

# 对黄、东海水母暴发机理的新认知\*

孙 松

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 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)

**提要** 基于大量实验结果和大规模海上考察和综合分析,从基础生物学和生态学的角度,对中国近海水母暴发的机理提出一种新的理论模式:水母生活史中的大部分时间以水螅体的形式生活在海底;水母种群的暴发是水螅体对环境变异的一种应激反应,是为了逃避动荡环境、扩大分布范围、寻求新的生存空间,为种群繁衍需求更多的机会的一种生存策略。导致水母种群暴发的关键过程是海洋底层温度的变动和饵料数量的变化,全球气候变化和富营养化是中国近海水母暴发的最重要诱发因素。水母暴发是全球变化下海洋生态系统演变的一种综合体现。

**关键词** 水母暴发,气候变化,富营养化,生态系统演变,生态灾害

**中图分类号** Q178.1; Q958.885.3

在全球气候变化和人类活动等多重压力下,海洋生态系统、特别是近海生态系统发生了很大的变化。海平面上升、海水温度升高、海洋富营养化、污染物的排放、海岸带工程和海洋生物资源的过度开发等都对海洋生态系统产生了重要的影响,生态灾害不断发生。继赤潮、绿潮等由植物的快速繁殖引起的生态灾害之后,一种由海洋动物——水母的数量增多而导致的生态灾害也受到全球的关注。水母等胶质性浮游生物的大量繁殖对海洋渔业、沿海工业、滨海旅游业和海洋生态系统等都造成严重威胁。为什么全球海域中的水母会出现增多的现象?这种现象是暂时的、周期性的,还是趋势性的、长期的?这是人们关注的核心问题(Jackson *et al*, 2001; Richardson *et al*, 2009; Condon *et al*, 2012; Schrope, 2012; Uye *et al*, 2004)。

水母属于腔肠动物,身体结构非常简单,为低等海洋动物。水母起源于 5 亿多年前的寒武纪(Chen *et al*, 2007; Hagadorn *et al*, 2002),曾经是海洋中的主导性生物。在过去的 5 亿多年中,地球上的生物经历了 5 次大的灭绝事件,但水母却奇迹般地生存了下来,而且在全球海洋中不断繁衍。水母具有世代交替的繁殖特性——有性世代和无性世代交替出现(图 1),正

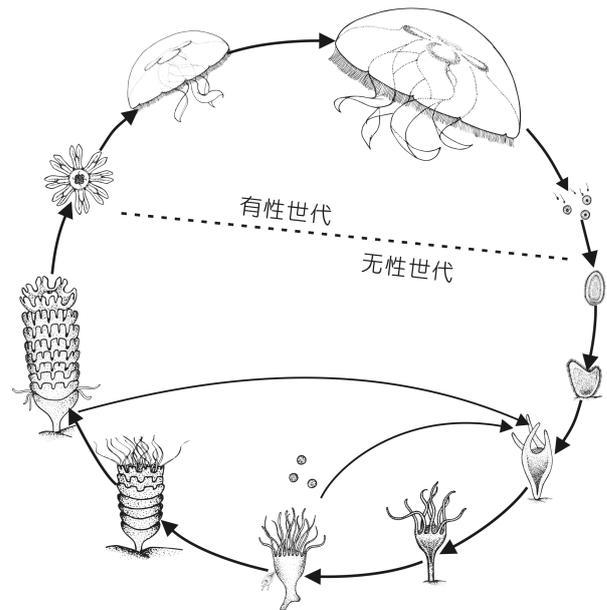


图 1 水母生活史示意图

Fig.1 Schematic diagram of jellyfish life cycle  
注:水母生活史的一个非常重要的特征是世代交替:有性生殖和无性生殖交替出现,水母体通过有性生殖产生水螅体,水螅体通过无性生殖产生水螅体、或者水母体。水母体在海水中营自由生活,水螅体在海底营附着生活。水螅体的无性繁殖具有不同的方式:通过足囊生殖和出芽生殖产生新的水螅体(水螅体—水螅体);通过横裂生殖产生碟状幼体,然后发育为幼水母(水螅体—碟状幼体—水母)

\* 国家重点基础研究发展计划(973)项目,2011CB403601号。孙松,博士,研究员, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期:2011-12-31, 收修改稿日期:2012-02-28

