

黄海水温与沙海蜇丰度年际变化的相关分析*

赵亮¹ 李夏¹ 张芳^{2①}

(1. 天津科技大学海洋与环境学院 天津 300457; 2. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

摘要 近十年来,我国黄、东海沙海蜇的数量呈上下波动趋势,除 2008、2010、2011、2013 年为不暴发年外,其余年份均为暴发年或弱暴发年(本文界定沙海蜇平均丰度范围为 2—10ind./100m² 为暴发年,1—2ind./100m² 为弱暴发年,0—1ind./100m² 为不暴发年)。为研究沙海蜇数量年际变化的原因,本文借助同化的海洋模式结果,分析了 2006—2013 年南黄海沙海蜇平均丰度与表底层海水温度的关系、与不同温度持续时间的关系。研究结果发现,在海州湾附近,对于暴发年 2007 年和 2009 年,春季底层海水 10—18℃ 持续时间为 130 天,比不暴发年 2010 年和 2011 年多近 15 天。在长江口区域,不暴发年 2008 年和 2011 年夏秋季底层海水 18—25℃ 持续时间较长,约 80 天,比暴发年 2007 年多 20 天。在长江口、苏北近岸以及海州湾区域,春季底层海水 10—18℃ 持续时间越长,南黄海水母丰度呈现越大的趋势;夏秋季底层海水 18—25℃ 持续时间越长,第二年水母生物量则越大。结果支持和验证了春季底层 10—18℃ 持续时间长有利于当年水母暴发及夏秋季底层 18—25℃ 持续时间长有利于来年水母暴发的推论。本文通过分析沙海蜇丰度和温度变化的关系,可以为将来预测该水母数量提供基础。

关键词 黄海;水母多发;温度变化;持续时间

中图分类号 Q958

doi: 10.11693/hyh20151000272

近十年来,在全球海洋的局部海域特别是近海一些重要的渔场和高生产力区出现了水母种群暴发的现象,水母暴发已经成为重要的生态灾害之一,对沿海工业、海洋渔业和滨海旅游业等都造成严重危害(孙松, 2012a)。虽然全球诸多海域出现水母数量增多的现象,然而最近的研究显示,全球水母的增加是否具有普遍性仍备受争论,大量研究表明,最近几十年来全球大约 27% 的海域水母丰度出现增加情况(Condon *et al.*, 2013)。无论如何,水母数量的变化可作为海洋生态系统演变的指示,探究水母多发的原因对于资源的可持续利用、海洋生态系统的健康发展具有重要意义。水母的数量及生态学角色越来越引起全球海洋生态学家的兴趣(Purcell, 2005; Purcell, 2007; Zhang *et al.*, 2012)。自 20 世纪 90 年代末起,大型水母沙海蜇频繁暴发于东亚海域,包括中国渤海、黄

海、东海北部、日本海及韩国海域(程家骅等, 2005; 丁峰元等, 2005; Kawahara *et al.*, 2006; Uye, 2008; Zhang *et al.*, 2012; Yoon *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2015)。我们根据沙海蜇平均丰度范围人为划分暴发程度,例如平均丰度为 2—10ind./100m² 为暴发年,1—2ind./100m² 为弱暴发年,0—1ind./100m² 为不暴发年。在 2003 年至 2013 年十年间,水母除 2008、2010、2011、2013 年没有暴发外,其余年份均为暴发年或弱暴发年(Sun *et al.*, 2015)。经过我国科学家多年的研究,对该种的暴发原因已取得重要进展。研究发现,我国近海沙海蜇暴发原因和机制主要包括过度捕捞、富营养化、底栖生物的改变、气候变化等多个方面(仲霞铭等, 2004; 严利平等, 2004; 周永东等, 2004; 程家骅等, 2004; 张芳等, 2009; 孙松等, 2012a, b)。其中,与研究全球水母与气候变化的关系一样,研究气候变化与黄海

* 中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助, XDA11020305 号, XDA11020601 号; 国家自然科学基金项目, 41276016 号; 教育部新世纪优秀人才支持计划项目, NCET-11-0475 号; 国家重点基础研究发展计划项目, 2011CB403606 号。赵亮, 教授, 博士, E-mail: zhaoliang@ouc.edu.cn

① 通讯作者: 张芳, 副研究员, 博士, E-mail: zhangfang@qdio.ac.cn

收稿日期: 2015-10-27, 收修改稿日期: 2016-01-19

沙海蜇丰度之间的关系需要对它们之间的相关关系做比较分析, 然而我国在此方面的研究尚未进行。在温度对沙海蜇生活史影响的研究中, 根据实验室的研究结果(Feng *et al.*, 2015a, b)可总结出温度的季节变化对黄东海沙海蜇种群补充影响有以下推论: (1) 春季底层海水温度 $10\text{—}18^{\circ}\text{C}$ 持续的时间长, 有利于水螅体横裂发生, 进而有利于当年水母暴发; (2) 夏季底层海水温度 $18\text{—}25^{\circ}\text{C}$ 持续时间长, 有利于水螅体的足囊萌发, 有利于下一年的水母暴发。本文借助同化的海洋模式结果及黄海水母总丰度数据, 分析黄海温度自身变化以及特征温度段持续时间与沙海蜇丰度的关系, 讨论了特征温度的年际变化与沙海蜇丰度年际变化的关系, 验证以上室内实验结果的推论, 为黄海沙海蜇将来暴发机制的研究及预测提供基础资料。

