

东海黑潮区浮游动物的生物量分布*

孟 凡 陈士群 吴宝铃

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

摘 要 本文分析研究中日黑潮合作调查(1986~1992年连续7年)在东海北部黑潮及其邻近海域采集的浮游生物样品, 并就饵料浮游动物的生物量分布及其与海洋环境的关系, 作概要总结. 结果表明, 调查区浮游动物生物量较低, 年平均仅 $71.22\text{mg}/\text{m}^3$. 生物量的季节变化不明显, 盐度是影响调查区浮游动物生物量季节变化和年际变动的重要因素. 东海黑潮锋和对马暖流锋在200m等深线附近海域, 从北到南把调查区划分为东西两部分: 在西部海域, 生物量大于 $50\text{mg}/\text{m}^3$; 在东部海域, 生物量小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$. 不同生态类群浮游动物及其生物量的时空分布, 基本上反映了调查区各个季节水文状况的基本特点.

关键词 浮游动物 生物量 黑潮区

前 言

黑潮是大洋环流系中的一支著名的西边界强流, 也是北半球副热带环流系的重要组成部分. 它运载着巨大的水量、热量和能量, 是多种经济鱼类的产卵场. 海洋浮游动物在形成生态系统结构和生源要素循环中将起关键作用, 它是影响初级生产力、鱼类种群乃至生物地球化学循环及全球气候变化的重要因素^[1]. 浮游动物中有些种类仅栖息在特定的海洋环境中, 这些种类的分布和数量变动, 常在一定程度上反映海洋环境的变化. 因此, 开展黑潮区浮游动物的调查研究, 对开发利用该区域的生物资源及开展生物海洋学研究均有重要的意义.

关于东海黑潮区浮游动物生物量的调查研究, 中外学者已作了不少工作^[2~5]. 1987年, 我国国家海洋局与日本国科学技术厅签署了中日黑潮合作调查研究的实施协议. 为此, “向阳红09”号调查船和“实践”号调查船在“协议”正式签署之前的1986年开始到1992年, 在东海黑潮区和日本以南黑潮区连续7年, 开展了多学科的综合黑潮调查. 这是继CSK(1965~1977)和KER(1977~1985)这样大规模的黑潮调查以来的又一次国际性黑潮合作调查. 本文分析研究这项调查7年来在东海北部黑潮及其邻近海域采集的浮游生物样品, 并就饵料浮游动物的生物量分布及其与海洋环境的关系作概要总结.

本文于1995-03-28收到, 修改稿于1996-03-25收到.

* 本研究系属国家自然科学基金项目(编号: 49276278)和“八五”国家科技攻关项目(85-925-05-05)的部分研究内容.

1 材料与方 法

本文材料系根据“向阳红09”号调查船于1986~1992年,连续7年11航次在东海北部黑潮及其邻近海域(26°50'~32°40'N, 124°30'~129°30'E, 图1),使用大型浮游生物网(网长270cm,网口面积0.5m²,筛绢号GG56,筛绢孔径0.529mm),从200m水层至海面(水深<200m的测站则从海底至海面)垂直拖网,采集的浮游生物样品.浮游动物的生物量系指在样品中分离去含水量多的水母类、被囊类等称的显重,换算成mg/m³.生物量的三维分布图使用SURFER程序,借助计算机完成的.温、盐要素使用美国Mark III型CTD测定,数据均取自表层至浮游生物拖网深度各层次的平均值.

2 结果与讨论

2.1 生物量的季节变化和年际变动

由表1可见,调查区浮游动物生物量较低.年平均仅71.22mg/m³.生物量的季节变化不甚明显:在大陆沿岸水强盛的夏季,生物量最高,达到87.25mg/m³(系指不同年份、相同季节的平均值,下同).在黑潮水强盛的冬季,生物量最低,仅62.71mg/m³,两者变化幅度不足1倍.春季和秋季是大陆沿岸水与黑潮水相互消长作用的转换季节,生物量居中,分别为63.55和71.35mg/m³.

从不同年份、相同季节生物量的变化情况来看,除了夏季年变化幅度较大——超过1倍外,其他3个季节年变化幅度均很小(表1),显示了黑潮区域生物生产力低下,生态环境相对稳定的特点.

