

山东半岛南部产卵场温跃层对鲐鱼鱼卵 垂直分布的作用

万瑞景¹, 赵宪勇¹, 魏 皓^{2,*}

(1. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学物理海洋实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 2000~2004 年 5~7 月“北斗”号生物资源调查船对山东半岛南部产卵场进行多学科综合调查期间, 于 2003 年 6 月 17~18 日和 6 月 27~30 日分别在 35°01.9'N、120°32.9'E 海区 and 35°03.3'N、120°26.4'E 海区进行了 25 h 和 64 h 的水团追踪观测调查, 鲐鱼鱼卵的数量、垂直分布与水温的分布为重点调查内容。调查结果表明: 水温垂直分布的变化、海水混合的强弱、水体的辐聚/辐散等物理过程对水体中鲐鱼鱼卵数量和鲐鱼鱼卵在不同水层的分布有很大影响。温跃层分布深度的波动引起水体的垂直交换(混合)、水平对流(辐聚/辐散)和跨跃层的物质交换。温跃层深度变浅时, 上混合层水体的厚度变薄, 跨跃层的向上混合, 将下混合层水体中和温跃层中的鲐鱼鱼卵运输到温跃层和上混合层中, 同时表层水体发生辐散现象, 使得下混合层、温跃层和上混合层水体中鲐鱼鱼卵数量减少、密度减小, 导致整个水柱内鲐鱼鱼卵的数量减少; 温跃层深度加深时, 上混合层水体的厚度增加, 跨跃层的向下混合, 将上混合层水体中和温跃层中的鲐鱼鱼卵运输到温跃层和下混合层水体中, 同时表层水体发生辐聚现象, 使得上混合层、温跃层和下混合层水体中的鲐鱼鱼卵数量增多、密度增大, 导致整个水柱内鲐鱼鱼卵的数量增多; 温跃层水体中鱼卵数量和密度的变化较上混合层和下混合层水体更为显著。水体中温跃层的存在、温跃层分布深度的波动及其波动的程度对上混合层和温跃层中鲐鱼鱼卵的数量和密度的变化起着主导作用, 导致鲐鱼鱼卵数量垂直分布的剧烈变化。

关键词: 山东半岛; 产卵场; 鲐鱼鱼卵; 垂直分布; 上混合层; 温跃层; 下混合层

文章编号: 1000-0933(2009)12-6818-09 中图分类号: Q178 文献标识码: A

Function of thermocline for vertical distribution of anchovy eggs in the spawning ground of the southern waters to Shandong Peninsula

WAN Rui-Jing¹, ZHAO Xian-Yong¹, WEI Hao^{2,*}

1 Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Shandong Province, Yellow & Bohai Sea Scientific Observation and Experiment Station for Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture, Qingdao 266071, Shandong, China

2 Key Laboratory of Physical Oceanography, State Education Ministry, Ocean University of China, Qingdao, 266100, Shandong, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6818~6826.

Abstract: The multidiscipline integrated investigations on the spawning ground of the southern waters to the Shandong Peninsula were carried out from May to July during 2000—2004 by R/V Beidou. Two drift experiments were deployed at 35°01.9'N、120°32.9'E for 25 hours from 17 to 18 and at 35°03.3'N、120°26.4'E for 64 hours from 27 to 30, June of 2003. The main goal of this survey is to get the amount of anchovy eggs, the eggs' vertical distribution and the water temperature profile. It is shown that the variation of water temperature profile, the water mixing intensity and the convergence/divergence processes could have significant influences to the amount of anchovy eggs and their distribution in the water column. The variation of the depth of thermocline could induce the water vertical exchange, horizontal advection (convergence/divergence) and the mass exchange across the thermocline. When the thermocline became shallower, the

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目资助(2006CB400600, G19990437)

收稿日期: 2008-08-18; 修订日期: 2009-04-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weihao@ouc.edu.cn

upper mixing layer turned to thinner. The upward entrainments across the thermocline could mix the eggs of the lower layer into the thermocline and the upper mixing layer respectively. At the same time, the surface water divergence made the amount and density of anchovy eggs in the lower mixing layer, the thermocline and the upper mixing layer decrease which cause the amount of eggs less in the whole water column. On the opposite, when thermocline deepening the upper mixing layer became thicker. The downward entrainment could transport the eggs of the upper layer into the thermocline and the lower mixing layer respectively. Meanwhile the surface water convergence caused the increasing of the amount and density of anchovy eggs in the three layers and the whole water column. The amount and density of eggs in the thermocline varied much larger than that of the two mixing layers. The existence of the thermocline, the variation and its extent of the thermocline depth could dominate the variation of the amount and density of eggs. These may cause the huge change of the eggs' vertical distribution.

Key Words: Shandong Peninsula; spawning ground; *Engraulis japonicus* egg; vertical distribution; upper mixed layer; thermocline; lower mixed layer

鲷鱼(*Engraulis japonicus*)是黄、东海数量巨大的小型中上层鱼类之一^[1,2],作为海洋生态系统中的关键物种之一^[3],对海洋生态系统中的能量流动和转换、结构和功能、海洋渔业的可持续发展所起的作用,以及研究产卵场中鲷鱼早期发育的生物学和生态学的意义已在已报道的一文中做了详细的论述^[4]。

有关鲷鱼鱼卵和仔鱼的数量分布多见于水平分布方面^[4~11],Wei 等^[12]发现山东半岛南部鲷鱼产卵场中鲷鱼鱼卵密度水平分布变化与锋区环流的辐聚、辐散紧密相关。垂直分布方面,山东半岛南部产卵场中鲷鱼鱼卵在水体中的空间分布主要集中在上混合层(upper mixed layer),温跃层(thermocline)中的数量次之,下混合层(lower mixed layer)的数量最少^[4];日本若狭湾(Wakasa Bay)西部海域鲷鱼鱼卵主要分布于 50~100 m 水层^[13];地中海(Mediterranean Sea)西部海域欧洲鲷(*Engraulis encrasicolus*)卵子主要分布于温跃层上方水体中^[14];巴西(Brazil)Cape Santa Marta Grande 沿岸水域,阿根廷鲷(*Engraulis anchoita*)在沿岸水域产卵,而仔鱼广泛分布于离岸 100 m 等深线以内水域的上混合层水体中^[15]。

