

南黄海冷水中心内外夏季大型底栖 动物群落分析*

张鹏弛^{1, 2, 3} 徐勇^{1, 3} 李新正^{1, 3} 王洪法^{1, 3}
张宝琳^{1, 3} 帅莲梅¹ 安建梅²

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室 青岛 266071; 2. 山西师范大学 生命科学学院 临汾 041000; 3. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室 青岛 266071)

摘要 根据 1959 年、2004 年和 2012 年夏季航次的调查数据, 研究南黄海冷水中心内、外大型底栖动物群落结构及年际变化。使用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数、平均分类差异指数以及丰度生物量比较曲线(abundance-biomass comparison curves, ABC Curves)分析群落的组成与变化, 使用相对重要性指数(index of relative importance, IRI)分析群落中的优势种和重要种。研究结果显示, 3 个航次共鉴定大型底栖动物 112 种, 隶属 18 纲 69 科 80 属; 其中冷水中心(Yellow Sea cold water mass core, YSCWMC)内 33 种, 隶属 16 纲 65 科 75 属; 冷水中心外 87 种, 隶属 7 纲 30 科 36 属。两因素方差分析(Two-way ANOVA)结果显示三航次间时空尺度上冷水中心内、外的 H' 、 J' 和 d 的差异均不显著, 物种丰度和物种生物量也未发生明显的改变。冷水中心内部群落的 H' 、 J' 和 d 变化幅度较冷水中心外部群落小, 表明相较冷水中心外的群落, 冷水中心内的群落结构较为稳定。分类差异变异指数及 ABC 曲线分析也显示冷水中心内、外的群落状况良好。通过比较冷水中心内、外物种组成发现冷水中心内软体动物(Mollusk)种类最多, 其丰度和生物量在冷水中心内优势明显, 且三个航次间软体动物物种改变较小。冷水中心内群落中的多毛类动物(Polychaeta)和棘皮动物(Echinodermata)虽在各年份分别占据优势种地位, 丰度极高, 但种类极少。冷水中心外群落中的多毛类动物和棘皮动物占据绝对优势, 无论是种类数还是生物量都较其他种类高。在调查航次总生物量中, 冷水中心内的软体动物生物量占总生物量的 38%, 而冷水中心外的仅占总生物量的 3%, 说明软体动物较为适宜生活在低温、高盐的冷水环境中。三年间分析调查显示冷水中心内软体动物的重要种及常见种有薄索足蛤(*Thyasira tokunagai*)、秀丽波纹蛤(*Raetellops pulchella*)、短吻蛤(*Periploma* sp.)、胡桃蛤(*Nucula* sp.)和日本梯形蛤(*Portlandia japonica*)。冷水中心对于大型底栖动物中软体动物的生长繁殖具有重要的保护作用, 能够维持其群落结构的稳定。

关键词 南黄海冷水中心; 生物多样性; 群落结构; 软体动物; 大型底栖动物

中图分类号 P735; Q178.1 doi: 10.11693/hyhz20160800180

黄海是三面环绕陆地的陆缘海, 是我国重要的渔业资源区。黄海分为南、北黄海, 具有特殊的冷水中心系统(即海底水温维持在 8—12°C 的海域), 其具

有低温高盐特性, 覆盖范围广阔, 季节性变化明显。冷水中心的形成是由于冬季寒冷的大陆季风由北向南移动, 途经黄海使得其表层水温度下降, 经对流和

* 中科院科技先导专项(A), XDA11020303 号; 海洋公益性行业科研专项经费项目, 201505004-1 号; 国家自然科学基金项目, 41176133 号。张鹏弛, 硕士研究生, E-mail: poiik1137@126.com

通讯作者: 李新正, 博士生导师, 研究员, E-mail: lixzh@qdio.ac.cn

收稿日期: 2016-08-26, 收修改稿日期: 2016-11-17

涡动混合作用使得上层低温水沉入底部(于非等, 2006)。黄海冷水中心冷中心的变化范围不明显, 虽有季节性的移动, 但其温度在一年之中均较低, 变化不剧烈(管秉贤, 1963; 翁学传等, 1988; 于非等, 2006)。

大型底栖动物具有改善水体和调节底质界面等重要生态功能(蔡艳等, 2016), 对于海洋环境的维护和改变有着重大意义, 同时为在沉积物表层捕食的生物提供了重要的食物来源。大型底栖动物物种繁多, 其群落结构受温度、盐度和底质等环境因素影响明显(Ganesh *et al.*, 2007; Mutlu *et al.*, 2010; 胡成业等, 2016)。南黄海大型底栖动物群落研究已有许多报道: 刘瑞玉等(1963)首次对黄东海大型底栖生物的区系进行了划分, 刘录三等(2003)使用 2000 年和 2001 年调查数据对南黄海大型底栖动物春、秋季的分布进行了研究, 贾海波等(2010)使用 2008 年的资料对南黄海大型底栖动物进行了研究, 彭松耀等(2015)使用 2011 年资料对南黄海的大型底栖动物的优势种生态位进行了研究, Zhang 等(2015)对比 2007 年夏季与 1959 年夏季的资料研究了南黄海大型底栖动物群落结构的变化, Xu 等(2016)使用 2012 年的资料分析了南黄海不同海域大型底栖动物群落季节变化, 等等。对于黄海冷水中心中群落的研究, Zhang 等(2015, 2016)有所涉及, 但没有进行针对性的分析研究。目前黄海低温水团对于大型底栖动物的影响还不甚明了, 探明低温水体对大型底栖动物的影响有助于维持和调节海洋生态平衡, 为海洋生态循环及大型底栖动物的保护奠定基础。

目前关于黄东海大型底栖动物分类多样性的研究较少, 多数研究依然使用传统多样性指数描述群落的生物多样性。这是由于 Shannon-Wiener 多样性指数能够反映当下调查群落现状并同时可用于环境污染指示。目前, 分类多样性指数逐渐被引入生物群落的研究, 例如 Azovsky 等(2016)对不同纬度猛水蚤的研究; Marchant(2007)使用分类差异指数评价流水中的昆虫群落受环境的影响。这是由于 Shannon-Wiener 多样性指数仅考虑到物种的数量, 未将群落中物种之间的分类地位加以考虑(Tilman *et al.*, 1997; 丁兰平, 1999; 曲方圆, 2010; 胡成业, 2016), 而分类多样性指数不仅考虑到物种的数量还将各物种间的分类距离加以计算, 能够更为准确的反应群落状况。

本文选取南黄海冷水中心及其附近海域的相关调查数据, 研究了冷水中心内外大型底栖动物群落

的变化, 以期了解低温环境对于大型底栖动物生存的影响。

1 材料与方法

1.1 调查站位

从 1959 年 7 月、2004 年 6 月和 2012 年 8 月 3 个航次的调查站位中, 各选取冷水中心内外 3 个站位(无重复)的调查数据进行研究。

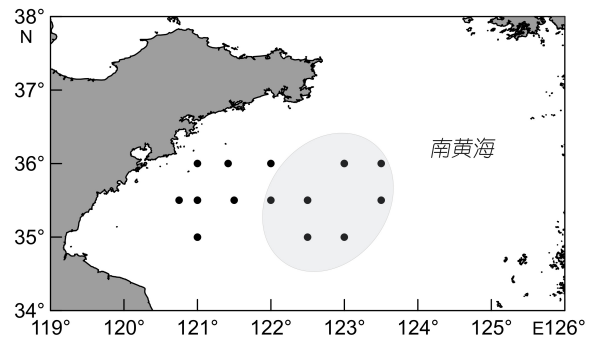


图 1 采样站位及冷水中心示意图

Fig. 1 The sketch map of sampling stations and YSCWMC
注: 图中浅灰色部分为冷水中心示意

1.2 样品获取

1959 年使用的采泥器是底面积为 0.1m^2 的大洋 50 型的采泥器(Zhang *et al.* 2016), 将两次成功采集的泥样合并为一个样品, 另两个航次使用底面积为 0.1m^2 的 Gray-O'Hara(Warwick *et al.*, 1994)箱式采泥器, 同样是分两次采集样品。将采集的泥样放入网目孔径为 0.5mm (1959 年使用的网筛孔径为 1mm)筛网筛洗, 收集截留的生物样本, 保存在 75% 的酒精中。在实验室中将生物样本进行分类、称重(HAGPING-A2003, 精确度 0.001g , 上海天平仪器厂)和计数, 调查方法和样品分析处理依据《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行。

