

浙江北部海域大型底栖动物优势种的时空分布*

严润玄¹ 冯明² 王晓波² 韩庆喜¹

(1. 宁波大学海洋学院 宁波 315211; 2. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站 宁波 315012)

摘要 本研究根据 2012—2016 年 8 月浙江北部海域大型底栖动物的调查资料,对浙江北部海域 4 个区域(杭州湾、舟山海域、象山海域和近海区域)的大型底栖动物优势种的时空变化进行了研究。结果表明,5 个航次大型底栖动物优势种有 29 种(优势度>0.02),其中多毛类动物 13 种,软体动物 7 种,甲壳动物 2 种,鱼类 2 种,纽形动物 2 种,棘皮动物 2 种以及刺胞动物 1 种。对浙江北部海域大型底栖动物优势种的时空分布进行分析,结果表明:杭州湾优势种种类最少,时空分布变化明显;近海优势种组成较复杂,包含甲壳动物、软体动物、多毛类动物、鱼类、棘皮动物和纽形动物;象山海域的优势种组成较简单,优势种以多毛类动物为主;舟山海域的优势种中多毛类动物种类数逐年增加。对研究区域大型底栖动物优势种的变化趋势进行分析,浙江北部海域大型底栖动物优势种中多毛类动物明显增加,取代该海域软体动物优势地位。大型底栖动物优势种的时空分布变化与有机质积累、底质环境改变以及食物网变化密切相关,浙江北部海域的生态环境状况在不断恶化。

关键词 浙江北部;大型底栖动物;优势种;时空分布

中图分类号 Q958.8 doi: 10.11693/hyhz20191200253

大型底栖动物(Macrozoobenthos)在海洋生态系统能量流动和物质循环中有着重要作用(Brey, 2012; Fuhrmann *et al.*, 2015; Shojaei *et al.*, 2016),其群落参数被广泛应用于沿海污染和有机积累监测(Han *et al.*, 2013)。大型底栖动物的优势种在群落结构中占据重要地位,对群落结构和群落环境的形成有明显的控制作用,与群落的演变密切相关(Santos *et al.*, 1983; Ruiz-Navarro *et al.*, 2019)。优势种的变化反映了底栖群落结构变化及其所处环境的变迁(Fukumori *et al.*, 2008),海洋大型底栖动物优势种长期演变的研究,是对海洋生物多样性及生态动力学过程研究的重要补充(蔡文倩等, 2013; 彭松耀等, 2017)。

浙江北部海域位于宽阔的东海大陆架,地形复杂,岛屿众多,受到长江冲淡水等沿海径流和台湾暖流等海流的强烈影响(Gong *et al.*, 1996; Ichikawa *et al.*, 2002; 王晓波等, 2016)。长江冲淡水是东海沿岸硝酸盐和硅酸盐的主要来源,冬季沿海岸线南下,将高营养区限制在 123°E 以西(Han *et al.*, 2019)。夏季进入汛

期,长江冲淡水通过海水表层向东扩散到东海,台湾暖流的入侵成为重要的磷酸盐补充来源(Fan *et al.*, 2014)。营养盐的输入促进了该海域饵料生物的大量繁殖与生长,形成了中国著名的舟山渔场。近年来,由于浙江沿海区域经济高速发展,对浙江沿岸水域海洋生态环境产生了较大影响,浙江北部海域经历了剧烈的人为扰动和环境变化(罗民波, 2008; 刘录三等, 2012)。

本研究根据 2012—2016 年浙江北部海域 5 个航次的大型底栖动物调查资料,结合该海域大型底栖动物群落结构及演变的历史资料和已有研究结果,分析大型底栖动物优势种的时空变化,旨在为我国近海大型底栖动物群落的演变机理研究提供基础数据和资料。

1 材料方法

1.1 调查区域和时间

本研究对近海、内湾和岛屿邻近海域等典型区域

* 国家自然科学基金项目, 41676139 号。严润玄, 硕士研究生, E-mail: yanrunxuan@qq.com

通信作者: 韩庆喜, 硕士生导师, 副研究员, E-mail: hanqingxi@nbu.edu.cn

收稿日期: 2019-12-10, 收修改稿日期: 2020-02-27

和不同生态系统类型进行分区研究。分别于 2012 年、2013 年、2014 年、2015 年、2016 年的 8 月(共 5 个航次), 对杭州湾、舟山海域、象山海域和近海共计

35 个站位进行大型底栖动物的调查工作。站位设置为杭州湾 9 个, 舟山海域 9 个, 象山海域 12 个, 近海 5 个(图 1)。

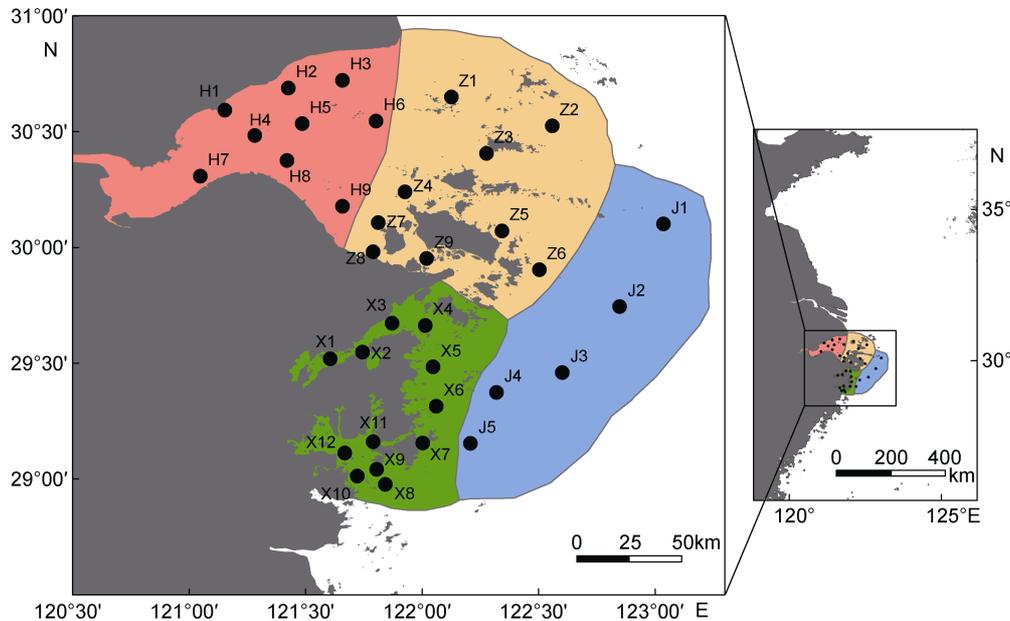


图 1 2012—2016 年间浙江北部海域采样站位分布图

Fig.1 Location of sampling stations in the sea area off northern Zhejiang Province during 2012—2016

1.2 采样方法

采用 0.1m^2 的箱式采泥器进行大型底栖动物样品采集, 成功采样两次计为一个样品, 用 0.5mm 孔径的筛网进行分选冲洗, 将所得大型底栖动物样品用 95% 的酒精固定。在实验室用 1% 的虎红溶液对样品进行染色, 挑选大型底栖动物, 在体视显微镜(型号: SMZ-168 BL; 生产公司: MOTIC CHINA GROUP CO., LTD; 产地: 厦门)下对其进行形态学鉴定, 尽量鉴定到种, 对每一物种分别计数, 并采用电子天平(型号: JY3002; 生产公司: 上海浦春计量仪器有限公司; 产地: 上海; 精度: 0.01g)对其湿重进行称量。计数时, 易断的纽形动物和多毛类按头部计数; 称重时, 管栖多毛类动物剥去栖管, 软体动物不去贝壳。计算每个物种的丰度(ind./m^2)和生物量(g/m^2)。样品的处理、鉴定、称重等均按《海洋调查规范》(GB 12763.6-91)进行。

