

中国对虾受精生物学的研究^{*}

蔡难儿 林 峰 陈本楠 柯亚夫 童保福

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 于 1988—1991 年在青岛对中国对虾进行受精能力和受精生物学的研究。对虾采用加温和不加温培育, 然后用人工授精法——水域法和滴管法授精研究精卵受精能力; 应用扫描和透射电镜以及石蜡切片技术, 观察精卵的形态结构和受精过程的变化。结果表明, 水域法授精, 精子入水后 3h 仍具有受精能力; 卵子入水后 1min 之内受精率最高只达 62.7%。而滴管法授精, 受精率最高可达到 98%, 平均值也在 60%—80% 之间。保持在低温的亲虾, 其纳精囊中的精子, 受精率都较低, 表明早期精子尚未完全成熟, 卵子生理上的成熟是一瞬间之事。精卵接触后 3—4min 就完成了受精任务, 卵子皮层反应与否与受精无必然联系。观察表明, 精子呈“洗耳球”状, 由核体部和顶体两部分组成。卵子皮层排列着众多的皮质棒, 遇水便立即释放于水中, 形成一层透明胶质层。观察并描述了受精后精卵的外部 and 内部的形态变化, 雌雄原核的结合以及第一次卵裂过程。

关键词 中国对虾 人工授精 受精生物学

对虾的人工授精, Clark 于 1973 年首次报道了在褐对虾研究中取得成功, Lin 等 (1986) 在斑节对虾人工授精中取得了比 Clark 的要高得多的受精率, 孔杰等 (1992) 对中国对虾人工授精也作了报道, 蔡难儿等 (1995) 在研究中国对虾雌核发育中也作了简单的介绍。关于对虾的精卵形态结构, 国内外都有过报道 (Hudinaga, 1942; Clark et al., 1980, 1988; Kleve et al., 1980; Lynn et al., 1983; 林勤武等, 1991; 张子平等, 1992; 洪水根等, 1993)。但由于种的差别, 各种虾的精卵形态结构略有差异, 描写的详细程度也有所不同。本文报告对中国对虾人工授精和精卵受精的形态结构的结果, 以期为中国对虾的品种改良和受精生物学提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

所用的中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 于 1988—1991 年取自日照水产研究所越冬虾和春季的海捕虾, 饲养于中国科学院海洋研究所青岛石老人实验室育苗池中。

1.2 材料处理

将越冬虾或海捕虾均分为两组: (1) 加温组, 越冬虾从 2 月份至 4 月份, 水温逐渐升至 14—15℃; 海捕虾从 4 月中旬, 水温升至 15—16℃。(2) 不加温组, 水温保持在 12℃ 左右。待加温的虾产卵时, 取两组虾的精子进行人工授精, 评估精子的质

^{*} 国家“七五”科技重点攻关项目, D17860308 号。蔡难儿, 男, 出生于 1932 年 5 月, 研究员。

收稿日期: 1994 年 10 月 28 日; 接受日期: 1996 年 12 月 10 日。

量。

1.3 精子保存

从活雌虾或刚死亡不久的虾体上剪取纳精囊，去除其周围的肌肉或结缔组织，洗净后置于含有 1×10^{-6} 氯霉素的自然海水中，或置于用 1×10^{-6} 氯霉素湿润的消毒棉花垫上，加盖存放于 2—4℃ 冰箱中备用。有的直接用活虾精子授精实验。

1.4 未受精卵的获得

在池中捞出将要产卵的亲虾，让其产出少量卵子作为对照组，之后将虾浸在 0.2×10^{-3} 左右高锰酸钾海水溶液中清洗，以毒杀附在体表上的精子，然后按下列几种方法处理，可得未受精卵。

