

DOI: 10.5846/stxb202009012276

杨颖, 陈思思, 周红宏, 夏利花, 刘鹏霞, 杨幸幸, 邓邦平. 长江口潮间带底栖生物生态及变化趋势. 生态学报, 2022, 42(4): 1606-1618.

Yang Y, Chen S S, Zhou H H, Xia L H, Liu P X, Yang X X, Deng B P. Ecological evaluation and variation trend analysis of macrobenthos in intertidal zone of Changjiang Estuary. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(4): 1606-1618.

长江口潮间带底栖生物生态及变化趋势

杨颖^{1,2}, 陈思思¹, 周红宏¹, 夏利花¹, 刘鹏霞¹, 杨幸幸¹, 邓邦平^{1,2,*}

1 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 201206

2 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室, 上海 201206

摘要: 基于长江口 3 个区域潮间带(崇明东滩、南汇边滩和嵎山岛)监测数据, 对长江口区域潮间带底栖生物生态现状及变化趋势进行评价。结果表明, 2019 年长江口海域泥相和岩相潮间带共鉴定大型底栖生物 9 门 57 种, 软体动物、甲壳类和多毛类构成主要类群。崇明东滩、南汇边滩两个泥相潮间带底栖生物平均栖息密度分别为 96.4 个/m² 和 160.4 个/m², 平均生物量分别为 68.42 g/m² 和 45.71 g/m²; 嵎山岛岩相潮间带平均栖息密度和生物量分别为 488.9 个/m² 和 763.72 g/m²。各断面多样性、丰富度和均匀度指数分别位于 1.36—3.24、0.75—2.88 和 0.48—0.77, 泥相潮间带低潮区生物多样性优于中潮区和高潮区, 岩相潮间带中潮区生物多样性最好。聚类分析可见长江口海域潮间带底栖生物分为泥相和岩相 2 个大组群, 物种分布存在明显的分区现象, 高潮区站位成群或与个别中潮区站位成群, 低潮区站位成群或与个别中潮区站位成群, 表明底质类型和潮汐是影响潮间带大型底栖生物群落结构的主要因子。近 30 年来, 崇明东滩和南汇边滩底栖生物种类数存在一定波动, 嵎山后陀湾断面生物种类数明显下降; 3 个区域潮间带底栖生物密度和生物量均呈波动下降的趋势, 应与长江口海域湿地围垦、外来物种入侵、人类过度采捕和环境污染等相关。

关键词: 潮间带; 底栖生物; 生态; 趋势评价; 长江口

Ecological evaluation and variation trend analysis of macrobenthos in intertidal zone of Changjiang Estuary

YANG Ying^{1,2}, CHEN Sisi¹, ZHOU Honghong¹, XIA Lihua¹, LIU Pengxia¹, YANG Xingxing¹, DENG Bangping^{1,2,*}

1 East China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 201206, China

2 Key Laboratory of Marine Ecological Monitoring and Restoration Technology, Ministry of Natural Resources, Shanghai 201206, China

Abstract: Using macrobenthos monitoring data of 3 intertidal zones (Chongming eastern shoal, Nanhui nearshore and Shengshan Island being CM, NH and SS for short) in Changjiang estuary, biodiversity dynamics were evaluated in this study. The results showed that 9 phyla and 57 species of macrobenthos were identified in the intertidal zone of the Changjiang Estuary in 2019, and molluscs, crustacea and polychaeta were the main groups. The CM and NH were muddy intertidal zones, SS was rocky. The average density was 96.4 ind/m², 160.4 ind/m², and 488.9 ind/m² in CM, NH and SS, the average biomass was 68.42 g/m², 45.71 g/m² and 763.72 g/m² in the three areas. There were 3 sections in every area. The diversity, richness and evenness index were in 1.36—3.24, 0.75—2.88 and 0.48—0.77 with every section. The biodiversity of low tide zone was better than that of middle and high tide zone in muddy intertidal zone, but the middle tide zone was the best in rocky intertidal zone. All the macrobenthos were divided into two groups—muddy and rocky. Different

基金项目: 海市科委科研计划项目(18DZ1206503); 长江三角洲河口湿地生态系统教育部/上海市野外科学观测研究站开放基金项目(K202003); 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室开放基金资助项目(MEMRT202009)

收稿日期: 2020-09-01; 网络出版日期: 2021-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dengbp@ecs.mnr.gov.cn

species distributed in high, middle and low intertidal zones. Some species in high intertidal zone formed groups with very view in middle intertidal zone and some species in low intertidal zone formed groups with very view in middle intertidal zone. It showed that the sediment environment and tide were the most significant factors to affect community structure of intertidal macrobenthos. During the past 30 a, the species number of macrobenthos undulated in CM and NH, but decreased in SS; the average density and biomass were decreased in 3 areas, which should be related to wetland reclamation, species invasion, human over fishing and pollution.

Key Words: intertidal zone; macrobenthos; ecology; variation trend; Changjiang Estuary

长江口是世界特大型淤泥质三角洲河口,长江口潮滩湿地是我国重要河口湿地,具有丰富的自然资源和重要生态系统服务价值。长江口及其邻近水域滩涂中的潮间带生物,在生物链中扮演着重要的角色,是生态系统中不可或缺的一部分,在物质循环和能量流动中有着不可取代的作用。由于底栖动物栖息于潮间带沉积物中,不易移动且对环境变化比较敏感,对潮间带湿地环境状况有较好的指示作用^[1],众多学者对长江口潮间带底栖生物的群落演替^[2-3]、季节变化^[4]、生物多样性与生态学状况^[5-8]等进行研究,空间分布上,覆盖了长江口崇明岛^[3, 9-10]、九段沙^[4, 11]、北支^[12]、长兴岛、横沙岛^[13]和南汇边滩^[14]等典型河口潮间带。已有的研究成果从不同角度对长江口潮间带底栖生物生态及群落演变情况进行了探讨,但针对长时序群落结构演变状况的研究尚不多见。近 30 年以来,长江口潮间带湿地经历了大规模围垦^[15-16]、渔业开发^[15]、过度放牧^[15, 17]、陆源污染^[15, 18]以及互花米草入侵^[19-22]的严重影响,对潮间带底栖生物生态系统造成一定破坏。本文基于在长江口海域潮间带固定断面多年连续底栖生物监测数据,评价了近 30 年来在各种人类活动叠加影响下的潮间带底栖生物生态现状及变化趋势,以为长江大保护国家战略及长江保护法实施提供支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文中现状评价采用东海监测中心 2019 年 8 月在长江口生态监控区海域的 3 个区域潮间带(崇明东滩、南汇边滩和嵎山岛潮间带,分别简称为 CM、NH、SS)布设的 9 条潮间带断面底栖生物调查数据,断面位置如图 1。每条潮间带分别在高、中、低潮区采集潮间带生物样品(定量和定性,表 1),滩涂定量样品采集 0.25 m × 0.25 m × 0.30 m 的样方 4 个,野外淘洗装瓶,用福尔马林固定后贴上标签,注明采样时间地点;岩石岸取 2 个样方合为 1 个样品。定性样品将该站附近出现的生物种类收集齐全。潮间带生物种类组成、栖息密度、生物量监测方法采用计数法^[23]。崇明东滩和南汇边滩总体为淤泥质潮间带,其中崇明东滩中断面高潮区为人工护岸,类同于岩石基质;嵎山岛均为基岩质潮间带。

