

南黄海夏季软体动物群落结构特征*

张鹏弛¹ 徐勇² 李新正² 王洪法² 安建梅¹ 张宝琳² 帅莲梅²

(1. 山西师范大学 生命科学学院 临汾 041000; 2. 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)

摘要 通过对 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物的群落结构进行分析, 揭示其与黄海冷水团之间的关系。使用 Shannon-Wiener 指数(H')、Pielou 指数(J')、Margalef 指数(D')和 ABC(Abundance Biomass Comparison)曲线法分析群落多样性和稳定性。使用 PRIMER6.0 对大型底栖软体动物群落进行 Cluster 和 MDS 相似性分析。通过单因素方差分析(ANOVA)检验各指数之间的差异性。结果表明, 三个航次共获得大型底栖软体动物 36 种, 日本梯形蛤(*Portlandia japonica*)与薄索足蛤(*Thyasira tokunagai*)在三年中均为优势种。大型底栖软体动物平均丰度分别为 27.250 ± 22.15 、 31.765 ± 27.948 和 30.476 ± 30.818 ind./m²; 平均生物量分别为 8.164 ± 9.145 、 6.942 ± 7.139 和 5.071 ± 10.015 g/m²。研究结果显示 3 年来黄海冷水团内大型底栖软体动物的多样性高于冷水团外大型底栖软体动物多样性, 丰度分布由北到南逐渐增加且冷水团内的丰度大于冷水团外的丰度。南黄海海域大型底栖软体生物群落结构稳定, 与 2006 年相比没有较大的变化。

关键词 南黄海; 黄海冷水团; 大型底栖生物; 软体动物群落; 夏季

中图分类号 P735; Q178.1 **doi:** 10.11693/hyhz20160300043

黄海位于中国大陆与朝鲜半岛之间, 西北部与渤海相连, 北部与陆地接壤, 南部直达长江口, 通常以长江口北岸的启东嘴与济州岛西南角连线为界与东海相分离, 具有特殊的生态环境条件和复杂的动物区系(刘瑞玉等, 1963)。黄海又以胶东半岛成山头与朝鲜半岛之间的连线为界分为北黄海和南黄海(范士亮等, 2011)。在南黄海深海区域, 40—50m 深的等深线上存在持续低温的黄海冷水团, 底温一般维持在 8—12°C。南黄海东南角受台湾暖流的分支——黄海暖流影响较大(王金宝等, 2007)。南黄海面积广阔, 约 30.9 万平方公里, 其中包含有吕泗和烟威等几大渔场, 是重要的渔业养殖场所(李荣冠, 2003; 刘录三等, 2003; 徐勤增等, 2009)。

大型底栖软体动物以有机碎屑和其它底栖生物等作为营养来源, 不仅是生态系统中生物群落的重要组成部分, 还是底食性鱼类和虾蟹等经济水生动物的天然饵料(刘月英, 1979; 李德亮等, 2011), 在物

质循环和能量流动中具有不可或缺的作用(胡成业等, 2015), 同时在水环境监测及水生态系统修复方面具有很大的应用前景(陈玉霞等, 2010)。因此, 对大型底栖软体动物的研究显得尤为重要。

1 材料与方法

1.1 调查海域及站位

本研究所用实验材料来源于 2011 年 8 月 12 日至 8 月 30 日搭载“科学三号”考察船航次, 2012 年 8 月 9 日至 8 月 21 日和 2013 年 8 月 13 日至 9 月 2 日期间搭载“北斗”考察船航次所采集的样品。站位分布在 32°—37°N, 120°—125°E 之间。站位设置范围广阔, 基本覆盖南黄海, 可以代表南黄海生物分布。站位分布见图 1。

1.2 采样方法

每个站位使用山东省海洋仪器仪表研究所生产的 0.1m² Gray-O'Hara 箱式采泥器 (Warwick *et al.*,

* 中国科学院战略先导专项项目, XDA11020303 号; 国家海洋局海洋行业公益项目, 201505004 号; 国家自然科学基金项目, 41176133 号。张鹏弛, 硕士研究生, E-mail: poilk1137@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: 2016-03-05, 收修改稿日期: 2016-04-06

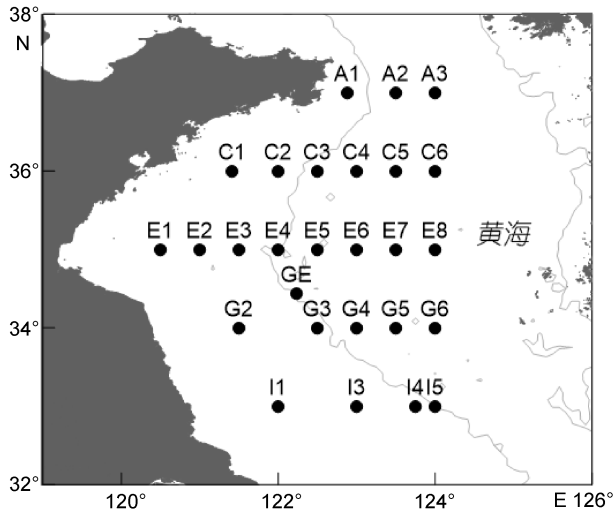


图 1 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物采样站位分布示意图(灰色线条表示 50 和 100m 等深线)

Fig.1 Localities of sampling stations of mollusc species in the South Yellow Sea during 2011—2013 in summer(The gray lines represent 50 and 100m contours)

1994)成功采样两次合并为一个样本。样本用底层网孔径为 0.5mm 的套筛过滤和淘洗,将得到的生物样本用 75%酒精浸泡保存。在实验室中将生物样本分为多毛类(Polychaeta)、甲壳类(Crustacea)、软体类(Mollusca)、棘皮类(Echinodermata)和其它等五大类,鉴定到种后计数和称重(湿重,带壳)。称重使用精确度为 0.001g 的分析天平(HAGPING—A2003,上海天平仪器厂)完成,称重的同时进行人工计数。

1.3 数据分析

1.3.1 优势种 优势种优势度的计算使用以下公式

$$Y=(n_i/N)\times f_i$$

式中 n_i 为第 i 种物种的个体数, N 为物种总个体数, f_i 为第 i 种物种出现的站位数与总站位数之比。当某物种优势度 $Y \geq 0.02$ 时,即认为该物种为优势种(徐兆礼等, 1989)。

1.3.2 物种多样性 群落物种多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和 Margalef 丰富度指数(D)进行分析计算。其计算公式分别为

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

$$P_i = n_i/N \quad (2)$$

$$J' = H'/\log_2 S \quad (3)$$

$$D = (S-1)/\log_2 N \quad (4)$$

公式(1)—(4)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 n_i 与所有物种的总个体数 N 的比值(Shannon *et al.*, 1963; Pielou, 1966; Margalef, 1968; 于海燕等, 2006)。

1.3.3 群落结构分析 群落结构分析通过 PRIMER6.0 将分组站位之间群落结构进行 Bray-Curtis 相似性矩阵聚类分析(clustering analysis)和非度量多维排序分析(nonmetric multidimensional scaling, MDS),以列表和图形的方式直观展示分组数量(周红等, 2003; 甘志彬等, 2012)。同时 PRIMER 软件中的 ANOSIM 分析和 SIMPER 分析可以用于验证 Cluster 群落间分组的可靠性。

2 结果

2.1 大型底栖软体动物种类组成

三个航次调查共鉴定出南黄海大型底栖软体动物 23 科, 27 属, 36 种。其中, 2011 年夏季航次获得大型底栖软体动物 15 科, 20 属, 22 种; 2012 年夏季航次获得 13 科, 17 属, 19 种; 2013 年夏季航次获得 15 科, 15 属, 18 种。表 1 是各个物种在 2011—2013 年夏季的丰度情况。

