

东海鲈鱼(*Scomber japonicus*)仔幼鱼游泳行为对运输和补充量的影响*

李曰嵩^{1, 2, 3} 潘灵芝⁴ 陈新军^{1, 2, 3①} 费岳军⁴

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心 上海 201306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室 上海 201306;

4. 国家海洋局东海预报中心 上海 200081)

提要 采用物理环境因子, 确定鲈鱼仔幼鱼运动和物理环境之间的响应关系, 建立起了基于个体具有游泳行为的鲈鱼早期生长史模型。结果表明, 具有游泳行为仔幼鱼前期对运输分布的影响不大, 后期随着游泳能力的增强, 逐渐在温盐梯度较大锋面, 靠近暖水的一侧进行集群和滞留, 并使向东北运输速度降低, 运输到太平洋和日本海的幼鱼数量下降, 所处水深降低, 适应生长发育, 死亡率降低。产卵场位置的变动使偏西产卵的集群受台湾暖流影响较大, 导致集群偏西, 主要聚集在偏北的台湾暖流水和长江冲淡水交汇处高温、高盐一侧。偏东产卵受黑潮影响较大, 集群偏东, 不形成大量聚集和滞留; 在生存率方面正常产卵位置是最佳产卵位置。研究认为, 物理环境和生物因素同样会对具有游泳行为仔幼鱼的运输和补充产生影响。

关键词 基于个体模型; 鲈鱼; 游泳行为; 运输和补充量; 东海

中图分类号 S958, S917

鲈鱼(*Scomber japonicus*)是我国近海重要的中上层经济种类, 同时也是东、黄海区海洋生态系统中的重要鱼种(唐启升, 2006; 张秋华等, 2007; 李纲等, 2011)。鱼类资源补充量很大程度上取决于它们早期生活阶段的补充状态。在海洋食物网中, 鲈鱼鱼卵仔幼鱼既是主要的被捕食者, 又是次级生产力的重要消费者, 仔幼鱼是海洋食物链中的重要环节之一(万瑞景等, 2006)。因此, 鱼卵仔幼鱼作为在海洋生态系统中起到承上启下重要作用的消费者和转换者, 受到其所处海洋生态环境的制约, 因此进行与鲈鱼早期生活阶段成活率有关的温度、海流等物理、生物过程的研究就显得很重要。充分考虑了个体与个体间以及个体与局部环境之间相互作用的基于个体模型(Individual-Based Model, IBM)在鱼类早期生活史上

的研究发展很快(Gallego *et al*, 2007; Werner *et al*, 2001)。在 IBM 研究中往往假设仔幼鱼在物理场中完全被动漂流(Heath *et al*, 1997; Hinckley *et al*, 1996; 李曰嵩等, 2012a), 忽略仔幼鱼的游泳和垂向移动能力。李曰嵩等(2012b)建立了基于个体的东海鲈鱼生长初期的生态模型, 模拟鲈鱼鱼卵仔鱼从产卵场到育肥场的运输过程中的生长发育, 同样忽略了仔幼鱼的生物行为特征和活动能力, 并假设对其运输的影响可以不计, 着重研究物理环境(例如流场、温度)对鱼卵仔鱼运输的影响, 虽然模型中代表鱼卵仔鱼的质点有生长死亡的生物学性质, 但不具有完全生物学行为的粒子, 结果往往不具有生物学意义, 并不都能代表鱼卵仔幼鱼真实的运输情况。

在鲈鱼仔鱼早期刚刚发育阶段, 即使有微弱的

* 教育部博士点基金, 20093104110002 号; 国家高技术研究发展计划, 2012AA092301 号; 上海市教育委员会科研创新项目, 13YZ092 号; 上海市教育委员会重点学科建设项目, J50702 号; 上海海洋大学博士科研启动基金, A-2400-12-0000333 号。李曰嵩, 博士, E-mail: liys@shou.edu.cn

① 通讯作者: 陈新军, 教授, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期: 2012-03-15, 收修改稿日期: 2012-05-28

移动行为, 相对与周围的海流可以忽略不计。但幼鱼阶段, 尤其经过变态并完成了骨骼化后, 游泳能力和抵抗海流的能力将会逐渐加强, 具有向适宜环境移动的生物意图。在现实的物理环境中仔幼鱼的游泳行为产生的仔幼鱼在水平和垂向移动将会导致在运输过程中遭遇到不同的物理环境, 会对生长和生存产生影响。IBM 可以有效解决鱼类个体特征和行为的差异性, 其特征差异性体现在鱼的长度和重量上, 行为差异性体现在对水环境因子的不同响应上(陈求稳等, 2009)。为此, 本文在已经构建好的物理-生物耦合模型的基础上(李曰嵩, 2012b), 增加仔幼鱼水平游泳和垂向移动能力, 研究具有游泳行为的鲈鱼仔幼鱼对运输分布和补充量的影响, 为进一步研究成年鲈鱼的集群和渔场形成的动力学机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 耦合模型介绍

