

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*

王彦涛^{1,2} 孙松^{1,3} 李超伦¹ 张芳¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 中国科学院海洋研究所山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071)

摘要 水母暴发是一个全球广泛关注的生态问题,水螅体阶段的环境影响是研究水母暴发的重要切入点。本实验从温度(10, 15, 20, 25℃)和投饵频次(无投喂,每周投喂,每天投喂)两个角度进行研究。结果表明,温度对横裂过程、碟状体产生过程影响显著,饵料对水螅体数量影响显著。水螅体从 20℃降温至 10℃和 15℃可发生横裂产生碟状体,适宜横裂的温度范围内,相对高温和充足饵料有利于释放更多碟状体;适宜横裂的温度范围外,相对高温和充足饵料有利于水螅体数量的增加。适宜横裂的温度范围持续时间达到水螅体的响应时间阈值,才能够完成从底栖阶段的水螅体到浮游阶段水母体的转化。

关键词 海月水母, 温度, 饵料, 横裂, 暴发

中图分类号 Q178

近年来,在全球海洋中很多区域水母等大型胶质类浮游动物大量出现,并导致严重的社会经济问题(Arai 2001; Kawahara *et al.*, 2006; Purcell *et al.*, 2007)。因为这类生物是鱼类的竞争者和捕食者,水母的大量发生对于渔业资源可捕捞量形成威胁(Purcell *et al.*, 2001; Uye, 2008; Pauly *et al.*, 2009)。另外,水母大量出现会对沿岸工业设施造成影响,如堵塞核电站、火力发电厂等以海水作为冷却水的冷却水系统(Shimomura, 1959; Uye *et al.*, 2004)。

海月水母(*Aurelia aurita*)属刺胞动物门(Cnidaria)钵水母纲(Scyphozoa),广泛分布于 70°N—40°S 的沿岸海域(Russell, 1970)。在很多沿岸海域,海月水母形成暴发并对人类活动形成严重影响(Yausda, 2003; Purcell *et al.*, 2007)。海月水母生活史具有世代交替,即浮游阶段的水母体及附着阶段的水螅体两个世代,大量水螅体的存在是释放水母体形成水母大量发生的基础,水螅体的繁殖、生长、碟状体的产生等对水母体阶段的种群大小具有重要影响(Kawahara *et al.*,

2006),温度对水母种群具有决定性的影响(Purcell, 2005),水母的种群大小和个体生长与温度的变化关系密切(Willcox *et al.*, 2007)。对饵料与水母生长之间的关系研究多集中在对水母碟状幼体及水母体的研究(Takashi, 2011),而对饵料与水螅体生长之间的关系的研究相对较少。为深入了解温度和饵料对水螅体的生长、繁殖及生活史不同阶段转换的作用,解析自然海域水母种群变动和主要受控因素,本实验设计了不同的温度和饵料梯度,探讨水螅体的生活史策略及水母暴发机制。

1 材料与方法

1.1 材料与实验

用于本实验的海月水母(*Aurelia* sp.1)水螅体来自人工培养条件下繁殖的个体,海月水母亲体在 20℃、饵料充足的环境中进行培养,使用海水养殖中所使用的波纹板进行水螅体的采集。实验过程中剪取长有水螅体的波纹板,大小为 2×3cm,在每块板上保留

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目,2011CB403601号;中国科学院知识创新工程重要方向项目群,KZCX2-YW-Q07号;国家海洋公益性行业科研专项经费项目,201005018号。王彦涛,博士研究生,E-mail: wangyt2006@gmail.com

通讯作者: 孙松, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

相同大小、生长状态良好的水螅体 35 只用于实验。

在实验中设置 4 个温度梯度: 10℃、15℃、20℃ 和 25℃, 这个温度梯度基本能够代表中国北方海域春季和夏初的温度范围。在实验过程中投喂卤虫无节幼体, 对每组温度梯度组设置三个不同的饵料梯度: 无投喂、每周投喂和每天投喂。每组实验生物数量大于 30 只, 实验无重复。在投喂的过程中, 每次投喂高密度的卤虫无节幼体, 保证每个水螅体都能获得足够的饵料, 投喂 2 h 后进行换水, 将水体中残留的卤虫无节幼体去除。实验过程中的光照条件为室内自然光(光照强度低于 200 lx), 光照周期为自然光周期。培养水体为 1000 ml, 容器为 Nalgene 直身广口瓶, 实验用水为砂滤过的天然海水, 实验开始时间为 2011 年 6 月 1 日。