1.3 数据处理

运用优势度计算公式对大型底栖动物优势种进行分析。优势度 Y 计算公式(徐兆礼等, 1989)如下:

$$Y = (n_i/N)f_i \quad (1)$$

式中, N 为采获样品中所有种类的总个体数, n_i 为第 i 种的个体数, f_i 为该种出现的站位数与总站位数的比率。当物种优势度 $Y > 0.02$ 时, 该种即为优势种。

采样站位分布图采用软件 ArcGIS Desktop 10.5 绘制; 优势度计算、柱形图制作采用 Microsoft Excel 2010; 优势种的分布图采用 Golden software Surfer 16.0 制作; 聚类(Cluster)分析和非度量多维尺度分析(nonmetric multidimensional scaling, nMDS)采用生物多元统计软件 PRIMER(Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)6.0。

2 结果

2.1 优势种组成

2012 年至 2016 年在浙江北部海域共发现优势种 29 种, 其中多毛类动物 13 种, 软体动物 7 种, 甲壳动物 2 种, 鱼类 2 种, 纽形动物 2 种, 棘皮动物 2 种, 刺胞动物 1 种。多毛类动物是出现最多的优势种, 占 44.83%, 其次是软体动物, 占 24.14%。

杭州湾的优势种变化如图 2a 所示, 2012 年有优势种 3 种, 分别为软体动物的半褶织纹螺 *Nassarius sinarus*、黑龙江河篮蛤 *Potamocorbula amurensis* 和圆筒原盒螺 *Cylichna biplicata*; 2013 年的优势种为鱼类的红狼牙鰕虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus* 和软体动物的黑龙江河篮蛤; 2014 年的优势种为多毛类动物的不倒翁虫 *Sternaspis scutata*、棘皮动物的金氏真蛇

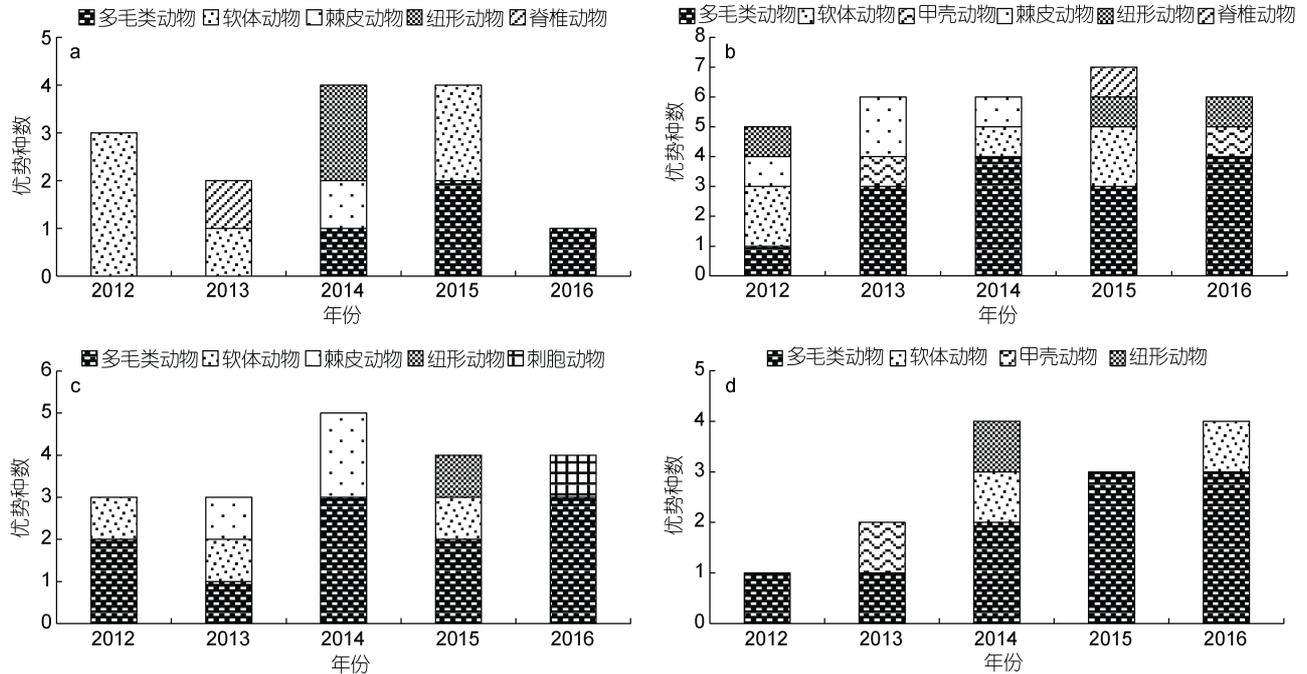


图 2 2012—2016 年浙江北部海域优势种组成

Fig. 2 Composition of dominant species in the sea area off northern Zhejiang Province during 2012—2016

尾 *Ophiura kinbergi*、纽形动物的纵沟纽虫 *Lineus* sp. 和纽虫 *Nemertea* 一种; 2015 年的优势种为软体动物的半褶织纹螺、光滑河篮蛤 *Potamocorbula laevis* 和多毛类动物的西方似蛭虫 *Amaeana occidentalis*、中华内卷齿蚕 *Aglaophamus sinensis*; 2016 年优势种仅有软体动物的笋螺 *Terebra* sp.。该海域优势种数量变化明显, 最高的年份(2014 年和 2015 年)有优势种 4 种, 到 2016 年优势种仅 1 种。

近海的优势种在这 4 个区域中最为丰富, 在 2012—2016 年的调查中共出现优势种 20 种, 包含多毛类动物、甲壳动物、棘皮动物、软体动物、鱼类和纽形动物(图 2b)。2012 年的优势种有半褶织纹螺、圆筒原盒螺、背蛭虫 *Notomastus latericeus*、金氏真蛇尾和纽虫一种; 2013 年的优势种有埃刺梳鳞虫 *Ehlersileanira incisa*、不倒翁虫、异足索沙蚕 *Kuwaita heteropoda*、棘刺锚参 *Protankyra bidentata*、金氏真蛇尾和钩虾 *Gammaridea* 一种; 2014 年的优势种有不倒翁虫、彩虹明樱蛤 *Moerella iridescens*、棘刺锚参、双鳃内卷齿蚕 *Aglaophamus dibranchis*、双形拟单指虫 *Cossura dimorpha* 和异足索沙蚕; 2015 年的优势种有彩虹明樱蛤、双鳃内卷齿蚕、双形拟单指虫、细丝鳃虫 *Aphelocheata filiformis*、圆筒原盒螺、凹鳍孔鰕虎鱼 *Ctenotrypauchen chinensis* 和纵沟纽虫; 2016 年的优势种有持真节虫 *Euclymene annandalei*、日本鼓

虾 *Alpheus japonicus*、双鳃内卷齿蚕、西方似蛭虫、角海蛭 *Ophelina acuminata* 和纵沟纽虫。

象山海域的优势种以多毛类动物居多, 每年都至少有一种多毛类动物(图 2c)。2012 年的优势种是半褶织纹螺、不倒翁虫和扁蛭虫 *Loimia medusa*; 2013 年的优势种是半褶织纹螺、不倒翁虫和金氏真蛇尾; 2014 年的优势种是不倒翁虫、双鳃内卷齿蚕、异足索沙蚕、棘刺锚参和金氏真蛇尾; 2015 年的优势种是不倒翁虫、双鳃内卷齿蚕、圆筒原盒螺和纽虫一种; 2016 年的优势种是不倒翁虫、双鳃内卷齿蚕、西方似蛭虫和海笔 *Pennatula phosphorea*。

