

DOI: 10.5846/stxb201409251898

吴玲娟, 高松, 白涛. 大型水母迁移规律和灾害监测预警技术研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): - .

Wu L J, Gao S, Bai T. Review on the migration mechanisms of large jellyfish and techniques of the monitoring, forecasting, and warning of jellyfish disaster. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(10): - .

大型水母迁移规律和灾害监测预警技术研究进展

吴玲娟^{1,2,*}, 高松^{1,2}, 白涛^{1,2}

1 国家海洋局北海预报中心, 青岛 266061

2 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 青岛 266061

摘要: 上世纪 80 年代以来, 全球大型水母灾害发生频率与成灾种类不断增加, 已严重影响了近海海洋渔业、沿海工业、滨海旅游业和海洋生态系统, 已引起了各国政府高度重视, 并且越来越多海洋工作者投身水母迁移等科学研究和监测预警工作中。本文回顾了近年来国内外学者对水母漂移聚集和溯源等迁移规律的研究进展以及水母灾害监测预警工作现状。并建议今后水母研究为预测预警工作服务, 侧重于开展系统的水母海上和室内试验, 建立业务化立体监测体系; 加强水母漂移聚集机理研究, 建立更完善的水母预警模式。

关键词: 大型水母; 迁移规律; 业务化监测体系; 预警模式

Review on the migration mechanisms of large jellyfish and techniques of the monitoring, forecasting, and warning of jellyfish disaster

WU Lingjuan^{1,2,*}, GAO Song^{1,2}, BAI Tao^{1,2}

1 North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

2 Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, China

Abstract: The occurrence frequency and disaster category of large jellyfish has increased continuously worldwide since 1980s. The jellyfish disaster has seriously affected the offshore marine fisheries, coastal industry, coastal tourism and marine ecosystem. The governments and organizations have paid much attention to jellyfish study such as the migration mechanisms, and work on monitoring, forecasting, and warning of jellyfish disaster. In this paper, the recent progress has been reviewed on the migration mechanisms of large jellyfish, including its drifting and aggregation behavior as well as its source. Furthermore, recent work on the monitoring, forecasting, and warning of jellyfish disaster has been introduced. Several suggestions are proposed, such as the development of a three-dimensional operational monitoring system, the need for integrated studies on the migration mechanisms, and further development of improved forecasting and warning models.

Key Words: large jellyfish; migration mechanisms; operational monitoring system; forecasting and warning model

全球变化和人类活动影响下海洋生态系统的结构与功能发生了很大的变化, 大型水母灾害发生频率与成灾种类不断增加, 已严重影响了海洋渔业、沿海工业、滨海旅游业和海洋生态系统^[1-3]。在挪威, 水母已经被列为影响养殖业、渔业、旅游业等国家经济支柱产业的重要因素之一。在日本, 从 2000 年开始, 巨型水母的暴发使日本渔业资源和捕捞业处于崩溃的边缘^[4]。在我国渤海辽东湾、黄海南部和东海北部海域, 水母于 2003

基金项目: 国家海洋局公益性项目 (201005018)

收稿日期: 2014-09-25; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: viviocang@163.com

年集中暴发^[5],并多次出现水母缠绕阻塞网具、渔获量减少、海滨浴场伤人以及堵塞滨海发电厂、淡化水厂和核电站等取排水口事件。为了保证沿海经济和生态环境可持续发展,我国相关部门给予了高度重视,启动了多个科研和应用项目,如国家自然科学基金“大型水母沙海蜇在黄、东海的生活史及其对浮游生物的调控作用”、973 项目“中国近海水母暴发的关键过程、机理和生态环境效应”和 2010 年国家海洋局公益性项目“典型海域水母灾害监测预警技术业务化应用与示范研究”。

王世伟等^[6]和孙松等^[7]的监测和研究结果认为青岛近海的海月水母主要分布于胶州湾内,能够在湾内自行自我补充并完成其生活史,可能是原发型;沙海蜇和白色霞水母可能不是由本地水螅体和水母幼体发育,是外来型的。因此,根据水母灾害发生发展过程,将水母灾害划分为原发型和外来型两种。本文拟针对大型外来型水母,回顾国内外学者关于水母迁移规律和国内外监测预测预警工作现状,并从防灾减灾角度出发,对未来工作进行展望。