有关其他鱼类的卵子和仔鱼数量分布的报道比较多,Kloppman 等^[16]报道了爱尔兰(Ireland)西部 Porcupine 浅滩海域蓝鳕(*Micromesistius poutassou*)卵子的分布与温度锋面(thermal front)的关系;大西洋(the Atlantic Ocean)东北部不列颠群岛(the British Isles)西部海域、乔治滩(Georges Bank)海域、北海(the North Sea)海域、比斯开湾(the Bay of Biscay)海域中蓝鳕、大西洋鲈鱼(*Scorpaenopsis scorpaenoides*)、黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)和大西洋鳕(*Gadus morhua*)的卵子和仔鱼以及大西洋竹荚鱼(*Trachurus trachurus*)鱼卵的垂直分布与水体中层化过程密切相关^[17~19];凯尔特海(the Celtic Sea)和乔治滩南侧海域,大西洋鲈鱼、黑线鳕和大西洋鳕仔鱼的垂直分布与仔鱼的大小以及仔鱼所摄食饵料的分布水层有密切关系^[20,21];阿拉斯加湾 Shelikof 海峡(Shelikof Strait, Gulf of Alaska)、北太平洋亚北极过渡水域和波罗的海(the Baltic Sea)海域,狭鳕(*Theragra chalcogramma*)、长鳍箭口鱼(*Tactostoma macropus*)和黍鲱(*Sprattus sprattus*)卵子的垂直分布与水温、盐度的分布关系密切而仔鱼的分布与水体中仔鱼的饵料生物的分布与数量的关系更为密切^[22~25]。

综上所述,水域中鱼卵和仔鱼的数量分布及变化与海洋环流、潮汐、水体的层化、水温、盐度和饵料生物等物理和生物过程密切相关。然而,水域中温跃层厚度和分布深度的波动这一物理过程对鱼卵垂直分布的作用未见报道。

本文为山东半岛南部产卵场鲷鱼产卵生态的系列报道之三,从理论上详细分析和讨论山东半岛南部产卵场中温跃层对鲷鱼鱼卵垂直分布的作用,探讨鲷鱼鱼卵的数量变化及分布规律,旨在进行鲷鱼早期补充机制与补充过程研究积累基础资料,同时为今后的鲷鱼产卵场调查提供有关的生态学资料。

1 材料与方法

2000~2004 年 5~7 月,“北斗”号生物资源调查船对山东半岛南部产卵场进行 11 航次多学科综合调查

期间,于2003年6月17~18日在35°01.9'N、120°32.9'E、水深33 m海区进行了25 h(13个时段)以及2003年6月27~30日在35°03.3'N、120°26.4'E、水深30 m海区又进行了64 h(32时段)的水团追踪观测调查。漂流浮标投放2 m水层,每小时记录1次漂流浮标的所在位置,每2h以SBE19 CTD观测水体中水温和盐度的分布状况。根据水温剖面,确定上混合层、温跃层和下混合层3个水层^[26]所在的深度,利用大型浮游生物网分别进行鳀鱼鱼卵的垂直分层拖网取样。调查、观测方法、样品保存和数据处理方法详见文献^[4]。

2 结果与分析

2.1 2003年6月17日第一次水团追踪观测

2003年6月17~18日水团追踪观测调查期间,水体中的余流为东北方向,在两个潮周期中漂流浮标的运动轨迹不封闭,漂流浮标即所观测的水团向东北方向移动约7海里(图1)。

水团追踪观测期间,上混合层水温20℃,下混合层水温13.5℃,温跃层强度为0.6~1.5℃/m,跃层厚度为3~8 m,跃层的分布深度在5~15 m水层变化。6月18日04:00~12:00温跃层分布的深度发生了较大的起伏(5~15 m),同一深度的温度变化最大达5℃(图2a)。

调查样品分析结果表明,水团追踪观测期间所采集到的鳀鱼鱼卵中没有处于细胞分裂期的卵子,说明水体中没有新产的卵补充进来。而04:00~12:00,从底层到表层的整个水柱中鳀鱼鱼卵的数量由50粒/网(相当于3.3粒/m³)逐渐增加到512粒/网(相当于34.1粒/m³),鱼卵的数量和密度大幅度增多(图2b)。

从温度垂直分布图(图2a)可以看出:04:00下混合层水体上涌,水体发生强烈混合,温跃层分布深度上抬,温跃层水体影响到表层,导致表层水体发生辐散现象。由于上混合层水体中鳀鱼鱼卵的平均数量占整个水体数量的64.56%,温跃层水体中的数量占29.09%,下混合层水体中的数量仅占6.35%^[4],鳀鱼鱼卵又营随波逐流的生活方式以及海水流体的连续性,原水柱中的鳀鱼鱼卵也就随着水体的流出被输运到周围水体中。因此,表层水的辐散带走了富含鳀鱼鱼卵的上混合层水体,而补充了大量鳀鱼鱼卵含量很低的下混合层水体,使得整个水柱中鳀鱼鱼卵的数量和密度大量减少,由上一时段的252粒/网(相当于16.8粒/m³)减少到50粒/网(相当于3.3粒/m³);12:00上混合层的暖水下探,温跃层的深度变深,18℃等温线达到14 m左右,表层水体发生辐聚现象。表层水的辐聚从四面八方带来了富含鳀鱼鱼卵的上混合层水体,使得整个水柱中鳀鱼鱼卵的数量和密度大量增加,由上一时段的282粒/网(相当于18.8粒/m³)增加到512粒/网(相当于34.1粒/m³)(图2)。