文中近 30 年潮间带底栖生物趋势变化评价数据均来源于东海监测中心历年在该区域的业务化调查与监测数据,样品采集与监测方法同上,监测季节均为夏季。

1.2 多样性评价

采用种类多样性指数 H' (Shannon-Weaver index)、种类丰富度指数 d (Margalef's index)、均匀度指数 J'

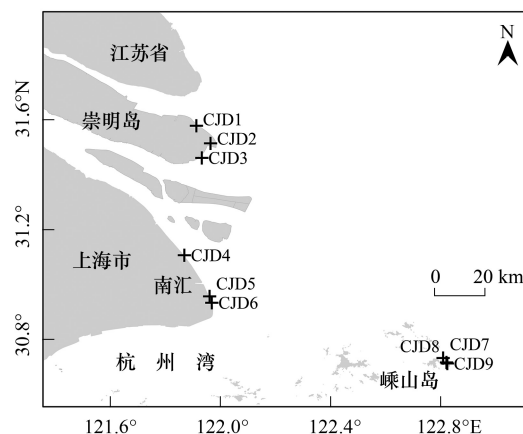


图 1 长江口海域潮间带底栖生物采样断面示意图

Fig.1 Sampling sections of macrobenthos in intertidal zone of Changjiang River estuary

CJD1—CJD9:各断面编号,The sections numbers

(Pielou index) 和优势度指数 Y 对海洋生物多样性进行评价^[23], 计算公式如式(1)–(4)。

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

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

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

$$Y_i = n_i / N \times f_i \quad (4)$$

式中, S 为种类数; N 为所有种的个体总数; P_i 为样品中第 i 种个体数占总个体数的比例。 f_i 为第 i 种在各样品中的出现频率; n_i 为样品中第 i 种生物个体数。取 $Y_i \geq 0.02$ 的种类为优势种类^[24]。

表 1 各断面及采样点编号与基质

Table 1 The identifiers and substrate style of every section and site

采样断面 Section /编号 No.	采样点 Sites					
	高潮区 High tide zone	基质 Environment	中潮区 Middle tide zone	基质 Environment	低潮区 Low tide zone	基质 Environment
崇明北断面/CJD1 North section in CM	1H	淤泥	1M	淤泥	1L	淤泥
崇明中断面/CJD2 Middle section in CM	2H	岩石	2M	淤泥	2L	淤泥
崇明南断面/CJD3 South section in CM	3H	淤泥	3M	淤泥	3L	淤泥
南江北断面/CJD4 North section in NH	4H	淤泥	4M	淤泥	4L	淤泥
南汇中断面/CJD5 Middle section in NH	5H	淤泥	5M	淤泥	5L	淤泥
南汇南断面/CJD6 South section in NH	6H	淤泥	6M	淤泥	6L	淤泥
嵎山后陀湾/CJD7 Hou tuo bay in SS	7H	岩石	7M	岩石	7L	岩石
嵎山大玉湾/CJD8 Da yu bay in SS	8H	岩石	8M	岩石	8L	岩石
嵎山鳗咀头/CJD9 Man zui tou in SS	9H	岩石	9M	岩石	9L	岩石

CM: 崇明东滩 Chongming eastern shoal; NH: 南汇边滩 Nanhui nearshore; SS: 嵎山岛潮间带 Shengshan Island intertidal zone; H: 高; M: 中; L: 低

1.3 群落结构分析

采用等级聚类(Cluster)、非度量多维标度(MDS)等多变量分析方法分析底栖生物群落的空间格局^[25]; 多变量分析统计结果应用 PRIMER 5.0^[26] 软件统计生成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

长江口潮间带共鉴定出底栖生物 9 门 57 种(表 2), 其中软体动物 24 种, 节肢动物 17 种, 环节动物 10 种, 脊索动物 2 种, 扁形动物、棘皮动物、刺胞动物和纽形动物各 1 种; 软体动物占比最高, 为 42.1%。潮间带定量样品共鉴定出 46 种, 各断面种类数范围为 7—31 种, 平均单条断面种类数为 8 种; 定性样品共鉴定 39 种, 各断面种类数范围 5—19 种。

崇明东滩 3 条潮间带断面共鉴定出底栖生物 18 种。其中节肢动物、软体动物各 7 种, 分别占 38.9%; 环节动物 2 种, 占 11.0%; 脊索动物、腔肠动物各 1 种, 分别占 5.6%。优势种共有 7 种, 为绯拟沼螺 *Assiminea latericea*、谭氏泥蟹 *Llyoplax deschampsii*、紫游螺 *Neritina violacea*、无齿相手蟹 *Sesarma dehaani*、弹涂鱼 *Periophthalmus cantonensis*、河蚬 *Cobicula flaminca*、尖锥拟蟹守螺 *Cerithidea largillierti*。

南汇边滩 3 条断面共鉴定出底栖生物 14 种。其中软体动物 5 种, 占 35.7%; 环节动物、节肢动物各 3 种,

分别占 21.4%;脊索动物 2 种,占 14.3%;纽形动物 1 种,占 7.2%。优势种共 6 种,为中国绿螂 *Glauconome chinensis*、谭氏泥蟹 *Heteromastus filiformis*、绯拟沼螺、尖锥拟蟹守螺、光滑狭口螺 *Stenothyra glabar*,其中,软体动物 4 种、节肢动物和环节动物各 1 种。南汇边滩和崇明东滩均为泥相潮间带,谭氏泥蟹、绯拟沼螺和尖锥拟蟹守螺为共有优势种。

嵎山岛潮间带为岩相潮间带,3 条断面共鉴定出底栖生物 8 门 38 种,其中软体动物 15 种,占总种类数的 39.5%,节肢动物 12 种,环节动物 7 种,扁形动物、棘皮动物、刺胞动物和纽形动物各 1 种。优势种共 2 种,分别为日本笠藤壶和条纹隔贻贝。

表 2 大型底栖动物种名录(2019)

Table 2 Species list of macrobenthos (2019)

