
* 研究简报 *

中韩黄海海洋学联合研究新进展*

刘瑞玉 赵一阳 翁学传 顾宏堪 郭玉洁 杨纪明

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 根据中国科学院海洋研究所1992年5月和9月, 韩国仁荷大学海洋科学技术研究所1992年9—10月在南黄海调查所获资料及双方过去积累的多年资料进行多学科研究。研究结果全面反映了黄海海洋学特征, 取得了新进展: 提出沉积物化学元素和矿物分布的模式; 进一步阐明黄海冷水团和青岛冷水团的温、盐结构不同, 且春季不如夏季均匀一致的特点及其季节变化; 提出黄海夏季溶解氧含量最大值形成机制的新解释; 根据浮游、底栖生物分布资料阐述了黄海暖流和黄海冷水团的分布变化特点。编绘出《黄海海洋学图集》。该图集根据双方全面调查资料, 经统一处理, 提高了代表性, 除一般内容外, 首次编绘出潮能分布图和渔业捕捞、水产养殖图。取得的新进展和结果为海洋学研究、资源开发和渔业持续发展提供新的重要依据。

关键词 黄海海洋学 物理海洋学 海洋地质学 海洋化学 海洋生物学与渔业 海洋学图集

根据1989年双方签署的《黄海海洋学联合研究协议》, 中国科学院海洋研究所与韩国仁荷大学海洋科学技术研究所为主的包括十多个科研单位和大学校的几十位科学家合作, 于1989年开始进行黄海海洋学联合研究。除对双方过去调查搜集的各种资料作分析研究外, 中国方面于1992年5月和9月进行了两个航次南黄海及相邻海域的综合海洋调查, 韩国方面于1992年9—10月在南黄海海域也进行了综合海洋调查, 获得了较全面的多学科资料。经过调查资料、样品、标本的分析鉴定和研究, 分别发表了一些研究论文; 双方还合编了《黄海海洋学图集》, 全面反映了整个南黄海的海洋学及渔业资源概貌和特点。《黄海海洋学图集》使用了过去和新近的调查资料, 内容丰富, 它将为两国海洋学研究和海洋开发事业的发展及有关的经济建设提供有价值的参考和依据。本文简要报告中韩黄海海洋学研究取得的显著新进展。

1 材料与方 法

本文主要使用中国科学院海洋研究所1992年5月《科学一号》和1992年9月《金星二号》在南黄海进行综合海洋调查所得多学科资料, 韩国调查船1992年9—10月在南黄海进行综合海洋调查所得资料。资料整理方法依《海洋综合调查规范》。浮游动物取样中方用标准大型浮游生物网, 垂直拖, 韩方用美式双鼓网(Bongo Net), 斜拖,

* 中韩黄海海洋学联合研究项目(1989—1995年)。刘瑞玉, 男, 出生于1922年11月, 研究员。

本文曾于1995年11月24日在韩国仁川“中韩黄海海洋学研究讲演会”上报告。

收稿日期1996年6月19日, 接受日期1996年7月31日。

两种网的筛绢网目相同,都是 $500\mu\text{m}$ 。研究分析和图集的编绘,除使用了中韩两国新近(主要是 1992 年)的调查成果外还使用了过去积累的历史资料,特别是物理海洋学方面使用了 1958—1988 年 30 年资料;海洋化学和生物学方面,还使用了中方 1958—1959 年逐月资料;渔业方面使用了最近 10 年的统计资料。

2 主要结果

2.1 编绘出版《黄海海洋学图集》

编绘出《黄海海洋学图集》。该图集内容共包括 5 个主要部分:(1)海洋地质学图组:海底地形、悬浮体、海底沉积、矿物、重金属、碳酸钙和有机质分布图;(2)物理海洋学图组:水温、盐度、密度、余流、潮汐、潮流、潮能,海面风和风浪等分布图;(3)海洋化学图组:溶解氧, pH, 硅酸盐-硅、磷酸盐-磷、硝酸-氮、亚硝酸-氮、铵-氮,化学耗氧量(COD)、石油,重金属(Zn, Cu, Pb, Cd)分布图;(4)海洋生物图组:叶绿素和初级生产力,浮游植物,浮游动物,底栖动物数量分布和主要种分布,以及大型藻类重要种分布图;(5)海洋渔业图组:包括浮性鱼卵、仔鱼数量和主要种分布,两国渔业捕捞和水产养殖产量图,中国拖网总产量和主要种产量,韩国 蛟 网、围网及拖网产量图,除 1 070 幅图外,还有简明扼要的文字说明(英文、中文、韩文三国文字),全面反映了黄海的海洋学及渔业概貌和特点。将于 1996 年底在韩国出版。

