

海月水母排精诱导及胚胎发育研究

陈昭廷^{1,2}, 李琪², 庄志猛¹, 陈四清^{1*}, 刘春胜¹,
刘长琳¹, 赵鹏¹, 卢斌¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 为研究海月水母有性繁殖的关键过程, 采用实验生态学及显微观察的方法研究了光周期、食物条件、机械损伤对其排精诱导的效果, 并对其受精及胚胎发育的详细过程进行了研究。结果发现, 长光照(14 L:10 D)、饥饿、机械损伤等因素能有效诱导性成熟的海月水母排精; 海月水母体内受精过程: 雌性海月水母伞缘触手将雄性排出的精子细丝收集到伞缘的食物囊处, 通过口腕进入口腕基沟, 先后经胃口腕沟、胃循环沟等水管系统到达卵巢, 精子与成熟卵子结合完成受精; 海月水母受精卵为球形, 卵径150 μm 左右, 胚胎发育过程包括卵裂期、囊胚形成期、囊胚期、原肠胚形成期、原肠胚期及浮浪幼虫期6个时期。受精卵在(22 $\pm$ 1) $^{\circ}\text{C}$ 的水温下, 经29 h 20 min发育为浮浪幼虫, 经过73 h 20 min发育为四触手螅状体。研究为揭示海月水母的暴发机制提供了参考资料。

关键词: 海月水母; 诱导排精; 受精; 胚胎发育

中图分类号: S 968.9

文献标志码: A

海月水母(*Aurelia* sp.)为全球性分布物种, 广泛分布于40°S~70°N浅海区海域^[1]。近年来, 海月水母在全球许多海域出现了大规模暴发^[2], 曾经在我国青岛、烟台、威海沿海海域的大规模暴发, 严重影响了正常的渔业生产活动, 对海洋生态系造成巨大破坏^[3]。作为灾害水母之一, 海月水母已被列为重要的研究对象^[4]。

国内外学者对海月水母的生态^[5]、捕食关系^[6-8]、无性繁殖^[9]等各方面均进行了充分的研究, 但对其有性繁殖阶段研究较少, 仅David等^[10]应用抗体标记结合电子显微镜研究了海月水母胚胎发育形成螅状体过程中的形态发展及变化, Ishii等^[11]研究了海月水母浮浪幼虫在口腕中的发育时间, Lucas等^[12]还对海月水母有性生殖与温度及食物供给量的关系进行了研究报道等。但未见有关海月水母排精诱导因素的具体研究, 对于海月水母详细的受精过程及胚胎发育过程亦未见报道, 而以上均为研究水母类有性繁殖的重

要内容之一。本实验对光周期、食物条件、机械损伤3个外界因素对海月水母排精诱导效果进行了初步研究, 跟踪观察了海月水母的受精过程及胚胎发育进程, 以期丰富海月水母有性繁殖阶段的生物学知识, 为揭示海月水母暴发机制提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

性成熟的雄性及雌性海月水母, 伞径为(12.0 $\pm$ 1.0) cm, 性腺明显, 雄性未曾排精。试验水箱为20 L(50 cm $\times$ 20 cm $\times$ 20 cm)的塑料箱, 实验水体为15 L, 饵料为鲜活的卤虫无节幼体(*Artemia nauplius*)。

1.2 实验方法

雄性成熟个体排精诱导因素 3个诱导因素分别为光周期、饵料条件和机械损伤。养殖环境条件为水温(22 $\pm$ 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 盐度30, pH 7.8~

收稿日期:2014-10-29

修回日期:2015-05-25

资助项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB403605)

通信作者:陈四清, E-mail:chensq@ysfri.ac.cn

8.4, 溶氧约为 6 mg/L, 光照强度 500 ~ 800 lx。每日投喂足量卤虫无节幼体 2 次、换水 2 次。通过观察试验水箱中是否有精子细丝、雌性海月水母口腕中是否出现受精卵, 判断雄性海月水母是否排精。

光周期组: 设置长光照 (14 L: 10 D)、等光照 (12 L: 12 D)、短光照 (10 L: 14 D) 3 个处理, 每一处理 6 个重复, 每一重复中各放置一只性腺成熟的雌雄海月水母 (利用雌性海月水母受精情况, 辅佐验证判断雄性海月水母排精情况及精子质量)。