类群及物种 Group and specie	断面 Section								
	CJD1	CJD2	CJD3	CJD4	CJD5	CJD6	CJD7	CJD8	CJD9
节肢动物门 Arthropoda									
甲壳纲 Crustacea Crustacea Crustacea									
斑点拟相手蟹 <i>Parasesarma pictum</i>	±			±	-	±			
粗腿厚纹蟹 <i>Pachygrapsus crassipes</i>							-	-	-
光辉圆扇蟹 <i>Sphaerozius nitidus</i>									+
隆线拟闭口蟹 <i>Paracleistostoma cristatum</i>	+		+						
谭氏泥蟹 <i>Llyoplax deschampsii</i>	-	+	±	±	±	±			
无齿相手蟹 <i>Sesarma dehaani</i>	±	±	±	±	±	-			
寄居蟹 <i>Paguroidea</i> sp.								-	-
海蟑螂 <i>Ligia exotica</i>	±						-		-
螺赢蜚属 <i>Corophium</i> sp.			+						
钩虾 sp. <i>Gammarus</i> sp.							+		+
腔齿海底水虱 <i>Dynoides dentisinus</i>									+
日本圆柱水虱 <i>Cirolana japonensis</i>							+		
腹侧凹盖鳃水虱 <i>Idotea ochotensis</i>							-		
日本笠藤壶 <i>Tetraclita japonica</i>							-	-	±
鳞笠藤壶 <i>Tetraclita squamosa</i>		±					-		-
颚足纲 Maxillopoda									
龟足 <i>Capitulum mitella</i>							-	-	+
软甲纲 Malacostraca									
尖额麦杆虫 <i>Caprella penantis</i>							-		+
软体动物门 Granulifusus kiranus									
腹足纲 Gastropoda									
绯拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>	±		±	±	±				
单齿螺 <i>Monodonta labio</i>							-	-	-
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabar</i>						±			
黑凹螺 <i>Chlorostoma nigerrima</i>							-		±
尖锥拟蟹守螺 <i>Cerithidea largillierti</i>	±					±			
甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>									-
覆瓦小蛇螺 <i>Serpulorbis imbricata</i>									±
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i>							+	-	+
小结节滨螺 <i>Nodilittorina exigua</i>							-	-	-
中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>				+					
中间拟滨螺 <i>Littorinopsis intermedia</i>		-							
紫游螺 <i>Neritina violacea</i>	+	±							
日本菊花螺 <i>Siphonaria japonica</i>							+		

续表

类群及物种 Group and specie	断面 Section								
	CJD1	CJD2	CJD3	CJD4	CJD5	CJD6	CJD7	CJD8	CJD9
嫁蛾 <i>Cellana toreuma</i>							±	-	-
双壳纲 Bivalvia									
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	+	-							
河蚬 <i>Cobricula flaminca</i>			±						
近江牡蛎 <i>Ostrea rivularis</i>		±					-		
棘刺牡蛎 <i>Saccostrea echinata</i>								-	
中国绿螂 <i>Glauconome chinensis</i>					-	+			
矮拟帽贝 <i>Patelloida pygmaea</i>							-	-	+
短石蛭 <i>Lithophaga curtus</i>									+
条纹隔贻贝 <i>Septifer virgatus</i>							±	-	-
紫贻贝 <i>Mytilus galloprovincialis</i>							-		-
多板纲 Polyplacophora									
红条毛肤石鳖 <i>Acanthochiton rubrolineatus</i>							-	-	+
环节动物门 Annelida									
多毛纲 Polychaeta									
花索沙蚕 <i>Arabella iricolor</i>									+
日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i>	-		+				+		
圆锯齿吻沙蚕 <i>Dentinephtys glabra</i>							+		
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	±			±	±	+			
扁模裂虫 <i>Typosyllis fasciata</i>									+
侧口乳蛭虫 <i>Thelepus plagiostoma</i>									+
内刺盘管虫 <i>Hydroides ezoensis</i>									+
巧言虫 <i>Eulalia viridis</i>									+
软背鳞虫 <i>Lepidonotus helotypus</i>									+
岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i>									+
扁形动物门 Platyhelminthes									
平角涡虫 <i>Paraplanocera reticulata</i>									-
刺胞动物门 Cnidaria									
海葵 <i>Actiniaria</i>		-					-	-	-
棘皮动物门 Echinodermata									
紫海胆 <i>Anthocidaris crassispina</i>							-		
脊索动物门 Chordata									
弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i>	±	±	-	-			-		
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>				±					
纽形动物门 Nemertea									
纽虫 <i>Nemertinea</i> sp.						±	+		+

“+”代表定量鉴定种类,“-”代表定性鉴定种类,“±”代表定量、定性均鉴定出的种类

2.2 生物密度和生物量

崇明东滩、南汇边滩、嵎山岛 3 个监测区域潮间带底栖生物密度和生物量如表 3 所示。生物密度和生物量均值均为嵎山岛潮间带最高,崇明东滩生物密度低于南汇边滩,但生物量高于南汇边滩。

崇明东滩和南汇边滩均为淤泥质潮滩,但生物密度和生物量的分布具有较大不同(图 2)。崇明东滩潮间带生物密度和生物量分布均为高潮区>低潮区>中潮区,南汇边滩生物密度为中潮区>低潮区>高潮区,生物量则为高潮区>中潮区>低潮区。南汇边滩高潮区生物量远高于中、低潮区的原因是南汇南和南汇中断面高潮区监测到较高生物量的无齿相手蟹,其生物量占到南汇边滩 3 条断面高潮区总生物量的 60.7%。

表 3 长江口各区域潮间带底栖生物密度和生物量统计表

Table 3 The macrobenthos density and biomass in intertidal zone of Changjiang River Estuary

区域 Intertidal zone	生物密度 Density/(个/m ²)		生物量 Biomass/(g/m ²)	
	均值 Average	范围 Range	均值 Average	范围 Range
崇明东滩 CM	96.4	72.0—133.3	68.42	47.32—110.41
南汇边滩 NH	160.4	28.0—374.7	45.71	30.10—64.43
嵎山岛 SS	488.9	未检出—76.0	763.72	未检出—1756.33

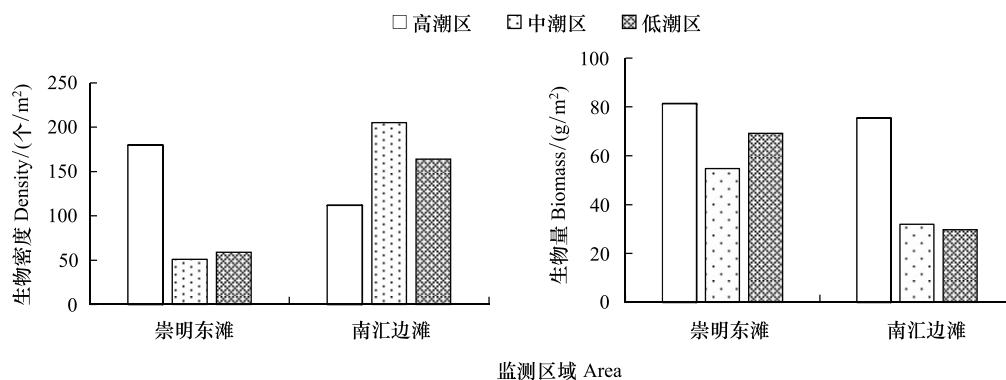


图 2 崇明东滩和南汇边滩各潮区底栖生物平均生物密度和生物量分布

Fig.2 Average density and biomass of macrobenthos in high, middle and low tide zone of Chongming eastern shoal and Nanhui nearshore

嵎山岛岩相潮间带生物密度为低潮区最高,生物量则为中潮区最高(图 3)。嵎山岛潮间带 3 条断面底栖生物分布差异巨大,大玉湾断面(CJD8)未采集到定量生物样品;后陀湾断面(CJD7)定量监测到底栖生物 8 种,平均生物量 1756.01 g/m²;鳗咀头断面(CJD9)定量监测到底栖生物 22 种,平均生物量 535.05 g/m²。中潮区生物量最高是由于后陀湾中潮区监测到大量日本笠藤壶,其生物量占后陀湾断面生物量的 50%,占到两条断面总生物量的 37.6%。

