

孙松. 水母暴发研究所面临的挑战[J]. 地球科学进展, 2012, 27(3): 257-261. [Sun Song. Challenges in the jellyfish bloom research[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(3): 257-261.]

水母暴发研究所面临的挑战^{*}

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 胶州湾海洋
生态系统研究站, 山东 青岛 266071)

摘 要:在过去的 10 多年中,全球海洋中的水母数量都有所增加,在一些局部区域出现了水母种群暴发的现象,主要是在近海、特别是一些重要的渔场和高生产力区。水母暴发已经形成重要的生态灾害,对沿海工业、海洋渔业和滨海旅游业等造成严重危害。水母暴发的原因、生态危害、如何应对等是一个世界性难题,引起全球沿海国家的重视,也是国际海洋生态系统研究领域的焦点问题之一。由于水母特殊的生物学和生态学特性,水母暴发的研究面临众多的困难和挑战。水母的暴发与全球气候变化、海洋渔业活动、富营养化、海岸带工程等密切相关,水母暴发现象是海洋生态系统演变的一种具体体现,通过对水母暴发机理的研究,将会加深对在全球变化和人类活动共同作用下海洋生态系统演变机理和变化趋势的了解。

关 键 词:水母暴发;生态灾害;生态系统演变

中图分类号:P171

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2012)03-0257-05

水母是一类肉食性低等动物,生长速度快、天敌少、蔓延迅速,大量猎杀和摄食浮游动物以及鱼类的卵和幼体,导致生态系统受损。由于水母的暴发,对海洋渔业、旅游、沿岸工业和人身安全等造成很大威胁,形成严重生态灾害,也是目前为止海洋中由于动物的大量出现而形成的最重要的生态灾害。水母的暴发不仅对海洋渔业、滨海旅游业和沿岸工业造成影响,更为严重的是对海洋生态系统结构与功能造成严重影响。

水母暴发是全球性的,在近海区域、特别是一些大的渔场出现的频率比较高。水母的大量出现引起社会和媒体的密切关注,人们最关心的是导致水母暴发的原因以及未来的发展趋势。

水母体内含水量很高,往往超过 95%,而且主要分布在水深 10 m 以下的海洋中,因此很难用声学探测仪器和卫星等进行观测,加之水母身体很容易

破裂,使用网具采样方法也很困难,所以在海洋浮游动物调查中一般不包括水母的调查,因此水母种类和数量变动的科学数据缺乏;另外,由于水母经济价值很低,而且一些大型水母会对渔网和渔获物造成破坏,所以在海上渔业捕捞活动中人们也避免捕捞水母,因此也没有水母渔业方面的统计数据,更谈不上长期变化方面的相关信息。现在的一个现实问题是:水母的确在增多,在世界上的很多地方由于水母的大量出现,已经影响到沿海的一些核电站、海水淡化厂、化工厂,甚至海上航行船舶的正常运行,因为这些设施都需要大量的海水进行冷却,而水母的暴发会使冷却系统堵塞,迫使这些设施关闭;在一些海域由于大型水母的暴发,导致渔业活动受到严重影响、渔获物减少^[1];水母的暴发也导致一些滨海旅游设施关闭,很多在海滨游泳的游客都有被水母“蛰伤”的经历,每年被水母“蛰死”的人数超过 100

* 收稿日期:2011-12-05;修回日期:2012-01-30.

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“中国近海水母暴发的关键过程、机理及生态环境效应”(编号:2011CB403600)资助。
作者简介:孙松(1959-),男,山东莱阳人,研究员,主要从事生物海洋学和海洋生态学研究. E-mail: sunsong@qdio. ac. cn

人(仅有报道统计的人数),远远多于被鲨鱼伤害的人数。上述这些事件的出现都伴随着重大经济损失的发生,甚至影响到人身安全和生命,所以引起媒体和社会的关注,因而这方面的报道逐年增多。水母数量的增多对海洋生态系统结构与功能的影响,与海洋生态系统演变的关系,与全球气候变化、人类活动之间的关系等更是人们所关心的深层次问题。在全球水母暴发这个问题上,新闻报道的数量远远高于科学论文的数量,说明社会的关注度非常高,而科学研究跟不上形势的发展速度,反映出水母暴发的经济、社会效应非常高,在很多沿海国家已经成为一个大众话题;另一个方面,科学界对水母问题的研究也日益加强,2011年3月在智利召开的第五届国际浮游动物研究方法国际大会上,一个非常明显的趋势是水母的暴发和海洋酸化的会议报告和论文都大幅度增长,已经成为海洋生态领域一个重要的核心研究内容。但到目前为止,水母暴发的原因、由水母暴发而导致的生态灾害、如何进行应对等仍然是一个世界性难题。