4 个温度梯度用生化培养箱(江南 SPX-270)控制, 初始温度为 20℃, 逐步调节至实验温度(1℃/d)。投饵组每次投喂高密度的卤虫无节幼体, 投喂 2 h 后换水, 所换海水温度和实验梯度相同。这种投喂方法可以减少各个实验组的饵料差异。每周计数水螅体数量、出芽水螅体数量和出芽量。各实验组开始调节温度时记为 0 d, 实验持续 70 d, 计数在 Olympus 解剖镜下进行, 计数时水螅体暴露在解剖镜光源下不超过 5 min。每天肉眼计数碟状体数量并用吸管吸出, 70 d 后只计数碟状体, 实验持续至 102 d。

1.2 数据处理

根据水螅体培养过程中生物学特征的变化定义如下几个阶段: 从实验开始到第一个横裂体出现的时期为横裂前期; 从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; 从碟状体开始释放到停止释放的时期为横裂期。利用 Excel 进行数据描述作图。

2 结果

2.1 水螅体存活及生长

如图 1 所示, 温度调节过程中, 降温处理组少数水螅体死亡; 温度没变化及升温处理组水螅体数量均增加, 繁殖率前者高于后者。说明温度变化对水螅体生长有明显影响, 降温不利于种群的存活, 水螅体更容易适应升温。经过 70 d 的培养, 各处理组水螅体数量均有所增加, 高温组数量明显多于低温组。实验中除温度较低的 10℃ 组, 相同温度下, 水螅体数量随投饵频次增加而增加。

2.2 横裂诱导时间

20℃ 培养的海月水母水螅体降温到 15℃ 和 10℃ 均可诱导横裂, 20℃ 及升温至 25℃ 未发生横裂。如图 2 所示, 10℃ 组横裂前期较 15℃ 组短, 更迅速地诱导横裂, 饵料充足时横裂前期更长。截止实验结束, 各组仍在横裂, 最长横裂期 62 d。