1.3 数据分析

1.3.1 优势度 优势度的计算使用相对重要性指数(index of relative importance, IRI), 公式如下:

$$\text{IRI} = (W + N) \times F,$$

公式中 W 为种群生物量占调查总生物量的百分比, N 为种群丰度占调查总丰度的百分比, F 为种群在调查中出现的采样位点与总采样位点个数的百分比(王金宝等, 2007)。将 $\text{IRI} > 1000$ 的物种视为优势种(吴强等, 2009)。

1.3.2 多样性指数 Shannon-Wiener 多样性指数的计算公式为(Shannon *et al.*, 1963):

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i; P_i = n_i/N \quad (1)$$

Pielou 均匀度指数的计算公式为(Pielou, 1966):

$$J' = H'/\log_2 S \quad (2)$$

Margalef 丰富度指数的计算公式为(Margalef, 1968):

$$d = (S-1)/\log_2 N \quad (3)$$

平均分类差异指数 (average taxonomic distinctness index) 的计算公式为(Warwick *et al.*, 1998):

$$\Delta^+ = (\sum_{i < j} \omega_{ij}) / [S(S-1)/2] \quad (4)$$

分类差异变异指数 (variation in taxonomic distinctness index) 的计算公式为(Clarke *et al.*, 2001):

$$^+ = \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \quad (5)$$

公式(1)—(5)中, S 为采泥样品中物种的总数, N 为所有物种的总个体数, P_i 为第 i 个物种在站位中出现的总个体数与所有物种的总个体数 N 的比值(于海燕等, 2006)。 ω_{ij} 为种 i 和种 j 之间的路径长度权重赋值。在本文的研究中, 使用种间 16.667、属间 33.333、科间 50、目间 66.667、纲间 83.333、门间 100 的路径距离权重值(彭松耀, 2013)。分类多样性指数 95% 置信区间的绘制使用的种名录为 1959 年 7 月、2004 年 6 月和 2012 年 8 月冷水中心内及冷水中心外分别出现的物种总名录。

1.3.3 群落结构分析 以 PRIMER 6.0 软件中的 Cluster 聚类分析用于群落的划分, SIMPER 和 ANOSIM 分析分别用于分析群落之间的相似性及差异显著性, 其余多样性指数的计算使用 DIVERSITY 软件包(PRIMER 6.0 软件包)完成。群落丰度及生物量分布点图使用 Surfer 12.0 软件。运用 SPSS 16.0 中的 Univariate 软件包实现对群落间时间和空间尺度间的 Two-way ANOVA 分析。

2 结果

2.1 生物群落划分

调查航次群落的 Cluster 结果显示(图 2): 1959 年 7 月、2004 年 6 月和 2012 年 8 月调查站位分别在 8%、19%和 17%相似性处明显分为两组, 冷水中心内部和外部群落各自聚为一支, 可明显区分为冷水中心内外 2 个群落。ANOSIM 分析结果显示, 各年份冷水中心内外的群落差异极显著(1959 年 7 月 global $R=0.889$, $P=0.01$; 2004 年 6 月 global $R=1$, $P=0.01$; 2012 年 8 月 global $R=0.926$, $P=0.01$)。SIMPER 分析结果显示, 1959 年 7 月调查站位冷水中心内外群落不相似性为

95.57%, 2004 年 6 月为 96.90%, 2012 年 8 月为 82.70%。

聚类分析显示, 所调查的 18 个站位可明显划分为三组(图 3), 其中, 组一和组二均为冷水中心外站位, 组三除 3031A 站位外均为冷水中心内站位。各年份冷水中心外的站位和冷水中心内的站位均较好地分布在一个小支(1959 年 7 月冷水中心外站位 3031A 除外)。

2.2 物种组成

本研究 3 个航次中, 冷水中心外鉴定物种 87 种, 其中 1959—2012 年物种数分别为 26、43 和 36 种。冷水中心内鉴定出 33 种, 其中 1959—2012 年物种数分别为 20、16 和 17 种。图 4 显示的是各年份冷水中心内外各种类的物种数占总种数的百分比, 冷水中心内软体动物的种类数明显高于冷水中心外。

2.3 丰度、生物量和优势种

2.3.1 丰度分布 三个调查航次结果显示, 冷水中心内群落的丰度变化($P=0.663$)较冷水中心外群落丰度的变化小($P=0.193$)。

1959 年 7 月航次(图 5a)冷水中心外各站位的大型底栖动物丰度均低于冷水中心内。其中冷水中心内 3036A 站位丰度最高(250ind./m²), 3050A 最低(85ind./m²)。冷水中心外站位 3047A 丰度最高(80ind./m²), 3046A 丰度最低(45ind./m²)。冷水中心外, 棘皮动物的丰度占总丰度的 36%, 多毛类动物占 22%, 其他类群占 20%, 软体动物占 14%, 甲壳动物丰度最低, 占 8%。冷水中心内多毛类动物的丰度占总丰度的 78%, 其次为软体动物, 占 16%, 甲壳动物、棘皮动物和其他类群均占总丰度的 2%。冷水中心外不同类群之间丰度差异较小, 冷水中心内不同类群之间丰度差异较大。

1959 年调查结果显示冷水中心内外共有的种类仅有掌鳃索沙蚕(*Ninoe palmata*)一种, 其丰度在冷水中心内外相同。

2004 年 6 月航次(图 5b)冷水中心外的大型底栖动物丰度高于冷水中心内。冷水中心外 9294 站位的丰度值最高(415ind./m²), 10294 站位的丰度值最低(60ind./m²)。冷水中心内 9794 站位的丰度值最高(140ind./m²), 10694 站位的丰度值最低(55ind./m²)。其中, 冷水中心外群落多毛类动物占总丰度的 57%, 其后依次为甲壳动物和棘皮动物(分别占 17%), 软体动物(占 7%)和其他类群(占 2%); 冷水中心内群落, 软体动物丰度占总丰度的 58%, 其中橄榄胡桃蛤

