

中国对虾雄对虾交配能力和精英再生的研究*

王清印 李健 孙修涛 孔杰 杨丛海

(中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

提要 于1987年对中国对虾雄对虾交配能力进行实验观察;于1994,1995两年进行补充实验。结果证明,在实验室条件下,保持雄对虾的相对数量而且有充足雌对虾供交尾选择的情况下,中国对虾雄对虾在一个交配季节中的自然交配能力可达到3—4次;交配后生成新的精英并再次发生交配的平均时间约为3d,但部分雄对虾交配次日即可生成新的精英并再次发生交配行为;雌雄性比5:1和2:1对雄对虾在整个交配季节中的累计平均交配率没有明显影响。但在交配盛期,雌雄5:1实验组的累计交配率为2.6次,而2:1两个实验组的累计交配率只有1.13和1.43次,说明较多可供选择的雌对虾的存在,对雄对虾在一定时期内的交配能力和精英再生可能有诱导作用。

关键词 中国对虾 雄对虾 交配能力 精英再生

学科分类号 S917.4

在对虾属(*Penaeus*)的种类中,有关雄对虾交配能力和精英再生的研究资料还比较缺乏。Leung Trujillo等(1991)应用手工或电刺激法采取精英的办法对纳精囊开放式的*Litopenaeus*亚属的南美白对虾(*P. vannamei*)、蓝对虾(*P. stylirostris*)和北美白对虾(*P. setiferus*)的精英再生时间进行过研究,发现这三种对虾生成结构完整并含有大量形态正常的精子的精英所需时间分别为2—4d,4—6d和5—7d,单侧眼柄切除可以加快精英再生时间、增加精英重量和精子数量而不影响精子质量。本文报道在实验室条件下对中国对虾雄对虾的自然交配能力和精英再生的研究结果,以期为中国对虾的繁殖生物学研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

初次观察于1987年在黄海水产研究所青岛实验基地进行,1994,1995两年进行补充实验。实验用中国对虾(*Penaeus chinensis*) (下简称对虾)购自青岛郊区养虾场,生物学体长范围13.5—15.7cm。对虾生长良好,健壮无病症。雄对虾第5步足基部储精囊处可见外

* 国家攀登计划B资助项目,PDB-6-2-3号。王清印,男,出生于1952年8月,硕士导师,研究员,Fax:0086-0532-5811514

刘德月同志参加了部分工作

收稿日期:1996-10-03,收修改稿日期:1997-03-19

观饱满的精荚已经形成。将尚未交配的对虾按雌雄性别分开蓄养在室内水泥池中, 投喂新鲜蛤肉, 按常规方法管理, 适应一周后开始实验。

1.2 方法

实验水池为 $2 \times 2 \times 1$ (m^3) 的室内方型水泥池, 使用沙滤或沉淀海水, 实验期间维持水深 80cm 左右, 适量充气或不充气, 水温范围在 20—12.2 $^{\circ}\text{C}$, 自然降温。

为探讨不同雌雄性比对中国对虾雄对虾交配能力和精荚再生的影响, 用 $\text{♀}:\text{♂} = 5:1$ 和 $2:1$ 设置实验; $5:1$ 实验组中的雌对虾和雄对虾数分别为 25 尾和 5 尾, $2:1$ 实验组的分别为 20 尾和 10 尾; 每个实验组设 2 个重复。对虾交配行为的观察主要在晚上暗光或红色光照下进行。实验期间每天早晨 08:00 起检查各池的交配情况, 以雌对虾纳精囊外有伞状体为交配指标。凡已交配或死亡的雌对虾立即移出实验池, 并用尚未交配的雌对虾补足原来数量。除个别雄对虾在交配发生前死亡并给予补充外, 实验期间雄对虾死亡不予补充。将每天交配的雌对虾数除以该组的雄对虾数, 为当天该实验组的平均交配率。将各池雄对虾在整个交配季节中 n 天的平均交配率相加, 为该池雄对虾的累计交配率, 用于表示该池雄对虾的平均交配能力。各组的累计交配率 (AMR) 用以下公式计算:

$$AMR = \sum_{i=1}^n \frac{mf}{m}$$

式中, mf 为每天交尾雌对虾数; m 为当天该池的雄对虾数; n 为交尾实验的天数。精荚再生的时间间隔按一定时期内雄对虾交配的平均次数进行推算。

2 结果

2.1 中国对虾交配的行为特征

雌雄对虾在交配前首先出现追逐行为, 这是求偶行为的前奏。雌对虾在前雄对虾在后, 这一过程可持续数分钟, 十几分钟乃至数小时。追逐行为有时始终保持在同一对雌雄对虾之间, 直至交配完成。但许多追逐行为往往被某种因素干扰而中断。如碰到障碍物, 其他对虾的介入等。交配行为的第二阶段, 雄对虾游至雌对虾的下方, 并用头部前端轻轻碰撞雌对虾的头胸部腹面, 同时一起向前游动, 我们称之为“适应”过程。“适应”期间, 雄对虾突然 180° 转身, 腹面向上, 步足抱住雌对虾, 为“拥抱”阶段。此后, 雄对虾身体横向旋转 90° , 与雌对虾身体呈“十字”交叉, 头、尾部呈弓形紧紧箍住雌对虾, 同时身体弹动几次, 将精荚送入雌对虾纳精囊内。此后慢慢分开, 完成交配过程。整个过程有时持续几分钟, 有时只有几十秒钟。其间雌雄对虾从水中的游泳状态慢慢沉向水底。交尾后的雄对虾往往要在池底休息几分钟才游走, 而雌对虾一般很快即游开。

交配后的雌对虾纳精囊外可见两片乳白色的精荚伞状体在随水飘动, 这是人们通常用于识别刚交配雌对虾的主要标志。伞状体在雌对虾纳精囊外存留的时间, 从数小时至 2—3d 不等。此后, 伞状体脱落, 精荚储存在纳精囊内。直到翌年春季产卵时, 精子才与卵子同时排出。

2.2 中国对虾雄对虾交配能力的观察结果

实验始于 10 月 15 日, 室内水温 20°C 。到 10 月 26 日, 水温降至 18°C 。在此期间只有个别雌对虾蜕皮, 各池均无交配发生。26 日晚, 各实验池雌对虾开始大量蜕皮, 交配活动开始。此后的几天是对虾交配的高峰期, 水温范围在 18.2 — 17.6°C 。31 日以后, 交配活动时断时续, 雌对虾蜕皮数量也明显减少, 雄对虾死亡数量增加。到 11 月 13 日, 交配活动完

全停止。一周后水温下降至 12℃,各池雄对虾陆续死亡,实验结束。各实验组对虾的交配情况及各组雄对虾的累计交配率分别见表 1 和表 2。

在雌雄性比为 5:1 的两组实验中,共使用雄对虾 10 尾,总交配次数 33 次,平均每尾雄对虾交配 3.3 次;在雌雄性比为 2:1 的实验中,20 尾雄对虾的平均交配次数为 2.3 次。说明在雌对虾比例较大的情况下,雄对虾有更多的选择交配的机会。各实验组雄对虾日平均交配率的累计结果表明,在整个交配季节中,在实验室条件下中国对虾雄对虾可以交配

表1 中国对虾的交配结果

Tab.1 Mating data of shrimp *P. chinensis* under laboratory conditions

池 号	1	2	3	4
性比(♀:♂)	5:1	5:1	2:1	2:1
♀ 虾数	25	25	20	20
♂ 虾数	5	5	10	10
交配次数	14	19	22	24

3—4 次,而 5:1 和 2:1 的雌雄性比对累计交配结果没有明显影响。

2.3 中国对虾雄对虾的精英再生时间

从表 2 可以看出,在实验室条件下,雌雄性比为 5:1 的两个实验组在交配高峰期的 5d 中每尾雄对虾的累计交配次数为 2.60 次。考虑到

表2 中国对虾雄对虾的累计交配率

Tab.2 The accumulated mating rate (AMR) of male *P. chinensis*

日 期 (月.日)	水温 (℃)	各池平均交尾率 (%)			
		1	2	3	4
10.27	17.8	0.60	0.40	0.44	0.20
10.28	18.0	0.80	1.00	0.44	0.40
10.29	18.2	0.80	0.40	0.38	0.20
10.30	17.6	0.40	0.40	0.17	0.20
10.31	16.2	无交尾	0.40	无交尾	0.31
小计		2.60	2.60	1.43	1.13
11.01	14.2				
至	至	0.25	1.48	2.45	1.92
11.13	12.8				
累计		2.85	4.08	3.88	3.05

第一次交配时精英已经生成,则 5d 中平均新生成精英并发生交配次数为 1.6 次。由此推测,在本实验条件下中国对虾雄对虾精英的再生时间平均为 3d 左右。进一步的分析表明,在 10 月 27—29 日的 3d 中,一号池第一天的平均交配率为 60%,第二天为 80%。综合分析,有 40% 的雄对虾在交配后的次日夜里又发生了交配活动。第三天的平均交配率又达 80%,推测又有 60% 的雄对虾在次日发生了交配。10 月 28 日 2 号池的雄对虾全部交配,次日又出现了 40% 的交配率,也说明部分雄对虾第二天即生成了可用于交配的新精英。这些高比例的交配活动主要发生在雌雄性比为 5:1 的两个实验组,说明充足数量雌对虾的存在对于雄对虾精英的再生和发挥雄对虾的交配能力可能有促进和诱导作用。