本研究鲈鱼早期生活史耦合模型的物理模型是 FVCOM (Finite-Volume Coastal Ocean Model, FVCOM) (Chen *et al.*, 2008; Ge, 2010¹⁾), 由潮汐、风、热力等动力来驱动, 为生物模型提供基本的三维流场、温盐场以及湍流扩散系数场等。生物模型是 IBM, 主要通过参数化的方法来模拟鲈鱼的孵化、生长、死亡、行为等。通过拉格朗日质点追踪方法的耦合, 在鱼卵、仔幼鱼的漂移过程中, 鲈鱼根据所在的环境进行生长、死亡等, 模拟出鲈鱼鱼卵仔幼鱼的运输过程以及丰度的分布等, 为研究鲈鱼的资源变动提供基础。

仔幼鱼在海洋中的空间分布是由仔幼鱼的运动和物理环境共同决定的。本文模型中个体的运动如公式(1)所示, 主要包括了两个方面: 一是物理方面, 包括随海水的运输运动和由湍流扩散导致的随机运动(李曰嵩等, 2012b); 二是生物方面, 主要是个体自身运动, 包括垂直和水平的游泳运动。在本文重点研究生物因素——游泳行为对运输和补充量产生的影响。

$$P_n(\Delta t) = (\vec{v} + \vec{v}_s)\Delta t \quad (1)$$

式中, $P_n(\Delta t)$ 是第 n 个体在 Δt 时间内的位移变化量, \vec{v} 是三维流场, \vec{v}_s 是仔幼鱼的游泳速度, 这两项的矢量和是个体在海洋中水平漂移与垂向移动的主要动因, 能够将个体带到适宜或不适宜生长环境中, 最终导致个体差异和补充资源量变动的主要因素。

1.2 运动规则设定

运输过程中仔幼鱼的运动通常涉及垂直和水平位置移动, 模型中游泳子模块设计流程如图 1 所示, 设定仔幼鱼先在垂向搜索适宜水层并移动到最适合水层, 然后在此水层水平搜索适宜网格, 并确定游泳速度和方向, 向最适合网格(环境)进行移动, 根据是否到达适宜网格, 进行定向或随机游泳, 在移动过程中将受到周围流场的影响, 有时可能根本游不到适宜网格中, 而被水流带走。

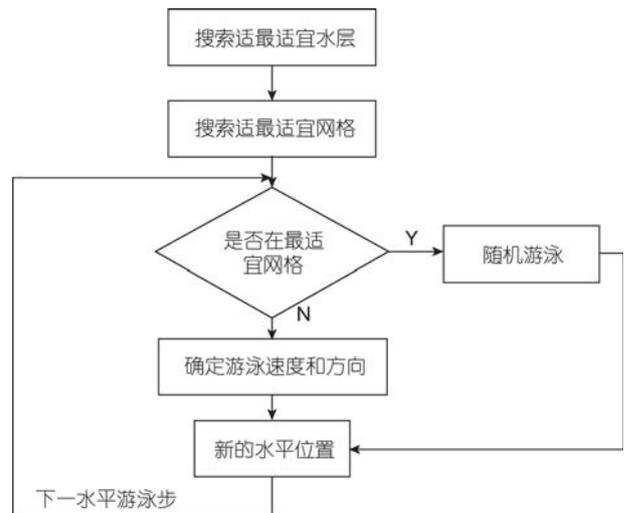


图 1 IBM 中游泳行为子程序设计流程图

Fig.1 Flow chart of swimming behavior submodel in IBM

在本模拟中以三维物理模型 FVCOM 的计算结果作为鱼类模型的输入条件, 根据建立的幼鱼对水环境因子的响应关系, 计算仔幼鱼在下一时刻垂向和水平运动的位置。在不考虑食物胁迫和捕食作用的情况下, 仔幼鱼对不同水环境条件的响应将是不同的, 即仔鱼幼鱼在海洋中的移动方向和速度是不同的。

该响应关系的建立, 其依据是仔幼鱼所处的物理环境所确定的最佳适宜度(fitness) (Railsback *et al.*, 2005)。适宜度是个体对具体环境的适合度, 该理论中假设个体能够有效感知外界和身体内部的信息, 能够利用环境信息和自身状态计算当前环境的适宜度, 并能预测自身在相邻环境中的适宜度, 进而决定下一步的运动行为(Hughes *et al.*, 2000; 王玉衡, 2011)。如图 2 所示, 仔幼鱼在所处的网格中, 它有向周围各

1) Ge J Z, 2010. Multi-sale FVCOM model system for the East China Sea and Changjiang Estuary and its applications. Shanghai: East China Normal University, 1—179