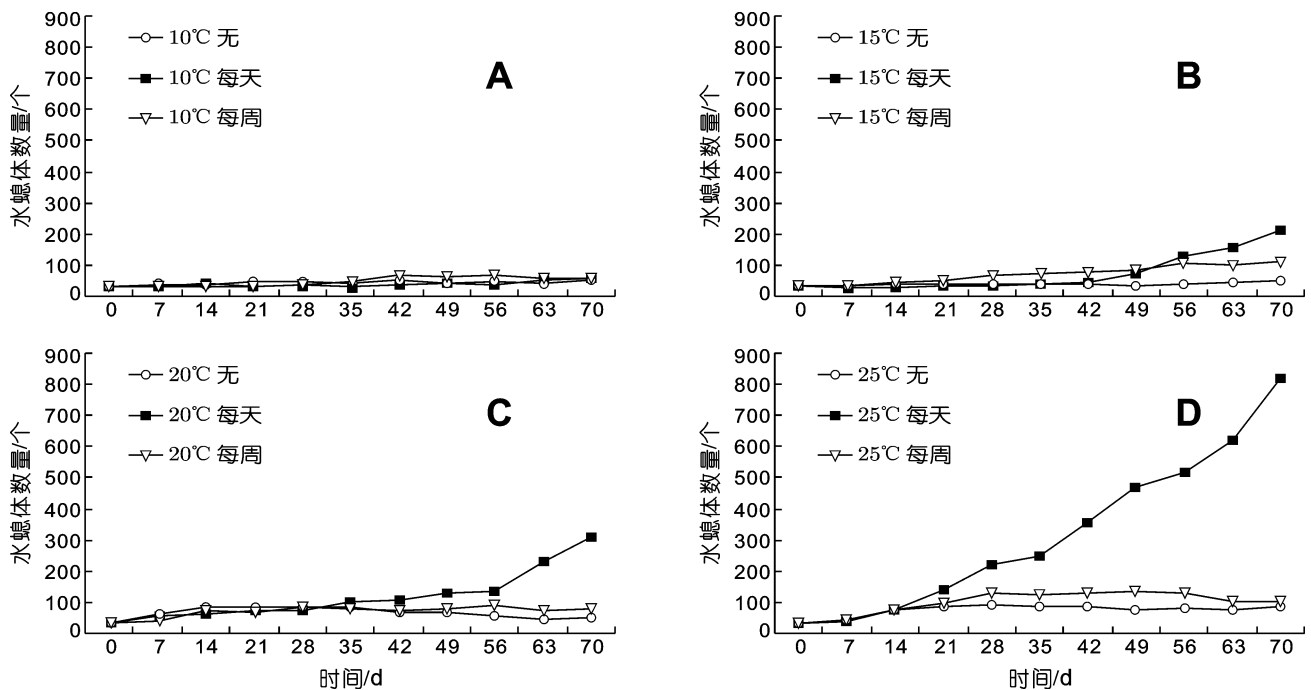


图 1 不同温度饵料组水螅体数量的变化

Fig.1 The numbers of polyps under the influence of temperatures and feedings

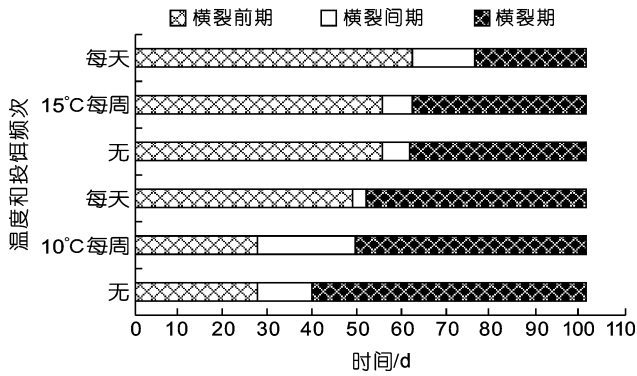


图2 不同温度饵料组横裂前期、横裂间期、横裂期
Fig.2 Pre-strobilation periods (black bars), bet-strobilation (white bars), strobilation periods (gray bars) in a 102-day experiment with different combinations of temperature and feeding

2.3 横裂体数量

如图 3A 所示, 15°C 每天投饵组产生更多的横裂体。10°C 和 15°C 横裂体数量均随投饵频次增加而增加, 饵料对横裂体数量影响显著。

2.4 碟状体数量

如图 3B 所示, 15°C 组平均每周释放碟状体数多于 10°C 组。15°C 每天投饵组平均每周释放碟状体数量明显多于其它各组, 为 122 个/周。15°C 无投饵组平均每周释放碟状体数量最少, 只有 7 个/周。

如图 4 所示, 实验期间 15°C 组累积释放碟状体数量多于 10°C 组。15°C 组每天投饵组累积释放碟状体数量最多, 为 122 个; 15°C 无饵料投喂组累积释放碟状体数量最少, 为 13 个。10°C 和 15°C 组内, 累积释放碟状体数量随投饵频次增加而增加。

2.5 碟状体与水螅体数量比率变化

本实验关注水螅体出芽生殖和横裂产生碟状体两种无性繁殖方式所占的比重变化。碟状体数量与碟状体加出芽数总和的比值可以显示生活史变化途径。如图 5 所示, 10°C 组碟状体所占比例高于 15°C 组, 说

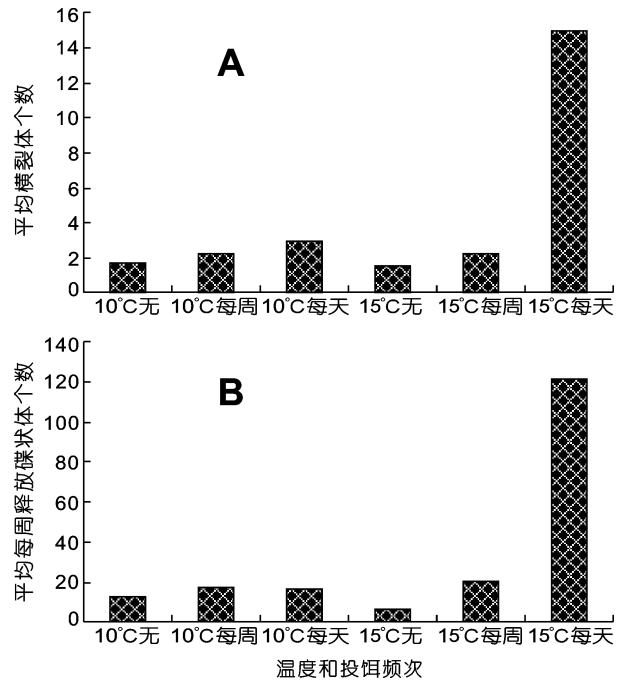


图3 不同温度饵料组的平均横裂体个数(A)和平均每周释放碟状体个数(B)

Fig.3 The average numbers of strobilation(A) and ephyrae per week(B) in treatments with different combinations of temperature and feeding

