

长江口潮下带大型底栖动物群落特征

陈 强^{1,2}, 郭行磐^{1,2}, 周 轩^{1,2}, 黄道芬^{1,2}, 高 伟^{1,2},
徐跃峰^{1,2}, 李家乐¹, 沈和定¹, 杨金龙^{1,2*}

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学海洋科学研究院, 上海 201306)

摘要: 2013 年至 2014 年, 对长江口及其邻近水域进行了 8 个航次 104 个站点的潮下带大型底栖动物调查, 通过 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Pielou 种类均匀度 (E)、种类丰度 (D) 和优势度指数 (Y) 等指标参数分析了大型底栖动物的物种多样性, 应用等级聚类和非度量多维标度排序分析了底栖动物群落结构。结果显示, 2013 年共采获大型底栖动物 49 种, 2014 年 40 种, 每年不同季节种类更替明显。2013 年大型底栖动物丰度和生物量最高分别出现在春季和秋季, 2014 年分别为冬季和夏季, 不同年份不同季节的生物量和丰度明显不同。不同年份的特征种均以甲壳动物类群为主, 鱼类优势种增多。2013 年秋季和 2014 年春季的大型底栖动物相对于同年度其他季节有更高的多样性, 年度变化上多样性指数整体增高。群落结构分析表明, 2013 年夏秋冬聚为 1 组, 春季为 1 组; 2014 年春夏秋聚为 1 组, 冬季为 1 组。ABC 曲线结果显示, 潮下带大型底栖动物群落在 2013 年四季受到中度干扰, 2014 年春夏秋受干扰不明显, 冬季受到中等程度以上的干扰。本研究结果为长江口生态环境保护及修复提供了理论依据。

关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 多样性; 潮下带; 长江口

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

长江口作为我国最大的河口生态系统^[1], 受长江径流的影响, 水域温度和盐度变化较大且营养盐丰富, 是多种鱼、虾、蟹和贝类生长、繁殖、肥育的场所, 也是一些洄游性鱼类的通道^[2]。近年来, 随着向海洋排污量的加大, 边滩湿地的围垦和河口区大型工程的建设等人类活动对长江口生态系统产生不同程度的影响, 河口生态系统承受着巨大压力, 生态健康面临严重威胁^[3]。底栖生物作为河口和海洋生态系统的重要组成部分, 其参与河口生态系统中的物质循环和能量流动, 是河口生态中食物链的重要环节^[4]。同时, 底栖生物生活在底质环境中, 对环境变化较为敏感, 因而其群落结构和多样性特征可作为环境变化的指示^[5]。以往长江口底栖生物的研究都集中于湿地、滩涂及口外海域上的调查^[6-10], 而对长江口潮下带大型底栖生物年度

变化的研究较少。为了更好地了解当前长江河口的生物资源现状及可持续利用前景, 本研究对长江口潮下带大型底栖动物的种类组成、丰度、生物量以及群落结构多样性等进行了分析, 并与 2012 年度^[11]潮下带大型底栖动物的种类组成、丰度、生物量以及群落结构多样性等进行比较, 旨在为长江口生态环境及生物多样性的保护和长江口水域生态系统修复工程提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 调查时间和站位

2013 年、2014 年的 5、8、11、2 月分别代表春季、夏季、秋季、冬季, 在长江口潮下带 (31°00'000"~31°46'000"N, 121°08'000"~122°11'000"E) 设 13 个研究站位 (图 1)。

收稿日期: 2015-06-18 修回日期: 2015-07-13

资助项目: 上海高校水产学一流学科建设项目; 上海市农委“长江口青草沙水库邻近水域生态修复专项”

通信作者: 杨金龙, E-mail: jlyang@shou.edu.cn

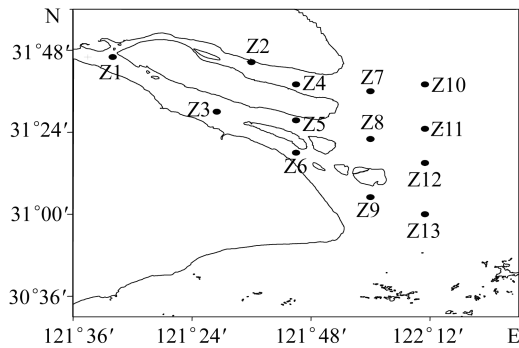


图1 长江口潮下带大型底栖动物调查站位分布图
Fig.1 The sampling sections of macrobenthos in the subtidal zones of the Yangtze River estuary

1.2 采样方法

样品采集使用阿氏拖网,每站点拖网1次,每次15 min。样品保存、分类、计数及称量均按《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)的规定操作。

1.3 数据处理和分析

采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalefs 多样性指数、Simpson 丰富度指数、Pielou 指数、种类更替率、优势度来分析潮下带大型底栖动物群落结构和多样性。

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (1)$$

Margalefs 多样性指数:

$$H' = (S - 1) / \log_2 N \quad (2)$$

Simpson 丰富度指数:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (3)$$

Pielou 指数:

$$E = H'/H'_{\max} = H'/\ln S \quad (4)$$

种类更替率:

$$R = [(a + b - 2c) / (a + b - c)] \times 100 \% \quad (5)$$

优势度(Y):

$$Y = n_i / N \cdot f_i \quad (6)$$

式中, n_i 为样品中第*i*种的个体数, N 为所有种类的总个体数, S 为种类总数, P_i 为第*i*种的个体数占样品中总个数的比例, a 与**b**分别为相邻2个季节的种数, c 为相邻2个季节共同的种数, f_i 为出现频率,即该物种出现的样方数与总样方数之比的百分比,取优势度 $Y \geq 0.02$ ^[12]的种类为优势种。通过 SIMPER (species contributions to

similarity)了解表征群落特征的物种(累积贡献率 $\geq 5\%$),用 PRIMER 软件计算得出。

采用 Primer 6.0 软件,基于长江口潮下带大型底栖动物丰度的平方根数据,利用群落的 Bray-Curtis 相似性系数构建矩阵进行等级聚类(UPGMA)和非度量多维尺度(non-metric multidimensional scaling, NMDS),分析大型底栖生物群落结构的相似性程度;并绘制丰度/生物量比较曲线(abundance/biomass curves, ABC 曲线),根据 ABC 曲线中生物量和丰度的 K-优势度曲线的波动,分析大型底栖动物群落受到扰动的状况。

