

DOI: 10.5846/stxb201404170751

石岩, 米铁柱, 王建艳, 陈丽红, 王国善, 甄毓, 于志刚. 温度和食物水平对海月水母钵状体无性繁殖的影响. 生态学报, 2016, 36(3): - .
Shi Y, Mi T Z, Wang J Y, Chen L H, Wang G S, Zhen Y, Yu Z G. The effect of temperature and food supply on the asexual reproduction of moon jelly (*Aurelia* sp.1) polyps. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

温度和食物水平对海月水母钵状体无性繁殖的影响

石 岩¹, 米铁柱^{2,*}, 王建艳³, 陈丽红¹, 王国善³, 甄 毓², 于志刚⁴

1 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100

2 海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100

3 中国海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003

4 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100

摘要:水母暴发给近岸人类的生活、渔业资源以及海洋生态系统带来影响。这些近岸海域暴发的水母可以通过有性繁殖和无性繁殖来维持或扩大水母种群数量。在水母生活史中, 钵状体的无性繁殖是决定水母体数量的关键阶段, 因此本文重点对此阶段进行研究。本实验设置了四个温度水平(9℃、12℃、15℃、18℃)、三个食物水平(5个卤虫/钵状体、20个卤虫/钵状体、40个卤虫/钵状体), 在十二个组合条件下研究温度和食物水平对海月水母钵状体无性繁殖能力和方式的影响。研究表明, 在海月水母钵状体繁殖子体的各种方式中, 匍匐茎生殖是主要的繁殖方式, 出芽生殖次之, 纵向分裂以及足囊出现几率极低。食物对海月水母钵状体产生总子体数影响显著, 温度的影响不显著, 食物水平越高, 海月水母钵状体繁殖子体的能力越强。食物和温度对钵状体发生横裂均有影响, 但温度对钵状体横裂的影响更大。温度对钵状体的横裂率影响显著, 食物影响不显著。碟状体的释放发生在 12℃、15℃、18℃的条件下, 温度是影响海月水母钵状体通过横裂生殖释放碟状体数量的最重要因素。可见在钵状体无性繁殖阶段, 温度和食物对繁殖方式的影响各不相同。

关键词:海月水母; 钵状体; 温度; 食物; 无性繁殖方式

The effect of temperature and food supply on the asexual reproduction of moon jelly (*Aurelia* sp.1) polyps

SHI Yan¹, MI Tiezhu^{2,*}, WANG Jianyan³, CHEN Lihong¹, WANG Guoshan³, ZHEN Yu², YU Zhigang⁴

1 College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Ministry of Education Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

3 College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

4 Ministry of Education Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

Abstract: Jellyfish outbreaks negatively affect humans who live near the coast, and cause harm to fishery resources and marine ecosystems. Jellyfish appearing around the East China Sea maintain or expand their populations by both sexual and asexual reproduction. In the jellyfish's life cycle, asexual reproduction of polyps is a key stage in determining the number of medusa in the following year; therefore, we focused on this life stage in this study. Previous studies have examined the total number of polyps produced by asexual reproduction under varying environmental conditions, but few studies have examined in detail on the number of new polyps formed via each method of asexual reproduction. Our research aimed to describe the methods of asexual polyp reproduction under different temperatures and food availability levels. In our experiment, following other similar studies we used four temperatures (9, 12, 15, and 18℃) and three food amounts (5, 20, and 40 newly-

基金项目: 国家基础研究重大项目(2011CB403602)

收稿日期: 2014-04-17; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mitiezhu@ouc.edu.cn

hatched *Artemia nauplius* per polyp) in a full-factorial experimental design to observe their effects on the asexual reproduction ability and method of moon jellyfish polyp formation. We systematically recorded the number of new polyps, the method of asexual reproduction, strobilation time, rate of strobilation, and the number of ephyrae released. Stolon formation was the most frequent method of asexual polyp reproduction, followed by direct budding. Longitudinal fission and podocyst methods were rarely observed. Food availability had a significant impact on all of the new moon jellyfish polyps, but the influence of temperature was not significant. Reproduction ability was positively correlated with food availability. Both food and temperature treatments influenced strobilation, and temperature had a greater impact on strobilation than food availability. Temperature significantly increased the incidence of strobilation compared with that of other methods of reproduction, but the effect of food supply was not significant. The rate of strobilation was highest in the moderate temperature group (12°C), the 15°C and 18°C groups had lower strobilation rates, and the 9°C group had the lowest strobilation rate. Ephyrae were released at the three higher temperatures (12°C, 15°C, and 18°C). Temperature was the most important factor influencing the progress of the ephyrae released by strobilation, but food supply also had an important influence. The number of ephyrae released per moon jellyfish polyp in the 12°C group was the greatest at all three food supply levels (5, 20, and 40 newly-hatched *Artemia nauplius* per polyp), while the 9°C group did not release ephyrae at any food supply level. The greater the availability of food, the more ephyrae were released by the 12°C, 15°C, and 18°C groups. At the three highest temperatures, the number of ephyrae released was greatest when 40 newly hatched *Artemia nauplius* were fed per polyp. Using two-way ANOVA to analyze the influences of temperature and food availability on strobilation and ephyrae release, we conclude that temperature controlled the timing of strobilation, while food amount controlled the number of ephyrae released per polyp. Temperature and food availability have different effects on the asexual methods of jellyfish polyp reproduction.

