵化率的技术工艺等。这些问题的解决将有可能为实现低盐度条件下培育凡纳滨对虾亲虾并繁殖后代提供技术保障。

参考文献:

- [1] 王兴强, 马甦, 董双林. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学进展[J]. 海洋湖沼通报, 2004(4): 94-100.
- [2] 胡超群, 任春华, 沈琪, 等. 凡纳对虾和细角对虾规模化全人工养殖技术的研究[C]. 中国海洋湖沼学会. 第3届全国海珍品养殖研讨会论文集. 北京: 科学出版社, 2001: 117-120.
- [3] Memz A, Blake B F. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone[J]. Exp Mar Biol Ecol, 1980, 48: 99-111.
- [4] Stern S, Daniels H, Leteller E. Tolerance of post larvae and juvenile *Penaeus vannamei* to low salinity [M]. Abstracts, World Aquaculture 90, Halifax, Nova Scotia, Canada, T30. 12, National Research Council Canada, Ottawa, Ont., Canada, 1990.
- [5] 周凯, 来琦芳, 罗璋, 等. 对虾养殖前期 5 种类型水体中细菌的组成和比较研究[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(11): 39-44.
- [6] 农业部渔业局. 2012 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [7] 袁路, 蔡生力. 温度、盐度对凡纳滨对虾精英再生和精子质量的影响[J]. 水产学报, 2006, 30(1): 63-68.
- [8] Parnes S, Mills E, Segall C, et al. Reproductive readiness of the shrimp *Litopenaeus vannamei* grown in a brackish water system[J]. Aquaculture, 2004, 236: 593-606.
- [9] 姚卫军, 黄翔鹤. 不同生态条件对凡纳滨对虾亲虾性腺发育的影响[D]. 广东: 广东海洋大学, 2010: 19-23.
- [10] 郑忠明, 李明云. 哈氏仿对虾卵巢发育的形态学与组织学观察[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 105-110.
- [11] 上官步敏, 刘正琼, 李少菁. 锯缘青蟹卵巢发育的组织学研究[J]. 水产学报, 1991, 15(2): 96-101.
- [12] 王克行, 杜宣. 虾蟹类增殖养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 21-22.
- [13] 颜素芬, 姜永华. 南美白对虾卵巢结构及发育的组织学研究[J]. 海洋湖沼通报, 2004, (2): 52-57.
- [14] Joanna R, Leung-Trujillo, Addison L, et al. Spermatophore generation times in *Penaeus setiferus*, *P. vannamei*, and *P. stylirostris*[J]. J World Aquacult Soc, 1991, 22(4): 244-251.
- [15] Cristina, Evangelina P, Cristina V, et al. Effect of water temperature on reproductive tract condition of *Penaeus setiferus* adult males[J]. J World Aquacult Soc, 1998, 29(4): 477-484.
- [16] 李明云. 温度对中国对虾(*Penaeus orientalis*)越冬亲虾性腺发育与存活率的影响[J]. 生态学报, 1995, 15(4): 378-384.
- [17] Perez-Velazquez M, Bray W A, Lawrence A L, et al. Effect of temperature on sperm quality of captive *Litopenaeus vannamei* broodstock[J]. Aquaculture, 2001, 198: 209-218.
- [18] 陈泳先, 蒋伟明, 杨彦豪, 等. 几种饵料对南美白对虾亲虾性腺发育的影响[J]. 南方农业学报, 2011, 42(8): 987-990.
- [19] 齐玉祥, 高学兴, 刘枫林. 光照对越冬亲虾成活和性腺发育的影响[J]. 河北渔业, 1991 (4): 22-23.
- [20] Kinne O. Salinity: Animal invertebrates[M]. Marine ecology Vol I. Environmental factors. London: Wiley Interscience, 1971: 821-995.
- [21] 王兴强, 马甦, 董双林. 盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(1): 33-37.
- [22] 陈作洲, 申玉春, 朱春华, 等. 盐度和营养对凡纳滨对虾谷氨酸脱氢酶和丙酮酸羧激酶活性的影响[J]. 现代农业科学, 2009, 16(7): 12-14.
- [23] 梁萌青, 王士稳, 韩庆伟, 等. 海水养殖和低盐养殖凡纳滨对虾脂肪酸分析比较[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(1): 87-91.
- [24] 李二超, 陈立侨, 熊泽泉, 等. 盐度对凡纳滨对虾体组织蛋白质积累、氨基酸组成和转氨酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(3): 532-538.
- [25] 孙丽华, 陈浩如, 王肇鼎. 盐度对军曹鱼胚胎和仔鱼发育的影响[J]. 生态科学, 2006, 25(1): 48-51.
- [26] 彭昌迪, 郑建民, 彭文国, 等. 南美白对虾的胚胎发育以及温度与盐度对胚胎发育的影响[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(4): 310-316.
- [27] 刘永. 凡纳对虾人工繁殖的初步研究[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22 (4): 19-23 .
- [28] 潘鲁青. 亲虾暂养、卵子消毒与生态防病技术研究[J]. 齐鲁渔业, 1994, 11(1): 25-28.

Preliminary studies on the broodstock maturation of *Litopenaeus vannamei* from low-salinity farming ponds

DU Xuefang^{1,2}, KONG Jie², LUO Kun², WANG Hao², ZHANG Ruibiao², WANG Qingyin², XU Shengyu³

1. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Qingdao Higene Aquabreeding Technology CO., LTD, Qingdao 266071, China

Abstract: Preliminary studies on the broodstock maturation of *Litopenaeus vannamei* from low-salinity water farming ponds were carried out in laboratory. The prawns were reared under different salinities of 1, 8, 15, 23, and 30. Female unilateral eyestalks were sheared to promote maturation. The water temperature for the male shrimps was set at $(27\pm0.5)^{\circ}\text{C}$ and that for the female shrimps at $(28\pm0.5)^{\circ}\text{C}$. The sexual development, spawning, fertilization, and hatching rates of the parents were investigated. The female gonads matured in all five salinity conditions; the proportion of mature females in salinity 1 was $<10\%$; in salinities 8 and 15 it was 70%, with low fertilization and no nauplius; and it was $>76\%$ in salinities 23 and 30, with low hatching rates. Histological examination revealed that ovarian development did not differ among the 8–30 salinity conditions. The male gonads also matured normally, but the speed of sexual development in salinities 23 and 30 was significantly faster than that in salinities 8 and 15 ($P<0.05$). As salinity decreased, the time required for male shrimp maturation increased. The spermatophores were fertilized and nauplius hatched in all salinities.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; low-salinity farming; parent shrimp rearing; reproductive performance

Corresponding author: WANG Qingyin. E-mail: qywang@public.qd.sd.cn