青岛外海夏季水母路径溯源研究*

张海 \tilde{c}^1 赵 亮¹ 魏 \tilde{c}^2

(1. 中国海洋大学物理海洋实验室 青岛 266100; 2. 天津科技大学海洋科学与工程学院 天津 300457)

提要 2011 年夏季, 青岛外海发现大量大型水母, 如沙海蜇、海月水母和白色霞水母等, 而在冬、 春季未在当地海区发现其幼体。本文采用拉格朗日方法, 以粒子代表水母, 不考虑水母自身运动, 进 行反向追踪, 追溯其运动路径及可能源地。不同追踪实验结果显示, 在不同时间不同深度处释放的粒 子路径不同。在海面处释放的粒子分别可以追溯到海州湾、江苏沿岸及长江口附近的海域, 其中 8 月 1 日和 8 月 15 日在海面释放的粒子最远可以追溯至长江口外海域; 2m 层上释放的粒子最远也可 到达长江口附近, 而 10m 层以深释放的粒子基本分布在 35°N 以北。由于反向追踪只考虑海流的影 响, 追踪过程可逆, 因此, 从运动路径来看, 青岛外海的部分水母可能来源于海州湾、江苏沿岸及长 江口附近海域。从水母种类分布特征来看, 海州湾、江苏沿岸及长江口附近海域在有粒子分布时期 的水母种类与 7、8 月份青岛外海部分水母种类一致, 为寻找青岛外海夏季水母的潜在的来源地提供 了依据。

关键词 水母,溯源追踪,夏季,青岛外海 中图分类号 Q178.1; Q948.885.3

越来越多的渔业捕捞及其它人类活动的干扰, 使海洋生态环境发生了很大的变化,在全球的许多 海湾和海区出现水母大量繁殖的现象。自 20 世纪 90 年代中后期起,东海北部及黄海海域连年发生大型 水母的暴发现象,并有逐年加重的趋势(吴颖等,2008; 丁峰元等,2005)。水母因其没有天敌,对环境适应性 强,食性广,几乎无选择地摄食一切可获得的浮游生 物,和许多鱼类及其仔鱼存在摄食竞争,很容易成为 干扰生态系统的主要类群(Mills *et al*, 1995; Kovalev *et al*, 1998),从而破坏海洋生态平衡,影响鱼类资源 的可持续利用,水母的暴发已经成为一种海洋生态 灾害。因此探讨水母类的变化规律及种群动力学的影 响机制对于渔业资源的可持续利用和研究海洋生态 系统对全球气候变化的响应等问题都有着重要意义。

近年来,在胶州湾及青岛外海海域频繁观测并 捕获到沙海蜇、霞水母等大型水母。中国水母研究计 划"973"项目组成员在2011年7月海上执行考察任 务时发现,我国近海典型的三种大型水母:沙海蜇、 海月水母和白色霞水母均在青岛近海大量出现,至 2011 年 7 月中下旬, 沙海蛰伞径已达到 1.2m, 重达 100kg 以上。而在该年度之前的调查观测中, 该海域 未曾发现这些大型水母的幼体。因此,在7月出现的 大型水母可能是外源性的,而不是由本地水螅体和 水母幼体发育而来。研究青岛外海水母的起源, 对于 研究该海域大型水母的暴发机制以及水母旺发和自 然环境变化及人类活动的关系都有着积极作用。水母 自身游泳能力较弱, 在实际海洋中主要受到海流的 影响,因此本文建立了一个研究水母漂移路径的拉 格朗日追踪模型, 对青岛外海夏季出现的大型水母 进行溯源研究。目前, 拉格朗日追踪模型已经广泛应 用到溢油预测、物质输运等研究中(管卫兵等, 2002; 郭为军等, 2006; 龙绍桥等, 2006)。Moon 等(2010)利