2.2 黄海海洋学研究新进展

2.2.1 海洋地质学特征

资料分析和图集编绘结果表明,黄海特别是南黄海有以下几点地质学特征。

2.2.1.1 海底地形 明显地分为西、中、东三个部分,其特点是西部地形较单一,平缓而面积宽;东部地形多变,陡而窄;东西两部向中央倾斜,在中部形成深槽,即“黄海槽”(Yellow Sea Trough)。

2.2.1.2 悬浮体 其平面分布的轮廓是:高含量主要出现在西部老黄河口区,其次是山东半岛以东海域,再次是朝鲜半岛西部近岸一带;低含量区在黄海中部。悬浮体的垂直分布表明,含量一般由表层向底层增大,并有时在一定深度上出现含量突变的“跃层”。

2.2.1.3 沉积物 其区域分布大体上亦分西、中、东三个部分(秦蕴珊等, 1989),西部沉积物类型多样,但以细粒沉积物占优势;东部沉积物类型略少,以粗粒沉积物占优势;中部沉积物类型最少,几全为细粒的粉砂和粘土(泥)。南黄海全新世沉积层的厚度变化很大,较厚的沉积($>10\text{m}$)分布于山东半岛的东南海域及海州湾南侧老黄河口附近。

2.2.1.4 矿物分布 其基本趋势是,对绝大多数的矿物而言,高含量区多出现于黄海东部,低含量区多见于西部,表现明显的如重矿物(总量)、角闪石、辉石、石榴石、不透明矿物、高岭石、绿泥石等。

2.2.1.5 地球化学特征 (1)多数元素的高含量区均分布于南黄海中部,与海域中泥的分布区一致,如 Cu, Ni, Co, Pb, Fe 以及有机质均如此。(2)元素的低含量区均出现于南黄海东北部,与海域残留砂分布区吻合,除上述元素外, Mn 和 CaCO_3 亦不例外。(3)元素的分布有两种模式,一是元素含量有自东至西增高趋势,如 Mn 和 CaCO_3 以

及Pb; 另一是含量自东部至中部显著增高, 而从中部向西都有降低的趋势。上述大多数重金属和有机质的分布有这一特点 (Zhao et al., 1989)。

2.2.2 物理海洋学特征

2.2.2.1 水团分布 对水温、盐度、密度分布变化的分析结果反映了黄海西部和东部沿岸水、黄海暖流水和黄海冷水团的结构及分布变化特点。夏季底层冷水团的存在是黄海水团结构的突出特点。黄海冷水团研究过去偏重夏季的分析, 春季的研究不多。调查资料全面分析结果表明 (张启龙等, 1996), 春季黄海冷水团的内部结构, 并非象夏季那样均匀一致, 而是由黄海本地水和黄海暖流变性水组成, 内部温、盐结构并不十分均匀。同时, 春季黄海冷水分布并不象夏季那样遍布黄海整个海域。5月份资料清楚表明, 在胶东半岛南部近岸, 深度较小的青岛附近海域, 存在着一个“青岛冷水团”, 从来源, 温、盐性质和结构来看, 它与黄海冷水团有较大差异, 是一个独立的水团。冷水性底栖生物的分布格局较清楚地反映了这一特点。北温带底栖优势种 (冷水种) 海绵寄居蟹 (*Pagurus pectinatus*)、枯瘦突眼蟹 (*Oregonia gracilis*) 等种, 在黄海中部海域的分布一般集中于超过40—50m的深水区, 但在胶东半岛南岸附近 (青岛近海) 这些种的分布区接近海岸, 深度甚至还不到30m, 表明了黄海冷水团和青岛冷水团的存在。