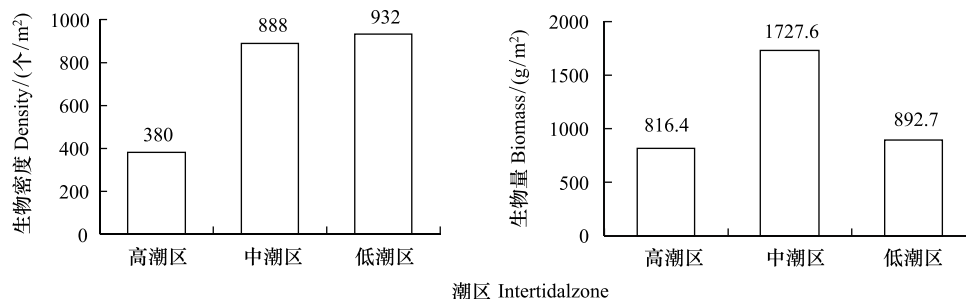


图 3 嵎山岛各潮区底栖生物平均生物密度和生物量分布

Fig.3 Average density and biomass of macrobenthos in high, middle and low intertidal zone of Shengshan Island intertidal zone

2.3 生物多样性

一般来说,种类多样性较高的生物群落,其生态环境较好,生物群落有较好的稳定性、较强的抗变能力和修复能力。以站位生物为单元统计 H' 、 J' 、 d 3 项指数,获得各断面各项指数均值见图 4。从图中可以看出,崇明和南汇共 6 条泥相断面总体上种类组成多样性不高,可能与长江口环境复杂多变有关。其中,CJD1 断面的 H' 、 J' 最大, d 也大,该断面生物多样性最高,CJD6 和 CJD5 断面也较高,CJD2 断面多样性低;嵎山 CJD9 基岩断面的 3 项指数均显著大于 CJD7 断面,该断面生物多样性远高于 CJD7 断面。3 个潮区多样性比较分析,高潮区多样性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为 1.19、0.62、0.56,中潮区分别为 1.57、0.71、0.96,低潮区分别

为 1.67、0.70 和 0.93,总体上低潮区生物多样性优于中潮区和高潮区。

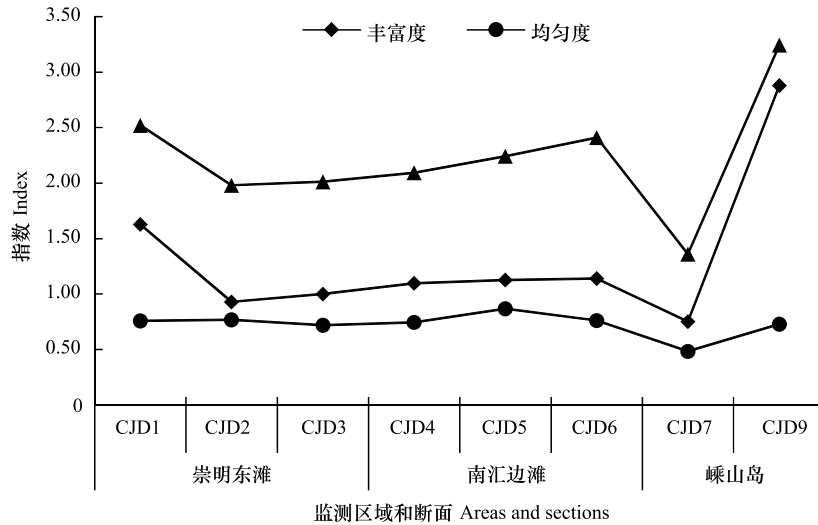


图 4 长江口潮间带各断面底栖生物多样性指数统计表

Fig.4 The biodiversity indexes of every section in intertidal zone of Changjiang River Estuary

对崇明东滩和南汇边滩 6 条泥相潮间带断面各潮区多样性指数进行统计(图 5),低潮区多样性指数和丰富度指数最高,中潮区均匀度指数最高,高潮区的多样性指数和丰富度指数均最低。相对而言,低潮区生物多样性总体优于中潮区,中潮区略好于高潮区。

对嵛山岛后陀湾和鳗咀头岩相断面各潮区多样性指数进行统计(图 6),中潮区的多样性指数、均匀度和丰富度均为最高,低潮区次之,高潮区最差,总体生物多样性为中潮区优于低潮区,优于高潮区。

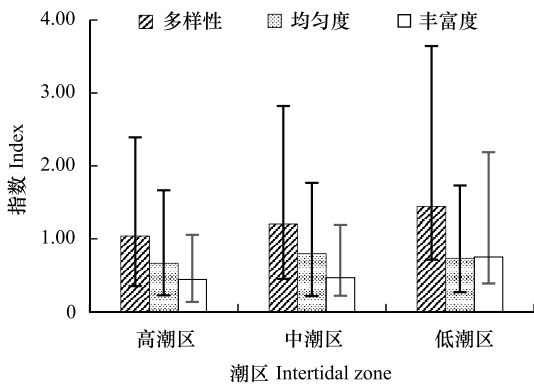


图 5 崇明东滩与南汇边滩各潮区多样性指数比较

Fig.5 The average biodiversity indexes of macrobenthos in high、middle and low intertidal zone of Chongming eastern shoal and Nanhui nearshore

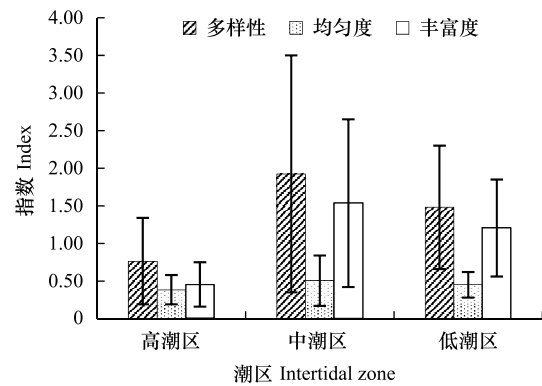


图 6 嵛山岛各潮区多样性指数比较

Fig.6 The average biodiversity indexes of macrobenthos in high、middle and low intertidal zone of Shengshan Island intertidal zone

2.4 群落结构分析

以断面底栖生物种类和密度绘制 Bray-Curtis 相似性系数聚类树状图(图 7),依据分析结果长江口潮间带明显分为两个大群组,第 1 组为崇明东滩、南汇边滩共 6 条断面,为泥相断面;第二组为嵛山后陀湾和嵛山鳗咀头断面,为岩相断面,证明不同栖息环境是影响生物群落分布的主要影响因素之一。以各断面高、中、低潮区采样点绘制 Bray-Curtis 相似性系数聚类树状图(图 8),以相似度大于 50%来划分,发现高潮区站位成群或