通讯作者:赵 亮,博士,E-mail:zhaoliang@ouc.edu.cn 收稿日期:2011-12-31,收修改稿日期:2012-02-28

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403602 号; 国家自然科学基金重点项目, 40830854 号; 海洋公益性行业科 研专项经费项目, 201005018 号, 张海彦, E-mail: zhanghaiyan123123@163.com

是可逆的。本文采用普林斯顿海洋模型(POM)计算得 到瞬时流场,建立粒子拉格朗日追踪模型,利用反向 追踪研究青岛外海夏季水母的运动路径及可能源地。

1 数据和模型

1.1 流场数据

本文采用的气候态流场数据由一个嵌套的 POM 模式计算而来(Guo *et al*, 2003), 水动力模型采用C网 格, 垂向上采用σ坐标, 计算区域为 117.5°—131.5°E, 24—41°N, 包括渤海、黄海、东海海域。水平网格分 辨率为(1/18)°, 垂向上分为 21 个不等间距σ层, 在海 表和海底采用较细的分辨率。

模型外强迫数据包括海面风应力、热通量、盐通 量、河流输入、开边界潮流和环流。风应力采用 (ERS-1/2)1991—2000年的气候态月平均风应力,热、 盐通量由 Haney 公式给出(Barnier, 1998)。模型中包 括了 10条河流:长江、鸭绿江、黄河、辽河、滦河、 海河、淮河、钱塘江、闽江和汉江。开边界条件由嵌 套的大区模型计算的气候态月平均温度、盐度、流及 海面高度给出。开边界潮流根据 NAO.99b(Matsumoto *et al*, 2000)给出的四大分潮(M₂、S₂、K₁和 O₁)潮流的 叠加得到。模式的初始条件由大区模型计算结果给 出。水动力模型具体配置可参考 Wang 等(2008)和 Zhao 等(2011)。模式结果每 720s 输出一次瞬时流场 和水位用于追踪模型计算。

追踪模型计算前首先利用 POM 模式计算得出瞬 时流场和水位数据,根据σ坐标下的连续方程求解σ 坐标垂向流速ω,进一步利用公式(1)求解真实垂向流 速 w,

$$w = H\omega + \sigma \left(u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \left(u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) +$$

$$(1 + \sigma) \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$
(1)

其中, w 为地球坐标下垂向速度, $\omega = \frac{d\sigma}{dt}$ 为 σ 坐标下垂向速度, ζ 为海面高度, H 为总水深, u 和 v 分别为经向和纬向流速。

1.2 追踪模型

本文采用拉格朗日方法建立追踪模型, 粒子完

全跟随海流运动,不考虑其他过程的影响,因此追踪 过程可逆,通过反向追踪粒子的运动路径并得到粒 子的可能源地。追踪模型中,时间步长设定为720s。 假设粒子初始位置为(*x*₁, *y*₁, *z*₁),利用线性插值得到 粒子所在位置的流速,则在一个时间步长Δ*t*内粒子 在径向、纬向和深度三个方向上的位移分量分别为:

$$\Delta x = \left(\frac{u_w}{\partial u / \partial x} + x_1\right) \cdot \left(e^{\frac{\partial u}{\partial x}\Delta t} - 1\right),$$

$$\Delta y = \left(\frac{v_s}{\partial v / \partial y} + y_1\right) \cdot \left(e^{\frac{\partial v}{\partial y}\Delta t} - 1\right),$$

$$\Delta z = \left(\frac{w_d}{\partial w / \partial z} + z_1\right) \cdot \left(e^{\frac{\partial w}{\partial z}\Delta t} - 1\right),$$