饵料条件组: 设置正常投喂、隔一天投喂, 饥饿不投喂 3 个处理, 每一组处理 6 个重复, 每一重复中各放置一只性腺即将成熟的雌雄海月水母。光周期 12 L: 12 D。

机械损伤组: 设置不损伤、损伤口腕、损伤外伞小部分、同时损伤口腕与外伞 4 个处理, 每一组处理 6 个重复, 每一重复中各放置一只性腺即将成熟的雌雄海月水母。光周期 12 L: 12 D。

海月水母受精过程的观察 将正在排精的雄性海月水母与性腺成熟的雌性海月水母置于 40 L 的圆柱形玻璃水母缸中, 试验水体为 30 L, 连续观察海月水母的受精过程并拍照记录。重复 3 次。

海月水母早期胚胎发育的观察 对受精后的雌性海月水母口腕处的受精卵连续取样, 在光学显微镜下观察并拍照, 记录受精卵发育到四触手螅状体的过程, 每次观察 20 个受精卵以上, 实验重复 3 次, 各发育期的开始和结束以 80% 的个体显示某一阶段的特征为标准。当雌性海月水母口腕中的受精卵发育到浮浪幼虫阶段, 将全部浮浪幼虫取出置于 1 000 mL 烧杯中充气培养并投放 5 cm × 5 cm 的小块波纹板作为附着基, 并对波纹板进行连续观察、拍照记录。

1.3 统计分析

使用 SPSS 13.0 软件对实验数据进行统计分析。对光周期、饵料条件、机械损伤对排精诱导的数据进行单因素方差分析, 若差异显著, 进行 Duncan 氏多重比较, 显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 海月水母排精诱导因素

光周期对海月水母的排精诱导 长光照对海月水母排精的平均诱导天数为 (3.3 ± 0.5) d,

与等光照的平均诱导天数 (5.5 ± 0.5) d 有显著性差异 ($P < 0.05$)。等光照平均诱导天数与短光照平均诱导天数 (8.1 ± 0.4) d 有显著性差异 ($P < 0.05$) (表 1)。经过不同光周期诱导排出的精子均能完成受精且受精卵发育正常, 且随着光照时间的延长, 诱导排精所需的天数缩短。

表 1 光周期对海月水母排精诱导

Tab.1 The result of photoperiod induction of *Aurelia* sp. spermiation

诱导天数/d inductive days	长光照 (14 L: 10 D) long photo- period	等光照 (12 L: 12 D) equal photo- period	短光照 (10 L: 14 D) short photo- period
1	0/6	0/6	0/6
2	0/6	0/6	0/6
3	4/6	0/6	0/6
4	6/6	0/6	0/6
5		3/6	0/6
6		6/6	0/6
7			0/6
8			5/6
9			6/6

注: 已排精水母数/水母总数

Notes: The number of spermiated *Aurelia* sp./the total number of *Aurelia* sp.

饵料条件对海月水母的排精诱导 饥饿不投喂组海月水母排精平均诱导天数为 (3.0 ± 0.0) d, 与隔 24 h 投喂组的平均诱导天数 (5.6 ± 0.5) d 有显著性差异 ($P < 0.05$)。隔 24 h 投喂组的平均诱导天数与正常投喂组的平均诱导天数 (6.6 ± 0.8) d 有显著性差异 ($P < 0.05$) (表 2)。经过不同饵料条件诱导排出的精子均能完成受精且受精卵发育正常, 且随着饥饿程度的加深, 诱导排精所需的天数缩短。

表 2 饵料对海月水母排精诱导

Tab.2 The result of food requirement induction of *Aurelia* sp. spermiation

诱导天数/d induce days	正常投喂 normal feed	隔 24 h 投喂 feed every two days	饥饿不投喂 starve
1	0/6	0/6	0/6
2	0/6	0/6	0/6
3	0/6	0/6	6/6
4	0/6	0/6	
5	0/6	2/6	
6	3/6	6/6	
7	5/6		
8	6/6		

注: 已排精水母数/水母总数

Notes: The number of spermiated *Aurelia* sp./the total number of *Aurelia* sp.