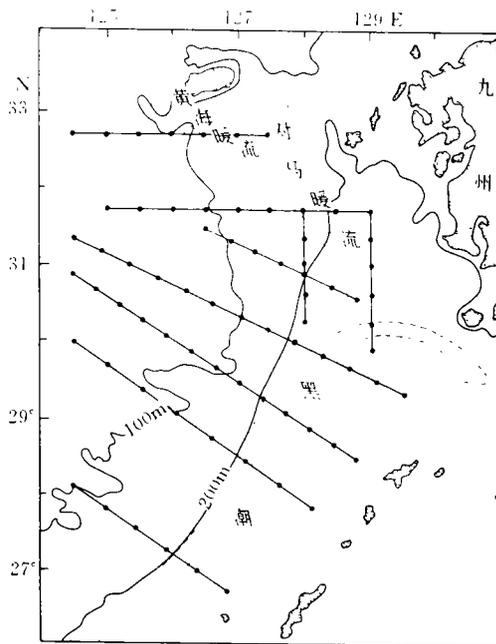


图1 调查区的断面和测站分布

表1 各区域平均温度、盐度、生物量的季节变化和年际变动

调查航次	调查时间	区域	$\bar{t} \pm S_t (n)$	$\bar{S} \pm S_s (n)$	$\bar{B} \pm S_B (n)^*$
1	1986年夏季(6月)	近海水区	15.69±0.34 (3)	32.83±0.06 (3)	142.39±59.28 (3)
		混合水区	19.54±0.57 (3)	33.97±0.28 (3)	48.62±16.15 (3)
		黑潮水区	22.45±0.88 (5)	34.30±0.13 (5)	17.58±3.32 (5)
		全调查区	19.81±0.97 (11)	33.81±0.21 (11)	60.08±21.24 (11)
2	1987年夏季(7~8月)	近海水区	22.45±0.72 (19)	32.49±0.23 (19)	203.49±24.70 (19)
		混合水区	23.91±0.43 (7)	33.63±0.26 (7)	145.31±28.21 (7)
		黑潮水区	25.24±0.30 (16)	34.50±0.07 (16)	41.50±7.22 (16)
		全调查区	23.74±0.40 (42)	33.45±0.18 (42)	132.09±16.77 (42)

续表

调查航次	调查时间	区域	$\bar{t} \pm S_t (n)$	$\bar{S} \pm S_s (n)$	$\bar{B} \pm S_B (n)^*$
3	1987年冬季 (12月~1988年1月)	近海水区	18.40±0.64 (14)	33.92±0.19 (14)	85.12±10.94 (14)
		混合水区	19.80±0.58 (3)	34.61±0.04 (3)	78.93±22.59 (3)
	1988年1月)	黑潮水区	21.68±0.45 (13)	34.67±0.02 (13)	32.05± 8.50 (13)
		全调查区	19.96±0.45 (30)	34.32±0.11 (30)	61.50± 8.03 (30)
4	1988年春季 (4~6月)	近海水区	15.45±0.39 (12)	33.88±0.21 (12)	92.69±12.99 (12)
		混合水区	19.18±0.54 (7)	34.22±0.24 (7)	75.40±13.44 (7)
		黑潮水区	20.70±0.74 (10)	34.52±0.07 (10)	51.29± 5.41 (10)
		全调查区	18.16±0.54 (29)	34.81±0.12 (29)	74.24± 7.17 (29)
5	1988年秋季 (10~11月)	近海水区	21.57±0.49 (9)	33.52±0.25 (9)	115.52±17.58 (9)
		混合水区	22.54±0.23 (10)	34.33±0.04 (10)	74.36± 9.45 (10)
		黑潮水区	23.19±0.39 (10)	34.54±0.04 (10)	36.05± 4.77 (10)
		全调查区	22.49±0.24 (29)	34.15±0.11 (29)	73.92± 8.75 (29)
6	1989年春季 (4月)	近海水区	16.06±0.51 (8)	34.38±0.04 (8)	112.30±12.29 (8)
		混合水区	17.74±0.19 (7)	34.46±0.01 (7)	79.34± 9.83 (7)
		黑潮水区	19.30±0.44 (21)	34.49±0.02 (21)	34.28± 4.60 (21)
		全调查区	18.28±0.36 (36)	34.46±0.02 (36)	60.38± 6.89 (36)
7	1989年秋季 (10月)	近海水区	22.38±0.38 (7)	33.73±0.18 (7)	106.65±11.81 (7)
		混合水区	22.71±0.19 (5)	34.26±0.06 (5)	57.07±12.02 (5)
		黑潮水区	22.81±0.41 (14)	34.45±0.03 (14)	29.00±3.26 (14)
		全调查区	22.68±0.24 (26)	34.22±0.08 (26)	55.31± 7.73 (26)
8	1990年夏季 (7~8月)	近海水区	23.14±0.57 (10)	32.91±0.40 (10)	110.43±21.32 (10)
		混合水区	24.04±0.31 (7)	34.04±0.09 (7)	66.01±15.00 (7)
		黑潮水区	23.33±0.40 (13)	34.28±0.07 (13)	40.08±3.89 (13)
		全调查区	23.43±0.27 (30)	33.77±0.18 (30)	69.58±9.63 (30)
9	1990年冬季 (12月)	近海水区	19.68±0.22 (10)	34.25±0.05 (10)	97.94±18.06 (10)
		混合水区	20.97±0.25 (5)	34.48±0.08 (5)	82.98±21.93 (5)
		黑潮水区	21.63±0.35 (15)	34.70±0.03 (15)	34.87± 6.36 (15)
		全调查区	20.87±0.25 (30)	34.51±0.04 (30)	63.91± 9.19 (30)
10	1991年秋季 (10~11月)	近海水区	21.29±0.37 (14)	33.48±0.26 (14)	122.30±30.59 (14)
		混合水区	21.44±0.32 (11)	34.41±0.07 (11)	116.31±17.83 (11)
		黑潮水区	22.47±0.34 (16)	34.66±0.04 (16)	30.35± 5.11 (16)
		全调查区	21.79±0.22 (41)	34.19±0.12 (41)	84.81±13.29 (41)
11	1992年春季 (4~5月)	近海水区	14.98±0.19 (4)	34.13±0.08 (4)	138.79±57.88 (4)
		混合水区	17.72±0.48 (12)	34.43±0.05 (12)	81.92±11.02 (12)
		黑潮水区	19.29±0.23 (30)	34.60±0.01 (30)	34.63± 2.72 (30)
		全调查区	18.51±0.29 (46)	34.51±0.03 (46)	56.02± 7.35 (46)

