

长江口及毗邻海域大型底栖动物的 空间分布与历史演变

刘录三¹, 孟 伟^{1,*}, 田自强¹, 蔡玉林²

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 山东科技大学, 山东 青岛 266510)

摘要: 于 2005 ~ 2006 年进行的 4 个航次调查中, 分别对长江口及毗邻海域进行了大型底栖动物取样工作。4 个航次共发现大型底栖动物 330 种, 其中包括软体动物 122 种, 多毛类 83 种, 甲壳动物 67 种, 棘皮动物 23 种, 底栖鱼类 28 种, 以及其它类群 7 种。调查区内大型底栖动物的平均栖息密度为 (146.4 ± 22.3) 个/ m^2 , 平均生物量为 (12.8 ± 2.3) g/ m^2 , 平均香农指数、丰富度指数与均匀度指数分别为 1.72 ± 0.16 、 1.37 ± 0.19 、 0.64 ± 0.04 。研究表明, 调查区内的底栖生物自西向东、由近岸向外海大致可分为 3 个等级: 在最西侧的口内水域与杭州湾, 底栖生物种类组成最为单调, 生物多样性指数最低, 群落结构极为脆弱; 在紧邻该底栖生物贫乏带的东侧, 也就是口外水域与舟山海区, 底栖生物种类组成呈现复杂化, 生物多样性指数较高, 群落结构显著好于口内水域及杭州湾; 在调查海域东南侧的近海区, 底栖生物的种类组成最为复杂, 生物多样性指数最高, 群落结构最为稳定。近半个世纪以来, 长江口冲淡水区大型底栖动物的总生物量未出现明显变化, 其值在 20 g/ m^2 左右变动, 但各生态类群的优势地位发生了显著更替。个体较小、生长周期较短的多毛类取代个体较大、生长周期较长的棘皮动物, 成为目前冲淡水区最重要的优势类群。

关键词: 大型底栖动物; 生物多样性; 空间分布; 长江口

文章编号: 1000-0933(2008)07-3027-08 中图分类号: Q178 文献标识码: A

Distribution and variation of macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters

LIU Lu-San¹, MENG Wei^{1,*}, TIAN Zi-Qiang¹, CAI Yu-Lin²

1 Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing, 100012, China

2 Shandong University of Science and Technology, Qingdao, 266510, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3027 ~ 3034.

Abstract: The present distribution of macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters were studied based on the samples collected from 86 stations in four investigations during 2005 ~ 2006. A total of 330 macrobenthic species were identified from the samples, in which, 122 species are members of Mollusca, 83 of Polychaeta, 67 of Crustacea, 23 of Echinodermata, 28 of Pisces and 7 of other groups. The total average abundance of macrobenthos in the research region was (146.4 ± 22.3) ind/ m^2 , the total average biomass was (12.8 ± 2.3) g/ m^2 . The average values of Shannon-Wiener's,

基金项目: 国家“973”资助项目(2002CB412409)

收稿日期: 2007-07-13; 修订日期: 2008-04-01

作者简介: 刘录三(1975 ~), 男, 山东莒县人, 博士, 主要从事水生生态及生物监测研究. E-mail: liuls@craes.org.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengwei@craes.org.cn

致谢: 中国科学院海洋研究所李新正、徐凤山、孙道元、任先秋研究员, 张宝琳、王洪发老师, 以及李宝泉、周进博士, 分别协助室内样品鉴定与海上取样工作, 在此一并致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Basic Research Programs from the Ministry of Science and Technology, China (No. 2002CB412409)

Received date: 2007-07-13; **Accepted date:** 2008-04-01

Biography: LIU Lu-San, Ph. D., mainly engaged in hydrological ecology and biological monitoring. E-mail: liuls@craes.org.cn

Margalef's and Pielou's indices were 1.72 ± 0.16 , 1.37 ± 0.19 and 0.64 ± 0.04 respectively.

According to the distributions of the macrobenthos, the research region can be divided into three subareas from west to east, or from nearshore to offshore. The most westward area, nearshore and the estuarial area, was named Estuary — Hangzhou Bay Subarea, the species composition of the macrobenthos in this subarea was very simple, the indices of biodiversity were very low, implying that the macrobenthic community structure was susceptible. The area east to the Estuary-Hangzhou Bay Subarea, outside of the estuarial area to the Zhoushan Archipelago, covering most of the central part of the research region, was named Outside Estuary — Zhoushan Subarea, the species composition of the macrobenthos in this subarea was more complicated than that in the Estuary — Hangzhou Bay Subarea, the indices of biodiversity were higher, too, indicating that the macrobenthic community structure in this subarea was relatively steady. The most outside of the research region, east to the Outside Estuary — Zhoushan Subarea, was named Offshore Subarea, the species composition of the macrobenthos in this subarea was the most complicated in the research region, the indices of biodiversity were the highest, indicating that the macrobenthic community structure was the most steady.