日本胡桃蛤(*Nucula nipponica*)、日本梯形蛤(*Portlandia japonica*)、薄索足蛤(*Thyasira tokunagai*)和橄榄胡桃蛤(*Nucula tenuis*)这四个种在 2011—2013 各年份的丰度均较大。

2.2 主要优势种

日本胡桃蛤、日本梯形蛤和薄索足蛤在 2011 年夏季占据优势种地位, 它们的优势度分别为 0.033、0.080 和 0.165。橄榄胡桃蛤、日本梯形蛤和薄索足蛤在 2012 年夏季占据优势种的地位, 它们的优势度分别为 0.031、0.099 和 0.037。日本梯形蛤、秀丽波纹蛤(*Raetellops pulchella*)和薄索足蛤在 2013 年夏季占据优势种地位, 它们的优势度分别为 0.039、0.049 和 0.134。这些优势种在各年份的丰度之和占各调查年份总丰度的 50%以上。日本梯形蛤与薄索足蛤三年优势度变化范围分别为 0.039—0.099 和 0.037—0.165, 在优势种地位中比较稳定。

2.3 物种多样性

图 2a 是 2011 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J' 和 H' 指数, 其中 A3、C2、C3、E2 和 E3 各站位仅有一种物种。结果显示, G3 站位物种多样性指数最高, GE 站位最低。A1 和 I3 的均匀度最好, GE 的均匀度最差。G3 的丰度最高而 GE 和 C5 的丰度最低。GE 站位是 2011 年度各指标最低的站位, 其次是 E4。

表 1 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物的丰度(单位: ind./m²)
Tab.1 Abundance of mollusc species in South Yellow Sea during 2011—2013 in summer (unit: ind./m²)

物种名称	种拉丁名	2011 夏季	2012 夏季	2013 夏季
双壳(残体)		5		5
加州扁鸟蛤	<i>Clinocardium californiense</i>		25	
瓷光螺	<i>Eulima</i> sp.		10	
短吻蛤	<i>Periploma</i> sp.			5
海螂	<i>Leptomya</i> sp.	5		
蚶	<i>Scapharca</i> sp.	5		
核螺	<i>Mitrella</i> sp.	5		
经氏壳蛞蝓	<i>Philine kinglipini</i>	40	5	55
里昂司蛤科一种				5
明樱蛤	<i>Moerella</i> sp.			5
织纹螺	<i>Nassarius</i> sp.	5		
薄索足蛤	<i>Thyasira tokunagai</i>	150	85	150
苍白亮樱蛤	<i>Nitidotellina pallidula</i>		10	5
粗纹吻状蛤	<i>Nuculana yokoyamai</i>	15	15	
东方缝栖蛤	<i>Hiatella orientalis</i>		20	
东京胡桃蛤	<i>Nucula tokyoensis</i>	15	30	30
橄榄胡桃蛤	<i>Nucula tenuis</i>	20	70	50
灰双齿蛤	<i>Felaniella usta</i>			10
胶州湾角贝	<i>Episiphon kiaochowwanensis</i>		10	
金星蝶铰蛤	<i>Trigonothracia jinxingae</i>		10	
津知圆蛤	<i>Cycladicama tsuchii</i>	5		
蓝无壳侧鳃海牛	<i>Pleurobranchaea maculata</i>			5
马丽亚瓷光螺	<i>Eulima maria</i>	5		
皮氏蛾螺	<i>Volutharpa perryi</i>	5		
奇异指纹蛤	<i>Acila mirabilis</i>	5	5	15
日本短吻蛤	<i>Periploma japonicum</i>	30	30	20
日本胡桃蛤	<i>Nucula nipponica</i>	60	40	25
日本梯形蛤	<i>Portlandia japonica</i>	125	130	105
双带瓷光螺	<i>Eulima bifascialis</i>		5	
微形小海螂	<i>Leptomya minuta</i>	10		45
习氏阿玛螺	<i>Amaea thielei</i>	5		
香螺	<i>Neptunea arthritica</i>		5	
小亮樱蛤	<i>Nitidotellina minuta</i>	5		
醒目云母蛤	<i>Yoldia notobilis</i>	15	20	10
秀丽波纹蛤	<i>Raetellops pulchella</i>	10	15	95
总计		545	540	640

图 2b 是 2012 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J 和 H 指数, 其中 E4、E8 和 I5 仅有一种物种。结果显示, A2 的生物多样性最高, 其次是 E5, C5 最低。2012 年夏季各站位大型底栖软体动物的均匀度都较好, C5 相对最低。丰度值 A2 最高, C5 最低。

C5 是本年度各项指标都较低的站位。

图 2c 是 2013 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J 和 H 指数, 其中 A3、C1、C3、E2、E5、G2 和 I5 仅有一种物种。分析表明, C5 和 G3 站位生物多样性指数都较高, I4 最低。A1 和 I4 均匀度最好,

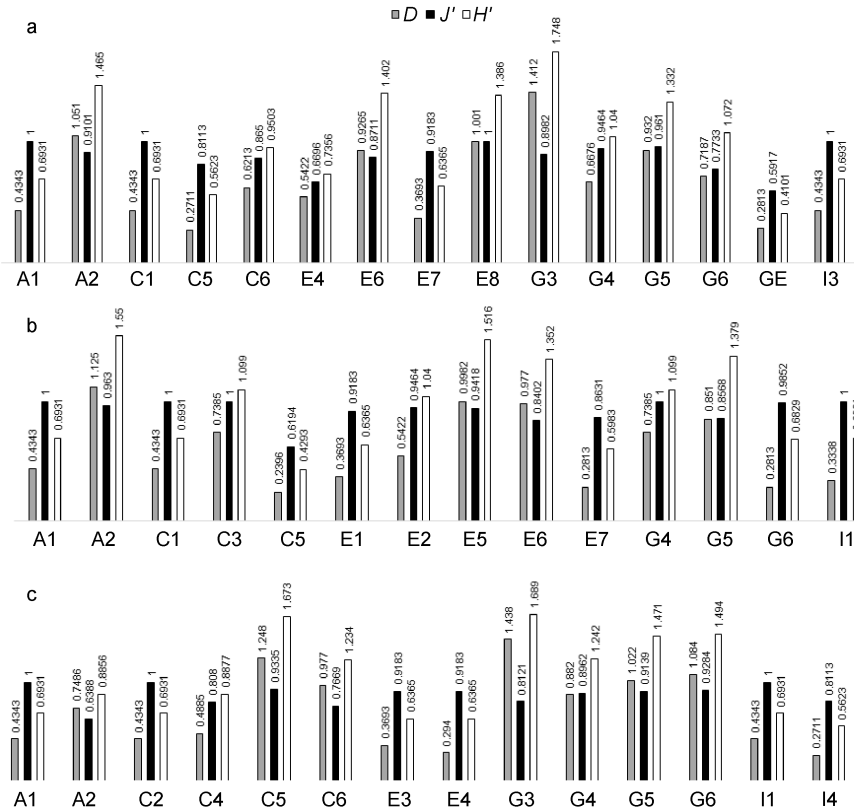


图 2 2011—2013 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J' 、 H' 指数 (H' : Shannon-Wiener 多样性指数; J' : Pielou 均匀度指数; D : Margalef 丰富度指数)

Fig. 2 D , J' , H' indices of mollusc species in each station in South Yellow Sea during 2011—2013 in summer

注: a. 2011 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J' 、 H' 指数; b. 2012 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J' 、 H' 指数; c. 2013 年夏季南黄海各站位大型底栖软体动物的 D 、 J' 、 H' 指数

A2 最差。丰度值 G3 最高, I4 最低。

2011 年夏季、2012 年夏季和 2013 年夏季的 H' 值变化范围分别为 0—1.748, 0—1.55 和 0—1.689。 J' 值变化范围分别在 0.5917—1, 0.6194—1 和 0.6388—1。 D 值变化范围为 0—0.979, 0—0.780 和 0—0.997。它们的年平均值见表 2。

表 2 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖大型底栖软体动物多样性指数(平均值±标准差)

Tab. 2 Biodiversity indices of mollusc in South Yellow Sea during 2011—2013 in summer (mean±S.D.)