2 结果

2.1 种类组成与分布

2013 年共采集大型底栖动物 49 种,隶属于 6 门 7 纲(表 1),以鱼类、甲壳类和软体动物为主,分别为 18、16 和 9 种,占总数的 88%;另外,环节动物、棘皮动物和刺胞动物均为 2 种。各季中以春季出现种类最多,为 34 种;夏、秋和冬季分别为 29、31 和 29 种。四季均出现的共有种为 12 种,仅在一个季节出现的物种有 13 种,占总种类数的 26%。春、夏两季的共有种为 22 种,两季间种类更替率为 46%;夏、秋两季的共有种为 18 种,两季间种类更替率为 57%;秋、冬两季的共有种为 23 种,两季间种类更替率为 38%。

2014 年共采集大型底栖动物 40 种,隶属于 3 门 4 纲(表 1),以鱼类和甲壳动物为主,分别为 15 种和 21 种,占总数的 88%;另外,软体动物有 4 种。各季节中以春季出现种类数最多,为 24 种;夏、秋和冬季分别为 22、20 和 21 种。四季均出现的共有物种仅有 10 种,在一个季节出现的物种有 19 种,占总类数的 26%。春、夏两季的共有种为 14 种,两季间种类更替率为 56%;夏、秋两季的共有种为 14 种,两季间种类更替率为 50%;秋、冬两季的共有种为 12 种,两季间种类更替率为 59%。

2.2 优势种

2013 年夏季的优势种有 4 种,春季、秋季和冬季的优势种均有 5 种(表 2)。2014 年春季和冬季的优势种均有 4 种,夏季和秋季的优势种均有 5 种。其中,葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)不仅是 2013 年和 2014 年长江口潮下带共有优势种,

且在 2013 年春季和 2014 年冬季,其优势度年度最高,分别为 0.29 和 0.26。

不同季节优势种组成存在差异,2013 年除葛氏长臂虾外,还有狭额绒螯蟹 (*Eriocheir leptognathus*)、日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*)、安氏白虾 (*Exopalaemon annandalei*)、纵肋织纹螺 (*Nassarius variciferus*)、棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*)、脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*)、三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)、日本蟳 (*Charybdis japonica*)、焦河蓝蛤 (*Potamocorbua ustulata*) 和红狼牙虾虎鱼 (*Odontamblyopus rubicundus*) 为长江口潮下带优势种。狭额绒螯蟹、焦河蓝蛤为 3 个季度优势种,安氏白虾为 2 个季度的优势种,日本沼虾、日本

蟳、纵肋织纹螺、红狼牙虾虎鱼、棘头梅童鱼、脊尾白虾、三疣梭子蟹为 1 个季度的优势种。单一季度的优势种主要出现春季、秋季及冬季,在夏季出现一种。

2014 年除葛氏长臂虾外,还有狭额绒螯蟹、安氏白虾、棘头梅童鱼、脊尾白虾、三疣梭子蟹、光泽黄颡鱼 (*Pelteobagrus nitidus*)、刀鲚 (*Coilia nasus*)、窄体舌鳎 (*Cynoglossus gracilis*) 为长江口潮下带优势种。狭额绒螯蟹、安氏白虾为 3 个季度优势种,脊尾白虾、棘头梅童鱼为 2 个季度的优势种,光泽黄颡鱼、刀鲚、窄体舌鳎、三疣梭子蟹为 1 个季度的优势种。单一季度的优势种主要出现秋季、夏季和冬季。

表 1 长江口潮下带底栖动物种类名录 (2013,2014)

Tab. 1 List of macrobenthos in the subtidal zones of the Yangtze River estuary (2013,2014)

名录 list	2013 年				2014 年			
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
刺胞动物门 Cnidaria								
珊瑚纲 Anthozoa								
星虫爱氏海葵 <i>Edwardsia sipunculoides</i>			+					
海笔 <i>Virgularia</i> sp.	+	+						
环节动物门 Annelida								
多毛纲 Polychaeta								
双齿围沙蚕 <i>Perinere aibuhitensis</i>	+							
圆锯齿吻沙蚕 <i>Dentinephtys glabra</i>		+		+				
棘皮动物门 Echinodermata								
海参纲 Holothuroidea								
棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>	+	+						
海地瓜 <i>Acaudina molpadioides</i>			+					
软体动物门 Mollusca								
双壳纲 Bivalvia								
焦河篮蛤 <i>Potamocorbua ustulata</i>	+	+	+	+	+			+
小菱蚌 <i>Siliqua minima</i>		+	+	+	+			
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	+		+	+			+	
缢蛏 <i>Sinonovacula constrzeta</i>							+	
地中海贻贝 <i>Mytilus galloprovincialis</i>	+							
毛蚶 <i>Scapharca subcrenata</i>	+	+	+					
腹足纲 Gastropoda								
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i> Gray	+							
扁玉螺 <i>Neverita didyma</i>				+				
纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	+		+				+	
半褶织纹螺 <i>Nassarius semiplicata</i>	+		+	+	+			
节肢动物门 Arthropoda								
软甲纲 Malacostraca								

