

# 春秋季节黄海海洋锋对中华哲水蚤分布的影响\*

刘桂梅<sup>1,3</sup> 孙松<sup>1</sup> 王辉<sup>2</sup> 刘会莲<sup>1,3</sup>

1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071; 2. 国家自然科学基金委员会, 北京 100085;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要** 依据黄海春、秋季两个航次的海上调查, 分析了海洋锋区的中华哲水蚤及其基础饵料叶绿素 a 浓度的垂直分布. 分析结果显示: 中华哲水蚤丰度在海洋锋区比其临近两侧的混合区与层化区高, 强混合的锋区有利于中华哲水蚤的聚集; 基础饵料叶绿素 a 浓度最高值通常偏离锋区. 认为海洋锋区特有的物理海洋学特征对中华哲水蚤在锋区的聚集及叶绿素 a 浓度偏离锋区有重要影响.

**关键词** 黄海海洋锋 中华哲水蚤 叶绿素 a 浓度

海洋锋是陆架、浅海中一种常见的自然现象, 它的出现常伴随着浮游生物、鱼类等的聚集. 浮游动物在整个生态系统中起到‘承上启下’的重要作用, 因而在海洋锋区、水体混合强度方面的研究中显得尤为重要. 以往研究工作对强混合的锋区是否有利于浮游动物生存和生长仍存在较大争议<sup>[1~5]</sup>. 中华哲水蚤属大型桡足类, 分布中心在我国黄海和东海西部水域, 是我国海洋生态系统动力学研究计划(GLOBEC)的关键种类. 有关黄海海洋锋对中华

哲水蚤影响的研究还未见报道, 中华哲水蚤在锋区的丰度、与基础饵料叶绿素 a 浓度的关系等问题还没有被完全认识.

## 1 材料与方法

本项研究所进行的观测包括两个航次的海上调查, 春季在 2001-05-16 ~ 2001-05-23, 秋季在 2000-10-18 ~ 2000-11-21, 使用“北斗”号渔业资源综合考察船, 调查站位如图 1 所示.

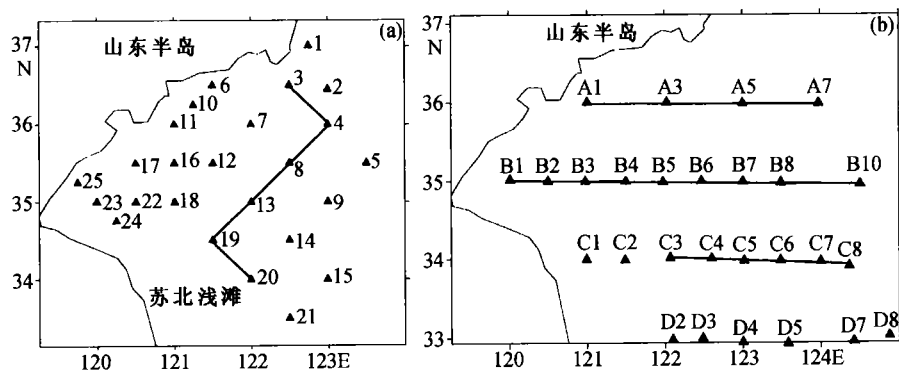


图 1 春秋季节调查站位图

(a) 春季; (b) 秋季. ▲为调查站位; 连线为所选断面

2002-04-15 收稿, 2002-06-03 收修稿

\* 国家重点基础研究发展规划(批准号: G19990437-02, -08)、国家自然科学基金(批准号: 49976032)

E-mail: liuguimei@ms.qdio.ac.cn

春季使用的是 SBE19-CTD, 秋季航次使用 SBE25-CTD 进行温度和盐度的测量. 海上调查过程中, 首先用 CTD 进行垂直测量, 根据温度的垂直分布情况, 确定浮游动物垂直拖网的水层和垂向间隔. 浮游动物的采样工具采用大容量采水器(容量为 57 L, 水样使用孔径为 38  $\mu\text{m}$  的筛绢进行过滤), 将获得的浮游动物标本用 5% 的福尔马林进行固定, 带回实验室进行分类和计数.