Key Words: *Aurelia aurita*; polyp; temperature; food; asexual reproduction method

近年来世界各地沿海出现的水母暴发事件越来越受到人们的关注。水母暴发不仅给社会 and 经济发展带来影响,而且还破坏海洋生态系统的平衡。据报道,在春夏季节海月水母多的时候,浮游生物量明显减少^[1],也有研究表明水母在群落营养的传递中起到了重要作用^[2]。

水母生活史有世代交替的特点,其中在无性生殖阶段,螅状体不仅可以通过匍匐茎生殖、出芽生殖或者足囊繁殖等方式产生新的螅状体,而且还可以通过横裂生殖产生碟状体,因此水母的无性繁殖是水母扩增种群的重要阶段^[3]。

本实验采用海月水母螅状体为实验材料是因为在有关水母螅状体无性生殖的研究中,海月水母螅状体是研究最普遍、研究方法最成熟的实验材料。海月水母属于腔肠动物门,钵水母纲,旗口水母目,洋须水母科,海月水母属^[4-5] (Coelenterata, Scyphozoa, Semaestomeae, *Ulmaridae*, *Aurelia*)。海月水母螅状体的无性繁殖方式主要有匍匐茎生殖(stolon formation, SF)、出芽生殖(direct budding, DB)、纵向分裂(longitudinal fission, LF)、足囊繁殖(podocyst, PC)和横裂生殖等,其中前四种方式可以补充螅状体的数量,而横裂生殖则是产生能够发育成长为水母体的碟状体,补充水母体的数量。由于海月水母螅状体的无性繁殖方式具有多样性,且其繁殖方式取决于螅状体不同的生长阶段和特性^[6],所以目前关于无性繁殖的各类方式尚无完全一致的概括。

已有大量的关于温度、盐度、光照、食物量等因素对海月水母影响的研究。其中温度和食物被认为是引起水母暴发的重要影响因素^[6-12]。对于海月水母体的相关研究涉及海月水母种群动态分布以及水母摄食种类和密度^[13-16]等方面的研究。对于海月水母螅状体的研究,有的针对单一环境因子的影响进行研究^[17-23],有的则是同时研究多个环境因子对海月螅状体种群数量的影响^[24-29]。例如王彦涛等人^[28]较为系统地研究了温度和食物水平对海月水母螅状体数量以及横裂生殖的影响。在本研究中,我们不仅就温度和食物水平对海

月水母螅状体无性繁殖能力进行了研究,而且还进一步对海月水母螅状体的无性繁殖方式受温度和食物水平的影响作了进一步研究。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验用的海月水母(*Aurelia* sp.1)螅状体是由成熟雌性海月水母体上取下的浮浪幼虫发育而来的。实验用人工孵化的卤虫无节幼体饲喂螅状体,其中投喂的卤虫孵化 1 d 左右且没有进行营养强化,大小为 200 μ m 左右。孵化用的卤虫卵产地是渤海湾。培养螅状体的海水取自青岛近岸海域。

1.2 研究方法

本实验设定了 4 个温度水平分别是 9 $^{\circ}$ C、12 $^{\circ}$ C、15 $^{\circ}$ C、18 $^{\circ}$ C;3 个食物水平分别是 5、20、40 个卤虫/螅状体,共 12 个组合实验条件。从本实验室培养的海月水母螅状体中,选取生长状态良好且大小基本相同的海月水母螅状体作为母体,每 3 个螅状体为一组,每个组合实验条件下设置 3 组平行样,共 36 组。每组螅状体放在盛有 150 mL 海水的烧杯中,移至培养箱(GXZ 型)中黑暗培养,并保持各实验组的温度恒定在设计温度下。在实验开始之前海月螅状体先经历了室温下 5 d 的饥饿期。实验于 2011 年 10 月 25 日开始,持续进行 36 d。

实验中每两天给各组螅状体按实验要求投喂相应量的卤虫。每次投喂半小时后用相应温度的经过过滤的天然海水给螅状体换水。每两天在解剖镜(Olympus SZ2-ILST)下观察一次螅状体的生长情况,并记录相关数据。每次观察过程耗时都不超过 5 min。

为了确保螅状体的食物量、生活空间等条件不受影响,在实验期间新产生的子体(新产生的螅状幼体)一旦从母体脱落,则立即将其剔除。在实验中产生的足囊,因为并没有萌发,不会影响母体的食物量,所以没有剔除。