1 数据与方法

本文采用的温度数据取自 JCOPE2 (Japan Coastal Predictability Experiment)同化数据。JCOPE2 模型使用 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) /NCAR (The National Center for Atmospheric Research)再分析数据中的风应力、热通量和盐通量作为强迫场, 对多套卫星遥感数据和实测数据进行同化: 包括 1992 年 11 月至 2002 年 1 月的 TOPEX/Poseidon、ERS (European Remote Sensing satellite)-1, 2 和 2002 年 1 月至 2008 年 1 月的 Jason-1、GFO (GeosatFollow-On)卫星高度数据同化得到沿轨海平面高度异常(SSHA); AVHRR/MCSST (Very High Resolution Radiometer/Multi-Channel Sea Surface Temperature)数据同化海表面温度(SST); GTSP (Global Temperature-Salinity Profile Program)的 Argo 浮标和船舶观测资料同化温盐剖面数据。模型水平网格分辨率为 $(1/12)^{\circ}\times(1/12)^{\circ}$, 垂向上为 47 个不等间距 σ 层(Miyazawa *et al.*, 2008)。本文选用了 1993 年 1 月 1 日到 2013 年 12 月 31 日期间的日平均温度结果。

本文中所采用的沙海蜇丰度数据为南黄海全区平均丰度, 具体丰度的获得和计算方法参见 Zhang 等(2012)和 Sun 等(2015), 具体数据引自 Sun 等(2015)。本文在处理温度数据时对于 $10\text{—}18^{\circ}\text{C}$ 持续时间的定义为: 从当年 3 月 1 号开始算起, 至 9 月 30 号结束, 连续 5 天温度在 $10\text{—}18^{\circ}\text{C}$ 之间, 则计入持续时间的累积。对于 $18\text{—}25^{\circ}\text{C}$ 持续时间的定义为: 从当年 3 月 1 号开始算起, 至当年 12 月 31 号结束, 连续 5 天

温度在 $18\text{—}25^{\circ}\text{C}$ 之间, 则计入持续时间的累积。选取的研究区域如图 1 所示, 包括南黄海和长江口外海域。

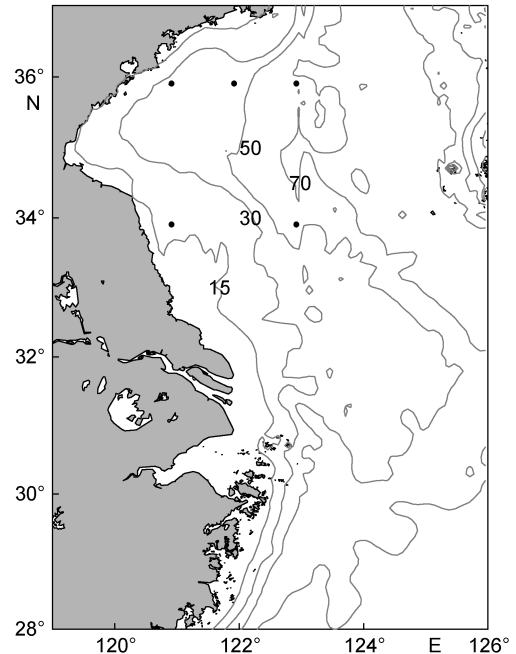


图 1 研究区域

Fig.1 Map of the study area

图中黑色圆点为模式结果与实测数据校验点

在利用模式数据分析之前, 首先采用实测数据检验模型数据的可靠性, 观测数据来自海洋局 1993—1999 年常规断面调查数据, 选取的站位见图 1 中黑色圆点所示。从模式中选取与观测数据时间和层次相匹配的点进行对比(图 2), 模式给出温度数据与

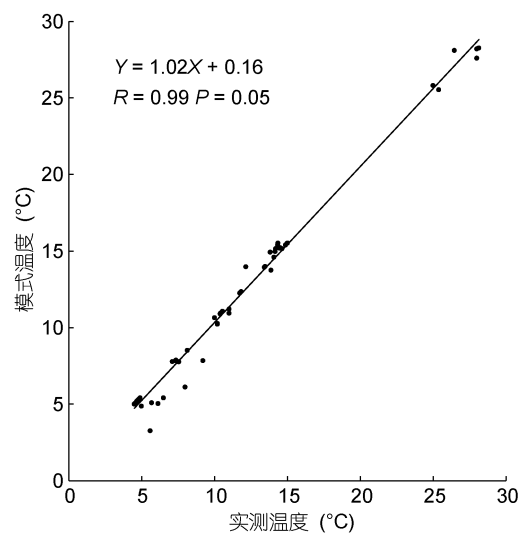


图 2 JCOPE2 模拟温度与现场实测温度对比

Fig.2 Comparison between observation and JCOPE2 simulated temperature

实测数据相关系数在 95%置信度下达到 0.99, 模式数据与实测数据呈现出一致的变化趋势, 两者具有很好的相关性, 说明模式给出的温度数据能较好反映真实温度的变化, 我们可以利用模式数据进行后续研究。

2 结果与讨论

最近十年才有针对黄海海域水母总丰度的系统连续观测, 本文利用 2006—2013 年数据, 讨论了温度以及温度持续时间的年际差异和水母多发的关系。为简单起见, 讨论温度影响时, 不考虑其他影响因素的作用。