是水母的这种生殖特性使其能够度过不良环境。水母生活史中的关键阶段是水螅体阶段, 因为水螅体的繁殖方式可以向不同的方向发展。

## 1 对导致水母暴发原因的探索

对于导致全球许多海域水母数量增多、在一些区域出现暴发的现象, 有各种各样的解释, 归纳起来主要有下面几种看法: (1) 由于渔业资源的减少, 降低了水母被捕食和食物竞争的压力, 给水母的暴发提供了机会(Purcell, 2012); (2) 由于富营养化导致的浮游藻类增多, 特别是小型和微型浮游生物的增多, 藻类的沉降和分解导致水体底部缺氧, 这样的环境不适合其它生物的生存, 但水母具有耐受这些恶劣环境的能力, 因此水母的数量急剧增多(Arai, 2001; Purcell, 2012); (3) 由于全球气候变化引起的, 从一些现象的分析中可以看出, 水母数量变化与海水温度变化具有很好的对应关系(Attrill *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2009); (4) 由于外来种的入侵导致的, 船舶的压舱水可将水母从一个海域带到另一个海域(Kideys, 2002; Graham *et al.*, 2007); (5) 由于海岸带的改变而引起的, 例如, 大量海岸带工程为水母水螅体的附着提供了硬质附着基(Lo *et al.*, 2008)。

在上述这些解释中, 都难以解释这样一个基本现象: 水母的暴发具有不连续性, 有些年份出现, 而另一些年份却不出现, 而且很少有连续几年暴发的现象。在所有这些研究中, 人们的注意力都是放在水母体阶段, 但实际上, 问题的关键应该是在水螅体阶段。

## 2 对水母繁殖方式的新认知

水螅体生活在相对安定的环境中, 而水母体生活在充满风险、不稳定的环境中, 环境决定其命运。水螅体通过横裂生殖的无性生殖方式产生水母体, 是水母扩大生存空间、寻找新的栖息地的生殖策略。水母具有世代交替的生物学特性, 在有关水母的描述中, 一般将水螅体阶段作为水母生活史中的一个短暂的生殖阶段。其实, 能够使水母度过不利环境、在亿万年的历史长河中生存繁衍下来的一个重要因素, 是由于它们具有世代交替的能力, 其生活史中的关键阶段是水螅体阶段, 因为水螅体生活在相对安定的底栖环境中; 水螅体在环境不利的条件下也能够进行休眠(Richardson *et al.*, 2009)。水螅体具有多种不同的繁殖方式以适应环境的变化: 既能够通过足囊和出芽等无性繁殖方式产生新的水螅体, 也能通

过横裂生殖的方式产生碟状幼体。水螅体无性繁殖方式的改变取决于环境的变化(图 1)。通过横裂生殖产生碟状幼体是水螅体离开海底、离开它们熟悉的环境、寻求新的栖息地的关键环节。从碟状幼体开始, 它们就开始了随波逐流、充满风险、前途未卜的流浪生活。它们将被风和流带到完全陌生和未知的世界, 将面临饵料短缺和被捕食等众多风险, 在成熟之后还将面临的风险是雌、雄个体能否在水体中相聚在一起、产生的雄性和雌性配子能否顺利结合从而通过有性繁殖产生另一种形式的幼体——浮浪幼体。浮浪幼体沉到海底之后变态为水螅体(浮浪幼体—水螅体), 浮浪幼体又将面临找不到合适的附着基、被摄食、环境不适宜等方面的风险。这个过程尽管充满风险, 却为水母度过不良环境、增加生存机会、扩大生存空间提供了机遇。每年都会有一部分水螅体离开海底, 变为水母, 为种群繁衍进行冒险, 寻求新的生存空间。每年有多少水螅体会通过横裂生殖产生碟状幼体? 每个水螅体能够产生多少个碟状幼体? 这个过程对水体中水母种群的数量是一个关键环节, 也是了解和认识水母暴发机理的关键环节。

## 3 对水母暴发机理的新认知——理论模式

水母种群的暴发是对环境变异的一种应激反应, 是一种生物迁徙行为, 其目的是为了逃避动荡的环境、扩大分布范围、寻求新的生存空间、为种群繁衍寻求更多的机会, 这是水母在几亿年的漫长历史演化过程中能够生存下来、持续繁衍的一个重要特征。