应该指出的是,对已交配雌对虾的观察结果表明,早期交配的质量要优于后期交配的。表现在雄对虾初次交配后的雌对虾纳精囊外观饱满,稍凸出;而后期交配的纳精囊则饱满度相对较差,精英较小,露在纳精囊外的伞状体也有变小、变薄的趋势。

3 讨论与结语

3.1 中国对虾的交配特点

在对虾属的物种中,各亚属的对虾交配特点有很大差异。中国对虾的交配只能发生在秋季雌对虾最后一次蜕皮之后,趁甲壳尚未完全硬化之前进行(邓景耀等,1990)。一般地,中国对虾雌对虾一生中只能交配一次,而且一次交配的精英可以满足雌对虾多次产卵所需要的精子。而同是纳精囊封闭式的种类,如斑节对虾,产卵季节中偶有蜕皮。无论产卵与否,交配后的精英都会因蜕皮而丢失,但蜕皮之后仍然会再次发生交配。所以多次交配对斑节对虾来说是保障正常产卵受精所必不可少的。纳精囊呈开放式的 *Litopenaeus* 亚属的白对虾的交配活动发生在雌对虾产卵前的几个小时内。性成熟的雌对虾释放信息素,引诱雄对虾追逐并发生交配行为(Wyban *et al*, 1991)。其交配活动可发生在雌对虾两次蜕皮之间的任何阶段,主要和雌对虾性成熟的程度有关。

3.2 影响中国对虾交配能力的因素

杨丛海等(1990)分别从生物节律、温度、性比和雄性对虾的成熟程度等方面讨论了影响对虾交配的主要因素。作者进行的相关研究表明,光线的强弱、交配容器的大小和形状、对虾密度的大小等都会对雄对虾交配能力产生一定的影响。本研究表明,雌对虾蜕皮则是中国对虾发生交配的必备条件,刚刚蜕皮的雌对虾往往要在池底侧卧休息几分钟后才开始游动,没有观察到雌对虾一蜕皮即与雄对虾发生交配的现象。一般地,在交配盛期蜕皮的雌对虾,多数都在当天夜间即与雄对虾交配。但也经常观察到蜕皮数与交配数不相符合的例子,说明蜕皮的雌对虾并非一定要在当天夜间交配,也可能等到第二天晚间碰到合适“对象”时才发生交配。

3.3 中国对虾交配的时间和水温

中国对虾的交配活动一般发生在夜间,但在对虾越冬池中,也可看到上午或下午出现对虾交配的现象。尽管中国对虾的交配活动从10月中旬到11月下旬都可进行,在实验室人工控制条件下,甚至可延长到12月份乃至更晚,但在本实验条件下进行的观察表明,中国对虾交配的时间相当集中,交配高峰期只有一周左右。整个交配季节持续时间的长短与当时的水温有直接关系。邓景耀等(1990)报道,在自然条件下中国对虾交配期间水温为16—20℃,交配盛期的水温为18—19℃。作者观察到的交配盛期的水温为17—18℃,与上述报道相符。张乃禹等观察到中国对虾在最高20℃、最低8℃交配的现象(个人通讯资料),说明中国对虾的交配可发生在一个相当宽的水温范围内。我们进行的有关观察表明,水温低于10℃,往往造成对虾蜕皮困难。据认为这是低温条件下中国对虾不发生交配的主要原因。即使偶有发生蜕皮和交配,对虾的死亡率也很高。

3.4 中国对虾雄对虾交配后生成新的精英的时间

高洪绪(1980)曾报道中国对虾交配2—3d后,可在储精囊内看到新的乳白色精英形成。本实验的结果表明,中国对虾雄对虾精英再生的时间平均为3d左右。连续几天中实验雄对虾的平均交配率均超过50%的观察结果表明,至少有一部分雄对虾在发生交配的第二天用新生成的精英又进行了交配。换言之,一天时间内生成的精英可以用于交配。解剖学的证据支持中国对虾雄对虾交配后可以很快再生成新的可用于交配的精英(陈 侠等,1986)。输精管中段贮存的大量形态学正常的精子,为精英的再生提供了足够的保证。

王清印等(1989)用输精管中段的精子进行人工授精,取得了类似于用精英进行人工授精的受精率和孵化率,说明雄对虾输精管中段中的精子已达成熟程度,一旦条件具备,很快即可生成新的精英。