2.1 沙海蜇的丰度与表底温度的相关性分析

将 2006—2013 年每年 2 月至 8 月黄海沙海蜇整个海区的平均丰度与表底层海水月平均温度做相关性分析, 得出表、底温度和南黄海水母丰度相关系数的分布结果(图 3, 4)。总体来看, 从冬季到夏季表层海水温度与水母丰度均呈正相关关系, 除 7 月份在朝鲜半岛近岸和 8 月份在江苏近岸和长江口部分区域出现负相关关系外, 整个南黄海和长江口外海域, 尤其是南黄海中部海域和黄海潮汐锋区, 均呈现正相关分布。底层海水温度与水母丰度呈现与表层类似的相关分布, 2—7 月整个区域呈现正相关趋势, 8 月份在江苏近岸和长江口呈弱负相关关系。冬季(12—2 月)表底相关系数高值区位于海州湾和苏北沿岸, 春

季(3—5 月)长江口外海域和苏北沿岸出现相对高值区, 夏季(6—8 月)高值区出现在黄海中部, 近岸区域则表现为负相关。整体而言, 底层温度相比表层温度相关性高, 在春夏季, 近岸区域表现尤为明显。温度对沙海蜇生长的各个阶段都有很大的影响, Zhang 等(2012)发现, 春夏季节, 黄海中部温度升高, 水母的丰度和生物量也都随之增加。春末夏初, 温度升高, 有利于水螅体的横裂, 产生更多碟状幼体, 从而有利于当年水母多发, 而夏季温度继续升高则对足囊的萌发有利(Wang *et al.*, 2015)。

Xu 等(2013)通过对黄东海 SST 卫星数据分析发现, 高温有利于沙海蜇暴发。Ruiz 等(2012)发现在地中海海域, 温度影响水母的暴发, 表现为夏季温度越高, 越有利于水母的暴发。Sullivan 等(2001)发现美国罗德岛纳拉甘塞特海湾 1950—1999 年间瓣水母丰度明显增加, 春季水温在此期间增加 2°C。这些研究都表明温度升高与水母增加有明显相关性, 本文从温度与水母丰度的关系进行研究, 也发现温度高的年份水母丰度相对就高的统计特性, 在全球变暖的大背景下, 水母存在增多的潜在性。

2.2 春季底层海水 10—18°C 持续时间与水母丰度关系

通过实验室控制实验发现, 春季底层海水 10—18°C 持续时间长有利于沙海蜇横裂(Feng *et al.*,

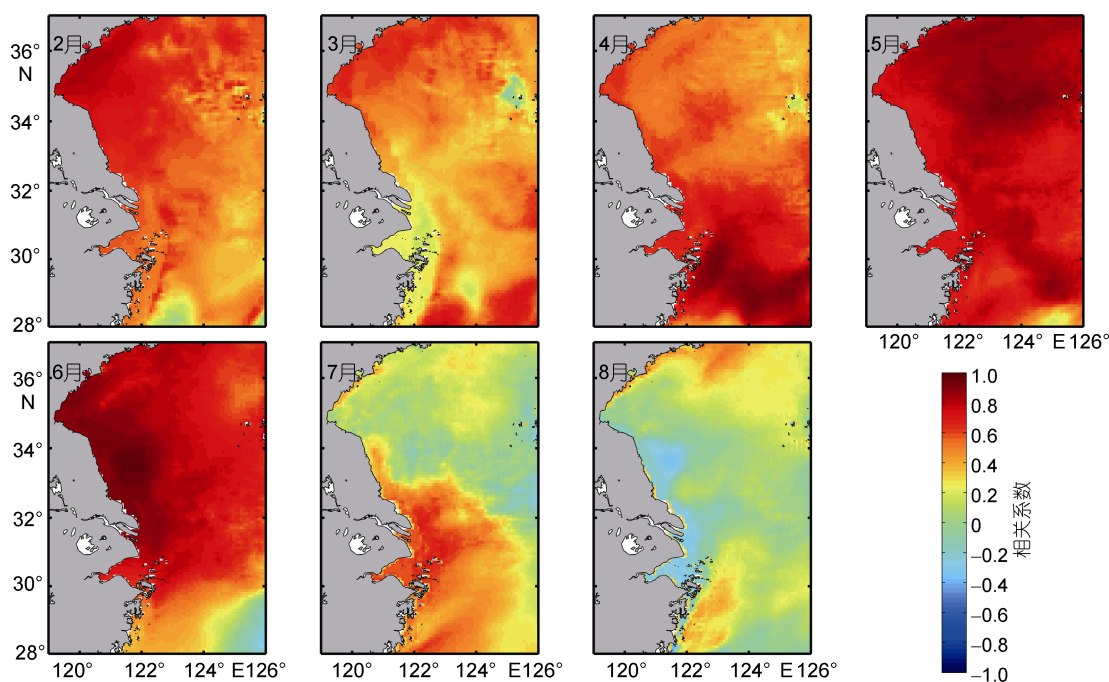


图 3 2—8 月表层温度与黄海水母丰度相关系数分布

Fig.3 Distribution of correlation coefficients between SST and jellyfish abundance in the Yellow Sea from February to August