夏季	J'	H'	D
2011 年	0.881±0.123	0.741±0.557	0.350±0.286
2012 年	0.924±0.105	0.792±0.508	0.340±0.250
2013 年	0.882±0.103	0.690±0.602	0.334±0.324

注: H' 代表 Shannon-Wiener 多样性指数; J' 代表 Pielou 均匀度指数; D 代表 Margalef 丰富度指数

分析所得的各项指数 (H' 、 J' 和 D) 值使用 SPSS17.0 进行单因素方差分析, 所得结果如表 3 所示。

表 3 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物多样性指数单因素(ANOVA)分析

Tab. 3 ANOVA on biodiversity of mollusc species in South Yellow Sea during 2011—2013 in summer

	df	均方	F 值	显著性水平 P
H'	2	0.490	0.156	0.856
J'	2	0.009	0.685	0.510
D	2	0.287	3.449	0.042

注: df 表示自由度; $P>0.05$ 表示差异不显著; $P<0.05$ 表示显著

经单因素方差分析显示, Shannon-Wiener 指数 (H' , $P=0.856$) 和 Pielou 指数 (J' , $P=0.510$) 差异不显著, 但 Margalef 指数 (D , $P=0.042$) 差异显著。2013 年总丰度较 2011 年和 2012 年都有较高的增长。造成这一增长的原因是由于微形小海螂 (*Leptomya minuta*) 和秀丽波纹蛤这两个物种的丰度在 2013 年夏季分别达到了 45ind./m² 和 95ind./m², 而 2011 年夏季这两个物种的丰度仅为 10ind./m² 和 0ind./m², 在 2012 年夏季仅为 10ind./m² 和 15ind./m²。

2.4 丰度及生物量的分布

2.4.1 丰度分布 2011—2013 年夏季大型底栖软体动物的总丰度分别为 545ind./m², 540ind./m² 和 640ind./m²。从图 2 中可以看出, 三年中各年份丰度最高的站位分别为 E6(75ind./m²)、G5(110ind./m²)和 G3 站(130ind./m²)。

2012 年 E2 站位的丰度较 2011 年和 2013 年出现了大的增长。2013 年丰度较大的原因是由于经氏壳蛞蝓(*Philine kinglipini*)的丰度比前两年的丰度有所增加, 为 55ind./m²(见表 1)。

日本梯形蛤的丰度在 2012 年 G5 站达到了最大值(50ind./m²)。薄索足蛤的分布相对均匀, 其最大丰度(55ind./m²)出现在 2012 年 C5 站位。日本梯形蛤与薄索足蛤三年占总丰度百分比的变化范围分别为

16.41%—24.07%和 15.74%—27.52%。

从图 3 中可以看出, 50 米等深线两侧站位的大型底栖软体动物丰度有较大的区别, 各年份 50 米等深线以深站位的大型底栖软体动物丰度普遍大于 50 米等深线以浅站位的丰度。

2.4.2 生物量分布 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物总生物量分别为 163.275、118.015 和 106.495g/m², 呈现出逐年降低的趋势。2011 年夏季最高生物量出现在 E4 站位(37.485g/m²), 2012 年夏季在 E6 站位(21.065g/m²), 2013 年夏季在 C6 站位(41.170g/m²)。各年份生物量分布如图 4 所示, 2011 年与 2012 年各站位生物量分布较一致; 2013 年与 2011 年各站位相比生物量差异较大, 其中 C6 站位生物量有明显变化。

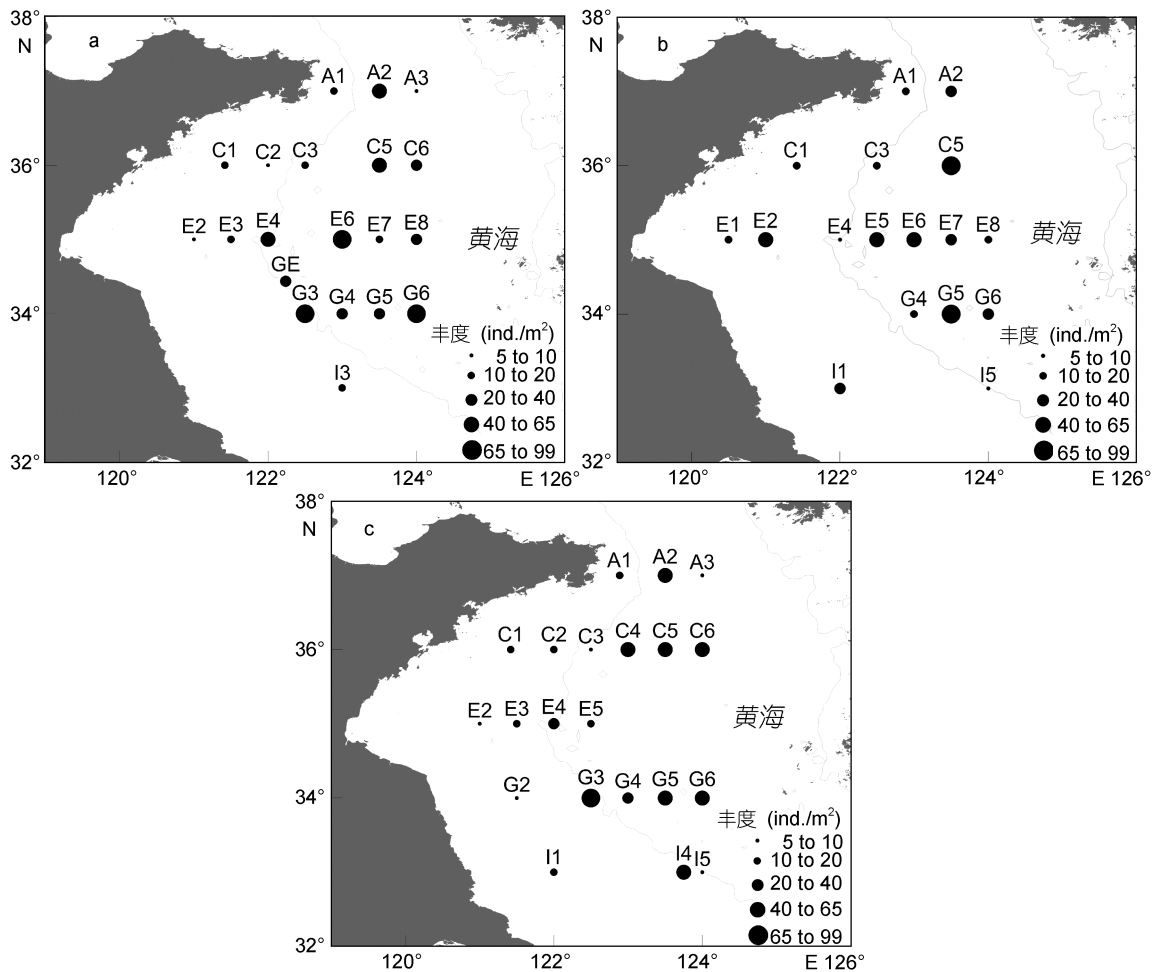


图 3 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物丰度分布(灰色线条表示 50 和 100m 等深线)

Fig. 3 The abundance distribution of mollusc species in South Yellow Sea during 2011—2013 summer (gray lines represent 50 and 100m contours)

