

文章编号:1000 - 0615(2002)01 - 0047 - 07

河口区凡纳对虾亲虾培育 及其生长和蜕皮

蔡生力, 臧维玲, 戴习林

(上海水产大学渔业学院, 上海 200090)

摘要:首次在上海河口地区成功进行了凡纳对虾的亲虾培育和育苗,并重点研究了凡纳对虾亲虾的生长和蜕皮规律。通过一套自行设计的水循环系统来培育亲虾,盐度为 9~12 的自然海水加盐度为 100~120 的浓缩海水调配至盐度 28~30。200 余尾亲虾(雌:雄为 1:1)经过近两个月的培育,成活率达 90%左右,暂养 12d 后,切除雌虾单侧眼柄促使亲虾成熟。手术后 3d,即可观察到雌虾卵巢开始发育,7d 后开始产卵,但未受精。30d 后,雌、雄虾出现追尾、交配现象,得到受精卵并孵化出无节幼体。试验结果表明,利用河口区低盐海水兑配高盐浓缩海水在水循环系统中培育亲虾,最终生产出健康的苗种是完全可行的。切除眼柄前亲虾完成一个蜕皮周期需要 14~15d,手术后,卵巢开始发育,蜕皮周期延长到 20d 左右。凡纳对虾亲虾在整个实验期间一直持续生长,切眼柄前雌虾的平均日生长率为 0.25mm,较切眼柄后的 0.17mm 快,雄虾的平均日生长趋势与雌虾相似,前期为 0.20mm,后期为 0.15mm。文中还讨论了有关切除眼柄后亲虾生长减慢、蜕皮周期延长的原因。

关键词:凡纳对虾;亲虾培育;蜕皮;生长;性腺发育;河口区;水循环系统

中图分类号:S968.22 文献标识码:A

Growth, molt, and maturation of shrimp brood stock *Penaeus vannamei* cultured in the river mouth area in Shanghai

CAI Sheng-li, ZANG Wei-ling, DAI Xi-lin

(Fisheries College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A recirculating system was designed for shrimp brood stock *Penaeus vannamei* culture indoor in the low salinity area of the river mouth in Shanghai. The natural seawater with salinity of 9 - 12 was mixed with concentrated seawater with salinity of 100 - 120, which made the culture water salinity reach 28 - 30. About 200 shrimp brood stock (female: male was about 1:1) were cultured in the recirculating system for two months, and the survival rate of the shrimp was about 90%. Unilateral eyestalk ablation of female shrimp was done for stimulation of the ovary maturation. Three days after the operation the ovary development could be observed clearly, and one week later, a part of shrimp began to spawn, but the eggs were not fertilized. One month later fertilized eggs appeared and nauplius were obtained. The results showed that shrimp brood stock *P. vannamei* cultured in this recirculating system could live healthily and spawn successfully. The regularity of molting and growth in shrimp brood stock *P. vanamei* was investigated. Before ablation of eyestalk, the mean molt interval

收稿日期:2001-07-27

基金项目:上海市农委科技兴农重点攻关项目[农科攻字(00)第1-18号]

作者简介:蔡生力(1957-),男,浙江临安人,上海水产大学副教授,博士,从事海洋生物繁殖和发育生物学研究。Tel: 021-65710216, E-mail: slcai@shfu.edu.cn

was about 14 ~ 15 days, and after that, the mean molt interval extends to about 20 days due to ovary development. With molting the body length of shrimp brood stock increased continuously, whether before or after ablation of eyestalk, but the mean daily increase of body length before ablation (female :0.25mm, male :0.20 mm) is greater than that after ablation (female :0.17mm, male :0.15). The reasons of lower growth rate and longer molting interval were discussed.