其中, u_w 、 v_s 、 w_d 分别为网格西边界处的 x 向流速分量、南边界处的 y 向流速分量、下边界处的 z 向流速分量。

假设在 Δt 时间内粒子碰到了网格边界,则这个 追踪过程将进行跨网格处理。粒子遇到网格边界时即 进入下一个网格,并在剩下的时间 Δt_{rest} 内在新网格 内继续运动。设粒子跨网格前运动到网格壁所用的时间 为 Δt_1 ,则 $\Delta t_{rest} = \Delta t - \Delta t_1$, Δx_1 为粒子碰到边壁之前的运 动距离,则有 $\Delta t_{rest} = \Delta t - \frac{1}{\partial u/\partial x} \ln \left(\frac{\Delta x_1 \partial u/\partial x}{u_w + x_1 \partial u/\partial x} + 1 \right)$, 如果运动中再碰到边界,则重复上面的步骤,直到 $\Delta t_{rest} = 0$ 。其余两个方向的路径追踪也采用同样处理 方法。

2 结果

追踪过程中不考虑水母的自主运动,将水母看 成完全随水流动的粒子,利用上述模型反向追踪水



图 1 粒子初始释放位置及追踪 海区地形

Fig.1 Initial positions of the released particles and the topography of the tracked area 母运动过程,研究 夏季青岛外海水母 的运动路径及其可 能源地。粒子释放区 域位于青岛外海, 120.0°—122.0°E, 35.5°—37.0°N内的 海月15日、8月1日、 7月15日、8月1日、 7月15日、7月1日, 在海和近天前的 627个粒子,从释放 时刻开始反向追踪 至3月1日。除海面 外,分别在水深 2m、10m 处及底层,在 8 月 15 日释放粒子并反向追踪至 3 月 1 日。

2.1 粒子路径

从不同时刻海面释放粒子的运动路径可以 看出,模型粒子均向南运动,未有粒子到达 37°N 以北海域(图 2)。8月15日释放的粒子经 过海州湾、江苏沿岸,部分粒子沿 10m 等深线 可到达长江口附近海域(图 2a), 至 3 月 1 日, 有 15.63%的粒子分布在 34°N 以南海域, 其中约 有 6.06%的粒子可以到达 32°N 以南的海域(表 1)。8月1日释放的粒子同样可以经过海州湾、 江苏沿岸,可到达长江口附近海域(图 2b)。 与 8 月15日释放的粒子相比较, 粒子的运动路径整 体上一致, 但到达或经过江苏沿岸的粒子数量 减少,到3月1日时,分布在34°N以南海域的 粒子占总数的 6.22%, 仅有约 0.80%的粒子能 到达 32°N 以南的海域(表 2)。7月 15 日及7月 1 日释放的粒子, 可到达海州湾及苏北沿岸海 域(图 2c, d), 与 8 月份释放的粒子相比, 粒子的 路径较短,到3月1日时,最南只能到达苏北沿 岸,没有粒子到达长江口附近海域。

图 3 给出 8 月 15 日在不同深度释放的粒子 Fig.: 的运动路径。结果表明,海面及水深 2m 处释放 的粒子运动路径比较相似,都可沿江苏沿岸到达长 江口附近海域。与海表面释放粒子运动路径相比,2m 处释放的粒子经过江苏沿岸到达长江口附近海域的 数量较少,而沿着 50m 等深线向黄海中部运动粒子



图 2 8月15日(a)、8月1日(b)、7月15日(c)、7月1日(d)释放的 粒子溯源至3月1日的运动路径

Fig.2 Trajectories of particles released from 15 August (a), 1 August (b), 15 July (c) and 1 July (d) to 1 March in different experiments

增多(图 3b)。

水深 10m 处及底层释放的粒子基本分布在 35°N 以北,没有粒子经过江苏沿岸到达长江口附近海域 (图 3c, d)。在追踪过程中,同样没有发现粒子进入

Tab.1	Tab.1 Percentages of the particles released on 15 August at the sea surface moving southward across various latitude									
月份	37°N	36°N	35°N	34°N	33°N	32°N				
8	100.00	70.02	1.59	0.00	0.00	0.00				
7	100.00	86.60	35.73	0.48	0.00	0.00				
6	100.00	87.56	60.45	11.00	0.00	0.00				
5	100.00	88.68	63.64	13.24	7.50	0.00				
4	100.00	89.47	63.96	14.99	11.80	1.44				
3	100.00	89.31	64.11	15.63	12.76	6.06				