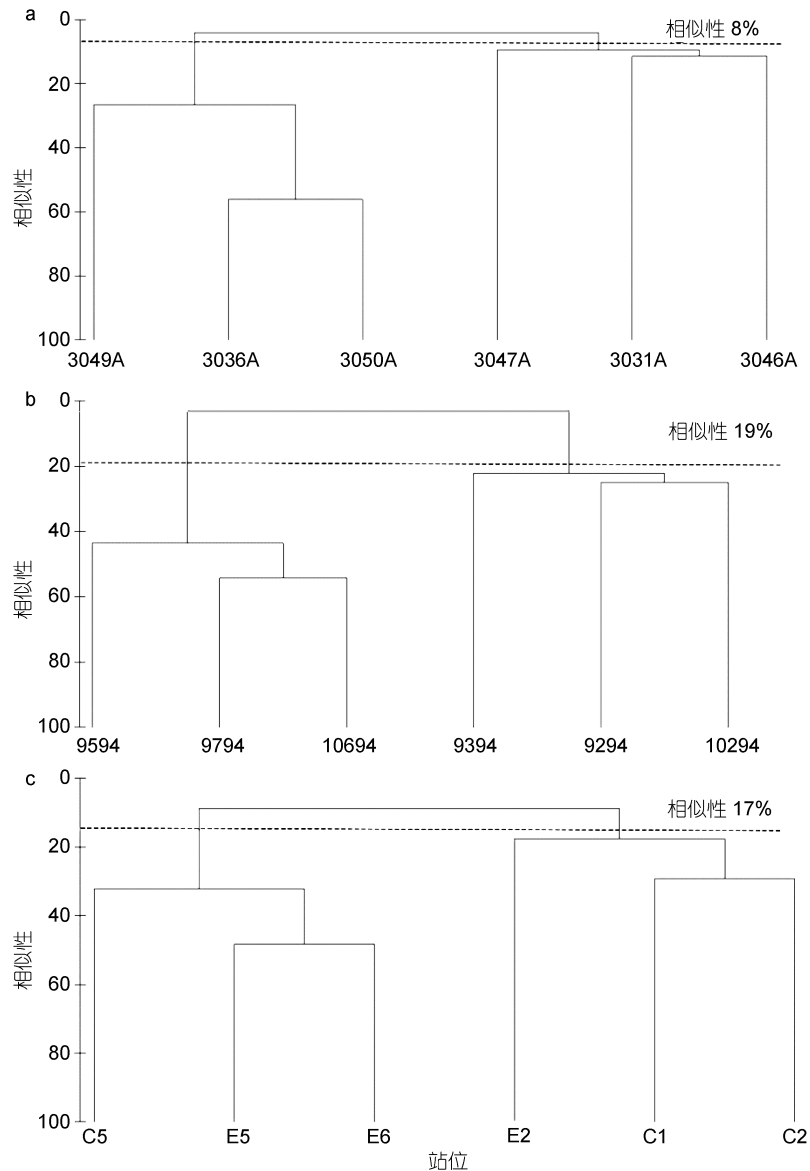


图 2 1959 年、2004 年和 2012 年夏季南黄海冷水中心内外大型底栖动物的 Cluster 聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of macrobenthic communities inside and outside the cold water mass core of the southern Yellow Sea in summer of 1959, 2004 and 2012

注: a. 1959 年 7 月调查数据的等级聚类分析; b. 2004 年 6 月调查数据的等级聚类分析; c. 2012 年 8 月调查数据的等级聚类分析

(*Nucula tenuis*)平均丰度为 90ind./m^2 , 在 3 个站位中均有分布, 其次为多毛类动物(占 24%), 棘皮动物(占 15%)和其他类群(占 3%)。冷水中心外站位各类群丰度差异较小。

2004 年调查结果显示冷水中心内外共有的种类为 3 种——角海蛹(*Ophelina acumilata*), 梳鳃虫(*Terebellides stroemii*)和扁鸟蛤(*Clinocardium* sp.), 其丰度在冷水中心内和冷水中心外分别为 5ind./m^2 、 40ind./m^2 , 15ind./m^2 、 10ind./m^2 , 和 5ind./m^2 、 5ind./m^2 。

2012 年 8 月航次(图 5c)调查结果显示, 冷水中心

外大型底栖动物的丰度高于冷水中心内。冷水中心外的丰度最高值出现在 E2 站位(1140ind./m^2), 最低值出现在 C2 站位(275ind./m^2); 冷水中心内的最高值出现在 C5 站位(250ind./m^2), 最低值出现在 E6 站位(80ind./m^2)。其中冷水中心外群落中丰度由高到低依次为棘皮动物(55%), 多毛类动物(39%), 甲壳动物和软体动物(均为 3%)。冷水中心内群落中棘皮动物丰度占总丰度的 47%, 软体动物所占比例较冷水中心外上升(37%), 多毛类动物占 15%, 棘皮动物占 1%。冷水中心外的 E2 站位丰度偏高是由于该站位的紫蛇

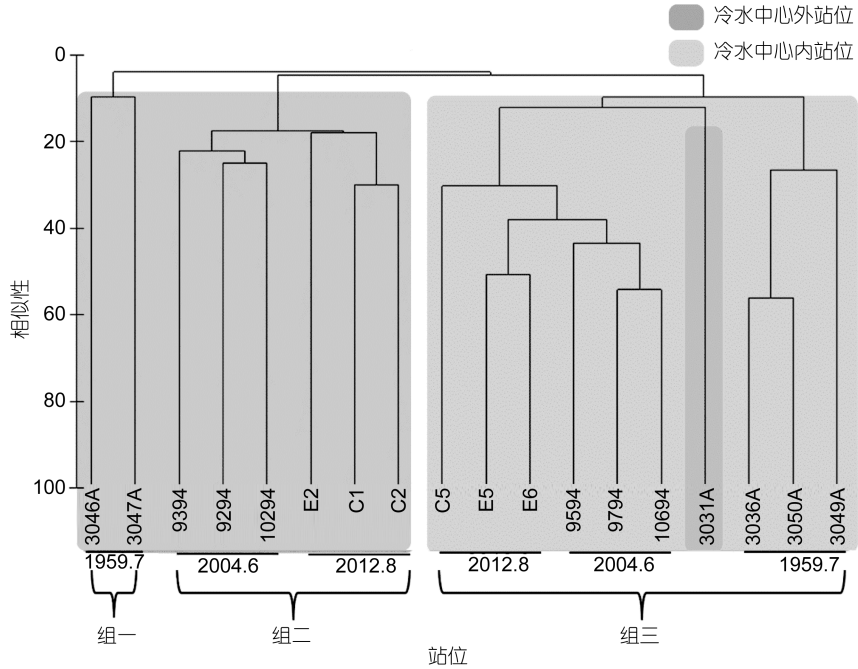


图 3 1959 年、2004 年和 2012 年夏季南黄海冷水中心内外群落聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of communities inside and outside of the YSCWMC in summer of 1959, 2004 and 2012

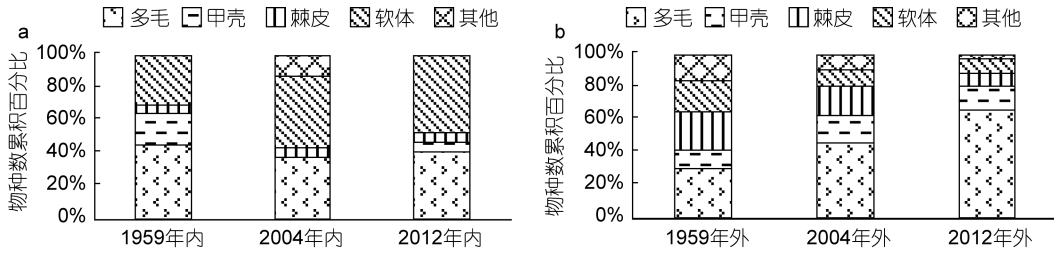


图 4 冷水中心内外各年份种类组成百分比

Fig. 4 The community composition percentage of the YSCWMC inside and outside in each year
注: a. 冷水中心内各种类组成百分比; b. 冷水中心外各种类组成百分比

尾(*Ophiopholis mirabilis*)丰度偏高, 为 910ind./m²。

2012 年调查显示角海蛹和掌鳃索沙蚕在冷水中心内和冷水中心外均有分布, 其丰度在冷水中心外为 195ind./m²、135ind./m², 在冷水中心内为 15ind./m²、10 ind./m²。

2.3.2 生物量分布 在冷水中心内部, 棘皮动物的生物量呈增加趋势, 软体动物各年份的比例较为恒定, 均占总生物量的 40%左右。冷水中心外多毛类动物的生物量普遍较高。

从图 6a 中可以看出, 1959 年 7 月冷水中心内大型底栖动物生物量高于冷水中心外。冷水中心内各站位的总生物量为 70.6g/m², 冷水中心外为 39.5g/m²。其中生物量最高的站位和生物量最低的站位均位于冷水中心内, 分别是 3036A 站和 3049A 站, 为

37.15g/m² 和 3.05g/m²。

2004 年 7 月冷水中心内大型底栖动物生物量小于冷水中心外。生物量最高为 221.7g/m², 出现在冷水中心外 9294 站位(图 6b), 该站位生物量远高于其他站位是由于日本蠕(*Charybdis japonica*)生物量为 110g/m², 其次是紫蛇尾、海参(*Holothuriidae*)和海鞘(*Ascidiacea*), 分别为 14.75g/m²、38.95g/m² 和 45.05g/m²。冷水中心内生物量最高值为 26.05g/m², 出现在 9794 站。

2012 年 8 月冷水中心内大型底栖动物生物量较冷水中心外低(图 6c)。生物量最高值为 234.59g/m², 出现在冷水中心外的 E2 站位。该站位出现了大量的紫蛇尾(227.5g/m²)。