1.4.1 精子毒杀法 向纳精囊内注入 1% 冰醋酸，杀死精子。一般可获得 98% 甚至 100% 的未受精卵。

1.4.2 生殖孔堵塞法 用玻璃胶堵塞纳精囊，不让精子排出体外。

1.4.3 解剖采卵法 取刚产少量卵子的虾，剪去头胸甲，从卵巢中获得游离成熟卵。

1.5 人工授精方法

1.5.1 水域法授精 取 4 个纳精囊中的精子，2 个为一组置于三角瓶中，然后用海水稀释分别每 1ml 中含有 0.04 个、0.1 个和 1 个纳精囊中的精子量，共 3 组。在 80—200min 之内加入未受精卵，并不断摇动 3—5min，后移入 $\phi 10 \times 5$ cm 结晶器中培育，将观察的正常卵裂率作为受精率。

把得到的未受精卵立即移入含有 5ml 海水的几个小杯中，然后每隔一定时间加入同一批的精液进行授精。

1.5.2 滴管法授精 用吸管吸取纳精囊内的精子，然后再吸取用解剖采卵法得到的卵巢中的游离成熟卵，等待片刻，将这些受精卵移进新鲜海水中培育；或者相反先吸卵后吸精操作亦然。

1.6 形态结构观察

从纳精囊内取出精子固定于 3% 戊二醛海水中；或者带海水的精子，用 5% 戊二醛液固定，最终浓度为 3%。按常规制作精子标本，作扫描电镜观察；作透射电镜观察的精子样品，再用 1% 锇酸重固定，然后按常规包埋、切片、染色。受精细胞学材料用卡诺液固定，按普通石蜡切片，载氏苏木精染色制片。

2 试验结果

2.1 人工授精

2.1.1 水域法授精结果 试验表明，当精子浓度在 0.1 和 1 个纳精囊精子量 /ml 时，其与受精率成正相关，前者平均数据为 2%，后者平均数为 35.5%。精子入水 3h 后仍具有受精能力达 52.98%。前 30min，受精率较高(见表 1)。

结果表明，卵子入水后 1min 之内受精率较高。第 4，第 6 组在 5min 之后仍有很高的受精率，这种现象偶而出现。因这些卵子排入水中一时不立即排皮质棒或皮质棒不溶解，待很长时间才溶解，并看到了卵子分裂现象。这种现象可能与药物处理有关表 2。

表1 中国对虾精子入水的不同时间对受精率的影响结果

Tab.1 Effect of different times on fertilization rate when *P. chinensis* sperms released in sea water

精子入水时间 (min)	6		10		15		20		30		40		45		140		200		对照 (不加精子)		
	1	2	2	1	2	1	2	2	1	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
卵子来源	1	2	2	1	2	1	2	2	1	3	3	1	2	3	1	2	3	2000	500	500	
实验卵数	701	298	219	378	237	498	182	270	477	246	504	2000	500	500							
受精率(%)	31.53	10.7	11.8	18.52	36.3	79.52	6.7	27.8	3.98	15.85	52.98	0	0	0							

卵子来源: 1. 精子毒杀法产的卵; 2. 生殖孔堵塞法产的卵; 3. 解剖采卵法。

表2 中国对虾卵子入水不同时间的受精率(%)

Tab.2 Fertilization rate at different times when *P. chinensis* eggs released in sea water

组别	未受精卵获得方法	卵子入水时间(min)										对照 (不加精子)
		2—3s	0.5	1	2—2.5	3	5	10	15	20		
1	毒杀法	—	48.4	62.7	0	0	0	0	0	—	0	0
2	毒杀法	—	—	11.9	—	3.44	0	0	0	0	0	0
3	毒杀法	14.38	13.36	13.54	7.71	—	6.07	3.19	—	—	0	0
4	毒杀法	—	—	—	—	—	43	25	20	—	0	0
5	玻璃胶堵塞	—	11.29	13.19	—	4.64	7.60	—	—	0	0	0
6	玻璃胶堵塞	30.14	—	—	29.98	—	45.6	79.36	85.2	57.3	0	0