6月18日04:00,表层水辐散,上混合层的厚度变薄,温跃层的深度变浅,向上混合加剧。虽然鳀鱼鱼卵为浮性卵^[5,27~29],但是,温跃层抑制了湍流混合,是水体中物质交换的天然屏障,只有当跃层强度(或厚度)发生变化时才出现跨跃层的混合,特别是跃层深度的变化将带来跨跃层的物质交换^[30]。由于下混合层水体中的鳀鱼鱼卵数量原本就很少,越是底层鳀鱼鱼卵的数量越少^[4],跨跃层的向上混合又将原来下混合层水体中的鳀鱼鱼卵输运到温跃层中,使得分布在下混合层水体的鳀鱼鱼卵数量变得更少,几乎达到零的程度;温跃层中,在跨跃层的向上混合的作用下,原来分布于温跃层中的鳀鱼鱼卵源源不断地被输运到上混合层水体中,补充进来的下混合层水中鳀鱼鱼卵的数量又很少,导致温跃层水体中鳀鱼鱼卵的数量大量减少,由02:00的95粒减少到6粒,跃层的厚度基本没有变化,因此鳀鱼鱼卵的密度由02:00的63.3粒/m³锐减到4.0粒/m³;上

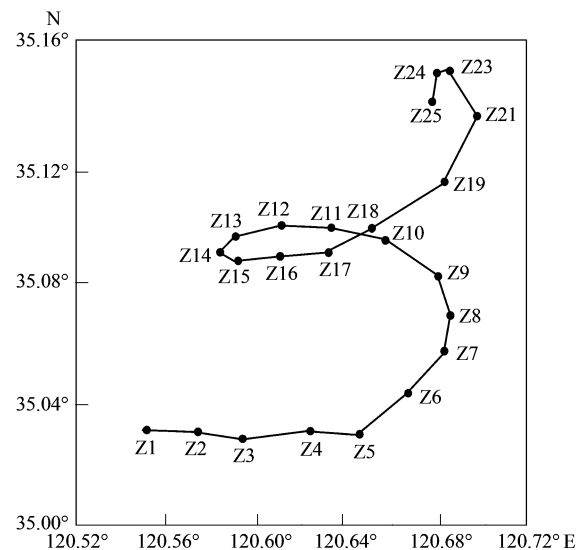


图1 2003年6月17~18日水团追踪观测漂流浮标运动轨迹

Fig. 1 The trajectory of drifter during 17~18, June 2003

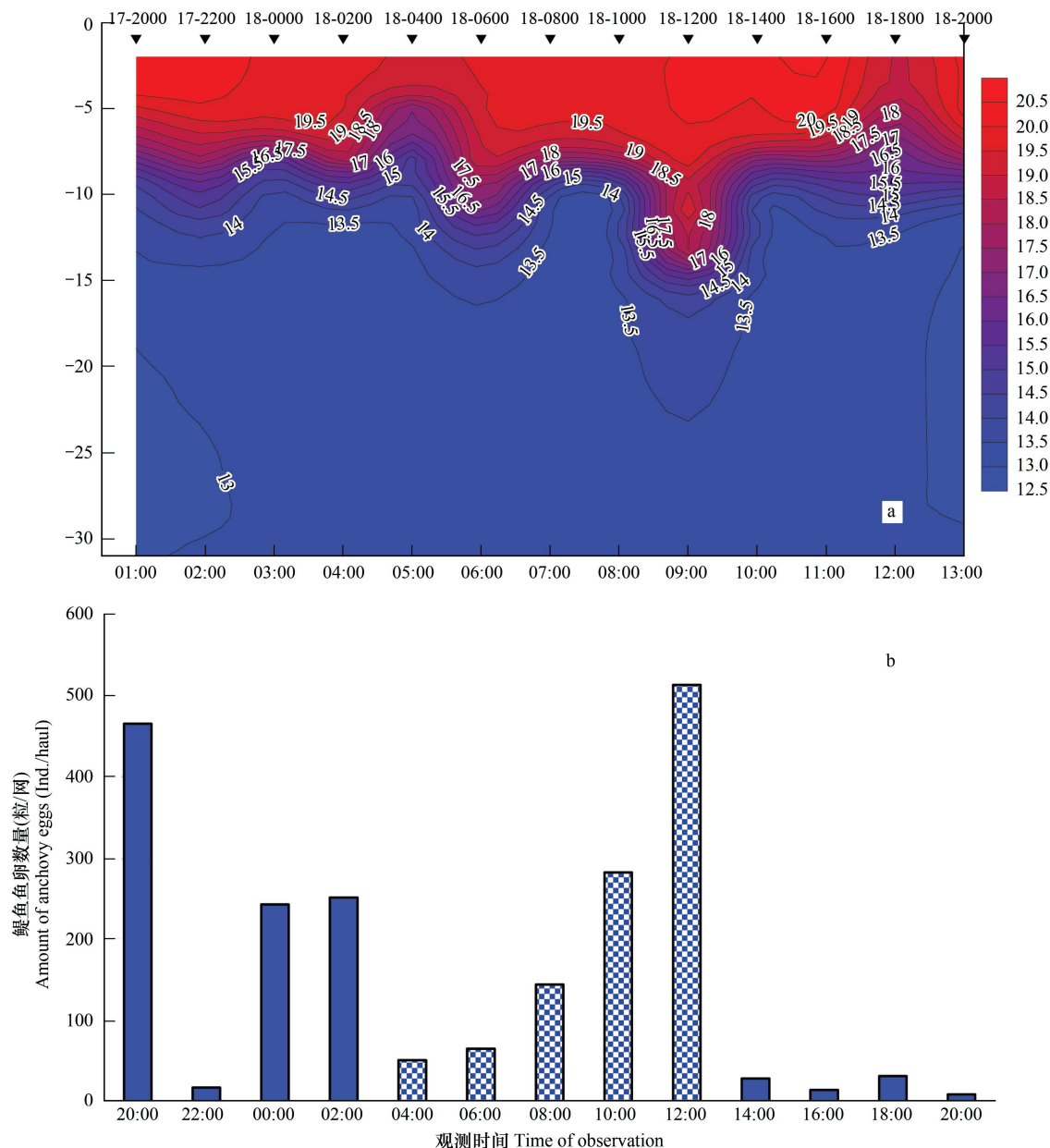


图2 2003年6月17~18日水温垂直分布(a)与鲢鱼鱼卵数量(b)