1 水母研究的历史回顾与研究进展

水母作为一类重要的海洋生物,海洋生物学家对其进行了长期的研究,但是对水母暴发问题开展研究是从20世纪60年代开始的,在此期间,科学界经历了几个不同的研究和认识阶段,归纳起来主要经历了下面4个主要的转折期:

第一个转折期出现在20世纪60年代中后期,当时美国颁布了《水母法案》(The Jellyfish Act),该法案设立了当时用于基础研究的一笔最大基金,主要是针对美国切萨皮克湾中的水母暴发问题开展研究。尽管《水母法案》的实施未能达到对切萨皮克湾中的水母种群进行调控的初衷,却极大地推动了水母基础生物学的研究,包括摄食、生长、繁殖、发育和行为等各个方面。更为重要的是,使人们认识到水母暴发的问题,不是简单的个体生物学的问题,而是种群生态学的问题,促进了水母研究从个体生物学转向种群生态学研究^[2]。

第二个转折点出现在20世纪70~80年代,主要以联合国环境署实施的“地中海行动计划”(Mediterranean Action Plan, MAP)为契机。实施“地中海行动计划”的目的是要研究和控制地中海的污染问题,作为这个行动计划的一部分,分别在1983年、1986年和1987年召开研讨会,探讨环境污染与水母暴发之间的关系。这些研讨会以及随后出版的相

关科学报告^[3,4],使人们对水母暴发与环境变化、人类活动之间的复杂关系有了深刻的认识。该计划的实施,使水母的研究开始走向综合性的生态学研究。

第三次转折发生在20世纪80年代后期,人们对水母的认识发生了根本性的转变:因为水母的暴发不仅是生态学的问题,而且能够导致一系列的经济、社会和政治问题。导致这一变化的起因是黑海生态系统体系的转变(regime shift)——由于水母的暴发导致具有极大经济价值的黑海鳀鱼渔业的崩溃^[5],整个生态系统被水母占领。水母暴发的原因是过度捕捞、海水养殖所引起的富营养化和淡水的分流等导致生态系统结构与功能的改变,从而为一种外来的栉水母(*Mnemiopsis leidyi*,通过船舶压舱水从美国传到了黑海)的暴发提供了机会。这个事件使人们将水母的暴发与社会经济学以及政治关联了起来。人们对“生态灾害”的觉醒,使科学界对近海生态系统的复杂性与胶质浮游动物在其中的功能地位的研究更加推向深入。在20世纪60年代人们认为水母暴发只是“水母问题”,而现在我们认识到水母的暴发是整个生态系统在全球变化和人类活动影响下生态系统演变的一个征兆。

第四个转折点出现在20世纪90年代末期,人们认识到水母暴发是一个全球化的问题,强调应该从全球范围内开展水母暴发动力学研究,建立“全球水母监视网络”,同时唤起公众对水母暴发所导致的灾害的关注,呼吁更多的科学家开展这方面的研究,探讨水母灾害的发生、演变与控制理论。

进入21世纪,水母暴发在全球范围内呈增长趋势,对海洋生态环境造成更大威胁,世界上很多重要渔场被水母“占领”,水母暴发诱发的生态灾害受到全球普遍关注。为此,在全球范围内相继召开了3次以水母暴发为主题的国际性研讨会:

第一次研讨会于2000年1月12~14日在美国阿拉巴马举行,议题是世界范围内水母暴发对生态与社会两方面重要性的探讨。来自13个国家的70多名代表参加了会议。会后于2001年出版了专辑《水母暴发对生态和社会的重要意义》(*Jellyfish blooms: Ecological and societal importance*)。

第二次水母国际研讨会于2007年6月在澳大利亚黄金海岸召开,来自17个国家的61名科学家参加了会议。此次会议对导致水母暴发的原因、生态效应以及一些最新的研究进展进行了交流,随后于2009年出版了专辑《水母暴发的原因、后果以及最新研究》(*Jellyfish blooms: Causes, consequences,*

and recent advances)。

第三次国际研讨会议于2010年7月在阿根廷召开。来自世界各地的100多名专家参加了会议。会议主要议题包括水母暴发的原因和生态效应、水母与渔业资源间的相互作用、水母与基于生态系统的管理3个方面,此次会议的论文集将在近期出版。同时会议决定第四次水母问题国际会议2年后在日本召开。