* \bar{t} 为平均温度 (°C), S_t 为平均温度的标准误, \bar{S} 为平均盐度, S_s 为平均盐度的标准误, \bar{B} 为平均生物量 (mg/m^3), S_B 为平均生物量的标准误, n 为样本数.

调查区地处东海陆架和陆坡区. 如以100m 和200m 等深线为界, 可把调查区从西至东大体划分为3个区域: 在100m 等深线以西的区域(主要指30°N 以北)为近海水区, 这区域存在着以低盐为其特性的东海沿岸变性水、黄海表层混合水和以低温为其特性的黄海深层冷水. 在100~200m 等深线之间的区域为混合水区, 这区域为东海混合水所占据. 在200m 等深线以东的区域, 为黑潮水区. 在这个区域30°N 以南的为黑潮水所占据; 在30°N 以北的为对马暖流源区混合水(其性质与黑潮表层水相似)所占据. 由于各区域水文状况不同, 生物量的分布和季节变化也不一样: 在近海水区生物量最高, 年平均达到118.26mg/m³; 在混合水区生物量为次, 年平均为82.27mg/m³; 在黑潮水区生物量最低, 年平均仅34.60mg/m³. 这3个区域生物量的季节变化特点是, 在近海水区和混合水区, 生物量均以夏季最高; 在黑潮水区, 则以春季最高. 3个区域生物量季节变化的幅度均很小(表2).

表1列出了调查区生物量、温度和盐度的季节变化和年际变动值. 若以近海水区、混合水区和黑潮水区11个航次调查的生物量(B)分别对温度(t)和盐度(S)进行一元线性回归, 可得数学模型如下.

(1) $B = 170.0279 - 4.3739t$, $r = -0.2704$, $n = 33$, 统计结果表明, 生物量与温度相关不显著($p > 0.05$).

(2) $B = 2104.6023 - 59.3456S$, $r = -0.7624$, $n = 33$, 经检验, 生物量与盐度在 $p < 0.01$ 水平非常显著负相关. 这表明, 盐度是影响调查区浮游动物生物量季节变化和年际变动的重要因素.