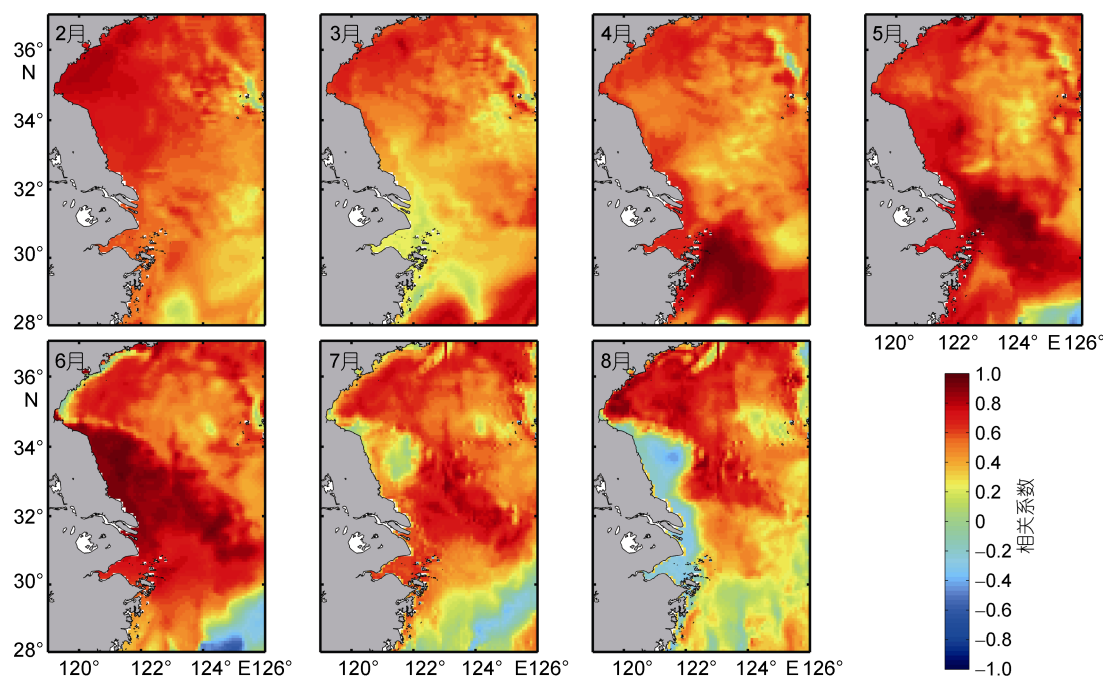


图 4 2—8 月底层温度与黄海水母丰度相关系数分布

Fig.4 Distribution of correlation coefficients between bottom temperature and jellyfish abundance in the Yellow Sea from February to August

2015a)。图 5 给出了 2006—2013 年南黄海和长江口外海域春季底层 10—18°C 持续时间分布, 图中可见大部分研究海区春季底层 10—18°C 持续时间在 90—140 天之内, 黄海东南部及东海东北部持续时间较长, 在 160 天以上, 海州湾 10—18°C 持续时间在 120—130 天, 苏北近岸海域持续时间在 80—100 天, 长江口持续时间在 100 天左右, 南黄海中部持续时间较短, 约为 60—80 天。Sun 等(2015)通过拖网调查可知长江口及其附近海域为沙海蜇的源地之一, 5 月在 122°—122.75°E, 31.5°—33°N 海域发现碟状幼体和幼水母。罗晓凡等(2012)利用 POM(Princeton Ocean Model)模型通过质子追踪溯源实验认为水母可能的源地为长江口、苏北沿岸以及海州湾。因此, 本文主要关注黄海近岸海域和长江口海区春季底层 10—18°C 持续时间分布。在海州湾附近, 2007、2009 年 10—18°C 持续时间较长, 约 130 天, 而 2010、2011 年持续时间相对较短, 在 115 天左右。春季底层 10—18°C 持续时间在 2007、2009 年比 2010、2011 年多将近 15 天。在苏北沿岸区域, 2006、2007 年持续时间较长, 约 110 天, 2010、2013 年持续时间相对较短, 在 98 天左右。在长江口海区, 10—18°C 持续时间在 2006、2007 年较长, 约 110 天, 2010、2011 年相对较短, 约 95 天(图 5)。根据 2003—2013 年的水母观测数据, 黄海水母除 2008、2010、2011、2013 年为

不暴发年外, 其余年份均为水母暴发年或弱暴发年, 春季底层 10—18°C 持续时间的年际差异与水母多表现出较好的对应关系。

根据 Sun 等(2015)研究, 2006、2007、2009、2012 年是水母相对多年, 2008、2010 和 2011 年较少, 其中 2009 年是极高值年, 而 2011 年是极少年。将 2009 年与 2011 年做对比, 在长江口, 春季底层 10—18°C 持续时间 2009 年比 2011 年多 5 天, 在海州湾 2009 年比 2011 年多 17 天。由此可以看出, 黄海沿岸区域及长江口附近海域春季底层 10—18°C 持续时间越长确实有利于当年水母丰度增多。

将春季底层 10—18°C 持续时间与水母丰度做相关分析, 结果表明, 长江口外、海州湾近岸海域以及南黄海锋区区域, 春季底层 10—18°C 持续时间与水母丰度呈现正相关关系(图 7a), 这个区域春季底层 10—18°C 持续时间越长, 当年南黄海水母丰度越高。Feng 等(2015a)通过实验室实验发现, 在 10—18°C 的环境中, 沙海蜇水螅体开始进行横裂生殖, 产生碟状幼体, 实验室环境中一个水螅体可产生 1—6 个碟状体不等, 并且持续时间越长, 产生的碟状体也越多, 此温度范围内水螅体的横裂率达到了 80%。本文的统计结果与实验室实验结果一致, 即 10—18°C 持续时间越长, 越有利于提高水螅体横裂率, 增加碟状体产量, 从而有利于本年度的水母旺发。