## 2 结果

### 2.1 黄海海洋锋位置的判定

增温季节, 黄海海洋锋存在形式主要体现为潮汐锋, 即在潮混合发达的近岸浅水区和潮混合较弱的远岸层化区之间形成的等温线密集的过渡区<sup>[6]</sup>, 它是由于海水吸收热量, 底层潮混合与上层风混合共同作用的结果, 位置随季节和吸收热量的多少而

变化. 赵保仁<sup>[7]</sup>通过对卫星图像分析得到夏季潮汐锋主要分布在山东半岛东侧、苏北浅滩外侧、朝鲜半岛西侧等位置. 本文依据温度锋划分的标准  $\frac{\Delta T}{\Delta X} \geq 0.05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{n mile}$ <sup>[8]</sup>, 通过实测表、底温度确定锋区位置.

春季航次海上调查实测结果显示: 在苏北浅滩外侧和山东半岛东侧两个海区底层等温线密集(图 2(b)), 依据上述海洋锋划分标准, 这两个海区温度梯度  $\frac{\Delta T}{\Delta X} \geq 0.05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{n mile}$  均已满足锋区标准. 表层锋不显著(图 2(a)), 这与表层锋受多种海洋和气象因素而表现出时强时弱、时隐时现的不稳定性密切相关. 调查站位 22 附近表层等温线也相对密集, 底层等温线相对稀疏, 出现表层冷水(图 2(a)), 与上升流现象相近, 没有作为锋区分析.

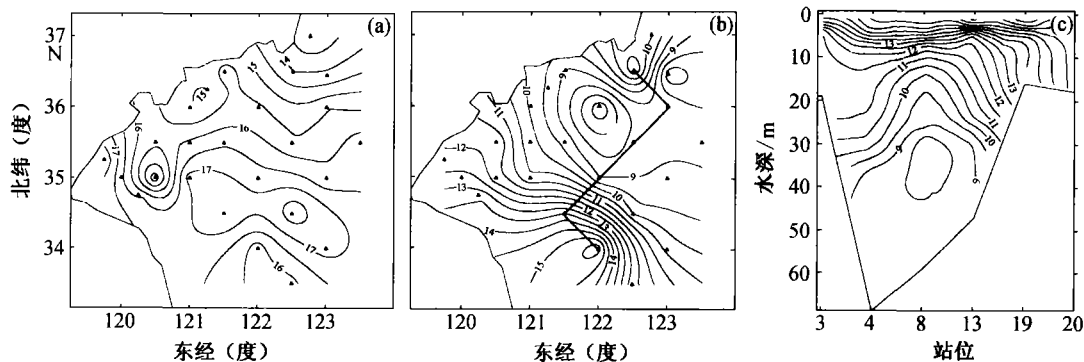


图 2 春季表、底温及断面温度分布图

(a) 表温; (b) 底温; (c) 断面温度分布

表 1 给出了春季两个锋区临近各站位的表、底温差, 站位 20 表、底层温差仅为 0.04  $^\circ\text{C}$ , 显然为混合区, 站位 3 和 19 表、底层温差介于最大值与最小值之间, 初步确定其位于锋区, 其他各站表底温差较高, 具有层化区特征. 由于苏北浅滩外侧混合区(站位 20)与层化区(站位 14)之间的锋区没有调查站位, 因此采用图 2(b)所示断面进行分析.