2.3.3 优势种 IRI 计算显示(表 1), 1959 年 7 月冷

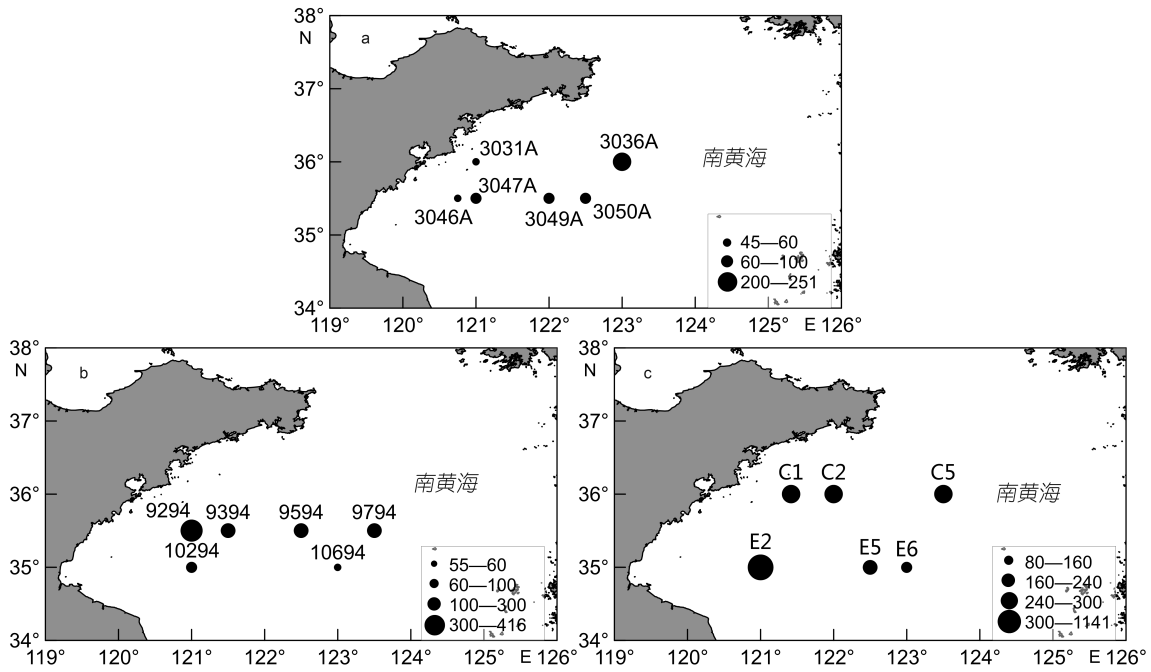


图 5 1959 年、2004 年和 2012 年夏季南黄海冷水中心内外大型底栖动物的丰度分布

Fig. 5 Abundance distribution of macrobenthic communities inside and outside the cold water mass core of the southern Yellow Sea in summer of in 1959, 2004 and 2012

注: a. 1959 年 7 月调查数据; b. 2004 年 6 月调查数据; c. 2012 年 8 月调查数据

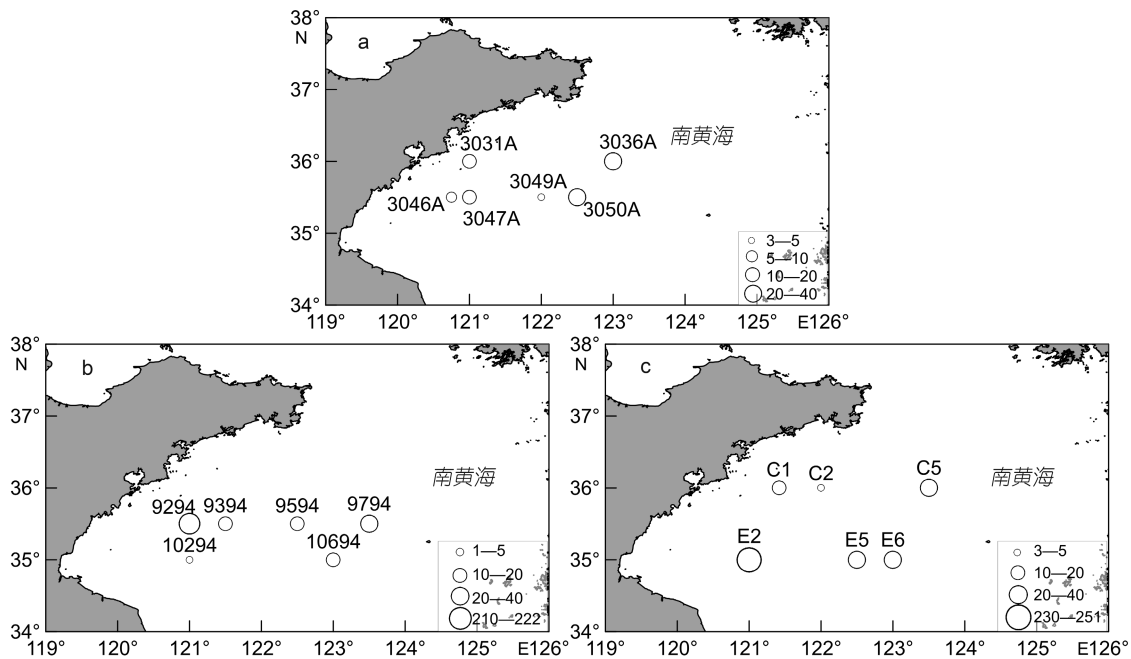


图 6 1959 年、2004 年和 2012 年夏季南黄海冷水中心内外大型底栖动物的生物量分布

Fig. 6 Biomass distribution of macrobenthic communities inside and outside the cold water mass core of the southern Yellow Sea in summer of in 1959, 2004 and 2012

注: a. 1959 年 7 月调查数据; b. 2004 年 6 月调查数据; c. 2012 年 8 月调查数据

表 1 冷水中心内外物种相对重要性指数值(IRI>1000)
Tab.1 The values of index of relative importance of species inside and outside the YSCWMC

海域	种名	拉丁文名	IRI		
			1959.7	2004.6	2012.8
冷水中心内	薄索足蛤	<i>Thyasira tokunagai</i>		2030.11	3792.87
	短吻蛤	<i>Periploma</i> sp.	27749.46		
	橄榄胡桃蛤	<i>Nucula tenuis</i>		19143.23	
	黄海刺梳鳞虫	<i>Ehlersileanira hwanghaiensis</i>		21442.58	
	加州扁乌蛤	<i>Clinocardium californiense</i>		1440.43	
	奇异指纹蛤	<i>Acila mirabilis</i>			4443.50
	浅水萨氏真蛇尾	<i>Ophiura sarsii vadicola</i>	2719.49	22811.61	48345.84
	日本短吻蛤	<i>Periploma japonicum</i>		5845.16	4486.48
	日本梯形蛤	<i>Portlandia japonica</i>			17015.09
	索沙蚕	<i>Ninoe</i> sp.	2236.55		
	索足蛤	<i>Thyasira</i> sp.	2868.51		
	蜈蚣欧努菲虫	<i>Onuphis geophiliformis</i>	30460.03		
	秀丽波纹蛤	<i>Raetellops pulchella</i>		3739.35	
	日本倍棘蛇尾	<i>Amphioplus japonicus</i>	1040.21		
	哈氏刻肋海胆	<i>Temnopleurus hardwickii</i>	1154.50		
冷水中心外	苔藓	Bryozoa	1227.51		
	长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i>		1107.10	
	海参	Holothuriidae		2553.18	
	紫蛇尾	<i>Ophiopholis mirabilis</i>		1326.53	28904.93
	日本罴	<i>Charybdis japonica</i>		7093.15	
	海鞘	Ascidacea		2919.88	
	角海蛹	<i>Ophelina acumilata</i>			1704.42

水中心内多毛类动物和软体动物优势明显, 优势种为蜈蚣欧努菲虫(*Onuphis geophiliformis*)、浅水萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii vadicola*)、短吻蛤(*Periploma* sp.)、薄索足蛤(*Thyasira tokunagai*)和索沙蚕, 其中蜈蚣欧努菲虫优势度最高, 仅出现在 3036A 站位。冷水中心外优势种为日本倍棘蛇尾(*Ophiophragmus japonicus*)和哈氏刻肋海胆(*Temnopleurus hardwickii*)。

