

盐度对海月水母幼体行为、附着和无性生殖的影响

孙婷婷^{1,2}, 董志军¹, 梁丽琨²

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所牟平海岸带环境综合试验站, 山东 烟台 264003;

2. 烟台大学生命科学学院, 山东 烟台 264000)

摘要:黄渤海沿岸海参养殖池为海月水母(*Aurelia aurita*)幼体的重要栖息地, 海参养殖池盐度波动范围极大, 因此, 研究不同盐度对海月水母早期生活史的影响对于理解其环境适应机制具有重要科学意义. 本研究以海月水母为研究对象, 探讨了不同盐度梯度(18、22、26、30、34和38)对海月水母浮浪幼虫行为、附着以及螅状幼体无性生殖的影响. 结果表明, 盐度对海月水母浮浪幼虫的运动行为存在显著影响, 较高盐度环境(30、34和38)海月水母浮浪幼虫运动速度明显高于较低盐度环境(18、22和26); 盐度对海月水母浮浪幼虫的附着有显著影响, 相对较高盐度促进海月水母浮浪幼虫的附着, 盐度为34时, 海月水母浮浪幼虫附着率最高; 海月水母螅状幼体无性生殖能适应较广的盐度范围, 42d无性生殖实验周期后, 18~34盐度环境下海月水母每个螅状幼体平均新繁殖螅状幼体个体数为2.8~3.7个, 不同盐度处理组间无显著差异, 而极高盐度(38)显著降低海月水母的出芽生殖率(1.2个). 本研究表明盐度对海月水母早期生活史不同阶段幼体具有不同影响, 研究结果为黄渤海沿岸海月水母环境适应机制研究提供了重要参考.

关键词:海洋生物学; 水母爆发; 浮浪幼虫; 螅状幼体; 无性生殖

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 006

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2018)01-0053-07

海月水母(*Aurelia aurita*), 属刺胞动物门, 钵水母纲, 旗口水母目, 洋须水母科, 海月水母属(*Aurelia*). 海月水母是全球广布性物种, 多生活在温带近岸海域, 在我国主要分布于黄渤海沿海岸域, 属于我国海域大型水母优势种^[1].

近年来, 海月水母爆发给海岸带生产活动带来许多负面影响. 如:20世纪60年代海月水母入侵日本发电厂, 造成整个城市供电系统的瘫痪^[2]; 2009年7月海月水母在我国青岛沿海岸域爆发, 造成发电厂冷却系统堵塞, 严重影响用电供应^[3]; 海月水母爆发事件在我国烟台、威海、秦皇岛等近岸海域多有报道, 成为近岸生态灾害事件^[4]. 另外, 海月水母是广食性水母, 可摄食海洋动物的卵和经济鱼类的幼体(幼鱼), 也可大量摄食小型浮游甲壳类, 与经济鱼类争夺饵料, 因此, 海月水母爆发可能会影响海洋渔

业资源的恢复^[5].

海月水母具有复杂的生活史, 在整个生命周期中拥有明显不同的两个世代, 分别为有性浮游世代和无性底栖世代^[6]. 海月水母属雌雄异体种, 成熟的雄性海月水母将精子排出体外, 进入雌性水母体内, 进行体内受精^[7]. 受精卵在雌性水母口腕边缘发育为浮浪幼虫, 随水流排出体外, 在适宜的附着基附着变态或者于水-气界面直接变态发育为螅状幼体^[8]. 螅状幼体可通过多种无性繁殖方式进行生殖, 发育为横裂体释放碟状幼体, 碟状幼体逐渐发育为幼水母. 在早期生活史阶段, 海月水母浮浪幼虫生存附着、螅状幼体无性生殖均是影响海月水母种群变化的重要因素^[9]. 海月水母浮浪幼虫可在多种附着基附着, 包括藻类、藤壶、贝类等自然附着基, 也包括聚乙烯、玻璃、港口支柱、海上石油钻井平台等人工附着基^[10-11]. 由于海