舟山海域的优势种分属多毛类动物、软体动物、甲壳动物和纽形动物 4 个类群(图 2d)。2012 年的优势种仅为不倒翁虫 1 种; 2013 年的优势种是不倒翁虫和日本鼓虾; 2014 年的优势种是不倒翁虫、纵沟纽虫、豆形胡桃蛤 *Nucula faba* 和圆锯齿吻沙蚕 *Nephtys glabra*; 2015 年的优势种是不倒翁虫、异足索沙蚕和圆锯齿吻沙蚕; 2016 年的优势种是不倒翁虫、西方似蛭虫、双鳃内卷齿蚕和圆筒原盒螺。多毛类优势种的数量逐年增加。可以看出, 在舟山海域, 不倒翁虫在各个调查航次均为群落的优势种。

2.2 优势种的优势度及其分布

优势度如表 1 所示, 近海、象山海域和舟山海域出现的数据明显多于杭州湾海域, 说明在杭州湾海

表 1 浙江北部海域优势种分布及其优势度
Tab.1 Distribution and dominance of dominant species in the sea area off northern Zhejiang Province

分类	种名	杭州湾										象山										舟山																			
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021										
多毛类	不倒翁虫			0.028			0.017	0.042	0.060	0.016	0.104	0.117	0.095	0.216	0.168	0.101	0.136	0.056	0.086	0.146																					
	扁蜚虫								0.003		0.042																														
	背蚓虫				0.075							0.001	0.001	0.001																											
	圆锯齿吻沙蚕											0.005	0.001																												
	双鳃内卷齿蚕													0.037	0.032	0.065	0.005			0.033																					
	埃刺梳鳞虫											0.004	0.028	0.003	0.002	0.000	0.001	0.010																							
	异足索沙蚕											0.004	0.023	0.040	0.013	0.019	0.019	0.002	0.022	0.006	0.007																				
	西方似蚕虫														0.003	0.037	0.006	0.001	0.049	0.010																					
	中华内卷齿蚕														0.003	0.003	0.001	0.002			0.002																				
	细丝鳃虫														0.025	0.001	0.001	0.001																							
持真节虫														0.006	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002																						
角海蛭														0.033	0.035																										
双形拟单指虫																																									
半褶织纹螺																																									
黑龙江河篮蛤																																									
圆筒原盒螺																																									
彩虹明樱蛤																																									
光滑河篮蛤																																									
豆形胡桃蛤																																									
笋螺																																									
日本鼓虾																																									
钩虾一种																																									
红狼牙鰕虎鱼																																									
凹鳍孔鰕虎鱼																																									
纵沟纽虫																																									
纽虫一种																																									
棘刺锚参																																									
金氏真蛇尾																																									
刺胞动物	海笔																																								

注: 大于 0.02 的数据加粗显示, 空白表示该物种未出现。

域, 优势种分布较少。在 4 个海域中均有分布的优势种有 6 种, 分别是半褶织纹螺、不倒翁虫、金氏真蛇尾、西方似蛭虫、圆筒原盒螺和中华内卷齿蚕; 仅分布在 1 个海域中的优势种有光滑河篮蛤、笋螺、角海蛭和黑龙江河篮蛤, 其中除角海蛭分布于近海外, 其余 3 种都分布于杭州湾。

优势度最高的物种是不倒翁虫, 在 2015 年的象山海域、2016 年的象山海域、2016 年的舟山海域以

及 2013 年的舟山海域, 其优势度分别为 0.216、0.168、0.146 和 0.136, 其次是棘刺锚参, 2013 年其在近海的优势度为 0.130。优势度超过 0.1 的物种还有彩虹明樱蛤和半褶织纹螺, 最高优势度分别为 0.120 (2014 年近海) 和 0.111 (2012 年杭州湾) (表 1)。