机械损伤对海月水母的排精诱导 损伤部分伞体组的平均诱导天数(3.7 ± 0.5) d 与损伤部分口腕组的平均诱导天数(4.3 ± 0.5) d 有显著性差异($P < 0.05$),与损伤伞体与口腕组的平均诱导天数(4.6 ± 0.5) d 有显著性差异($P < 0.05$)。损伤口腕组与损伤伞径与口腕组平均诱导天数差异不显著($P > 0.05$)。损伤组与不损伤组的平均诱导天数(8.3 ± 0.5) d 均有显著性差异($P < 0.05$) (表 3)。经过不同机械损伤排出的精子均能完成受精且受精卵发育正常,损伤比不损伤诱导排精的效果好,其中损伤部分伞体的诱导效果最好。

2.2 海月水母受精过程的观察

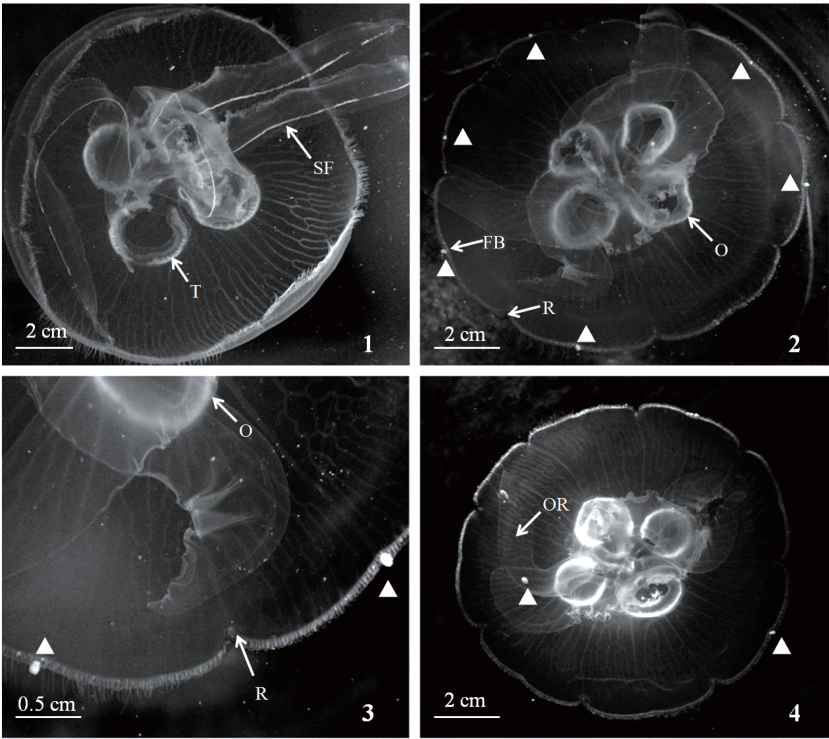
雄性海月水母精子以精子细丝的方式通过水管系统排出体外(图版I-1),雌性海月水母通过伞缘触手将精子细丝收集于食物囊处形成白色的精子团(图版I-2,3),继而通过口腕中的口腕基沟将精子团向体内运输(图版I-4)。先后经过胃口腕

沟、胃循环沟,最终到达卵巢处的生殖下陷,完成受精。

表 3 机械损伤对海月水母排精诱导
Tab.3 The result of damage induce *Aurelia* sp. spermiation

诱导天数 (d) induce days	不损伤 no damage	损伤部分伞 体 damage part of somatic	损伤部分 口腕 damage part of oral arm	损伤伞体与 口腕 damage somatic and oral arm
1	0/6	0/6	0/6	0/6
2	0/6	0/6	0/6	0/6
3	0/6	2/6	0/6	0/6
4	0/6	6/6	4/6	2/6
5	0/6		6/6	6/6
6	0/6			
7	0/6			
8	4/6			
9	6/6			

注:已排精水母数/水母总数
Notes:The number of spermiated *Aurelia* sp./The total number of *Aurelia* sp.



图版 I 海月水母受精过程

1. 雄性海月水母排精过程;2,3. 雌性海月水母将精子细丝收集到食物囊处形成精子团;4. 精子团通过水管系统向体内运输。
图中“▲”表示精子团;FB. 食物囊;O. 卵巢;OR. 口腕;R. 感觉棍;SF. 精子细丝;T. 精巢。

Plate 1 The fertilization process of *Aurelia* sp.

1. the spermiation process of male *Aurelia* sp. ; 2 and 3. the sperm gobbet that made of sperm filament in food bag of female *Aurelia* ; 4. the pumping system pumped the sperm gobbet into body.
FB. food bag ; O. ovary ; OR. oral arm ; R. rhopalium ; SF. sperm filament ; T. testis. The symbol“▲” mark the sperm gobbet in figure 1.