明低温组能量更多用于产生碟状体, 用于水螅体种群本身扩张的能量较少。两个温度组内, 无投喂组碟状体所占比例高于投喂组, 说明缺少饵料, 即能量不足时主要用于产生碟状体。

3 讨论

温度对水螅体横裂过程影响显著, 这与前人研究结果一致(Willcox *et al*, 2007, Liu *et al*, 2009)。对于栖息于某一自然海域的水螅体适应该海域生境, 在某一温度范围可发生横裂, 从而释放碟状体。这个适

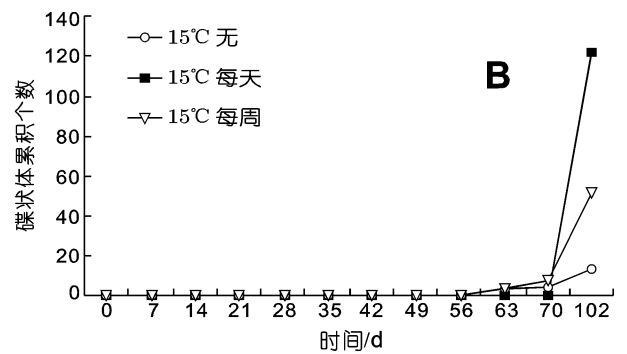
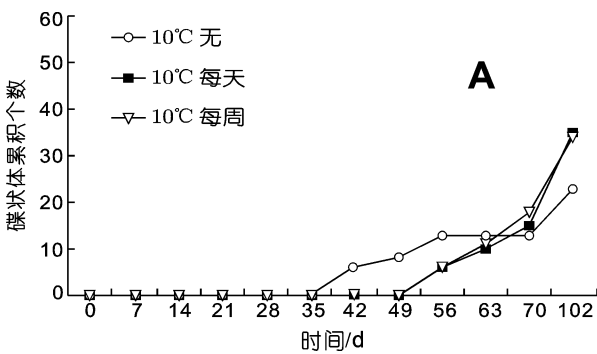


图4 不同温度饵料组碟状体的累积个数

Fig.4 The cumulative numbers of ephyrae in treatments with different combinations of temperature and feeding

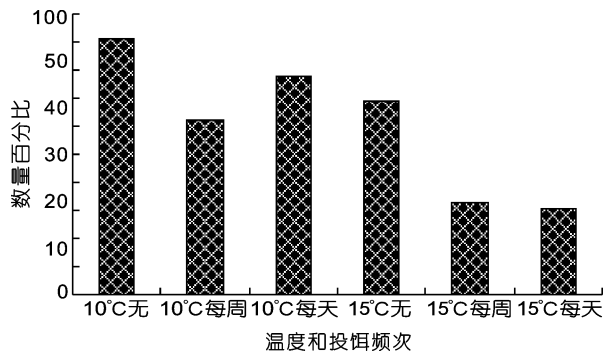


图5 不同温度饵料组碟状体数量和碟状体加新繁殖水螅体数量的百分比

Fig.5 Proportion of ephyrae of total asexual reproduction in treatments with different combinations of temperature and feeding

宜横裂的温度范围持续时间达到水螅体的响应时间阈值, 才可以完成从底栖阶段的水螅体到浮游阶段水母体的转化。

如本实验中在 15°C 饵料充足条件下经历 72 d 开始大量释放碟状体。碟状体在饵料、温度适宜的环境下可迅速成长成大个体水母, 为浮游状态的水母补充了来源, 从而为形成水母暴发提供了基础条件。虽然生物对温度的响应过程是复杂的(Lynam *et al.*, 2010), 但是适宜横裂温度持续时间阈值假说在一定程度上可以解释碟状体的补充问题。这一假说在自然海域是否适用, 需要更多的野外调查数据检验。

饵料对水螅体数量有显著影响。水螅体在湿重 0.068—5.170 mg/L 的饵料浓度内食物消耗呈线性增加 0.005—0.373mg (Tsikhon *et al.*, 1996)。本实验中所用海水为砂滤过的天然海水, 可能含有微型浮游动物和微微型浮游动物, 对于无投饵的实验组, 可以提供少量饵料(Takashi, 2011), 为其存活和生长提供了饵料来源。在本实验的投饵策略下, 只有每天投喂的才可以满足水螅体对饵料的需求。饵料不足能够加快诱导横裂释放碟状体过程, 但不利于水螅体种群的增长。