不倒翁虫在浙江北部海域分布极广, 其空间分布变化较小, 但丰度变化明显 (图 3), 同为多毛类动物的异足索沙蚕, 其空间分布变化较大 (图 4)。双鳃

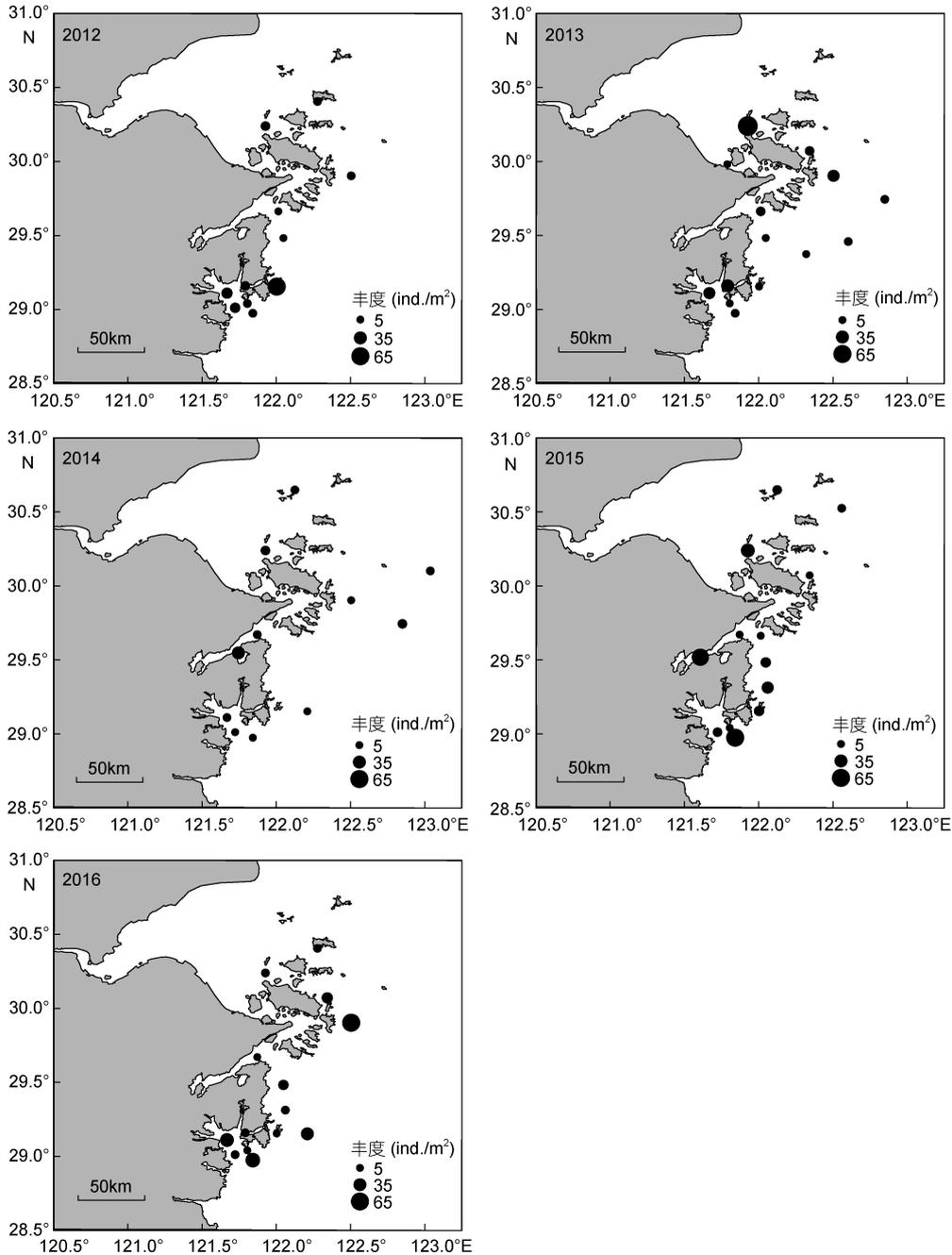


图 3 不倒翁虫的时空分布

Fig.3 Spatial and temporal distribution of *Sternaspis scutata*

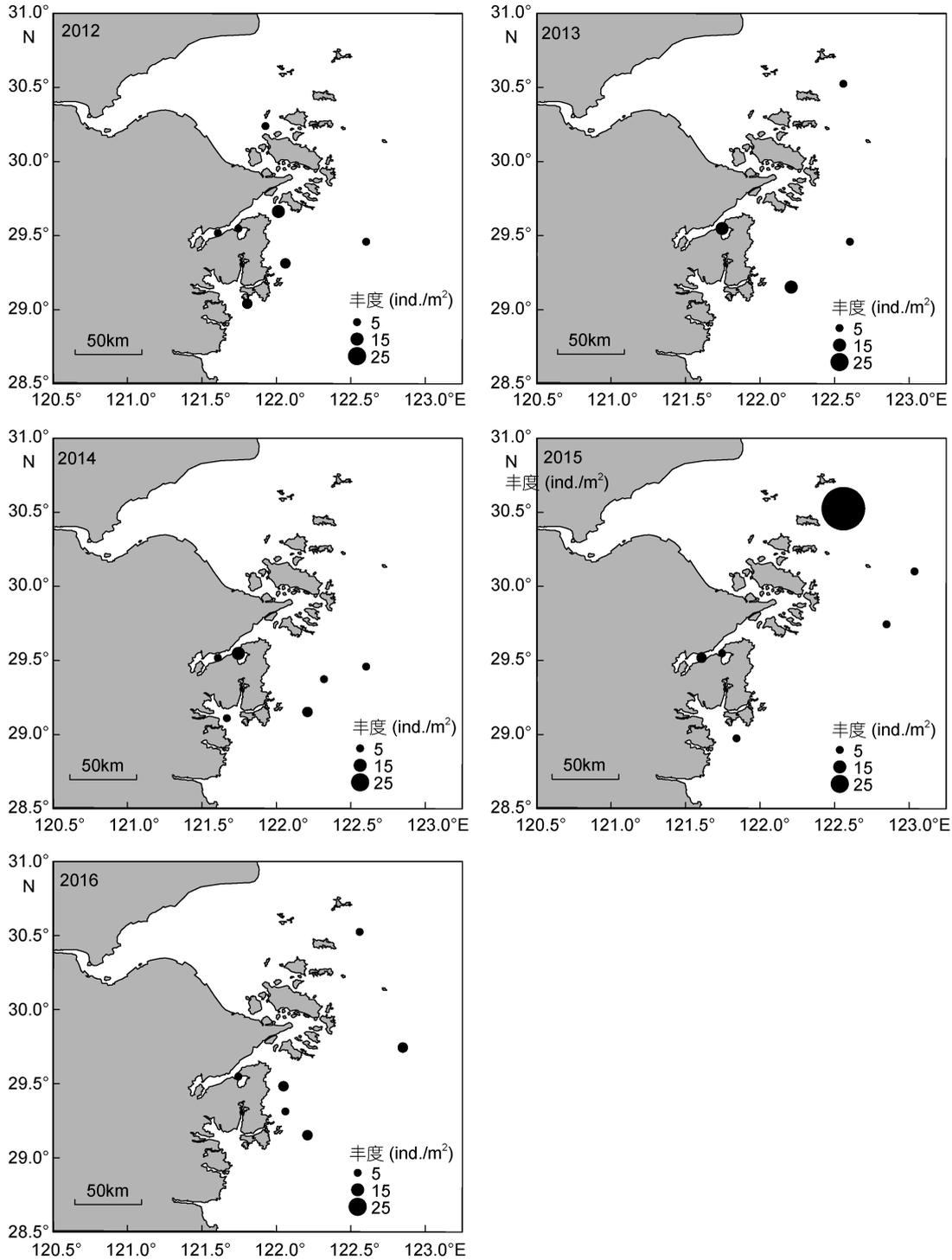


图 4 异足索沙蚕的时空分布

Fig.4 Spatial and temporal distribution of *Kuwaita heteropoda*

内卷齿蚕的分布由 2012 年的 4 个站位扩大至 2016 年的 13 个站位, 丰度明显增加(图 5)。半褶织纹螺的分布呈现缩小的趋势(图 6), 2016 年调查未发现该种。棘刺锚参和彩虹明樱蛤分别在 2013 年和 2014 年的近海站位上有极高的丰度(图 7)。

2.3 大型底栖动物聚类分析和非度量多维尺度分析
浙江北部海域大型底栖动物丰度数据经过平方根转换和标准化, 转化为 Bray-Curtis 相似性矩阵, 再进行聚类分析和非度量多维尺度分析, 排序图中压力系数 Stress 值小于 0.2, 可认为图形具有解释意义

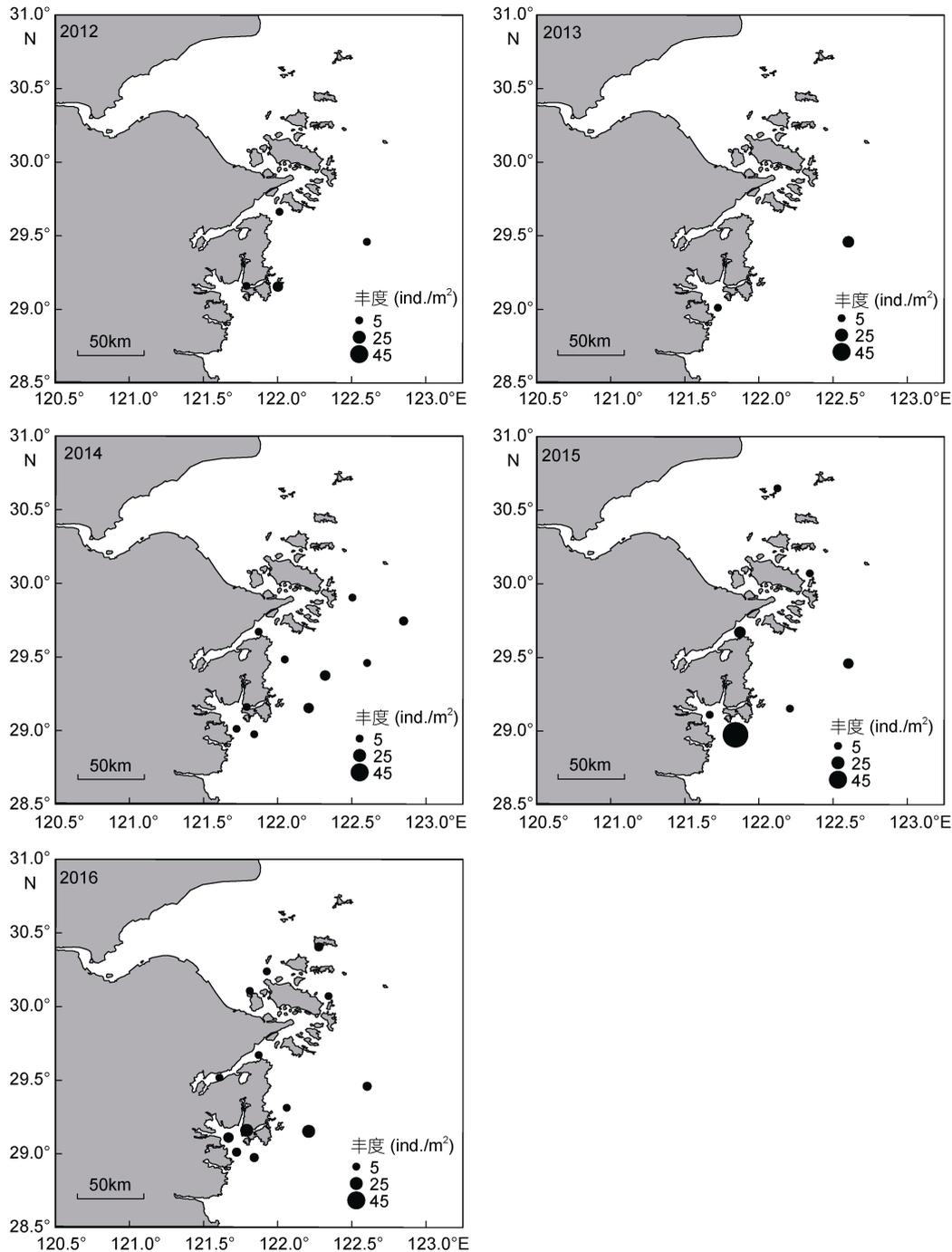


图 5 双鳃内卷齿蚕的时空分布

Fig.5 Spatial and temporal distribution of *Aglaophamus dibranchis*

(周红等, 2003; 刘迅等, 2017), 图 8 的 Stress 值为 0.09, 分析结果可信。在 40%相似度水平下浙江北部海域 2012—2016 年的大型底栖动物群落可以划分为 9 个聚类组: 杭州湾 2012—2016 年的大型底栖动物群落不同年份分别单独为一组, 2012 年和 2014 年的舟山海域大型底栖动物群落为一组, 2013 年的舟山海域大型底栖动物群落单独为一组, 2013 年的近海大型底栖动