The historical variation of the distribution of the macrobenthos from the Changjiang Estuary and its adjacent waters was analyzed based on some data during the recent 50 years. The total average biomass of the macrobenthos in the diluted areas showed little variation with its value being near 20 g/m^2 . However, the dominant groups of the macrobenthic community in this area changed distinctly between 50 years ago and the present. The enchinodermata commonly with big body in size and long life cycles dominated significantly fifty years ago, now the polychaeta that usually having small body in size and short life cycles became the most important groups instead.

Key Words: macrobenthos; biodiversity; spatial distribution; Changjiang Estuary

作为水生生态系统的重要组成部分与饵料生物,大型底栖动物种类繁多、食性复杂。它们通过参与碳、氮、硫等元素的生物地化循环,以及影响污染物的迁移转化与沉积物的稳定性,共同维持着生态系统的结构和功能^[1,2]。由此,有关大型底栖动物的生态特征研究受到国内外学术界的广泛关注^[3~10]。

长江口是我国最大的河流入海口,有关长江口底栖生物的大规模调查可追溯到 20 世纪 50 年代末,即 1958 ~ 1960 年开展的第一次全国海洋普查就涉及该海域。在之后几十年时间内,随着一系列研究项目的实施,人们对长江口底栖生物的认识也逐渐深化。但由于学者们所关注的重点各异以及调查船只、采样设备等条件限制,已有研究多局限于口内水域或口外浑浊带等长江口局部水域^[11~15]。本文是 2005 ~ 2006 年 4 个航次共计 86 个站位的综合调查结果,站位覆盖口内水域、杭州湾、舟山海区与 124°E 以西近海区等水域,同时结合相关历史资料,探讨调查区域底栖生物的历史演变情况,为实现海洋生物资源的可持续利用和河口生态系统的健康评价提供基本数据支持。

1 材料和方法

1.1 调查海域及取样方法

于 2005 年 5 ~ 7 月、2005 年 9 月、2005 年 11 月与 2006 年 6 月进行的 4 个航次调查中,分别对长江口内水域、杭州湾、舟山海区等不同水域进行了共计 86 个站位的大型底栖动物样品采集工作,调查水域位于 $29^\circ00' \sim 31^\circ50' \text{N}$ 与 $121^\circ02' \sim 124^\circ02' \text{E}$ 之间(图 1)。

按照《海洋调查规范》^[16],分别进行大型底栖动物定量与定性取样。其中在 2005 年 5 ~ 7 月、2005 年 9 月与 2006 年 6 月调查中采用面积 0.1 m^2 的箱式采泥器取样,每站成功取样 2 次合并为一个定量样品;在 2005 年 11 月调查中使用面积为 0.1 m^2 的静力式采泥器取样。另外在 2005 年 5 ~ 7 月以及 2005 年 11 月调查中,使用 $1.0 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 的阿氏网(Agassiz trawl)对部分站位进行底栖拖网工作,船速为 $1.5 \sim 2.0$ 节,有效拖曳 15 min 后起网取样。所取泥样用孔目为 0.5 mm 的筛网冲洗,标本用 75% 酒精现场固定,在实验室中进行分类鉴定、个体计数以及称重(湿重)等工作。