表 1 海面 8 月 15 日释放的粒子向南跨越不同纬线的分布百分比(%)

表 2 海面 8 月 1 日释放的粒子向南跨越纬线的分布百分比(%)

Tab.2	2 Percentages of the particles released on I August at the sea surface moving southward across various latitude									
 月份	37°N	36°N	35°N	34°N	33°N	32°N				
 7	100.00	82.78	14.83	0.00	0.00	0.00				
6	100.00	86.60	43.70	2.55	0.00	0.00				
5	100.00	87.72	49.12	3.51	1.44	0.00				
4	100.00	88.68	49.28	5.10	2.87	0.00				
3	100.00	88.68	49.44	6.22	3.51	0.80				



图 3 8月15日0m(a)、水深2m(b)、水深10m(c)、底层(d)释放的 粒子溯源至3月1日的运动路径

Fig.3 Trajectories of particles released in 0m (a), 2m layer (b), 10m layer (c) and bottom layer (d) from 15 August to 1 March in different experiments

37°N 以北海域,大部分粒子停留在初始释放海域, 10m 处释放粒子,少部分向东偏北方向运动,而在底 层释放的粒子,存在东偏南的向南黄海中部的运动 趋势,并基本沿等深线运动(图 3d)。

在表层(包括海面及水深 2m)和 10m 以深释放粒 子的运动方向不同, 表层流速受风影响显著, 除留在 释放海域内粒子, 粒子主要是沿 10m 等深线向南运 动, 而 10m 以深释放粒子沿 50m 等深线向东北和东 南运动。

2.2 粒子时空分布

为研究粒子运动过程,图4给出了青岛外海海面 处8月15日释放的粒子在不同月份的分布情况。粒 子在向南运动的过程中,路径宽度变窄并逐渐向沿 岸靠近。在8月份时(图4a),粒子整体向南运动,但 位移较小,分布相对比较集中,约有98.41%的粒子 分布在37°—35°N之间的海域(表1);到7月份时(图 4b),粒子向山东和江苏沿岸靠近,分布在50m等深 线以浅的海域,主要集中在海州湾,约有86.12%的 粒子分布在36°—34°N之间,只有13.40%的粒子分 布在36°N以北的山东半岛南部沿岸海域(表1)。 在 5、6 月份时(图 4c, d), 部分粒子留在山 东半岛南岸, 大部分粒子继续沿江苏沿岸向南 运动, 并不断向沿岸靠近, 粒子主要分布在 20m 等深线以浅的海域, 在江苏沿岸, 粒子主 要分布在 10m 等深线附近。至 5 月份, 约有 88.68%的粒子分布在 36°N 以南, 其中 63.64% 的粒子到达 35°N 以南的海域, 此时仍然有 11.32%的粒子分布在 36°N 以北的沿岸海域(表 1)。此外, 极少部分粒子在海州湾外大约沿着 30m 等深线向外运动。

在 3、4 月份时(图 4e, f),分布最靠南边的 粒子到达长江口附近海域,此时粒子在青岛外 海、海州湾、江苏沿岸及长江口海域都有分布。 3 月份时,约有 10.69%的粒子分布在 36°N 以北 的沿岸海域,同时约有 6.06%的粒子到达 32°N 以南的海域(表 1),而向外海运动的粒子已经 到达南黄海中部 50m 等深线处。

与表层释放粒子相比,在水深 2m 处释放 的粒子,在 3、4 月份仍能到达长江口附近海域, 但是这部分粒子数量减少,而运动至南黄海中 部的粒子增多。而水深 10m 以深释放的粒子基 本停留在初始释放海域,仅有部分粒子能到达 南黄海中部(图略)。