个网格移动或滞留在当前网格的意图, 仔幼鱼的运动行为是根据各个网格的环境条件适宜度来决定的。尽管影响鱼类动态的因素很多, 但是对于特定的系统通常只有几个因子起关键作用, 这对于模型概化非常重要, 在本模型中主要考虑了温度、温度梯度、盐度、盐度梯度、距离、上升流和鱼群密度 7 个因子。先计算并求得所有网格中各因子的量, 然后对计算网格中各个因子进行归一化, 最后采用算术加权法计算每个网格的适宜度, 取最大值, 其表达式为:

$$p_j = T_{jopt} \cdot w_1 + S_{jopt} \cdot w_2 + Dis_{jopt} \cdot w_3 + Den_{jopt} \cdot w_4 + T_{jgrad} \cdot w_5 + S_{jgrad} \cdot w_6 + W_{jopt} \cdot w_7, \quad \sum_{i=1}^7 w_i = 1 \quad (2)$$

式中, p_j 是网格 j 中的适宜度; w_i 为参数 i 所占的权重; T_{jopt} 、 S_{jopt} 、 Dis_{jopt} 、 Den_{jopt} 、 T_{jgrad} 、 S_{jgrad} 、 W_{jopt} 分别为网格 j 中温度、盐度、距离、鱼群密度、温度梯、盐度梯度、上升流归一化值; p_{opt} 为最佳适宜度, 范围为 0—1 之间。

仔幼鱼有向更佳适宜度网格移动的意向, 个体根据搜寻计算周围网格适宜度, 找到最大适宜度网格, 来决定下一步的意图, 即如果仔幼鱼相邻的某个网格的适宜度比现在所处的网格好(对仔幼鱼的吸引力较大), 即该网格更加适宜栖息, 幼鱼根据适宜度大小调整游泳速度, 与当前网格适宜度相差越大, 游泳速度越快, 当游到理想的网格, 仔幼鱼在该网格将进行随机游泳。如果当前所处网格就是最佳适宜度网格, 那么仔幼鱼就在当前网格中随机游泳。

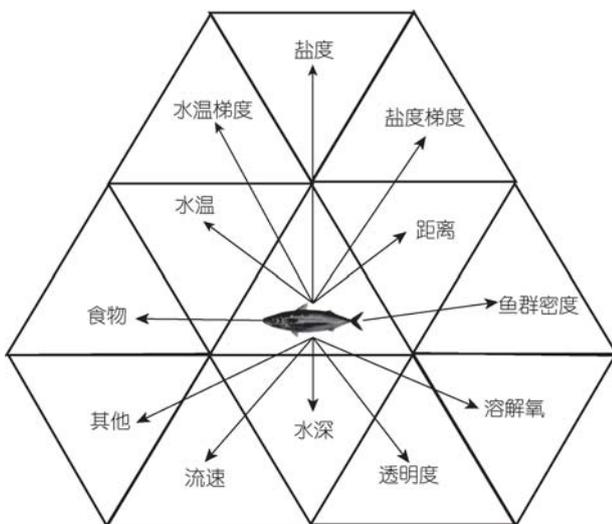


图 2 程序中仔幼鱼在网格中移动示意图

Fig.2 Illustration of larval and juvenile movement in model grid

Hunter 等(1980)在实验室里测定了鲑鱼仔鱼的游泳速度, 测得在 3—5mm 体长时就有大约 30 次/s 很高的摆尾频率和 0.16 倍标准体长低摆尾振幅, 并且瞬时游泳速度显著增长, 测到体长 3.6mm 时为 0.46cm/s, 体长 15mm 时为 5.6cm/s。在仔鱼逐渐生成中, 游泳速度不是相对体长的增长呈对数增加的, 而是相对增长在减少(Webb, 1975)。在模型中作者设定幼鱼的游泳和体长相关, 当体长小于 15mm(仔鱼阶段)时游泳速度与体长呈对数关系(Hunter *et al*, 1980), 当仔鱼完成变态后, 即体长达到 15mm 以后, 幼鱼游泳速度将是体长 3.5 倍的线性关系(Blaxter, 1969; Sepulveda *et al*, 2000; Dickson *et al*, 2002)。