1 大型水母迁移规律研究

水母是一种胶质状的浮游动物(gelatinous zooplankton),其运动主要包括自身自主运动和借助风、浪和水流等的被动运动。水母自主运动主要通过收缩外壳挤压内腔的方式,改变内腔体积,喷出腔内的水,通过喷水推进的方式进行移动,并借助触手,有效地改变运动方向。大型水母的漂移聚集(迁移)可能受气象和水文动力条件的影响。气象条件主要包括降雨和光照。大部分渔民的经验是阴雨天难见海蜇。2011 年 8 月 11 日胶州湾沙海蜇和白色霞水母种群高峰期刚过,但 8 月 16 日与 19 日观测到这两种水母数量的显著降低,这可能与该时段的降雨有关^[6],但其机理未见报道。部分学者认为水母的自主运动可能与水母的趋光性有关,其昼夜迁移可能光的积极反应;Mills^[8]通过 7 种水母光照实验表明,昼夜迁移是依赖于光而不是内在的,当光强恒定时水母不迁移,光强发生变化水母才迁移^[9],但其具体机理仍不很清楚。Angel 等^[10]发现水母在 1000m 以深不存在昼夜运动,这可能与水深较深没有光照的原因有关。Graham 等^[11]指出水螅水母纲、钵水母纲和管水母亚纲的水母普遍存在昼夜垂直迁移现象,即水母白天下沉到水体底层,夜间上浮到水体表层;栉水母纲的水母却不多见。但张芳等^[12]通过 2006 年黄海海域大面调查发现 24 小时内连续调查的水母数量变化并非水母昼夜垂直移动所引起,可能是拖网调查过程中水团的改变造成;在 2006 年 4 月至 2007 年 8 月期间 10 次渔业底拖网调查的调查期间发现在许多站位的表层或次表层出现大量的水母个体。Barz 等^[13]报道北海南部的水母主要分布在 5—25m; Honda 等^[14]使用弹出式存储传输标签和超声波发射器跟踪水母,发现日本海南部的沙海蜇主要聚集于 40m 以浅的水层,而且夜间所处深度往往大于白天。胶州湾 8—9 月份水母调查中^[6]水母垂直移动的规律性并不明显;国家海洋局北海监测中心在 2011—2013 年青岛近海水母监测过程中,也发现一部分水母白天聚集在水面。从上述监测结果和研究可以看出不同水母或同一种水母在不同环境条件下的自主运动(特别垂向运动)规律不尽相同,所以迫切需要针对我国近海水母的迁移特点,开展大量的海上跟踪监测等海上试验,以认清我国沿海不同种类水母的自主运动规律,进而进行水母灾害预测预警研究。

国内外学者通过分析监测数据和数值控制实验认为水文动力条件如温度、盐度和密度跃层^[13,15],海流及涡结构等影响大型水母的漂移聚集。Honda 等^[15]指出不同季节海水的垂直水文结构导致日本海南部的水母冬天聚集深度比秋天深。Brodeur 等^[16]发现白令海东部的大型水母受多种锋面结构的影响而呈现多种格局分布。Doyle 等^[17]发现水团、跃层、锋面等不连续是凯尔特和爱尔兰海域水母种类的呈现明显空间分布的主要原因;Robison 等^[18]在美国蒙特雷海湾的双小水母丰度变化与季节性上升流的变化有关。通过分析胶州湾的沙海蜇和白色霞水母分布情况,发现水动力过程是影响胶州湾水母分布主要因素^[6,19]。

自上世纪 90 年代中后期起,在我国东海北部和黄海南部海域大型水母灾害相继暴发^[3]并受温度、盐度^[20]的影响呈现很强的空间分布格局;霞水母(沙海蜇)聚集在长江口南(北)^[12];从长江口向外海,水母类丰度及其种类随盐度增加而增加^[21];低盐河口性的水母聚集长江口附近海域;暖水性水母聚集在盐度高、离岸远的海域,并受外海海水特别是台湾暖流影响较大。周永东等^[22]指出渔场的水温也是影响水母的发生时