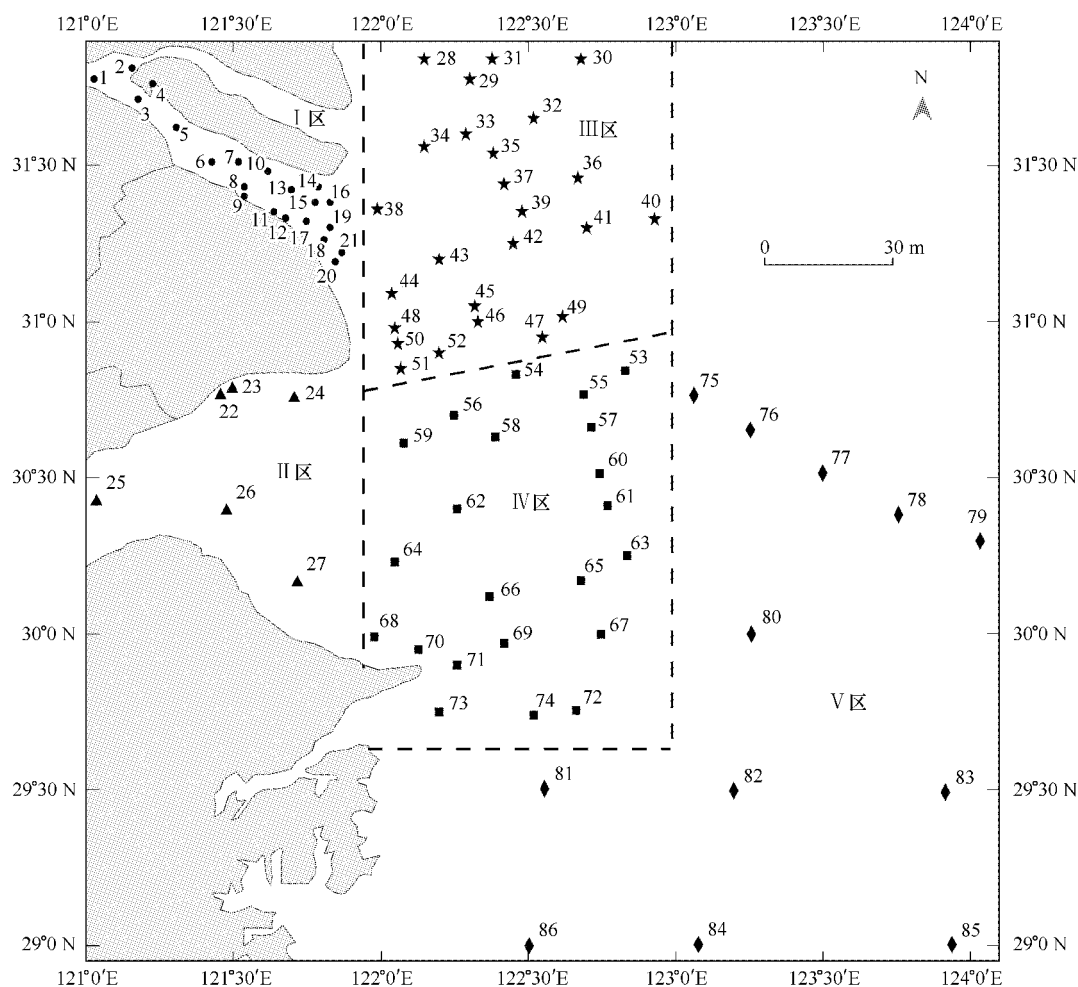


图1 长江口及毗邻海域大型底栖动物调查站位图

Fig. 1 Location of the sampling stations of macrobenthos in the Changjiang Estuary and its adjacent waters

虚线及相应符号指示研究区中的不同亚区 The broken lines and corresponding symbols show the different sub-areas in the research area

I 区 I sub-area; II 区 II sub-area; III 区 III sub-area; IV 区 IV sub-area; V 区 V sub-area

1.2 数据处理和分析

在数据处理上,本研究使用 SPSS 13.0 以及英国普林茅斯海洋研究所开发的 PRIMER 软件^[17]进行分析,涉及的生态指标主要包括物种数、总生物量、栖息密度和 Shannon-Wiener 指数等。本研究还使用 PRIMER 软件绘制调查水域内大型底栖动物的优势度曲线,此时图中的 x 轴是种类依密度重要性的相对种数(对数)排序, y 轴是丰度优势度的累积百分比^[18]。显然,图中位于右下方的曲线代表多样性较高的群落;反之,图中左上方的曲线则代表多样性较低的群落。

此外,本研究利用大型底栖动物的定量采集样品,分析调查水域的底栖生物群落特征。鉴于相近物种在生态系统中通常占据相近的生态位,为了突出底栖生物的生态作用,选择在属级分类水平上进行聚类分析与 MDS 排序,同时剔除调查中无生物出现的站位^[17]。在 PRIMER 软件中首先对底栖生物的丰度数据进行四次方根转换,计算各站位间的 Bray-Curtis 相似性系数,在此基础上采用等级聚类(hierarchical cluster)和非参数多维排序(MDS)等方法进行分析。