与个别中潮区站位成群,低潮区站位成群或与个别中潮区站位成群。嵎山潮间带可以划分为 3 个小群组,分别为(1)后陀湾高、中潮区和鳗咀头高潮区,(2)鳗咀头中、低潮区,(3)后陀湾低潮区。崇明东滩和南汇边滩潮间带可以划分为 8 个小群组,分别为(1)南汇中断面中、低潮区和南汇北断面中潮区,(2)南汇北断面低潮区和崇明中断面中潮区,(3)崇明南断面低潮区和南汇南断面低潮区,(4)南汇南断面高、中潮区,崇明南断面高、中潮区,(5)崇明北断面、南汇北断面和南汇中断面高潮区,(6)崇明北断面中潮区、崇明中断面高潮区;(7)崇明北断面低潮区和(8)崇明中断面低潮区虽在一个群组,但相似度低于 40%。可见高、中、低潮区的分布有较大差异,表明潮汐也是影响潮间带大型底栖生物群落结构的主要因子。

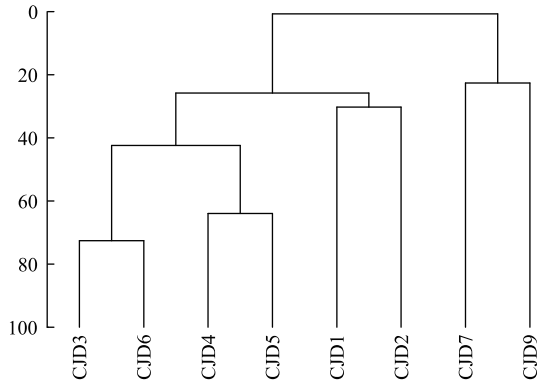


图 7 各断面相似性系数聚类树状图

Fig.7 Cluster analysis of macrozoobenthic communities from every section

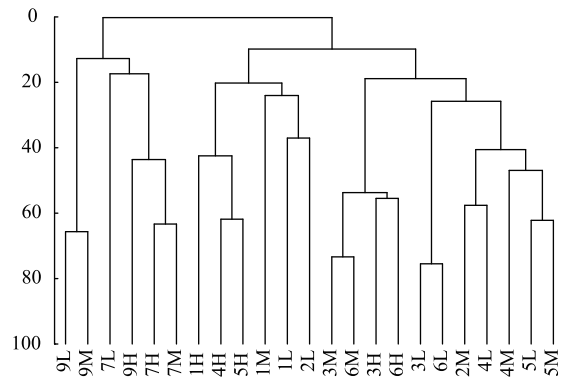


图 8 各站点相似性系数聚类树状图

Fig.8 Cluster analysis of macrozoobenthic communities from every site

采用 Bray-Curtis 相似系数转换距离系数绘制非度量多维标度(MDS)图,以断面为单位 MDS 图展示的群落结构分布与相应的 Bray-Curtis 相似性系数聚类树状图结论一致(图 9),分为泥相潮间带和岩相潮间带两个清晰的群组,Stress 值 0.01,CJD3 和 CJD6 相似性最高,几乎重合。以各断面高、中、低潮区采样点为单位绘制的 MDS 图(图 10),Stress 值 0.05,可以较清晰的体现高、中、低潮区的差异,与图 8 相似性聚类分析结果可相互验证。

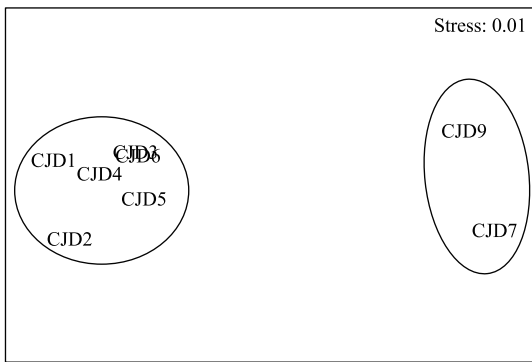


图 9 各断面非度量多维标度图

Fig.9 Non-metric multidimensional scaling of macrozoobenthic communities from every section

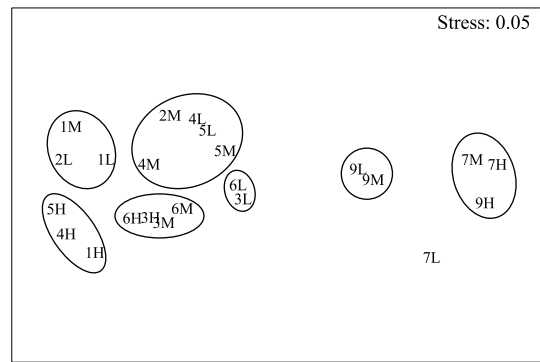


图 10 各站点 MDS 图

Fig.10 Non-metric multidimensional scaling of macrozoobenthic communities from every sites

2.5 多年变化趋势分析

对崇明东滩(CJD1—CJD3)、南汇南断面(CJD4)、嵎山后陀湾断面(CJD7)的近 30 年监测资料进行统计

分析,评价潮间带底栖生物变化趋势。

2.5.1 崇明东滩

1990—2019年8月,崇明东滩潮间带底栖生物种类数变化范围11—48种(图11),平均23种。种类数按峰谷分布可分成3个时段,1990年监测到48种;2000—2009的10年间种类变化范围11—33种,平均23种,总体趋势震荡上升;2010—2019年的10年间种类数变化范围16—29种,平均21种,总体趋势震荡下降。

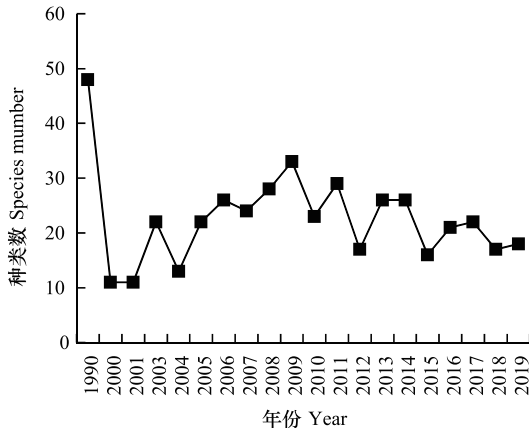


图11 崇明东滩潮间带底栖生物种类数变化

Fig.11 Variation of species numbers in CM from 1990 to 2019

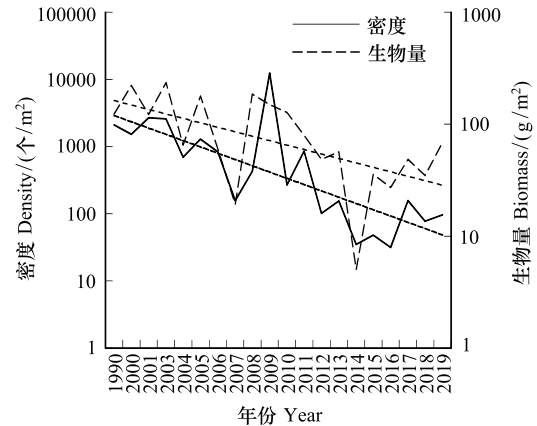


图12 崇明东滩潮间带底栖生物密度和生物量变化情况

Fig.12 Variation of benthos density and biomass in CM from 1990 to 2019

崇明东滩潮间带底栖生物密度与生物量波动较大(图12),近30年生物密度范围为31—12352个/ m^2 ,2009年在崇明东滩北断面低潮区采集到大量的中间拟滨螺(49600个/ m^2)和光滑狭口螺(54400个/ m^2),导致2009年生物密度极大值,其他年份密度均值为741个/ m^2 。生物量范围为5.03—235.04 g/ m^2 ,各年份平均生物量为94 g/ m^2 。对各年份数据添加指数型趋势线,发现近30年来生物量与生物密度总体均呈现下降的趋势,生物量从2003年最高点震荡下降至2014年最低点,2014年后有所反弹,生物密度变化趋势基本一致。