Fig. 2 Vertical distribution of water temperature(a) and amount of anchovy eggs(b) of the whole water column during 17~18, June 2003

混合层水体中的鲢鱼鱼卵虽然随着表层水的辐散不断地被带走,但是温跃层中的鲢鱼鱼卵也同时不断地被输运到上混合层水体中,只是温跃层中的鲢鱼鱼卵密度比不上上混合层的,所补充到上混合层的鲢鱼鱼卵数量远远弥补不了被辐散输运的部分,因此上混合层水体中的鲢鱼鱼卵数量由02:00的126粒减少到44粒,鲢鱼鱼卵的数量减少了65.08%,由于上混合层的厚度由02:00的5 m减少到3 m,鲢鱼鱼卵的密度也就由02:00的50.4粒/ m^3 减少到29.3粒/ m^3 ,减少率仅41.86%(表3)。6月18日12:00,表层水体的辐聚,上混合层厚度加厚,温跃层深度加深,向下混合加剧。表层水体的辐聚不仅带来了富含鲢鱼鱼卵的上混合层水体,而且温跃层深度的加深,出现了跨跃层的物质交换现象,原来处于温跃层内部的部分鲢鱼鱼卵进入了上混合层中,这两方面的因素使得上混合层水体中的鲢鱼鱼卵数量由10:00的175粒增加到247粒,鲢鱼鱼卵数量增加了41.14%,但是,上混合层的厚度由10:00的7 m增加到12 m,其厚度增加了71.43%,反而导致上混合层中的鲢鱼鱼卵密度较10:00略有下降;温跃层中,跃层深度加深而出现了跨跃层的物质交换,虽然原来处于温跃层

内部的鲢鱼鱼卵已部分进入了上混合层,但是,原来处于下混合层的鲢鱼鱼卵也或多或少地进入了温跃层中,主要原因是温跃层的厚度由 10:00 的 3 m 增至 5 m,说明温跃层深度加深的同时跃层内部也发生了辐聚现象,使得温跃层中的鲢鱼鱼卵数量由 10:00 的 100 粒增加到 263 粒,鲢鱼鱼卵数量增多了 163%,而温跃层的厚度只增加了 66.67%,因此温跃层中的鲢鱼鱼卵密度比 10:00 明显增大;下混合层,由于温跃层深度加深而出现了跨跃层的物质交换,原来下混合层中的鲢鱼鱼卵已或多或少地进入了温跃层中,使得原本数量就很少的鲢鱼鱼卵更少了,因此,下混合层的鲢鱼鱼卵密度由 10:00 的 0.7 粒/ m^3 减少到 0.3 粒/ m^3 (表 3)。

分析结果表明:6 月 18 日 04:00 ~ 12:00,跃层分布深度的变化带来水体的垂直交换(混合)、水平对流(辐聚/辐散)和跨跃层的物质交换,对上混合层、温跃层和下混合层水体中的鲢鱼鱼卵数量和密度的变化产生了很大的影响,导致整个水柱内鲢鱼鱼卵的数量和密度发生剧烈的波动;水体中鲢鱼鱼卵的数量和密度分布的变化主要体现在温跃层中,尤其是鱼卵密度的变化更为显著。

表 3 2003 年 6 月 17 ~ 18 日各水层鲢鱼鱼卵数量和密度

Table 3 Amount and density of anchovy eggs during 17 ~ 18, June 2003

站 位 Station	观 测 时 间 Time of observation	上混合层 Upper mixed layer			温跃层 Thermocline			下混合层 Lower mixed layer		
		水 深 Depth (m)	数 量 (粒) Amount (Ind.)	密 度 (粒/ m^3) Density (Ind./ m^3)	水 深 Depth (m)	数 量 (粒) Amount (Ind.)	密 度 (粒/ m^3) Density (Ind./ m^3)	水 深 Depth (m)	数 量 (粒) Amount (Ind.)	密 度 (粒/ m^3) Density (Ind./ m^3)
Z1	20:15	0 ~ 4	194	97.0	4 ~ 10	270	90.0	10 ~ 30	0	0.0
Z3	22:25	0 ~ 4	13	6.5	4 ~ 12	5	1.3	12 ~ 32	0	0.0
Z5	00:20	0 ~ 5	232	93.8	5 ~ 12	9	2.6	12 ~ 33	0	0.0
Z7	02:20	0 ~ 5	126	50.4	5 ~ 8	95	63.3	8 ~ 30	31	2.8
Z9	04:30	0 ~ 3	44	29.3	3 ~ 6	6	4.0	6 ~ 30	0	0.0
Z11	06:25	0 ~ 10	48	9.6	10 ~ 14	10	5.0	14 ~ 30	8	1.0
Z13	08:25	0 ~ 6	73	24.3	6 ~ 10	22	11.0	10 ~ 30	49	4.9
Z15	10:25	0 ~ 7	175	50.0	7 ~ 10	100	66.7	10 ~ 30	7	0.7
Z17	12:30	0 ~ 12	247	41.2	12 ~ 17	263	105.2	17 ~ 30	2	0.3
Z19	14:25	0 ~ 6	16	5.3	6 ~ 10	11	5.5	10 ~ 30	2	0.2
Z21	16:25	0 ~ 3	8	5.3	3 ~ 7	4	2.0	7 ~ 30	2	0.2
Z23	18:20	0 ~ 4	21	10.5	4 ~ 8	9	4.5	8 ~ 30	0	0.0
Z25	20:20	0 ~ 4	6	3.0	4 ~ 9	2	0.8	9 ~ 31	0	0.0