为了阐述长江口及毗邻水域大型底栖动物的空间分异规律,按照地理位置与水文条件的不同,本研究将 86 个调查站位划分为 5 个分区进行对比分析。5 个分区依次为:口内水域(I 区)、杭州湾(II 区)、口外水域(III 区)、舟山海区(IV 区)与近海区(V 区),各区分布见图 1。

2 结果和讨论

2.1 大型底栖动物的空间分布特征

2.1.1 种类分布

4 个航次共计采泥站位 85 个(仅杭州湾有一取样站未采泥),拖网站位 40 个。经鉴定,在长江口及其毗邻海域进行的采泥与拖网取样中,共发现大型底栖动物 330 种,其中包括软体动物 122 种,多毛类 83 种,甲壳动物 67 种,棘皮动物 23 种,底栖鱼类 28 种以及其它类群 7 种。

在口内水域(I区,21 站)进行的采泥与拖网取样中,历次调查共发现大型底栖动物 24 种。其中在 12 个站位的拖网作业中获取底栖生物 8 种,平均每站出现 3.8 种,常见种有日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、刻纹蚬蛤(*Corbicula largillierti*)、狭颚绒螯蟹(*Eriocheir leptognathus*)、安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)等,出现率分别为 83.3%、66.7%、66.7%、58.3%。在 21 个站位的采泥作业中获取底栖生物 18 种,平均每站出现 1.7 种,常见种有多鳃齿吻沙蚕(*Nephtys polybranchia*)、背蚓虫(*Notomastus latericeus*)、刻纹蚬蛤等,出现率分别为 47.6%、28.6% 和 28.6%。

在杭州湾(II区,6 站)进行的采泥与拖网取样中,历次调查共发现大型底栖动物 20 种。其中在 4 个站位的拖网作业中获取底栖生物 12 种,平均每站出现 4.8 种,常见种有葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、安氏白虾、凤鲚(*Coilia mystus*)等,出现率分别为 100%、75%、75%。在 5 个站位的采泥作业中获取底栖生物 9 种,平均每站出现 2 种,各站位间的种类差异显著,除星虫(Sipunculidae)在其中两站位发现有分布外,其它物种均于单一站位出现,出现率极低。

在口外水域(III区,25 站)进行的采泥与拖网取样中,历次调查共发现大型底栖动物 149 种。其中在 11 个站位的拖网作业中获取底栖生物 64 种,平均每站出现 14.1 种,常见种有葛氏长臂虾、安氏白虾、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)等,出现率分别为 81.8%、63.6%、54.5%、45.5%。在 25 个站位的采泥作业中获取底栖生物 100 种,平均每站出现 7.4 种,常见种有不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、丝异蚓虫(*Heteromastus filiformis*)、秀丽织纹螺(*Nassarius festivus*)、中蚓虫(*Mediomastus californiensis*)等,出现率分别为 32%、28%、20% 和 16%。

在舟山海区(IV区,22 站)进行的采泥与拖网取样中,历次调查共发现大型底栖动物 126 种。其中在 13 个站位的拖网作业中获取底栖生物 56 种,平均每站出现 10.5 种,常见种有中国毛虾(*Acetes chinensis*)、细螯虾(*Leptochela gracilis*)、葛氏长臂虾、日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)等,出现率分别为 84.6%、61.5%、53.8%、46.2%。在 22 个站位的采泥作业中获取底栖生物 76 种,平均每站出现 7.1 种,常见种有圆筒原核螺(*Eocylichna cylindrella*)、不倒翁虫、丝异蚓虫、红狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)等,出现率分别为 31.8%、27.3%、27.3% 和 22.7%。

近海区(V区,12 站)在调查中未进行拖网作业,该区域 12 个站位的采泥作业中获取大型底栖动物 176 种,平均每站出现底栖生物 26.9 种,常见种有胶州湾角贝(*Episiphon kiaochoowanense*)、东方缝栖蛤(*Hiatella orientalis*)、小指阳遂足(*Amphiura digitula*)、尖叶长手沙蚕(*Magelona cincta*)等,出现率分别为 75%、58.3%、50%、50%。