2 水母研究中的困难性和复杂性

水母具有非常复杂的生活史。很多水母具有世代交替的特性,即有性生殖和无性生殖交替出现:我们所见到的水母体在水中只有几个月的时间,它们在水中排出精子和卵子,进行有性生殖,随后就死亡了。水母幼体沉到海底,变态成为水螅体,尽管水母的个体可以很大,但是生活在海底的水螅体却只有几个毫米大小。与在水中营漂浮生活的水母体不同,水螅体在海底营底栖生活,水螅体能够进行无性繁殖,由水螅体产生水螅体,它们也能通过无性生殖产生碟状幼体,碟状幼体再发育成小水母。水母的水螅体具有休眠的特性,已经发现有的水螅体能够在海底休眠超过40年^[6,7]。水螅体能否产生水母幼体、产生多少等受制于很多环境条件,具有很强的不确定性,这为水母暴发预测预报研究增加了很多困难。

对于水母暴发的原因,人们进行过多方面的研究与探索,也提出了各种各样的解释,但是由于这些研究大多数都是针对某几种水母在某个特定海域开展的研究,给出的结论也不尽相同,虽然每个解释或者说法都有一些证据作为支持,但所获得的结论往往只能对某个区域的某个事件进行解释,却不能对另外区域的水母暴发原因进行解析。人们也对水母的暴发提出了很多的理论和模式,但由于大量水母科学观测数据和长期观测数据的不足,这些理论和模式大多是基于水母基础生物学和生态学原理的推断,而非系统的科学研究。到目前为止,对于水母在全球海域数量增多的现象,缺乏统一的认识和解释,仍然是个世界难题。归纳起来主要有下面几种说法。

2.1 由于鱼类数量的减少导致水母的暴发

水母的暴发往往出现在世界上的主要渔场,目前在全球20多个渔场都有水母暴发的情况发生。根据这种现象,人们认为是由于渔业资源遭到破坏,给水母暴发提供了物质和种间竞争方面的条件:水

母的主要饵料是浮游动物,鱼类的主要饵料也是浮游动物,因此在鱼类的数量减少之后,降低了鱼类和水母之间的食物竞争,为水母的大量繁殖和生长提供了饵料基础。另外,一些鱼类可能会摄食水母的幼体,鱼类数量的减少,提高了水母幼体的成活率,为水母的暴发提供了种群数量增长方面的有利条件。从大量的统计数据来看,二者之间具有很好的相关性,从生态系统和食物网的角度来看,也有很好的理论依据。不过这种说法也存在一定的问题:是由于水母的增多导致鱼类的减少,还是由于鱼类的减少导致了水母的增多?二者之间存在先后顺序方面的逻辑性问题。但一个不争的事实是:一旦水母暴发、在生态系统中占有主导地位,渔业资源会受到严重破坏。例如在纳米比亚外海生产力较高的上升流区,高强度的捕捞活动摧毁了沙丁鱼资源,曾经高产的渔业生态系统现在被金黄水母等大型水母占据^[8]。而由于水母的大规模暴发,使那里的鱼类数量急剧减少,一个世界著名的渔场不复存在,并且长期难以恢复。高强度的海底拖网作业可能进一步导致了水母暴发,因为大量的潜在水母水螅体阶段的竞争者和捕食者被拖网作业从海底生境中去除,而附近的礁石区,因为难以拖网而成为水母水螅体的避难所。在另外一些海区,比如黑海,过度捕捞导致资源崩溃后空出的生态位,被外来的水母种类占据^[9]。同时我们也必须注意另一个现实情况:在很多不是渔场的地方也有水母暴发的现象发生。

2.2 海水富营养化和有害赤潮导致水母暴发

一些研究表明水母的暴发与环境污染、富营养化和有害赤潮暴发存在密切关系^[10,11]。富营养化导致藻华的发生,特别是从以硅藻为主的藻华过渡为以甲藻为主的藻华。在甲藻为主的生态系统中,甲壳类的浮游动物(如磷虾和桡足类)会急剧减少,微型浮游动物会占据主导地位,由于甲壳类浮游动物的减少,会导致鱼类数量的减少,特别是以浮游动物为饵料的中上层鱼类(浮游食性),如沙丁鱼和鲱鱼的减少,水体中的次级生产力的表现形式主要为小型和微型浮游动物,为水母的暴发提供了足够的物质基础。而在与其他类群的浮游动物竞争中,水母也会成为优胜者。一旦以鱼类为主的生态系统转变为以水母为主的生态系统,海洋生态系统的性质会发生根本改变,且很难发生逆向转变,因为一旦成为生态系统的主导者,水母会通过食物竞争和对鱼卵、鱼类幼体的控制使鱼类的数量发展不起来。很多证据都支持这方面的说法,存在的问题是这方面的理