续表 1

名录 list	2013 年				2014 年			
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	+		+	+	+	+	+	+
狭额绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i>	+	+	+	+	+	+		+
豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	+	+	+			+		+
日本蛄 <i>Charybdis japonica</i>	+	+	+	+	+	+	+	
日本关公蟹 <i>Dorippe japonica</i>	+	+	+	+	+			+
中华虎头蟹 <i>Orithya sinica</i>			+	+		+	+	
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
巨指长臂虾 <i>Palaemon macrodactylus</i>	+			+		+		
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	+	+						
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>						+		
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	+	+	+	+		+		
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>					+			+
安氏类闭尾水虱 <i>Cleantoides annandalei</i>	+	+						
红线黎明蟹 <i>Matuta planipes</i>		+				+		
锯缘青蟹 <i>Scylla serrata</i>						+		
隆线背脊蟹 <i>Deiratonotus cristatum</i>		+						
日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>						+		
细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatu</i>								+
脊索动物门 Chordata								
鱼类 Fishes								
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>				+		+		
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>			+				+	+
长蛇鮈 <i>Saurogobio dumerili</i>	+		+	+	+		+	
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>	+	+		+			+	
橄榄棘鲷 <i>Repomucenus olidus</i>	+	+					+	
中华海鲈 <i>Arius sinensis</i>	+							
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	+	+	+	+		+	+	+
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	+	+			+	+		+
鮠 <i>Müchthys miiuy</i>		+	+	+	+	+	+	+
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	+	+		+	+	+	+	
睛尾蝌蚪虾虎鱼 <i>Lophiogobius ocellicauda</i>	+		+	+	+	+	+	+
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthy stigmatias</i> Richardson					+			
窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i>	+	+	+	+	+			
短吻红舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	+		+	+	+	+	+	+
斑点叉尾鮰 <i>Ictalurus punctatus</i>		+						
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>			+					+
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>			+					
间下鱚 <i>Hyporhamphus intermedius</i>							+	

表 2 长江口底栖动物优势种和优势度 ($Y \geq 0.02$)Tab. 2 Dominating macrobenthic species in four seasons in the Yangtze River estuary ($Y \geq 0.02$)

年份 years	季度 seasons	物种 speices	Y	物种 speices	Y	物种 speices	Y	物种 speices	Y		
2013	春季 spring	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.29	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.15	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	0.03	纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i>	0.03	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	0.02
	夏季 summer	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.12	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.07	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	0.04	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	0.02		
	秋季 autumn	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.07	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	0.04	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	0.06	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.14	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.04
	冬季 winter	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.17	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.05	日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	0.03	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.18	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.03
2014	春季 spring	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.19	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.03	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.08	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.09		
	夏季 summer	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.05	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	0.23	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.05	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.04	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	0.11
	秋季 autumn	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.16	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.03	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.03	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.09	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	0.02
	冬季 winter	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.26	狭颚绒螯蟹 <i>Neeriocheirle ptoznatha</i>	0.05	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	0.04	窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i>	0.03		

2.3 特征种

2013年春季长江口潮下带大型底栖生物群落以葛氏长臂虾、焦河蓝蛤为特征种(表3),夏季以葛氏长臂虾、焦河蓝蛤、红狼牙虾虎鱼和狭颚新绒螯蟹为特征种,秋季以葛氏长臂虾、日本沼虾、安氏白虾、焦河蓝蛤和棘头梅童鱼为特征种,冬季以葛氏长臂虾、三疣梭子蟹、狭颚新绒螯蟹和日本蟳为特征种。2014年春季长江口潮下带大型底栖生物特征种为葛氏长臂虾、安氏白虾、狭颚绒螯蟹和三疣梭子蟹,夏季为葛氏长臂虾、安氏白虾、脊尾白虾、三疣梭子蟹、棘头梅童鱼和龙头鱼,秋季为葛氏长臂虾、安氏白虾、脊尾白虾、三疣梭子蟹和龙头鱼,冬季为葛氏长臂虾、狭颚绒螯蟹、脊尾白虾和窄体舌鳎。

2013年长江口潮下带大型底栖生物的特征种以甲壳动物类群为主。四季中,葛氏长臂虾为长江口潮下带周年特征种,四季的特征种均有差

异。秋季特征种最多为5种,春季、夏季和秋季特征种均有葛氏长臂虾和焦河蓝蛤,而春季特征种最少。相对而言,春季和夏季之间特征种变化较小,夏季、秋季、冬季之间特征种变化较大,反映出夏、秋、冬三个季节是长江口潮下带水域环境变动较大的季节,而春、夏季环境变化小,相对较为稳定。

2014年长江口潮下带大型底栖生物的特征种以甲壳动物类群为主。四季中,夏季特征种最多为6种,秋季5种,春季和冬季各有4种。葛氏长臂虾为长江口潮下带周年特征种。除此之外,整年中在三个季节出现的特征种有安氏白虾、脊尾白虾和三疣梭子蟹。夏、秋两季的共有特征种高达5种,春、夏两季有一种特征种的变化。相对而言,秋、冬两季的特征种变化较大,反映出秋、冬两季环境变化较大,其他季节环境变化较小,相对较为稳定。

表 3 长江口潮下带各季大型动物特征种
 Tab.3 Characteristic macrobenthic species in four seasonal in subtidal areas of the Yangtze River estuary