2.1.2 数量特征

整个调查范围内大型底栖动物的平均栖息密度为(146.4 ± 22.3)个/ m^2 ,平均生物量为(12.8 ± 2.3)g/ m^2 ,平均香农指数、丰富度指数与均匀度指数分别为 1.72 ± 0.16 、 1.37 ± 0.19 、 0.64 ± 0.04 。在空间分布上,不同分区间大型底栖动物的生态特征差异显著(表 1)。以栖息密度为例,口内水域与杭州湾的平均值仅为 25.5 个/ m^2 与 20.1 个/ m^2 ,口外水域与舟山海区的平均值分别为 173.7 个/ m^2 与 128.4 个/ m^2 ,而近海区栖息密度的平均值则达到了 386.3 个/ m^2 。总体来说,5 个分区的底栖生物自西向东、由近岸向外海大致可分为 3 个等级:在最西侧的口内水域与杭州湾,底栖生物种类组成最为单调,生物量、栖息密度以及生物多样性指数最低,显示该区域底栖生物群落最为脆弱;在紧邻该底栖生物贫乏带的东侧,也就是口外水域与舟山海

区,底栖生物种类组成呈现复杂化,生物量、栖息密度以及生物多样性指数较高;而在调查海域东南侧的近海区,除平均生物量外,底栖生物的种类组成最为复杂,栖息密度、生物多样性指数最高。

表 1 不同分区大型底栖动物的生态特征

Table 1 Ecological characteristics of macrobenthos of different subareas in the Changjiang Estuary

分区 Sub-area	生物量 Biomass(g/m ²)	栖息密度 Abundance(ind/m ²)	香农-威纳指数 Shannon-Weiner index	丰富度指数 Richness index	均匀度指数 Pielou's evenness index
口内水域(I 区) Estuary waters (I sub-area)	3.2 ± 2.5	25.5 ± 7.3	0.67 ± 0.17	0.28 ± 0.08	0.44 ± 0.10
杭州湾(II 区) Hangzhou bay (II sub-area)	10.0 ± 9.5	20.1 ± 7.9	0.85 ± 0.41	0.34 ± 0.19	0.59 ± 0.24
口外水域(III 区) Outside estuary waters (III sub-area)	19.9 ± 5.2	173.7 ± 40.2	1.73 ± 0.25	1.19 ± 0.27	0.65 ± 0.07
舟山海区(IV 区) Zhoushan waters (IV sub-area)	14.8 ± 5.4	128.4 ± 35.5	1.74 ± 0.25	1.17 ± 0.27	0.73 ± 0.08
近海区(V 区) Offshore waters (V sub-area)	12.7 ± 2.0	386.3 ± 81.4	3.88 ± 0.31	4.45 ± 0.51	0.83 ± 0.05

各分区大型底栖动物的累积优势度曲线也显示,大型底栖动物的生态特征由近岸向外海存在显著差异(图 2)。其中,口内水域与杭州湾的累积优势度曲线位于所有分区曲线的左上方,第一优势种的优势度均在 30% 左右,物种优势现象显著,同时这些水域的物种总数稀少。其次是口外水域与舟山海域,尽管口外水域第一优势种的优势度不足 20%,显著低于舟山海域。但除了第一优势种外,自第二优势种起,其累积优势度曲线的走向与舟山海区十分相似,两分区的物种总数显著增多。近海区的累积优势度曲线位于所有分区曲线的右下方,第一优势种的优势度不足 20%,前 10 个优势种的累积优势度低于 50%,显示该分区的优势现象不明显,物种组成丰富,底栖生物群落也最为稳定。

2.1.3 群落结构分析

SIMPER 分析表明,在各分区中,口内水域各站位间的物种平均相似性最高,达 37.6%,表征该分区群落特征的物种主要有齿吻沙蚕与背蚓虫,它们对平均 Bray-Curtis 相似性的贡献分别为 21% 与 13.2%。其次,近海区各站位间的物种平均相似性为 24.2%,表征该分区群落特征的物种主要有顶管角贝、索沙蚕、异毛虫等,它们对平均 Bray-Curtis 相似性的贡献分别为 2.3%、1.9%、1.4%。舟山海区、杭州湾的物种平均相似性分别为 18.1%、10.2%。口外水域各站位间的物种平均相似性最低,仅为 8.8%,对平均相似性的贡献超过 1% 的物种仅有织纹螺与不倒翁虫,其贡献率分别为 2% 与 1.1%。

结合 SIMPER 分析与 MDS 排序结果可以看出,口内水域、近海区的底栖生物群落在两分区内分别呈现出较高水平的一致性,但在两分区之间存在显著差异(图 3)。杭州湾、口外水域、舟山海区的底栖生物群落结构相对松散,且杭州湾的群落结构与河口区更为接近,口外水域、舟山海区的群落结构则与近海区表现出更大的相似性。