表 1 春季锋区临近站位表、底温度差

| 站位                             | 3    | 2    | 13   | 19   | 20   | 14   |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 表底温差 $\Delta T/^\circ\text{C}$ | 2.57 | 6.58 | 7.73 | 3.57 | 0.04 | 8.10 |

海洋锋的描述方法较多, 本文采用“前进锋”和“退行锋”来描述, 即分别指锋的等值线的坡度与横跨陆架的地形坡度相同或相反<sup>[9]</sup>. 在春季断面

温度分布中(图 2(c)), 站位 3 的等温线向表层抬升, 体现为表层前进锋的特征, 站位 19 的等温线则上层部分向表层抬升, 中部以下向下延伸到海底, 兼备表层前进锋和底层退行锋的特征, 由此证实站位 3 和 19 位于锋区.

秋季实测海水表、底层温度的水平分布(图 3(a), (b))显示: 表层海洋锋也不明显, 与春季类似, 底层在苏北浅滩外侧及其以北( $122^\circ \sim 123^\circ\text{E}$ ,  $33.5^\circ \sim 36^\circ\text{N}$ )等温线密集, 依据上述锋区划分标准, 水平温度梯度达  $\frac{\Delta T}{\Delta X} \geq 0.17 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{n mile}$ , 强度高于春季. 从而确定秋季海洋锋的范围在等温线密集处(图 3(b)). 由于有的调查站位处于等温线密集的边缘, 还需要结合其所在断面的温度分布(图 3(c)~(e)), 判断其是否位于锋区.