注: a. 2011 夏季南黄海大型底栖软体动物丰度分布; b. 2012 夏季南黄海大型底栖软体动物丰度分布; c. 2013 夏季南黄海大型底栖软体动物丰度分布

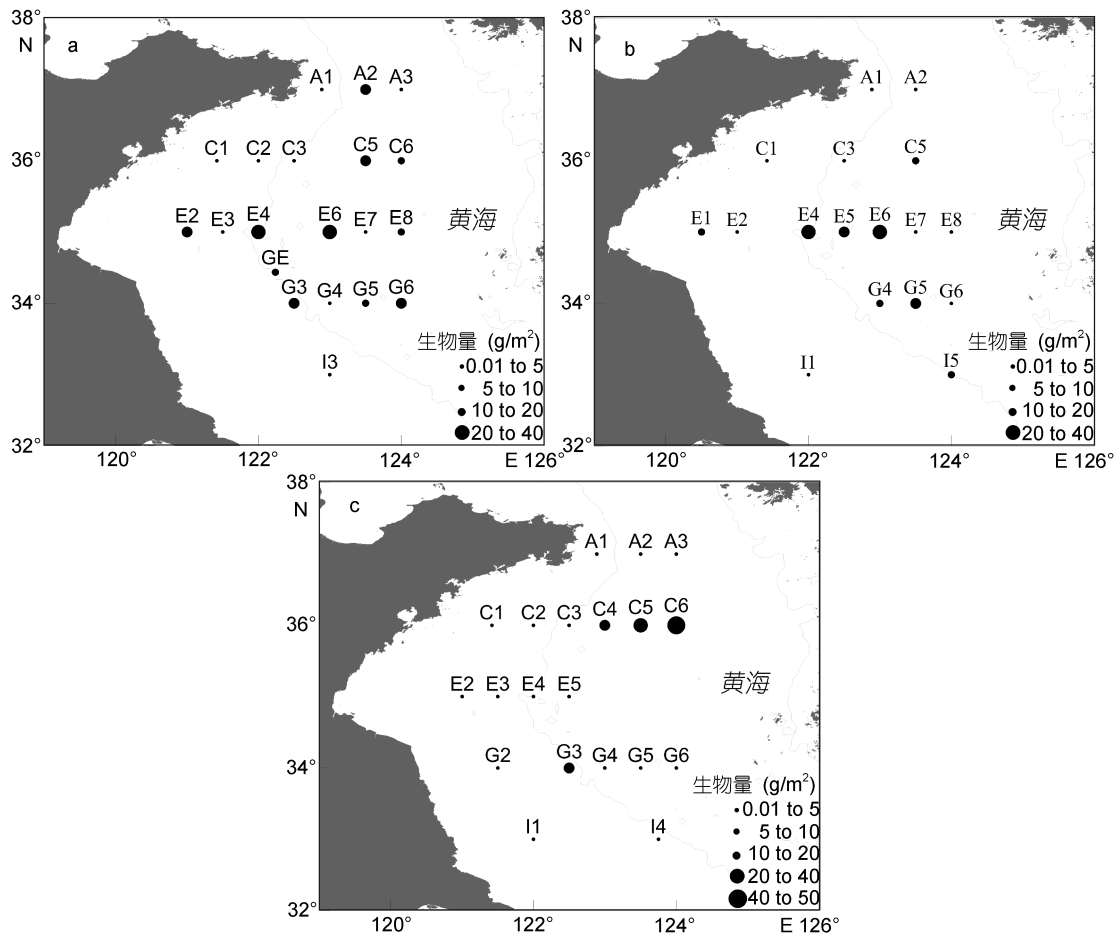


图 4 2011—2013 年南黄海大型底栖大型底栖软体动物生物量分布(灰色线条表示 50 和 100m 等深线)

Fig. 4 The biomass distribution of mollusc species in South Yellow Sea during 2011—2013 (gray lines represent 50 and 100m contour)

注: a. 2011 夏季生物量分布; b. 2012 夏季生物量分布; c. 2013 夏季生物量分布

2011 年与 2012 年各站位生物量分布较一致。2013 年与 2011 年各站位相比生物量差异较大, C6 站位生物量有明显变化。

2.4.3 丰度与生物量的均值 将 2011—2013 年三年间的各站位丰度和生物量进行加和后平均发现, 由图 5 可看出, 冷水团(于非等, 2006)内站位 C5、C6、E5、E6、E7、E8、A2、A3、G4、G5 和 G6 的平均丰度与平均生物量均较高(A3 站位除外)。冷水团外站位 C1、C2、I1、I3、I4、I5、G2、E2 和 E3 的平均丰度和平均生物量值相对较低(I4 站位除外)。单因素方差分析丰度数据显示, 冷水团内站位与冷水团外站位差异显著($P=0.021, <0.05$)。生物量分析结果与丰度结果相同, 冷水团内外站位差异显著($P=0.012, <0.05$)。

2.5 群落结构分析

应用 Cluster 聚类分析将 2011 年航次站位分为两

大类, 将 2012 年和 2013 年航次站位分为三大类。其中, 南黄海冷水团内外站位分布各年基本一致, 故可将其分为两大部分(见图 6—8)。

图 6 是 2011 年夏季各站位物种群落聚类分析结果, 按照树状图显示, 在 20% 的相似性上分为两组(1, 2 组)。A1、C1、E2 和 I3 等四个站位, 平均相似性为 0%, 这几个站位在 Cluster 聚类相似性分析图上各占一支, 因此不归为一组; 组 1(C5、C6、E6、E7、E8、G5、G6)各站位平均相似性为 37.18%, 表征种为薄索足蛤(贡献率 94.87%); 组 2(A2、A3、C2、C3、E3、E4、G3、G4、GE)各站位平均相似性为 38.60%, 表征种为日本梯形蛤(贡献率 76.83%)、日本胡桃蛤(贡献率 12.47%)和薄索足蛤(贡献率 5.28%)。ANOSIM (global $R=0.722, P=0.1%$)分析显示三个分组之间的差异性显著。图 6b 是 MDS 分析结果, 同样是在 20% 相似性上进行划分。

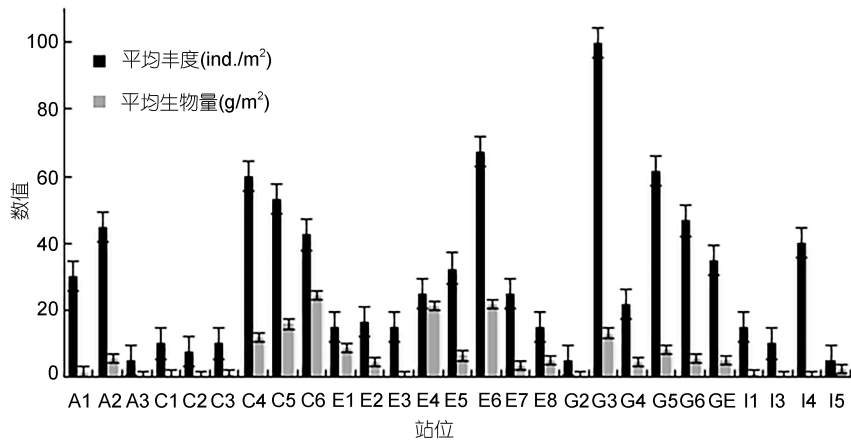


图 5 2011—2013 年各站大型底栖软体动物丰度及生物量均值直方图
Fig. 5 Histograms of the mollusc abundance and biomass during 2011—2013