$$v_s = \alpha 2.780L^{1.753} \quad 0 < L < 1.5\text{cm} \quad (\text{cm/s})$$

$$v_s = \alpha 3.5L \quad 1.5\text{cm} \leq L \quad (\text{cm/s}) \quad (3)$$

式中, L 为仔幼鱼体长(cm); α 是根据定向或随机游泳以及适宜度相关的调节系数(0—1)。

2 结果与分析

2.1 对运输分布和补充量的影响

从图 3 可看出, 3 月份和 4 月份, 有无游泳行为鲑鱼仔鱼的运输分布情况基本上相似, 因为此时仔鱼的游泳能力很弱, 虽然有向适宜环境中迁移的意图, 但在仔鱼周围流场的作用下, 使仔鱼无法成功地游到理想的网格中去, 而是被流挟持带走, 基本上该阶段还是被动漂移。随着个体生长, 游泳能力逐渐增强, 抗拒潮流的能力也随之加强。在 5 月末, 可以看出在运输路径上的分布有所差异(图 3), 仔幼鱼逐渐有能力向适宜度大的栖息地游泳并滞留的趋势, 分析发现在靠近暖水、温盐梯度比较大的锋面的地方开始逐渐有仔幼鱼聚集, 但海流的作用还会使大部分仔幼鱼向东北运输。到 6 月末没有游泳行为的试验中的仔幼鱼已经运输到了对马海峡和太平洋育肥场海域(图 3), 但具有游泳行为试验, 在台湾暖流和长江冲淡水交汇区高盐一侧附近有较多幼鱼分布, 以及黑潮锋面附近也有聚集, 但海流还会使其向东北运输, 但运输的速度明显降低, 最远处只到达九州岛西部外海(图 3)。在 7 月份, 游泳能力进一步增强, 会使幼鱼更有迁移到适合的环境中去的能力, 在济州岛南部的黄海暖流温度锋区附近有较多幼鱼的分布, 另外在运输路径上的黑潮锋面靠近暖水一侧附近也有大量幼鱼分布, 台湾暖流和长江冲淡水盐度锋面处也有少量幼鱼的分布(图 3)。在运输路径上, 由于生物选择的结果, 出现了没有幼鱼分布的空隙带和高密