2 结果与分析

本研究中,我们观察到了使海月水母螅状体数量增加的匍匐茎生殖(SF)、出芽生殖(DB)、纵向分裂(LF)、足囊繁殖(PC)四种方式,也观察到了能够产生碟状体的横裂生殖。实验发现,海月水母螅状体繁殖子体的主要方式是匍匐茎生殖和出芽生殖,纵向分裂出现的几率很低,实际上只出现了两次;产生足囊的几率也很小,仅出现了四次。就横裂生殖而言,在 9 $^{\circ}$ C、12 $^{\circ}$ C、15 $^{\circ}$ C、18 $^{\circ}$ C 条件下海月水母螅状体都有横裂现象发生。由于在本实验中产生的足囊没有萌发,因此本文所述子体数仅包括匍匐茎生殖、出芽生殖和纵裂生殖产生的子体数。

2.1 温度和食物水平对海月水母螅状体繁殖子体能力的影响

由图 1 可见,食物水平从 5 个卤虫/螅状体、20 个卤虫/螅状体到 40 个卤虫/螅状体,每个螅状体平均产生的子体数依次显著递增。温度对水母螅状体繁殖子体的能力影响不显著,特别是食物量较高时。双因素方差分析结果显示,温度对螅状体产生总子体数影响不显著,食物对螅状体产生总子体数影响显著,即食物水平是较温度更重要的影响海月水母螅状体繁殖能力的因素,食物水平越高,海月水母螅状体繁殖子体的能力越强。

2.2 温度和食物水平对海月水母螅状体繁殖子体方式的影响

本实验与以往类似研究不同的是,本实验除了对常见的几种繁殖方式进行验证之外,还对海月水母螅状

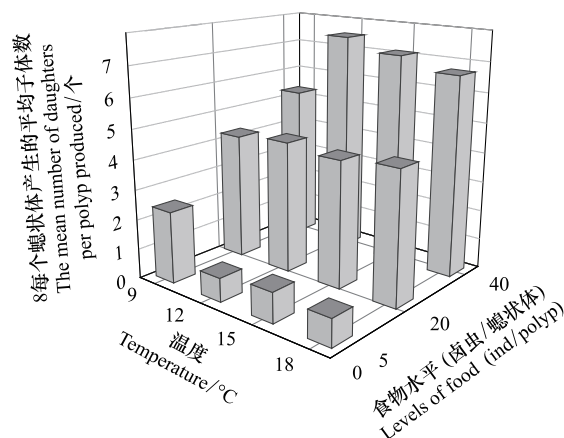


图 1 不同温度和食物水平对海月水母每个螅状体产生的平均子体数的影响

Fig. 1 The effect of temperature and food supply on the mean number of daughters per *Aurelia aurita* polyp produced

体产生子体的具体繁殖方式进行了分析研究。由图 2 可见,当食物水平较高、温度较高时,匍匐茎生殖产生的子体数远高于出芽生殖。例如当食物丰富(40 个卤虫/螳状体),温度较高时(12℃—18℃),平均每个螳状体匍匐茎生殖产生子体 5.3—5.9 个,约占子体总量的 71%—88%。而当食物水平较低、温度较低时,匍匐茎生殖对于子体数的贡献接近出芽生殖,两者的贡献大致相当。例如在 9℃,食物量为 5 个卤虫/螳状体的条件下,螳状体匍匐茎产生子体 1.4 个,出芽生殖产生子体 1 个,匍匐茎生殖产生的子体数约占二者产生总子体数的 58%。