水母体的出现是水螅体扩大分布范围、度过不良环境的一种生殖策略。通过作者在实验室内对不同的温度和饵料组合实验证明: 温度和饵料是控制水螅体发育方向和生殖策略的关键因子。以海月水母为实验材料, 经过组合和比较实验证明: 在低温(10℃以下)环境下, 水螅体向个体生长的方向发展, 水螅体的能量主要用于自身的生长, 而不是繁殖。在低温情况下, 饵料的作用不是十分明显, 主要原因是在温度低的环境中水螅体的代谢减慢; 在温度为 15 的环境中, 水螅体开始进行横裂生殖, 产生碟状幼体。将温度控制在 15℃的范围内, 水螅体会不断进行横裂繁殖、持续产生碟状幼体。在此温度条件下, 饵料对水螅体的生长和繁殖具有明显的影响, 说明此时水螅体的代谢活跃, 对能量需求很大; 超过 15℃之后, 在 20—25℃范围内, 水螅体生长活跃, 但主要发展方向是通过足囊、出芽等生殖方式进行无性繁殖: 水螅

体产生水螅体, 所以水螅体的数量会迅速增多。通过温度和饵料组合实验发现在温度低、饵料少的情况下, 水螅体的能量去向主要是用于自身的生长, 水螅体个体增大, 这有利于进行横裂生殖; 在温度较高的环境中, 饵料的作用十分重要, 在饵料不足的情况下, 水螅体的死亡率增加。

水母种群暴发是对动荡环境的应激反应。水螅体能够通过无性繁殖产生新的水螅体, 但水母体几乎不能从水母体产生水母体(钵水母类), 水螅体能够通过休眠等方式度过不良环境, 但水母体却很难做到。通过大量的实验和对水母生活习性、生活史策略、演化历史等方面的综合分析, 可以进行以下的假设: 在水母演化过程中, 它们的主要生存方式是在海底营底栖生活, 在温度、饵料适宜的环境中, 水螅体通过无性繁殖方式产生新的水螅体, 种群可以得以繁衍。在环境适宜的条件下, 一部分水螅体能够通过横裂生殖的方式产生碟状幼体, 变态为水母体后随波逐流达到扩大分布范围的目的。海月水母、海蛰、沙蛰和霞水母等都有一个共同的特点: 在受到温度刺激时进行横裂生殖、产生碟状幼体。所以温度的变动是促使水螅体向横裂繁殖方式转变、产生碟状幼体的必要条件, 而丰富的饵料是保障幼水母发育成功的最重要的条件。在动荡的环境下, 温度变动、饵料生物数量变动等将促使水螅体向横裂生殖的方向发展, 这有利于水螅体扩大分布范围, 增加生存几率、度过不良环境。

水母种群暴发取决于水螅体的数量、环境刺激(特别是温度刺激)、适合水螅体进行横裂生殖的时间长度, 以及充足的饵料供给。

#### 4 对我国近海水母暴发的几个关键问题的探讨

动荡的海洋环境有利于水母种群的暴发。底层海水温度的变动能够诱导水螅体产生碟状幼体, 在动荡的海洋环境中, 浮游生物特别是小型和微型浮游生物数量增加, 为水母的生长提供了重要的能量保障。而在动荡的环境中, 不利于其它生物的生存, 这也为水母的暴发提供了“良好的机会”。

在我国北方海域: 渤海、黄海和东海都有发生海月水母的条件, 关键是春季温度的变化和饵料生物的数量变化, 如果在春季底层水温在  $15^{\circ}\text{C}$  的时间长, 水母暴发的可能性就大。从现有的实验可以推测: 在

冬季温度偏低、饵料生物相对较少、春季温度偏暖、海水温度为  $15^{\circ}\text{C}$  的时间拉长、饵料生物大量繁殖的前提下, 海月水母暴发的可能性最大。台湾海峡以北的近海海域, 大型水母——沙蛰和霞水母等的主要发源地位于长江口及其邻近海域。主要依据是水螅体阶段的横裂生殖需要进行温度刺激, 而长江口及其邻近海域由于受到台湾暖流和黑潮东海分支的影响, 相对于其它海域来讲, 更具备这样的环境条件。从作者在海上大量调查和现场追踪的结果来看, 符合上述推论: 从 5—8 月海上观测结果来看, 从舟山群岛开始到青岛方向, 水母的个体大小逐渐增大。2011 年对胶州湾的连续观测表明, 7 月份之前在胶州湾中没有发现沙蛰和白色霞水母, 但在 8 月份突然出现大量的沙蛰和白色霞水母的成体, 沙蛰的直径超过 1m。说明 2011 年在胶州湾出现的沙蛰和白色霞水母不是在当地繁殖和发育起来, 而是随海流飘进胶州湾的。通过海上质点追踪和模拟, 认为这些水母来自长江口和苏北浅滩的可能性非常大。