2.5.2 南汇南断面

1993—2019年,南汇南断面(CJD4)潮间带底栖生物种类数变化范围3—24种(图13),平均10种,2016年8月种类数最低,2009年8月份最高。1993—2009年略显上升趋势,2009年后略显下降趋势。总体上南汇南断面潮间带底栖生物种类数不丰富。

1993—2019年,南汇南断面生物密度与生物量波动较大(图14)。生物密度范围为7—4628个/ m^2 ,各年份平均密度为449个/ m^2 。生物量范围为1.9—2526 g/ m^2 ,各年份平均生物量为210 g/ m^2 。2009年南汇南断面高潮区采集到大量泥螺,导致该年份生物量均值的极大值。生物量与生物密度总体无明显变化规律,均呈现大幅震荡,2011年以后生物密度明显低于1993—2011年。生物量分别于2002年2009年有两个峰值,2007年为最低值,其余年份在一定范围内波动。2011年以后生物量和生物密度变化趋势基本一致。

2.5.3 崂山后陀湾断面

1990—2019年,崂山后陀湾断面(CJD7)潮间带底栖生物种类数变化范围15—84种(图15),各年份平均33种,2015年8月鉴定的种类数最低,2009年8月份最高。各年份种类数波动较大,但总体上呈现下降的趋势。

崂山后陀湾断面生物密度与生物量变化趋势总体一致(图16),变化趋势基本呈反“S”型,1990—2001年生物密度和生物量逐渐上升,2001—2014年缓慢下降,2014年以后有所回升。生物密度范围为124—22720个/ m^2 ,各年份平均密度为2530个/ m^2 。生物量范围为183—11818 g/ m^2 ,各年份平均生物量为3230 g/ m^2 。

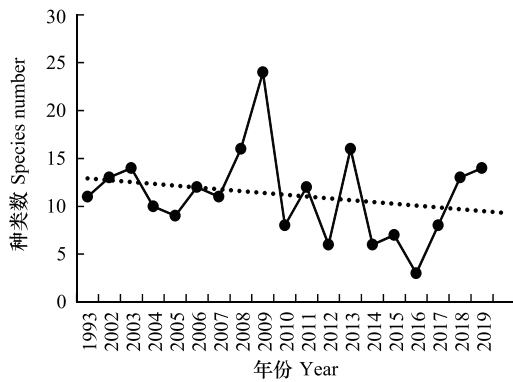


图 13 南汇南断面潮间带底栖生物种类数变化

Fig.13 Variation of species numbers in NH from 1993 to 2019

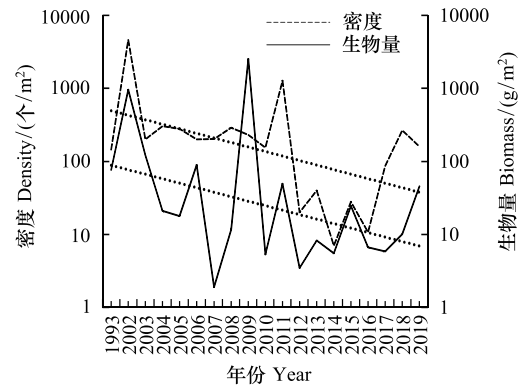


图 14 南汇南断面潮间带底栖生物密度和生物量变化

Fig.14 Variation of benthos density and biomass in NH from 1993 to 2019

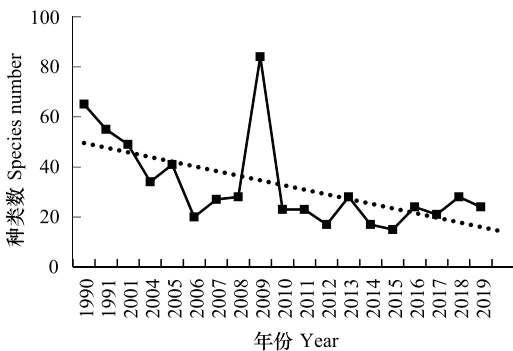


图 15 嵎山后陀湾潮间带底栖生物种类数变化

Fig.15 Variation of benthos species numbers in Houtuo bay section of SS from 2000 to 2019

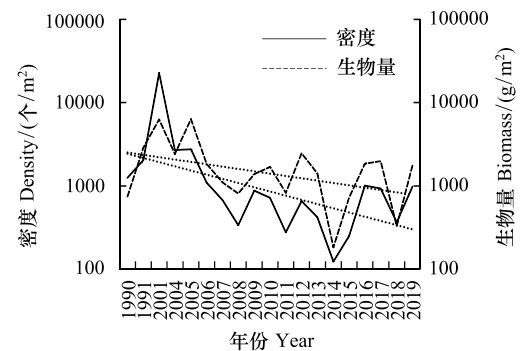


图 16 嵎山后陀湾潮间带底栖生物密度和生物量变化趋势

Fig.16 Variation of benthos density and biomass in Houtuo bay section of SS from 1990 to 2019

3 讨论

3.1 种类组成特征

崇明东滩和南汇边滩分别位于长江口南支主泓南北两侧,受潮汐作用影响,盐度变化明显。各断面的位置分布上,崇明东滩北断面靠近北支水域,南断面靠近南支水域,北、中、南断面盐度依次降低,南汇边滩北、中、南断面则盐度依次升高。盐度是影响底栖生物分布的重要非生物因子^[27],栖息于河口泥相潮间带的生物表现出河口低盐种、半咸水种和淡水种共存的特点。河蚬、光滑狭口螺等是生态幅较宽的淡水种,主要生于活河湖水域,也可生活在河口低盐潮间带区域,在崇明南断面淡水区域和南汇南断面低盐区域均有分布;缢拟沼螺、谭氏泥蟹和无齿相手蟹、丝异须虫等典型河口咸淡水种类在大部分断面均有分布;尖锥拟蟹守螺、紫游螺等咸水种类主要分布在崇明北和南汇南断面等盐度较高区域,南汇南断面还分布有少量广盐性日本刺沙蚕。

嵎山岛常年盐度较为稳定,生物类群多由生命周期长的固着海洋生物组成,如日本笠藤壶和条纹隔贻贝等。后陀湾和鳗咀头断面处于外海开敞性岩岸,风浪较大,生物的垂直分布明显表现出外海高盐特征,且分带现象明显。高潮区分布有矮拟帽贝、条纹隔贻贝、嫁蟻、日本笠藤壶、小结节滨螺、龟足、粗腿厚纹蟹、红条毛肤石鳖、紫贻贝等。中潮区生物种类最多,后陀湾断面中潮区有明显的日本笠藤壶生物带,扁模裂虫、短石蛭、单齿螺、条纹隔贻贝、海葵、海蟑螂、疣荔枝螺、粗腿厚纹蟹、紫贻贝、红条毛肤石鳖、近江牡蛎、黑凹螺、寄居蟹、棘刺牡蛎、甲虫螺、覆瓦小蛇螺、黑凹螺、尖额麦杆虫、钩虾、腔齿海底水虱等在中潮区也有分布。低潮区主要种类有条纹隔贻贝、日本笠藤壶、尖额麦杆虫、钩虾、软背鳞虫、疣荔枝螺、海葵、腹侧凹盖鳃水虱等。