Key words: *Penaeus vannamei*; brood stock; molt; growth; maturation; river mouth; water recirculating system

凡纳对虾又名南美白对虾(*Penaeus vannamei*),自然分布于中、南美洲太平洋沿岸水域,是少数几种具开放式纳精囊的对虾种类,已成为世界养殖产量最高的三种对虾之一^[1-3]。1988年由中国科学院海洋研究所首次引进我国,对该种类的生长繁殖习性,苗种培育,池塘养殖等都作了较多的研究和生产试验,并逐步取得了成功^[4]。目前我国广东、福建、海南等省在凡纳对虾的人工育苗技术上已经取得了相当大的突破。伴随着苗种问题的解决,凡纳对虾的养殖已经成为继斑节对虾(*P. monodon*)、日本对虾(*P. japonicus*)、中国对虾(*P. chinensis*)和罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)之后又一新的养殖热门种类。

而在江苏、上海、浙江等长江三角洲地区,由于地处长江、钱塘江与东海的交汇处,水质情况比较复杂,海水盐度较低,而且水体中各种离子的浓度不稳定。受海水条件的限制,凡纳对虾的亲虾培育、交配、产卵等工作存在很大难度,因此该地区目前主要从广东等地采购无节幼体进行育苗,更多的是直接购买仔虾养殖。但由于各地区水质状况相差很大,虾苗质量参差不齐,因此所购苗种成活率往往较低。当前,在上海及江浙地区一股凡纳对虾的养殖热潮正在兴起,在低盐度^[5,6]甚至纯淡水条件下^[7]养殖凡纳对虾也已获得成功,并且取得了较好的经济效益。目前限制该种类大规模养殖主要因素是病害和苗种的数量和质量,而苗种的质量又直接关系到对虾健康生长和养殖病害的防治。

凡纳对虾的生殖习性与中国对虾、斑节对虾、日本对虾差异很大,前者属纳精囊开放式种类,雌雄交配在雌虾卵巢发育成熟后才进行,在整个生殖季节,雌雄虾会多次蜕皮,伴随着蜕皮,亲虾体长也在不断地增长。而后者在雌虾完成生殖蜕皮,卵巢尚未发育时即行交配,以后雌虾一般不再蜕皮,体长也不再增长^[8]。凡纳对虾的特殊生殖习性虽然给人工育苗尤其是亲虾交配带来较大困难,但由于亲虾在育苗期间的多次蜕皮和不断生长也有利于其性腺多次成熟,产卵量增加,精、卵质量的提高。这一点对人工养殖的个体相对较小的亲虾颇具生产意义。

本研究的目的是(1)利用河口地区的低盐海水兑配高盐浓缩海水,将亲虾在水循环系统中培育至其交配、产卵和受精,从而孵化、培育出健康的仔虾,直接供应当地市场,推动河口地区凡纳对虾的养殖;(2)研究凡纳对虾亲虾在性腺发育时期的蜕皮和生长规律,为今后利用较小规格的养殖凡纳对虾作为亲虾提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验亲虾来源、体长测量及数据处理

2001年3月20日购于广东省徐闻县。亲虾总数205尾,其中雌虾105尾,平均体长为12.80 ± 0.43 cm,雄虾100尾,平均体长为12.60 ± 0.35 cm。在整个亲虾试验培育期间共测量了4次,每次随机取样雌、雄虾各10尾,测量其生物学体长,即从眼柄基部到尾尖的距离,计算其平均体长和标准差。差异显著性检验用方差分析和多重比较Q值检验法。

1.2 亲虾驯化、强化培育和人工促熟

试验在上海(金山)申漕特种水产开发公司进行。亲虾于3月20日空运至育苗厂,暂养12d,使之逐步适应当地水质条件。暂养期间水温27~28℃,盐度27~28,光照400~500Lx, pH 8.1~8.5。水质指标基本与原养殖池相近。4月2日作雌虾切除单侧眼柄手术,促使卵巢发育,试验进行到5月17日告一段

落。前后共 58d。亲虾饵料以投喂沙蚕 (*Nereis* spp.) 为主 (购自青岛), 缢蛭 (*Smonovacula* spp.) 为辅, 沙蚕 缢蛭约为 4:1。每天投喂两次, 7:30 和 17:30, 投喂量约为虾体重的 5%~10%。