年份 years	春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter	
	物种 speices	贡献率/% contribution	物种 speices	贡献率/% contribution	物种 speices	贡献率/% contribution	物种 speices	贡献率/% contribution
2013	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	37.7	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	6.7	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	11.6	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	25.0
	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	12.5	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	59.7	焦河蓝蛤 <i>Potamocorbucata ustulata</i>	33.6	三疣梭子蟹 <i>Dorippe japonica</i>	32.9
			狭额绒螯蟹 <i>Neoeriocheir leptognatha</i>	10.3	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	5.7	狭额绒螯蟹 <i>Neoeriocheir leptognatha</i>	6.9
			红狼牙鰻虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	6.7	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	6.1	日本蛄 <i>Charybdis japonica</i>	5.7
				棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	16.1			
2014	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	20.5	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	6.5	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	21.2	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	25.0
	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	15.0	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	10.2	安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	7.1	狭额绒螯蟹 <i>Neoeriocheir leptognatha</i>	10.9
	狭额绒螯蟹 <i>Neoeriocheir leptognatha</i>	5.1	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	30.6	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	13.5	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	6.6
	三疣梭子蟹 <i>Dorippe japonica</i>	5.6	三疣梭子蟹 <i>Dorippe japonica</i>	5.2	三疣梭子蟹 <i>Dorippe japonica</i>	22.5	窄体舌蛄 <i>Cynoglossus gracilis</i>	8.7
			棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	10.6	龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	7.2		
			龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	7.2				

2.4 丰度和生物量

2013 年丰度和生物量在不同季节明显不同:丰度的最高值出现在春季,为 33.81 个/m²,最低值出现在夏季,仅为 8.96 个/m²;生物量的最高值则出现在秋季,为 106.69 g/m²,夏季最低,仅为 35.71 g/m²(表 4)。不同类群底栖动物的丰度和生物量所占比例差异较大:年均丰度以节肢动物最高,占总丰度的 50.91%,其次为软体动物,占 28.94%,最后为鱼类占 18.03%,其余类群所占比例较小;年均生物量以节肢动物最大,占总生物量的 41.68%,其次为鱼类,占 39.22%,最后为

软体动物,为 18.51%,其他类群动物所占比例较小。2014 年丰度和生物量在不同季节明显不同:丰度的最高值出现在冬季,为 7.32 个/m²,最低值出现在秋季,为 5.08 个/m²;生物量的最高值则出现在夏季,为 40.26 g/m²,冬季最低,仅为 21.69 g/m²(表 4)。不同类群底栖动物的丰度和生物量所占比例差异较大:年均丰度以节肢动物最高,占总丰度的 64.93%,其次为鱼类,占 31.12%,最后为软体动物占 2.22%;年均生物量以节肢动物最大,占总生物量的 51.35%,其次为鱼类,占 44.07%,最后为软体动物,为 4.58%。

表 4 长江口潮下带底栖动物的生物量及丰度分布

Tab. 4 Abundance and biomass composition of macrobenthos in subtidal areas of the Yangtze River estuary

数量 quantity	季节 seasons	腔肠动物 Coelenterate		棘皮动物 Echinodermata		环节动物 Annelida		软体动物 Mollusca		节肢动物 Arthropota		鱼类 Fishes		合计 total	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
		丰度/ (个 /m ²)	春季 spring	0.05	0	0.03	0	0.02	0	7.86	0	22.18	3.44	3.67	2.48
	夏季 summer	0.01	0	0	0	0	0	5.47	0.16	2.40	3.30	1.08	2.57	8.96	6.03
	秋季 autumn	0.18	0	0.02	0	0	0	7.28	0.03	5.67	3.73	6.54	1.32	19.69	5.08
	冬季 winter	0	0	0	0	0	0	0.12	0.35	6.22	5.34	1.63	1.21	9.18	7.32
生物 量/(g /m ²)	春季 spring	0.13	0	0.15	0	0.02	0	13.60	0	39.41	13.04	33.67	12.31	86.98	25.35
	夏季 summer	0	0	0.01	0	0	0	14.53	5.13	12.72	15.25	8.45	19.88	35.71	40.26
	秋季 autumn	1.34	0	0.01	0	0	0	23.33	0.08	30.35	24.78	51.66	11.55	106.69	36.41
	冬季 winter	0	0	0	0	0	0	0.67	0.45	34.88	10.46	16.67	10.78	52.22	21.69

2.5 群落多样性

长江口潮下带 2013 年、2014 年大型底栖动物在不同季节的多样性变化规律较为一致(表 5)。2013 年,Shannon-Wiener 多样性指数年均值为 1.95,秋季最高,夏季最低,表现为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季;Margalef 多样性指数年均值为 2.81,冬季最高,秋季最低,表现为冬季 > 夏

季 > 春季 > 秋季;种类数以春季最高,夏季和冬季最低;物种丰富度指数的最高值出现在春季,以夏季最低,表现为春季 > 秋季 > 冬季 > 夏季;均匀度指数的最高值出现在秋季,最低值出现在春季,年均值为 0.81,表现为秋季 > 夏季 > 冬季 > 春季。

表 5 长江口潮下带大型底栖动物的多样性

Tab. 5 Diversity of macrobenthos in subtidal areas of the Yangtze River estuary

季节 seasons	多样性指数(H') Shannon-Wiener		多样性指数(H'') Margalefs		丰富度指数(D) Simpson		均匀度指数(E) Pielou evenness index		种类数(S) number of species	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
	春季 spring	1.86	2.37	2.78	2.52	0.84	0.87	0.78	0.79	34
夏季 summer	1.67	2.16	2.83	2.30	0.67	0.84	0.83	0.74	29	22
秋季 autumn	2.14	2.06	2.72	2.15	0.78	0.87	0.84	0.72	31	20
冬季 winter	2.13	1.87	2.90	2.16	0.81	0.70	0.82	0.71	29	21

总体而言,秋季相对其他季节能维持更高的多样性。2014 年,Shannon-Wiener 多样性指数年均值为 2.12,春季最高,冬季最低,表现为春季 > 夏季 > 秋季 > 冬季;Margalefs 多样性指数年均值为 2.28,春最高,秋季最低,表现为春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季;种类数以春季最高,秋季最低;物种丰富度指数的最高值出现在春季和秋季,以冬最低,表现为春季 = 秋季 > 夏季 > 冬季;均匀度指数的最高值出现在春季,最低值出现在冬季,年均值为 0.71,表现为春季 > 夏季 > 秋