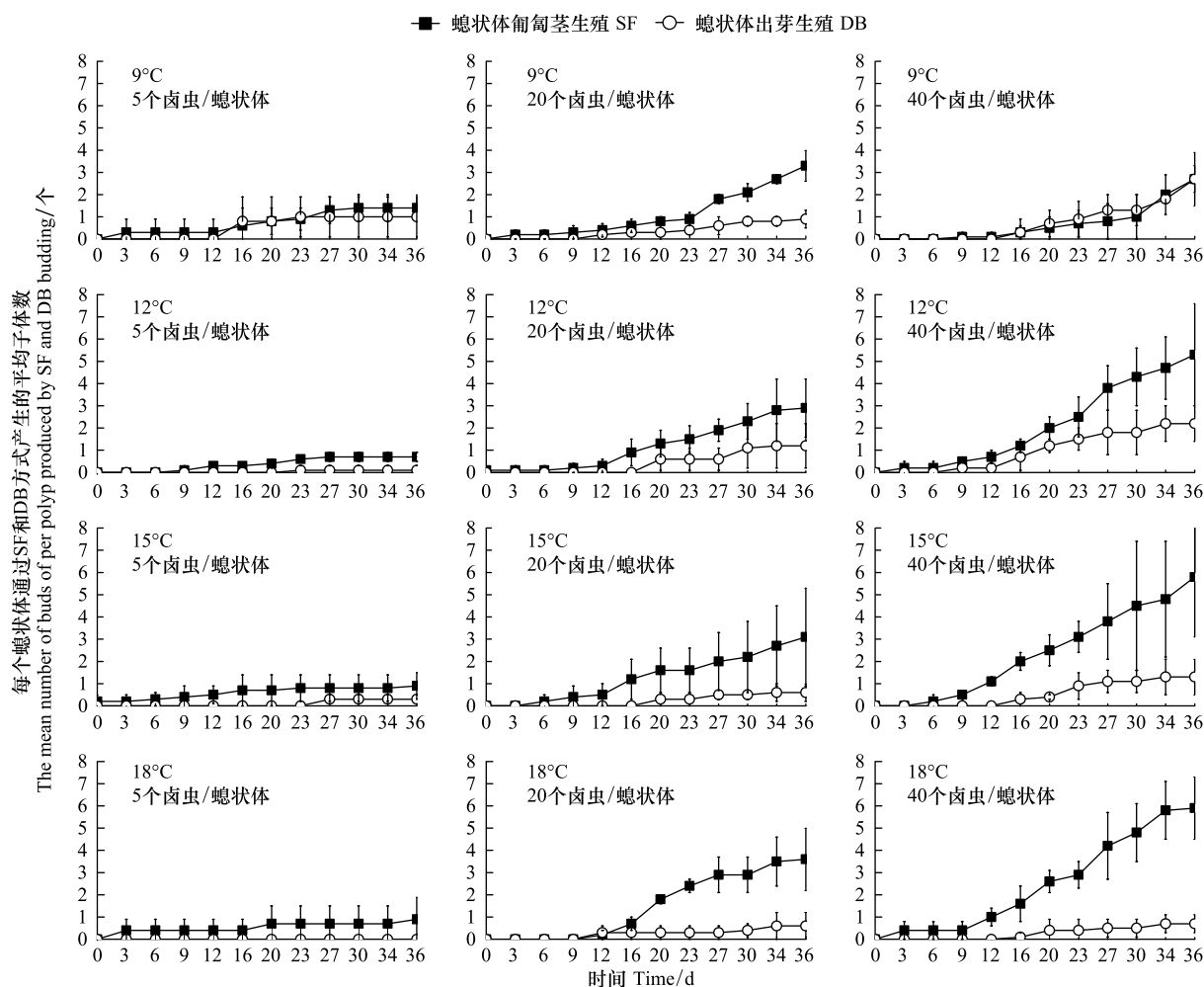


图 2 不同温度和食物水平时海月水母每个螳状体通过 SF 和 DB 方式产生的平均子体数

Fig. 2 The mean number of daughters of per *Aurelia aurita* polyp produced through SF and DB budding under different temperatures and different food supplies

SF: 螳状体匍匐茎生殖 stolon formation; DB: 螳状体出芽生殖 direct budding)

2.3 温度和食物水平对海月水母螳状体横裂生殖的影响

2.3.1 横裂时间

从实验开始到第一个横裂体出现的时期为横裂前期,第一个横裂体出现到第一个碟状体释放的时期为横裂间期,而从第一个碟状体开始释放到停止释放的时期则称为横裂期^[19]。

由图 3 可见,对于横裂前期,温度的影响很小,食物水平影响较大,总体上食物水平越高,横裂前期越短;对于横裂间期,温度影响则很大,温度越高,横裂间期时间越短;对于横裂期,食物水平和温度影响都很大,食物水平越高、温度越高,开始释放碟状体的时间越早,横裂期维持的时间也越长。低温和食物不足,则不会释放碟状体,例如在 9℃时,没有碟状体释放,即使在较高温度下,当投喂 5 个卤虫/螳状体时,开始释放碟状体

的时间很晚(甚至没有释放),横裂期维持的时间也极短。可见,丰富的食物和较高的温度有利于海月水母螅状体横裂生殖。

将温度、食物对横裂前期、横裂间期、横裂期进行了双因素方差分析,结果显示食物水平对横裂前期影响显著($P=0.01$),温度对横裂前期影响不显著;食物水平对横裂间期影响不显著,温度对横裂间期影响显著($P=0.038$),而温度和食物水平对横裂期影响均不显著。