论无法对夏威夷海域、白令海和亚北极海域的水母暴发现象进行解释,因为那里的富营养化和有害赤潮并不怎么严重,但照样有水母暴发的现象发生。

2.3 气候变化

海水温度的升高会导致水母生长速率提高、分布范围扩大,热带海域的生物向温带和高纬度海域扩展。很多研究表明水母的暴发与气候变化关系密切^[12,13],但这种关系只是根据水母暴发和温度变化之间的相关性做出的判断,对其中的过程和机理并不清楚,也很难找到直接的证据^[14]。

2.4 外来种入侵

黑海、地中海、北海和白令海等海域暴发的水母是由于外来种的入侵引起的^[15,16],但在我国近海和日本沿海以及墨西哥湾等海域暴发的水母却是由本地种引起的,所以通过船舶的压舱水所引起的生物入侵只能作为其中的一个原因,很多地方所发生的水母暴发现象并不是由于外来种入侵引起的。

2.5 海岸带改变

沿岸硬质海底的扩张会为水母水螅体提供良好的附着基。在台湾一些海域暴发的海月水母是由于海水养殖引起的,在消除海水养殖设施之后海月水母就消失了^[17],但在世界上其他海域都没有这样的报道。由于大量海洋工程设施——石油平台和其他海洋工程、海岸设施——码头、人工鱼礁等的增多,为水母的水螅体提供了优良的附着基,为水螅体的大量繁殖提供了良好的条件^[18]。

在水母暴发机理和生态环境效应研究方面尽管存在很多不同的观点,但也形成了一些共识:

(1) 动荡的生态环境有利于水母的生存与发展,特别是一些对鱼类等其他生物不利的环境:富营养化、有害赤潮的暴发和低氧区等。

(2) 水母的暴发与鱼类数量的变动之间有密切的关系。

(3) 水母的暴发与气候变化有密切的相关关系。

(4) 水母的暴发是生态系统变异的一个重要征兆,是生态系统演变的一种表征。

(5) 一旦水母成为生态系统中的主导性生物,海洋生态系统会发生体制上的转变,而且很难恢复。

(6) 要从生态系统演变的角度看待水母暴发的问题。

3 我国开展水母研究的重点

从目前的研究现状和发展趋势来看,我们应该

从生态系统演变的角度探索水母暴发的原因以及水母暴发所产生的生态环境效应,特别是水母的持续暴发对生态系统体制转变的推动作用。从人类活动和气候变化多重压力下生态系统演变的层面上,针对导致水母暴发的环境因子和关键驱动过程、水母暴发与生态系统演变之间的相互关系开展基础性和系统性的研究。对我国来说,上述能够导致水母暴发的因素几乎都存在:近海区域富营养化严重,有害赤潮的暴发有增无减,渔业资源严重衰退,生态系统的结构与功能发生了很大变化,这些现象是否与水母的暴发有直接的联系、我国近海生态系统是否会由于水母的持续暴发而发生体制上的转变、是否会导致严重的生态灾难等都是应该特别引起我们重视的问题。

水母问题的核心是种群的暴发,由于水母的生活史非常复杂,生活史不同发育阶段的发育时间和生长模式受到环境因素变化的调控:与物理环境、化学环境、生物环境和海底环境都有关系。因此我们应该从下面几个方面进行重点研究:

(1) 水母生活史。以水母种群暴发为核心,从环境对水母生活史不同发育阶段的操控作用入手,进行物理环境(温度、盐度、透明度、光照、扰动等)和化学环境(溶解氧、酸度等)对水母生活史不同发育阶段的调控作用的研究。

(2) 食物网结构与功能。从食物网组成和能量流动的角度,开展水母的饵料种类组成和数量对水母生长的调控作用、鱼类和底栖生物对水母不同发育阶段的幼体和水螅体的捕食作用研究,经过综合分析,了解水母生长过程中的环境驱动过程和种群生长机理。