3.2 潮位与底质类型对潮间带底栖生物分布的影响

不同潮区大型底栖动物的分布与其本身的生物学特性有关,泥相潮间带高潮区以相手蟹属 *Sesarma* 和拟沼螺属 *Assiminea* 等种类为主,是对缺水环境适应能力较强的半陆生种类,这些个体平均生物量大,致使高潮区生物量较高;低潮区的种类对缺水适应能力较弱,主要有多毛类和双壳类,丰度和生物量均较低。崇明东滩高潮区生物量和生物密度远高于中、低潮区,高潮区优势种为缙拟沼螺、谭氏泥蟹、紫游螺、无齿相手蟹等。南汇边滩高潮区生物量亦远高于中、低潮区,因高潮区监测到的大量无齿相手蟹,其生物量占到南汇边滩 3 条断面高潮区总生物量的 60.7%。崇明东滩中断面高潮区由于修建人工建筑,出现了鳞笠藤壶等岩生种类。

岩相潮间带与淤泥质明显不同,嵎山岛潮间带中、低潮区生物密度比较接近;生物量则高、低潮区比较接近,由于后陀湾中潮区生长大量日本笠藤壶,导致中潮区生物量远高于高、低潮区。嵎山海域位于波浪作用强烈的敞开性海域,中潮区的优势种为耐受波浪冲积的日本笠藤壶,分布特征与嵎山岛潮间带相似^[28]。嵎山岛潮间带与邻近的 6 个海岛(嵎山、衢山、岱山、六横、舟山、朱家尖)相比(表 4),高、中、低潮区的底栖生物生物量均远高于 6 个海岛潮间带的相应平均值;除高潮区外,中、低潮区生物密度也远高于 6 个海岛潮间带的相应平均值^[28],生物量与生物密度的分布规律也不同,可能由于嵎山岛位于海域最东侧,远离大陆,受人类影响最小。

表 4 嵎山岛潮间带底栖生物密度、生物量与邻近 6 岛的比较

Table 4 Compared macrobenthos density and biomass between SS intertidal zone and islands nearby

海岛 Island intertidal zone	生物量 Biomass/(g/m ²)			生物密度 Density/(个/m ²)		
	高潮区 High	中潮区 Middle	低潮区 Low	高潮区 High	中潮区 Middle	低潮区 Low
嵎山 SS	816	1727	892	380	888	932
邻近 6 岛均值 ^[28] Six islands nearby	194.79	77.30	16.48	478	91	101

3.3 潮间带底栖生物优势种变化

长江口 3 个调查区域潮间带底栖生物优势种类组成变动较大。2014—2019 年,崇明东滩、南汇边滩和嵎山岛出现的优势种类分别为 15、9 和 12 种,均未发现同一区域历年均出现的优势种。崇明东滩优势种出现频率不低于 50% 的仅 1 种,为谭氏泥蟹(83.3%),谭氏泥蟹和缙拟沼螺逐渐成长为群落的主要优势种类;南汇边滩优势种出现频率不低于 50% 的仅 2 种,为光滑狭口螺(83.3%)和谭氏泥蟹(50.0%),光滑狭口螺在群落种优势地位呈现较大的波动,2015 和 2018 年为最主要的优势种类,但 2019 调查的主要优势种类为中国绿螂和谭氏泥蟹;嵎山岛优势种出现频率不低于 50% 的亦为 2 种,为紫贻贝(83.3%)和鳞笠藤壶(50.0%),紫贻贝在群落中的优势度呈现降低趋势,日本笠藤壶逐渐演替为主要的优势种类。调查资料表明,2004—2006 崇明东滩潮间带优势度前 3 的优势种为硬爪始根钩虾、拟沼螺和谭氏泥蟹^[5];2011 年崇明东滩调查优势种主要为光滑狭口螺、谭氏泥蟹、焦河篮蛤和角形环棱螺 *Bellamya angularia*,优势度较高,均超过 0.1,其中角形环棱螺在其他年份未发现;2015 年崇明东滩优势度前 3 的优势种为中华拟蟹守螺、谭氏泥蟹和缙拟沼螺;2019 年该区域优势度前 3 为缙拟沼螺、谭氏泥蟹和紫游螺,崇明东滩和南汇边滩潮间带出现频率最高的的优势种仅 1 种为谭氏泥蟹。滩涂生物群落的演替,也直接反映了长江口多元的人类活动干扰等因素引起的滩涂生境的变化。

3.4 干扰对群落结构历史演变的影响

本文对长江口 3 个区域的潮间带近 30 年底栖生物状况演变趋势进行统计,发现崇明东滩、南汇南断面和嵎山后陀湾断面的生物密度和生物量均呈下降的趋势,其中崇明东滩和嵎山后陀湾属于持续下降,南汇南断面为剧烈震动下降。生境变化和人为干扰是造成底栖动物群落密度和生物量锐减、生物多样性降低的主要原因^[27]。Hobbie^[29]梳理的人类活动对河口造成的影响中对河口潮间带底栖生物造成直接影响的有 4 点,包括生境破坏、流域水沙变化、渔业资源过度开发及外来物种物种入侵等。这些影响因素在长江口均有明显表现,长江口区域潮滩湿地生境和生物多样性变化主要受以下人类活动的影响:

(1) 潮滩圈围与冲淤变化。1989—2007 年,长江口总共匡围了 448.24 km² 边滩湿地,主要分布在崇明东滩、南汇边滩和横沙东滩等区域,造成长江口潮间带湿地生境损失明显^[16]。近 30 年来,长江口崇明东滩湿地、横沙东滩湿地和南汇边滩湿地由于促淤围垦,不断向东扩张。但 2002—2004 年间由河口浅滩由淤积转为侵蚀 38.10 km²,边滩湿地总体转为侵蚀趋势明显^[16]。受长江流域来沙减少、长江口深水航道建设和促淤造地等工程设施影响,湿地资源的增生能力受限。多年来长江口潮滩部分区域处于不稳定状态,对潮间带底栖生物多样性应有一定影响。

(2) 资源过度开发。与历史资料相比,崇明东滩一些经济物种如彩虹明樱蛤、泥螺等已不再是优势种且丰度很低。1980 年代资源量较大的石蟮目前几近绝迹,1990 年代中后期还比较丰富的泥螺和缢蛭目前的资源量也急剧下降^[8]。其资源量的下降可能与环境变迁有关外,人为过度捕捞更可能是资源量下降的原因之一^[14]。1990s 嵎山后陀湾、大玉湾和鳗咀头断面的生物密度、生物量并无明显差异^[30],2004 年大玉湾断面生物密度和生物量分别降至 1990s 的 50% 和 80% 左右,2015 年又进一步快速下降到 6% 和 3%,2016 年以后大玉湾断面定量样品均未检出。大玉湾位于嵎山岛西部与枸杞岛的夹角内部,风浪最小,断面附近有嵎泗岛上唯一的沙滩,是岛上旅游资源较丰富的区域。潮间带底栖生物资源量减少应与开发活动和人类采捕有一定关联。