1.3 水循环系统

由于该育苗厂位于钱塘江口和长江口的交汇处, 水质情况复杂, 盐度较低 (9~12), 因此除了需对自然海水进行严格消毒, 多重过滤外, 还必须加一定数量的浓缩海水将育苗用水盐度调至 27~28。若按常规操作方法, 每天换水 50%, 势必加大育苗成本和工作量。因此特别设计了如下一套水循环系统进行亲虾的培育和产卵试验 (图 1)。

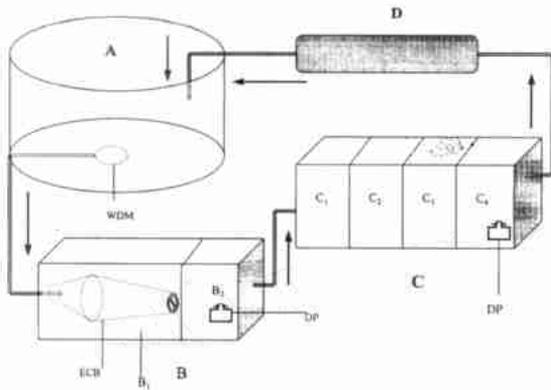


图 1 水循环装置示意图

Fig. 1 Sketch of the recirculating system

A: 育苗池。椭圆形, 面积 17.32m², 池深 1m。B: 集卵装置。B₁ 是集卵箱, 箱内可固定集卵网袋 (100 目)。B₂ 放置 10 层的聚乙烯网片作机械过滤。C: 生物过滤器。C₁: 麦饭石, C₂: 塑料小圆球, C₃: 沸石, C₄: 聚乙烯网片。D: 消毒器。紫外灯, 功率为 1 000W (美国 WaterTch 产, 型号为: UV12AS)。

在 B₂ 和 C₄ 部位分别放置 1 个小型潜水泵, 流量为 2t·h⁻¹。紫外灯的照射时间每天控制在 8-10h 左右。循环水的流量为 2t·h⁻¹, 每 6~8h 循环 1 次。

DP: 潜水泵 ECB: 集卵网袋 WDM: 底部排水口

A: Hatching tank, ellipse, depth: 1m, area: 17.32. B: Egg-collecting case. A egg-collecting bag is set in B₁. 10 layer of polythene nets are set in B₂. C: Biological filter. C₁: multi-zeolites, C₂: plastic balls, C₃: zeolites, C₄: polythene net. D: Germicide light. UV-light, 1 000W (WaterTec made in USA, Model: UV12AS).

A submersible pump with a 2t·h⁻¹ of flow rate is set in B₂ and B₄. The UV light is on for 8-10h·day⁻¹, and the total water can be circulated once in 6-8h.

DP: diving pump ECB: egg collecting bag WDM: water draining mouth

1.4 水质等日常管理

育苗用水首先进行暗沉淀 48h 以上, 然后通过砂滤进入海水调配池, 加高盐度浓缩海水 (购自江苏如东盐场)。使育苗用水盐度达 28~30, 再用 (10~15) ×10⁻⁶g·mL⁻¹ 有效氯浓度的含氯毒剂消毒, 充气 24h 后, 用 Na₂S₂O₃ 中和去余氯, 最后通过多层绒布袋过滤后备用。由于当地水质状况复杂, 重金属离子浓度较高, 因此用前需加 (10~15) ×10⁻⁶g·mL⁻¹ 的 EDTA-Na 盐。

每天上午 8:00 检测水体的 pH 值、COD、氨氮和亚硝酸氮的浓度。并根据这些反馈信息及时指导水质管理。池水深度维持在 60cm。每两天吸污一次, 清除粪便及残饵, 保持水质清新。由于蒸发、吸污以及培育后期亚硝酸氮浓度偏高, 故每次吸污后, 适当添、换水, 最多不超过 20cm。

每天记录蜕皮数, 并把虾壳连同发现的死亡亲虾及时从池内捞走。光照与黑暗的时间比例控制在 12:12h, 白天, 通过黑色遮光布来调节光照强度至 400~500lx, 晚上则将黑色遮光布盖严, 形成黑暗状态, 同时以利于保温。