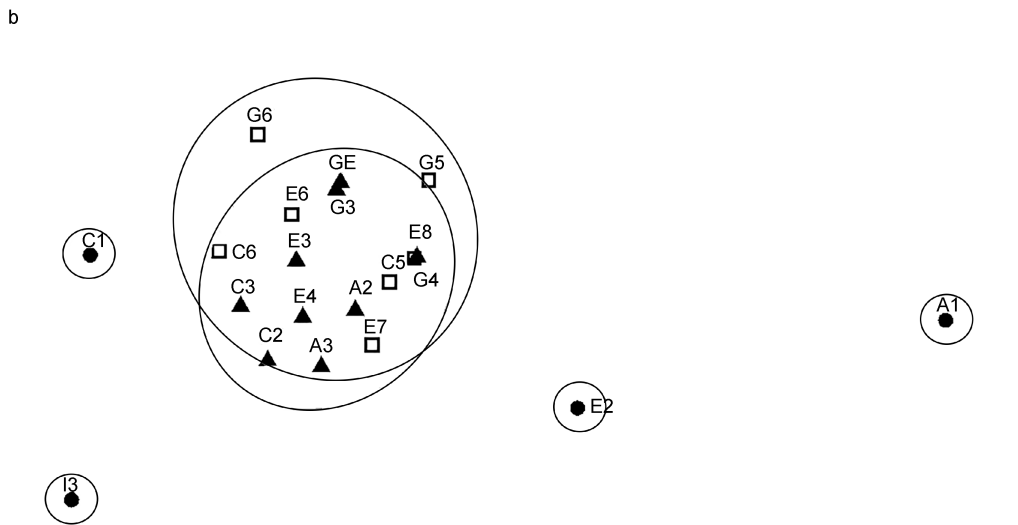
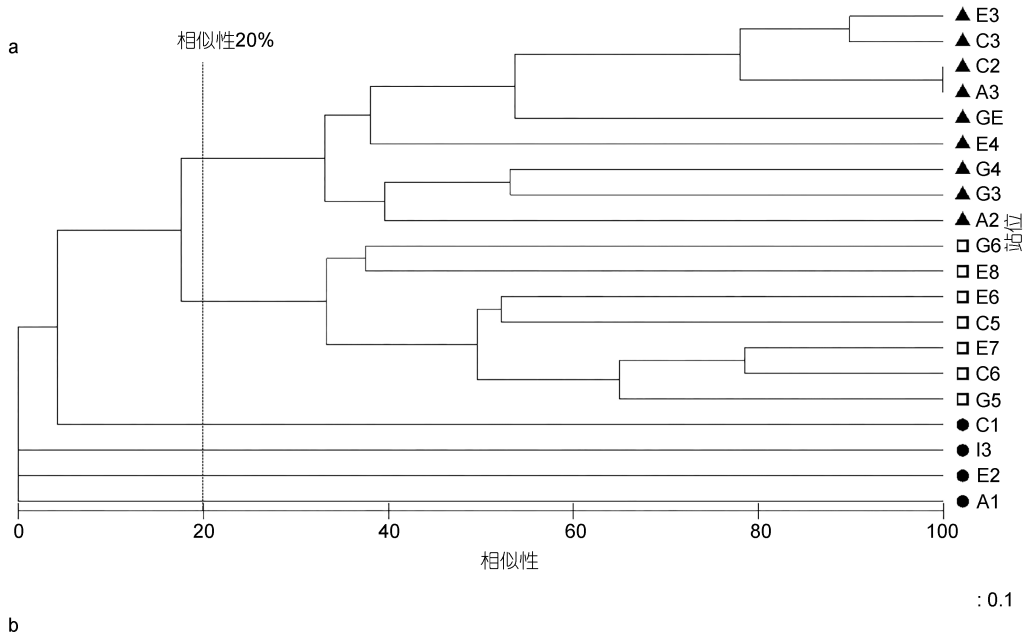


图 6 2011 年夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性和 MDS 排序

Fig. 6 Cladogram of Bray-Curtis similarity and MDS ordination of Mollusca in macrobenthic community in summer 2011
注: a. 2011 夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性分析; b. 2011 夏季南黄海大型底栖软体动物群落 MDS 排序图

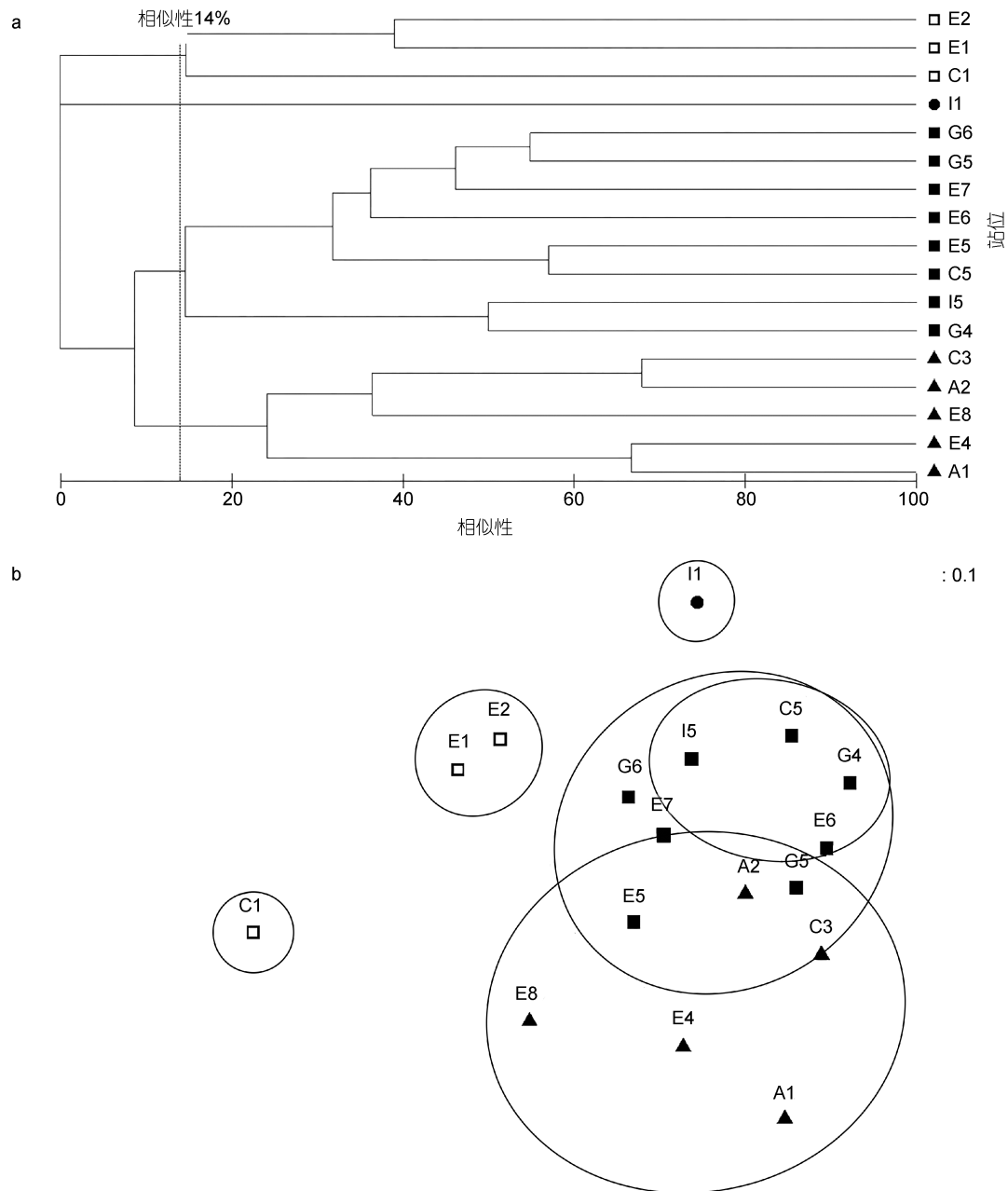


图 7 2012 年夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性和 MDS 排序

Fig.7 Cladogram of Bray-Curtis similarity and MDS ordination of Mollusca in macrobenthic community in summer 2012
注: a. 2012 夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性分析; b. 2012 夏季南黄海大型底栖软体动物群落 MDS 排序图