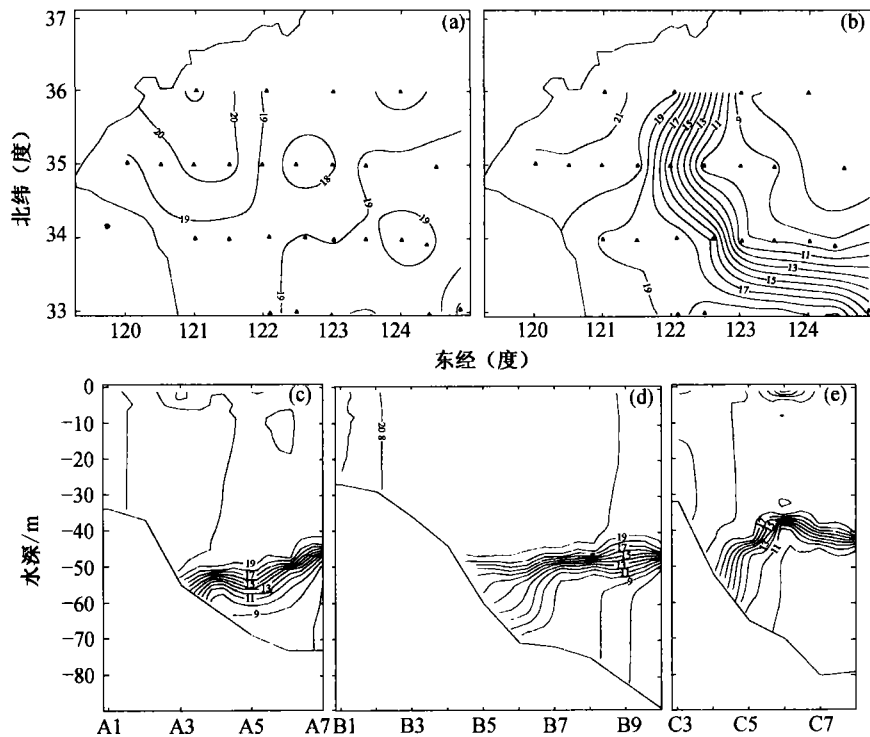


图3 秋季调查表、底温及A, B, C断面的温度分布

(a) 表温; (b) 底温; (c) A断面温度分布; (d) B断面温度分布; (e) C断面温度分布

秋季调查中各断面温度分布的共同特点是上混合层较厚, 等温线在陆坡附近向下转向海底(图3(c)~(e)), 海洋锋的特性体现为底层退行锋. 依据各断面的温度分布特征分析: A断面温度A3处于锋区(图3(c)), A5及A7在水深50~60m温跃层非常显著, 为层化区, A1则表底温度趋于均匀一致, 是垂直混合均匀区; B断面B4与B6站之间是混合区与层化区之间的过渡区, 确定为锋区(图3(d)), 层化区和混合区判别方法与A断面相同, B6~B10是层化区, B1~B4为混合区; C断面中C1及C2站无生物, 图3(e)是C3~C8的断面温度分布, C断面温度分布与A及B断面略有不同, 锋的存在形式仍为退行锋, 但在C4~C6站之间存在明显的锋面波动, C4~C5之间锋存在于底层, C5~C6之间锋存在于水深40m处, 这一锋面波动域被确定为锋区, 其他站位中C3及C4为混合区, C6~C8是层化区.

## 2.2 中华哲水蚤丰度及叶绿素a浓度与海洋锋的关系

春季锋区判定结果表明站位3和19位于锋区, 在断面分布中用阴影表示(图4), 等值线表示中华哲水蚤丰度. 由两者分布关系可以看出: 该断面中

中华哲水蚤丰度存在两个高值区, 最高值3000个/m<sup>3</sup>出现在锋区站位3(图2(b)), 锋区站位19是另一个密集中心1400个/m<sup>3</sup>, 其他站位中华哲水蚤的丰度相对较少. 锋区19站临近的混合区一侧(20站)中华哲水蚤丰度为400个/m<sup>3</sup>, 临近的层化区一侧(13站)则低于200个/m<sup>3</sup>, 仅为锋区中华哲水蚤丰度的1/7~1/3.

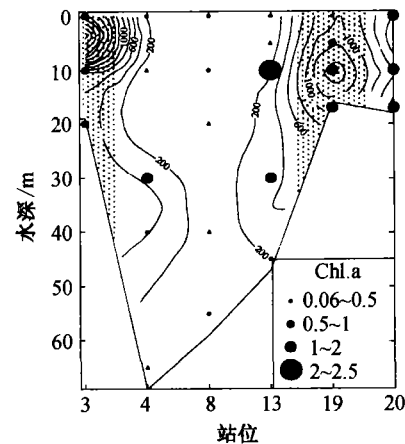


图4 春季调查断面中华哲水蚤丰度及叶绿素a浓度的分布

▨: 锋区, 等值线: 中华哲水蚤丰度(个/m<sup>3</sup>),  
●: 叶绿素a浓度(mg/m<sup>3</sup>)

图4中黑色圆点的大小表示叶绿素a浓度的高低。春季叶绿素a浓度的最高值 $2.0 \sim 2.5 \text{ mg/m}^3$ 出现在层化区(站位13)(图4)。锋区(站位19)及混合区(站位20)的叶绿素a浓度次之,在 $1.0 \sim 2.0 \text{ mg/m}^3$ 之间。另一个锋区(站位3)叶绿素a浓度居中,在 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$ 之间。

比较春季叶绿素a浓度与中华哲水蚤的分布(图4),中华哲水蚤丰度高值区对应的叶绿素a浓度居中,叶绿素a浓度高值区对应的中华哲水蚤丰度较低,仅为 $200 \text{ 个/m}^3$ ,是其临近锋区(站位19)的 $1/7$ 。

秋季调查中,海洋锋判定结果表明A3, B5, C5分别位于锋区(图3),与春季表示方法相同,在图5中用阴影表示,等值线分别表示各断面的中华哲水蚤丰度。A, B, C断面中华哲水蚤丰度高值区均与锋区位置相重合(图5),中华哲水蚤丰度最大值分别为 $500, 400, 200 \text{ 个/m}^3$ 。C断面在层化区C6站的中华哲水蚤丰度也很高,分析可能与C4~C6之间的锋面波动或C6与D5之间的纬向锋有关(图1,图3)。其他混合区和层化区的中华哲水蚤丰度基本上小于 $100 \text{ 个/m}^3$ ,仅为锋区的 $1/5 \sim 1/2$ 。