间和数量以及漂移聚集的主要因子。东海海域沙海蜇为低温高盐种,主要分布于黄海冷水团伸向东海舌锋的锋面以北海域;霞水母为暖水高盐种,主要密集分布于东海北部的暖水控制的海域,因此可以利用黄海冷水团势力强弱预测沙海蜇暴发和漂移聚集^[20]。该研究为今后水母漂移聚集预测提供了关键的思路:利用海洋生态环境关键要素预测水母的发生和漂移聚集过程。

2 大型水母迁移数值模拟方法研究

对于外来型大型水母,国内外学者利用海洋数值模式,将水母粒子化,模拟水母漂移路径,以分析影响水母漂移聚集关键动力因素。Barz 等^[23]发现平流过程是中央波罗的海海域海蜇幼体的发生和分布的关键因素。Johnson 等^[24-25]基于 Gulf of Mexico (GOM) 环流模型,追踪墨西哥湾五卷须金黄刺母的漂移路径,指出湾内环流的季节变化在水母丰度和分布上起重要作用。Berline 等^[26]基于 ROMS (Regional Ocean Modeling System) 模式建立了法国利古里亚海高分辨率的模式,考虑水母 0—300m 垂直运动,模拟水母的漂移情况,并指出北向流和海面风场是水母向岸的主要因素。吴玲娟等^[27]考虑水母自主运动,借鉴气象中的集合预报方法,基于拉格朗日粒子追踪方法,建立青岛近海大型水母的集合漂移预测模型,快速预测 2012—2013 年青岛近海水母集合漂移轨迹、速度、趋势和可能影响范围等要素。通过分析水母监测和数值模拟结果,指出在水母自主运动及其机理尚不十分清楚的情况下,多轨迹漂移预测结果比单轨迹的更合理、科学、可信,能够传达更多的信息量,对水母灾害的应急处置更具有指导意义。上述工作假定水母只随海流漂移的粒子进行研究,在水母暴发海域,模拟了水母漂移过程,分析了水母漂移聚集动力因素。但是由于不同种类水母的自主运动机理尚不清楚,同时没有考虑水母的生态学特性,因此,该类模式对于研究水母迁移规律和水母漂移预测预警和需要进一步完善。因此,我们可以借鉴国外少部分科学家建立海洋物理—生态模型模拟水母的生态过程的经验。例如 Kishi 等^[27]和 Megrey 等^[28],并以鱼类为代表的高营养级生态变量,加入以胶状体浮游动物和磷虾为代表的大型浮游动物作为生物变量,更全面模拟海洋生态系统循环作用过程;Ren 等^[29]利用包含浮游植物、浮游动物、贝类、水母等变量的生态模型,与水动力模型相耦合,模拟新西兰比阿特里克斯湾贝类的生长;其模拟结果较好的反映水母与其他鱼类之间的竞争关系。在海洋生态动力学模型模拟研究中,不同海域的参数比如生长率、死亡率和排泄率等都不一样,特别增加水母等食肉性浮游动物等生物状态变量。因此,建立我国近海的水母物理—生态模型,需要根据我国近海水母发生发展的特点,开展大量室内和海上试验来确定相关的生态参数。

3 大型水母溯源研究

国内外学者主要利用数值模拟方法追溯水母的来源。Moon 等^[30]利用 ROMS 模型,未考虑潮汐运动,采取粒子示踪法追溯日本海沙海蜇来源,指出日本海暴发的水母可能的源地之一为长江口,而且水母的分布受中国东海到日本海之间的风应力及沿岸流的影响较大。而罗晓凡等^[31]利用考虑潮汐运动和垂直过程的海洋模式得到与 Moon 等相反的结论:济州岛沿岸质点大部分穿过对马海峡进入日本海,其它质点主要聚集黄海潮汐锋区和长江口以南沿岸锋,并未进入日本海。张彦等^[32]未考虑水母垂直运动,采用拉格朗日粒子方法反向追踪方法追溯其运动路径及可能源地,并结合水母种类分布特征和沉积物分布特征综合分析夏季青岛外海大型水母的潜在源头。水母溯源研究为探讨大型水母的暴发机制,并从源头上监测和防控水母的暴发起着重要的作用,所以我们需要结合大量监测和数值模拟结果,追溯源头,并在源头上进行详实考证和研究。