图 7 是 2012 年夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构的 Cluster 与 MDS 分析结果。与 2011 年夏季不同的是在 14% 的相似性上将站位分为三组。组 1(C1、E1 和 E2)各站位平均相似性为 36.36%，表征种为东方缝栖蛤(*Hiattella orientalis*)(贡献率 64.52%)和加州扁鸟蛤(*Clinocardium californiense*)(贡献率 35.48%); 组 2(A1、A2、C3、E4 和 E8)各站位平均相似性 32.61%，表征种为日本短吻蛤(*Periploma*

japonicum)(贡献率 68.65%)和醒目云母蛤(*Yoldia notobilis*)(贡献率 25.21%); 组 3(C5、E5、E6、E7、G4、G5、G6 和 I5)平均相似性为 22.47%，表征种为日本梯形蛤(贡献率 64.95%)、橄榄胡桃蛤(贡献率 10.94%)、苍白亮樱蛤(*Nitidotellina pallidula*)(贡献率 7.95%)和日本胡桃蛤(贡献率 6.20%)。ANOSIM (global $R=0.698$, $P=0.1\%$)分析显示各分组之间的差异显著。

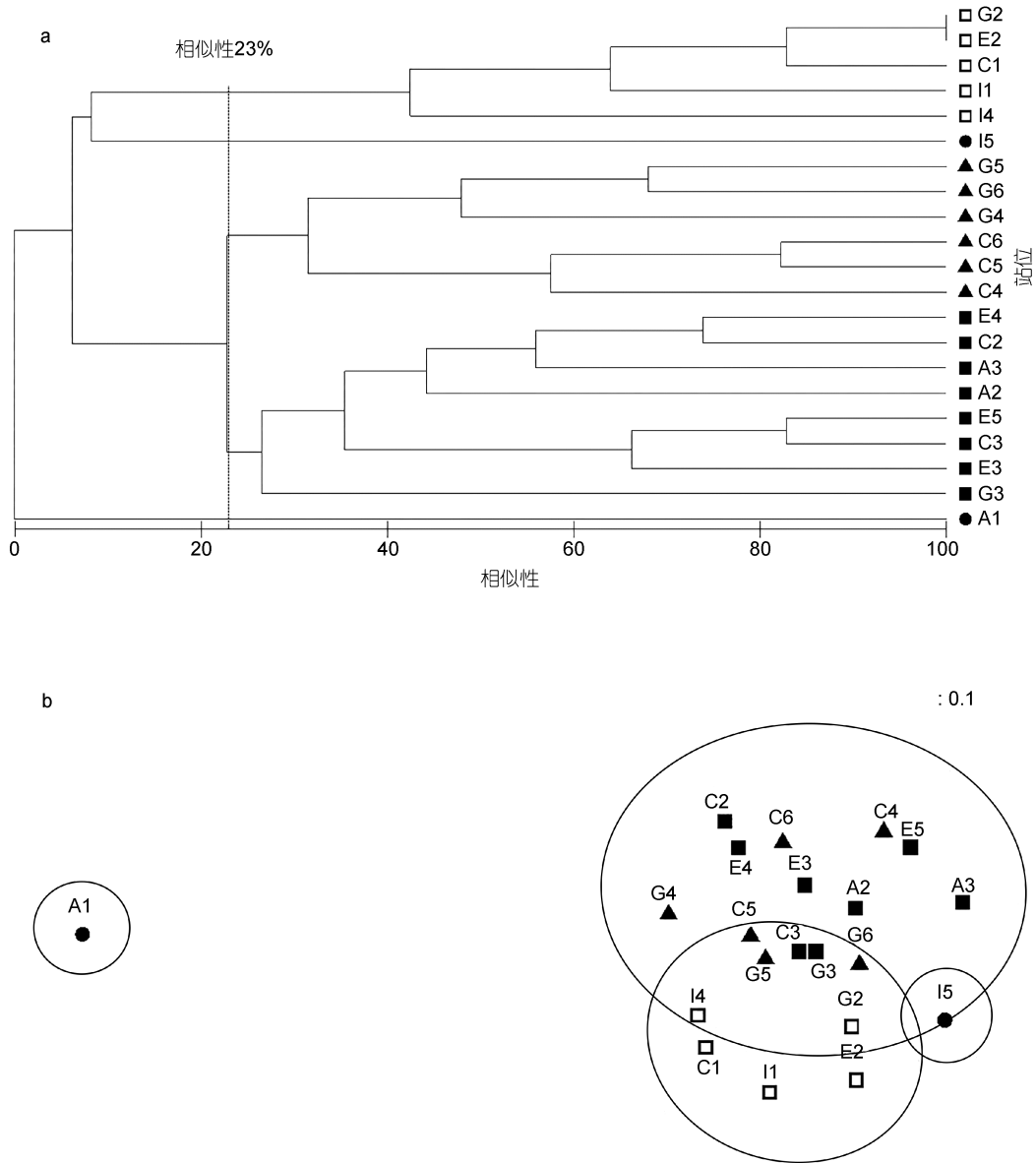


图 8 2013 年夏季夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性和 MDS 排序

Fig.8 Cladogram of Bray-Curtis similarity and MDS ordination of mollusc species in macrobenthic community in summer 2013
注: a. 2013 夏季南黄海大型底栖软体动物群落结构相似性分析; b. 2013 夏季南黄海大型底栖软体动物群落 MDS 排序图

2013 年夏季的分析结果显示可将站位分为三组(图 8)。三个分组依次为: 组 1(C1、E2、G2、I1 和 I4)各站位平均相似性 52.11%, 表征种为经氏壳蛞蝓(贡献率 100%); 组 2(C4、C5、C6、G4、G5 和 G6)各站位平均相似性 37.08%, 表征种为日本梯形蛤(贡献率 43.32%)、薄索足蛤(贡献率 21.53%)、橄榄胡桃蛤(贡献率 16.93%)、东京胡桃蛤(*Nucula tokyoensis*) (贡献率 6.81%) 和日本胡桃蛤(贡献率 4.50%); 组 3(A2、A3、C2、C3、E3、E4、E5 和 G3)各站位平均相似性 33.04%, 表征种为薄索足蛤(贡献率 76.66%)和秀丽波纹蛤(贡

献率 22.59%)。ANOSIM(global $R=0.769$, $P=0.1\%$)分析显示各分组之间差异显著。

从图 9 中可以看出, 三年各年份的生物量曲线均位于丰度曲线之上。当 W 值趋近于 -1 时, 表示群落中生活周期长的物种占据主要优势, 群落状况稳定; 当 W 值趋近于 -1 时, 说明群落中生活周期短的物种占据主要优势, 群落状况不稳定(Chainh *et al*, 2007)。2011 年($W=0.131$)夏季南黄海海域的群落曲线在左侧交叉, 表明群落中生活周期短的物种丰度增加, 群落受到扰动。