2004 年 6 月调查显示冷水中心内优势种软体动物居多, 有薄索足蛤、橄榄胡桃蛤、日本短吻蛤(*Periploma japonicum*)和加州扁乌蛤(*Clinocardium californiense*)、秀丽波纹蛤(*Raetellops pulchella*)。黄海刺梳鳞虫(*Ehlersileanira incisa*)和浅水萨氏真蛇尾也为优势种。冷水中心外优势种有长吻沙蚕(*Glycera chirori*)、紫蛇尾、日本罴、海参类和海鞘类。其中日本罴优势度最高为 7093.15。

2012 年 8 月冷水中心内优势种依然是软体类居多, 优势种分别为薄索足蛤、日本短吻蛤、日本梯形蛤(*Portlandia japonica*)和浅水萨氏真蛇尾, 日本梯形蛤优

势度最高(IRI=17015.09)。冷水中心外的优势种为角海蛹和紫蛇尾, 紫蛇尾优势度最高(IRI=28904.93)。

3 个航次调查中, 冷水中心内的重要种依次为: 1959 年 7 月矾沙蚕一种(Eunicidae)、锡鳞虫一种(*Leanira izueusis*)、索沙蚕、欧文虫(*Owenia fasiformis*)、紫色臭海蛹(*Tearisia pupa*)、Monascida、蹄蛤科一种(*Joannisiella cumingi*)、色雷西蛤一种(*Thracia* sp.)和秀丽波纹蛤; 2004 年 6 月日本梯形蛤; 2012 年 8 月橄榄胡桃蛤、蜈蚣欧努菲虫和秀丽波纹蛤。冷水中心外的重要种依次为: 1959 年 7 月狐蛤一种(*Lima hakodatensis*)和刻孔海胆(*Temnotrema sculptum*); 2004 年 6 月不倒翁虫(*Stemaspis scutata*)和日本美人虾(*Callianassa japonica*); 2012 年 8 月司氏盖蛇尾(*Stegophiura sladeni*)、长须沙蚕(*Nereis longier*)、掌鳃索沙蚕和紫色臭海蛹。

2.4 多样性指数

从表 2 可以看出, 冷水中心外物种丰富度(d)值在 2004 年最高, 1959 年次之, 均匀度(J')随着年份的增加

逐渐降低, 多样性 H' 与 d 值变化趋势相同。冷水中心内物种丰富度随着年份的增长逐渐下降。均匀度在 2004 年最高, 1959 年次之。冷水中心内多样性 (H') 随年份的增加呈下降趋势, 在 2012 年最低。总体上, 冷水中心外的 d 、 J' 、 H' 值均要高于冷水中心内。平均分类

差异指数 (Δ^+) 在冷水中心外随年份的增加逐渐降低, 在冷水中心内各年份相差不大。冷水中心外分类差异变异指数 (Δ^+) 在 2004 年最高, 1959 年最低, 冷水中心内在 2004 年最低。2004 年 Δ^+ 和 Δ^+ 在冷水中心内外相差不大。

表 2 各年份冷水中心内外多样性指数(平均值±标准差)
Tab. 2 Biodiversity indices of each year in and out of the YSCWMC (MEAN±S.D.)

年份	海域	d	J'	H'	Δ^+	Δ^+
1959.07	冷水中心外	3.509±0.536	0.971±0.029	2.185±0.160	94.107±2.715	242.637±161.055
	冷水中心内	2.749±0.438	0.829±0.142	1.877±0.307	85.773±6.253	409.863±237.753
2004.06	冷水中心外	4.804±1.731	0.923±0.056	2.592±0.391	86.18±4.540	317.29±86.394
	冷水中心内	2.501±0.994	0.883±0.025	1.834±0.378	87.97±0.943	320.597±34.291
2012.08	冷水中心外	3.279±2.215	0.618±0.262	1.684±1.025	73.565±20.754	284.535±95.113
	冷水中心内	2.315±0.700	0.769±0.115	1.653±0.330	85.55±7.340	483.25±272.165

注: H' : Shannon-Wiener 多样性指数; J' : Pielou 均匀度指数; d : Margalef 丰富度指数; Δ^+ : 平均分类差异指数; Δ^+ : 分类差异变异指数; YSCWMC 指黄海冷水中心

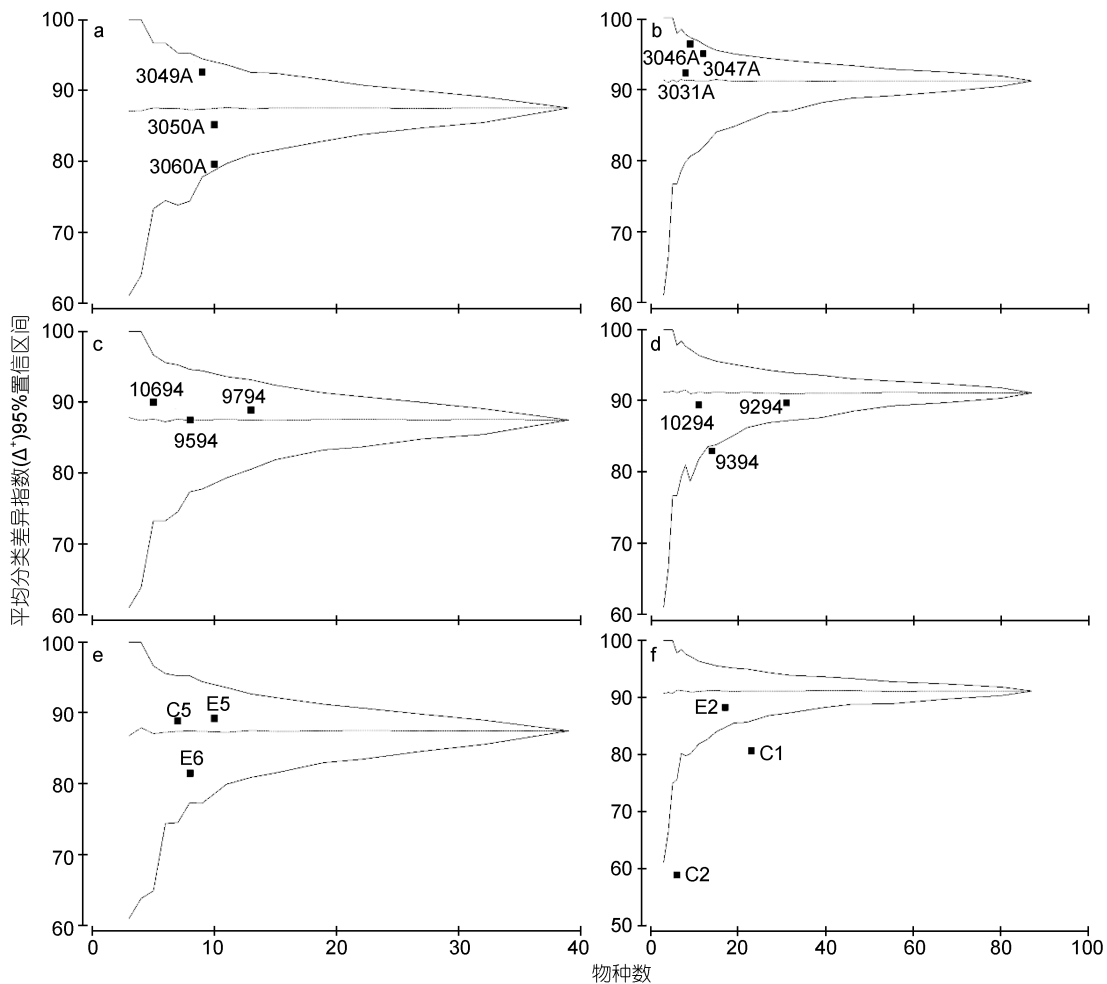


图 7 1959 年 7 月、2004 年 6 月和 2012 年 8 月平均分类差异指数 (Δ^+) 的漏斗图

Fig. 7 Average taxonomic distinctness indices (Δ^+) in July 1959, June 2004 and August 2012

注: a, c, e: 1959 年 7 月、2004 年 6 月、2012 年 8 月冷水中心内; b, d, f: 1959 年 7 月、2004 年 6 月、2012 年 8 月冷水中心外