物群落单独为一组, 其他大型底栖动物群落为一组。

3 讨论

3.1 浙江北部海域大型底栖动物优势种的历史变化
本研究中浙江北部海域的优势种主要是多毛类动物, 其次是软体动物, 其他类群优势种较少。与该海域及邻近海域的历史研究相比(表 2), 2003 年浙江

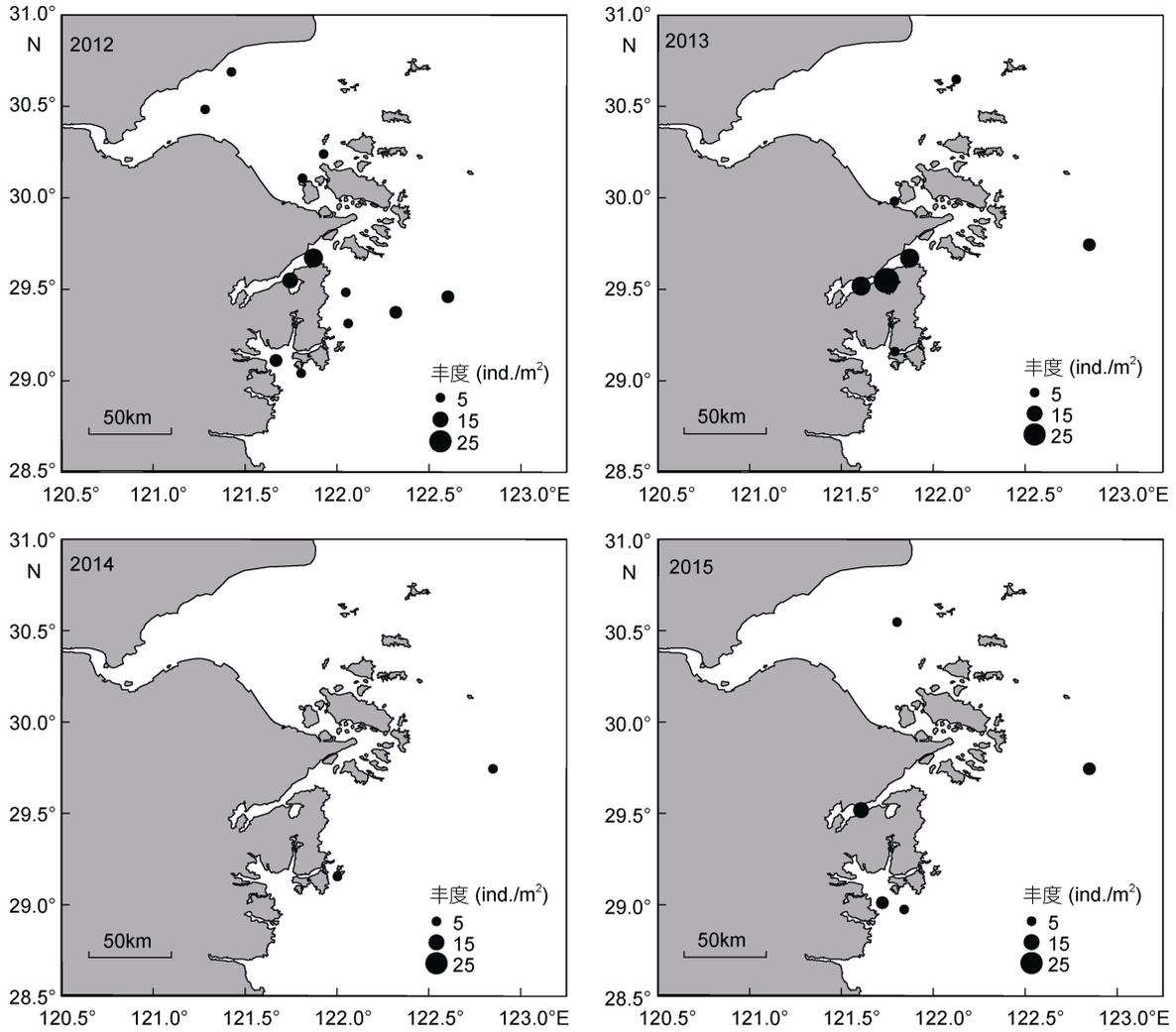


图 6 半褶织纹螺的时空分布

Fig.6 Spatial and temporal distribution of *Nassarius sinarus*

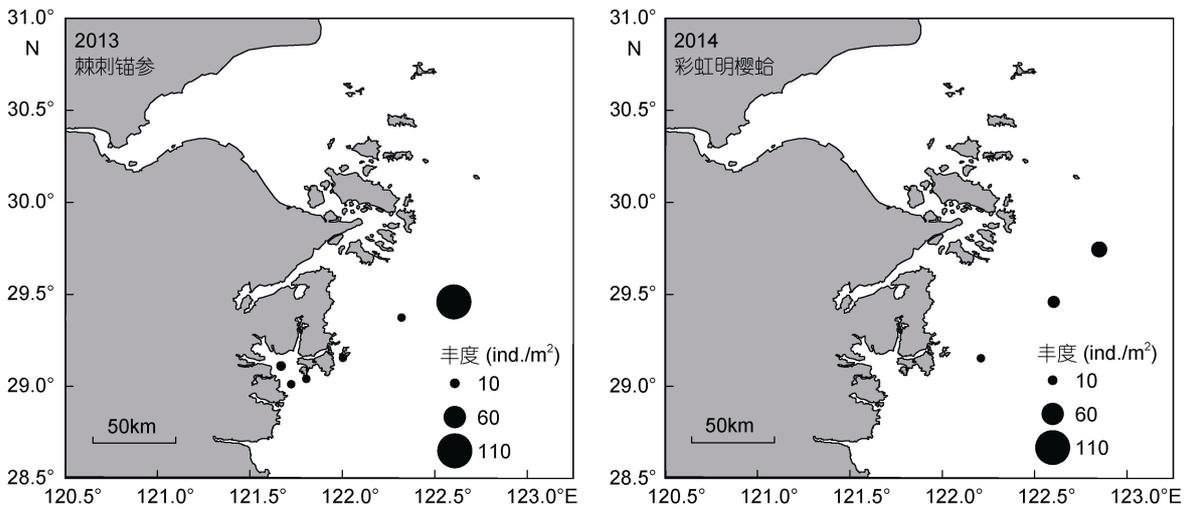


图 7 棘刺锚参(2013 年)和彩虹明樱蛤(2014 年)的时空分布

Fig.7 Spatial distribution of *Protankyra bidentata* and *Moerella iridescens* in 2013 and 2014, respectively