收稿日期:2017-06-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41576152)

作者简介:孙婷婷(1992~), 女, 硕士研究生; E-mail: suntingy@163.com

通讯作者:董志军(1981~), 男, 博士, 副研究员; E-mail: zjdong@yic.ac.cn

月水母无性生殖时期可以通过多种方式产生新的个体,如出芽生殖、足囊生殖、横裂生殖和匍匐茎断裂进行生殖等^[12],因此,海月水母无性生殖时期也被认为是其种群爆发性增殖的关键阶段^[9]。

目前研究者认为海月水母爆发是人类活动和气候变化下海洋环境变化的综合结果,包括全球变暖、过度捕捞、富营养化、外来种入侵和海岸带建设均被认为是海月水母种群爆发的可能因素^[4,13-14]。国内外研究者在实验室研究中,也探讨了多种环境因子(温度、光照、食物、pH 值、溶解氧、盐度等)对海月水母某一个生活史阶段幼体(如浮浪幼体、螅状幼体或碟状幼体)的影响^[15-20],而环境因子对海月水母早期生活史不同阶段幼体的影响研究尚少。我们在前期野外调查中发现,每年 4~5 月份威海地区海参养殖池内出现大量海月水母碟状幼体,并在海参养殖池内发现海月水母螅状幼体的附着。由于雨季降雨、冬季结冰等因素影响,海参养殖池盐度波动范围极大(17.3~36.0)^[21-23]。在不同盐度条件下,海月水母早期生活史阶段的响应研究,对于了解海月水母适应机制具有重要的科学意义。因此,本研究从海月水母不同生活史阶段入手,探讨不同盐度对海月水母浮浪幼虫阶段行为和附着的影响,以及对海月水母螅状幼体阶段无性生殖的影响,以期对海月水母适应机制研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验样品

2016 年 5 月,本研究在威海荣成近岸海域(36°56.04'N,122°25.17'E)潜水采集海月水母螅状幼体,连同附着基带回实验室培养保存。在实验室内,从野外采集的附着基上挑选干净完整的螅状幼体个体,将其保存至灭菌的 50 cm³ 培养瓶内,置于低温培养箱(8℃)培养待用。

2016 年 8 月,值海月水母成熟期,在烟台近岸海域(37°28.73'N,121°27.76'E)用手抄网采集性成熟的海月水母(口腕处可见受精卵),放入盛有自然海水的整理箱中充氧培养。第二天用孔径为 500 μm 筛绢过滤整理箱内海水,去除水母组织碎片等杂物。然后将海水用 38 μm 筛绢进行二次过滤收集海月水母浮浪幼虫。用过滤海水(经孔径为 0.22 μm 滤膜过滤)冲洗筛绢将浮浪幼虫冲洗到 1 000 cm³ 塑料量筒,静置 30 min,等待浮浪幼虫浮在表面而其它杂质沉到量筒底部,用吸管吸取浮浪幼虫置于 500 cm³ 烧杯中,加入过滤海水常温保存,当天进行海月水母浮浪幼虫行为和附着实验。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设置 在盐度对海月水母浮浪幼虫行为影响、浮浪幼虫附着影响和螅状幼体无性生殖影响实验中,均设置 6 个盐度梯度(18、22、26、30、34 和 38)。海月水母浮浪幼虫的行为和附着影响实验中,不同盐度海水均由孔径为 0.22 μm 滤膜过滤后的海水配制而成;螅状幼体无性生殖影响实验中,不同盐度海水均由孔径为 0.45 μm 滤膜过滤后的海水配制而成。其中,较高盐度海水(34 和 38)为过滤海水加 Sigma 海盐配制而成,较低盐度海水(18、22、26 和 30)为过滤海水加纯水配制而成。本研究的海水盐度均用 YSI-600 多参数水质监测仪测定。