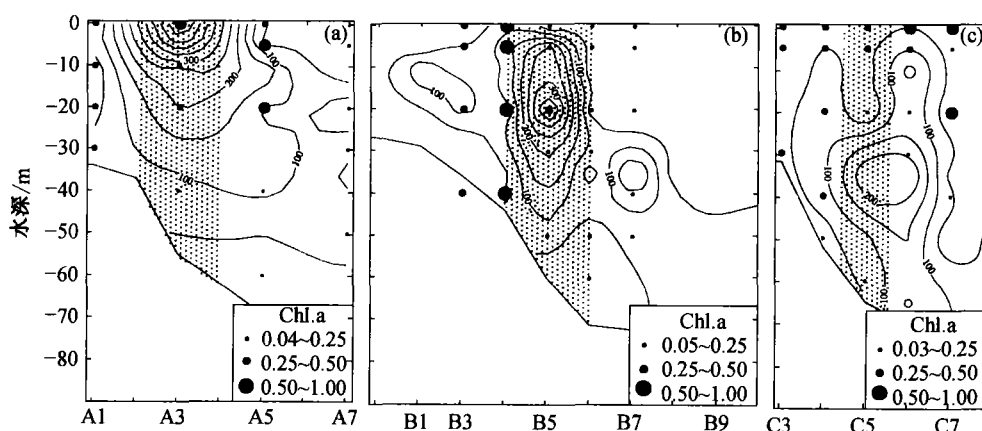


图5 秋季A, B, C断面中华哲水蚤丰度与叶绿素a浓度分布  
 阴影区: 锋区; 等值线: 中华哲水蚤丰度(个/m<sup>3</sup>); ●: 叶绿素a浓度(mg/m<sup>3</sup>)  
 (a) A断面; (b) B断面; (c) C断面

秋季A, B, C断面叶绿素a浓度高值区( $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$ )除A, C断面的表层外,都与海洋锋位置(阴影区)有一定的偏离(图5),偏离方向没有明显规律。A, C断面叶绿素a浓度最高值偏向锋区临近的水体相对稳定的层化区一侧(图5(a), (c)), B断面则偏向锋区临近的垂向均匀混合区一侧(图5(b))。这些偏离锋区的叶绿素a浓度高值区对应的中华哲水蚤丰度均小于 $100 \text{ 个/m}^3$ 。

可见,春、秋季尽管海洋锋类型不同,但海洋锋区中华哲水蚤丰度比层化区、混合区高及基础饵料叶绿素a浓度最高值通常偏离锋区的特征较为一致。

### 3 讨论

依据春、秋季海洋锋与中华哲水蚤丰度及其基础饵料叶绿素a浓度的调查结果,我们从以下几个方面的问题进行讨论:

(1) 海洋锋区对中华哲水蚤有积聚作用? Uye<sup>[3]</sup>对日本 Bungo 海峡主要桡足类种类 *Para-*

*calanus*, *Acartia*, *Oithona* 和 *Corycaeus* 在潮汐锋区调查的结果显示,潮汐锋区草食性桡足类比层化区和混合区少,从而认为锋区不适合其种群的补充。我们的观测结果与之相反。分析可能原因是 Uye<sup>[3]</sup>判断潮汐锋的位置时,在经验锋区位置基础上,采用调查中表层(3 m)的温度、盐度骤变及叶绿素a浓度对应的高值区判断锋区,这种方法很难给出海洋锋的具体位置。而且多数调查结果也显示叶绿素a浓度的高值区并非位于锋区中心<sup>[10]</sup>。Visser<sup>[5]</sup>在北海的调查显示,不同桡足类对湍流混合强弱的依赖性不同,这也会导致本文结论有别于以往研究结果。黄海春、秋季的调查结果表明:强混合的海洋锋区环境有利于中华哲水蚤的聚集。

(2) 海洋锋是如何使中华哲水蚤在该海区形成聚集的? 海洋锋区最显著的特点是混合较强,由于桡足类在水体混合强的区域有抵制这种流动而向下垂直移动的趋势<sup>[11]</sup>,导致中华哲水蚤很难被带离锋区,在锋区聚集。