2.2.2.2 潮汐、潮流和潮能分布 黄海潮汐研究的新进展表现在增加了潮能的分析。过去出版的海洋学图集潮汐方面仅有潮汐和潮流内容。为了供潮能利用发展作参考, 特作了潮能分布分析, 编绘出潮能分布图。潮能各参量的计算采用以下公式:

$$\text{势能密度 (PE)} = 1/4 \rho g H^2$$

$$\text{动能密度 (KE)} = 1/4 \rho h (U^2 + V^2)$$

$$\text{机械能密度 (ME)} = \text{PE} + \text{KE}$$

$$\text{总潮能密度 (TE)} = 1.697 \text{ME}(K_1) + 1.167 \text{ME}(M_2)$$

此处引入的系数是考虑了其它分潮如 $Q_1, P_1, O_1 \dots S_2, N_2, K_2 \dots$ 。

潮能各参数计算结果¹⁾表明: 势能分布格局与潮汐振幅的平方值成比例, 故其分布格局与后者类似; 动能分布格局与相应分潮的最大流速分布相近, 但水深对动能亦有一定影响, 结果最大动能密度出现在朝鲜半岛西岸长山串外海而不是在江华湾。机械能的分布较其两个分量 (势能和动能) 的分布更为均匀。 K_1 潮能较 M_2 者小得多, 因而总潮能的分布格局与 M_2 机械能类似。

2.2.3 海洋化学特征

沿岸水和外海高盐水决定了黄海海洋化学特点。冬季强烈的垂直对流和夏季强烈的层化, 形成了黄海冷水团, 出现了含氧量最大值, 含氧量可达6ml/L以上。研究中对此种特点提出了新的解释: 黄海夏季温跃层中的含氧量最大值, 原是冬季在强风作用下强烈的垂直混合使该水层出现的最高含氧量值, 夏季因其位置在温跃层之下, 故能保持不变而延续下来。这一解释也适用于其他海域含氧量最大值存在的现象 (顾宏堪, 1991)。

1) 万国洪等, 1996, 潮汐、潮流和潮能, 黄海海洋学图集。(印刷中)

海水中营养盐含量分布有明显的区域差异,长江口附近海域其含量显著较高,中部黄海暖流水中含量较低。硅酸盐-硅($\text{SiO}_3\text{-Si}$)的含量,黄海暖流水中5月份可达 $300\ \mu\text{g/L}$ ($10\ \mu\text{mol/L}$),长江水中含量显著较高,可达 $2000\ \mu\text{g/L}$ ($70\ \mu\text{mol/L}$);磷酸盐-磷($\text{PO}_4\text{-P}$)在黄海暖流表层水中含量 $<10\ \mu\text{g/L}$ ($0.3\ \mu\text{mol/L}$),长江水含量很高, $>30\ \mu\text{g/L}$ ($1\ \mu\text{mol/L}$)。无机氮特别是 $\text{NO}_3\text{-N}$,在1980,1983年长江口水中含量较1963年高4倍,是农业施肥和水土流失的结果(顾宏堪,1991)。

石油是南黄海主要污染物,在一些沿岸区污染较为严重。有机污染(相当于COD)和富营养化在某些沿岸海域较油污染更为明显。

2.2.4 海洋生物学特征

2.2.4.1 浮游生物和初级生产力分布 1992年5月、9月,南黄海浮游生物调查叶绿素 a (Chl. a)含量和浮游植物取样结果表明,分层采水取样比不分层的垂直拖网取样更好。9月,初级生产力和浮游植物高量区都出现于 32°N 以南的长江口以北伸向东北的低盐、高营养的长江冲淡水域的10 m水层;30 m以下(温跃层以下)浮游植物数量大减。浮游植物狭高温、高盐的外洋性浮游蓝藻,铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)和红束毛藻(*T. erythraeum*)、硅藻的粗根管藻(*Rhizosolenia robusta*)、太阳漂流藻(*Planktoniella sol*),甲藻的马西里亚角藻(*Ceratium massiliense*)等,在5月可向西分布到 122°E ,而高温的9月却向东退居 123°E 附近,其出现频率低于5月,这反映了黄海暖流冬强、夏弱的特性及其季节变化规律(Guo, 1992)。