从亲虾开始产卵起, 每天集卵 1 次, 集完卵后把筛绢袋洗刷干净, 以免异物堵住网眼, 影响出水速率, 从而影响到整个循环水装置的平衡。每天 17:00-22:00 观察记录雌虾卵巢发育情况, 雌雄亲虾追尾交配现象等。

2 结果

2.1 水质指标和亲虾成活率

整个育苗期间每天对该套循环水设施的水质状况进行跟踪监测, 并根据所测的水质指标调控水质。从检测的结果看, 总氮在 4 月 2 日以前也就是该系统运行后两周时间内较高, 0.82~5.15mg·L⁻¹, 以后迅速下降, 一直保持在 1mg·L⁻¹ 左右。而亚硝酸氮的情况正好相反, 前期 (3 月 21 日至 4 月 6 日), 一直较低, 维持在 0.01~0.4mg·L⁻¹ 左右, 以后逐步上升至 2mg·L⁻¹ 左右, 最高达到 4mg·L⁻¹, 以后逐渐下

降,保持在 $1 \sim 2 \text{mg L}^{-1}$ 的水平,由于该浓度亚硝酸氮仍处在对虾安全浓度之外,因此在每两天吸污一次时,适当换水约 20cm。这一期间的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的变化与水循环系统中的生物膜成熟密切相关。水质指标虽然略有超标,但从亲虾的成活和产卵、受精、及孵化情况看,影响不是太大。

亲虾从 3 月 20 日晚自广东经过 12h 空运到本试验场,直至 5 月 17 日近两个月时间,保持了较高的成活率(表 1)。凡纳对虾亲虾从运输到暂养再到产卵三个不同阶段,成活率分别为:95.1%、98.5% 和 94.3%,可见试验在水质管理、饵料投喂、眼柄切除手术等环节都掌握的较好,同时也证明这套水循环装置对于凡纳对虾的亲虾培育是适用的。

表 1 凡纳对虾各阶段成活情况

Tab.1 Survive rate of *P. vannamei* during experimental period

日期(月-日) date(M-D)	03-20 运输前 before transportation	03-20 运输后 after transportation	3-21~04-01 暂养后 after temporary culture	04-02~05-17 产卵后 after spawning
亲虾总数(尾) number of shrimp	205	195	192	181
死亡数(尾) number of dead		10	3	11
成活率(%) survive rate		95.1	98.5	94.3

2.2 生长

从 2001 年 3 月 20 日至 5 月 17 日,总共测量了 4 次体长,结果见图 2。

在整个育苗期间(58d),凡纳对虾亲虾的生长基本没有停止,雌虾平均增长了 1.07cm,雄虾 0.90cm。雌、雄虾后两次检测的体长与前两次相比差异极显著($P < 0.01$),而在暂养期间(12d)和受精卵出现后的 12d 体长增长差异不显著($P > 0.05$)(表 2),这主要与这两个期间的较短有关。从平均日增长看,雌虾在切除眼柄前的体长平均日增长(0.25mm)与切除眼柄后的第 1 个月平均日增长(0.21mm)相差不大,前者还略大于后者。而 5 月 5 日至 5 月 17 日即受精卵出现后,雌虾的平均日增长明显减小,仅 0.08mm。与雌虾的生长情况不同,雄虾在整个育苗期间生长速度较平稳,在前两个阶段的平均日增长分别为 0.20mm 和 0.14mm,而在受精卵出现后,平均日增长为 0.18mm(表 2),这可能与雄虾未剪眼柄,且性腺发育消耗能量较雌虾小有关。

2.3 蜕皮

3 月 20 日到 4 月 2 日(暂养期间),亲虾的蜕皮情况如图 3 所示。

由于长途运输引起的不适以及水温、盐度、光照、pH 等环境因子差异产生的应激作用对亲虾的蜕皮产生一定的影响,因此运到后前三天的蜕皮数比较少,日蜕皮率小于 5%,以后随着亲虾对当地环境因子的适应,生长逐步趋于正常,蜕皮数也逐渐上升,超过 5%。这一期间,亲虾总数为 192 尾,总蜕皮数为 162 尾,平均日蜕皮数为 13.5 尾,日蜕皮率为 7.03%,最高可达 10.25%。在这暂养的 12d 时间里,84%