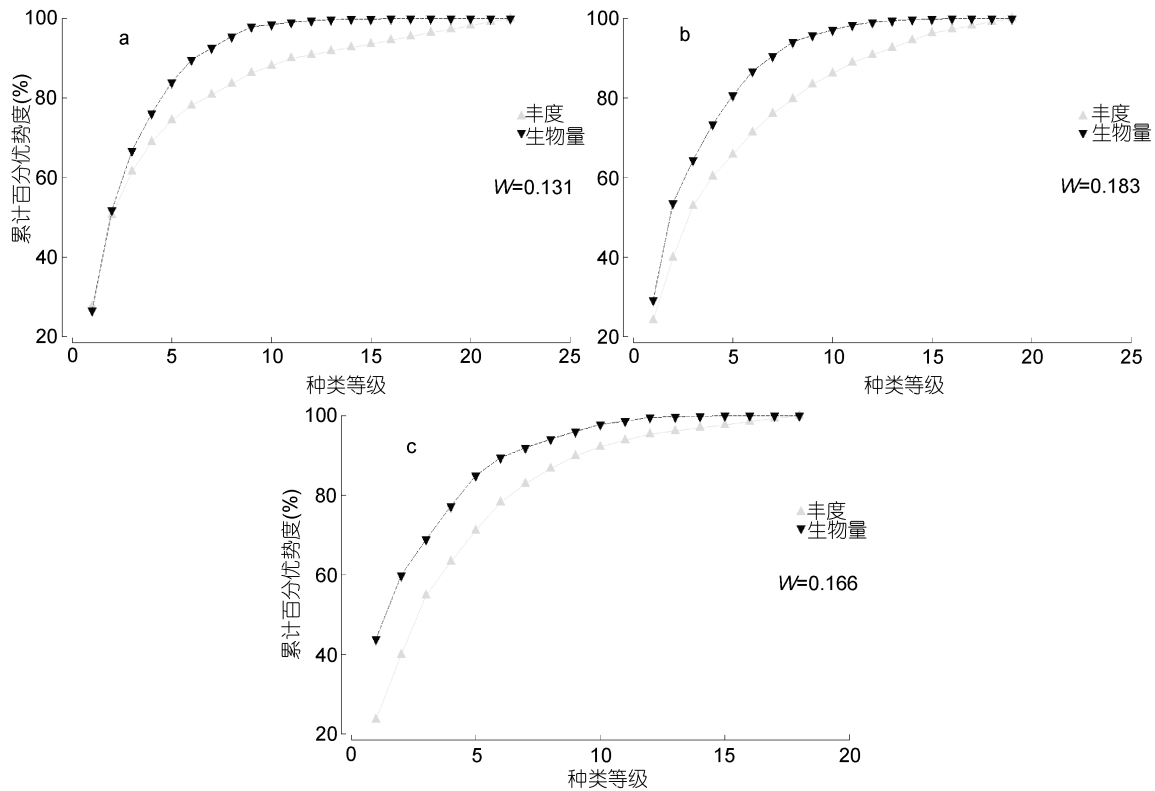


图 9 2011—2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物 ABC 曲线

Fig. 9 The ABC curves of mollusc species in South Yellow Sea during 2011—2013

注: a. 2011 年夏季南黄海大型底栖软体动物 ABC 曲线; b. 2012 年夏季南黄海大型底栖软体动物 ABC 曲线; c. 2013 年夏季南黄海大型底栖软体动物 ABC 曲线

3 讨论

3.1 生物量与丰度变化特征

南黄海深水区是重要的渔业养殖基地,物种数量繁多(刘录三等, 2003),大型底栖生物作为经济鱼类的饵料有着重要的价值。因此,对这一区域的生态系统进行研究有着重要的意义。大型底栖软体动物在大型底栖生物群落丰度中比例较大(刘录三等, 2003; 徐勤增等, 2009; 贾海波等, 2010; 廖一波等, 2011),其重要性不言而喻。物种群落结构的稳定发展,是生态可持续发展的一个重要指标。作为底栖生物群落中的主要物种,大型底栖软体动物在生态系统稳定中有着重要的作用。本研究表明南黄海大型底栖软体动物夏季的生物量自 2011—2013 年逐年降低,其中各年份 50m 等深线以深站位的丰度均大于 50m 等深线以浅站位。在此三年夏季,日本梯形蛤与薄索足蛤均占据着优势种的地位,丰度的变化范围分别为 16.41%—24.07%和 15.74%—27.52%,在优势种中的地位稳定。

黄海冷水团是黄海夏季的特殊水团,其水文条

件与冷水团外差异较大,夏季时冷水团内的大型底栖生物依旧生活在温度相对较低水域。图 3 和图 4 中的丰度分布与生物量分布较大的区域均位于 35°—36.5°N 和 122°—124.5°E 之间,这一位置恰好位于黄海冷水团内部(于非等, 2006)。底栖生物与环境之间存在相互作用,群落受环境改变的影响严重,研究表明水深、温度、盐度、沉积物以及溶解性无机氮等对底栖生物影响明显(Dippner *et al*, 2001; Ganesh *et al*, 2007; Mutlu *et al*, 2010)。本文研究中发现,冷水团内的大型底栖软体动物生物量要高于冷水团外,这与韦晟(1966)对大型底栖动物的调查结果相符。韦晟(1966)在文章中指出“软体动物冬季生物量最高,其它季节都较低”。并且,本次研究发现大型底栖软体动物的丰度分布也出现冷水团内部高于外部的现象。

3.2 年际群落状况及现状

2011 年至 2013 年夏季,各年份的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数的平均值都相差不大,且 $H'(P=0.856, >0.05)$ 和 $J'(P=0.510, >0.05)$ 的单因素方差分析均显示差异不显著。各指数单因素(ANOVA)分析显示南黄海区域的物种数量在三年间变化不明显,

物种在各站位的分布也没有较大的变动。但微形小海螂和秀丽波纹蛤这两个物种的个体数在 2013 年时数量的增加导致物种个体数变化明显,使得 Margalef 指数($P=0.042, <0.05$)各年份间差异显著。调查期间,秀丽波纹蛤仅在 2013 年作为优势种出现,按照其数量的增长趋势是否会持续成为南黄海优势种还需要进一步调查研究。

2013 年总丰度较 2011 年和 2012 年都有较高的增长。造成这一增长的原因是由于微形小海螂和秀丽波纹蛤这两个物种的丰度在 2013 年夏季分别达到了 45 和 95 ind./m², 而 2011 年夏季和 2012 年夏季的微形小海螂和秀丽波纹蛤的采样丰度仅分别为 10、0 和 10、15 ind./m²。

Warwick 等(1994)提出的丰度生物量比较法(abundance biomass comparison, ABC)可用于海洋环境污染检测。ABC 曲线法将底栖生物群落受到污染时会出现的状况分为三类(曲方圆等, 2009): 群落受污染不严重时,生物量曲线位于丰度曲线之上; 群落受到中度污染时,生物量曲线与丰度曲线交错分布; 群落受到严重污染时,丰度曲线整条位于生物量曲线上方。Chainh 等(2007)认为 ABC 曲线法可以依据 W 值分为三类: 好(0.1—1.0)、中(-0.1—0.1)和差(-1.0—-0.1)。本研究三年中,2011 年 W 值为 0.131、2012 年 W 值为 0.183、2013 年 W 值为 0.166。结合 ABC 曲线与 W 值(Chainh *et al.*, 2007)可知 2012 年和 2013 年夏季的群落健康状况较 2011 年好,三年间南黄海大型底栖软体动物群落的健康状况均处于中度偏好。

3.3 冷水团内外群落差异

将 Cluster 和 MDS 聚类分析结果(图 6—8)进行 ANOSIM 分析,结果显示各个分组之间差异显著。从分组结果可以看出, C5、C6、E5、E6、E7、G4、G5 和 G6 站位在三年的分组当中均被分在同一个组。这一结果与于非等(2006)对于黄海冷水团 7 月份的研究结果在位置上存在一致性,即这八个站位均位于黄海冷水团之中。将聚类分析结果与生物量和丰度分布情况及丰度生物量总平均值(图 5)相结合发现,三个航次中生物量和丰度均较高的站位,空间分布均匀,大多位于黄海冷水团内部。