曾进行过多次试验, 用生活在加温的亲虾精子和不加温的进行水域法授精, 结果表明, 前者受精率平均在 15%—40%, 而后者一般在 10% 以下。

2.1.2 滴管法授精结果 卵子是用解剖采卵法得到的。共进行 9 次试验, 4 次用自体的精子, 1 次用异体的进行人工授精, 这 5 次受精率均达到 98% 左右; 其他 4 次受精率分别为 66.6%, 75.6%, 50.3%(以上 3 次用自体精子), 21.5%(用异体精子), 平均值在 60%—80% 之间。这里应该指出, 用解剖采卵法获得生理上成熟卵的数量是有限的。一般只能得几千粒, 最多 1—2 万粒。

2.2 受精细胞学

2.2.1 精子形态结构 观察表明, 成熟的精子整个外形似“洗耳球”状, 其结构可分为两个部分——核体部和顶体。核体部位于后端, 顶体覆盖于核体部前端(图 1 和图版 I: 1, 2)。在扫描和透镜下各部分的精细构造如下。

核体部(Nb): 呈圆球形, 一个巨大的椭圆形的核(N)居于中央。细胞核前覆盖着一层电子密度较高、由许多颗粒物质组成的核板(Np)(图版 I: 3, 4), 核板沿着核球面向后延伸逐渐变薄形成不连续的核膜(Nm)(图版 I: 2, 4), 核内具有电子密度较高的大小不等的呈颗粒状或絮状的染色质(Ct), 松散不均匀地分散于其中(图版 I: 3, 4)。细胞核周围被一层细胞质带(Cb)所包围(图版 I: 4)。在核的后半球表面细胞质带中充满着大量的大小不一的含有颗粒物质的泡囊(V), 泡囊由单位膜所包被(图版 I: 3, 4)。

表 3 中国对虾卵子受精后形态变化

Tab.3 Morphological changes of egg of postfertilization in *P. chinensis*

受精后时间 (min)	精卵形态变化 (18.5℃)
0	未受精卵, 卵核朝皮层移动, 核相处于间期, 皮质棒未举起, 卵径(含皮质棒)为 315 μm , 卵自身直径为 256.8 μm 。(图版 II: 1)
0.5	精子穿进被膜, 卵子发生皮层反应。辐射排列在卵皮层中的皮质棒, 开始向外释放; 未全释放的, 皮质棒细端仍埋在皮层中。(图版 II: 2)
0.5—1	皮质棒完全排放之后, 卵核仍处于间期, 此时卵子形似一朵展开的鲜花, 这时卵径(含皮质棒)为 453 μm , 卵本身直径为 235.0 μm 。皮质棒完全排出之际, 皮层呈齿轮状; 未全排出的仍有一小段皮质棒留在皮层之中。(图版 II: 3, 4, 5)
3	皮质棒几乎完全释放完毕, 并开始在近卵一端先溶解, 随后波及远端。
4	皮质棒几乎全溶解了, 齿轮状的皮层恢复圆形, 核处间期晚期。(图版 II: 6)
4—5	<p>精子已穿入卵子之中, 入卵的位置是随机的。一卵一精受精, 但也有多精受精现象。在皮层中有两个精核。(图版 II: 7)</p> <p>精子一旦接触卵子或入水, 会产生顶体反应, 其可分为 3 个阶段[Clark 等(1988)只分二个阶段], 加上精子穿卵, 共 4 个阶段: (1)精子棘突受胶质或海水中某离子激发, 棘突末端迅速膨胀形成泡囊; (2)泡囊继续膨大扭曲成一团, 或者整个棘突收缩脱落; (3)释放顶体丝, 可能由顶体锥内部物质或者帽芯区的颗粒释放出来而形成的; (4)精子开始穿卵, 先前端入卵, 然后把核后端拥有大量的泡囊一并带入卵中。这个过程, 从精卵接触之后 4min 内就完成了。刚入卵的精核比卵核小。皮质棒已完全溶解了, 形成一层透明的胶质层围绕在卵子周围。(图版 II: 7, 8, 9, 10)</p>
5—7	卵核相处于第一次成熟分裂中期, 染色体(C)排在赤道板上。(图版 II: 9)
10	卵子行第一次成熟分裂, 正排第一极体(1pb)。(图版 II: 10)
20	精核向中央迁移, 并逐渐膨大。
25	精核开始原核化, 卵膜逐渐举起(或称受精膜), 呈圆球状, 其中为卵围隙。(图版 II: 11)
28	仍处在皮层中的卵核, 染色体向两极移动, 要进行第二次成熟分裂。(图版 II: 12)
30	完成第二次成熟分裂, 排出第二极体(2pb)在膜内; 而 1pb 在膜外, 1pb 有时还分成二个小极体。此时卵径为 235 μm , 受精膜直径为 331 μm 。(图版 II: 13)
40	精子已原核化, 并出现星光, 其周围的卵质呈辐射状。(图版 II: 14)
50	卵核已原核化并中央靠拢。(图版 II: 15)
55	两原核开始结合。
60	形成了合子核。(图版 II: 16)
70	合子核开始分离, 卵子呈方形。(图版 II: 17)
75	排在赤道板上的染色体逐渐移向两极, 卵子开始第一次卵裂。(图版 II: 18, 19)
85	完成第一次卵裂, 形成两个卵裂球。(图版 II: 20)