全球气候变化是导致水母暴发的关键驱动因素: 全球气候变化导致局部区域海水温度升温、特别是底层水温的剧烈波动, 在温度变动的刺激下, 水螅体向横裂生殖方式发展, 产生大量的碟状幼体, 迅速发育为幼水母。在饵料充足的环境中, 水母迅速生长, 当它们在海上大量出现的时候, 就是人们通常看到的“水母暴发”现象。富营养化导致水体中微型生物大量出现, 这不利于浮游动物等的生长和发育, 因为很多浮游动物不能直接利用这些微型和微微型生物。但由于水母是滤食性生物, 很容易摄取这些生物作为饵料, 丰富的饵料为水母暴发提供了物质基础。

#### 5 对水母暴发不连续性的新认知

目前有关水母暴发的问题有很多的解释和说法, 重点在于全球气候变化导致的周期性的变化或是人类活动导致的趋势性变化, 争论的焦点是水母是否会成为海洋生态系统的主宰。但所有这些研究都难以解释这样一个基本事实: 水母的暴发不是连续性的, 而是间歇性的。如果仅仅是由于气候变化或者是人类活动的原因, 那么应该每年都会暴发(例如赤潮和浒苔的暴发), 但实际上水母的暴发是几年、几十年才会暴发一次, 连续暴发的情况比较少。关键还是对水母生活史的认知问题。从作者的理论模式可以进行这样的推论: 水母的水螅体长期生活在海底, 每年有一部

分水螅体会通过横裂繁殖方式产生碟状幼体, 然后发育为小水母, 水母随波逐流在水体中生活几个月的时间, 到秋季环境对其生存不利的情况下, 在水体中释放雌、雄配子, 受精后产生浮浪幼体, 然后沉降到海底附着, 变态为水螅体, 这是正常情况下的生活史策略, 以前人们从教科书中学到的对水母生活史世代交替的描述就是这样的。但这其中有个非常关键的环节: 新产生的水螅体不能回到原来的栖息地: 水螅体通过横裂生殖产生碟状幼体、变为小水母后就随波逐流在海洋中进行飘荡了, 等到水母成熟后进行有性生殖产生浮浪幼体、下沉再变成水螅体时它们已经远离“故乡”, 被风和海流带到了完全陌生的地方, 因为水母游泳能力很差, 只能靠水体流动, 而在大多数情况下水体是不会回流, 也不会静止不动的。因此“原栖息地”中的水螅体补充在很大程度上不是来自自由浮浪幼体变态而来的“新”水螅体, 而主要依靠水螅体本身的无性繁殖。因此, 水母不能连续暴发的原因是水母产生的水螅体不能补充到“发源地”, 所以需要积累一定时间才能集聚足够的水螅体进行下次暴发。另外, 有效的温度刺激、丰富的饵料供给、足够长的适宜水螅体进行横裂生殖温度的时间、足够大的水螅体种群等各方面的因素要同时满足, 才能促使水母种群的暴发, 而并不是每年都能同时满足这几个条件, 因此水母的种群暴发是间歇性的。

尽管作者已经进行了大量的室内模拟实验和大规模的海上现场考察, 但仍然不能满足对水母复杂生活史、生殖策略、种群暴发等方面的全面了解。我国近海水母暴发机理理论模式的提出, 是基于对水母基础生物学、生态学、大量活体培养、野外现场调查、现场实验以及大量历史数据的综合分析整理得出的一个新的理论框架, 很多具体的数据、证据等都需要进行不断补充和完善。