上混合层、温跃层和下混合层中鱼卵数量的数据呈正态分布(所有 $P > 0.15$), 差异显著(One-Way ANOVA, $F_{2,36} = 55.77$, $P < 0.0001$); Tukey 多重比较显示:上混合层的鱼卵数量大于温跃层和下混合层(both $P < 0.0002$), 温跃层大于混合层($P < 0.0008$)。Data of the abundance of fish eggs in the upper mixed layer, thermocline, and lower mixed layer all exhibited normal distribution ($P > 0.15$) and differed significantly among the three layers (One-Way ANOVA, $F_{2,36} = 55.77$, $P < 0.0001$); The Tukey multupal comparison showed that the amount of eggs in the upper mixed layer was larger than both that in the thermocline and that in the lower mixed layer (both $P < 0.0002$); Meanwhile, eggs in the thermocline were more than in the mixed layers ($P < 0.0008$)

2.2 2003 年 6 月 27 日第二次水团追踪观测

2003 年 6 月 27 ~ 30 日在 $35^{\circ}03.3'N$ 、 $120^{\circ}26.4'E$ 、水深 30 m 海区又进行了 64 h(32 时段)的水团追踪观测。该水团较上一航段(2003 年 6 月 17 ~ 18 日)所追踪水团的初始位置向西北方向移 4 海里,水深有所减小,表层水温低 $2^{\circ}C$,底层水温高 $1^{\circ}C$,跃层强度减弱,温跃层上下起伏达 15 m 以上,水体中出现了更强的内波现象。

水团追踪观测期间,每天 20:00 至 02:00 都采集到一定数量产后 8 ~ 15 min 以内的原生质开始集中的鲢鱼卵子或产后 20 ~ 30 min 以内的单细胞期卵子或产后 45 ~ 75 min 以内的 2 细胞期卵子^[31];此外,有 20 个时段采集到数量不等的刚孵化的初孵仔鱼,说明水体中鲢鱼鱼卵的数量每天都得到补充,同时也随着卵子的孵化不断减少,使得该水团中鲢鱼鱼卵数量变化的受控因素比上一航段所观测的水团较为复杂。

虽然该水团中鲢鱼鱼卵的数量不断在变化,但是水团追踪观察的结果表明,鲢鱼鱼卵垂直分布的变化趋势基本上符合上一水团的变化规律。比如6月28日04:00和16:00以及6月29日12:00 3个时段,在没有新产的卵补充前提下,温跃层分布的深度变深,表层水出现辐聚现象,相应的水体中鲢鱼鱼卵的数量明显增多。有所区别的是,28日04:00温跃层分布深度由10 m加深到14 m,波动幅度达4 m,水体出现强烈的混合和跨跃层的物质交换,其次,该时段采样时仅采集到2尾初孵仔鱼,说明水体中鲢鱼鱼卵的数量因仔鱼的孵出而减少的部分所占的比例很小,因此,鲢鱼鱼卵数量的增加最为显著,增加的比例达297%;而28日16:00和29日12:00水体中所出现的混合强度较28日04:00弱,所采集到的初孵仔鱼分别达54尾和86尾,说明水体中大量的鱼卵已经孵化成为仔鱼,因此,鲢鱼鱼卵数量增加的比例不如28日04:00,仅分别为85%和88%。6月29日00:00和20:00,温跃层的分布深度有所变深的同时,水体中又有新产的卵补充进来(分别为157粒和17粒),使得水体中鲢鱼鱼卵数量明显增加,只是20:00所补充的卵子数量比00:00少,又有较多的仔鱼孵出(37尾,00:00没采集到初孵仔鱼),因此,20:00水体中鱼卵增加的数量(40%)不如00:00的多(88%)。6月28日02:00、06:00、14:00和22:00以及30日00:00 5个时段,温跃层的分布深度变浅,表层水出现辐散现象,水体中的鲢鱼鱼卵数量减少,其中6月28日06:00和14:00以及30日00:00 3个时段,水体中没有新产的卵补充又有一定数量的鱼卵孵化成为仔鱼(分别为1尾、18尾和10尾),水体中鲢鱼鱼卵数量的减少相对更为明显,而6月28日02:00和22:00,水体中补充了一定数量新产的卵(84粒和28粒),孵出的仔鱼数量又少(0尾和1尾),水体中鲢鱼鱼卵数量的减少相对较少。6月28日06:00~12:00、6月29日14:00~18:00和22:00,水体中的水文状况比较稳定,6月28日08:00,虽然没有新卵补充,所孵出的仔鱼数量也较少(2尾),但是14.5℃等温线略有下探,鲢鱼鱼卵的数量有所增加(增加49%);28日12:00同样没有新卵补充,但是孵出的仔鱼数量较多(42尾),鱼卵的数量有所减少;29日16:00和18:00都没有新卵补充,但有较多的仔鱼孵出(48尾和51尾),水体中鲢鱼鱼卵的数量明显减少,而22:00虽然也有一定数量的仔鱼孵出(60尾),但补充了大量的新产的卵(269粒),水体中鲢鱼鱼卵数量明显增加(图3)。