整体上,不管在哪个层次什么时刻释放的 粒子都不能向北越过 37°N,在表层释放的粒子主要 沿着沿岸海域向南移动,并能经江苏沿岸到达长江 口附近海域。对于水深 10m 处以深释放的粒子,基本 不再沿着岸向南运动,部分粒子可向外运动至南黄 海中部。

2.3 粒子来源分析

由于追踪模型只考虑流速对粒子的输送作用, Isobe 等(2009)指出这种追踪过程可逆,因此可以推 知夏季青岛外海粒子的来源。对于表层的粒子,3、4 月份长江口附近海域、苏北沿岸及南黄海中部海域粒 子均可通过海流作用运动至青岛外海。从粒子分布看, 长江口外海域至苏北沿岸 10m 等深线一线是粒子的 主要通道。对于 10m 以深的粒子,其东部海域 50m 等深线附近 3—5 月份出现的粒子可以到达青岛外海。

从粒子运动路径来看,青岛外海的粒子不能来 源于该海域北部,只能从东、东南和南面漂移过来。 3、4 月份长江口附近海域粒子在 7 月底之前到达不 了青岛外海,到 8 月份时才能到达,而 3 月份苏北沿 岸的粒子在 7 月底之前能到达青岛外海。3、4 月份

120°

a.8月1日

c.6月1日

120°

122

122

124°E

118°

38

N 36

34

 32°

30

38

Ν

36

34

32

30

118

124°F

120°

b.7月1日

d.5月1日

120°

122

122

118

38

Ν

36

34[°]

32

30°

38

Ν

36

34

32[°]

30°

38

Ν

36

34

32

30

118

南黄海中部的粒子, 可以在 7、8 月份到达青岛 外海。

分析与讨论 3

从各反向追踪实验来看,表层释放的粒子 整体向南运动并向岸靠近, 而在苏北沿岸处, 粒子开始远离沿岸,路径大体与10m等深线-致, 直到运动至长江口附近海域。此外, 部分 粒子在海州湾外向外运动到南黄海中部 50m 等 深线处。不同时间释放的粒子所到达的海域不 同。在8月15日及8月1日,青岛外海释放的 粒子可以溯源到海州湾、江苏沿岸、南黄海中 部,向南最远可以到达长江口附近海域,而在 7月15日及7月1日释放的粒子只能到达海州 湾及苏北沿岸,黄海中部海域分布很少。而 10m 层以深释放的粒子,沿 50m 等深线向东北 和东南运动, 南黄海中部海域 50m 等深线附近 3—5月份出现的粒子可以到达青岛外海。

由于采用的拉格朗日追踪是可逆的, 可以 推测青岛外海处的部分水母可能来源于海州 湾、江苏沿岸、南黄海中部及长江口附近海域。 3、4月份长江口附近海域出现的水母在7月底 之前可以随流向北运动至江苏沿岸和海州湾, 到 8 月初时即可到达青岛外海; 3—5 月份出现 在江苏北部沿岸和南黄海中部海域的水母随流 运动,同样到 8 月初时可到达青岛外海;而 3—6月份海州湾、苏北沿岸及其外海的水母在 7 月份时便能到达青岛外海。黄海中部粒子分 布区域主要是粉砂质底质,缺少水螅体附着的 物理环境, 另外, 从追踪实验中粒子数量来看, 青岛外海7、8月份出现的外源性水母主要来自 苏北沿岸和长江口外海域。所有的追踪实验中, 粒子都没有向北运动超过 37°N 纬线, 也就是 说,青岛外海的水母不能来源于该海域北部,只能从 其南部海域漂移过来。

由上述分析可知,青岛外海7月份出现的水母可 能来自于海州湾及和苏北沿岸,而8月份出现的水母 可能来源于海州湾、江苏沿岸以及长江口附近海域。 Hu 等(2008)根据卫星观测发现, 2008 年 6 月底及 7 月 初出现在青岛外海的浒苔,最早于5月中旬出现在南 黄海中部及苏北外海,受到风、流等因素影响运动至 青岛外海。本文追踪实验未考虑风的影响,浒苔运动