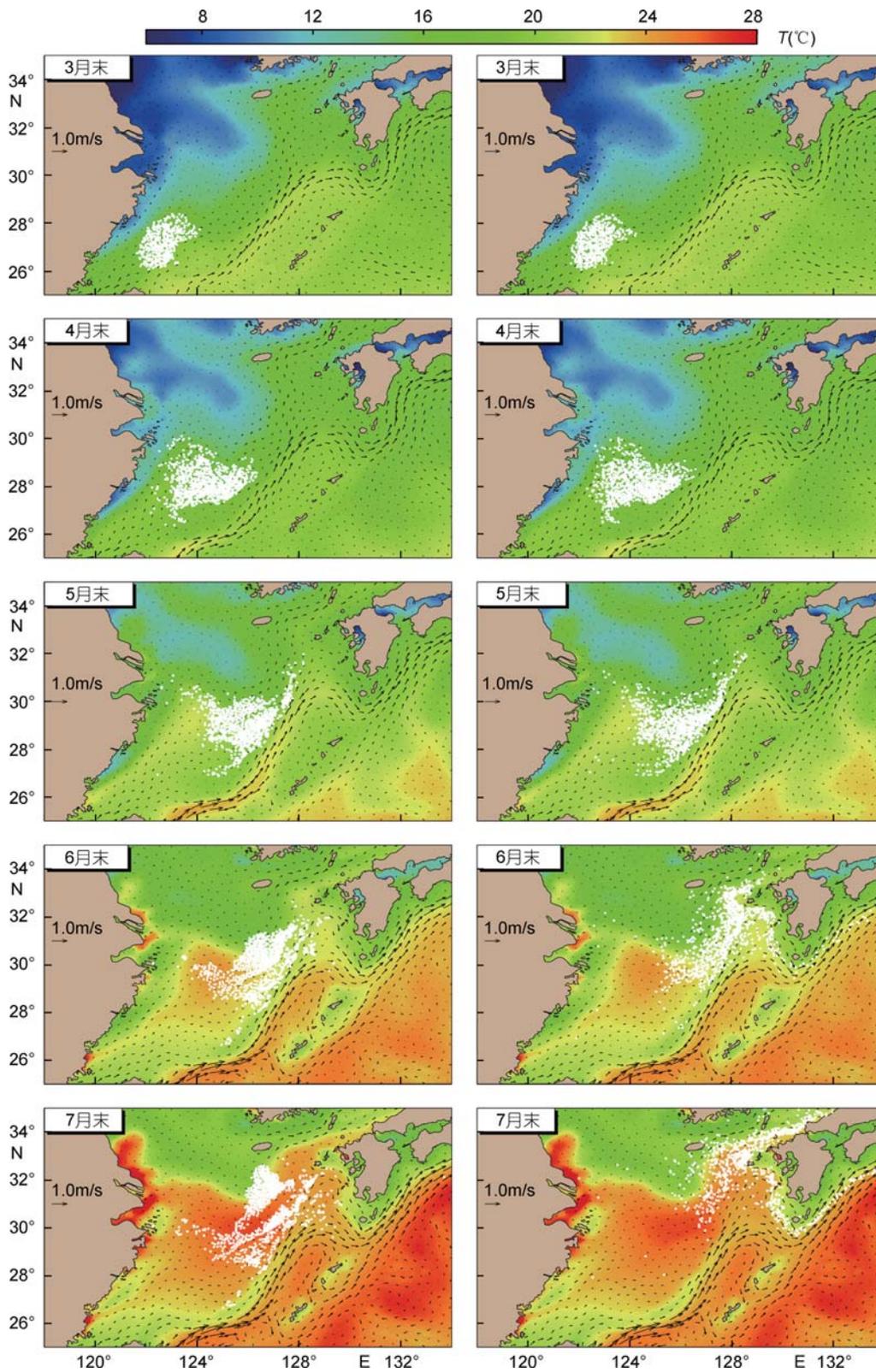


图3 有无游泳行为情况下鲈鱼仔幼鱼的分布

Fig.3 Dispersal of larvae and juvenile of *S. japonicus* with or without swimming behavior
左: 有游泳; 右: 无游泳

度仔幼鱼分布的斑块。这种逐渐在适宜区域滞留聚结会使仔幼鱼向东北的对马海峡运输变慢,导致运输到太平洋和日本海的幼鱼数量比没有游泳行为为少得多,此现象就是仔幼鱼在运输过程中进行搜索,通过游泳行为选择适合生长的环境,避开不适宜区域的生物选择的结果。

从图 3 中 7 月末的仔幼鱼存活的情况可以看出,同样在相同的产卵数的情况下,有游泳行为存活 8.46×10^8 个,与没有游泳行为 7.76×10^8 个相比,存活率有所提高,由于有向适宜栖息地游泳行为,仔幼鱼逐渐有了抵抗潮流的能力,对环境具有一定的选择性,不是完全依靠潮流的携带到适宜或不适宜的环境中,并在某些适宜海域可以进行长时间聚集和滞留,这对生长发育以及对育肥场的补充量非常有利。

2.2 仔幼鱼的生长和所处物理环境

从图 4 可知,3—5 月份由于大部分仔鱼刚开始发育,游泳能力不强,导致体长差异不大。6 月份,有游泳行为试验中的仔幼鱼对海流的抵抗能力增强,逐渐迁移到相对比较好的环境中,导致体长比没有游泳行为试验中完全靠流场被动漂移的仔幼鱼的体长要大一些。在 7 月末,这种优势更加明显,平均体长相差 40mm,这也解释了有游泳行为的仔鱼死亡率低的原因。

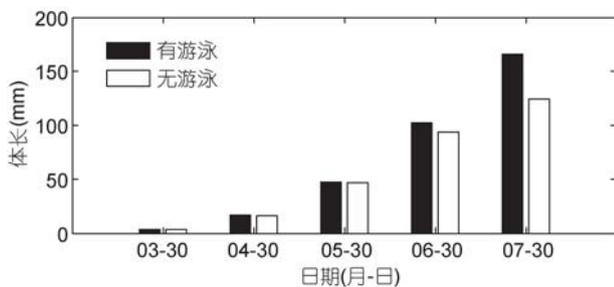


图 4 有无游泳行为情况下不同时刻鲈鱼仔幼鱼体长分布

Fig.4 Mean length of larvae and juvenile of *S. japonicus* in different time with or without swimming behavior

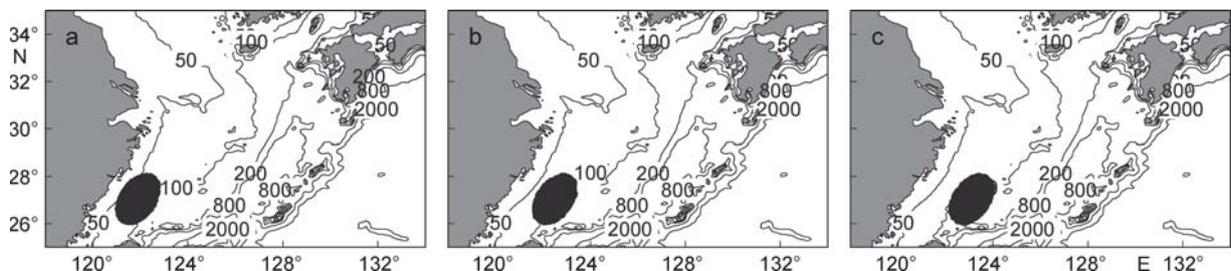


图 6 鲈鱼产卵场位置变动示意图

Fig.6 Illustration of variability in spawning areas for *S. japonicus*
a. 偏西; b. 正常; c. 偏东

为什么有游泳行为的仔幼鱼生长要好很多?由图 5 可看出,具有游泳行为的仔幼鱼栖息水层较没有游泳行为完全靠物理作用导致的水深变化要浅的多,4 月份仔幼鱼游泳能力弱,基本上与无游泳行为无异,两者基本上差距不大,但在接下来的 3 个月里,具有游泳行为的幼鱼平均水深始终维持在 20m 左右的深度,但没有游泳行为的仔幼鱼在垂向流(w)和随机游走(湍流)的作用下,所处的水层深度逐渐加深,平均水深由 4 月末的 20m 增长到 7 月份末的 100m 以上,因此对于生长和温度密切相关的仔幼鱼而言,必将会影响其生长和生存。