1.2.2 不同盐度对海月水母浮浪幼虫行为影响实验 海月水母浮浪幼虫行为观察采用 5 cm³ 浮游动物计数框(5 cm × 2.5 cm,每分格 5 mm × 5 mm),在解剖镜下观察记录海月水母浮浪幼虫每分钟时间内游过方格线的数目作为海月水母运动速度的指标^[24],观察记录时间为 3 min,并录像保存。本实验在空调控温(22℃)实验室内进行,光照条件为自然光照。

以盐度为 18 的海水处理组为例,从过滤海水保存的海月水母浮浪幼虫烧杯内,每次用吸管随机吸入浮浪幼虫 1 只,加入 5 cm³ 浮游动物计数框内(内含 5 cm³ 盐度为 18 的过滤海水),3 min 适应期后开始记录录像,记录时间为 3 min。记录完成后,倒掉浮游动物计数框内的盐度为 18 的过滤海水和浮浪幼虫,重新加入 5 cm³ 盐度为 18 的过滤海水,开始第 2 只浮浪幼虫录像记录。依次进行,每个盐度梯度(18、22、26、30、34 和 38)共测试记录海月水母浮浪幼虫 10 只。

1.2.3 不同盐度对海月水母浮浪幼虫附着影响实验 盐度对海月水母浮浪幼虫附着影响实验使用 250 cm³ 烧杯,每个烧杯中放置一片 4 cm × 4 cm × 1 mm 的 PET 塑料板作为附着基(漂浮在海水表面)。每个盐度采用 3 个平行样,每个平行样使用 1 个 250 cm³ 烧杯。实验时随机挑选海月水母浮浪幼虫 30 只,置于盛有 250 cm³ 对应盐度过滤海水的烧杯中,然后放置于光照培养箱中在 22℃ 进行避光实验。每天固定时间在解剖镜下拍照观察附着基上海月水母浮浪幼虫附着的个体数、浮游浮浪幼虫个体数以及死亡的浮浪幼虫个体数。

1.2.4 不同盐度对海月水母螅状幼体无性生殖影响实验 盐度对海月水母螅状幼体无性生殖影响实验使用深孔培养板,每个深孔内盛有 8 cm³ 对应浓度的过滤海水,放置于光照培养箱 15℃ 避光实验。实验前随机挑选大小形态接近的海月水母螅状幼体个体转移至深孔培养板内,每深孔内 1 只,在解剖镜

下确认附着成功后正式开始实验. 每个盐度采用 3 个平行样, 每个平行样观察 8 只螅状幼体. 实验持续时间为 42 d.

实验过程中, 每 3 d 喂食 1 次, 每只螅状幼体喂食过量的人工孵化卤虫 (*Artemia salina*) 无节幼体. 喂食 4 h 后, 换相同盐度和温度的过滤海水, 以保证实验过程中盐度和温度的恒定. 每周固定时间在解剖镜下观察记录海月水母螅状幼体死亡的个体数和新繁殖的个体数.

1.3 数据分析

运用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 检验盐度对海月水母浮浪幼虫运动速度、附着率和螅状幼体的出芽生殖率的影响, 以最小显著差异法 (LSD) 检测不同盐度海水处理组的差异程度, 以 $p < 0.05$ 作为显著性水平. 统计分析前先对数据进行方差齐性检验和正态分布检验, 本研究统计分析均采用 SPSS19.0 软件.

2 结果与讨论

2.1 不同盐度对海月水母浮浪幼虫行为的影响

盐度对海月水母浮浪幼虫的运动速度有显著的影响 ($F = 17.35, p < 0.05$), 随海水盐度增加, 海月水母浮浪幼虫的运动速度呈现加快的趋势 (图 1). 盐度为 18、22 和 26 时处理组间海月水母浮浪幼虫的运动速度差异不显著, 盐度为 30、34 和 38 时处理组间海月水母浮浪幼虫的运动速度差异不显著, 但较高盐度环境 (30、34 和 38) 海月水母浮浪幼虫的运动速度明显高于较低盐度环境 (18、22 和 26).