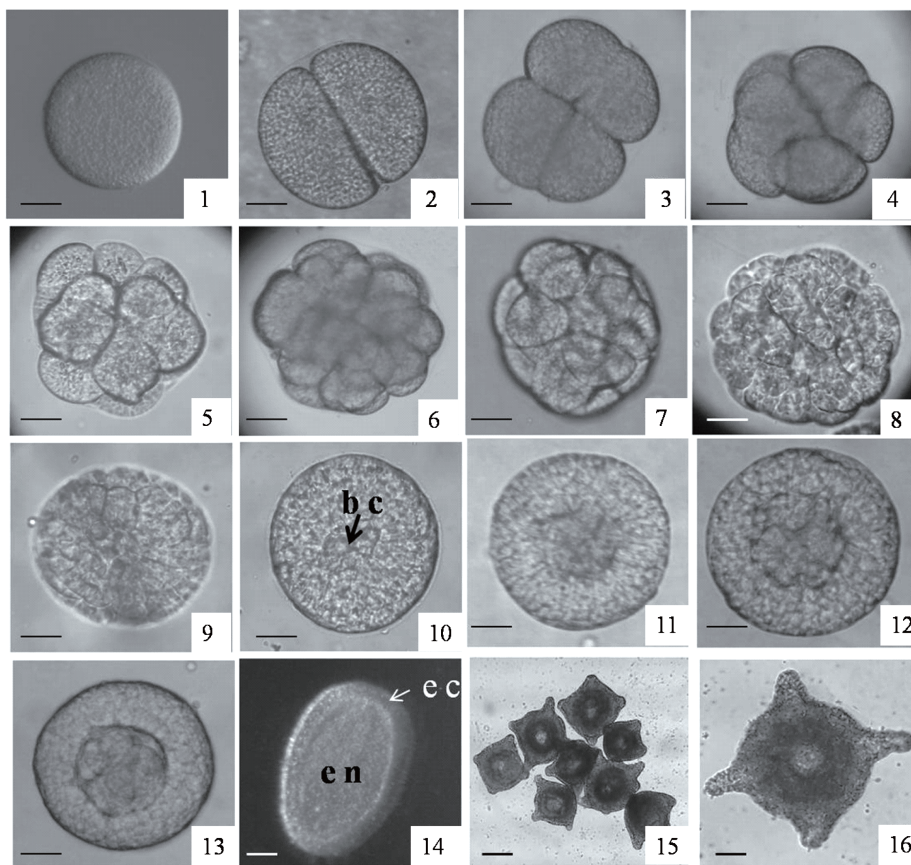
2.3 海月水母胚胎发育

精子团从进入雌性海月水母卵巢至雌性海月水母口腕处发现受精卵大约需 3 h。受精卵(图版 II - 1)为球形,卵径为 150 μm 左右,在 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水温下,经过 29 h 20 min 发育为浮浪幼虫,经过 73 h 20 min 发育为四触手鳃状体,其发育进程见表 4。

卵裂期 受精卵分裂方式为完全均等卵裂。受精 40 min 后,受精卵从一端开始发生分裂,经过 1 h 20 min 分裂为 2 细胞,卵膜清晰可见,细

胞界限明显(图版 II - 2)。经过 1 h 40 min,分裂为 4 细胞,细胞界限明显(图版 II - 3)。此后经过 8 细胞(图版 II - 4)、16 细胞(图版 II - 5)、32 细胞(图版 II - 6)、64 细胞(图版 II - 7)等阶段发育为多细胞(图版 II - 8)。

囊胚形成期及囊胚 受精后 4 h 发育至囊胚形成期,细胞数目增多,细胞界限模糊,在多细胞中央慢慢凹陷形成囊胚腔(图版 II - 9),5 h 20 min 后形成囊胚(图版 II - 10)。囊胚腔为不规则的椭圆形,约占整体的 1/8。



图版 II 海月水母的胚胎发育

1. 受精卵;2. 2 细胞;3. 4 细胞;4. 8 细胞;5. 16 细胞;6. 32 细胞;7. 64 细胞;8. 多细胞;9. 囊胚形成期;10. 囊胚期;11. 原肠胚形成期;12. 原肠胚;13. 原肠胚旋转期;14. 浮浪幼虫;15、16. 四触手鳃状体。

bc. 囊胚腔。en. 内胚层。ec. 外胚层

Plate II The embryonic development of *Aurelia* sp.