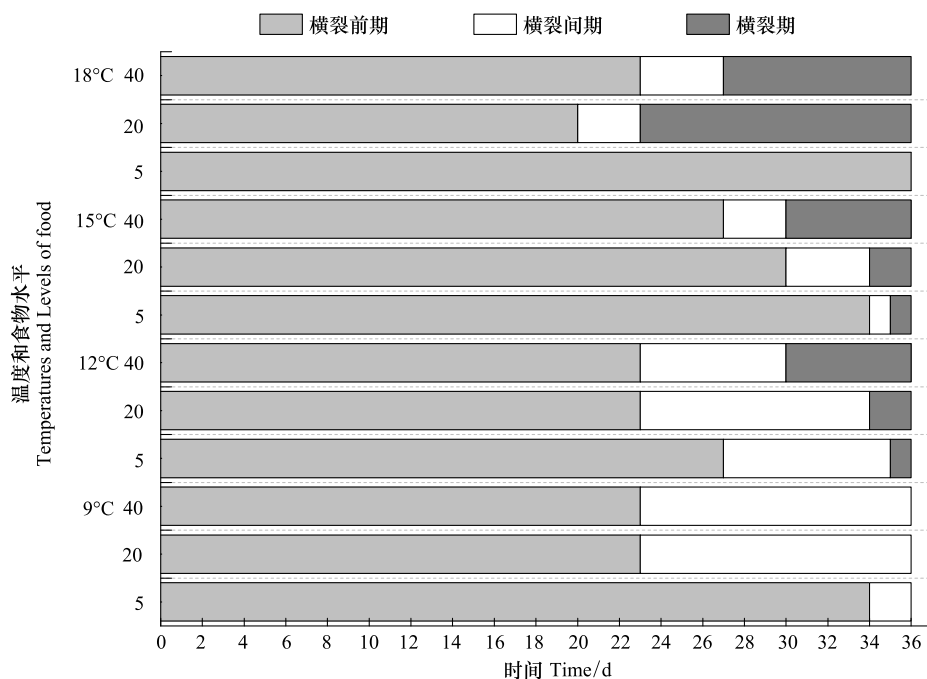


图3 不同温度和食物水平时海月水母螅状体的横裂前期、横裂间期和横裂期

Fig. 3 The pre-strobilation, bet-strobilation, and strobilation of *Aurelia aurita* polyp under different temperatures and different food supplies.

图中 5、20、40 代表不同的食物水平,即投喂每个螅状体的卤虫个数。

2.3.2 横裂率

将发生横裂的螅状体个数除以总螅状体个数称为横裂率,计算各条件下海月水母螅状体的横裂率,结果见图 4。可以发现,温度是影响海月水母螅状体横裂的重要因素,12 °C 是海月水母螅状体横裂的最适宜温度。食物水平也是影响海月水母螅状体横裂的重要因素,在可以发生横裂的温度下,总体上食物水平越高海月水母螅状体的横裂率越高,特别当处于非最适宜温度时,食物水平的影响更大。可见较适宜的温度和丰富的食物有利于海月水母螅状体横裂生殖,尤以适宜的温度更为重要。

2.3.3 碟状体数

将释放的碟状体数除以相应发生横裂的螅状体数,可计算出每一个发生横裂的螅状体平均释放的碟状体数,结果如图 5 所示。由图 5 可见,温度是影响释放碟状体数量的最重要因素,在某一食物水平下,12 °C 条件下发生横裂的螅状体释放的碟状体数最多,9 °C 时无论食物水平高低,都不能释放碟状体。食物水平也对释放碟状体的数量有重要影响,在某一温度下,随着食物水平的升高,螅状体释放碟状体的数量增加。可见 12 °C 是海月水母螅状体释放碟状体的最宜温度,食物水平的升高可增加释放碟状体的数量。

将温度、食物对横裂率、碟状体数进行了双因素方差分析,结果表明,温度对横裂率影响显著,食物对横裂率的影响不显著;温度对释放碟状体的数量影响不显著,食物对碟状体的释放数量影响显著。

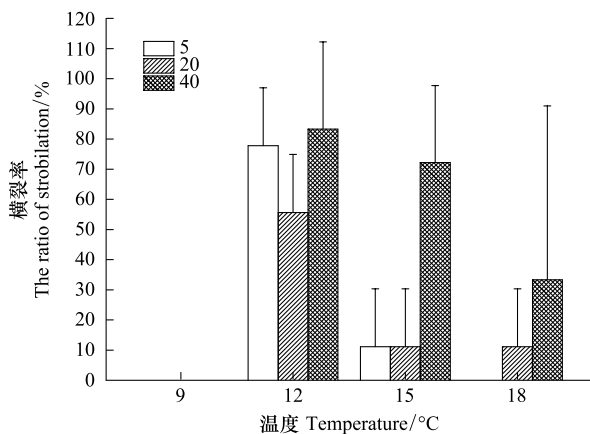


图4 不同温度和食物水平时海月水母螅状体的横裂率

Fig. 4 The ratio of *Aurelia aurita* strobila under different temperatures and different food supplies

图中 5、20、40 代表不同的食物水平,即投喂每个螅状体的卤虫个数

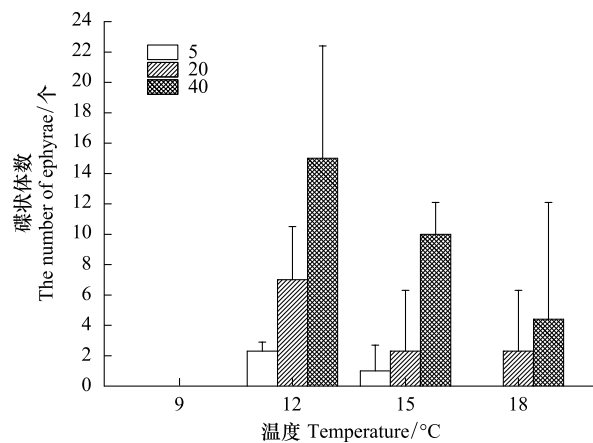


图5 不同温度和食物水平时发生横裂的每个海月水母螅状体平均释放的碟状体数

Fig. 5 The mean number of ephyrae released from per *Aurelia aurita* strobila under different temperatures and different food supplies

图中 5、20、40 代表不同的食物水平,即投喂每个螅状体的卤虫个数

3 讨论

在自然环境下,螅状体受到各种环境因子的共同作用,本实验为了模拟自然环境中水母螅状体无性繁殖受多个环境因子的影响,把温度和食物两个环境因子结合起来分析,以揭示其在自然环境中的规律。