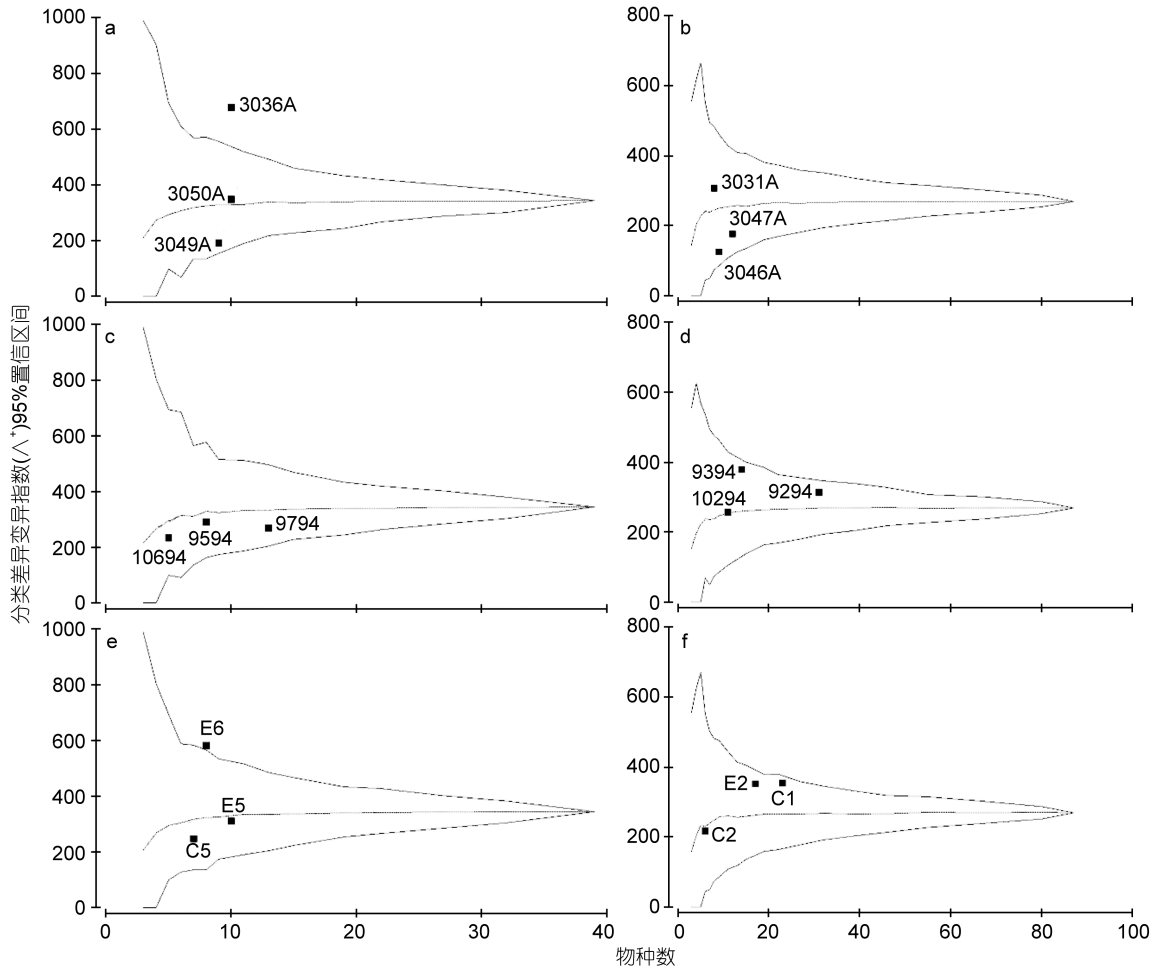


图 8 1959 年 7 月、2004 年 6 月和 2012 年 8 月分类差异变异指数(Δ^+)

Fig. 8 Variation in taxonomic distinctness indices (Δ^+) in July 1959, June 2004 and August 2012

注: a, c, e: 1959 年 7 月、2004 年 6 月、2012 年 8 月冷水中心内, b, d, f: 1959 年 7 月、2004 年 6 月、2012 年 8 月冷水中心外

3 个航次冷水中心外 Δ^+ 平均值为 91.12, 冷水中心内为 86.76。冷水中心外 Δ^+ 平均值为 269.3, 冷水中心内为 369.1。

平均分类差异指数漏斗图(图 7)显示冷水中心内 3 个站点在各调查年份均处于 95%置信区间内, 而冷水中心外 2004 年 6 月的 9394 站和以及 2012 年 8 月的 C1、C2 站处于置信区间外。这说明随着时间的推移, 冷水中心外的种类发生了较为明显的变化。

分类差异变异指数漏斗图(图 8)显示冷水中心外 3 个站点在各调查年份均处于 95%置信区间内, 而冷水中心内 1959 年 7 月的 3036A 站和 2012 年 8 月的 E6 站位于 95%置信区间外。

2.5 ABC 曲线

图 9 结果显示各年份冷水中心内外生物量曲线均位于丰度曲线之上, 表明调查期间南黄海该区域的群落结构均处于较为稳定的状态。而 2012 年 8 月

生物量曲线与丰度曲线在起始处几乎重合, 且 W 值较小(0.141), 说明 2012 年冷水中心外大型底栖动物群落受到一定程度的干扰。

3 分析与讨论

3.1 群落结构变化

本研究结果显示, 冷水中心外大型底栖动物物种数明显高于冷水中心内。多毛类动物具有较强的适应能力, 分布较为广泛(吴宝铃, 1979; 类彦立, 2008), 本研究显示, 多毛类动物中的角海蛹和掌鳃索沙蚕在冷水中心内外均有分布, 与吴宝铃等(1979)得到的结论一致。虽然多毛类动物分布广泛, 但在冷水中心内的丰度明显低于冷水中心外。这可能是由于多毛类动物虽然可以适应低温的冷水环境, 但其繁殖能力可能不如在温度较高的冷水中心外强。

3 个航次均显示冷水中心外的优势种主要为多毛

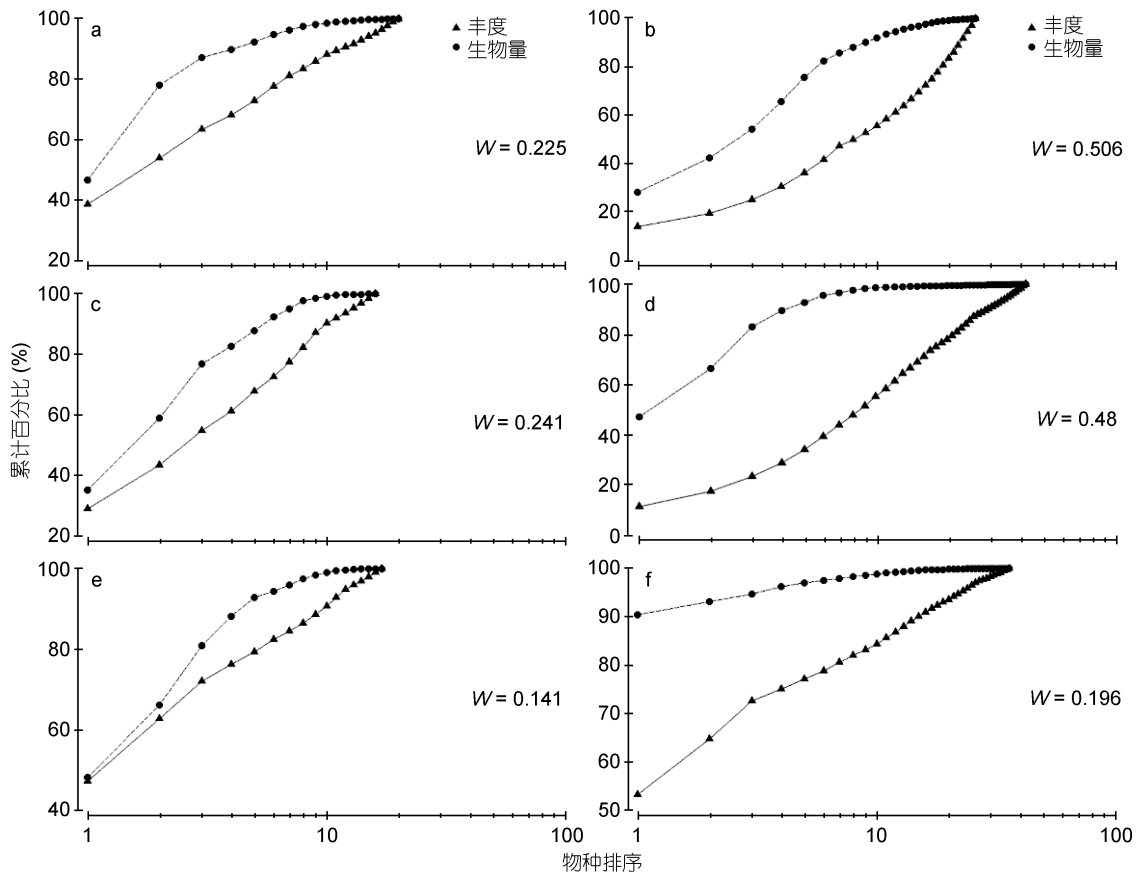


图9 1959年7月、2004年6月和2012年8月冷水中心内外ABC曲线

Fig.9 ABC curves of YSCWMC inside and outside in July 1959, June 2004 and August 2012