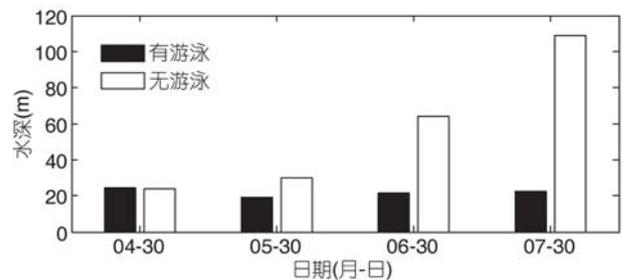


图 5 有无游泳行为情况下不同时刻鲈鱼仔幼鱼的平均水深分布

Fig.5 Mean water depths of larvae and juvenile of *S. japonicus* in different time with or without swimming behavior

3 讨论

以本研究产卵位置,即位于东海东南部黑潮和台湾暖流之间弱流区海域(Yukami, 2007; Yukami et al, 2009)(图 6b),称为正常产卵位置,将产卵场位置在正常产卵位置基础上向西偏移 60km,使部分产卵场区域进入了台湾暖流区(图 6a),称为偏西产卵位置;向东偏移 60km,使部分产卵场区域与黑潮区域相交汇(图 6c),称为偏东产卵位置。讨论在有游泳行为条件下,产卵位置变动对运输分布和补充量所产生的影响。

从图 7 中可看出, 在运输的初期, 同样由于游泳行为能力比较弱, 3 月份运输分布情况除了由于产卵位置产生的空间差异外, 没有太大的差异。但在后期, 由于游泳能力的增强和物理环境的影响, 就开始有所差异; 6 月末, 偏西产卵位置实验中仔幼鱼主要聚集在偏北的台湾暖流水和长江冲淡水交汇区高温、高盐一侧。偏东产卵位置实验中靠近黑潮一侧由于流速

较快, 仔幼鱼没有形成大量聚集, 但在远离黑潮的一侧开始有聚集的倾向; 7 月末, 偏西的产卵位置在济州岛南部的温度锋面高温一侧和主输运路径上呈现块状或带状的集群, 并在舟山外海也有不少幼鱼集群斑块。偏东产卵场在温盐锋面附近也出现带状集结的现象。另外与没有游泳行为的模拟相比较, 3 个模拟试验输运速度明显变慢, 输运到太平洋和日本海