(3) 生态效应。水母研究的另一个关键问题是水母种群暴发后对生态系统的影响,我们应该围绕食物网结构的变化,通过水母对饵料生物的摄食强度、浮游食物网结构的改变、对鱼类卵和幼体的摄食和破坏作用等进行观测和实验,测定各种关键生物学参数,推算对食物网结构和不同功能群的影响。在生态系统层面,通过研究水母种群暴发和消亡过程中对营养盐的释放、对水体化学环境的改变等,研究水母暴发的次生灾害问题。

(4) 综合分析和模拟。在上述研究的基础上,通过综合分析和模拟,结合我国生态系统现状,模拟在水母数量持续增多的情况下,海洋生态系统未来发展趋势,是否会发生体制上的转变,在什么情况下会发生转变,我们应该采取哪些应对策略避免这种

情况的发生,并提出关键措施和途径,为生态系统健康评估、水母灾害评估、防灾减灾提供科学依据和技术支撑。

参考文献 (References):

[1] Uye S. Jellyfish Blooms in East Asian Coastal Seas: Loss of Productive Ecosystem [R]. International Symposium on Integrated Coastal Management for Marine Biodiversity in Asia, 2010:16-19.

[2] Purcell J E, Arai M N. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: A review [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 451: 27-44.

[3] UNEP (United Nations Environmental Programme). Jellyfish blooms in the mediterranean [C] // Proceedings of the II Workshop on Jellyfish in the Mediterranean Sea. Athens, Greece, 1983.

[4] UNEP. Jellyfish blooms in the Mediterranean, Proceedings of the II Workshop on Jellyfish in the Mediterranean Sea [R]. MAP Technical Reports Series No. 47, 1991.

[5] GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Opportunistic Settlers and the Problem of the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* Invasion in the Black Sea [R]. London, 1997.

[6] Bouillon J, Medel M D, Pagès F, et al. Fauna of the Mediterranean Hydrozoa [J]. *Scientia Marina*, 2004, 68: 5-449.

[7] Boero F, Bouillon J, Gravili C, et al. Gelatinous plankton: Irregularities rule the world (sometimes) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, 356:299-310.

[8] Lynam C P, Gibbons M J, Axelsen B E, et al. Jellyfish overtake fish in a heavily fished ecosystem [J]. *Current Biology*, 2006, 16: R492-R493.

[9] Zaitsev Y P. Recent changes in the trophic structure of the Black Sea [J]. *Fisheries Oceanography*, 1992, 1:180-189.

[10] Arai M N. Pelagic coelenterates and eutrophication: A review [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 451: 69-87.

[11] Pitt K A, Kingsford M J, Rissik D, et al. Jellyfish modify the response of planktonic assemblages to nutrient pulses [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 351: 1-13.

[12] Attrill M J, Wright J, Edwards M. Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea [J]. *Limnology and Oceanography*, 2007, 52: 480-485.

[13] Richardson A J, Gibbons M J. Are jellyfish increasing in response to ocean acidification? [J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53: 2 040-2 045.

[14] Purcell J E. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: A review [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2005, 85: 461-476.

[15] Kideys A E. Fall and rise of the Black Sea ecosystem [J]. *Science*, 2002, 297: 1 482-1 484.

[16] Graham W M, Bayha K M. Biological invasions by marine jellyfish [C] // Nentwig W ed. *Ecological Studies, Biological Invasions*. Berlin: Springer-Verlag, 2007, 193(5):239-255.

[17] Lo W T, Purcell J E, Hung J J, et al. Enhancement of jellyfish (*Aurelia aurita*) populations by extensive aquaculture rafts in a coastal lagoon in Taiwan [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, 65: 453-461.

[18] Richardson A J, Bakun A, Hays G C, et al. The jellyfish joyride: Causes, consequences and management responses to a more gelatinous future [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2009, 24(6): 312-322.

Challenges in the Jellyfish Bloom Research

Sun Song

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

Abstract: In the last 10 years, jellyfish bloom occurred in the ocean globally, especially in the coastal waters. Jellyfish bloom is one of the main ecological disasters in the ocean; it affects the coastal industries, fishery and tourism. It is one of the worldwide issues to understand the causes, mechanism and consequences of the jellyfish bloom. The big challenges for the jellyfish bloom research include jellyfish bloom observation, absence of the long term data, complexity of the life cycle for many of the jellyfish. The jellyfish bloom is an indicator of the marine ecosystem change; it is one of the ecosystem responses to the global climate change and the human activities.

Key words: Jellyfish bloom; Ecological disaster; Ecosystem change.