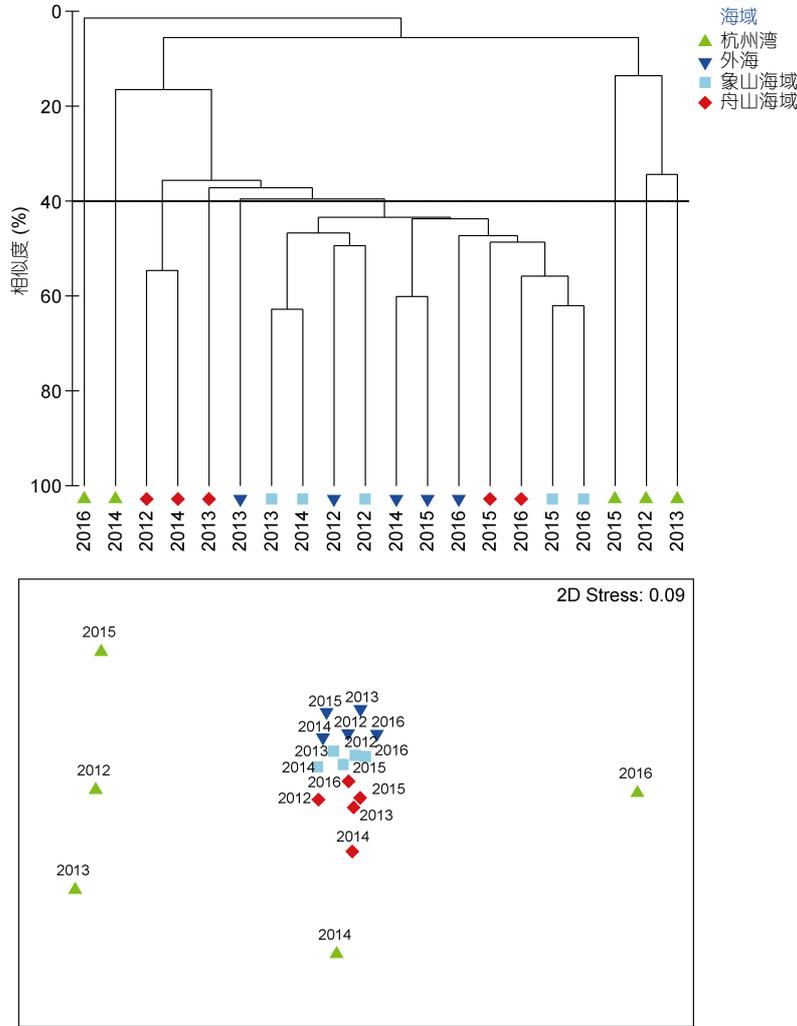


图 8 浙江北部海域大型底栖动物聚类分析和非度量多维尺度分析

Fig.8 Cluster analysis and nMDS analysis of macrozoobenthos in the sea area off northern Zhejiang Province

表 2 浙江海域历年优势种

Tab.2 Dominant species in the sea area offshore Zhejiang from available references

海域	年份	优势种	参考文献
浙江北部海域	1983 年 6 月—1984 年 3 月	不倒翁虫、白龙骨乐飞螺 <i>Lophiotoma leucotropis</i> 、薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i> 、凸镜蛤 <i>Pelecypora nana</i> 、黑龙江河篮蛤、菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> 等	王海明等, 1996
杭州湾海区	2003 年春季	光滑河篮蛤	胡颖琰等, 2006
浙北海区	2003 年春季	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> 、口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	胡颖琰等, 2006
浙中海区	2003 年春季	小荚蛭 <i>Siliqua minima</i> 、海仙人掌 <i>Cavernularia habereri</i> 、沙簪 <i>Virgularia</i> sp.	胡颖琰等, 2006
浙南海区	2003 年春季	红狼牙鰕虎鱼	胡颖琰等, 2006
浙江沿岸	2003 年夏季	不倒翁虫、背引虫、西方似蛭虫、双鳃内卷齿蚕、西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i> 、变化柄锚参 <i>Oestergrenia variabilis</i> 、薄云母蛤、金毛丝蟥虫 <i>Protocirrineris chrysoderma</i>	余方平等, 2006
杭州湾	2005 年、2006 年	星虫 <i>Sipunculidae</i> sp.	刘录三等, 2008
舟山海域	2005 年、2006 年	圆筒原盒螺、不倒翁虫、丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i> 、红狼牙鰕虎鱼等	刘录三等, 2008
浙江近海	2005 年、2006 年	胶州湾角贝 <i>Episiphon kiaochowwanense</i> 、东方缝栖蛤 <i>Hiatella arctica</i> 、小指阳遂足 <i>Amphiura digitula</i> 、尖叶长手沙蚕 <i>Magelona cincta</i>	刘录三等, 2008
舟山海域	2009 年春季	双鳃内卷齿蚕、斑角吻沙蚕 <i>Goniada maculata</i> 、双形拟单指虫等	贾海波等, 2011
浙江西门岛邻近海域	2011 年春季、秋季	春季: 河篮蛤属一种 <i>Potamocorbula</i> sp.、短拟沼螺 <i>Optedicerus breviculum</i> 和缢蛭 <i>Sinonovacula constricta</i> ; 秋季: 短拟沼螺和河篮蛤属	廖一波等, 2013

沿岸(余方平等, 2006)、2005—2006 年舟山海区(刘录三等, 2008)和 2009 年浙江南部近岸海域(贾海波等, 2011)大型底栖动物优势种的组成与本研究比较相近, 均以多毛类动物为主要优势种。1983—1984 年浙江北部海域的大型底栖动物优势种主要是软体动物, 多毛类动物优势种仅有不倒翁虫一种(王海明等, 1996)。20 世纪 80 年代初我国的经济尚处于起步阶段, 对海洋环境扰动小, 所以浙江北部海域的大型底栖动物优势种有不少体型较大的软体动物。随着经济的快速发展和人类活动的增加, 底栖动物群落受到的扰动越来越大, 到了 21 世纪初, 优势种以适应力强的多毛类动物(机会种)为主。2003 年浙北海区的优势种是甲壳动物的葛氏长臂虾和口虾蛄(胡颢琰等, 2006), 与表 2 中的其他文献及本研究出现的优势种差异明显, 原因是该研究使用阿氏拖网采集了大量以游泳类生物为主的大型底上动物。2011 年西门岛的大型底栖动物优势种与 1983—1984 年的浙江北部海域一样都是以软体动物为主(廖一波等, 2013), 多毛类动物等机会种并没有成为优势种, 说明 2005 年由国家海洋局批准建立的西门岛海洋特别保护区对底栖动物群落的保护卓有成效, 对于浙北海域生物多样性的保护也可以采取设立保护区的方法。

杭州湾的优势种在 2012—2016 年间几乎每年都有较大的变化。2014 年和 2016 年的优势种与其他年份的优势种都不相同, 2012 年与 2013 年的相同优势种仅为 1 种。杭州湾受长江、钱塘江冲淡水影响, 又有苏北沿岸流和台湾暖流的作用, 河口环境复杂多变, 潮流急、潮差大、浮泥厚、粉砂底质且底质不稳定, 不利于大型底栖动物群落的稳定(戴国梁, 1991; 寿鹿等, 2012; 贾海波等, 2014), 这可能是杭州湾大型底栖动物优势种变化大的主要原因。湾内环境极不稳定也导致了大型底栖动物资源的匮乏, 2012—2016 年杭州湾 9 个站位一共只采到了 13 种生物, 每年至多采到 4 种生物, 2013 年仅采到 2 种生物。

近海的大型底栖动物种类丰富, 5 个站位 5 年间出现优势种 20 种, 且连续两年出现的优势种种数仅占该海域优势种总种数的 40%, 一定程度上也反应出该海域群落结构的变化之快。2012 年的优势种中软体动物有半褶织纹螺和圆筒原盒螺, 是优势种的主要成分, 多毛类动物仅有背蚓虫。到了 5 年后的 2016 年, 多毛类优势种出现 3 种, 分别是持真节虫、双鳃内卷齿蚕和西方似蛭虫, 未出现任何软体动物优势种, 多毛类已取代软体动物成为群落结构中的

主要成分, 说明近海的底栖生境发生了较大的变化。

象山海域大型底栖动物优势种始终以多毛类动物为主, 优势种变化较小, 其中不倒翁虫占绝对优势地位, 5 年间始终保持优势度最高。不倒翁虫以底泥中有机物质为食, 具有适应性强和耐污染等特点, 是转化外源性化学物质的重要物种(齐爱民, 2015), 其优势地位反应出该海域底质有机质含量高的特点, 象山县大量海水养殖产业产生的残饵及养殖生物代谢物可能是有机质的重要来源(Yokoyama, 2002)。