在细胞质带中,有时可见到退化的线粒体(M)(图版 I: 2),在核的前端还能见到微体(Ms)和内质网(Er)(图版 I: 2, 3)。

顶体(A):呈漏斗状,由棘突(S)、顶体帽(Ac)和帽芯(Ccr)三部分组成(图1和图版 I: 2, 3, 4)。棘突,呈圆棒状,前端略细,其尖端有很多小泡囊(Sv),后端粗圆,其外表包着一层质膜(Pm)(图版 I: 6),连接于顶体帽和核体部,表面略光滑。内部为细丝状结构呈纵向排列。棘突基部隐约可见到一个有结构的小圆球体,其中有一对小颗粒,从其所处的位置,可否视为中心粒(C)(图版 I: 2, 3, 5)。顶体帽,由顶体锥(An)、帽檐(Acb)、“H”型环状体(H)和帽芯区(Ccr)组成(图版 I: 3, 4)。整个形状似一顶帽子覆盖在核体部上方,几乎占据核体部的1/2甚至2/3部位。它与棘突和核体部有着明显的界限,但无膜相结构分隔。顶体锥[Kleve等(1980)和林勤武等(1991)称它为前颗粒(Anterior granule)],是一个有结构的细胞器,呈圆杯状,前端略偏平,底部圆形,作为顶体帽的帽顶。其内部均匀分布中等电子密度的物质。帽檐[Acb, Kleve等(1980)称它为膜状囊(membran pouches)],即帽边,其外侧较厚,电子密度较低而均匀;而内侧略薄,但电子密度很高;帽檐的内外两层之间无膜相结构。帽檐与帽芯区、核体部明显分隔开成三个部分(图版 I: 2, 3, 4)。“H”型环状体位于帽檐中部,环绕于帽檐外侧(图版 I: 2, 3)。顶体锥、帽檐、“H”环状体三种结构彼此之间,均无膜相结构把它们分开。帽芯区,位于核体部前端,帽子中间呈现一个较大的空间,形状似一圆盂器倒扣在核体部上方;在盂器中心拥有一堆数量甚多、电子密度又很高的呈聚集状态的颗粒物质,称为帽芯颗粒[Ccg, Kleve等(1983)称它为中心颗粒芯(central granular core)](图版 I: 3)。

2.2.2 卵子形态结构 卵巢中成熟卵呈多角形,产出入水后渐变成圆球形(图版 I: 1)。卵周围拥有大量的皮质棒(Cr),呈辐射排列插入卵皮层中。每根皮质棒似长“爪”状,较粗一端朝外,细小一端插入皮层(图版 II: 2),其前后两端充满嗜碱性物质。皮质棒层外包围被着一层很薄的包膜,卵质呈不均匀分布,大量流向皮质层,而卵中央多为卵黄颗粒所占据,故称中黄卵。