1. fertilized egg; 2. 2 cells; 3. 4 cells; 4. 8 cells; 5. 16 cells; 6. 32 cells; 7. 64 cells; 8. many cells; 9. blastulation stage; 10. blastula; 11. gastrulation stage; 12. gastrula; 13. gastrula rotated; 14. planula; 15 and 16. four tentacles scyphistoma.

bc. blastocoel. en. endoderm. ec. ectoderm.

Bar: 1 - 13. 50 μm ; 14. 90 μm ; 15. 60 μm ; 16. 30 μm

原肠胚形成期及原肠胚 受精后 5 h 20 min ~ 7 h 30 min 为原肠胚形成期。囊胚内陷形成原肠胚,胚胎开始旋转运动。当内陷腔占整体 1/5 ~ 1/4 时,胚胎开始沿纵轴进行缓慢的原地旋

转,旋转方向既有顺时针也有逆时针,速度为 $(190 \pm 5) \text{ s/r}$ (图版 II - 11)。随着发育的进行,旋转速度逐渐加快,观察到的最快沿纵轴原地旋转速度为 $(15 \pm 2) \text{ s/r}$ 。当内陷腔占整体 1/3 ~ 1/

2 时,旋转方式由沿纵轴的原地旋转变为沿纵轴的运动旋转,运动速度逐渐加快,观察到的最快运动速度为 $(27.37 \pm 0.39) \mu\text{m/s}$ (图版 II - 12)。经过 7 h 30 min 的发育,形成原肠胚,此时内陷腔约占整体的 2/3。受精 12 h 30 min 后,为原肠胚游动期,胚胎不再沿纵轴旋转而是进行螺旋式旋转运动,运动速度达到 $(49.62 \pm 1.15) \mu\text{m/s}$ (图版 II - 13)。胚胎开始由圆球形向椭球形变化。

浮浪幼虫期 受精卵经过 29 h 20 min 的发育形成浮浪幼虫,浮浪幼虫内外胚层清晰可见,呈长椭球形,具纤毛。长轴、短轴分别约 450 μm 、270 μm 。浮浪幼虫在体内生活约 120 h 后离开母体,在水中游动,速度约为 $(52.42 \pm 1.02) \mu\text{m/s}$ (图版 II - 14)。

四触手螅状体 浮浪幼虫经过约 46 h 左右的游动,一部分附着到波纹板上发育为四触手螅状体,另一部分浮浪幼虫在水面先发育为四触手螅状体而后再附着到波纹板上(图版II - 15,16)。

表 4 海月水母胚胎发育进程
Tab.4 The embryonic development
process of *Aurelia* sp.

发育时间 developmental time	发育时期 developmental stage	图例 figure
0 h	受精卵 fertilized egg	Plate II - 1
1 h 20 min	2 细胞 2cells	Plate II - 2
1 h 40 min	4 细胞 4cells	Plate II - 3
1 h 55 min	8 细胞 8cells	Plate II - 4
2 h 15 min	16 细胞 16cells	Plate II - 5
2 h 30 min	32 细胞 32cells	Plate II - 6
2 h 45 min	64 细胞 64cells	Plate II - 7
3 h 5 min	多细胞 many cells	Plate II - 8
4 h	囊胚形成 blastulation	Plate II - 9
5 h 20 min	囊胚 blastula	Plate II - 10
6 h 30 min	原肠胚形成 gastrulation	Plate II - 11
7 h 30 min	原肠胚 gastrula	Plate II - 12
12 h 30 min	原肠胚旋转 gastrula rotated	Plate II - 13
29 h 20 min	浮浪幼虫 planula	Plate II - 14
73 h 20 min	四触手螅状体 four tentacles scyphistoma.	Plate II - 15,16