3.1 温度和食物水平对海月水母螅状体繁殖子体的影响

海月水母螅状体产生子体的无性繁殖方式有出芽生殖、匍匐茎生殖、纵向分裂、足囊生殖等,这些无性繁殖方式是维持螅状体种群数量的主要方式。目前国内外学者大多研究的是单一环境因子对螅状体整体数量的影响,而本实验是进一步从螅状体的几种无性繁殖方式上,深入分析温度和食物两个环境因子对海月水母螅状体繁殖的影响。

3.1.1 温度和食物水平对海月水母螅状体繁殖子体能力的影响

本实验结果显示,温度对螅状体产生总子体数影响不显著,食物对螅状体产生总子体数影响显著。从图 1 中可以看出螅状体产生的总子体数基本随着食物水平的提高而增加。在国内相关研究中,王彦涛等人通过设置不同的温度(10 °C、15 °C、20 °C、25 °C)和投饵频次的方法,研究了温度和食物水平对海月水母(*Aurelia* sp.1)螅状体生长、繁殖的影响,其结果证明相同温度条件下食物水平越高,海月螅状体产生的子体越多^[28],且食物对海月水母螅状体的种群数量影响显著,这与本文的实验结果一致。在国外的相关研究中,例如 Han 等采用在日本中海获取的海月水母螅状体,在 18 °C—28 °C 的较高温度范围内进行了实验,结果表明海月水母螅状体子体数随食物水平的升高而增多^[24]。2007 年 Purcell 等^[27]在食物量缺乏的情况下,分别在 7 °C、10 °C、15 °C、20 °C 温度下培养 *Aurelia labiata* 的螅状体,结果显示 7 °C 和 10 °C 条件下培养的 *Aurelia labiata* 螅状体产生的子体数较多,15 °C 次之,20 °C 较少,这也说明了当食物水平较低时,较低的温度有利于螅状体的繁殖。

3.1.2 海月水母螅状体繁殖子体的方式

海月水母螅状体产生子体的无性繁殖方式多种多样,Gilchrist^[30]将其归结为四种,后来 Berrill^[7]描绘出了海月水母属的六种,2007 年 Vagelli^[31]又发现了两种新的无性繁殖方式。国内学者董婧^[32]结合长期的观察实验,通过系统分析整理,将海月水母螅状体产生子体的无性繁殖方式归纳总结为六种:出芽生殖、匍匐茎生殖、纵向分裂、足囊繁殖、内繁殖体和外繁殖体。在本实验中,我们观察到了匍匐茎生殖、出芽生殖、纵向分裂、足囊

繁殖四种。

经过深入研究分析本实验发现,匍匐茎生殖和出芽生殖是海月水母螅状体繁殖子体的主要方式,而匍匐茎生殖是比出芽生殖更主要的繁殖方式。当温度较高、食物丰富时,海月水母螅状体以匍匐茎生殖方式为主。但当温度较低、食物水平较低时,出芽生殖方式也逐渐成为主要的生殖方式之一。由此可见海月水母螅状体的繁殖方式受温度和食物水平的影响。本文认为当外界丰富的食物、较高的温度适合新螅状幼体脱离母体后独立生存时,海月水母螅状体会采取匍匐茎生殖方式繁殖后代;相反,当外界较低的食物水平、较低的温度不适合新螅状幼体独立生存时,海月水母螅状体则会采取出芽生殖的方式使螅状幼体先在母体上生长成熟后,再脱离母体独立生存。所以本文推测这是海月水母螅状体的繁殖策略。

已有的研究成果中除了韩国 Han 等人分析了海月水母螅状体几种无性繁殖方式外,其它研究基本只描绘了海月水母螅状体繁殖子体的几种方式。所以本文以此为突破点,具体研究了不同区域中海月水母螅状体的几种无性繁殖方式。在本实验中,我们发现海月水母螅状体的主要繁殖方式是匍匐茎生殖。与本实验不同,在 Han 的实验中(18℃—28℃),出芽生殖是海月水母螅状体主要的繁殖方式^[24],且繁殖方式受温度和食物水平的影响不大。本文推测可能是因为实验所用海月水母螅状体是不同的区域种或者是因为这两个实验设置的温度范围不同,使螅状体在进行无性繁殖期间采取了不同的繁殖方式。

足囊基本发生在食物水平比较低(5个卤虫/螅状体、20个卤虫/螅状体)的时候,由此本文认为缺乏食物可能会促进足囊的产生。Han^[24]的实验也证明了在较高温度下,缺乏食物是刺激足囊生成的一个重要环境因子。当螅状体处于比较恶劣的生存环境时,其产生的足囊可以长期经受环境中不利的生活条件,同时足囊还可以避免被天敌所捕食^[29,33];当螅状体所处的环境条件好转时,足囊还可以萌发成为新的螅状体,从而维持螅状体的种群数量,这是海月水母螅状体有效的维持或者补充其种群数量的又一种有效的繁殖策略。