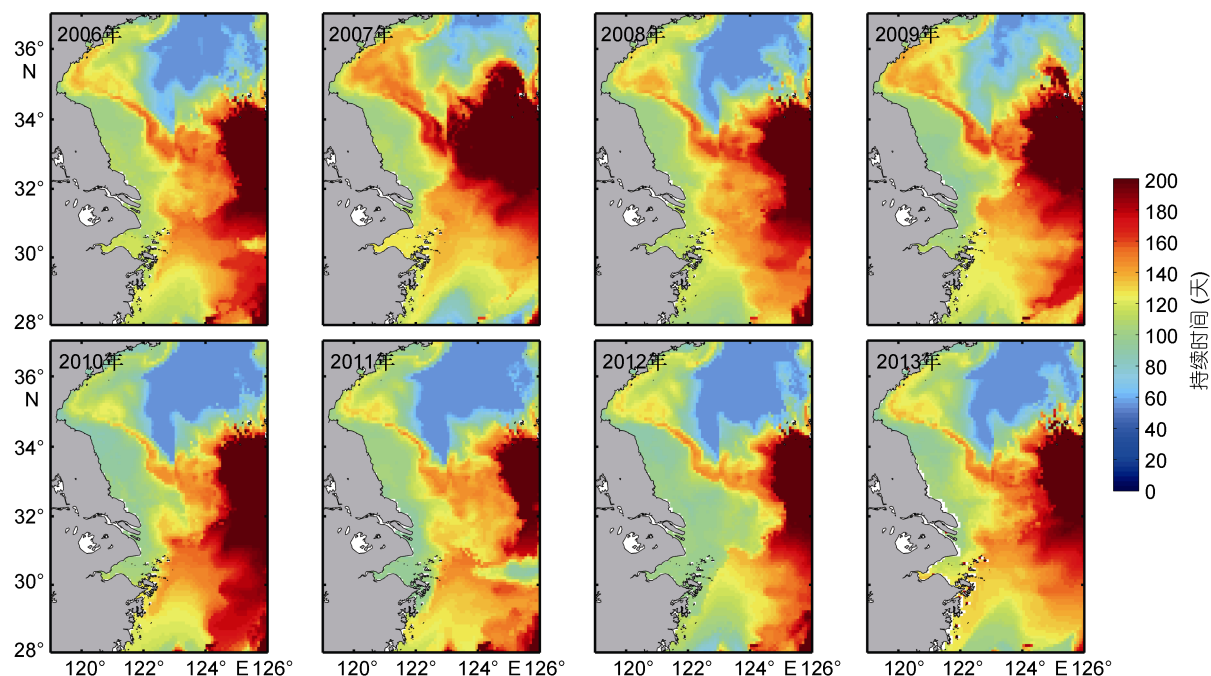


图 5 2006—2013 年春季底层 10—18°C 持续时间分布

Fig.5 Distribution of 10—18°C duration in the bottom layer in spring from 2006 to 2013

2.3 夏、秋季底层 18—25°C 的持续时间与水母丰度关系

Feng 等(2015b)根据实验室实验指出,夏季底层海水 18—25°C 持续时间长有利于沙海蜇足囊的生成。图 6 给出夏、秋季底层 18—25°C 持续时间分布,整个海域持续时间空间差异较大,研究区域持续时间在 40—110 天,黄东海 30°N 以北区域持续时间在 100 天以内,海州湾 18—25°C 持续时间相对较长,为 60—80 天。苏北近岸和长江口持续时间相对较长,为 50—80 天。黄海中部冷水团区域终年温度低于 18°C,不出现该温度段持续时间。在研究海域,18—25°C 持续时间年际变化较大:在海州湾附近海域,2005、2008 年持续时间较长,约 70 天,2010 年持续时间相对较短,在 63 天左右;在苏北近岸区域,2006、2008、2011 年 18—25°C 持续时间较长,约 75 天,2007、2010 年持续时间相对较短,在 60 天左右,夏秋季底层 18—25°C 持续时间 2006、2008、2011 年比 2007、2010 年多将近 15 天;在长江口区域,2008、2011 年 18—25°C 持续时间较长,约 80 天,2007 年持续时间相对较短,在 60 天左右。Sun 等(2015)观测表明,2007、2009、2012 年为水母多发年,而 2008 和 2011 年水母少发,可以看出夏秋季底层 18—25°C 持续时间越长,有利于水螅体产生足囊,从而对第二年的水母多发有利。以 2008 年和 2010 年为例,在苏北沿岸

海域,夏秋季底层 18—25°C 持续时间在 2008 年比 2010 年长 15 天左右(图 6),对应的 2009 年为水母暴发年和 2011 年水母丰度较低。夏季底层 18—25°C 持续时间与来年水母丰度也表现出较好的对应关系。