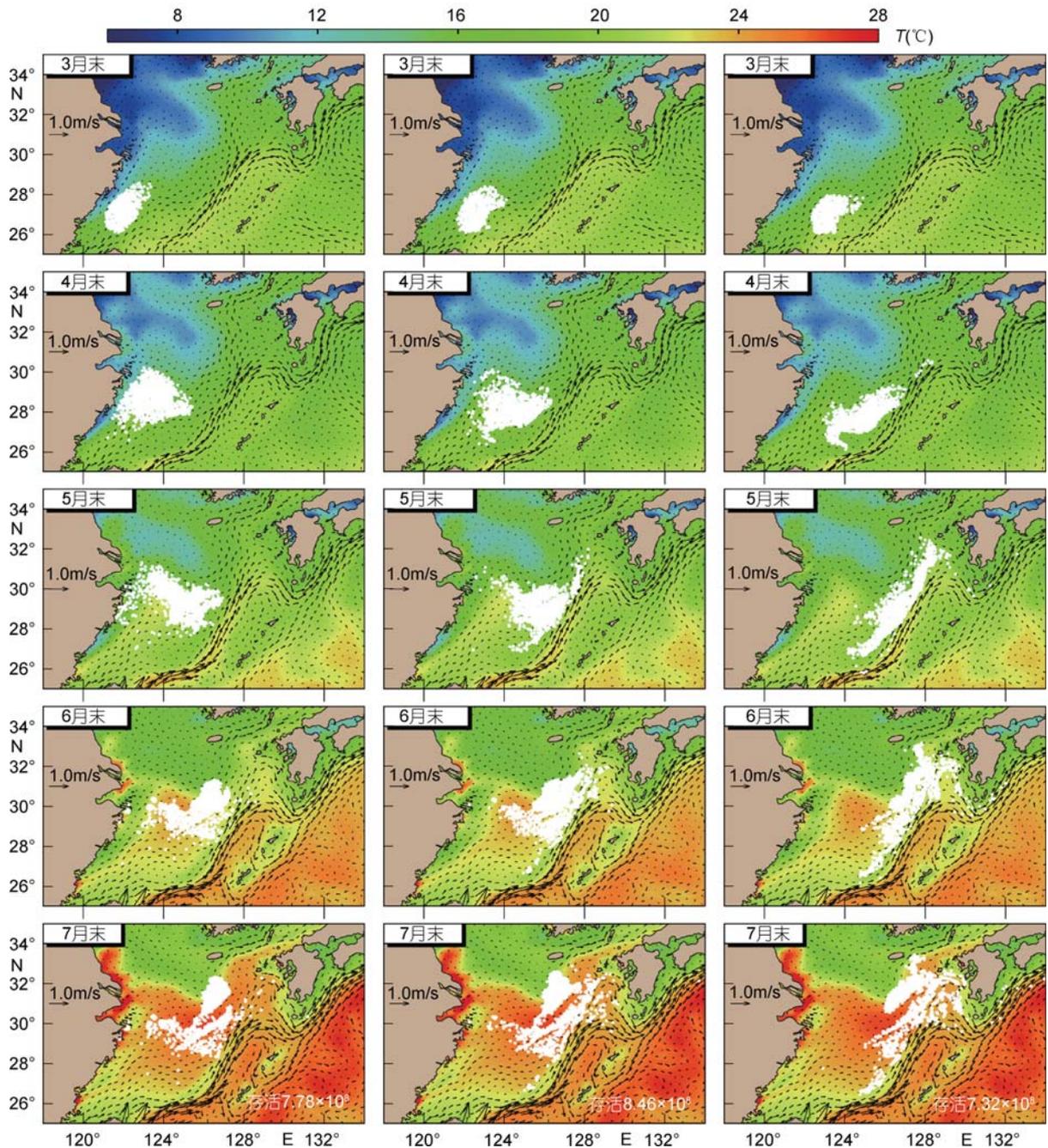


图 7 有游泳行为产卵场位置变动下鲈鱼运输分布

Fig.7 Dispersal of larvae in the different spawning areas with swimming behavior
左: 偏西; 中: 正常; 右: 偏东

的幼鱼数量也都明显下降。

从7月末中仔幼鱼的存活可看出,3个试验中在产卵相同的情况下,偏西和偏东产卵位置最后剩余存活量分布为 7.78×10^8 和 7.32×10^8 个个体,偏西产卵位置比偏东产卵位置死亡率要低,但均比正常产卵位置 8.46×10^8 个要低,这说明正常产卵位置在有游泳行为的仔幼鱼的运输过程中存活的机率是最大,正常产卵位置在存活率方面,应当是3个产卵位置中最佳产卵位置。

综上所述,3个模拟试验聚集的海域和分布有所不同,偏西产卵位置由于受台湾暖流的影响较大,运输整体偏西北,在运输的过程中有大量仔幼鱼在中国沿海滞留和过境,仔幼鱼集群受台湾暖流影响较大,和正常产卵位置相比在东海区偏西集群;偏东产卵位置受黑潮影响较大,整体运输偏东南,在运输的过程中几乎就没有鱼卵仔鱼漂移到中国沿海附近,并且漂移速度很快,仔幼鱼在东海区偏东集群,说明物理环境和生物行为因素同样会对具有游泳行为仔幼鱼的运输产生影响,进而影响其资源补充量。

但也应当看到,模型中只选择了温度、温度梯度、盐度、盐度梯度、距离、上升流和鱼群密度作为适宜度的关键因子,并没有考虑食物、胁迫、捕食和渔业捕捞的影响;运动规则设定和适宜度权重计算来源于经验和文献;仔幼鱼感知所处相邻网格的能力,按理应当根据体长相关函数求得搜寻半径更加合理;使用上升流代表食物富集量作为适宜度计算因子,没有引进真正食物场;仔幼鱼的游泳速度一直是体长的单一函数,虽然在模型中会根据适宜度大小在正态范围内有所变化,这与真实情况可能有所差别,这些都会影响模型的准确性。此外必须指出的是,该研究只是在模型构建的基础上进行的初步定性的研究,模拟结果还需要结合实际调查进行严格验证。因此,今后应进一步加强鲈鱼行为学的研究,以及对环境响应关系的理解,充分收集和调查鲈鱼仔幼鱼的空间分布数据,增加食物模块等,这些都是今后应努力的方向。本文的研究结果为进一步研究鲈鱼成鱼的渔场形成机制奠定了扎实的基础。

参 考 文 献

万瑞景,孙 珊,2006. 黄、东海生态系统中鱼卵、仔稚幼鱼种类组成与数量分布. 动物学报, 52(1): 28—44
 王玉衡,2011. 黄海物理环境对鳀鱼种群动态的影响. 青岛: 中国海洋大学, 1—101
 李 纲,陈新军,2011. 东黄海鲈鱼资源评估与管理决策研究.