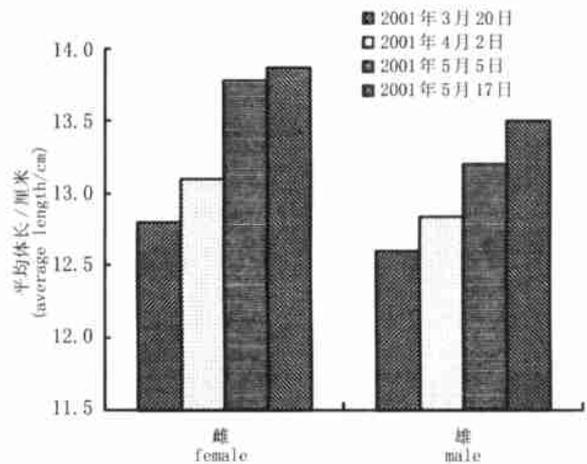


图 2 试验 1 凡纳对虾生长情况

Fig.2 Growth of *P. vannamei* during experiment period

表 2 凡纳对虾亲虾培育期间生长情况

Tab. 2 Growth of *P. vannamei* during experimental period

日期(月-日) date (M - D)	3 - 20	4 - 2	5 - 5	5 - 17	
雌虾 female	体长/cm body length	12.80 ±0.43 ^(a)	13.10 ±0.51 ^(a)	13.78 ±0.38 ^(b)	13.87 ±0.37 ^{(b)*}
	平均日增长/mm increase per day		0.25	0.21	0.08
雄虾 male	体长/cm body length	12.60 ±0.35 ^(a)	12.84 ±0.21 ^(a)	13.29 ±0.36 ^(b)	13.50 ±0.39 ^(b)
	平均日增长/mm increase per day		0.20	0.14	0.18

* :同行右上角相同字母表示组间差异不显著 ($P > 0.05$), 不同字母表示组间差异极显著 ($P < 0.01$), ($F_{雌} = 15.11, F_{雄} = 9.55$)

Notes: The different letters in the same line show significant difference ($P < 0.01$), and the same letters show insignificant different ($P > 0.05$), ($F_{female} = 15.11, F_{male} = 9.55$)

以上的亲虾完成了一次蜕皮,按日蜕皮率 7%计,再过 2~3d,所有亲虾都可完成一次蜕皮,由此推断,卵巢发育前的凡纳对虾亲虾完成一个蜕皮周期需要 14~15d。

4月2日做完手术到5月17日这一期间亲虾的蜕皮数如图4所示。

雌虾在剪眼柄后的 44d 时间里,蜕皮总数达 440 具,每天的蜕皮数比剪眼柄之前有明显下降,平均每天 10 尾,日蜕皮率下降为 5.38%。平均每尾虾蜕皮 2.3 次,完成一个蜕皮周期约需 19~20d,比剪眼柄前延长了 5~6d。其中第 1 个周期需

16d(04-03~04-19),与切除眼柄前相近,而第 2 个周期则需 20d(04-19~05-9)。显然,眼柄的切除并未加快雌虾的蜕皮,这可能与亲虾(包括雄虾)的相当一部分能量被用于性腺发育,而非生长有关。