2.2.3 受精过程精卵形态结构变化 中国对虾精卵行体外受精。卵子从雌虾第三对步足基部内侧的生殖孔排出,与此同时,精子从纳精囊排出与卵子相遇,精子立即紧贴于皮质棒包膜上。卵子借对虾游泳足划动,与形成向后的水流一起散开。精子未待皮质棒释放就迅速穿过间隙达到卵子表面并产生顶体反应。成熟卵子不论受精与否,一旦入水都会发生皮层反应。见表3。

3 结语与讨论

3.1 精卵的成熟发育

3.1.1 精子 中国对虾生殖方式是纳精繁殖,纳精囊为封闭型。秋季雌雄交配后,待翌年春季才繁殖,精子在纳精囊内整整呆了半年之久,那么,这些精子当初交配时是否已达到了成熟?这是多年来人们所关注的问题。

本研究对亲虾加温和不加温培育的试验结果表明,处在低温状态下的纳精囊中的精子,生理上并未完全达到成熟,故受精率较低。换句话说,当初刚交配的精子未完全达到成熟。这个观点,柯亚夫等(1995)在精子保存研究中从另一角度也作了阐述。

3.1.2 卵子 判断卵子成熟与否,是以卵子入水后能否引起皮层反应为标志。在多次试验中发现中国对虾卵子达到生理上成熟是一瞬间之事。这一认识以如下事实为依据:中国对虾一旦进入产卵状态,几乎把所有的成熟卵一次性排光;但是,如果中途阻断其继续产卵,并剖开取卵细胞,结果是其中相当大的一部分不发生皮层反应,也不能受精。这种现象表明,中国对虾卵细胞成熟,除生发泡破裂外,在排卵瞬间还需要分泌某种激素的激发作用,方能促使卵子生理上的成熟,诱发皮层反应。

3.2 受精

3.2.1 水域法与滴管法授精比较 前者受精率往往要低得多(平均在 10%—40%之间),其原因有二:中国对虾精子属非鞭毛精子类型,是不动的,精卵置于水中,即使振动,几乎处于同一水平上移动,彼此接触机会甚少;卵子入水很易引起皮层反应,导致拒精子入卵。滴管法授精,能使众多精子沾附于卵子包被膜上,故受精率较高。但采用此法,只能得到有限的受精卵,原因前一节已论及不再赘述。

3.2.2 精子穿卵时间 受精细胞学观察表明,在 18.5℃下,精卵接触后 3—4min 就完成受精任务,此时第一极体尚未排出。Hudinaga(1942)认为,日本对虾在 27.3℃,于 4—4.5min 排第一极体的同时,精子才进入卵子之中;Clark 等(1980)对单肢虾(*Sicyonia ingentis*)研究认为,从精子接触卵子开始,整个受精作用过程需要 20—40min,但并未指出精子何时入卵。结果不一致,有待更多的试验来验证。

3.2.3 精子穿卵部位 中国对虾受精时,精子穿入卵子的部位是随机的,在卵核附近或在相反一侧都可找到。中国对虾有多精受精现象。

3.2.4 精子穿卵程序及形态变化 Hudinaga(1942)认为,精子入卵,先精子头与卵结合,然后拖着尾部(棘突)入卵;Lynn 等(1983)对罗氏沼虾研究认为,精子棘突首先入卵,但未见到顶体反应。依据精子顶体反应的特征,我们认为,棘突仅起与卵子沾附接触的作用,不参与穿卵功能,顶体丝可能对精子入卵起着重要作用。顶体丝不是由棘突产生的,而可能由顶体锥内部物质或者帽芯颗粒释放出而形成的。精子入卵,先是前端接触卵子,然后整个核带着后端的泡囊一起进入(图版 I: 10)。这也说明受精时,精子不发生胞吐现象。