北京: 科学出版社, 1—164
 李曰嵩,陈新军,2012a. 基于个体生态模型的研究及在渔业中应用进展. 水产学报, 36(4): 629—640
 李曰嵩,陈新军,杨 红,2012b. 基于个体东海鲈鱼生长初期生态模型的构建. 应用生态学报, 23(6): 1695—1703
 张秋华,程家骅,徐汉祥等,2007. 东海区渔业资源及其可持续利用. 上海: 复旦大学出版社, 1—730
 陈求稳,程仲尼,蔡德所等,2009. 基于个体模型模拟的鱼类对上游水库运行的生态响应分析. 水利学报, 40(8): 897—903
 唐启升,2006. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 1—1256
 Blaxter S J H, 1969. Swimming speeds of fish. Bergen: FAO conference on fish behavior in relation to fishing techniques and tactics, 19—27
 Chen C S, Xue P, Ding P X *et al*, 2008. Physical mechanisms for the offshore detachment of the Changjiang diluted water in the East China Sea. Journal of Geophysical Research, 113: 1—17
 Dickson K A, Donley J M, Sepulveda C *et al*, 2002. Effects of temperature on sustained swimming performance and swimming kinematics of the chub mackerel (*Scomber japonicus*). Journal of Experimental Biology, 205: 969—980
 Gallego A, North E W, Petitgas P, 2007. Introduction: status and future of modeling physical-biological interaction during the early life of fishes. Marine Ecology Progress Series, 347: 121—126
 Heath M R, Gallego A, 1997. From the biology of the individual to the dynamics of the population: bridging the gap in fish early life studies. Journal of Fish Biology, 51(Suppl.A): 1—29
 Hinckley S, Hermann A J, Megrey B A, 1996. Development of a spatially explicit, individual-based model of marine fish early life history. Marine Ecology Progress Series, 139: 47—68
 Hughes N F, Grand T C, 2000. Physiological ecology meets the ideal-free distribution: predicting the distribution of size-structured fish populations across temperature gradients. Environmental Biology of Fishes, 59(3): 285—298
 Hunter J R, Kimbrell C A, 1980. Early life history of pacific mackerel, *Scomber japonicus*. Fishery Bulletin, 78: 89—100
 Railsback S F, Harvey B C, Hayse J W *et al*, 2005. Tests of the diel variation in salmonid feeding activity and habitat use. Ecology, 86(4): 947—959
 Sepulveda C, Dickson K A, 2000. Maximum sustainable speeds and cost of swimming in juvenile kawakawa tuna (*Euthynnus affinis*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*). Journal of Experimental Biology, 203: 3089—3101
 Webb P W, 1975. Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. Ottawa: Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, 1—158
 Werner F E, Quinlan J A, Lough R G *et al*, 2001. Spatially-

- explicit individual based modeling of marine populations: a review of the advances in the 1990s. *Sarsia*, 86: 411—421
- Yukami R, 2007. Report of chub mackerel assessment of Tsushima Current stock in 2007. Nagasaki: Seikai National Fisheries Research Institute, 1—73
- Yukami R, Ohshimo S, Yoda M *et al*, 2009. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data. *Fisheries Science*, 75: 167—174

IMPACT OF SWIMMING BEHAVIOR ON TRANSPORT AND RECRUITMENT OF LARVAE AND JUVENILE OF CHUB MACKEREL *SCOMBER JAPONICUS* IN EAST CHINA SEA

LI Yue-Song^{1, 2, 3}, PAN Ling-Zhi⁴, CHEN Xin-Jun^{1, 2, 3} FEI Yue-Jun⁴

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306; 4. East China Sea Forecast Center, State Oceanic Administration, Shanghai, 200081)

Abstract The response relationship between *Scomber japonicus* larval motion and physical environment was determined using physical environmental factors. An IBM (individual-based model, IBM) including a swimming behavior submodel was developed. The result show that the impact of larval swimming behavior on transport of larvae and young juvenile is minor. With the increase in swimming ability as they grow up, larvae could gradually appear to school and made retain in larger-gradient frontiers of temperature and salinity near warm water. Speed of northeastward transport is reduced. The amount of larvae transported to the Pacific Ocean and the Japan Sea would decline. With the increase in swimming ability, the fish could move to their favorable environment of shallow water to grow. Larval mortality is then reduced. Variability of spawning ground affects the western spawning area due to Taiwan Warm Current, resulting in westward schooling of the larvae. Main school would be near higher temperature and salinity to the north where Taiwan Warm Current and the Changjiang River dilute water met. The eastern spawning area would be influenced by the Kuroshio, causing eastward larvae schooling without *in-situ* large-scale school and retention. In term of survival rate, normal spawning area shall be the best among the three spawning areas. Therefore, both physical environment and biological factors can affect fish transport and recruitment.

Key words individual-based model; *Scomber japonicus*; swimming behavior; transport and recruitment; East China Sea