3.2 横裂生殖

本文认为温度和食物水平对水母螅状体的横裂生殖均有影响。由于螅状体的横裂生殖是决定水母体数量的重要阶段,所以当海水的温度达到适宜螅状体横裂的范围,海水提供的食物量达到一定程度时就会有更多的螅状体发生横裂,进而产生更多的碟状体,导致海月水母暴发的潜力就越大。所以温度和食物水平与水母螅状体的横裂生殖有着密切联系,下面就温度和食物水平对海月水母螅状体横裂的具体影响进行讨论。

经过相关性分析和方差分析,本文认为虽然海月水母螅状体的横裂率和产生的碟状体数受温度和食物水平影响表现出的规律相似,但是仍有不同。在海月水母螅状体发生横裂的过程中,温度刺激是诱导海月水母螅状体横裂的主要因素;而食物则是影响横裂体产生碟状体能力的主要因素。所以温度是诱导海月水母螅状体横裂的重要环境因子,食物是影响碟状体数的重要环境因子。

螅状体横裂生殖包括横裂前期、横裂间期、横裂期。由图3和方差分析结果看出,食物水平越高横裂前期越短,温度影响不明显;且食物水平越高,温度越高海月水母螅状体横裂期出现的越早。但是王彦涛的实验结果显示10℃组海月水母螅状体横裂前期较15℃组短,且食物越多海月水母螅状体横裂前期持续的时间越长,而且温度越低,食物水平越低,海月水母螅状体横裂期出现的越早^[28]。本文推测出现这样的情况可能与实验开始之前两个实验室海月水母螅状体培养的条件不同或者两个实验中对海月水母螅状体投喂的方式及投喂量不同有关。本实验是通过每两天设置不同的食物量的方式来投喂海月水母螅状体的,而王彦涛则是通过设置不同的时间间隔,每次充足食物的方式来投喂的。

现在将温度和食物水平对海月水母螅状体无性繁殖各过程的影响规律进行总结,见表1。

从表1可以看出,温度和食物水平是影响螅状无性体繁殖的两个重要环境因子,但是在不同的生活史阶段温度和食物水平对螅状体的影响也不尽相同。

4 结论

通过本次实验,我们深入分析了温度和食物水平对海月水母螅状体无性繁殖的影响。结果表明,在本研

究中海月水母螅状体采用以匍匐茎生殖为主的繁殖方式;在较低温度、食物水平较低条件下,匍匐茎生殖和出芽生殖的作用大致相当;而对于海月水母螅状体的繁殖能力来说,食物水平较温度的影响更明显;丰富的食物和适宜的温度有利于海月水母螅状体发生横裂;通过横裂生殖释放的碟状体也受温度和食物水平的影响,但是以食物水平的影响更为显著。由此可知在一定的外界环境中,其温度和食物水平会促使海月水母螅状体采用适合这种环境条件的无性繁殖方式,进而影响海月水母螅状体的种群数量。这些研究结果在一定程度上反映了温度和食物水平两个环境因素对海月水母无性繁殖能力及繁殖方式产生的影响,同时本实验的研究结果对于其它种类水母的相关研究也具有一定的参考价值。

表 1 温度和食物水平对海月水母螅状体无性繁殖各过程的影响

Table 1 The influence of temperature and food supply on the asexual reproduction process of polyp

	温度 Temperature	食物水平 The levels of food
螅状体繁殖子体的能力 Asexual reproduction ability	有影响	有极显著影响
螅状体繁殖方式 The way of asexual reproduction	有影响	有影响
横裂前期 Pre-strobilation	有影响	有显著影响
横裂间期 Bet-strobilation	有显著影响	有影响
横裂期 Strobilation	有影响	有影响
横裂率 The ratio of strobila	有极显著影响	有影响
碟状体数 The number of ephyra	有影响	有显著影响

“有显著影响或有极显著影响”是通过方差分析得出的结论。

综上分析随着当今全球气候变化和水体富营养化日趋严重,这就可能为水母螅状体的繁殖提供了适宜的温度和食物水平,这对螅状体种群数量的增加,以及更多碟状体的产生,以及后期水母的暴发提供了潜在的条件。

参考文献 (References):