(d)、4月(e)和3月(f)的分布

Fig.4 Distributions of particles released on 15 August at sea surface in August (a), July (b), June (c), May (d), April (e), and March (f)

> 过程与海面粒子追踪结果不完全相同, 但源地基本 一致。

> 中国水母研究计划 973 项目组成员在 2011 年 7 月海上执行考察任务时发现,沙海蜇、海月水母和白 色霞水母均在青岛外海出现。此外、根据王真良(1996) 的研究, 青岛外海7、8月的水母还包括: 盘形美螅水 母、五角水母、四枝管水母、双生水母、薮枝水母、 嵊山秀氏水母等。在海州湾和苏北沿岸,春、夏季存 在洋须水母、多管水母、八斑芮氏水母、半球美螅水 母、四枝管水母、薮枝水母、灯塔水母等(苏翠荣等,

124°E

124°F

1996; 张芳, 2008¹), 5 月份时观测到双生水母、嵊山 秀氏水母、薮枝螅类、青色多管水母、五角水母及四 枝管水母等(左涛等, 2003; 张锡烈, 1983)。此外, 江 苏南岸及长江口附近海域春季时出现多管水母、霞水 母和沙水母等大型水母, 及五角水母、双生水母等小 型水母(周永东等, 2004; 程家骅等, 2005; 张芳, 2008¹⁾)。从水母种类的季节和地理分布来看, 海州湾、 江苏沿岸及长江口附近海域在有粒子分布时期的水 母种类与 7、8 月份青岛外海部分水母种类一致, 都 可能成为青岛外海夏季水母的源头。

4 结论

在反向追踪实验中,以粒子代表海洋中的水母, 研究其随流运动。从粒子的运动轨迹及时空分布可以 看出,其源地可能为海州湾及其外海、南黄海中部、 江苏沿岸及长江口附近海域。由于黄海中部粒子分布 区域主要是粉砂质底质,缺少水螅体附着的物理环 境。可知,青岛外海处的部分水母可能来源于海州湾 及其外海、江苏沿岸及长江口附近海域。3—7 月之 间海州湾及其外海海域的水母,3—6月之间江苏沿岸 的水母,以及 3—4 月之间长江口附近海域的水母, 均有可能运动到青岛外海,成为青岛外海夏季水母 的源地。

此外,将青岛外海水母种类与各可能源地海域 的水母种类比较得出,海州湾及其外海与江苏沿岸 的八斑芮氏水母、半球美螅水母、嵊山秀氏水母、薮 枝螅类、五角水母等种类的水母,以及长江口附近的 五角水母、双生水母、多管水母、霞水母等水母,与 夏季青岛外海部分水母种类一致,有可能通过海流 的运动输送至青岛外海。因此,从实验追踪结果及水 母分布特征来看,青岛外海处的部分水母可能来源 于海州湾、江苏沿岸及长江口附近等海域。

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
- 王真良, 1996. 黄海区水母类的生态研究. 黄渤海海洋, 14(1): 41--50
- 左 涛, 王 克, 王 荣等, 2003. 春季南黄海浮游动物群落 的多元统计分析. 水产学报, 27(增): 108—114
- 龙绍桥,娄安刚,谭海涛等,2006.海上溢油粒子追踪预测模型中的两种数值方法比较.中国海洋大学学报,36(增):