3.5 雌雄性比对中国对虾雄对虾交配能力和精英再生的影响

邓景耀(1982)根据1970—1979年的资料分析指出,渤海中国对虾自然群体雌:雄性比为1.099:1;杨丛海等(1990)报道养殖池中中国对虾雌雄对虾的性比为1.025:1,说明雄对虾的数量都略少于雌对虾。但由于雄对虾可以多次生成精英,自然群体中雌对虾均可经交配获得精英。杨丛海等(1990)用不同性比进行的中国对虾交配实验结果表明,当水池中只有一尾雄对虾时,即使雌对虾多次蜕皮,还是不易发生交配,只有当雄对虾增加到一定数量时,交配率才明显上升。从整个交配季节的累计交配率来看,雌雄5:1和2:1的观察结果没有明显差异,说明中国对虾雄对虾的潜在交配能力是其生物学特性决定的。较多雌对虾的存在,对一定时期内提高雄对虾的交配能力和精英的再生可能有诱导和促进作用,然而也较早地使它们丧失了交配能力,说明改变雌雄性比并不能改变或增强雄对虾的潜在交配能力。

参 考 文 献

- 王清印 杨丛海 麻次松等, 1982. 对虾输精量用于人工授精的研究. 海洋水产研究, 10: 69—72
- 邓景耀 韩光祖 叶昌臣, 1982. 渤海对虾死亡的研究. 水产学报, 6(2): 121—127.
- 杨丛海 戴芳钰 周银妹等, 1990. 影响对虾交尾的几个主要因素. 海洋水产研究丛刊, 32: 1—4
- 陈 侠 崔维喜, 1986. 对虾雄虾生殖系统的结构及发育. 动物学报, 32(3): 255—259.
- 高洪绪, 1980. 中国对虾交配期的初步研究. 海洋科学, 3: 5—7
- Leung Trujillo, J R, Lawrence A L, 1991. Spermatopore generation times in *Penaeus setiferus*, *P. vannamei* and *P. stylirostris*. J World Aquac Soc. 22(4): 244—251
- Wyban JA, Sweeney J N, 1991. Intensive Shrimp Production Technology, Hawaii USA: The Oceanic Institute. 158

STUDIES ON THE MATING ABILITY AND SPERMATOPHORE REGENERATION IN MARINE SHRIMP *PENAEUS CHINENSIS*

WANG Qing-yin, LI Jian, SUN Xiu-tao, KONG Jie, YANG Cong-hai

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract This paper deals with the mating ability and spermatophore regeneration of marine shrimp *Penaeus chinensis* under laboratory conditions. Unmated cultured shrimp with body lengths of 13.5—15.7 cm were used in the experiments. Initial observations were made in 1987, and supplementary experiments were carried out in 1994 and 1995. Unmated male and female shrimp were stocked separately in indoor tanks and employed for experiments after one week acclimation. ♀:♂ = 5:1 and 2:1 were arranged to test the effects of different sex ratio on mating ability and spermatophore regeneration in male *P. chinensis*. The daily mating rate is defined as the number of mated females divided by that of males in the tank. The accumulated mating rate (AMR), is used to indicate the average mating ability of the males in each trial, is obtained by summing up the daily mating rate of the trial during the mating season. The following formula is used to calculate AMR:

$$AMR = \sum_{i=1}^n \frac{mf}{m}$$

Where n is mating days, mf is the number of mated female, and M is the number of male used for each trial. Main results were as follows.

1. In laboratory conditions, the natural mating ability of male *P. chinensis* might attain 3–4 times, but depended on the relative number of the males and females available for mating selection.

2. The average time needed for males to regenerate new spermatophores after mating and again with mate females was around 3 days. Some male shrimp might regenerate new spermatophores and mating was observed again in the very next day.

3. The finding that in the 5 day frequent mating period, AMR in the two trials of ♀:♂ = 5:1 were 2.60, while AMR in the two trials of ♀:♂ = 2:1 were only 1.13 and 1.43, respectively, indicated that in this period, more females were available for mating selection, and so might induce and / or promote the male's mating ability and spermatophore regeneration.

4. There were no significant differences between the AMR_y obtained from the whole mating season for trials of ♀:♂ = 5:1 and those of ♀:♂ = 2:1, which indicated that the potential mating ability of male *P. chinensis* was determined by its biological characteristics. Even though higher ratio of female might induce more mating of the male in the short term, it could not enhance the male's potential mating ability.

5. The factors which influenced the mating ability and spermatophore regeneration of male *P. chinensis* were the shrimp's state of health, temperature, sex ratio, male's maturity, light intensity,

stocking density, etc., while molting of the female is an absolute necessity for *P. chinensis* to mate.

Key words *Penaeus chinensis* Male Mating ability Spermatophore regeneration

Subject classification number S 917.4

* * * * *

本 刊 消 息

中国科学引文数据库公布了中国科技期刊引文频次前 500 名,其中《海洋与湖沼》学报 1994 年居第 45 位;1995 年居第 40 位,又前进 5 名。据此可以说,《海洋与湖沼》学报引文频次居本学科之首。

《海洋与湖沼》学报,1997 年荣获中国科协优秀科技期刊二等奖,中宣部、国家科委、新闻出版署优秀科技期刊三等奖。

本刊编辑部
1997-09