温度和饵料对水螅体种群数量和水母生活史循环过程起着重要的调控作用。较低温度下, 水螅体种群增殖能力受到限制, 即使饵料浓度较大也不能利用; 而较高温度下, 水螅体种群增殖活跃, 饵料充足时增殖能力较强, 受饵料影响显著。温度条件适宜横裂时, 水螅体进行横裂释放碟状体, 从而增加对生境的选择机会, 饵料不足可加快此过程, 减少水螅体自身数量的繁殖; 当温度条件不适宜横裂时, 水螅体获得的能量用于通过出芽等方式大量增殖, 扩大水螅体自身种群。这种生活史策略最大程度上保障了种群

的延续。存在大量水螅体的海域满足适宜横裂温度持续时间阈值假说条件时即可大量释放碟状体, 使水母暴发成为潜在可能。该研究将为自然状态下水母暴发的机理和模式的建立提供重要参考和依据。

参 考 文 献

- Arai M N, 2001. Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia*, 451: 68—87
- Kawahara M, Uye S, Kohzoh O *et al.*, 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Marine Ecology Progress Series*, 307: 161—173
- Liu W C, Lo W T, Purcell J E *et al.*, 2009. Effects of temperature and light intensity on asexual reproduction of the scyphozoan, *Aurelia aurita* (L.) in Taiwan. *Hydrobiologia*, 616: 247—258
- Lynam C P, Attrill M J, Skogen M D, 2010. Climatic and oceanic influences on the abundance of gelatinous zooplankton in the North Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(6): 1153—1159
- Purcell Jennifer E, 2005. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. *Mar Biol Ass U K*, 85: 461—476
- Purcell J E, Uye S, Lo W T, 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and direct consequences for humans. *Mar EcolProg Ser*, 350: 153—174
- Purcell J E, Arai M N, 2001. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fishes: a review. *Hydrobiologia*, 451: 27—44
- Pauly D, Graham W M, Libralato S *et al.*, 2009. Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models. *Hydrobiologia*, 616: 67—85
- Russell F S, 1970. The Medusae of the British Isles. Pelagic Scyphozoa with a Supplement to the First Volume on Hydromedusae. London: Cambridge University Press, 284
- Shimomura T, 1959. On the unprecedented flourishing of 'Echizenkuraige' *Stomolophus nomurai* (kishinouye), in the Tsushima Warm Current regions in autumn, 1958. *Bulletin of Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory*, 7: 85—107
- Takashi Kamiyama, 2011. Planktonic ciliates as a food source for the scyphozoan *Aurelia aurita* (s.l.): Feeding activity and assimilation of the polyp stage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407(2): 207—215
- Tsikhon Lukanina E A, Reznichenko O G, Lukasheva T A, 1996. Food consumption by scyphistomae of the jellyfish *Aurelia aurita* in the Black sea. *Oceanology*, 35(6): 815—818
- Uye S, 2008. Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: a threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. *Plankton Benthos Res*, 3 (Suppl): 125—131

- Uye S, Ueta Y, 2004. Recent increase of jellyfish populations and their nuisance to fisheries in the Inland Sea of Japan. Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography, 68: 9—19
- Willcox S, Moltschaniwshyj N, Crawford C, 2007. Asexual reproduction in scyphistomae of *Aurelia* sp. Effects of temperature and salinity in an experimental study. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 353: 107—114
- Yausda T, 2003. Jellyfish: UFO of the sea. Koseisha-koseikaku, Tokyo, 1—206 (in Japanese)

EFFECTS OF TEMPERATURE AND FOOD ON ASEXUAL REPRODUCTION OF THE SCYPHOZOAN, *AURELIA* sp.1

WANG Yan-Tao^{1,2}, SUN Song^{1,3}, LI Chao-Lun¹, ZHANG Fang¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Temperature and food play a vital role in determining asexual direction of jelly fish in its polyp stage. The combinations of four temperature grades (10, 15, 20 and 25°C) and three food levels (no food, feed once a week and feed everyday) were set up to exam *Aurelia* sp.1 life cycle strategy. Temperature could determine the strobilation and ephyrae release. Food determined the number of polyps. Temperature changing from 20°C to 15°C and 10°C induced ephyrae release. In suitable temperature range for strobilation, relatively higher temperature and sufficient food enabled polyps to produce more ephyrae. At temperatures beyond range for strobilation, sufficient food condition enabled polyp produce polyps. Higher temperature and lower food level induced higher polyp mortality.

Key words *Aurelia* sp.1, Temperature, Food, Strobilation, Bloom