3 讨论

3.1 光周期、食物、机械损伤等因子对海月水母有性生殖的影响

有关研究认为,食物、温度、盐度以及光周

期等因子在海洋无脊椎动物的周年繁殖中起到了关键的作用,很多有关性腺成熟、产卵与环境因子变化相关的证据可以证明^[13]。然而,环境因子对水母繁殖生物学影响的研究报道却极其稀少^[2]。本研究表明,长光照条件有利于诱导性成熟的海月水母排精。海月水母在全世界范围内 70°N ~ 40°S 的浅海海域均有分布^[1,14],生长的时间以夏季为主,其海域环境为长光照,海水温度较高。Lucas 等^[12]在研究温度对海月水母性腺成熟及生殖的影响中指出个体大的水母体最早出现性腺成熟,然而最终所有雌性水母性腺均成熟,最小伞径为 45 mm,伞径很小的个体发育成熟与不断升高的温度是有关联的。说明不断升温会诱导海月水母性腺发育成熟,而光周期的变化可能是温度变化的一个关联信号。关于食物因子的研究报道较多,Ishii^[15]的研究表明,当食物稀少时,海月水母生长率减缓,能量分配由生长转向生殖。因而,食物缺乏且伞径小的个体性腺发育成熟而食物充足伞径大的个体性腺未成熟。当食物充足时,水母趋向于伞径的生长而不是性腺发育。在 Horsea Lake 的海月水母群体也表现出类似的特征,当食物充足时,海月水母主要是伞体的生长。而食物匮乏时转向生殖^[16]。Lucas^[2]认为,伞体的生长与生殖对吸收的食物的利用存在竞争关系,所以不同的食物条件会对生长或者生殖有利。本研究中饥饿不投喂组诱导效果要明显好于正常投喂组和隔天投喂组,即随着饥饿程度的加深,诱导排精所需的天数缩短,这一结果与 Lucas^[2]观点吻合。Ohtsu 等^[17]对日本海域大型水母沙海蜇 (*Nemopilema nomurai*) 的性腺成熟过程进行了研究,发现健康且游动性强的个体远离岸边,性腺未成熟;而受到损伤的个体在近岸处且性腺发育成熟。其通过从未成熟的卵巢中分离出一小块性腺进行观察,发现离体的卵巢中卵子会发育成熟。本研究也表明,一定程度的机械损伤能促进海月水母排精,进而进行有性生殖。

长光照、食物匮乏及机械损伤对海月水母来说均为不良的环境条件,其为了适应不良环境会加快性腺发育,进行有性生殖,由营浮游生活的水母体世代转变为营固着生活的螅状体世代,以此完成世代交替,保证种族延续。

3.2 海月水母有性繁殖过程及胚胎发育

国内外关于海月水母有性繁殖过程的研究已有报道。和振武^[18]认为海月水母大多数精子在口腕基沟区被运送至口腕末端,形成黏液团,排到体外,卵在口腕基沟中被运送一段距离后,即沿口腕侧区移至口腕边缘。精子团随水流摄入雌性海月水母体内,完成受精。郑凤英等^[19]在海月水母生活史中也有类似报道。本研究观察到雄性海月水母将精子细丝排出体外,而不是形成黏液团。雌性海月水母将精子细丝通过伞缘触手收集于食物囊处形成精子团,而精子团沿雌性海月水母水管系统运输到卵巢处,成熟的卵子在精子团诱导下从卵巢中游离,与精子完成受精,而后是受精卵运送至口腕侧区。成熟的卵子在没有精子团的诱导下不从卵巢游离。

本实验对海月水母从受精卵发育为四触手螅状体的胚胎发育过程进行了详细的研究,并发现了受精卵在原肠胚后期不断旋转这一特殊状态。Ishii 等^[11]发现水温 12 ℃ 和 22 ℃ 时海月水母从受精卵发育为原肠胚所需时间分别为 116 h 和 50 h。本研究发现在水温 22 ℃ 下,受精卵发育到原肠胚仅需 7 h 30 min,发育为浮浪幼虫的时间仅 29 h 20 min,这可能与水母伞径大小、精卵质量等其他因素有关。David 等^[10]研究了海月水母的胚胎发育及形态变化,主要对受精卵从囊胚期到原肠胚形成的过程进行了详细研究。他指出海月水母胚胎进行均等分裂使得囊胚的柱状上皮细胞在囊胚中央形成一个小的空腔即囊胚腔。这与作者观察到的囊胚期的特征相同。他还认为,胚胎在囊胚期无纤毛,而纤毛最初出现是在原肠胚形成期,这与本实验观察到的在原肠胚形成期胚胎发生旋转运动的现象一致,观察发现运动方式及运动速度均随着胚胎发育的进行而发生变化,运动形式逐渐复杂化且运动速度加快。这可能为纤毛逐渐生长的结果。