5月,浮游动物中低温高盐性的中华哲水蚤、太平洋磷虾等占优势,9月近岸低盐性的真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)和肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)等种大量繁殖密集(Zhang, 1996)。

此外,5月在 35°N , 123°E 以东,夜光藻(*Noctiluca scintillans*)大量密集,在0—10 m水层中,占有浮游植物总量的60%—71%,使海水变为粉红色,可能是春季赤潮形成区,这一记录为南黄海环境保护研究提供重要资料。

2.2.4.2 浮游生物网效果比较 1992年9月在 124°E 断面上的2测站,同时用中国大型浮游动物网从水底至表层垂直拖及双鼓网斜拖采样,进行了这两种操作对比试验(Zhang, 1996)。资料分析结果表明,这两种网的网目虽都是 $500\ \mu\text{m}$,但两者所采样品中的主要种和捕获量却相差很大。双鼓网样品以小型桡足类,如羽长腹剑水蚤、近缘大眼剑水蚤为主,其个体数为中国大网采获的20.3倍;但未能采到个体较大的太平洋磷虾和细长脚蚧等中国大网能采到的浮游动物(表1)。因此,本次以这两种网具进行采集,虽然对不同大小的浮游动物都各有代表性,使调查结果更较全面;但也表明资料代表性有待于统一采样网具后的进一步提高。

2.2.4.3 底栖生物 黄海底栖生物的突出特点是深水区为冷水性生物群落占压倒优势,而沿岸浅水区则以广温性暖水种数量最大(Liu et al., 1983; Liu, 1991)。分析中韩双方1992年春、秋季调查资料,对黄海底栖生物种类组成和数量分布有了更加全面的了解,尤其是一些不同生态性质种的分布特点,冷水种在黄海中部深水海域东西两侧的分布与冷水团的关系更加清楚。一些冷水种枯瘦突眼蟹、海绵寄居蟹等在山东半岛中部南岸青岛附近的出现,指示了冷水团的存在。而喜泥底种在黄海中部深水区的大量出

表1 中国大型浮游生物网和双鼓型浮游生物网采样效果(优势度)比较

Tab.1 Comparison of sampling effects (degree of dominance) between the Chinese Large Net and the Bongo Net (samples taken in September 1992)

网型 Net type	中国大网 Chinese Large Net		双鼓网 Bongo Net	
	St. 3703	St. 3506	St. A 06	St. D 07
取样站 Station No.				
种类 Species	优势度 Degree of dominance (%)			
太平洋磷虾 (<i>Euphausia pacifica</i>) 和细长脚蛾 (<i>Themisto gracilipes</i>)	2.5	0	0	0
羽长腹剑水蚤 (<i>Oithona plumifera</i>)	0	0	36.0	0
近缘大眼剑水蚤 (<i>Corycaeus affinis</i>)	0	0.9	0	23.0
中华哲水蚤 (<i>Calanus sinicus</i>)	21.5	30.0	1.0	6.0
其它桡足类 Other Copepoda	21.5	33.8	50.7	64.0
幼体 Larvae	0	6.1	0	16.5
总个体数 Total number (ind. /m ³)	223.17	126.25	4 750.50	3 232.69

注: St.3703与St.A06站位相同, St3506与St.D07站位相同。

现, 则进一步显示了这些以冷水性小型双壳类软体动物为代表(还有棘皮动物和多毛类)的种, 如双壳类的 *Poromya castanea*, *Portlandia japonica*, *Cardiomya tosaensis*, *Pandora wardiana* 和蛇尾类的 *Stegophiura vivipara* 等种的分布区基本与该海域深水泥底区一致。