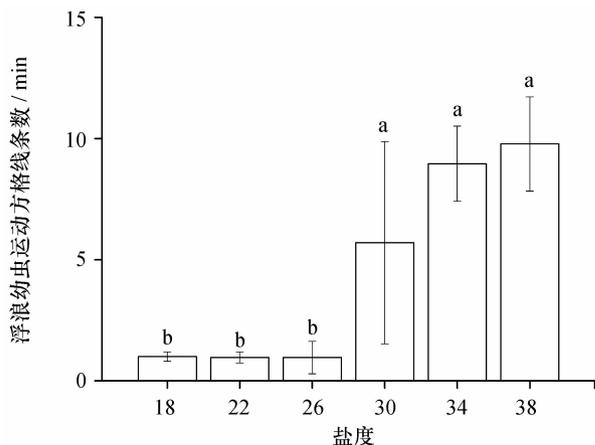


图 1 不同盐度海水条件下海月水母浮浪幼虫每分钟运动的方格线条数

Fig. 1 Swimming speed of *A. aurita* planula at different salinities

图中每分钟运动方格线条数采用平均值 \pm 标准误差, 字母示运动距离的统计分析差异

2.2 不同盐度对海月水母浮浪幼虫附着的影响

随实验时间增加, 海月水母浮浪幼虫的附着率增加 (图 2). 前 72 h 内, 不同盐度海水对海月水母浮浪幼虫的附着影响不显著. 随着实验时间增加, 在 96 h 时, 不同盐度海水对海月水母浮浪幼虫的附着有显著影响, 海水盐度为 34 时, 海月水母浮浪幼虫的附着率最高 (27.8%), 明显高于其它盐度环境下海月水母浮浪幼虫的附着率 (3.3% ~ 10.6%).

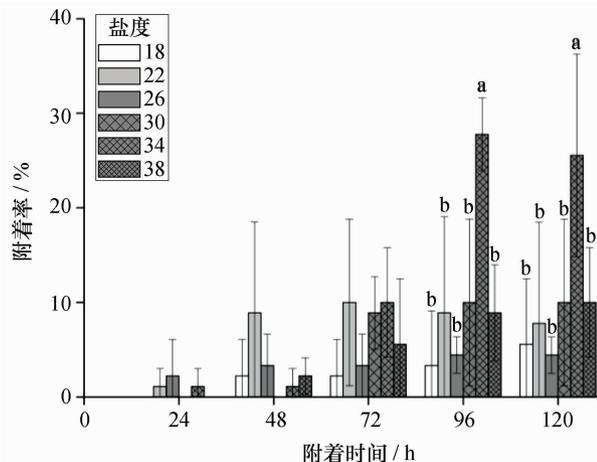


图 2 不同盐度海水条件下 120 h 海月水母浮浪幼虫的附着率

Fig. 2 Settlement rates of *A. aurita* planula incubated at different salinities

图中附着率采用平均值 \pm 标准误差, 字母示附着率的统计分析差异

2.3 不同盐度对海月水母螅状幼体无性生殖的影响

随着培养时间增长, 不同盐度培养环境下的螅状幼体通过出芽生殖繁殖出的新个体数目均呈现增加的趋势 (图 3). 42 d 无性生殖实验结束后, 在 18 ~ 34 盐度范围内的海月水母出芽生殖率并无显著差异, 每个海月水母螅状幼体平均新繁殖的螅状幼体个体数为 2.8 ~ 3.7 个, 而海水盐度为 38 的环境下每个海月水母螅状幼体平均新繁殖螅状幼体个体数仅为 1.2 ± 0.6 个. 其中海水盐度在 26 的环境下出芽生殖率最高, 为 3.7 ± 0.4 个. 本实验 42 d 培养时间内未观察到横裂生殖.