157-162

- 苏翠荣,徐家铸,李忠武,1996. 江苏海州湾浮游动物的种类组 成和分布.南京师范大学学报(自然科学版),19(1):64—71
- 吴 颖,李慧玉,李圣法等,2008. 大型水母的研究状况及展望. 海洋渔业,30(1):80—87
- 张锡烈, 1983. 江苏近海水螅水母类、管水母类初步调查研究. 黄渤海海洋, 1(1): 87—92
- 周永东, 刘子藩, 薄治礼等, 2004. 东、黄海大型水母及其调查 监测. 水产科技情报, 31(5): 224—227
- 郭为军,张树深,2006.基于 POM 的大连湾溢油预测模型.辽 宁工程技术大学学报,25(增):275—277
- 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—446
- 管卫兵, 王丽娅, 潘建明等, 2002. POM 模式在河口湾污染物 质输运过程模拟中的应用. 海洋学报, 24(3): 9—17
- Barnier B, 1998. Forcing the Oceans. In: Chassignet E P, Verron J ed. Ocean Modeling and Parameterization. Kluwer Academic, 45—80
- Guo X, Hukuda H, Miyazawa Y et al, 2003. A triply nested ocean model for simulating the Kuroshio-Roles of horizontal resolution on JEBAR. Journal of Physical Oceanography, 33: 146—169
- Hu C, He M X, 2008. Origin and offshore extent of floating algae in Olympic Sailing Area. Eos Trans AGU, 89(33): 302–305
- Isobe A, Kako S, Chang P et al, 2009. Two-way particle-tracking model for specifying sources of drifting objects: application to the East China Sea Shelf. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 26: 1672–1682
- Kovalev A V, Piontkovski S A, 1998. Interannual changes in the biomass of the Black Sea gelatinous zooplankton. Journal of Plankton Research, 20: 1377–1385
- Matsumoto K, Takanezawa T, Ooe M, 2000. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan. Journal of Oceanography, 56: 567—581
- Mills C E, Sommer F, 1995. Invertebrate introductions in marine habitats: two species of hydromedusae (Cnidaria) native to the Black Sea, *Maeotias inexspectata* and *Blackfordia virginica*, invade San Francisco Bay. Marine Biology, 122: 279– 288
- Moon J H, Pang I, Yang J Y *et al*, 2010. 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, 80: 101–114
- Wang Q, Guo X Y, Takeoka H, 2008. Seasonal variations of the Yellow River plume in the Bohai Sea: A model study. Jour-

¹⁾ 张 芳, 2008. 黄东海胶质浮游动物水母类研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 1-130

nal of Geophysical Research, 113: C08046 Zhao L, Guo X, 2011. Influence of cross-shelf water transport on nutrients and phytoplankton in the East China Sea: a model study. Ocean Science, 7: 27-43

ORIGIN OF THE GIANT JELLYFISH IN QINGDAO OFFSHORE IN SUMMER

ZHANG Hai-Yan¹, ZHAO Liang¹, WEI Hao²

(1. Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao, 266100; 2. College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, 300457)

Abstract In the summer of 2011, massive giant jellyfish was observed in Qingdao offshore. These jellyfish, including *Nemopilema nomurai, Cyanea nozakii* and *Aurelia aurita*, were remote origin because their larvae were not found in Qingdao offshore in the past winter and spring. We conducted a series of backward Lagrangian particle-tracking experiments driven by the Princeton Ocean Model (POM) hydrodynamical results to identify possible source regions of the observed giant jellyfish. Passive particles representing the jellyfish were released in surface layer and at some other depths at different times in summer. The trajectories of the particles depended on both the depth and the date of release. Backward tracking from the summer to spring, the released particles in surface layer were mainly found in Haizhou Bay, Jiangsu coast area, and the region adjacent to Changjiang Estuary, and those released at 10m depth and the bottom were all found to the north of 35°N. These places may be the source regions of the observed massive giant jellyfish. This conclusion was also supported by the consistence of the jellyfish species in these areas and Qingdao offshore.

Key words Jellyfish, Backward particle-tracking, Summer, Qingdao offshore

2011 年度《海洋与湖沼》动态

(1) 《海洋与湖沼》2011 年最新公布的总被引频次在海洋科学期刊中名列第一位;影响因子为 1.404,学 科影响指标和综合评价总分均列海洋科学期刊首位;综合评价总分在全国科技期刊中排第 18 位。

(2) 荣获 2011 年度百种中国杰出学术期刊奖。

(3) 荣获 2011 年度中国精品科技期刊奖。