将夏、秋季底层 18—25°C 持续时间与年水母丰度做相关分析(图 7b)可看出,夏、秋季底层 18—25°C 持续时间与水母丰度在黄海南岸都呈现正相关关系,特别是在长江口、苏北沿岸以及海州湾这几个水母补充可能的源地区域,夏、秋季底层 18—25°C 持续时间与水母丰度呈明显正相关关系。

孙松等(2012a)认为水母暴发的关键在于水螅体阶段,通过对海月水母进行不同温度的实验发现,在温度为 15°C 的环境中,水螅体的横裂生殖率和碟状体的产量更高,将温度控制在 15°C 的范围内,水螅体会不断进行横裂繁殖、持续产生碟状幼体。当温度超过 15°C 之后,在 20—25°C 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。本文研究的沙海蜇生活史与海月水母不同,但不同生活史阶段对温度的响应表现出相似的规律性。

水母暴发是一个多因素共同影响的结果。Zhang 等(2012)发现,春、夏季节,黄海中部温度升高,水母的丰度和生物量也都随之增加。春末夏初,温度升高,有利于水螅体的横裂,产生更多碟状幼体,从而有利

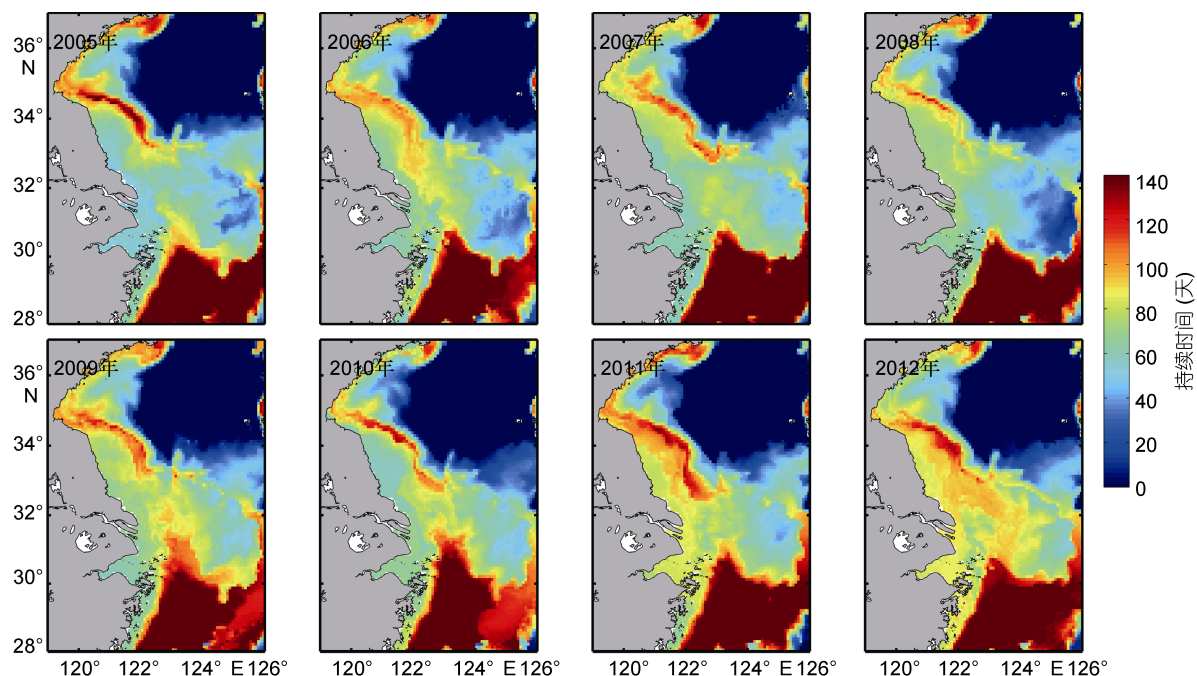


图 6 2005—2012 年夏秋季底层 18—25°C 持续时间分布

Fig.6 Distribution of 18—25°C duration in the bottom layer in summer and autumn from 2005 to 2012

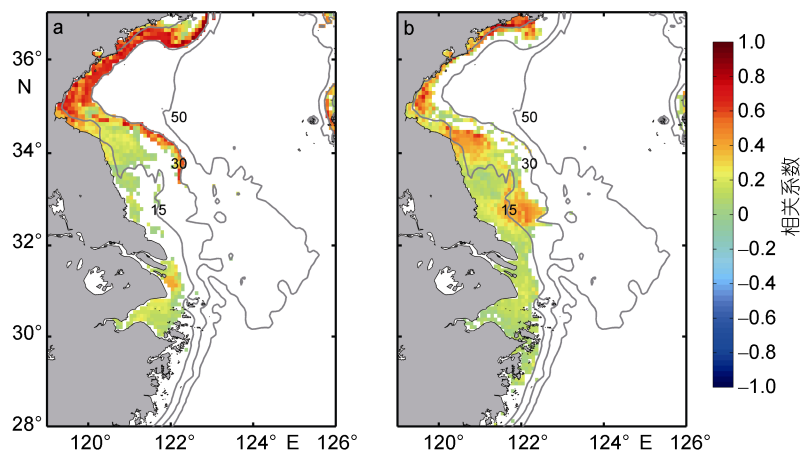


图 7 春季底层 10—18°C 持续时间(a)和夏秋季底层 18—25°C 持续时间(b)与水母丰度相关系数分布

Fig.7 Distribution of correlation coefficient between jellyfish abundance and 10—18°C duration in bottom layer in spring (a) and between jellyfish abundance and 18—25°C duration in the bottom layer in summer and autumn (b)