- [1] Schneider G, Behrends G. Top-down control in a neritic plankton system by *Aurelia aurita* medusae—a summary. *Ophelia*, 48(2):71-82.
- [2] Shimauchi H, Uye S I. Excretion and Respiration Rates of the Scyphomedusa *Aurelia aurita* from the Inland Sea of Japan. *Journal of Oceanography*, 2007, 63:27-34.
- [3] Miyake H, Terazaki M, Kakinuma Y. On the Polyps of the Common Jellyfish *Aurelia aurita* in Kagoshima Bay. *Journal of Oceanography*, 2002, 58: 451-459.
- [4] 程方平,王敏晓,王彦涛,张芳,李超伦,孙松. 中国北方习见水母类的 DNA 条形码分析. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3):451-459.
- [5] 冯颂,孙松,张芳,李超伦. 海月水母(*Aurelia* sp.1) 水螅体在空气中暴露存活研究. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3):460-463.
- [6] Berrill N J. Developmental analysis of scyphomedusae. *Biological Reviews*, 1949, 24(4):393-409.
- [7] Lucas C H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia*, 2001, 451:229-246.
- [8] Hamed A E, Khaled A A. Reproductive strategy of the jellyfish *Aurelia aurita* (Cnidaria Scyphomedusae) in the Suez Canal and its migration between the Red Sea and Mediterranean. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2011, 14(3):269-275.
- [9] Willcox S, Moltschanivskyj N A, Crawford C M. Population dynamics of natural colonies of *Aurelia* sp. scyphistomae in Tasmania, Australia. *Marine Biology*, 2008, 154:661-670.
- [10] 和振武. 海月水母的生殖. *生物学通报*, 1993, 28(8):14-14.
- [11] 郑凤英,陈四清,倪佳. 海月水母的生物学特征及其爆发. *海洋科学进展*, 2010, 28(1):126-132.
- [12] Purcell J E. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2005, 85(3):461-476.
- [13] 杨为东,赵文,李多慧,滕力平,杨担光,袁霞,韩婷婷. 饵料浮游动物种类和密度对海月水母摄食和生长的影响. *大连海洋大学学报*, 2010, 25(3):228-232.

- [14] 王楠,李超伦.水母伞径和饵料密度对海月水母(*Aurelia* sp.1)捕食率的影响.海洋与湖沼,2012,43(3):480-485.
- [15] 王文龙,冷向军,刘晃.不同饲料对海月水母生长性能的影响.大连水产学院学报,2009,24(5):412-416.
- [16] Mutlu E. Distribution and abundance of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) and its zooplankton food in the black sea. Marine Biology, 2001,138: 329-339.
- [17] Ishii H, Ohba T, Tobayashi K. Effects of low dissolved oxygen on planula settlement, polyp growth and asexual reproduction of *Aurelia aurita*. Plankton and Benthos Research, 2008, 3(Suppl.):107-113.
- [18] Purcell J E, Atienza D, Fuentes V, Olariaga A, Tilves U, Colahan C, Gili J M. Temperature effects on asexual reproduction rates of scyphozoan species from the northwest Mediterranean Sea. Hydrobiologia,2012,690:169-180.
- [19] Berking S, Czesz N, Gerharz M, Hermann K, Hoffmann U, Raifer H, Sekul G, Siefker B, Sommerei A, Vedder F. A newly discovered oxidant defence system and its involvement in the development of *Aurelia aurita* (Scyphozoa, Cnidaria): reactive oxygen species and elemental iodine control medusa formation. The International Journal of Developmental Biology, 2005,49:969-976.
- [20] Holst S. Effects of climate warming on strobilation and ephyra production of North Sea scyphozoan jellyfish. Hydrobiologia,2012,690:127-140.
- [21] Custance D R N. Light as an inhibitor of strobilation in *Aurelia aurita*. Nature, 1964, 204(4964): 1219 -1220.
- [22] Coyne J A. An investigation of the dynamics of population growth and control in scyphistomae of the scyphozoan *Aurelia aurita*. Chesapeake Science, 1973, 14: 55 -58.
- [23] Kroiher M, Siefker B, Berking S. Induction of segmentation in polyps of *Aurelia aurita* (Scyphozoa, Cnidaria) into medusae and formation of mirrorimage medusa anlagen. The International Journal of Developmental Biology, 2000, 44(5): 485-490.
- [24] 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*.I. Plankton Benthos Research, 2010,5(3):98-105.
- [25] Willcox S, Moltschanivskij N A, Crawford C. Asexual reproduction in scyphistomae of *Aurelia* sp.: Effects of temperature and salinity in an experimental study. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007,353:107-114.
- [26] Liu W C, Lo W T, Purcell J E, Chang H H. Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, *Aurelia aurita* (L.) in Taiwan. Hydrobiologia,2009,616(1):247-258.
- [27] Purcell J E. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiata*. Marine Ecology Progress Series, 2007,348: 183-196.
- [28] 王彦涛,孙松,李超伦,张芳.温度、投饵频次对海月水母(*Aurelia* sp.1)水螅体生长和繁殖的影响.海洋与湖沼,2012,43(5):900-904.
- [29] Thein H, Ikeda H, Uye S I. The potential role of podocysts in perpetuation of the common jellyfish *Aurelia aurita*.l. (Cnidaria: Scyphozoa) in anthropogenically perturbed coastal waters. Hydrobiologia, 2012, 690(1):157-167.
- [30] Gilchrist F G. Budding and locomotion in the scyphistomae of *Aurelia*. The Biological Bulletin, 1937, 72(1): 99-124.
- [31] Vagelli A A. New observations on the asexual reproduction of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa) with comments on the life cycle and adaptive significance. Invertebrate Zoology,2007,4(2):111-127.
- [32] 董婧,孙明,赵云,王彬,刘修泽,于旭光,刘春洋.中国北部海域灾害水母沙蜃(*Nemopilema nomurai*)及其它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.
- [33] Arai M N. The potential importance of podocysts to the formation of scyphozoan blooms: a review. Hydrobiologia, 2009, 616(1):241-246.