值得关注的是,6月29日02:00~10:00水体中鲢鱼鱼卵的数量出现了较大的波动。02:00水体中14.5℃的等温线与上一时段一样,基本上分布在16 m水深处,水体中补充了一定数量新产的卵子(60粒),又没有仔鱼孵出,水体中的鲢鱼鱼卵数量反而明显减少(仅为149粒);04:00温跃层有所上抬,水体中虽然没有仔鱼孵出但也没有新卵补充,反而鲢鱼鱼卵的数量明显增多(805粒);06:00温跃层有所下探,水体中依然没有新产的卵子补充也没有仔鱼孵出,鲢鱼鱼卵的数量又出现明显的减少(仅为283粒);08:00~10:00水体中依然没有新产的卵子补充也没有仔鱼孵出,但是温跃层明显上抬,表层水出现辐散现象,水体中的鲢鱼鱼卵数量反而明显增多(682粒和611粒)(图3)。这一阶段鲢鱼鱼卵的数量出现反常规的分布趋势,是否与温跃层中出现强烈的内波,使得温跃层通风(即17.5℃等温线延伸到表层)或者其他还没被发现的重要物理过程有关。

3 讨论与小结

海洋环境是海洋生物赖以生存的基础,而水温分布是海洋水文条件中最主要的基本要素之一,海洋生物的活动、分布、繁殖和生长都与水温的分布和变化有着密切的关系。在层化水体中,温跃层的温度梯度很大,从而造成水体的密度梯度也很大。因此,跃层处的垂向混合比较弱,而水平切变却很强,就像是海洋中的一道“屏障”,阻碍了水体的垂直交换和混合^[32],对海洋生物的垂直移动也起到限制作用^[33]。鲢鱼鱼卵为浮性卵^[5,27~29],温度和密度跃层的存在减缓和阻碍了鲢鱼鱼卵的上浮。但是,跃层强度(或厚度)发生变化时就发生了跨跃层的混合,特别是跃层深度变化本身就带来了跨跃层的物质交换^[30]。只有当跃层的分布水层发生了变化,鲢鱼鱼卵的上浮过程才得以继续进行。因此,温跃层深度加深时,表层水发生了辐聚现象,表层水体的辐聚带来了富含鲢鱼鱼卵的上混合层水体,水体中鲢鱼鱼卵的数量增多、密度增大;温跃层深度变浅时,表层水发生了辐散现象,表层水体的辐散,表层水体中所富含的鲢鱼鱼卵也将随水体的流出被输运到周围水体,水体内的鲢鱼鱼卵数量减少、密度减小。因此,温跃层分布深度的波动将带来水体的垂直交换(混合)和水平

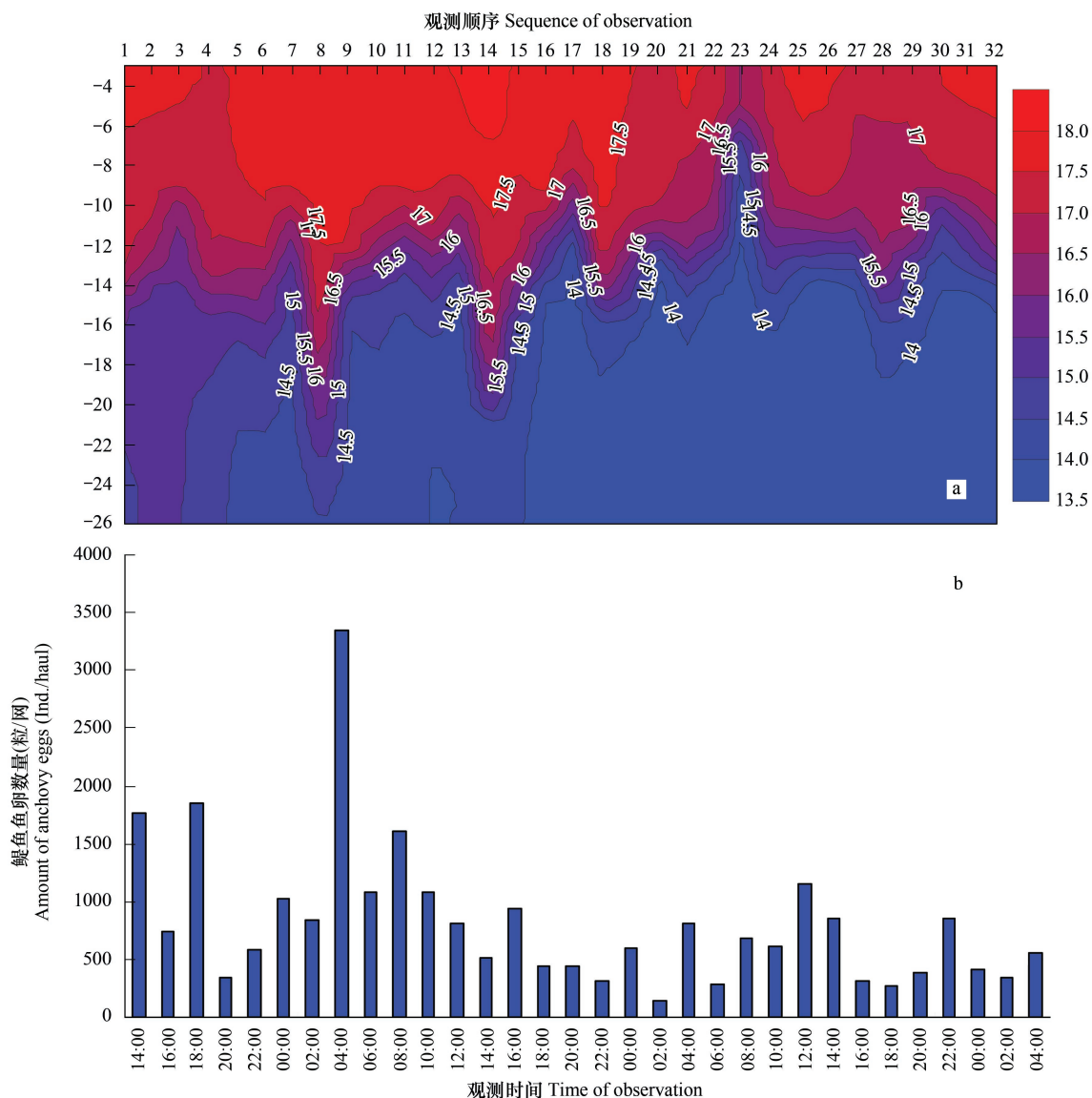


图3 2003年6月27~30日水温垂直分布(a)与鲱鱼鱼卵数量(b)