和振武^[18]认为海月水母浮浪幼虫自由生活一天左右的时间会固着发育形成四触手螅状体。孙明等^[20]认为浮浪幼虫需在水中自由游动约 48 h 后附着于固定基质上,先形成锥型体后发育出 4 个触手形成早期螅状体再逐渐长至 16 触手的成熟螅状体。本研究观察到从浮浪幼虫到四触手螅状大约需要 44 h 左右。附着时间的不同可能与水温及其他环境因子不同有关。研究发现部

分浮浪幼虫并未附着到基质上发育为四触手螅状体,而是在水面先发育为四触手螅状体后再进行附着。这与董婧等^[21]观察到沙海蜇、海蜇、黄斑海蜇 (*Rhyspidum vanhoeffen*)、海月水母的浮浪幼虫部分在漂浮的状态下变为螅状体,而当柄末端的气泡结构消失后,仍可下沉以其末端固着在基质上的现象一致。

4 结论

本实验首次研究了光周期、食物条件、机械损伤对海月水母排精的诱导作用,系统观察了海月水母受精全过程,发现精子团到达雌性卵巢后,成熟卵子才游离卵巢,与精子完成受精,而后受精卵被运送到口腕侧区进行胚胎发育,完善了海月水母发育生物学研究,同时发现受精卵在原肠胚后期有旋转现象。

参考文献:

- [1] Russell F S. The Medusae of the British Isles. II Pelagic Scyphozoa with a Supplement to the First Volume on Hydromedusae [M]. London: Cambridge University Press, 1970, 284.
- [2] Lucas C H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its environment [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 451 (1/3): 229 - 246.
- [3] Zhang F, Sun S, Li C L. Progress in the study of ecology of marine jellyfish [J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19 (2): 21 - 130. [张芳, 孙松, 李超伦, 海洋水母类生态学研究进展. 自然科学进展, 2009, 19 (2): 21 - 130.]
- [4] Sun X X, Wang S W, Sun S. Introduction to the China Jellyfish Project-the Key process, Mechanism and Eco-logical Consequences of Jellyfish Bloom in China Coastal Waters [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29 (2): 491 - 492.
- [5] Yasuda T. Ecological studies on the jellyfish *Aurelia aurita* in Urazoko Bay, Fukui Prefecture IV monthly change in bell length composition and breeding season [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1971, 37 (5): 364 - 370.
- [6] Purcell J E. Predation on fish eggs and larvae by pelagic cnidarians and ctenophores [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1985, 37 (2): 739 - 755.
- [7] Strand S W, Hamner W M. Predatory behavior of