季 > 冬季。总体而言,春季相对其他季节能维持更高的多样性。

2.6 群落结构

长江口潮下带大型底栖动物群落的 NMDS 排序分析中的 stress 值小于 0.1,说明图形吻合较好,结果可信(图 2)。2013 年等级聚类分析结果显示,在相似性 46.92% 时,可将大型底栖动物聚为 2 组,第 1 组为夏季、秋季、冬季,第 2 组为春季,聚类与季节有关。非度量多维标度 NMDS 也表明,各断面群落结构也分为 2 类,与聚类分析结

果一致。

2014 年等级聚类分析结果显示,在相似性 60.60% 时,可将大型底栖动物聚为 2 组,第 1 组为春季、秋季和夏季,第 2 组为冬季,聚类与季节有关。非度量多维标度 NMDS 也表明,各断面群落结构也分为 2 类,与聚类分析结果一致。度量多维标度 NMDS 也表明,各断面群落结构也分为 2 类,与聚类分析结果一致。

2.7 群落 ABC 曲线

2013 年春季的丰度曲线部分位于生物量曲线上方,且部分有所重叠,表明春季底栖生物群落

结构受到了重度或中度干扰,群落结构不稳定;夏、秋季的丰度/生物量曲线则有重叠,生物量曲线部分位于丰度曲线上方,表明夏、秋季底栖生物群落结构受到了中度干扰;长江口潮下带冬季的丰度/生物量曲线显示生物量曲线基本位于丰度曲线上方,表明冬季底栖生物群落结构稳定,受到干扰程度小(图 3)。2014 年春季、夏季和秋季生物量曲线基本位于丰度上方,表明生物群落结构稳定,受到干扰程度小;冬季生物量曲线位于丰度下方,说明受到重度干扰,群落结构不稳定(图 3)。

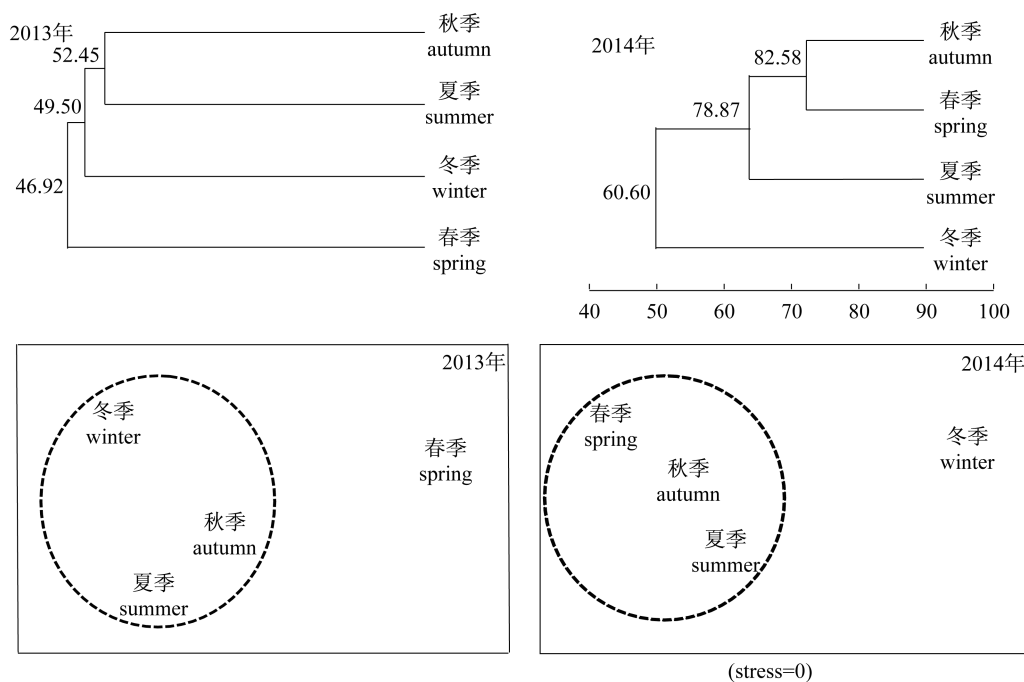


图 2 长江口潮下带底栖动物群落的 Bray-Curtis 聚类和 NMDS 排序分析

Fig. 2 The dendrogram and NMDS of macrobenthos in subtidal areas of the Yangtze River estuary

3 讨论

3.1 长江口潮下带底栖动物种类组成的变化

长江口潮下带年度调查结果显示,2012 年^[11] 采获底栖动物种类 48 种,2013 年采获 49 种,2014 年采获 40 种,2014 年的种类数明显减少。底栖动物均以甲壳动物、软体动物和鱼类为主。调查发现长江口潮下带底栖生物群落结构四季变化明显,2012 年种类数量呈先上升后下降的趋势,而 2013 年和 2014 年种类呈先下降后上升的趋势,且 2013 年春、夏、秋季的种数低于 2012 年的种数。2014 年各季节的底栖生物种数均低于 2012 年和 2013 年的种数。本次调查与以往调

查相比,低于孙亚伟等^[3] 于春季在长江口邻近海域采获的 50 种大型底栖生物及章飞军等^[13] 于春季在长江口调查发现采集的 38 种大型底栖动物。在种类总数方面,本次调查结果与以往的相关调查数据相比,种类数量明显少于胡颖琰等^[14] 在长江口采集的 75 种底栖生物。这些分析表明,长江口底栖环境受到一定程度胁迫作用,底栖生物种类呈减少的趋势。