Fig. 3 Vertical distribution of water temperature(a) and amount of anchovy eggs(b) of whole water column during 27 ~ 30, June 2003

对流(辐聚/辐散),导致上混合层、跃层和下混合层水体中鲱鱼鱼卵的数量和密度的剧烈变化。Lough 和 Manning^[34]在乔治滩南部区域仔鱼的存留、卷挟与温度跃层、锋面的关系研究中建立了水体辐聚、辐散与仔鱼数量变化关系的概念模型,Wei 等^[12]在山东半岛南部鲱鱼产卵场中也发现了锋区环流的辐聚、辐散与鲱鱼卵的密度变化紧密相关。虽然此次观测仅是跟踪水团的一个水柱调查,缺乏水平方向的变化数据,但上述研究表明我们对温跃层的变化、水体的辐聚和辐散带来鱼卵数量变化的解释是合理的。

两次水团追踪观测,时间上相隔 10d,观测海区仅相差 4 海里,第一航段观测期间为大潮期,第二航段为小潮向大潮转换的中潮期,为何第二航段的水体中比第一航段出现更强的内波,有待深入研究。

References:

- [1] Zhu D S, Iversen S A. Anchovy and other fish resources in the Yellow Sea and East China Sea. *Marine Fisheries Research*, 1990, 11: 1-143.
- [2] Jin X S, Hamre J, Zhao X Y, *et al.* Study on the quota management of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the Yellow Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, 8(3): 27-30.
- [3] Tang Q S, Su J L. Marine ecosystem dynamics and its development strategy in China. In: Tang Q S, Su J L, *et al.* eds. *Study on ecosystem*

- dynamics in coastal ocean. I. Key scientific questions and research development strategy. Beijing: Science Press, 2000. 24—34.
- [4] Wan R J, Wei H, Sun S, *et al.* Spawning ecology of anchovy *Engraulis japonicus* in the spawning ground of the Southern waters to Shandong Peninsula I. Abundance and distribution characters of anchovy eggs and larvae. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(5): 785—797.
- [5] Ruan H C. Studies on the eggs and larvae of *Engraulis japonica*. *Studia Marine Sinica*, 1984, 22: 20—56.
- [6] Jiang Y W, Wan R J, Chen R S. Investigation of eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research*, 1988, 9: 121—149.
- [7] Wan R J, Jiang Y W. The distribution and variation of eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, 5(1): 43—50.
- [8] Wan R J, Jiang Y W. Studies on the ecology of eggs and larvae of osteichthyes in the Yellow Sea. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 60—73.
- [9] Wan R J, Huang D J, Zhang J. Abundance and distribution of eggs and larvae of *Engraulis japonicus* in the Northern part of East China Sea and the Southern part of Yellow Sea and its relationship with environmental conditions. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(4): 321—330.
- [10] Wan R J. Fish eggs and larvae. In: Jin X S, Zhao X Y, Meng X T, *et al.*, eds. The living resources and its habitat in the Yellow Sea and Bohai Sea. Beijing: Science Press, 2005. 108—124.
- [11] Wan R J, Sun S. The category composition and abundance of ichthyoplankton in the ecology of the Yellow Sea and the East China Sea. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 28—44.
- [12] Wei H, Su J, Wan R J, *et al.* Tidal front and the convergence of anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs in the Yellow Sea. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(4/5): 434—442.
- [13] Kuwahara A, Suzuki S. Diurnal changes in vertical distribution of anchovy eggs and larvae in the western Wakasa Bay. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1984, 50(8): 1285—1292.
- [14] Palomera I. Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in seraified waters of the western Mediterranean. *Marine Biology*, 1991, 111(1): 37—44.
- [15] Matsuura Y, Kitahara E M. Horizontal and vertical distribution of anchovy *Engraulis anchoita* eggs and larvae off Cape Santa Marta Grande in southern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, 1995, 42(3): 239—250.
- [16] Kloppmann M, Mohn C, Bartsch J. The distribution of blue whiting eggs and larvae on Porcupine Bank in relation to hydrography and currents. *Fisheries Research*, 2001, 50(1-2): 89—109.
- [17] Coombs S H, Pipe R K, Mitchell C E. The vertical distribution of eggs and larvae of Blue Whiting (*Micromesistius poutassou*) and Mackerel (*Scomber scombrus*) in the eastern north Atlantic and North Sea. *Rapp. P. -v. Réunion. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 1981, 178: 188—195.
- [18] Coombs S H, Morgans D, Halliday N C. Seasonal and ontogenetic changes in the vertical distribution of eggs and larvae of mackerel (*Scomber scombrus* L.) and horse mackerel (*Trachurus trachurus* L.). *Fisheries Research*, 2001, 50(1-2): 27—40.
- [19] Lough R G, Potter D C. Vertical distribution patterns and diel migrations of larval and juvenile Haddock *Melanogrammus aeglefinus* and Atlantic cod *Gadus morhua* on Georges Bank. *Fishery Bulletin*, 1993, 91(2): 281—303.
- [20] Hillgruber N, Kloppmann M. Small-scale patterns in distribution and feeding of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) larvae in the Celtic Sea with special regard to intra-cohort cannibalism. *Helgoland Marine Research*, 2001, 55(2): 135—149.
- [21] Lough R G, Caldaroni E M, Rotunno T K, *et al.* Vertical distribution of cod and haddock eggs and larvae, feeding and condition in stratified and mixed waters on southern Georges Bank, May 1992. *Deep Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, 1996, 43(7-8): 1875—1904.
- [22] Kendall A W, Incze L S, Ortner P B, *et al.* The vertical distribution of eggs and larvae of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in Shelikof Strait, Gulf of Alaska. *US National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin*, 1994, 92(3): 540—554.
- [23] Kawaguchi K, Moser H G. Development and distribution of the early life history stages of the mesopelagic fish *Tactostoma macropus* (Stomiidae) in the transitional waters of the north Pacific. *Japanese Journal of Ichthyology*, 1993, 40(2): 161—172.
- [24] Nissling A, Muller A, Hinrichsen H H. Specific gravity and vertical distribution of sprat eggs in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology*, 2003, 63(2): 280—299.
- [25] Voss R, Schmidt J O, Schnack D. Vertical distribution of Baltic sprat larvae: changes in patterns of diel migration?. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, 64(5): 956—962.
- [26] Tang Y X. Hydrological characterists in offshore waters of China. In: Su J L, ed. Hydrology in offshore waters of China. Beijing: China Ocean Press, 2005. 193—195.
- [27] Uchida K. *Engraulis japonica* (Houttuyn). In: Uchida K, Imai S, Mito S, Fujito S, *et al.* eds. Studies on the eggs, larvae and juvenile of Japanese fishes Series I. Fukuoka, Japan: Second laboratory of fisheries biology, fisheries department, faculty of agriculture, Kyushu University, 1958. 17—18.