a: 春季底层 10—18°C 持续时间指的是 2006—2013 年; b: 夏秋季底层 10—18°C 持续时间指的是 2005—2013 年

于当年水母多发, 而夏季温度继续升高则对足囊的萌发有利(Wang *et al.*, 2015)。Dong 等(2015)讨论了光照和盐度对沙海蜇足囊繁殖的影响, 发现光照和盐度对沙海蜇足囊繁殖都有影响, 沙海蜇足囊繁殖的盐度范围为 10—40, 对盐度环境的要求不高, 在不同的光照条件下沙海蜇繁殖在统计上有很小的差别。Feng 等(2015b)则研究了饵料在水母多发中的贡献, 发现春季饵料对水螅体横裂以及碟状幼体的产生作用有限。水母暴发是由多种因素共同影响的, 不同的

影响因素在水母不同生活史阶段作用程度不同, 其中温度是一个很重要的因素。今后的一个研究方向则是借助模型综合分析温度、光照、饵料等各种因素对水母暴发的共同影响。

3 结论

在对水母暴发的原因研究中, 渔业过度捕捞导致以水母为食的鱼类(如大马哈鱼)减少, 意味着水母天敌减少, 有利于水母种群的生长, 从而导致水母暴

发;其次,捕捞与水母饵料重叠的鱼类时,饵料竞争减少,给水母提供了暴发机会(Purcell, 2012)。除了富营养化、过度捕捞等因素,气候变化导致的物理环境的变化也对水母暴发有重要影响,温度和盐度的变化也会影响水母数量的变化(程家骅等, 2005; Xu *et al.*, 2013)。Feng 等(2015a, b)通过大量室内实验,讨论了温度在沙海蜇生活史不同阶段的作用。本文利用模型和现场观测数据采用统计方法对 Feng 等(2015a, b)的实验推论进行验证。

利用模式同化温度以及黄海水母总丰度,分析了温度本身以及不同温度段持续时间与黄海沙海蜇丰度的关系,统计结果表明:水螅体栖息地的温度对水母暴发有重要作用,春、夏季高温有利于水母的旺发。在长江口、苏北沿岸以及海州湾区域,春季底层 10—18℃ 持续时间越长,有利于水螅体横裂,水母的早期补充增大,当年水母丰度就越高;夏、秋季底层 18—25℃ 持续时间越长,越有利于水螅体足囊萌发以及第二年水螅体的横裂补充,导致第二年的水母丰度呈现增多趋势。本文进一步验证了 Feng 等(2015a, b)根据实验结果提出的两个推论:(1)春季底层温度 10—18℃ 持续时间长,有利当年水母暴发;(2)夏季底层温度 18—25℃ 持续时间长,有利于下一年的水母旺发。统计结果也进一步表明长江口海域、苏北浅滩和海州湾沿岸是黄海沙海蜇早期补充的重要源地。

研究表明白令海水母暴发主要是由于气候变化引起的区域性的生态体制转换,而非对人类活动影响的响应(Shimomura, 1959; Brodeur *et al.*, 1999)。温度变化和水母丰度关系的研究,可以为未来气候变化背景下预测水母丰度的演变提供一种途径和思路。

参 考 文 献

- 丁峰元,程家骅,2005. 东海区夏、秋季大型水母分布区渔业资源特征分析. 海洋渔业, 27(2): 120—128
- 仲霞铭,汤建华,刘培廷,2004. 霞水母(*Cyanea nozakii* Kishinouye)暴发与海洋生态之关联性探讨. 现代渔业信息, 19(3): 15—17
- 孙 松,2012a. 对黄、东海水母暴发机理的新认知. 海洋与湖沼, 43(3): 406—410
- 孙 松,2012b. 水母暴发研究所面临的挑战. 地球科学进展, 27(3): 257—261
- 孙 松,于志刚,李超伦等,2012. 黄、东海水母暴发机理及其生态环境效应研究进展. 海洋与湖沼, 43(3): 401—405
- 严利平,李圣法,丁峰元,2004. 东海、黄海大型水母类资源动态及其与渔业关系的初探. 海洋渔业, 26(1): 9—12
- 张 芳,孙 松,李超伦,2009. 海洋水母类生态学研究进展. 自然科学进展, 19(2): 121—130
- 罗晓凡,魏 皓,王玉衡,2012. 黄、东海水母质点追踪影响因素分析. 海洋与湖沼, 43(3): 635—642
- 周永东,王永顺,黄鸣夏,2004. 浙江近海海域海蜇的增殖放流. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 23(1): 28—30, 36
- 程家骅,丁峰元,李圣法等,2005. 东海区大型水母数量分布特征及其与温盐度的关系. 生态学报, 25(3): 440—445
- 程家骅,李圣法,丁峰元等,2004. 东、黄海大型水母暴发现象及其可能成因浅析. 现代渔业信息, 19(5): 10—12
- Brodeur R D, Mills C E, Overland J E *et al.*, 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. Fisheries Oceanography, 8(4): 296—306
- Condon R H, Duarte C M, Pitt K A *et al.*, 2013. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(3): 1000—1005
- Dong J, Sun M, Purcell J E *et al.*, 2015. Effect of salinity and light intensity on somatic growth and podocyst production in polyps of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae). Hydrobiologia, 754(1): 75—83
- Feng S, Zhang G T, Sun S *et al.*, 2015a. Effects of temperature regime and food supply on asexual reproduction in *Cyanea nozakii* and *Nemopilema nomurai*. Hydrobiologia, 754(1): 201—214
- Feng S, Zhang F, Sun S *et al.*, 2015b. Effects of duration at low temperature on asexual reproduction in polyps of the scyphozoan *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae). Hydrobiologia, 754(1): 97—111
- Kawahara M, Uye S I, Ohtsu K *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
- Miyazawa Y, Komatsu K, Setou T, 2008. Nowcast skill of the JCOPE2 ocean forecast system in the Kuroshio-Oyashio mixed water region. Journal of the Marine Meteorological Society of Japan, 84: 85—91 (in Japanese with English abstract)
- Purcell J E, 2005. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 85(3): 461—476
- Purcell J E, 2007. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiata*. Marine Ecology Progress Series, 348: 183—196
- Purcell J E, 2012. Jellyfish and ctenophore blooms coincide with human proliferations and environmental perturbations. Annual Review of Marine Science, 4(1): 209—235
- Ruiz J, Prieto L, Astorga D, 2012. A model for temperature control of jellyfish (*Cotylorhiza tuberculata*) outbreaks: a causal analysis in a Mediterranean coastal lagoon. Ecological Modelling, 233: 59—69
- Shimomura T, 1959. On the unprecedented flourishing of “Echizen Kurage” *Stomolophus nomurai* (Kishinouye), in the Tsushima Current regions in autumn, 1958. Bulletin of