3.2 长江口潮下带底栖动物优势种与特征种的变化

本次调查中,2013 年长江口潮下带优势种共有 11 种,以甲壳动物类群为主,其次为软体动物和鱼类,2012 年与 2013 年共有种 7 种。与 2012

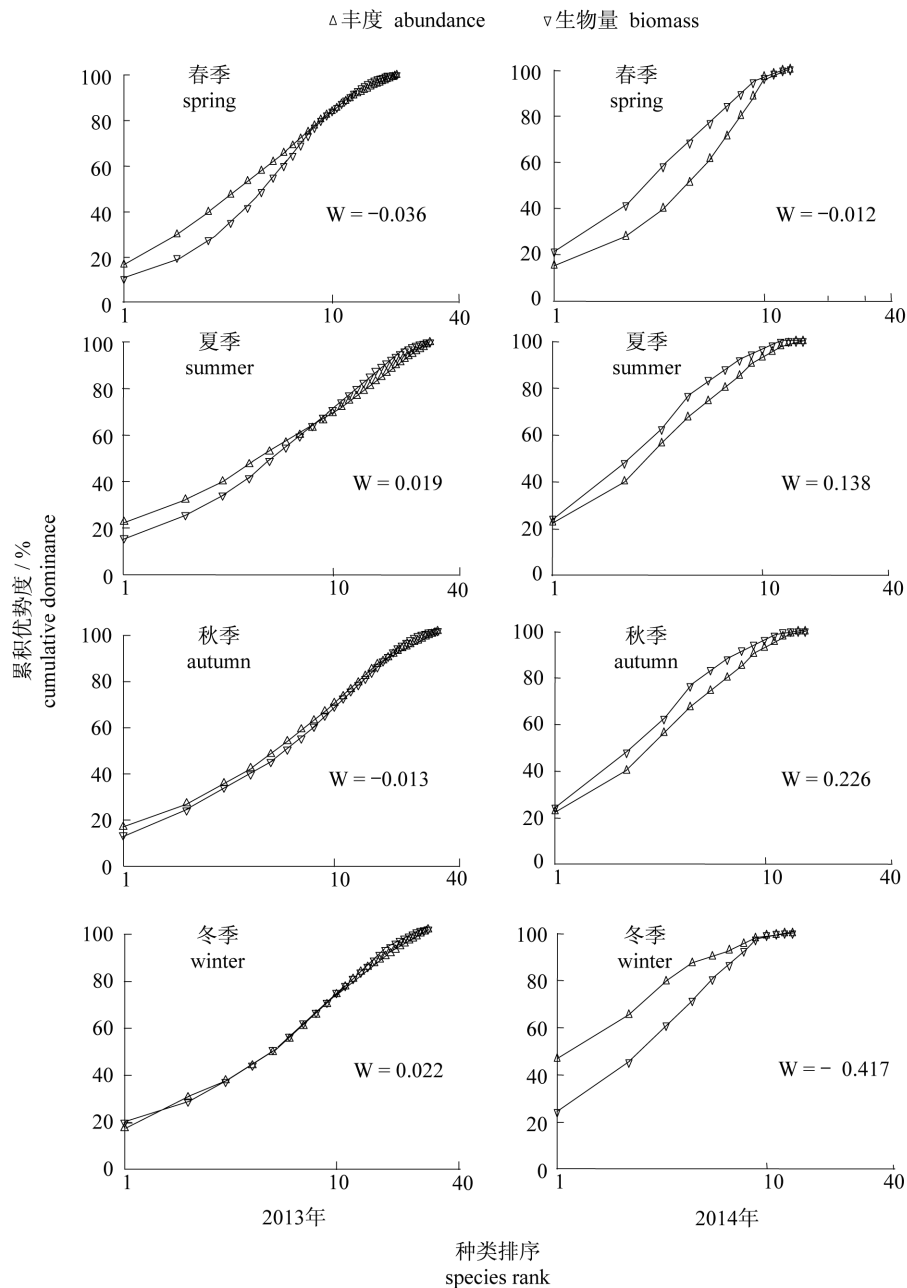


图3 长江口潮下带底栖动物的丰度/生物量比较

Fig. 3 Abundance/biomass comparison curves in subtidal areas of the Yangtze River estuary

年相比,2013年各个季度的优势种均多于2012年,且出现鱼类的优势种。2014年长江口潮下带优势种共有9种,与2013年和2014年潮下带优势种的数据相比,鱼类优势种进一步增多,而软体动物优势种从2012和2013年的2种到2014年无软体动物优势种。结合2012年^[13]优势种的种类发现,2012年、2013年和2014年长江口潮下带共同出现的优势种有5种,分别是葛氏长臂虾、狭额绒螯蟹、三疣梭子蟹、安氏白虾和脊尾白虾。结

合以往研究,长江口出现的8种主要底栖生物有安氏白虾、脊尾白虾、葛氏长臂虾、狭额绒螯蟹、纵肋织纹螺、口虾蛄、红狼牙虾虎鱼^[14]。罗民波等^[15]调查长江口中华鲟自然保护区附近水域,发现优势种12种,分别为缢蛏、纵肋织纹螺、焦河蓝蛤、毛蚶、中国毛虾、安氏白虾、葛氏长臂虾、狭额新绒螯蟹、棘头梅童鱼、凤鲚、孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)和蝌蚪虾虎鱼(*Lophiogobius ocellicauda*)。长江口潮下带底栖动物优势种的

变化表明,群落结构发生由无脊椎动物向鱼类演替。

2012 年长江口潮下带大型底栖动物特征种有葛氏长臂虾、焦河蓝蛤、红狼牙虾虎鱼、狭颚新绒螯蟹、日本沼虾、安氏白虾、棘头梅童鱼、三疣梭子蟹和日本蛄^[11]。结合 2012 年特征种结果分析发现,长江口潮下带特征种均以甲壳动物为主,总体变化不大;特征种在不同年份的不同季节存在着变化,秋、冬两季的变化较其他季节变化相对较大。