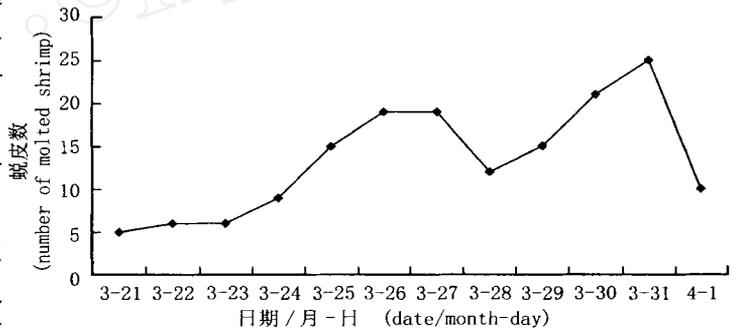


图 3 切除眼柄前凡纳对虾的蜕皮数

Fig. 3 Molting of *P. vannamei* before eyestalk ablation

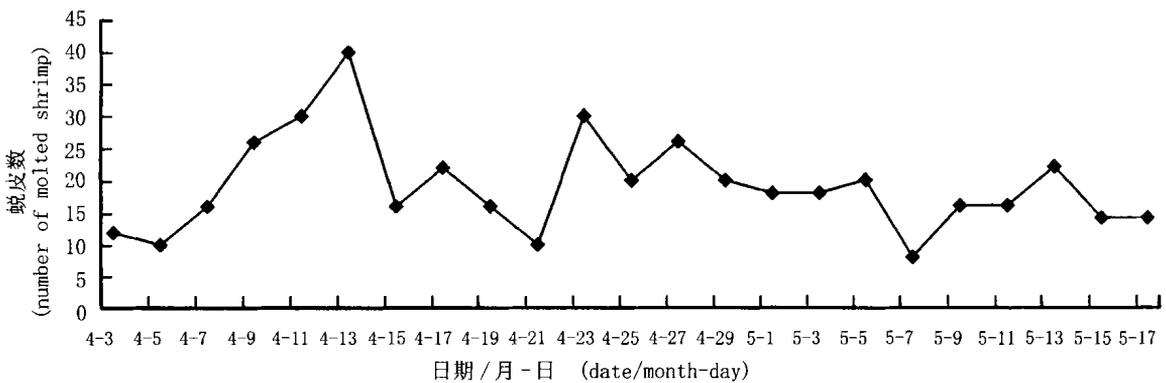


图 4 切除眼柄后凡纳对虾的蜕皮数(图中每一坐标点表示两天蜕皮数之和)

Fig. 4 Molting of *P. vannamei* after eyestalk ablation

2.4 性腺发育、产卵、受精和孵化

雌虾在切除眼柄后的第3d即可观察到卵巢开始发育,6~7d后就有雌虾产卵,但未受精。30d后可观察到雌雄虾交尾现象,随后出现受精卵。实验期间,共收集卵457万粒,其中出现受精卵后所收集的卵为137万粒,受精卵的平均孵化率为33%(表3),最高孵化率可达87.5%。

表3 凡纳对虾产卵量、受精率和孵化率

Tab. 3 Spawn, fertilization, and hatch rate of *P. vannamei*

日期(月-日) date (M-D)	产卵量 $\times 10^4$ number of eggs	受精卵 $\times 10^4$ number of fertilized eggs	受精率(%) fertilizing rate	无节幼体 $\times 10^4$ nauplius	孵化率(%) hatching rate
04-10~05-05 受精前 before fertilizing	319.7				
05-05~05-17 受精后 after fertilizing	137	61	44.5	20.1	33.0*

*:指受精卵的孵化率

*:the hatching rate of the fertilized eggs.

3 讨论

3.1 河口区低盐度海水的调配和处理

凡纳对虾在繁殖阶段对水质的要求远比养成阶段高,尽管在养成时盐度适应范围很广,甚至可在淡水中生存,但在繁殖阶段需要盐度为28~35的海水,稳定的盐度对卵的受精和孵化尤其重要。而上海河口区的海水盐度一般只在9~12之间,为了达到所要求的盐度,本试验所采用的方法是用浓缩海水勾兑低盐度海水,使之达到所要求的盐度(28左右)。从试验情况看效果较好,亲虾发育、产卵以及卵子受精、孵化都能正常进行。

由于河口水胶体状悬浮物多,加上用高盐度浓缩海水调配,使水质混浊度加大,仅靠沉淀难以使水质清澈,必须通过砂滤以及其他措施。本次试验采用含氯消毒剂消毒、砂滤、以及多层绒布袋过滤等措施,可使水质达到清澈见底、透明度超过1m以上。