2.4 讨论

黄渤海沿岸是我国海参池塘养殖的主要分布区, 我们的野外调查发现海月水母碟状幼体和螅状幼体在海参池分布. 海参养殖池具有其独特的海水环境变化规律, 例如由于夏季雨季、冬季结冰等因素的影响, 海参养殖池海水盐度变化范围极大, 如: 彭安德 (2015) 对大连河口区海参养殖池的周年盐度变化研究表明, 平均盐度范围为 17.3 ~ 29.3^[21]. 刘

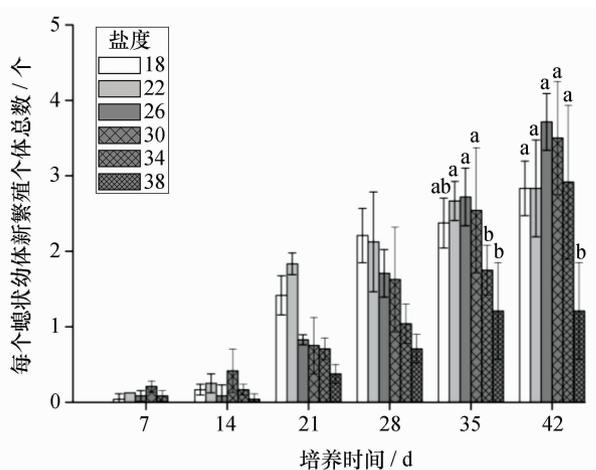


图3 不同盐度海水条件下42 d内每个月水母螅状幼体平均新繁殖的个数

Fig. 3 Average produced new polyps of one *A. aurita* polyp incubated at different salinities within 42 days

图中新繁殖个数采用平均值 ± 标准误差, 字母示新繁殖个数的统计分析差异

伟等(2015)对渤海湾沿岸的海参养殖池冰期环境研究结果表明, 海参养殖池在冰期可达34.9^[22]。因此, 探讨不同盐度对海月水母早期生活史阶段的影响, 对于了解黄渤海沿岸海月水母适应机制具有重要的科学意义。

本研究设置的海水盐度范围(18~38)内, 海月水母浮浪幼虫和螅状幼体均可正常存活, 这与其它海域海月水母幼体的盐度适应性研究结果一致^[25-27]。如: Conley等(2014)的研究表明, 日本海域的海月水母浮浪幼虫在盐度15~32范围内可正常存活, 而盐度为5和10的环境中, 浮浪幼虫1h内出现溶胀溶解现象^[25]。Sokolowski等(2016)对波罗的海海月水母的盐度耐受实验表明, 在低盐度(2)环境下海月水母螅状幼体不能正常存活, 从盐度为7降低到4时海月水母螅状幼体触手出现收缩现象, 而盐度在12以上, 海月水母螅状幼体均能正常生存^[26]。Holst等(2010)的实验结果表明波罗的海海月水母螅状幼体在盐度12~36之间可正常存活^[27]。

海月水母浮浪幼虫的运动行为受海水盐度影响显著, 运动速度存在随盐度降低而明显减缓的趋势, 在较低盐度(18、22和26)时运动速率显著降低。国内外研究者对影响海月水母浮浪幼虫行为的环境因子研究较少, 仅见Conley等和Holst等的报道^[25,27]。本研究与Conley等^[25]和Holst等^[27]分别对海月水母和霞水母的行为学研究结果趋势一致, 随海水盐度降低, 水母浮浪幼虫运动变慢。而较高海水盐度促

进水母浮浪幼虫的运动, 可能有助于其附着前寻找更适合附着的微生境, 进而可能会增加其扩散和附着范围, 在未来的研究中需重点关注水母浮浪幼虫行为的生态学意义。

本研究表明, 盐度对海月水母浮浪幼体的附着有显著影响, 盐度为34时海月水母浮浪幼虫附着率最高。Conley等的研究表明日本海域的海月水母浮浪幼虫在较高盐度环境下附着率高于较低盐度环境^[25]。而霞水母浮浪幼虫的附着研究表明, 随盐度增加附着率升高, 在较高盐度条件下附着率最高^[27]。目前, 黄渤海近岸海月水母螅状幼体的分布尽管有所发现, 但未见公开报道。从本研究结果推测, 海月水母螅状幼体分布于相对盐度较高海域的可能性较大, 而分布于河口低盐度海域的可能性较小。