致谢 本文的绘图由刘梦坛、王敏晓完成, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- Arai M N, 2001. Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia*, 451: 69—87
- Attrill M J, Wright J, Edwards M, 2007. Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea. *Limnology and Oceanography*, 52: 480—485
- Chen J-Y, Schopf J W, Bottjer D J *et al*, 2007. Raman spectra of a Lower Cambrian ctenophore embryo from southwestern Shaanxi, China. *Proceedings of the National Academy of Science*, 104: 6289—6292
- Condon R, Graham W M, Duarte C M *et al*, 2012. Questioning the rise of gelatinous zooplankton in the world's oceans. *BioScience*, 62(2): 160—169
- Graham W M, Bayha K M, 2007. Biological Invasions by Marine Jellyfish. In: Nentwig W ed. *Ecological Studies, Biological Invasions*. Berlin: Springer-Verlag, 193: 240—255
- Hagadorn J W, Dott R H Jr, Damrow D, 2002. Stranded on a Late Cambrian shoreline: Medusae from central Wisconsin. *Geology*, 30: 147—150
- Jackson J B C, Kirby M X, Berger W H *et al*, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293: 629—637
- Kideys A E, 2002. Fall and Rise of the Black Sea Ecosystem. *Science*, 297: 1482—1484
- Lo W T, Purcell J E, Huang J J *et al*, 2008. Enhancement of jellyfish (*Aurelia aurita*) populations by extensive aquaculture rafts in a coastal lagoon in Taiwan. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3): 453—461
- Purcell J E, 2012. Jellyfish and Ctenophore Blooms Coincide with Human Proliferations and Environmental Perturbations. *Annual Review of Marine Science*, 4: 209—235
- Richardson A J, Bakun A, Hays G C *et al*, 2009. The jellyfish joyride: Causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 312—322
- Schrope M, 2012. Marine ecology: Attack of the blobs. Jellyfish will bloom as ocean health declines, warn biologists. Are they already taking over? *Nature*, 482: 20—21
- Uye S, Ueta U, 2004. Recent increase of jellyfish populations and their nuisance to fisheries in the Inland Sea of Japan. *Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 68: 9—19

## NEW PERCEPTION OF JELLYFISH BLOOM IN THE EAST CHINA SEA AND YELLOW SEA

SUN Song

(Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

**Abstract** The results of the experiments in laboratory and cruises in the Chinese coastal waters and continental shelf area showed that the jellyfish bloom occurred in the East China Sea and Yellow Sea was caused by bottom sea water temperature turbulence and the rich food supply. The hypothesis is that the jellyfish usually live on the sea bottom as the form of polyps as benthos, when the environment temperature under the turbulent condition, it will trigger the polyps asexual reproduction to the strobilation, producing ephyra. This process is the way for jellyfish to escape from the crisis environment, wander in the sea water to settle in the new environment and find new opportunities for live by coincidence. The key factors for the jellyfish bloom are temperature stimulation and food supply. Climate change and eutrophication are the main causes of the jellyfish bloom in the Chinese coastal waters.

**Key words** Jellyfish bloom, Climate change, Eutrophication, Ecosystem dynamics, Ecological disasters

### 中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会 暨学术研讨会通知 (第二轮)

中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会暨学术研讨会, 定于 2012 年 11 月 3—6 日在青岛市黄海饭店召开。

#### 一、会议主题: 全球变化下的海洋与湖沼

会议下设专题:

(1) 海洋生态系统演变与生态灾害; (2) 海洋动力过程及海气相互作用; (3) 海洋腐蚀、污损及其控制; (4) 全球变化下的河口海岸; (5) 中国边缘海及邻近大洋地质过程与演化; (6) 全球变化下的水产养殖; (7) 生物地球化学循环与生态安全; (8) 应对全球变化的海洋生物技术; (9) 水体环境遥感监测与预警; (10) 湖泊与流域。

#### 二、会议征文

大会针对以上十个专题征集论文摘要, 计划编辑论文摘要集, 会后出版论文专集。

截稿日期: 2012 年 8 月 31 日, 投稿网址: <http://csol.csp.escience.cn/dct/page/1>

#### 三、联系方式

联系人: 李毅萍(13012505509) 彭海青(13864855610) 徐雯(13792877290);

联系电话: 0532-82898636, 0532-82898757, 0532-82898752;

Email: [ypli@qdio.ac.cn](mailto:ypli@qdio.ac.cn), [hqpeng@qdio.ac.cn](mailto:hqpeng@qdio.ac.cn), [xuwen@qdio.ac.cn](mailto:xuwen@qdio.ac.cn);

通讯地址: 青岛市 南海路七号 中国科学院海洋研究所; 邮编: 266071。

参会者请于 2012 年 9 月 30 日前登录会议网站 <http://csol.csp.escience.cn/dct/page/1> 进行在线注册或将报名回执表发送至:

[hqpeng@qdio.ac.cn](mailto:hqpeng@qdio.ac.cn)

会议地点: 青岛市黄海饭店(青岛市市南区延安一路 75 号)

饭店联系电话: 0532-82870215

中国《海洋与湖沼》学会  
2012 年 6 月 26 日