舟山海域的情况与象山海域相似, 不倒翁虫为绝对优势种, 不同之处是舟山海域的多毛类动物优势种逐年增加。多毛类动物大多为小型种, 生命周期短, 繁殖快, 对有机污染适应力强(Belan, 2003; Gusmao *et al*, 2016; van der Linden *et al*, 2017), 多毛类优势种的增加可能是因为舟山海域长江长期输入以及养殖区生产造成的底质有机质积累。底层鱼类锐减也会导致多毛类动物的增加(Zhou *et al*, 2007), 舟山海域一直是我国重要的渔场, 长期的过度捕捞造成鱼类资源量锐减, 且难以在短期内恢复。

综上, 浙江北部海域大型底栖动物优势种变化在时间角度上以多毛类动物优势种的增加为主要特征, 不同区域的情况又有所区别。多毛类动物优势种的增加是该海域有机扰动愈发严重的重要证据。

3.2 浙江北部海域大型底栖动物优势种时空变化

2012—2016 年, 以不倒翁虫和双鳃内卷齿蚕为代表的多毛类动物在象山海域、近海和舟山海域的丰度有增加的趋势(图 3, 5), 这 3 个海域的多毛类动物在群落中的重要性增加。根据聚类分析结果, 近海、象山海域和舟山海域大型底栖动物群落在 2015 年以后都被分在一个聚类组中, 不同海域(杭州湾除外)大型底栖动物群落结构随时间的推移越来越接近(图 8)。该结果和浙江北部海域的多毛类动物的时空分布变化相对应, 表现出优势种和整个群落变化的联系, 体现优势种对群落结构的控制。大型底栖动物的分布与底质环境关系极为密切(吴耀泉, 1983; 王金宝等, 2006), 其分布变化能在一定程度上反应海洋底质环境的变迁。多毛类动物中相当多的种类为悬浮食性(Fauchald *et al*, 1979; Jumars *et al*, 2015), 往往适宜在以粉砂-黏土为主、有机物含量丰富的海域生活(王金宝等, 2006), 据此可推测, 象山海域、近海和舟山海域的底质可能发生了相应的变化。异足索沙蚕在 AMBI (AZTI 's Marine Biotic Index)生态组(Ecological Group, EG)分类中属于 EG II, 即干扰不敏感种

(disturbance-indifferent species), 对有机物过度累积并不敏感, 但是过量的有机物还是会影响到其生存 (Borja *et al.*, 2005, 2011)。浙江北部海域接受长江输入的大量有机物, 长江有机物输入在不同年份有着较大的差异 (邢建伟等, 2014), 这可能是异足索沙蚕分布变化的主要原因。

2012—2016 年间分布变化最明显的优势种为半褶织纹螺: 2012 年其分布极广, 在浙江北部 4 个海域都有出现, 2013 年分布范围开始缩小, 2016 年完全消失。半褶织纹螺是一种有毒的中小型软体动物 (郑典元, 2006), 肉食性, 喜生活在礁石附近和泥沙底。半褶织纹螺的分布范围明显缩小, 可能有以下原因: 一、半褶织纹螺以水生动物的尸体为食, 鱼类等大型动物的减少可能会引起其食物短缺; 二、人类的捕捞行为会对半褶织纹螺种群产生一定影响; 三、海洋底质环境发生变化, 使其难以适应。因为织纹螺属 (*Nassarius*) 容易积累毒性而引发不少中毒事件, 卫生部下发了禁止销售织纹螺的公告, 捕捞半褶织纹螺往往是使用拖网时误捕, 所以影响半褶织纹螺分布的主要原因可能是底质环境的改变, 这与多毛类动物的分布变化互相印证。底质环境是海洋环境的重要组成部分, 其变化的具体情况以及成因和影响值得深入研究。

3.3 浙江北部海域食物网与营养级

生态系统中错综复杂的食物联系形成食物网, 能量通过食物网转化为各营养层次生物生产力, 形成生态系统生物资源, 并对生态系统的服务、产出及其动态产生影响 (徐超等, 2019)。因此, 食物网及其营养动力学过程是海洋生态系统动力学研究的重要内容, 进而为研究海域生物资源优势种的交替机制提供理论依据 (唐启升, 1999)。从食物网的角度分析优势种的变化, 发现高营养级的优势种分布范围缩小, 优势地位被低营养级的物种所取代 (以肉食性的半褶织纹螺的优势地位被悬浮食性的多毛类所取代为代表), 浙江北部海域的食物网营养级整体下降。一般认为, 复杂的食物网相对简单食物网更加稳定, 对抗动的抵抗力更强。营养级的下降意味着食物链缩短、食物网结构趋向简单, 这会导致生态系统变得脆弱敏感, 加剧扰动对生态系统的破坏, 使之失去恢复能力 (Ryder *et al.*, 1981)。

浙江北部海域生产力高, 有着极其丰富的生物资源, 是我国重要的渔业生产基地, 复杂的食物网和稳定的生态系统是渔获的基础。水生生物营养级下降

是生物资源衰退、食物网结构简化的表现, 不利于我国近海渔业的可持续发展。深入研究食物网结构, 合理利用渔业资源, 加强生态监测, 对保护渔业生产力以及生物多样性具有重要意义。

4 结论

2012—2016 年在浙江北部海域进行大型底栖动物调查, 共发现优势种 29 种, 包括 13 种多毛类动物, 7 种软体动物, 2 种甲壳动物, 2 种鱼类, 2 种纽形动物, 2 种棘皮动物和 1 种刺胞动物。不倒翁虫在该海域占据明显的优势地位, 最高优势度达 0.216 (2015 年象山海域), 其他优势度超过 0.1 的物种有棘刺锚参 (2013 年近海, 优势度为 0.130)、彩虹明樱蛤 (2014 年近海, 优势度为 0.120) 和半褶织纹螺 (2012 年杭州湾, 优势度为 0.111)。多毛类动物的优势种分布范围扩大, 丰度增加; 肉食性的半褶织纹螺分布范围缩小。

大型底栖动物优势种的变化总体上以多毛类动物优势种比例的增加为主要特征, 不同区域的情况又有所区别: 杭州湾出现的优势种最少, 每年优势种的分布变化大; 近海优势种种类丰富, 更替快; 象山海域的优势种较单调, 始终以多毛类动物为主; 舟山海域的多毛类动物优势种逐年增加。结合历史资料, 发现多毛类取代软体动物成为浙江北部海域的主要优势种。作为环境耐受种和群落初级演替先锋种, 多毛类动物优势种的大量出现及优势种小型化可能与浙江北部海域的有机质积累和底质环境改变有关, 并导致大型底栖动物群落结构稳定性的降低及底栖食物网营养特征改变, 是浙江北部海域生态环境恶化的表征。

参 考 文 献

- 王金宝, 李新正, 王洪法, 2006. 胶州湾多毛类环节动物优势种的生态特点. 动物学报, 52(1): 63—69
- 王晓波, 江河, 李伯康等, 2016. 浙江渔列岛海域大型底栖动物群落组成和结构研究. 海洋通报, 35(6): 666—673
- 王海明, 蔡如星, 曾地刚等, 1996. 浙北潮下带(0~5m)大型底栖生物生态. 东海海洋, 14(4): 67—77
- 邢建伟, 线薇薇, 沈志良等, 2014. 秋季长江口水体颗粒有机碳年际变化及影响因素分析. 海洋与湖沼, 45(5): 964—972
- 刘迅, 王莉, 顾晓英等, 2017. 浙江檀头山岛周围海域夏、秋季大型底栖动物群落结构特征. 海洋与湖沼, 48(3): 553—567
- 刘录三, 郑丙辉, 李宝泉等, 2012. 长江口大型底栖动物群落的演变过程及原因探讨. 海洋学报, 34(3): 134—145
- 刘录三, 孟伟, 田自强等, 2008. 长江口及毗邻海域大型底栖动物的空间分布与历史演变. 生态学报, 28(7):