4 大型水母灾害监测和预警工作

近几年,我国大型水母灾害发生频率不断增加,已严重影响了海洋渔业、沿海工业、滨海旅游业和海洋生态系统,急需一套完善的监测和预警系统,预防和减轻水母灾害造成的损失。同时,为大型水母的漂移聚集机理研究提供大量监测数据支持。大型水母监测除了传统的目测监测和拖网采样监测外,Lynam^[33]在纳米比亚

的本格拉海利用声学对海蜇的生物量进行了评估;英国 Swansea 大学的科学家们联合爱尔兰科学家建立了第一个海蜇跟踪项目(EcoJel)^[34],利用小型电子追踪标记跟踪南威尔士沿岸水母的运动状况。韩国基于济州岛附近海域水母种类和毒性程度以及水母监测体系方法研究,于2011年正式建立水母监测体系,为预测水母的运动趋势、发布海水浴场的水质状况、选择渔船的作业位置等提供重要信息;2014年7月利用智能机器人自动探测并除去水母的综合防治系统投入试运行^[35]。日本利用船舶监测、遥感监测、浮标监测、渔业市场调查等多元化手段,随时获取监测海域大型水母的分布情况,经过汇总和预报后,被处理为可视化的水母实时分布与预报信息,最后及时发布给渔民和其它用海群众^[30,36];并组织相关部门负责大型水母的清除,有效降低了水母灾害损失。美国 NOAA 和几个大学研发太平洋黄金水母出现概率长期预报系统,定期发布水母预警报^[37]。2012年,法国滨海自由城海洋实验室基于 Berline 等水母漂移模式^[26]和监测结果,推出从马赛到芒通、从圣特罗佩到意大利边境的滨海海滩48小时在线水母预警系统,并在 Medazur 和 jellywatch(<http://www.jellywatch.org/>)两家网站负责发布水母预报和分等级的警报。我国借助国家海洋局海洋公益科研项目,研制了有害种类快速定量监测、漂移路径预报、灾害风险等级预警和水母灾害的应急处置技术,构建水母灾害监测预警技术体系,并在青岛近海、秦皇岛和厦门等水母灾害典型海域开展示范应用^[19,38]。我国虽然已初步构建了水母灾害监测预警技术体系,但是还需借鉴新西兰大学和日本等研究机构的工作经验对不同种类的水母进行海上跟踪等海上试验,了解水母的漂移和聚集规律;进一步完善监测和预警体系,建立立体监测和应急预警系统,并实现稳定业务化运行。

5 研究展望

由于国内对大型水母的研究起步比较晚,与国外相比还有很大差距。在水母迁移方面的研究主要体现在水母漂移聚集机理、监测和预警等方面的研究不够完善。建议从水母灾害的防灾减灾角度出发,结合我国近年来监测预警工作现状,着重以下几个领域。

1) 开展系统的水母海上和室内试验,建立业务化立体监测体系

由于我国近海水母相关监测数据的缺乏,无法准确了解水母的自主运动规律和生态学特性,并数值模式中进行参数化。因此,建议借鉴新西兰 Swansea 大学和日本研究机构的工作经验,对不同种类的水母通过系统的室内和海上试验,进行反复多次跟踪试验,以了解水母的运动特征,确定水母物理—生态学参数。建议进一步改进和规范水母监测技术,利用传统的监测方法,结合声学调查、岸基调查、航空遥感调查和水下摄像调查,进行数据融合,结合海洋遥感和地理信息系统,建立和完善海洋水母业务化立体监测系统,为今后水母物理—生态模型参数化提供依据,为模型初始和验证场提供可靠的数据。