注: a, c, e: 1959年7月、2004年6月、2012年8月冷水中心外, b, d, f: 1959年7月、2004年6月、2012年8月冷水中心内

类动物, 其次是棘皮动物。冷水中心内的物种在3个航次中变化较小, 多毛类动物蜈蚣欧努菲虫在3个航次冷水中心内均出现过, 这与贾海波等(2010)的调查结果较一致。冷水中心内以软体动物居多, 且在3个调查航次中物种没有较大变化, 这与Zhang等(2012)发现的冷水中心内的物种自1950年以来仅发生轻微变化的结果一致。冷水中心内的薄索足蛤、秀丽波纹蛤、短吻蛤科、胡桃蛤科和日本梯形蛤在调查航次中丰度虽有变化, 但在各航次均有出现。

3.2 丰度及生物量变化特征

冷水中心外的丰度随着年份推移在逐渐增加, 而冷水中心内的丰度先减少再增加, 但变化不剧烈。除1959年7月调查外, 其余两个航次的调查显示, 冷水中心外群落丰度要高于冷水中心内, 且生物量为冷水中心外较高。贾海波等(2010)研究结果显示沿岸群落的丰度高, 冷水中心内的群落丰度低, 与本研究2004年6月和2012年8月结果相一致。1959年的调查结果恰与2004年和2012年呈现相反的现象, 但冷

水中心内的变化不明显, 主要改变在冷水中心之外。2004年和2012年航次在冷水中心外均采集到大量的棘皮动物, 无论是丰度还是生物量, 棘皮动物均贡献较大, 其中紫蛇尾在2004年6月和2012年7月均作为冷水中心外的优势种出现。

虽然冷水中心内的群落丰度偏低, 但在本研究中没有较大的变化, 冷水中心内的群落丰度相对稳定。Two-way ANOVA分析表明, 冷水中心内群落物种丰度53年间差异不显著, 冷水中心外群落物种丰度在1959年7月和2012年8月间差异显著, 另外, 除2012年8月冷水中心内、外群落物种丰度差异显著外, 其余年份内外差异不显著。造成这一现象的原因, 可能是在冷水中心外的E2站位出现了大量的紫蛇尾。虽然冷水中心内、外群落之间的丰度及生物量间的差异不显著, 但冷水中心内、外群落物种的组成有很大差别, 其中, 位于冷水中心内部的群落中软体双壳类要明显多于冷水中心外。

本研究结果显示, 软体动物的丰度在冷水中心

内外有明显差异。自1959年至2012年此53年间,冷水中心外的大型底栖动物均以多毛类动物和棘皮动物为主要类群,未有明显变化,它们的丰度之和占该年份调查总丰度的50%以上,2012年8月的调查显示棘皮动物和多毛类动物的丰度之和在总丰度中达到了94%。冷水中心内的大型底栖动物丰度较高的类群各年份会有所变化,但软体动物在冷水中心内的丰度总处于较高值,在1959年7月和2012年8月位于第二大类,分别占当年调查总丰度的16%和37%,在2004年6月时位于第一大类,占据58%,说明低温水体更适合软体双壳类的生存。本研究可为软体动物渔业提供参考。

3.3 多样性指数的分布

虽然冷水中心内外 d 、 J' 、 H' 的时间差异并不显著,但分析发现冷水中心内的指数变化波动较小而冷水中心外的变化较大(表2),即冷水中心内较为稳定。 Δ^+ 95%置信区间图(图7)显示2004年的9394站位和2012年的C1、C2站位处于置信区间之外,说明这些站位在物种的组成上分类界元较少。该3个站位均位于冷水中心外,反观冷水中心内站位的分类多样性指数均分布在置信区间内,即冷水中心内群落的结构较为稳定。

Δ^+ 漏斗图(图8)显示,冷水中心内1959年的3036A站位和2012年的E6站位处于95%置信区间之外,说明这两个站位的群落受到了一定程度的扰动(曲方圆等,2010)。冷水中心外的 Δ^+ 值均位于95%的置信区间内,但其数值变化与 Δ^+ 逐渐减小不同,呈现出先增大后减小的现象。彭松耀(2013)使用2000—2011年的调查资料对黄东海群落大尺度的分类多样性进行研究,指出黄东海大型底栖动物群落分类差异性程度随着时间的推移呈现降低的趋势,这与本文2004年和2012年的调查结果一致。

4 结论

经过对1959年7月、2004年6月和2012年8月的数据分析,共鉴定物种112种,冷水中心内33种,冷水中心外87种。Two-way ANOVA结果显示三航次间时空尺度上冷水中心内、外 H' 、 J' 和 d 的差异均不显著,物种丰度和物种生物量也未发生明显改变。冷水中心内部群落的 H' 、 J' 和 d 变化幅度较冷水中心外部群落小,表明相较冷水中心外的群落,冷水中心内的群落结构较为稳定。 Δ^+ 、 Δ^+ 95%置信区间分析得出冷水中心内部站位3036A和E6受到扰动,

冷水中心外的站位9394和C1、C2物种的分类界元较少。通过比较冷水中心内、外物种组成发现冷水中心优势种以软体动物为主,无论丰度还是生物量,冷水中心内的软体动物均占据优势,且三个航次间软体动物物种改变较小,软体动物较为适宜低温高盐的冷水环境。冷水中心对于大型底栖动物中软体动物的生长繁殖具有重要的保护作用,能够维持其群落结构的稳定,并且多毛类动物和棘皮动物在冷水中心内的种群生物量要明显高于冷水中心外的种群。冷水中心对于大型底栖生物群落结构的影响由于本次研究材料所限,并未能深入了解,后续还需要更为详尽的数据进行分析说明。

参 考 文 献

- 丁兰平, 1999. 两个新的群落多样性指数. 海洋科学, (1): 25—27
- 于非, 张志欣, 刁新源等, 2006. 黄海冷水中心演变过程及其与邻近水团关系的分析. 海洋学报, 28(5): 26—34
- 于海燕, 李新正, 李宝泉等, 2006. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状. 生态学报, 26(2): 416—422
- 王金宝, 李新正, 王洪法等, 2007. 黄海特定断面夏秋季大型底栖动物生态学特征. 生态学报, 27(10): 4349—4358
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2007. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 41—44
- 曲方圆, 于子山, 2010. 分类多样性在大型底栖动物生态学方面的应用: 以黄海底栖动物为例. 生物多样性, 18(2): 150—155
- 刘录三, 李新正, 2003. 南黄海春秋大型底栖动物分布现状. 海洋与湖沼, 34(1): 26—32
- 刘瑞玉, 徐凤山, 1963. 黄、东海底栖动物区系的特点. 海洋与湖沼, 5(4): 306—321
- 吴强, 李显森, 王俊等, 2009. 长江口及邻近海域无脊椎动物群落结构及其生物多样性研究. 水生态学杂志, 2(2): 73—79
- 吴宝铃, 孙道元, 1979. 南黄海北部海域多毛类环节动物生态学的初步研究. 海洋湖沼通报, (1): 48—50
- 胡成业, 杜肖, 水玉跃等, 2016. 浙江6个列岛潮间带大型底栖动物分类多样性. 中国水产科学, 23(2): 458—468
- 类彦立, 孙瑞平, 2008. 黄海多毛环节动物多样性及区系的初步研究. 海洋科学, 32(4): 40—51
- 贾海波, 胡颖琰, 唐静亮等, 2010. 南黄海大型底栖生物生态调查与研究. 海洋与湖沼, 41(6): 842—849
- 翁学传, 张以恩, 王从敏等, 1988. 黄海冷水中心的变化特征. 海洋与湖沼, 19(4): 368—379
- 彭松耀, 2013. 黄东海大型底栖动物群落结构特征. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所)博士学位论文, 1—243
- 彭松耀, 李新正, 王洪法等, 2015. 南黄海春季大型底栖动物优势种生态位. 生态学报, 35(6): 1917—1928
- 蔡艳, 陈菲, 刘曼红等, 2016. 秋季红旗泡水库及周边水域底栖动物群落结构研究. 水产学杂志, 29(2): 39—44
- 管秉贤, 1963. 黄海冷水中心的水温变化以及环流特征的初步分析. 海洋与湖沼, 5(4): 255—284