表2 3个区域生物量的季节变化(单位: mg/m³)

区域	春季	夏季	秋季	冬季	平均
近海水区	114.59	152.10	114.82	91.53	118.26
混合水区	78.89	86.65	82.58	80.96	82.27
黑潮水区	40.07	33.05	31.80	33.46	34.60

2.2 生物量的平面分布

生物量平面分布的趋势是, 东海黑潮锋和对马暖流锋在200m 等深线附近海域, 从北到南把调查区划分为东西两部分: 在西部区域, 生物量 $> 50\text{mg/m}^3$; 在东部区域, 生物量 $< 50\text{mg/m}^3$. 生物量的这种分布格局随着季节的变化而有所变化. 春季, 在128°E 以西大部分区域生物量大于50mg/m³, 特别在近海区(127°E 以西)生物量都在100mg/m³以上^[6]. 但有的年份(如1988年), 生物量呈块状的不连续分布: 在调查区西部和南部, 各出现一片大于100mg/m³的高生物量区. 在128°E 以东的绝大部分区域, 生物量仍小于50mg/m³(图2a). 夏季, 50mg/m³的等值线向东推移^[7](图2b), 有的年份(如1987年)可达129°E, 而且在128°E 以西的大部分区域生物量均大于100mg/m³^[8]. 秋季和冬季, 50mg/m³的等值线向西退缩, 从调查区北部的128°E 走向南部的126°E, 其位置基本上与200m 等深线一致(图2c, f). 但有的年份(如1989年秋季), 这条等值线仅退到127°30'E 附近(图2d). 1987年冬季则呈现调查区北部和南部生物量高(多在100mg/m³以上), 东南部低(小于25mg/m³)的分布趋势(图2e).

组成高生物量区的浮游动物, 春季和夏季基本相似, 主要有桡足类的 *Calanus sinicus*, 毛颚类的 *Sagitta bedoti*, 磷虾类的 *Euphausia nana*, 端足类的 *Parathemisto gracilipes*, 介形类的 *Euconchoecia maimai* 及莹虾类的 *Lucifer intermedius* 等; 秋季主要有桡足类的 *Oncaea venusta*, *Euchaeta concinna*, 毛颚类的 *Sagitta enflata*, 磷虾类的 *Euphausia nana*, 端足类的

Lestrignon schizogeneios, 莹虾类的 *Lucifer intermedius* 和介形类的 *Euconchoecia maimai* 等; 冬季主要有桡足类的 *Calanus sinicus*, 毛颚类的 *Sagitta enflata*, 磷虾类的 *Euphausia nana*, 端足类的 *Lestrignon schizogeneios*, 介形类的 *Euconchoecia maimai* 和莹虾类的 *Lucifer intermedius* 等.