3.3 精子形态结构

关于中心粒问题,Lynn 等(1983)研究罗氏沼虾发现有中心粒存在,位于棘突基部的细胞基质中,偏离中心。堵南山等(1987)在中华绒螯蟹精子中也见到有中心粒。可是其他学者在研究对虾精子时均未发现或提及中心粒这个细胞器。我们在几张不同的棘突切片中隐约可见到这个细胞器的影子,几乎都在棘突基部中心的同一位置上,不像罗氏沼虾那样偏于一边。为慎重起见,暂不下肯定的结论,故在中心粒前面冠以“可能是”的字眼。Kleve 等(1980)研究单肢虾精子结构时,在核前方有一堆颗粒,称它为“中心颗粒芯”,在其他学者的研究中,几乎都没发现或提及这个结构。然而,我们也见到有此结构存在。由于 Kleve 的命名与中心粒(central granule)有同义之嫌,于是我们从它所处的位置把它改称为帽芯颗粒。这种颗粒很可能与顶体丝的形成有关。

3.4 皮层反应与受精的关系

本研究表明,卵子皮层反应的标志是释放皮质棒、排放两个极体和卵膜的举起。然

而, 这一系列的反应, 不论受精与否, 只要成熟卵一入水都会发生。这是虾类独有的特性。这种现象表明, 皮层反应与受精并无必然的联系。

参 考 文 献

- 孔杰等, 1992, 海洋水产研究, **13**: 1—5。
张子平等, 1992, 厦门水产学院学报, **13**(2): 1—9。
林勤武等, 1991, 海洋与湖沼, **22**(5): 397—400。
柯亚夫等, 1995, 海洋与湖沼, **27**(2): 187—193。
洪水根等, 1993, 动物学报, **39**(3): 239—242。
堵南山等, 1987, 海洋与湖沼, **18**(2): 119—125。
蔡难儿等, 1995, 海洋科学, **3**: 35—41。
Clark, W. H. Jr, 1973, *Mar. Biol.*, **22**: 352—354。
Clark, W. H. Jr et al., 1980, *Biol. Bull.*, **158**(2): 175—186。
Clark, W. H. Jr et al., 1988, *Devel. Growth & Differ.*, **30**(5), 451—462。
Hudinaga, M., 1942, *Japan. J. Zool.*, **10**(1): 305—389。
Kleve, M. G. et al., 1980, *Tissue & Cell*, **12**(1): 29—45。
Lin Min-Nan et al., 1986, *Bull Japan Soc. Sci Fish*, **52**(4): 585—589。
Lynn, L. et al., 1983, *Biol Bull.*, **164**: 459—470。

BIOLOGY OF FERTILIZATION IN *PENAEUS CHINENSIS*

Cai Nan' er, Lin Feng, Chen Bennan, Ke Yafu, Tong Baofu

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Abstract Studies on the fertilization biology of *Penaeus chinensis* were carried out using the method of fertilizing in seawater and in dropper from 1988 — 1991. The overwinter and wild broodstocks collected from Rizhao were divided into two groups: (1) A heating group with water temperatures of up to 14 — 15 °C. (2) A non-heating group (12 °C). The outside morphology and the inside structure of the sperm were observed using SEM and TEM; those of the egg were studied using the common microscopic section technique.

The results show that the ability of fertilization can preserve 3h after sperm releasing in seawater. The fertilization rate was 62.7% for the method of fertilized in seawater within 1 min after egg releasing. Maximum rates of fertilization reach more than 98%, with an average from 60% to 80% using the dropper method. On the other hand, the fertilization rate is reduced in low temperature because the sperms are not completely mature.

Sperms of *P. chinensis*, with a shape like a suction ear ball, are composed of two main parts: a spherical nuclear body and an acrosome. The acrosome consists of spike, an acrosomal cone, an acrosomal cap and a cap core region containing the cap core granule. The change in a fertilized sperm can be divided into 4 stages. (1) The tip of the spike expands and the vesicle is formed. (2) The vesicle expands and turns around or shrinks before dropping. (3) The acrosomal filament is released. (4) The front of sperm enters the egg and then the nuclear body of the sperm goes into with the vesicle.