2) 加强水母漂移聚集机理研究,建立更完善的水母预警模式

结合我国水母实验和监测数据,进一步研究水母漂流聚集的气象和水文动力相关因子和主要生态动力学因子。借鉴国外水母生态模型建立的经验,根据我国近海水母的生活习性,建立我国近海的水母生态—动力预测模式,并结合目前已使用传统预测和集合预测方法,进一步完善我国近海大型水母的业务化预测预警系统,提高预测预警的准确度。

参考文献(References):

- [1] Brodeur R D, Mills C E, Overland J E, Walters G E, Schumacher J D. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fisheries Oceanography*, 1999, 8(4): 296-306.
- [2] Mills C E. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia*, 2001, 451(1/3): 55-68.
- [3] 程家骅, 李圣法, 丁峰元, 严利平. 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*, 2004, 19(5): 10-12.
- [4] Kawahara M, Uye S, Ohtsu K I, Iizumi H. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 307: 161-173.
- [5] 丁峰元, 程家骅. 东海区沙海蜇的动态分布. *中国水产科学*, 2007, 14(1): 83-89.
- [6] 王世伟, 张光涛, 孙松, 王彦涛, 赵增霞. 2011年夏季胶州湾三种大型水母的种群动态研究. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 471-479.

- [7] 孙松. 对黄、东海水母暴发机理的新认知. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 406-410.
- [8] Mills C E. Vertical migration and diel activity patterns of hydromedusae; studies in a large tank. Journal of Plankton Research, 1983, 5(5): 619-635.
- [9] Arkett S A. The shadow response of a hydromedusan (*Polyorchis penicillatus*): behavioral mechanisms controlling diel and ontogenic vertical migration. Biological Bulletin, 1985, 169(2): 297-312.
- [10] Angel M V, Hargreaves P, Kirkpatrick P, Domanski P. Low variability in planktonic and mikronektonic populations at 1000m depth in the vicinity of 42°N, 17°W: evidence against diel migratory behavior in the majority of species. Biological Oceanography, 1982, 1(3): 287-319.
- [11] Graham W M, Pagès F, Hamner W M. A physical context for gelatinous zooplankton aggregations; a review. Hydrobiologia, 2001, 451(1/3): 199-212.
- [12] 张芳. 黄、东海胶质浮游动物水母类研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008: 1-130.
- [13] Barz K, Hirche H J. Abundance, distribution and prey composition of scyphomedusae in the southern North Sea. Marine Biology, 2007, 151(3): 1021-1033.
- [14] Honda N, Watanabe T, Matsushita Y. Swimming depths of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* investigated using pop-up archival transmitting tags and ultrasonic pingers. Fisheries Science, 2009, 75(4): 947-956.
- [15] Arai M N. Active and passive factors affecting aggregations of hydromedusae: A Review. Aspects of Hydrozoan Biology, 1992, 56(2/3): 99-108.
- [16] Brodeur R D, Wilson M T, Napp J M, Stabenro P J, Salo S. Distribution of juvenile Pollock relative to frontal structure near the Pribilof Islands, Bering Sea // Forage Fishes in Marine Ecosystems, American Fisheries Society. Lowell Wakefield Fisheries Symposium Series, 1997, 14: 573-589.
- [17] Doyle T K, Houghton J D R, Buckley S M, Hays G C, Davenport J. The broad-scale distribution of five jellyfish species across a temperate coastal environment. Hydrobiologia, 2007, 579(1): 29-39.
- [18] Robison B H, Reisenbichler K R, Sherlock R E, Silguero J M B, Chavez F P. Seasonal abundance of the siphonophore, *Nanomia bijuga*, in Monterey Bay. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1998, 45(8/9): 1741-1751.
- [19] 吴玲娟, 高松, 黄娟, 等. 青岛近海大型水母漂移数值模拟研究. 海洋预报, 2015, 32(2): 1-10.
- [20] 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 严利平, 凌建忠, 李建生, 刘勇. 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, 2005, 25(3): 440-445.