3.2 水循环系统的作用

本试验在国内首次采用的水循环系统进行对虾育苗生产试验,并取得了较好的结果。

(1)降低水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度:通过填充各种不同的滤料,有利于硝化菌和亚硝化菌附着其上,形成生物膜,从而起到降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 浓度的作用。本次试验中经过两周以后的运行,氨氮浓度明显下降,虽然后期亚硝酸氮浓度偏高,可能是亚硝化菌的生长成熟不够理想,今后可以通过人工添加生物增强剂,加速生物膜的形成解决这一问题。

(2)节约用水和能量:在河口区海水需要用高盐度浓缩海水调配,费用很大。而且育苗期间温度基本维持在28左右,需要消耗大量的能量来升温。因此通过循环使用水,自动集卵,可大量减少排换水,节约这方面的开支。

(3)减少亲虾产生应激反应:此方法可免除来回挑选亲虾所引起的应激反应,利于亲虾成熟、交配,且省时省力。只要雌雄搭配适当(1:1),密度适宜(每平方米10尾左右),可获得较好的交配、受精率。

(4)紫外灯的杀菌作用:紫外灯的使用可杀灭水体中的绝大部分细菌和其他微生物,保持了水质的清新,减少疾病。本次试验虽然换水很少,且基本不用抗菌素或消毒剂,亲虾患病很少,成活率达90%。

(5)过滤作用:由于多层滤器的共同作用,使亲虾池水始终清洁,对凡纳对虾蜕壳、生长具有促进作用,同时便于观察和管理。

3.3 生长和蜕皮

蜕皮是甲壳动物的基本特征之一,由于其体外坚硬的甲壳不能随着身体的增长而扩大,因此只有通

过间隔性的蜕皮体长才能有明显的增长。同样对虾的生长和蜕皮也是相辅相成的,每一次蜕皮即意味着一次生长。从本次试验结果看,凡纳对虾在性腺开始发育前后仍继续蜕皮,生长,平均日生长率达到 0.2mm 以上,只有到受精卵出现后生长才有所减缓,尤其是雌虾。主要原因可能是亲虾性腺发育后,多数能量被用于卵黄的积累,而雄虾也有一部分能量用于精子的发育,但相比雌虾则少得多,所以雄虾的生长率下降较小。

同样性腺发育后,亲虾的日蜕皮率由原先的 7% 下降到 5%,其蜕皮周期由原先的 14d 左右延长到 20d 左右,这一现象与生长的减缓是一致的。另外多数亲虾在产完卵后,可以再蜕皮生长,并且性腺再次成熟、交配和产卵。本次实验亲虾在性腺正常发育的同时,体长也增长了 1cm 左右。平均每尾虾的体重约增加了 6~7g,体长的增长仅 7% 左右,而体重的增加则达到了 25% 左右。从产卵的质量和数量上来说,个体大的亲虾远比个体小的要好,雄虾尤其如此,精子数量多、质量好,把握交配能力强。

甲壳动物的蜕皮和性腺发育都受眼柄神经内分泌系统调节。眼柄窦腺 - X 器官复合体分泌的蜕皮抑制激素(MIH)和性腺抑制激素(GIH)通过靶器官抑制蜕皮和性腺发育。因此在正常情况下,切除眼柄能明显缩短蜕皮周期,增加蜕皮次数,同样切除眼柄也能显著促使甲壳动物性腺发育^[9-12]。然而本次实验结果显示,切除眼柄后,蜕皮周期不但没有缩短,反而延长了,显然这种调节在对虾特定的发育阶段是多向的,取决于对虾内部的生理机制以及环境因子对它的影响程度。正如 Quackenbush 所指出的那样:切除眼柄可以加速蜕皮和性腺发育,但这种功能并不能同时发挥^[11]。对于尚未进入成熟阶段的甲壳动物,切除眼柄所起的作用主要是缩短蜕皮周期,加速蜕皮和生长;而对于即将进入性腺发育阶段的动物来说,其作用主要是促进性腺发育。因此可以推测:在成体以前阶段,窦腺 - X 器官复合体中 MIH 的含量要高于 GIH 的含量,GIH 所占成分较小,因此切除眼柄后,对性腺发育的影响并不大,而对分泌蜕皮激素的 Y- 器官的抑制却大大减轻了,从而加速了蜕皮的进行。反之,当甲壳动物发育至成体阶段,在内部生理机制的变化和环境因子(如光照、温度、饵料等)的共同作用下,GIH 在窦腺 - X 器官复合体中占了主导地位,一旦切除眼柄,性腺就可迅速发育。