- Phacellophora camtschatica and size-selective predation upon *Aurelia aurita* (Scyphozoa; Cnidaria) in Saanich Inlet, British Columbia [J]. Marine Biology, 1988, 99(3): 409 – 414.
- [8] Li Z F, Liu C S, Zhuang Z M, et al. The mutual predatory relationship of jellyfishes in different life stages between *Aurelia sp. 1* and *Rhopilema esculenta* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica. 2012, 43(3): 539 – 544. [李宗飞, 刘春胜, 庄志猛, 等. 生活史不同阶段的海月水母 (*Aurelia sp. 1*) 与海蜇 (*Rhopilema esculenta*) 的相互捕食关系. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 539 – 544.]
- [9] Simon W, Natalie A M, Christine C. Asexual reproduction in scyphistomae of *Aurelia sp.*: Effects of temperature and salinity in an experimental study [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 353(1): 107 – 114.
- [10] David Y, Nagayasu N, David K, et al. Embryonic development and metamorphosis of the scyphozoan *Aurelia* [J]. Development Genes and Evolution, 2008, 218(10): 525 – 539.
- [11] Ishii H, Takagi A. Development time of planula larvae on the oral arms of the scyphomedusa *Aurelia aurita* [J]. Journal of Plankton Research, 2003, 25(11): 1447 – 1450.
- [12] Lucas C H, Lawes S. Sexual reproduction of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in relation to temperature and variable food supply [J]. Marine Biology, 1998, 131(4): 629 – 638.
- [13] Olive P J W. Physiological adaptation and the concepts of optimal reproductive strategy and physiological constraint in marine invertebrates [M] // Laverack M S. Physiological Adaptations of Marine Animals. Symposia of the Society for Experimental Biology, No. 39. Cambridge, England: Biologists Ltd., 1985: 267 – 300.
- [14] Kramp P L. Synopsis of the Medusae of the World [M]. London, United Kingdom: Cambridge University Press, 1961, 1469.
- [15] Ishii H. Food regulation of growth and maturation in a natural population of *Aurelia aurita* (L.) [J]. Journal of Plankton Research. 1998, 20: 805 – 816.
- [16] Lucas C H. Population dynamics of *Aurelia aurita* (Scyphozoa) from an isolated brackish lake, with particular reference to sexual reproduction [J]. Journal of Plankton Research, 1996, 18(6): 987 – 1007.
- [17] Ohtsu K, Kawahara M, Ikeda H, et al. Experimental induction of gonadal maturation and spawning in the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) [J]. Marine Biology, 2007, 152(3): 667 – 676.
- [18] He Z W. Reproduction of Moon Jellyfish [J]. Bulletin of Biology, 1993, 28(8): 14 – 15. [和振武. 海月水母的生殖. 生物学通报, 1993, 28(8): 14 – 15.]
- [19] Zheng F Y, Chen S Q, Ni J. Biological characteristics of Moon Jellyfish (*Aurelia aurita* Linnaeus, 1758) and its Bloom [J]. Advances in Marine Science, 2010, 28(1): 126 – 132. [郑凤英, 陈四清, 倪佳. 海月水母生物学特征及其暴发. 海洋科学进展, 2010, 28(1): 126 – 132.]
- [20] Sun M, Dong J, Fu Z L, et al. The effect of light intensity on survival and growth of scyphistomae in jellyfish, *Aurelia sp. 1* [J]. Fisheries science, 2012, 31(4): 211 – 215. [孙明, 董婧, 付志璐, 等. 光照度对海月水母螅状体存活和生长的影响. 水产科学, 2012, 31(4): 211 – 215.]
- [21] Dong J, Sun M, Zhao Y, et al. Comparison of *Nemopilema nomurai* and other jellyfishes in reproductive biological characteristics and morphology [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2012, 43(3): 550 – 555. [董婧, 孙明, 赵云, 等. 中国北部海域灾害水母沙蜇 (*Nemopilema nomurai*) 及其他钵水母繁殖生物学特征与形态比较. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 550 – 555.]

Investigation on spermiation induction and embryonic development of *Aurelia* sp.

CHEN Zhaoting^{1,2}, LI Qi², ZHAUNG Zhimeng¹, CHEN Siqing^{1,*}, LIU Chunsheng¹

LIU Changlin¹, ZHAO Peng¹, LU Bin¹

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

2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The scyphozoan *Aurelia aurita* (Linnaeus) is a cosmopolitan species, having been reported from a variety of coastal and shelf sea environments around the world. The blooms of *Aurelia* sp. have caused ecological disasters in recent years. In order to discover the key process of the sexual reproduction biology of *Aurelia* sp., the spermiation inductive factors, as well as the process of fertilization and embryonic development, were observed according to experimental ecology and microscopy in this study. The results were as follows: the long photoperiod (14L:10D), starvation and damage could effectively induce the sexual matured *Aurelia* sp. spermiation. The detail information was shown in Tab. 1, Tab. 2 and Tab. 3 respectively. Female *Aurelia* sp. medusae captured sperm filament that the male released into food bag of somatic edge in which the sperm filament became sperm gobbet by tentacle. The sperm gobbets were transported into oral arm groove by oral arm, then they went through gastric-oral arm groove and gastric reproduction groove successively, and arrived at female gonad to fertilize finally. The fertilized eggs of *Aurelia* sp. were round and the diameter was about 150 μm . According to the appearance and characteristics of the embryo, embryonic development was divided into 6 consecutive stages: cleavage stage, blastulation stage, blastula stage, gastrulation stage, gastrula stage, planula stage and four tentacles scyphistoma. In $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ sea water, the embryo developed into planula at about 29 h 20 min and grew into four tentacles scyphistoma at about 73 h 20 min. *Aurelia* sp. Underwent internal fertilization and embryo developed in vivo. The reproductive pattern could improve the survival rate of offspring, which may be the reason why *Aurelia* sp. existed extensively.

Key words: *Aurelia* sp.; induced spermiation; fertilization; embryonic development

Corresponding author: CHEN Siqing. E-mail: chensq@ysfri.ac.cn