- [21] 伦凤霞, 王云龙, 沈新强, 徐后连. 长江口及临近海域夏季水母类分布特征. 生态学杂志, 2008, 27(9): 1510-1515.
- [22] 周永东, 刘子藩, 薄治礼, 薛利建. 东、黄海大型水母及其调查监测. 水产科技情报, 2004, 31(5): 224-227.
- [23] Barz K, Hinrichsen H H, Hirche H J. Scyphozoa in the bornholm basin (central baltic sea)-The role of advection. Journal of Marine Systems, 2006, 60(1/2): 167-176.
- [24] Johnson D R, Perry H M, Burke W D. Developing jellyfish strategy hypotheses using circulation models. Hydrobiologia, 2001, 451(1/3): 213-221.
- [25] Johnson D R, Perry H M, Graham W M. Using nowcast model currents to explore transport of non-indigenous jellyfish into the Gulf of Mexico. Marine Ecology Progress Series, 2005, 305: 139-146.
- [26] Berline L, Zakardjiana B, Molcarda A, Ourmières Y, Guihou K. Modeling jellyfish *Pelagia noctiluca* transport and stranding in the Ligurian Sea. Marine Pollution Bulletin, 2013, 70(1): 90-99.
- [27] Kishi M J, Kashiwai M, Ware D M, Megrey B A, Eslinger D L, Werner F E, Noguchi-Aita M, Azumaya T, Fujii M, Hashimoto S, Huang D J, Iizumi H, Ishida Y, Kang S, Kantakov G A, Kim H C, Komatsu K, Navrotsky V V, Smith S L, Tadokoro A, Tsuda A, Yamamura O, Yamanaka Y, Yokouchi K, Yoshie N, Zhang J, Zuenko Y I, Zvalinsky V I. NEMURO-a lower trophic level model for the North Pacific marine ecosystem. Ecological Modelling, 2007, 202(1/2): 12-25.
- [28] Megrey B A, Rose K A, Klumb R A, Hay D E, Werner F E, Eslinger D L, Smith S L. A bioenergetics-based population dynamics model of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*) coupled to a lower trophic level nutrient-phytoplankton-zooplankton model: Description, calibration, and sensitivity analysis. Ecological Modelling, 2007, 202(1/2): 144-164.
- [29] Ren J S, Ross A H, Hadfield M G, Hayden B J. An ecosystem model for estimating potential shellfish culture production in sheltered coastal waters. Ecological Modelling, 2010, 221(3): 527-539.
- [30] Moon J H, Pang I C, Yang J Y, Yoon W D. Behavior of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* in the East China Sea and East/Japan Sea during the summer of 2005: A numerical model approach using a particle-tracking experiment. Journal of Marine Systems, 2010, 80(1/2): 101-114.
- [31] 罗晓凡, 魏皓, 王玉衡. 黄、东海水母质点追踪影响因素分析. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 635-642.
- [32] 张海彦, 赵亮, 魏皓. 青岛外海夏季水母路径溯源研究. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 662-668.
- [33] Lynam C P. Ecological and Acoustic Investigations of Jellyfish (Scyphozoa and Hydrozoa) [D]. Scotland: University of St Andrews, 2006: 1-265.
- [34] <http://www.jellyfish.ie/index.asp>.
- [35] <http://www.independent.co.uk/news/science/jellyfish-pulverizing-robots-trained-in-korea-to-hunt-down-their-prey-8854258.html>
- [36] Kyoungheon Lee, Bong-Seong Bae, In-Ok Kim, Won-Deuk Yoon. Measurement of swimming speed of giant jellyfish *Nemopilema nomurai* using acoustics and visualization analysis. Fisheries Science, 2010, 76(6): 893-899.
- [37] Brown C W, Hood R R, Li Z, Decker M B, Gross T F, Purcell J E, Wang H V. Forecasting system predicts presence of sea nettles in Chesapeake Bay. Eos, Transactions American Geophysical Union, 2002, 83(30): 321-326.
- [38] 杨东方, 崔文林, 张洪亮, 徐子钧, 张爱君. 新技术在水母监测中的应用. 海洋开发与管理, 2014, (4): 38-41.