(3) 外来物种入侵。由于引种和自然扩散导致互花米草泛滥,崇明东滩和南汇边滩均有大量互花米草分布^[19,20]。在长江口崇明岛和九段沙湿地,互花米草入侵后形成的单优群落拥有发达的地下结构,这会改变土壤的物理和化学性质,这些变化会驱动盐沼中底栖无脊椎动物群落特征的改变^[22]。互花米草入侵海三棱藨草群落后,大型底栖无脊椎动物群落的物种组成没有显著的不同,但是大型底栖无脊椎动物的多样性有显著降低^[21-22]。

(4) 环境持续恶化。近 30 年来,长江口海域持续加重的污染和富营养化状态也可能对边滩湿地生态系统造成一定的影响^[18],水体富营养化会影响底栖动物的群落结构^[31-32],底栖动物的各种特征参数都与有机质污染源在时间和空间上存在明显关系^[33]。

4 小结

长江口 3 个监测区域潮间带共鉴定出底栖生物 9 门 57 种,底栖生物密度均值为 248.6 个/m²,生物量均值为 292.6 g/m²。多样性指数(H')均值为 1.98,均匀度(J')均值为 0.73,丰富度(d)均值为 0.91。栖息环境(基岩海岸、淤泥海岸)和潮汐均是影响底栖生物群落结构的重要因素。

根据近 30 年的监测结果,崇明东滩潮间带底栖生物种类数变化总体平稳,生物量与生物密度均呈现下降的趋势;南汇南断面潮间带底栖生物种类数变化波动较大,生物量与生物密度震荡下降,2011 年以后生物密度明显低于 1993—2011 年;嵎山后陀湾潮间带底栖生物种类数总体呈下降趋势,生物密度与生物量变化趋势基本呈“S”型,1990—2004 年生物密度和生物量逐渐上升,2004—2014 年缓慢下降,2014 年以后有所回升。

参考文献 (References):

- [1] Blasco J, Drake P, Sole M. An integrative approach using benthos to evaluate environmental quality of the Sancti-Petri saltmarsh area (sw. Iberian peninsula). *Marine Environmental Resear zh*, 2008, 66(1): 200-205.
- [2] 章飞军,童春富,谢志发,刘文亮,高伟,陆健健. 长江口潮间带大型底栖动物群落演替. *生态学报*, 2007, 27(12): 4944-4952.
- [3] 余骥,马长安,吕巍巍,田伟,张铭清,赵云龙. 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.
- [4] 安传光,赵云龙,吕敢堂,吕敢堂,陈亚瞿. 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(s1): 52-58.
- [5] 安传光. 长江口潮间带大型底栖动物群落和生态学研究[D]. 上海:华东师范大学, 2010.
- [6] 严娟. 长江口潮间带大型底栖动物生态学研究[D]. 上海海洋大学, 2012.
- [7] 刘文亮. 长江河口大型底栖动物及其优势种探讨[D]. 上海:华东师范大学, 2007.

- [8] 王金辉, 徐韧, 秦玉涛, 孙亚伟, 刘材材. 长江口基础生物资源现状及年际变化趋势分析. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(5): 821-828.
- [9] 杨永兴, 吴玲玲, 赵桂瑜, 杨长明. 上海市崇明东滩湿地生态服务功能, 湿地退化与保护对策. 现代城市研究, 2004, 19(12): 8-12.
- [10] 安传光, 赵云龙, 林凌, 李嘉尧, 崔丽丽, 马春艳. 崇明岛潮间带夏季大型底栖动物多样性. 生态学报, 2008, 28(002): 577-586.
- [11] 朱晓君, 陆健健. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, 2003, 24(5): 355-361.
- [12] 罗民波, 沈新强, 徐兆礼, 王云龙, 朱江兴. 长江口北支水域潮间带大型底栖动物研究. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 43-47.
- [13] 陶世如, 姜丽芬, 吴纪华, 赵斌, 李博. 长江口横沙岛、长兴岛潮间带大型底栖动物群落特征及其季节变化. 生态学杂志, 2009(07): 135-140.
- [14] 叶属峰, 陆健健. 长江口泥螺的种群特征及其生态学意义. 长江流域资源与环境, 2001, 10(3): 216-222.
- [15] 吴玲玲, 陆健健, 童春富, 刘存岐. 长江口湿地生态系统服务功能价值的评估. 长江流域资源与环境, 2003, 012(005): 411-416.
- [16] 张正龙, 徐韧, 范海梅. 近 20 a 以来长江口生态监控区边滩湿地变化的研究. 海洋环境科学, 2008, 27(S1): 5-8.
- [17] 赵云龙, 安传光, 林凌, 段晓伟, 曾错, 崔丽丽. 放牧对滩涂底栖动物的影响. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1086-1090.
- [18] 杨颖, 徐韧. 近 30a 来长江口海域生态环境状况变化趋势分析. 海洋科学, 2015, 316(10): 101-107.
- [19] 王睿照. 互花米草入侵对崇明东滩盐沼底栖动物群落的影响[D]. 华东师范大学, 2010.
- [20] 刘月明. 中国滨海湿地互花米草入侵遥感监测及变化分析[D]. 中国科学院大学, 2018.
- [21] 王卿, 安树青, 马志军, 赵斌, 陈家宽, 李博. 入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理. 植物分类学报, 2006, 44(5): 559-588.
- [22] 陈中义, 付萃长, 王海毅, 李博, 吴纪华, 陈家宽. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响. 湿地科学, 2005, 3(1): 1-7.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB17378.7—2007 海洋监测规范. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [24] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲎 shen 渔场的关系. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB12763.9—2007 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [26] 周红, 张志南. 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(自然科学版), 2003(01): 63-69.
- [27] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 吴惠仙. 舟山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性. 生态学报, 2011, 31(20): 5865-5874.
- [28] 贾海波, 胡颖琰, 唐静亮. 舟山群岛夏季潮间带大型底栖生物群落生态学研究. 中国环境监测, 2013, 29(04): 64-68.
- [29] Hobbie, J.E., Estuarine Science: A Synthetic Approach to Research and Practice. Island Press, Washington, DC, 2000.
- [30] 尤仲杰, 洪君超, 王一农, 徐韧, 李建忠, 曾建胜. 舟山嵎山岛岩相潮间带生物分布特征. 宁波大学学报: 理工版, 1997(01): 64-71.
- [31] 刘录三, 郑丙辉, 李宝泉, 蔡文倩, 韩庆喜, 林岩璇. 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(中文版), 2012, 34(3): 134-145.
- [32] BEUKEMA J J. Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. Marine Biology, 1991, 111(2): 293-301.
- [33] PEARSON T H, ROSENBERG R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanography and Marine Biology, An Annual Review, 1978, 16: 229-311.