2011 年到 2013 年夏季的南黄海大型底栖软体动物群落结构稳定。呈现出冷水团内大型底栖软体动物群落的多样性要高于冷水团外大型底栖软体动物群落的多样性,丰度由北到南逐渐增加,冷水团内大于

冷水团外的现象。单因素 ANOVA 分析也支持南黄海大型底栖软体动物群落结构稳定的结果。2011 年夏季 G3 站位物种多样性指数最高; 2012 年夏季 A2 站位的生物多样性指数最高; 2013 年夏季 C5 和 G3 站位生物多样性指数最高。这些多样性较高的站位分布在 35°—36.5°N 和 122°—124.5°E 之间,此处夏季为黄海冷水团范围,在春秋季节黄海冷水团会有所移动(于非等, 2006)。这些站位的多样性较高可能与此处温度变化较大有关。

2011—2013 年各年份平均丰度为 27.250 ± 22.152 、 31.765 ± 27.948 和 30.476 ± 30.818 ind./m², 与徐勤增等(2009)对于 2006 年南黄海夏季大型底栖软体动物丰度的研究结果 24 ind./m² 相比,平均丰度更大,呈逐年递增的趋势; 丰度分布结果表明中部和东部的局部丰度较高,其它大部分海域丰度较小,与徐勤增等(2009)研究结果相一致。生物量分布调查结果显示,本研究中 2011—2013 年的生物量范围均小于 2006 年的值(0—120.6 g/m²),各年度生物量均未超过 50 g/m²,且呈现出逐年降低的趋势。使用 ABC 曲线法分析得知,虽然三年间南黄海大型底栖软体生物的丰度呈现增长,生物量呈现下降趋势,但生物量曲线均位于丰度曲线之上,说明群落结构较稳定(图 9)。生物量的逐年降低,可能与冷水团水温变化有关,需要进一步研究。本研究中各年份冷水团内外站位的生物多样性指数(H')结果显示,2011 年南黄海冷水团中站位 C5(0.562)、E6(1.402)和 E7(0.637)要高于冷水团外站位 C2(0)、C3(0)和 E3(0)。2012 年冷水团内站位 C5(0.429)、E6(1.352)和 E7(0.598)与冷水团外站位 C1(0.693)、E1(0.637)和 E2(1.04)相比除 E6 较高外,其它两站的生物多样性指数(H')低,但相差不大。2013 年冷水团内站位 C4(0.888)、C5(1.673)和 C6(1.234)高于冷水团外站位 C1(0)、E2(0)和 G2(0)。虽然 2012 年冷水团内外站位的生物多样性指数持平,但 2011 年和 2013 年冷水团外站位的生物多样性指数均为 0。结合 ABC 曲线(图 9)分析可知黄海冷水团的环境好于邻近海域,更适合大型底栖软体动物的繁衍(其中 H' 为 0 的站位是由于该站位仅有一种大型底栖软体动物导致的)。

4 结论

对 2011—2013 年夏季的南黄海生物群落研究发现,存在于南黄海的冷水团的环境要好于邻近海域,且南黄海冷水团中的大型底栖软体动物丰度和生物

量要高于临近海域。南黄海的大型底栖软体动物群落结构较稳定。通过 ABC 曲线法对南黄海大型底栖软体动物的生物量与丰度进行分析得知, 南黄海在此三年间的环境并没有较明显的改变。黄海冷水团对于大型底栖软体动物的繁衍具有重要的意义。

参 考 文 献

- 于 非, 张志欣, 刁新源等, 2006. 黄海冷水团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
- 韦 晟, 1966. 黄海北部主要大型底栖动物的种类组成、数量分布及季节变动的特点. 水产学报, 3(1): 52—61
- 甘志彬, 李新正, 王洪法等, 2012. 宁津近岸海域大型底栖动物生态学特征和季节变化. 应用生态学报, 23(11): 3123—3132
- 曲方圆, 于子山, 隋吉星等, 2009. 丰度生物量比较法应用局限性. 海洋科学, 33(6): 118—121
- 刘月英, 张文珍, 王跃先等, 1979. 中国经济动物志—淡水软体动物. 北京: 科学出版社, 1—3
- 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
- 李荣冠, 2003. 中国海陆架及邻近海域大型底栖生物. 北京: 海洋出版社, 21—127
- 李德亮, 张 婷, 余建波等, 2011. 典型养殖湖泊大通湖软体动物的时空分布格局. 水生生物学报, 35(6): 946—954
- 陈玉霞, 卢晓明, 何 岩等, 2010. 底栖软体动物水环境生态修复研究进展. 净水技术, 29(1): 5—8
- 范士亮, 王宗兴, 徐宗军等, 2011. 南黄海冬季小型底栖生物分布特征. 海洋环境科学, 30(2): 185—188
- 周 红, 张志南, 2003. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用. 青岛海洋大学学报, 33(1): 58—64
- 胡成业, 徐 衡, 邹 莉等, 2015. 浙江沿岸岛礁区潮间带软体动物群落结构研究. 水产学报, 39(8): 1144—1154
- 贾海波, 胡颢琰, 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
- 徐兆礼, 陈亚瞿, 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲎渔场的关系. 生态学杂志, 8(4): 13—15, 19
- 徐勤增, 李瑞香, 王宗灵等, 2009. 南黄海夏季大型底栖动物分布现状. 海洋科学进展, 27(3): 393—399
- 廖一波, 寿 鹿, 曾江宁等, 2011. 三门湾大型底栖动物时空分布及其与环境因子的关系. 应用生态学报, 22(9): 2424—2430
- Chainho P, Costa J L, Chaves M L *et al*, 2007. Influence of seasonal variability in benthic invertebrate community structure on the use of biotic indices to assess the ecological status of a Portuguese estuary. Marine Pollution Bulletin, 54(10): 1586—1597
- Dippner J W, Ikauniece A, 2001. Long-term zoobenthos variability in the Gulf of Riga in relation to climate variability. Journal of Marine Systems, 30(3—4): 155—164
- Ganesh T, Raman A V, 2007. Macrobenthic community structure of the northeast Indian shelf, Bay of Bengal. Marine Ecology Progress Series, 341: 59—73
- Margalef R, 1968. Perspectives in Ecological Theory. Chicago, USA: University of Chicago Press, 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. The use of information theory in the study of ecological succession. Journal of Theoretical Biology, 10: 370—383
- Shannon C E, Weaver W, 1963. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 117
- 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

MOLLUSC COMMUNITY OF SOUTH YELLOW SEA IN SUMMER

ZHANG Peng-Chi¹, XU Yong², LI Xin-Zheng², WANG Hong-Fa², AN Jian-Mei¹,
ZHANG Bao-Lin², SHUAI Lian-Mei²

(1. School of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China; 2. Department of Marine Organism Taxonomy and Phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract Macrobenthic samples were collected in South Yellow Sea in summer 2011, 2012, and 2013, on which the community characteristics of mollusc were studied, and the relationship between the mollusc community and the Yellow Sea Cold Water Mass (YSCWM) was discussed. Shannon-Wiener index, Pielou index, Margalef index, abundance, and biomass were calculated to describe the community. Cluster analysis and MDS (nonmetric multidimensional scaling) ordination were performed using Primer 6.0. In total, 36 molluscs species were recorded, of which *Portlandia japonica* and *Thyasira tokunagai* were dominant species. The average abundance in 2011, 2012, 2013 was 27.250, 31.765, and 30.476 ind./m² respectively, and the average biomass was 8.164, 6.942, and 5.071 g/m² respectively. The abundance of molluscs decreased from north to south; higher in YSCWM lower beyond it. Therefore, the mollusc community structure in South Yellow Sea is relatively stable since 2006.

Key words South Yellow Sea; Yellow Sea Cold Water Mass; macrobenthos; mollusc community; summer