3.3 长江口潮下带底栖动物种类组成与盐度和底质关系

与 2012 年调查结果相比,物种组成较为匮乏,生物多样性不高。以往研究表明,底栖生物的物种丰度通常随着从海水上升流进入低盐度水域而明显减少^[16]。由于河口处于咸淡水交汇处,存在着复杂的水文和底质环境变动,因此只有很少种类的底栖动物能严格地被限于河口生态系统,这可能是河口区大型底栖动物生态类型丰富,种类数量却较少的原因所在^[16]。

对底栖动物来说,底质环境是很重要的影响因素^[17]。Bogan^[18] 研究发现群落多样性与扰动强度关系密切,当底质环境扰动较大时,群落多样性较低。大型底栖动物多样性分析结果显示,2013 年和 2014 年多样性指数较 2012 年有所上升,表明长江口及其邻近水域潮下带环境相对 2012 年有所改善。尽管大型底栖动物的种类较 2012 年有所减少,但多样性指数有所增长。由此可知,长江口及其邻近水域潮下带的大型底栖动物群落经过扰动后趋于平稳,结构较之前稳定,种类数目趋向平衡。这可能与长江口近几年实施的增殖放流项目有关,其对长江口及其邻近水域潮下带大型底栖动物群落的恢复产生积极的影响。

3.4 长江口潮下带底栖动物群落结构与环境变动关系

污染扰动的成因可能比较复杂,如污染、渔业活动、长江三峡工程建设对生态和环境的影响等。这不仅对海域环境造成一定影响,也加大了海洋环境压力,使底栖生物的生存环境遭到极大破坏,生态系统结构失衡,生物多样性指数降低。生态失衡已严重影响了海洋生态系统的健康和生态服务功能的正常发挥。结合 2012 年潮下带调查的结果,通过比较 2012、2013、2014 年的群落 ABC

曲线发现,长江口潮下带底栖动物群落在 2012 年有 3 个季度受到中度以上的干扰,1 季度受到中度干扰;2013 年均受到中度干扰;2014 年有 3 个季度干扰较轻,1 个季度受到中度以上的干扰。此 3 年的调查结果显示,长江口潮下带底栖动物群落结构所受环境干扰呈现逐年减轻的趋势,这可能与近几年长江口开展的生态修复工程相关,表明长江口生态修复已取一定的效果,基本维持了长江口底栖生态系统的平衡和稳定。

综上所述,2012—2014 年长江口潮下带大型底栖动物的种类数呈减少趋势,优势种更替较为明显,特征种基本不变,而长江口潮下带底栖动物群落结构所受环境干扰呈现逐年减轻的趋势。本研究结果为长江口及其邻近水域生态环境及生物多样性的保护提供了数据参考,同时为长江口水域生态系统修复工程的开展提供理论依据。

参考文献:

- [1] Ye S F, Ji H H, Cao L, *et al.* Studies on the impacts of large-scale estuarine engineering on species composition and biomass of benthos in the Yangtze River estuary [J]. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23 (4): 32 - 37. [叶属峰, 纪焕红, 曹恋, 等. 河口大型工程对长江河口底栖动物种类组成及生物量的影响研究. 海洋通报, 2004, 23 (4): 32 - 37.]
- [2] Shen X Q, Chen Y Q, Quan W M, *et al.* Restoration effect of benthos on the ecological environment of the Changjiang River estuary [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31 (2): 199 - 203. [沈新强, 陈亚瞿, 全为民, 等. 底栖动物对长江口水域生态环境的修复作用. 水产学报, 2007, 31 (2): 199 - 203.]
- [3] Sun Y W, Cao L, Qin Y T, *et al.* Analysis of macrobenthos community structure in the adjacent sea area of the Changjiang River estuary [J]. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26 (2): 66 - 70. [孙亚伟, 曹恋, 秦玉涛, 等. 长江口邻近海域大型底栖生物群落结构分析. 海洋通报, 2007, 26 (2): 66 - 70.]
- [4] Gu X Y, Tao L, You Z J, *et al.* The macrobenthic community of the Xiangshan Bay [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2010, 41 (2): 208 - 213. [顾晓英, 陶磊, 尤仲杰, 等. 象山港大型底栖动物群落特征. 海洋与湖沼, 2010, 41 (2): 208 - 213.]
- [5] Du F Y, Wang X H, Jia X P, *et al.* Species composition and characteristics of macrobenthic fauna in Daya Bay, South China Sea [J]. *Journal of*