参考文献:

- [1] Zhang W Q. Introduction of biology of *Penaeus vannamei*, the important culture species in the world[J]. Marine Sciences, 1990, (3): 69 - 72. [张伟权. 世界重要养殖品种—南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学,1990,(3):69-72.]
- [2] Jiang H L, You E M, Zhu L H, et al. Artificial breeding technique on *Penaeus vannamei* [J]. J Shanghai Fish Univ, 1999, (3): 282 - 286. [蒋宏雷, 尤尔茂, 朱丽华, 等. 凡纳对虾人工繁育技术[J]. 上海水产大学学报,1999,(3):282-286.]
- [3] Lin Z S, Gao Q L, Gao D Y. Studies on techniques of the artificial breeding of *Penaeus vannamei* in Bohai Bay [J]. Marine Sciences, 1997 (6): 10 - 12. [林治术, 高庆良, 高东英. 南美白对虾渤海湾全人工繁育技术研究[J]. 海洋科学,1997(6):10-12.]
- [4] Zhang W Q, Yu L J, Tong B F, et al. Studies on the full-artificial fertilization of *Penaeus vannamei* [J]. Oceanol et Limnol Sin, 1993, 24 (4): 428 - 432. [张伟权, 于琳江, 童保福, 等. 南美洲白对虾全人工授精技术研究[J]. 海洋与湖沼,1993,24(4):428-432.]
- [5] Lu G H, Pan J P, Chen J M, et al. Preliminary study and economic analysis of pond culture for shrimp *Penaeus vannamei* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2000, 27(1): 22 - 24. [陆根海, 潘桂平, 陈建明, 等. 南美白对虾(*Penaeus vannamei*) 池养技术初探及经济效益分析[J]. 水产科技情报, 2000,27(1):22-24.]
- [6] Xu G F. Rapid culture of shrimp *Penaeus vannamei* in low salinity seawater [J]. Modern Fisheries Information, 2000, (1): 25 - 27. [徐国方. 低盐度海水条件下南美白对虾的速成养殖[J]. 现代渔业信息,2000(1):25-27.]
- [7] Zeng D S. Adaptation of shrimp *Penaeus vannamei* to freshwater [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2000, 27(5): 214 - 216. [曾党胜. 南美白对虾的淡水适应性试验[J]. 水产科技情报,2000,27(5):214-216.]
- [8] Isao Y. Final oocyte maturation, spawning and mating in penaeid shrimp [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1995, 193: 113 - 118.
- [9] Chen S, Malone R F, Huner J V. Molting and mortality of red swamp and white river crawfish subjected to eyestalk ablation: a preliminary study for commercial soft-shell crawfish production [J]. J World Aquacult Soc, 1993, 24(1): 48 - 56.
- [10] Choy S C. Growth and reproduction of eyestalk ablated *Penaeus canaliculatus* (Oliver, 1811) (Crustacea: Penaeidae) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1987, 112: 93 - 107.
- [11] Quackenbush L S, Herrnkind W F. Regulation of molt and gonadal development in the spiny lobster, *Panulirus argus* (Crustacea: Palinuridae): effect of eyestalk ablation [J]. Comp Biochem Physiol, 1981, 69: 523 - 527.
- [12] Lin R R, He J J, Qiu H S. Inducement on ovarian development, maturation and spawning in *Penaeus monodon* fabricius grow-out from earth ponds [J]. J Fish China, 1990, 14(4): 277 - 184. [林汝榕, 何进金, 丘虎山. 诱导池养斑节对虾的性腺发育与产卵[J]. 水产学报, 1990,14(4):277-284.]