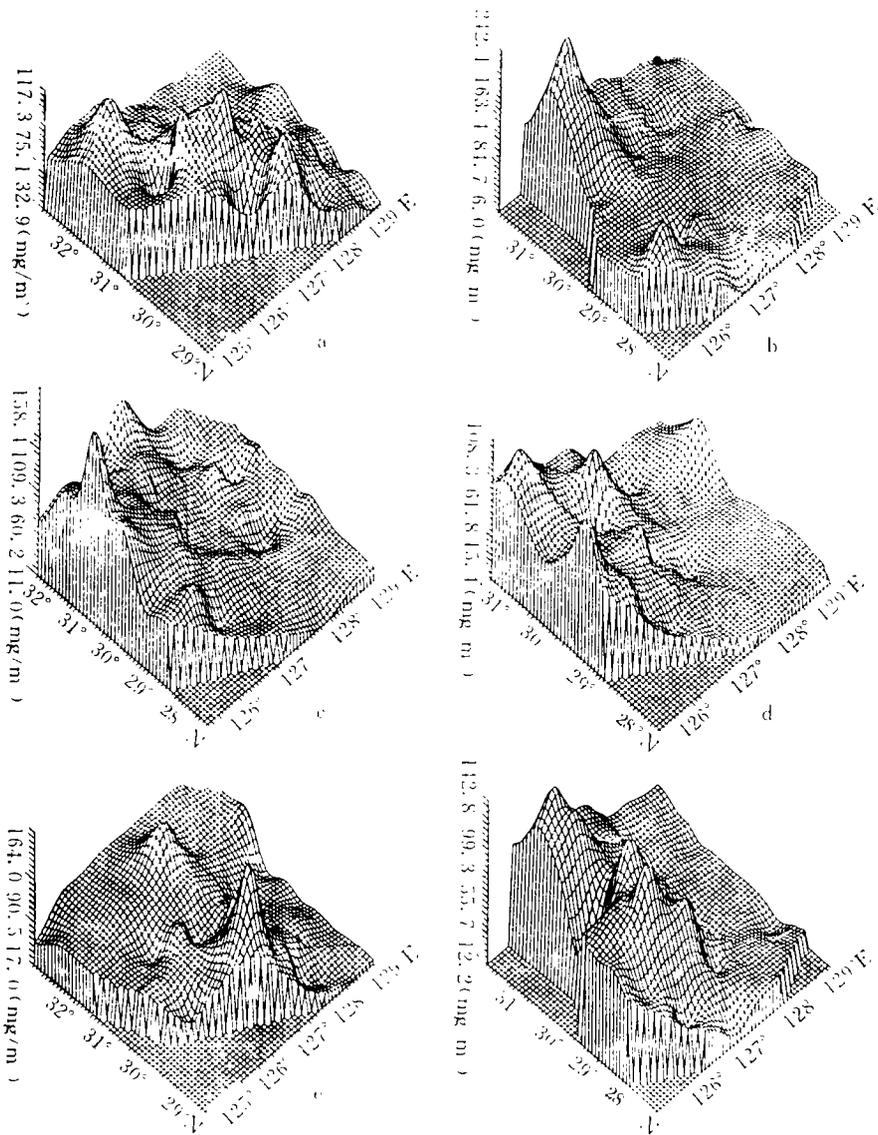


图2 浮游动物生物量的三维分布 (mg/m^3)

a. 1988年春季 b. 1990年夏季 c. 1988年秋季
d. 1989年秋季 e. 1987年冬季 f. 1990年冬季

2.3 浮游动物及其生物量的分布与海洋环境的关系

东海,是个陆架宽阔的边缘海.西太平洋的主要洋流——黑潮在其陆架外缘川流而过.大陆沿岸水、东海混合水和黑潮水在不同季节的相互消长和变化,使得浮游动物及其生物量的分布也发生相应的变化.

春季,由于北方冷空气减弱,海面上的偏北风逐渐转为偏南风,大陆沿岸水扩散的方向也随着由南向东转移.调查区平均盐度降至34.51以下,小于32的表层低盐水舌已抵达 $30^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 附近水域^[9].由于太阳辐射的加强,调查区水温已逐渐回升,表层水温已达 20°C 左右.暖温带近海种桡足类 *Calanus sinicus* 随着沿岸水的扩散,在调查区西部大片水域密集,成为调查区最占优势的种类.与此同时,暖水广布种如介形类的 *Euconchoecia maimai*,毛颚类的 *Sagitta enflata* 和 *S. bedoti* 及暖温带近海种磷虾类 *Euphausia nana* 等也接踵而至,在调查区西部出现:浮游动物生物量开始回升.在黑潮水控制下的调查区东南部和东部水域,则出现许多热带外海种,如桡足类的 *Euchirella pulchra*, *Scolecithricella tenuiserrata* 和 *Euaugaptilus filigerus*,毛颚类的 *Sagitta lyra*,莹虾类的 *Lucifer typus* 和介形类的 *Spinoecia parthenoda* 等.热带外海生态类群的这些种类可作为黑潮指示种,指示黑潮水的势力范围.

中尺度海洋过程的发生和发展是春季调查区最突出的水文现象,1989年春季在调查区观测到黑潮锋面涡^[10]就是个明显的例子.特别引人注目的是,在锋面涡的冷中心区,竟发现冷水种桡足类 *Eucalanus bungii bungii*. *E. bungii bungii* 在冷中心区的发现,丰富了东海区浮游动物区系的冷水种成分,并为冷中心区涌升水的研究和黑潮潜流的研究提供了生物学证据^[6].

夏季,是调查区受大陆沿岸水影响强盛的季节.在强劲偏南风的作用下,大陆沿岸水大举进逼调查区.表层盐度降到32左右,表层水温升到 28°C 左右.许多暖水广布种,如桡足类的 *Temora stylifera*, *Undinula vulgaris* 和 *Nannocalanus minor*,毛颚类的 *Sagitta enflata*,莹虾类的 *Lucifer intermedius* 及暖温带近海种磷虾类的 *Euphausia nana* 等在调查区大量出现,成为4个季度中的数量高峰.浮游动物生物量也上升到4个季度最高水平.随着水温的升高,桡足类 *Calanus sinicus* 的数量开始下降.其分布范围,从春季时占据西部大片海域,龟缩到由东海北部混合水控制下的调查区东北部海域.值得指出的是,1987年夏季是长江径流量的大年,32低盐水舌能抵达 129°E .与此相应的是,大于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 的生物量区也随之扩展到 129°E 附近海域^[8].