- Fishery Sciences of China, 2011, 18(4): 877 - 892. [杜飞雁, 王雪辉, 贾晓平, 等. 大亚湾海域大型底栖生物种类组成及特征种. 中国水产科学, 2011, 18(4): 877 - 892.]
- [6] Yang Z H, Tong C F, Lu J J. Characteristics of macrobenthic fauna communities in three successional stages of the new emergent salt marsh in an estuary of the Yangtze River [J]. Zoological Research, 2006, 27(4): 411 - 418. [杨泽华, 童春富, 陆健健. 长江口湿地三个演替阶段大型底栖动物群落特征. 动物学研究, 2006, 27(4): 411 - 418.]
- [7] An C G, Zhao Y L, Lin L, et al. Primary investigation of seasonal characters of macrobenthic communities distribution in tidal flats of Jiuduansha wetland of Yangtze River estuary [J]. Journal of Fisheries China, 2007, 31(suppl.): 52 - 58. [安传光, 赵云龙, 林凌, 等. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. 水产学报, 2007, 31(增刊): 52 - 58.]
- [8] Ma C A, Xu L L, Tian W, et al. Species composition, quantity distribution and seasonal variation of macrobenthos in east Nanhui tidal flat [J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2011, 50(3): 274 - 281. [马长安, 徐霖林, 田伟, 等. 南汇东滩围垦湿地大型底栖动物的种类组成, 数量分布和季节变动. 复旦学报: 自然科学版, 2011, 50(3): 274 - 281.]
- [9] Lv W W, Ma C A, Yu J, et al. Influence of reclamation on macrobenthic community in the Hengsha east shoal of the Yangtze River estuary [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 340 - 347. [吕巍巍, 马长安, 余骥, 等. 围垦对长江口横沙东滩大型底栖动物群落的影响. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 340 - 347.]
- [10] Yu J, Ma C A, Lv W W, et al. Spatial distribution and temporal succession of macrozoobenthos in the intertidal zone of Chongming east shoal [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 1078 - 1085. [余骥, 马长安, 吕巍巍, 等. 崇明东滩潮间带大型底栖动物的空间分布与历史演变. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1078 - 1085.]
- [11] Yang J L, Zhou X, Guo X P, et al. Characteristics of macrobenthic fauna communities of the subtidal zones of the Yangtze River estuary [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2014, 41(4): 192 - 198. [杨金龙, 周轩, 郭行磐, 等. 长江口潮下带大型底栖动物的群落结构特征. 水产科技情报, 2014, 41(4): 192 - 198.]
- [12] Xu Z L. Ecological characters of the *Eucalanus subcrassus* population in the East China Sea [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1151 - 1158. [徐兆礼. 东海亚强真哲水蚤种群生态特征. 生态学报, 2006, 26(4): 1151 - 1158.]
- [13] Zhang F J, Tong C F, Zhang H, et al. Community structure of macrobenthic fauna in subtidal areas of the Yangtze River estuary in spring [J]. Zoological Research, 2007, 28(1): 47 - 52. [章飞军, 童春富, 张衡, 等. 长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构. 动物学研究, 2007, 28(1): 47 - 52.]
- [14] Hu H Y, Shi J R, Liu Z G, et al. The benthic fauna and ecological research of the Yangtze River estuary and its adjacent waters [J]. Environmental Pollution & Control, 2009, 31(11): 84 - 87. [胡颢琰, 施建荣, 刘志刚, 等. 长江口及其附近海域底栖生物生态调研 [J]. 环境污染与防治, 2009, 31(11): 84 - 87.]
- [15] Luo M B, Zhuang P, Shen X Q, et al. Macrobenthos in waters around nature reserve of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* and adjacent waters in Yangtze estuary [J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(6): 618 - 623. [罗民波, 庄平, 沈新强, 等. 长江口中华鲟保护区及临近水域大型底栖动物研究. 海洋环境科学, 2008, 27(6): 618 - 623.]
- [16] Lu J J. Estuarine ecology [M]. Beijing: China Ocean Press, 2003: 63 - 92. [陆健健. 河口生态学. 北京: 海洋出版社, 2003: 63 - 92.]
- [17] Zhang F J, Zhang Y S, Zhang X L, et al. Species and abundance of the benthic boundary layer fauna of the Yellow Sea in summer [J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(3): 1 - 9. [章飞军, 张岩松, 张晓凌, 等. 黄海夏季底边界层动物的种类与丰度. 海洋水产研究, 2004, 25(3): 1 - 9.]
- [18] Bogan A. Freshwater bivalve extinctions (Mollusca: Unionoida): a search for cause [J]. Integrative and Comparative Biology, 1993, 33(6): 599 - 609.

Characteristics of macrobenthic community in subtidal zones of the Yangtze River estuary

CHEN Qiang^{1,2}, GUO Xingpan^{1,2}, ZHOU Xuan^{1,2}, HUANG Daofen^{1,2}, GAO Wei^{1,2},
XU Yuefeng^{1,2}, LI Jiale¹, SHEN Heding¹, YANG Jinlong^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University,
Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

2. Institute of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The present study investigated the species composition, dominance and characteristics of macrobenthic fauna within 13 sampling stations from eight survey cruises in Yangtze River estuary during February, May, August and November, in 2013 and 2014. The Shannon Wiener diversity index (H), Pielous species evenness (E), species abundance (D), dominance index (Y) were used to evaluate Yangtze estuary community characteristics. In addition, the community structures of macrobenthic fauna were analyzed by hierarchical cluster and non-metric sort multidimensional scaling (NMDS). The results showed that a total of 49 species of large benthic animals were obtained in 2013, and 40 species were collected in 2014. The temporal variation of macrobenthos in different seasons changed obviously in the same year, and the total number of species decreased in 2014. The highest abundance and biomass appeared in the spring and autumn, 2013 and in winter and summer, 2014. The biomass of different seasons was obviously different in 2013 and 2014. Crustaceans were characteristic of macrobenthos in both 2013 and 2014, and the dominant species belonging to fish increased. Higher diversity was observed in the autumn, 2013 and in the spring, 2014 compared to the other seasons in the same year. Generally, and the diversity index showed an increasing tendency during the investigation of two years' period. Hierarchical cluster analysis and NMDS analysis showed that the macrobenthic community of the Yangtze River estuary constituted two groups in 2013, and community in the summer, autumn and winter were grouped from that in spring. In 2014, community in spring, summer and autumn were clustered, and was separated from community in the winter. ABC curve showed that macrobenthic communities in subtidal zones were moderately affected in the four seasons in 2013. In contrast, in 2014, no significant effect on macrobenthic community was observed in the spring, summer and autumn, and macrobenthic community was only affected with heavily moderate interference in winter. The tendency in decreasing interference was observed during the investigation period.

Key words: macrobenthos; community structure; diversity; subtidal; Yangtze River estuary

Corresponding author: YANG Jinlong. E-mail: jlyang@shou.edu.cn