- Azovsky A, Garlitska L, Chertoprud E, 2016. Multi-scale taxonomic diversity of marine harpacticoids: does it differ at high and low latitudes?. *Marine Biology*, 163(5): 94
- Clarke K R, Warwick R M, 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265—278
- Ganesh T, Raman A V, 2007. Macrobenthic community structure of the northeast Indian shelf, Bay of Bengal. *Marine Ecology Progress Series*, 341: 59—73
- Marchant R, 2007. The use of taxonomic distinctness to assess environmental disturbance of insect communities from running water. *Freshwater Biology*, 52(8): 1634—1645
- Margalef R, 1968. *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago, USA: University of Chicago Press, 1—111
- Mutlu E, Çinar M E, Ergev M B, 2010. Distribution of soft-bottom polychaetes of the Levantine coast of Turkey, eastern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 79(1—2): 23—35
- Pielou E C, 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 10(2): 370—383
- Shannon C E, Weaver W, 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, U.S.A.: University of Illinois Press, 1—117
- Tilman D, Knops J, Wedin D *et al*, 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330): 1300—1302
- Warwick R M, Clarke K R, 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Marine Biology*, 118(4): 739—744
- Warwick R M, Clarke K R, 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35(4): 532—543
- Xu Y, Li X Z, Wang H F *et al*, 2016. Seasonal and spatial variations of macrobenthic community structure and diversity in the South Yellow Sea. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 19(1): 92—100
- Zhang J L, Xiao N, Zhang S P *et al*, 2015. A comparative study on the macrobenthic community over a half century in the Yellow Sea, China. *Journal of Oceanography*, 72(2): 189—205
- Zhang J L, Xu F S, Liu R Y, 2012. Community structure changes of macrobenthos in the South Yellow Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 30(2): 248—255
- Zhang J L, Zhang S P, Zhang S Q *et al*, 2016. What has happened to the benthic mollusks of the Yellow Sea in the near half century? Comparison on molluscan biodiversity between 1959 and 2007. *Continental Shelf Research*, 113: 21—29

COMPARISON IN MACROBENTHIC COMMUNITY COMPOSITION INSIDE AND OUTSIDE THE COLD WATER MASS IN THE SOUTHERN YELLOW SEA IN SUMMER

ZHANG Peng-Chi^{1,2,3}, XU Yong^{1,3}, LI Xin-Zheng^{1,3}, WANG Hong-Fa^{1,3},
ZHANG Bao-Lin^{1,3}, SHUAI Lian-Mei¹, AN Jian-Mei²

(1. Department of marine organism taxonomy & phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China; 2. School of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China; 3. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract To compare the macrobenthic community composition, community structure, and inter-annual variation inside / outside the Yellow Sea Cold Water Mass Core (YSCWMC) in summer, we analyzed the data collected in three marine surveys in July 1959, June 2004, and August 2012 in 18 stations. Three stations within and beyond the YSCWMC were selected in each survey. Biodiversity indices including Shannon-Wiener index (H'), Pielou index (J'), Margalef index (d), and average taxonomic distinctness index (Δ^+) were applied. Variation in taxonomic distinctness index (Δ^+) and abundance-biomass comparison (ABC) curves were used to determine the status of the community. In the three surveys, altogether 33/87 species were found in/out of the cold-water mass. Two-way ANOVA analysis shows no significant differences in H' , J' , and d , as well as in abundance and biomass, in spatial and temporal realms in or out of the YSCWMC. The variation in community component was slightly greater in the inside than the outside, which is also true as shown in ABC curve. Mollusks were obviously more abundant inside than outside in biomass with very little change in species composition. Polychaeta and Echinodermata were major contributor to biomass but very few in variety inside the core, while in the outside, they dominated in both biomass and variety. Mollusks occupied 38% of the total biomass inside but only 3% outside. *Thyasira tokunagai*, *Raetellops pulchella*, Bivalvia, Nuculanida, and *Portlandia japonica* were main and common species inside the water mass. Therefore, YSCWMC could provide a favorable condition for mollusk growth and propagation, also maintain the its community structure.

Key words Yellow Sea Cold Water Mass Core(YSCWMC); biodiversity; community structure; mollusks; macrobenthos

附录:

调查航次物种分布表
The species distribution of research surveys

种中文名	种拉丁名	3036A	3049A	3050A	3031A	3046A	3047A	9294	9394	10294	9794	10694	9594	C5	E5	E6	C1	C2	E2
蹄蛤科一种	<i>Joannisiella cumingi</i>	+																	
尾索类	<i>Monascida</i>	+	+																
	<i>Thuiaria triserialis</i>						+												
酸浆贝	<i>Terebratella coreanica</i>						+												
斑角吻沙蚕	<i>Goniada maculata</i>							+	+										
薄索足蛤	<i>Thyasira tokunagai</i>										+		+	+	+				
背蚓虫	<i>Notomastus latericeus</i>														+			+	
背褶沙蚕	<i>Tambalagama fauveli</i>							+		+								+	+
笔帽虫科一种	<i>Pectinaria</i> sp.						+												
扁鸟蛤	<i>Clinocardium</i> sp.																		+
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>								+										
粗纹吻状蛤	<i>Nuculana yokoyamai</i>							+									+		
带沙蚕科一种	<i>Lumbriconereis</i> sp.					+													
东方缝栖蛤	<i>Hiatella orientalis</i>																		+
端足类	<i>Amphipoda</i>		+			+													
短角双眼钩虾	<i>Ampelisca brevicornis</i>							+											
短吻蛤科	<i>Periploma</i>	+		+															
多丝独毛虫	<i>Tharyx multifilis</i>							+	+	+									+
方格独毛虫	<i>Tharyx tessellata</i>							+											
覆瓦蛤鳞虫	<i>Harmothoe imbricata</i>							+											
橄榄胡桃蛤	<i>Nucula tenuis</i>										+	+	+		+				
钩齿短脊虫	<i>Asychis gangeticus</i>										+								
马尔他钩虾科一种	Melitidae																		+
寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>							+											+
寡鳃齿吻沙蚕	<i>Nephtys oligobranchia</i>									+									+
广布美人虾	<i>Callinassa divergens</i>																		+
螺赢蜚	<i>Corophium</i> sp.								+										
哈鳞虫	<i>Harmothoe</i> sp.																		+
哈氏刻肋海胆	<i>Temnopleurus hardwickii</i>						+												
海参	Holothuriidae							+											
海南细螯虾	<i>Leptochela hainanensis</i>																		+
海鞘								+											
红刺尖锥虫	<i>Scoloplos rubra</i>																		+
后指虫	<i>Laonice cirrata</i>						+												
狐蛤科一种	<i>Lima hakodatensis</i>				+														
狐蛤科一种 1	<i>Lima orientalis</i>					+													
胡桃蛤科一种	<i>Nucula</i> sp.			+															
胡桃蛤科一种 1	<i>Nucula</i> sp.1						+												
黄海刺梳鳞虫	<i>Ehlersleanira incisa hwanghaiensis</i>										+	+							