海月水母无性生殖受温度、食物、盐度、光照、溶解氧等环境因子的影响, 其中温度和食物被认为是影响海月水母无性生殖的关键环境因子, 而盐度对海月水母无性生殖的影响相对较小^[10,17]。本研究结果表明, 6周无性生殖实验周期后, 18~34盐度范围内的海月水母出芽生殖率并无显著差异, 而极高盐度(38)明显降低海月水母の出芽生殖能力。Willcox等(2007、2008)对澳大利亚海月水母不同盐度条件下(25、30和35)的无性生殖开展了研究, 研究结果表明较高的盐度条件下出芽生殖产生的螅状幼体数量较多^[28-29]。Purcell等(2007、2009)对美国华盛顿地区唇海月水母(*Aurelia labiata*)的无性生殖实验结果表明, 在温度为7℃和盐度为27的条件下出芽生殖产生的螅状幼体的数量最多, 而温度为7℃和盐度为20的条件下出芽生殖产生的螅状幼体的数量最少^[15,30]。因此, 海月水母螅状幼体无性生殖能适应黄渤海沿岸海参养殖池内较广的盐度范围, 但冬季结冰导致的盐度升高可能会降低海月水母螅状幼体出芽生殖。

本研究结果表明盐度对海月水母早期生活史不同阶段的幼体具有不同的影响。从浮浪幼虫附着过程看, 盐度为34时海月水母浮浪幼虫附着率最高。而从螅状幼体无性生殖过程看, 盐度为38环境时海月水母螅状幼体出芽生殖率最低。而付志璐等(2011)对海月水母碟状幼体的研究结果表明, 不同盐度(22~31)对海月水母碟状幼体的生长影响不显著^[31]。海月水母种群动态受早期生活史不同阶段幼体种群动态的调控, 而国内外的研究多集中在环境因子对生活史某个阶段幼体的影响, 如海月水母浮浪幼虫阶段^[25,27], 海月水母螅状幼体无性生殖阶段^[15-20,32], 海月水母碟状幼体阶段^[31,33-34]等。而由于

环境因子对海月水母早期生活史阶段不同幼体可能具有不同的影响,因此很难准确评估环境因子对海月水母成体种群动态的影响.未来的研究需加强环境因子对水母早期生活史不同阶段幼体的对比研究,进而综合评估环境因子对水母爆发的潜在影响.

3 结论

(1) 盐度对海月水母浮浪幼体的运动行为有显著影响,海月水母浮浪幼虫在较高盐度环境(30、34和38)运动速度明显高于较低盐度环境(18、22和26).海月水母浮浪幼虫运动加快,可能有利于海月水母浮浪幼虫的附着和扩散,但其生态学意义仍需进一步研究.

(2) 盐度对海月水母浮浪幼虫的附着有显著影

响,盐度在34条件下,海月水母浮浪幼虫的附着率最高,推测海月水母螅状幼体分布于相对较高盐度海域的可能性较大,而分布于河口低盐度海域的可能性较小.

(3) 盐度在18~34范围内,并未显著影响海月水母螅状幼体的出芽生殖,但极高盐度环境(38)其出芽生殖率明显降低.表明海月水母螅状幼体无性生殖能适应较广的盐度范围,但极高盐度会降低海月水母螅状幼体出芽生殖.

(4) 盐度对海月水母早期生活史不同阶段幼体的影响并不一致,因此未来的研究应关注环境因子对水母生活史不同阶段幼体的对比研究,进而综合评估环境因子对水母爆发的潜在影响.