- the Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory, 7: 85—107 (in Japanese with English abstract)
- Sullivan B K, Van Keuren D, Clancy M, 2001. Timing and size of blooms of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in relation to temperature in Narragansett Bay, RI. *Hydrobiologia*, 451(1—3): 113—120
- Sun S, Zhang F, Li C L *et al*, 2015. Breeding places, population dynamics, and distribution of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in the Yellow Sea and the East China Sea. *Hydrobiologia*, 754(1): 59—74
- Uye S I, 2008. Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: a threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. *Plankton and Benthos Research*, 3(S): 125—131
- Wang Y T, Zheng S, Sun S *et al*, 2015. Effect of temperature and food type on asexual reproduction in *Aurelia* sp.1 polyps. *Hydrobiologia*, 754(1): 169—178
- Xu Y J, Ishizaka J, Yamaguchi H *et al*, 2013. Relationships of interannual variability in SST and phytoplankton blooms with giant jellyfish (*Nemopilema nomurai*) outbreaks in the Yellow Sea and East China Sea. *Journal of Oceanography*, 69(5): 511—526
- Yoon W D, Lee H E, Han C *et al*, 2014. Abundance and distribution of *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa, Rhizostomeae), in Korean waters in 2005–2013. *Ocean Science Journal*, 49(3): 183—192
- Zhang F, Sun S, Jin X S *et al*, 2012. Associations of large jellyfish distributions with temperature and salinity in the Yellow Sea and East China Sea. *Hydrobiologia*, 690(1): 81—96

ON RELATIONSHIP BETWEEN INTER-ANNUAL VARIATION IN WATER TEMPERATURE REGIME AND *NEMOPILEMA NOMURAI* ABUNDANCE IN THE YELLOW SEA

ZHAO Liang¹, LI Xia¹, ZHANG Fang²

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract In the recent decade, the frequency of *Nemopilema nomurai* bloom in the Yellow Sea and East China Sea fluctuated; and *N. nomurai* broke out every year except for 2008, 2010, 2011, and 2013. According to the abundance range of *Nemopilema nomurai*, the extent of jellyfish bloom was divided into bloom year (2—10 ind./100 m²), weak bloom year (1—2 ind./100 m²), and none bloom year (0 ind./100 m²). To investigate the inter-annual variation, we analyzed the relationship between water temperature and the abundance of *N. nomurai* in the Yellow Sea from 2006 to 2013. A previous experiment on *N. nomurai* showed that, water temperature in 10—18°C favored the strobilation of polyps and 18—25°C favored podocyst development. Therefore, we chose 10—18°C duration in spring and 18—25°C duration in summer-autumn to study correlation between temperature and the jellyfish abundance. In the Subei (northern Jiangsu) shoal, 10—18°C duration lasted about 130 days in 2007 and 2009 (bloom year), which is 15 days longer than that in 2010 and 2011 (none bloom year). In the Changjiang (Yangtze) River estuary, 18—25°C duration was about 80 days in 2008 and 2011 (none bloom year), which is 30 days longer than that in 2007 (bloom year). We found that in the Changjiang River estuary, Subei shoal, and Haizhou Bay, the longer of the 10—18°C duration in spring, the more abundant *N. nomurai* would occur in these regions in summer of the same year; and the longer of the 18—25°C duration in summer-autumn, the more abundant *N. nomurai* would occur in next year in these regions. Therefore, a warmer water condition, i.e., longer 10—18°C duration in spring and 18—25°C duration in summer-autumn would promote *N. nomurai* outbreaks in the Yellow Sea. The results would be helpful to predict the abundance of *N. nomurai* in the future by analyzing the relationship between temperature variation and the abundance of *N. nomurai*.

Key words Yellow Sea; water temperature variation; duration; jellyfish outbreak