When spawning into seawater, the egg releases the cortical rods; this cortex reaction can take place even without sperm-egg interaction. The course of the gamete interaction in the temperature of 18.5 °C is: 1 min after fertilization, the egg releases cortical rods around it; after 4 — 5min, the sperm enters the egg and finishes the fertilization task; 10 min, the egg carries out the first maturation division and releases the first polar body; 25min, the egg membrane (also called the fertilization membrane) rises up; 30min, the second maturation division is finished, releasing the second polar body; 55 — 60min, the two pronucleus combine and form a zygote nucleus; 85min, the first cleavage is finished and forms two cleavage cells.

The maturity of the egg is physiologically reached in a very short time. During

this period, some hormone is rapidly secreted in the body. With the presence of this hormone, the egg is stimulated to reach physiological maturity. The cortical reaction of eggs is not necessarily related to the fertilization.

Key words *Penaeus chinensis* Artificial fertilization Fertilization biology

图版 I 中国对虾精子形态与亚显微结构

Plate I The sperm morphology and submicroscopic structure in *Penaeus chinensis*

1. 扫描电镜下, 对虾精子形态, 以♂示意, ×100.
2. 透射电镜下, 精子亚显微结构, 显示核体部(Nb)、棘突(S)、中心粒(C)、微体(Ms)、染色质(Ct)、顶体锥(An)、线粒体(M)、“H”型环状体(iI)、泡囊(V)和帽檐(Acb), ×15 000.
3. 精子纵切面, 显示中心粒、顶体锥、顶体帽(Ac)、帽芯颗粒(Ccg)、内质网(Er)、核板(Np)和核(N)、核膜(Nm)和细胞质带(Cb), ×15 000.
4. 精子纵切面, 显示顶体帽和核板, ×15 000.
5. 棘突纵切面, 显示顶体锥和中心粒, ×15 000.
6. 棘突纵切面形态结构, 外表为质膜(Pm)、尖端小泡囊(Sv), 内部为细丝结构纵向排列.
7. 扫描电镜下, 精子顶体反应, 棘突末端膨大, ×4 000.
8. 扫描电镜下, 棘突末端膨大扭曲成团, ×15 000.
9. 扫描电镜下, 精子顶体反应释放顶体丝(Af), ×8 000.
10. 透射电镜下, 带泡囊(V)的精核(♂N)正在穿卵(E), 表明精子前端先入卵, ×7 000.

图版 II 中国对虾卵子受精后的显微形态变化

Plate II Micro morphological change of postfertilization egg in *Penaeus chinensis*

1. 刚排出的卵子形态, ×45.
2. 入水 0.5min 的受精卵, 皮质棒(Cr)仍插入卵皮层之中, ×115.
3. 皮质棒已排出和卵核(♀N)仍处于间期, ×115.
4. 释放出皮质棒, 像一朵鲜花, ×45.
5. 皮质棒排出后, 皮层呈齿轮状(箭头所示), ×115.
6. 皮质棒几乎全溶解, 齿轮状的皮层恢复圆形, 卵核处间期晚期, ×115.
7. 卵中有两个精核, 表明有多精受精现象, ×115.
8. 皮质棒全溶解, 形成一层透明胶质层围绕着卵子, ×45.
9. 卵核相处于第一次成熟分裂中期, 染色体(C)排在赤道板上, ×115.
10. 精核向中央迁移, 并逐渐膨大, ×115.
11. 精核开始原核化, 卵膜举起, ×115.
12. 染色体移向两极, 要进行第二次成熟分裂, ×115.
13. 排出第二极体(2pb)在膜内, 第一极体(1pb)在膜外, ×45.
14. 精子已原核化, ×115.
15. 精卵两原核尚未融合, ×115.
16. 形成合子核, ×115.
17. 合子核开始分离, 卵变方形, ×45.
18. 染色体移向两极, 开始第一次卵裂, ×115.
19. 完成第一次卵裂形成两个卵裂球, ×45.
20. 两卵裂球, ×115.