参考文献:

- [1] 高尚武,洪惠馨,张士美.中国动物志 无脊椎动物 第27卷[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] Toyokawa M, Furota T, Terazaki M. Life history and seasonal abundance of *Aurelia aurita* medusae in Tokyo Bay[J]. *Plankton Biology & Ecology*, 2000, 47(1): 48-58.
- [3] 宋新华.入侵发电厂海蜇背黑锅 专家鉴定为海月水母[N].青岛晚报,2009-07-12(3).
- [4] Dong Z J, Liu D Y, Keesing J. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(7): 954-963.
- [5] Hansson L J, Moeslund O, Kiorboe T, et al. Clearance rates of jellyfish and their potential predation impact on zooplankton and fish larvae in a neritic ecosystem (Limfjorden, Denmark)[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2005(304): 117-131.
- [6] Lucas C H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment[J]. *Hydrobiologia*, 2001, 451(1/3): 229-246.
- [7] 陈昭廷,李琪,庄志猛,等.海月水母排精诱导及胚胎发育研究[J].*水产学报*, 2015, 39(10): 1 459-1 466.
- [8] Brewer R H. Larval settlement behavior in the jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus) (Scyphozoa: Semaestomeae)[J]. *Estuaries and Coasts*, 1978, 1(2): 120-122.
- [9] Lucas C H, Graham W M, Widmer C. Jellyfish life histories: role of polyps in forming and maintaining scyphomedusa populations[J]. *Advances in marine biology*, 2012, 63:133.
- [10] Miyake H, Terazaki M, Kakinuma Y. On the polyps of the common jellyfish *Aurelia aurita* in Kagoshima Bay[J]. *Journal of Oceanography*, 2002, 58(3): 451-459.
- [11] Holst S, Jarms G. Substrate choice and settlement preferences of planula larvae of five Scyphozoa (Cnidaria) from German Bight, North Sea[J]. *Marine Biology*, 2007, 151(3): 863-871.
- [12] 付瑶,董志军,刘东艳.海月水母无性生殖的影响因子[J].*生态科学*, 2012, 31(3): 335-339.
- [13] 张芳,孙松,李超伦.海洋水母类生态学研究进展[J].*自然科学进展*, 2009, 19(2): 121-30.
- [14] Purcell J E, Uye S I, Lo W T. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 350: 153-74.
- [15] Purcell J E. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiate*[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 348: 183-196.
- [16] Han C H, Uye S I. Combined effects of food supply and temperature on asexual reproduction and somatic growth of polyps of the common jellyfish *Aurelia aurita* sl[J]. *Plankton and Benthos Research*, 2010, 5(3): 98-105.
- [17] Liu W C, Lo W T, Purcell J E, et al. Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, *Aurelia aurita* (L.) in Taiwan[J]. *Hydrobiologia*, 2009, 616(1): 247-258.
- [18] Winans A K, Purcell J E. Effects of pH on asexual reproduction and statolith formation of the scyphozoan, *Aurelia labiate*[J]. *Hydrobiologia*, 2010, 645(1): 39-52.
- [19] Ishii H, Watanabe T. Experimental study of growth and asexual reproduction in *Aurelia aurita* polyps[J]. *Sessile Organisms*,

2003, 20(2): 69-73.