- 3027—3034
- 齐爱民, 2015. 不倒翁虫 CYP4 基因克隆及在黄渤海不同 PAHs 污染海域的响应表达. 大连海洋大学硕士学位论文, 6—9
- 寿 鹿, 曾江宁, 廖一波等, 2012. 杭州湾大型底栖动物季节分布及环境相关性分析. 海洋学报, 34(6): 151—159
- 吴耀泉, 1983. 关于浅海底栖动物的生态分布和底质环境关系的概述. 海洋科学, 7(6): 58—61
- 余方平, 王伟定, 金海卫等, 2006. 2003 年夏季浙江沿岸大型底栖生物生态分布特征. 上海水产大学学报, 15(1): 59—64
- 罗民波, 2008. 长江河口底栖动物群落对大型工程的响应与生态修复研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 112—113
- 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
- 郑典元, 2006. 不同海滩栖息地半褶织纹螺毒力调查. 中国公共卫生, 22(10): 1262—1262
- 胡颢琰, 唐静亮, 李秋里等, 2006. 浙江省近岸海域底栖生物生态研究. 海洋学研究, 24(3): 76—89
- 贾海波, 胡颢琰, 唐静亮等, 2011. 陆源有机污染对舟山海域大型底栖生物分布的影响. 中国环境监测, 27(5): 65—69
- 贾海波, 唐静亮, 胡颢琰, 2014. 1992—2012 杭州湾海域生物多样性的变化趋势及原因分析. 海洋学报, 36(12): 111—118
- 徐 超, 王思凯, 赵 峰等, 2019. 长江口水生动物食物网营养结构及其变化. 水生生物学报, 43(1): 155—164
- 徐兆礼, 陈亚瞿, 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲑鳓渔场的关系. 生态学杂志, 8(4): 13—15
- 唐启升, 1999. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略. 海洋水产研究, 20(2): 1—6
- 彭松耀, 李新正, 徐 勇等, 2017. 十年间黄海大型底栖动物优势种的变化. 海洋与湖沼, 48(3): 536—542
- 蔡文倩, 孟 伟, 刘录三等, 2013. 渤海湾大型底栖动物群落优势种长期变化研究. 环境科学学报, 33(8): 2332—2340
- 廖一波, 寿 鹿, 曾江宁等, 2013. 浙江西门岛海洋特别保护区大型底栖动物功能群特征及其与环境的关系. 生物多样性, 21(1): 3—10
- 戴国梁, 1991. 长江口及其邻近水域底栖动物生态特点. 水产学报, 15(2): 104—116
- Belan T A, 2003. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan). Marine Pollution Bulletin, 46(9): 1111—1119
- Borja A, Muxika I, 2005. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. Marine Pollution Bulletin, 50(7): 787—789
- Borja A, Tunberg B G, 2011. Assessing benthic health in stressed subtropical estuaries, eastern Florida, USA using AMBI and M-AMBI. Ecological Indicators, 11(2): 295—303
- Brey T, 2012. A multi-parameter artificial neural network model to estimate macrobenthic invertebrate productivity and production. Limnology and Oceanography: Methods, 10: 581—589
- Fan W, Song J B, 2014. A numerical study of the seasonal variations of nutrients in the Changjiang River estuary and its adjacent sea area. Ecological Modelling, 291: 69—81
- Fauchald K, Jumars P A, 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 17: 193—284
- Fuhrmann M M, Pedersen T, Ramasco V *et al*, 2015. Macrobenthic biomass and production in a heterogenic subarctic fjord after invasion by the red king crab. Journal of Sea Research, 106: 1—13
- Fukumori K, Oi M, Doi H *et al*, 2008. Bivalve tissue as a carbon and nitrogen isotope baseline indicator in coastal ecosystems. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79(1): 45—50
- Gong G C, Chen Y L L, Liu K K, 1996. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics. Continental Shelf Research, 16(12): 1561—1590
- Gusmao J B, Brauko K M, Eriksson B K *et al*, 2016. Functional diversity of macrobenthic assemblages decreases in response to sewage discharges. Ecological indicators, 66: 65—75
- Han Q X, Wang X B, 2019. Macrobenthic biomass and secondary production in the northern East China Sea and the relative importance of environmental variables. Pacific Science, 73(2): 249—259
- Han Q X, Wang Y Q, Zhang Y *et al*, 2013. Effects of intensive scallop mariculture on macrobenthic assemblages in Sishili Bay, the northern Yellow Sea of China. Hydrobiologia, 718(1): 1—15
- Ichikawa H, Beardsley R C, 2002. The current system in the Yellow and East China Seas. Journal of Oceanography, 58(1): 77—92
- Jumars P A, Dorgan K M, Lindsay S M, 2015. Diet of worms emended: an update of polychaete feeding guilds. Annual Review of Marine Science, 7: 497—520
- Ruiz-Navarro A, Fernández V, Abadía J *et al*, 2019. Foliar fertilization of two dominant species in a semiarid ecosystem improves their ecophysiological status and the use efficiency of a water pulse. Environmental and Experimental Botany, 167: 103854
- Ryder R A, Kerr S R, Taylor W W *et al*, 1981. Community consequences of fish stock diversity. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 38(12): 1856—1866
- Santos S L, Bloom S A, 1983. Evaluation of succession in an estuarine macrobenthic soft bottom community near Tampa, Florida. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 68(5): 617—632
- Shojaei M G, Gutow L, Dannheim J *et al*, 2016. Common trends in German Bight benthic macrofaunal communities: Assessing temporal variability and the relative importance of environmental variables. Journal of Sea Research, 107: 25—33
- van der Linden P, Marchini A, Smith C J *et al*, 2017. Functional changes in polychaete and mollusc communities in two tropical estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 187: 62—73

- Yokoyama H, 2002. Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. *Fisheries Science*, 68(2): 258—268
- Zhou H, Zhang Z N, Liu X S *et al*, 2007. Changes in the shelf macrobenthic community over large temporal and spatial scales in the Bohai Sea, China. *Journal of Marine Systems*, 67(3—4): 312—321

TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF DOMINANT MACROZOOBENTHOS SPECIES IN THE SEA AREA OFF NORTHERN ZHEJIANG PROVINCE

YAN Run-Xuan¹, FENG Ming², WANG Xiao-Bo², HAN Qing-Xi¹

(1. *School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China*; 2. *Marine Environmental Monitoring Centre of Ningbo, SOA, Ningbo 315012, China*)

Abstract Based on macrozoobenthos collected during 2012—2016 in four areas (Hangzhou Bay, Xiangshan area, Zhoushan area, and the offshore area) in the sea off northern Zhejiang Province, the variation of the dominant macrozoobenthos were analyzed. A total of 29 dominant species were determined, including polychaetes (13 species), mollusks (7 species), crustaceans (2 species), fishes (2 species), nemerteans (2 species), echinoderms (2 species), and cnidarian (1 species). The diversity of dominant species in Hangzhou Bay was quite low in wide variation. The dominant species in the offshore area were comprised of highly diversified macrozoobenthic taxa, including polychaetes, mollusks, crustaceans, fishes, nemerteans, and echinoderms. The dominant species in Xiangshan area were stable, with polychaetes in high dominance level. In Zhoushan area, the polychaetes became more and more popular during 2012—2016. Compared with historical reports, the dominant polychaetes increased significantly in recent years. Considering the whole area investigated, the dominant macrozoobenthos in the sea area off northern Zhejiang Province were characterized by the succession from mollusks to polychaetes. These results may be related to the serious anthropogenic and natural disturbances or change of macrozoobenthic food web in the sea area off northern Zhejiang Province, and the ecological environment is deteriorating.

Key words northern Zhejiang Province; macrozoobenthos; dominant species; temporal and spatial variation