(3) 叶绿素 a 浓度高值区通常位于锋区临近的层化区或混合区一侧, 该区对应的中华哲水蚤丰度却相对较低, 海洋锋在这种分布格局中有何作用? 人们通常认为浮游动物对浮游植物的摄食导致了这种差异, 却忽略了海洋锋的环流结构的可能影响. 观测和数值模拟结果表明黄海海洋锋区为上升流<sup>[12-14]</sup>, 由于浮游植物水平与垂直方向的随波逐流特性, 黄海海洋锋区的上升流结构很容易导致锋区浮游植物被水体带离锋区. 实际中锋区的垂向环流结构较为复杂, 但对于锋区存在上升流的情况, 有助于浮游植物被带离锋区.

可见, 锋区的强混合及其环流结构在浮游植物、浮游动物分布中的作用是不容忽视的. 由于中华哲水蚤生存的主要限制因子是温度<sup>[15]</sup>, 适宜温度范围在 8~20℃ 内, 冬季强烈的北风导致水体垂直混合均匀, 黄海海洋锋主要由黄海暖流的侵入所致<sup>[8]</sup>, 夏季海面温度高于 25℃, 极易对其构成高温伤害<sup>[16]</sup>, 且由于调查资料不完整, 今后还需对这两个季节单独进行分析.

**致谢** 本文所用数据是在生态系统动力学课题全体同志共同努力下完成的, 特别感谢杨波、吉鹏在分类计数方面的工作, 感谢赵保仁先生、张武昌博士对全文的细心校阅及学术上的指导.

### 参 考 文 献

- 1 Floodgate G D, et al. Microbiological and zooplankton activity at a front in Liverpool Bay. *Nature*, 1981, 290: 133
- 2 何德华, 等. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究. *海洋学报*, 1987, 9(1): 79
- 3 Uye S. Are tidal fronts good recruitment areas for herbivorous copepods. *Fish Oceanogr*, 1992, 113: 216
- 4 Petersen J E, et al. Coastal plankton responses to turbulent mixing in experimental ecosystems. *Mar Eco Prog Ser*, 1998, 171: 23
- 5 Visser A W, et al. Observations of copepod feeding and vertical distribution under nature turbulent conditions in the North Sea. *Mar Biol*, 2001, 138: 1011
- 6 赵保仁. 黄海冷水团锋面与潮混合. *海洋与湖沼*, 1985, 16(6): 451
- 7 赵保仁. 黄海潮生陆架锋的分布. *黄渤海海洋*, 1987, 5(2): 16
- 8 汤毓祥, 等. 关于黄、东海海洋锋的研究. *海洋通报*, 1990, 9(5): 89
- 9 Bowman M J, et al. 著. 许建平, 等译. 沿岸过程中的海洋锋. 北京: 海洋出版社, 1986. 57~77
- 10 Carol M L, et al. 著. 张志南, 等译. 生物海洋学导论. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000. 51~62
- 11 Lagadeuc Y, et al. Effect of vertical mixing on the vertical distribution of copepods in coastal waters. *J Plankton Res*, 1997, 19: 1183
- 12 赵保仁. 南黄海西部的陆架锋及冷水团锋区环流结构的初步研究. *海洋与湖沼*, 1987, 18(3): 217
- 13 毕亚文, 等. 黄海西南部陆架锋区锋断面环流数值模拟. *海洋科学*, 1993, 6: 61
- 14 苏纪兰, 等. 黄海冷水团的环流结构. *海洋与湖沼*, 1995, 26(5): 1
- 15 Uye S. Why does *Calanus sinicus* prosper in the shelf ecosystem of the Northwest Pacific Ocean? *ICES J Mar Sci*, 2000, 57: 1850
- 16 孙松, 等. 黄海中华哲水蚤度夏机制初探. *海洋与湖沼*, 2002, (浮游动物专辑): 92