- [20] Ishii H, Ohba T, Kobayashi T. Effects of low dissolved oxygen on planula settlement, polyp growth and asexual reproduction of *Aurelia aurita*[J]. Plankton and Benthos Research, 2008, 3: 107-113.
- [21] 彭安德. 河口区海参池塘水环境周年变化规律研究[D]. 大连:大连海洋大学,2015.
- [22] 刘伟,丁君,李润玲,等. 黄、渤海沿岸海水养殖池塘冰期环境因子变化的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(1): 51-56.
- [23] Yuan X T, Yang H S, Wang L L, et al. Effects of salinity on energy budget in pond-cultured sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata; Holothuroidea)[J]. Aquaculture, 2010, 306(1/4): 348-351.
- [24] Lönnstedt O M, Eklöv P. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology[J]. Science, 2016, 352(6 290): 1 213-1 216.
- [25] Conley K, Uye S I. Effects of hyposalinity on survival and settlement of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) planulae[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2014, 462: 14-19.
- [26] Sokółowski A, Brulińska D, Olenycz M, et al. Does temperature and salinity limit asexual reproduction of *Aurelia aurita* polyps (Cnidaria; Scyphozoa) in the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea)? An experimental study[J]. Hydrobiologia, 2016, 773(1): 49-62.
- [27] Holst S, Jarms G. Effects of low salinity on settlement and strobilation of Scyphozoa (Cnidaria): Is the lion's mane *Cyanea capillata* (L.) able to reproduce in the brackish Baltic Sea? [J] Hydrobiologia, 2010, 645(1): 53-68.
- [28] Willcox S, Molschaniwskyj N A, Crawford C M. Population dynamics of natural colonies of *Aurelia* sp. scyphistomae in Tasmania, Australia[J]. Marine Biology, 2008, 154(4): 661-670.
- [29] Willcox S, Molschaniwskyj N A, Crawford C M. 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.
- [30] Purcell J E, Hoover R A, Schwarck N T. Interannual variation of strobilation by the scyphozoan *Aurelia labiata* in relation to polyp density, temperature, salinity, and light conditions *in situ*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2009, 375: 139-149.
- [31] 付志璐,董婧,孙明,等. 温度、盐度对黄海北部海月水母碟状幼体生长的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(4): 221-224.
- [32] Wang Y T, Zheng S, Sun S, et al. Effect of temperature and food type on asexual reproduction in *Aurelia* sp. 1 polyps[J]. Hydrobiologia, 2015, 754(1):169-78.
- [33] Widmer C L. Effects of temperature on growth of north-east Pacific moon jellyfish ephyrae, *Aurelia labiata* (Cnidaria; Scyphozoa)[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United kingdom, 2005, 85(3): 569-573.
- [34] Wang N, Li C L. The effect of temperature and food supply on the growth and ontogeny of *Aurelia* sp. 1 ephyrae[J]. Hydrobiologia, 2015, 754(1):157-67.

Effects of salinity on swimming, settlement and asexual reproduction of the moon jellyfish *Aurelia aurita* larvae

SUN Ting-ting^{1,2}, DONG Zhi-jun¹, LIANG Li-kun²

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Muping Coastal Environment Research Station, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. College of Life Science, Yantai University, Yantai 264000, China)

Abstract: The sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) culture ponds may act as a nursery ground for the moon jellyfish *Aurelia aurita* in the coastal waters along Bohai Sea and the Yellow Sea. Fluctuation of salinity in the *A. japonicus* culture ponds frequently found due to water exchange, evaporation and heavy rainfall. Therefore, it is necessary to understand the effects of salinity on the recruitment dynamics of *A. aurita* in their early life stages. In the present study, laboratory experiments were conducted to investigate the effects of different salinities levels (18, 22, 26, 30, 34 and 38) on the swimming, settlement and asexual reproduction of *A. aurita* larvae. Our results showed that the swimming speed of *A. aurita* planulae was significantly influenced by the salinities. The planulae moved faster at the high salinities (30, 34 and 38) than those at the low salinities (18, 22, and 26); The settlement rates of *A. aurita* planulae were significantly influenced by the salinities. The highest settlement rate occurred at a

salinity of 34. There was no significant difference in the bud reproduction rate between different salinities (18 ~ 34). The mean new polyps produced by one polyp at the salinities between 18 and 34 were 2.8 ~ 3.7. The polyps incubated at a salinity of 38 produced the least polyps (1.2 ± 0.6). Our results indicate that salinity have different effects on the early life stages of *A. aurita*. Thus the study provides new information for understanding the adaptation of *A. aurita* to environmental factors in the coastal waters of Bohai Sea and the Yellow Sea.

Key words: marine biology; jellyfish blooms; planulae; polyp; asexual reproduction

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 006

(责任编辑:方建勇)