1992年调查发现, 过去已知的某些冷水优势种, 目前数量不多, 如大寄居蟹 (*Pagurus ochotensis*), 1959年10月出现率高, 数量大(出现11次, 最多的60个), 1992年5月仅在一站采到3个。与之相反, 双壳类软体动物勒特蛤 (*Raeta pulchella*) 在南黄海的数量比过去显著增多, 1959年4月仅有4站出现, 数量也较少。1992年5月调查中有11站采到825个标本(平均每站75个)。这种变化的原因值得作进一步研究。

2.2.5 海洋渔业资源和海水养殖生产

联合研究首次综合了中韩两国渔业生产统计资料, 海洋学图集全面反映黄海的主要渔业产量, 包括中国拖网产量和韩国蛟网、围网及拖网渔业产量, 以及两国重要藻、贝、虾、鱼类养殖产量。近年来黄海沿岸水域水产养殖产量的迅速增长, 表明中韩两国水产养殖业已成为海洋渔业持续发展的主要产业; 同时也显示了作为水产食品主体的鱼类, 其养殖产量很低, 还有待于重点支持, 进一步发展。

但是, 几种主要经济种如带鱼、小黄鱼等的捕捞产量已显示了资源破坏的程度, 应重视其繁殖保护。浮性鱼卵和仔鱼分布资料可指示重要经济鱼类资源状况。日本鳀 (*Engraulis japonica*) 卵子和仔鱼1992年分布资料表明, 日本鳀当年在黄海的种群补充量尚大。但近年捕捞压力及共产量的骤增可能导致开发过渡和资源的衰退, 应强调持续合理开发。

3 讨论和结论

对于黄海的海洋学过去相邻的国家都作过不少研究,但对别国一侧则了解较少。6年来的联合研究,将两侧资料汇集于一起,弥补了过去的不足,所编图集和分析研究结果,全面地反映了黄海海洋学特征和全貌。特别是地质学和物理海洋学方面,总结提出沉积物化学元素和矿物分布的若干模式,黄海冷水团春季的温盐结构及分布特点;化学方面含氧量最大值形成机制的新解释以及浮游、底栖生物指示黄海暖流和冷水团的分布变化等新结果,都反映了黄海研究取得的新进展。图集中物理海洋方面使用了整个黄海海域的多年资料,时间序列超过30年,处理方法先进,保证了高质量和代表性。潮能分布图和渔业捕捞、养殖图更未见于其他同类海洋学图集,是创新之处。

浮游植物分层采水取样(1992)所得资料反映不同水层的生物数量和种类,质量大大超过过去自底至表层垂直拖网(不分层)所采样品。

比较用不同网具采取浮游动物样品的结果,差异很大,说明国际合作中统一取样工具的必要性。

黄海是一个半封闭型浅海,黄海冷水团和黄海暖流同时存在于同一海域,其相互影响的程度和机制,虽已稍有研究,但仍难以供作深入的规律性分析与结论。黄海受诸多河流及沿岸工农业生产的影响,多种陆源物质大量排入,对其数量分布变化和地球化学循环过程,以及生态系统结构、功能、动态和资源补充规律等的了解都尚待作深入一步的调查研究。

参 考 文 献

- 张启龙、翁学传、杨玉玲, 1996, 海洋与湖沼, 27(4): 421—428.
- 秦蕴珊、赵一阳、陈丽蓉等, 1989, 黄海地质, 海洋出版社(北京), 1—289.
- 顾宏堪主编, 1991, 渤、黄、东海海洋化学, 科学出版社(北京), 1—500.
- Guo Yujie, 1992, Proc. 2nd Intern. Symp. Mar. Sci. Yellow Sea, Qingdao Ocean University Press (Qingdao), pp. 193—200.
- Liu Ruiyu (J. Y. Liu) et al., 1983, Proc. Intern. Symp. Sediment. Contin. Shelf, Spec. Ref. East China Sea, pp. 795—818.
- Liu Ruiyu (J. Y. Liu), 1991, Yellow Sea Res. (Korea), 3: 45—71.
- Zhang Heqing, 1996, J. Yellow Sea, 1: 20—29.
- Zhao Yiyang, He Lijuan and Chen Yuwei, 1989, Mar. Sci., 1(1): 15—22.