- [28] Chen L F. *Engraulis japonica* Temminck & Schlegel. In: Zhao C Y, Zhang R Z, *et al.* eds. Fish eggs and larvae in the offshore waters of China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985. 27—28.
- [29] Wan R J, Jiang Y W. The species and biological characteristic of the eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea and Yellow Sea. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(4): 290—297.
- [30] Wei H, Wang L, Lin Y A, *et al.* Nutrient transport across the thermocline in the central Yellow Sea. Advances in Marine Science, 2002, 20(3): 15—20.
- [31] Wan R J, Zhao X Y, Wei H. Spawning ecology of anchovy *Engraulis japonicus* in the spawning ground of the Southern waters to Shandong Peninsula II. Spawning habits and embryonic development characteristics of anchovy. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(6): 988—997.
- [32] Li F Q, Su Y S. Analyses of water masses in oceans. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 2000. 37—39.
- [33] Li G G, Fan Z G. Marine ecology. Beijing: Higher Education Press, 2004. 30—31.
- [34] Lough R, Manning J. Tidal-front entrainment and retention of fish larvae on the southern flank of Georges Bank. Deep-Sea Research II, 2001, 48: 631—644.

参考文献:

- [1] 朱德山, Iversen S A. 黄、东海鳀鱼及其他经济鱼类资源声学评估的调查研究. 海洋水产研究, 1990, 11: 1~143.
- [2] 金显仕, Hamre J, 赵宪勇, 等. 黄海鳀鱼限额捕捞的研究. 中国水产科学, 2001, 8(3): 27~30.
- [3] 唐启升, 苏纪兰. 海洋生态系统动力学及其在我国的发展战略. 见: 唐启升, 苏纪兰, 等著. 中国海洋生态系统动力学研究 I. 关键科学问题与研究发展战略. 北京: 科学出版社, 2000. 24~34.
- [4] 万瑞景, 魏皓, 孙珊, 等. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 I. 鳀鱼鱼卵和仔稚幼鱼的数量与分布特征. 动物学报, 2008, 54(5): 785~797.
- [5] 阮洪超. 鳀鱼卵子和仔稚鱼的形态发育及其在黄海、渤海的分布. 海洋科学集刊, 1984, 22: 20~56.
- [6] 姜言伟, 万瑞景, 陈瑞盛. 渤海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼调查研究. 海洋水产研究, 1988, 9: 121~149.
- [7] 万瑞景, 黄大吉, 张经. 东海北部和黄海南部鳀鱼卵和仔稚幼鱼数量、分布及其与环境条件的关系. 水产学报, 2002, 26(4): 321~330.
- [8] 万瑞景, 姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵和仔稚鱼分布及其动态变化. 中国水产科学, 1998, 5(1): 43~50.
- [9] 万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60~73.
- [10] 万瑞景. 鱼卵、仔稚幼鱼. 见: 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等著. 黄、渤海生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 2005. 108~124.
- [11] 万瑞景, 孙珊. 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, 2006, 52(1): 28~44.
- [26] 汤毓祥. 中国近海区域水文特征——黄海. 见: 苏纪兰, 主编. 中国近海水文. 北京: 海洋出版社, 2005. 193~195.
- [28] 陈莲芳. 鳀鱼. 见: 赵传纲, 张仁斋, 等著. 中国近海鱼卵与仔鱼. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 27~28.
- [29] 万瑞景, 姜言伟. 渤、黄海硬骨鱼类鱼卵与仔稚鱼种类组成及其生物学特征. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 290~297.
- [30] 魏皓, 王磊, 林以安, 等. 黄海中部营养盐的贯跃层输运. 海洋科学进展, 2002, 20(3): 15~20.
- [31] 万瑞景, 赵宪勇, 魏皓. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 II. 鳀鱼的产卵习性和胚胎发育特性. 动物学报, 2008, 54(6): 988~997.
- [32] 李凤岐, 苏育嵩. 海洋水团分析. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000. 37~39.
- [33] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学. 北京: 高等教育出版社, 2004. 30~31.