秋季,由于北方冷空气节节南下,海面上的偏南风逐渐被东北季风所替代.大陆沿岸水和东海混合水已开始向西退缩,32等盐线已西退到 125°E 附近.与此同时,黑潮水对调查区的入侵却逐渐增强.桡足类 *Calanus sinicus* 的数量骤减,在整个调查区仅零星分布.夏季时形成数量高峰的优势种,如毛颚类的 *Sagitta enflata*,磷虾类的 *Euphausia nana*,莹虾类的 *Lucifer intermedius* 等的数量已陆续下降:浮游动物生物量开始跌落.

冬季,是调查区东北季风强盛的季节.长江冲淡水在强劲季风的作用下,已顺浙江沿岸南下.黄海沿岸水虽向东南方向扩散,但在100m等深线附近受阻于沿岸水锋:大陆沿岸水对调查区的影响已很微弱.相反,黑潮水却控制了调查区大部分水域,其表层盐度能达到34.6以上.一些高温高盐的黑潮指示种,如桡足类的 *Euchirella orientalis*、*Undeuchaeta incisa*、*Het-*

erorhabdus clausi、*Haloptilus setuliger* 和 *Candacia varicans*，磷虾类的 *Euphausia diomedea*，毛颚类的 *Sagitta neodecipiens* 等在调查区127°E以东多处出现。调查区0m层水温降到20℃左右，桡足类 *Calanus sinicus* 随着水温的降低，数量有所回升。但绝大多数浮游动物数量都不高：浮游动物生物量降到4个季度最低水平。

综上所述，在春夏季，由于大陆沿岸水对调查区的影响逐渐加强，一些暖温带近海种和暖水广布种在调查区大量密集，使得浮游动物生物量日趋上升，夏季达到4个季度最高水平；在秋冬季，由于黑潮水对调查区的影响逐渐加强，一些高温高盐的外海种虽有增加，但大多数浮游动物的数量都明显减少，使得生物量日趋下降，冬季降到4个季度最低水平。由此可见，不同生态类群浮游动物及其生物量的时空分布，基本上反映了调查区各个季节水文状况的基本特点。

参加本文工作的还有我所的丘建文，赵晶，黄凤鹏；国家海洋局北海分局的马兆党，李钦亮；国家海洋局第三海洋研究所的陈瑞祥，林茂，林景宏等同志，我所牟宏林同志帮助绘图，谨此致谢。

参考文献

- 1 IOC-SCOR Workshop on GLOBEC. IOC Workshop Report. 1991, 75, 1~12
- 2 黄世玫. 浮游动物生态, 长江口及济州岛邻近海域综合调查研究报告. 山东海洋学院学报, 1986, 16(2): 55~87
- 3 陈亚壘, 朱启琴, 陈清潮. 东海浮游动物量的分布特征. 海洋学报, 1980, 2(4): 115~121
- 4 黄哲崇. 东海黑潮海域的浮游动物与鱼类生物资源概况. 1992, 11, 62~78
- 5 小笹悦二. 饵料プランクトンの分布とその变化. 科学技术厅研究调整局, 1983, 245~256
- 6 孟凡, 毛兴华, 黄凤鹏, 俞建奎, 张锡烈, 马兆党, 李钦亮. 东海黑潮锋面涡旋区浮游动物的分布. 生态学报, 1995, 15(3): 296~304
- 7 孟凡, 黄凤鹏, 马兆党, 李钦亮. 东北北部黑潮区浮游动物的种类组成和分布. 黑潮调查研究论文选(三), 北京: 海洋出版社, 1991, 150~161
- 8 孟凡, 黄凤鹏, 李钦亮, 马兆党. 1987年夏季东海黑潮区的浮游动物. 黑潮调查研究论文选(二), 北京: 海洋出版社, 1990, 92~98
- 9 郭炳火, 宋万先, 道田丰, 中村保昭. 对马暖流源区水文状况及其变异的研究 I. 水文结构和环流, 黑潮调查研究论文选(五), 北京: 海洋出版社, 1993, 1~15
- 10 郭炳火, 汤毓祥, 陆赛英, 孟凡, 费尊乐, 林葵, 李宝华. 春季东海黑潮锋面涡旋的观测与分析. 海洋学报, 1995, 17(1): 13~23