调查区内底栖生物的群落结构之所以呈现出这种规律性变化的空间分布格局,主要是由于各分区受河流冲淡水的影响强弱不同。口内水域与近海区分别代表了淡、咸水两种截然不同的水环境,底栖生物区系较为单纯;杭州湾作为钱塘江入海口,受钱塘江径流影响显著,且由于该分区调查站位相对稀少,导致底栖生物的

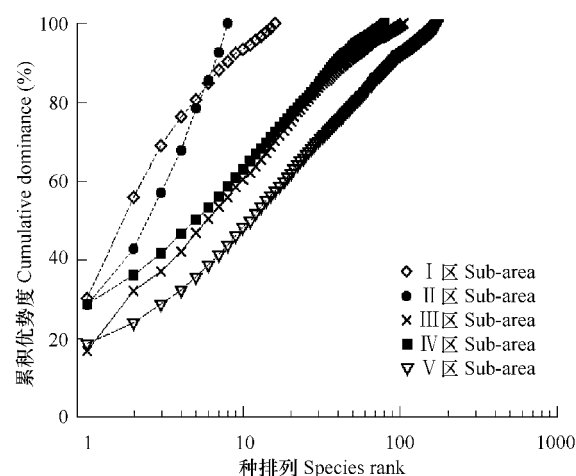


图 2 各分区大型底栖动物的优势度曲线

Fig. 2 Dominance curves of macrobenthos in the different investigation region

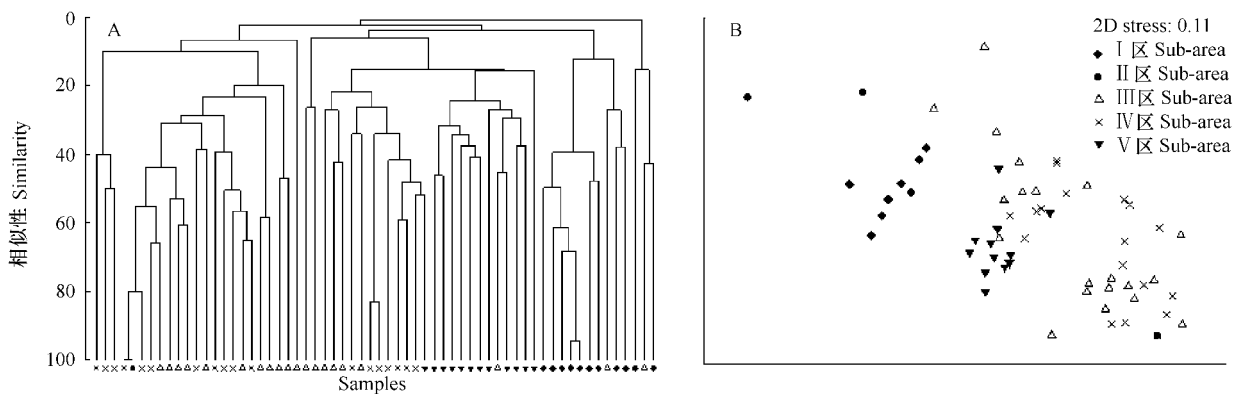


图3 长江口及毗邻水域大型底栖动物的群落分析

Fig. 3 Community analysis of macrobenthos in the Changjiang Estuary and its adjacent waters

A 为 Bray-Curtis 聚类分析结果, B 为 MDS 排序结果 A is the result of Bray-Curtis clustering; B is the result of MDS

组成与口内水域较为接近但群落结构松散;口外水域与舟山海区位于咸淡水混合区域,底栖生物区系复杂,但生物种类仍以海洋性物种为主^[19],导致两分区底栖生物的群落结构相对松散且更接近于近海区。另外,由于受强大的长江径流影响,口外水域有部分站位在 MDS 排序图中靠近口内水域各站位的集中分布区;而舟山海区受长江径流的影响较弱,致使该分区的所有站位在 MDS 排序图中均远离口内水域各站位的集中分布区。

2.2 大型底栖动物的历史演变

在参照历史调查资料探讨底栖生物的历史演变时,由于 1958 ~ 1960 年全国海洋综合调查中在长江口设置的站位均位于 122°E 以东水域,为增加数据的可比性,现选择调查范围集中于长江口冲淡水区的 3 次定量调查资料,从生物量组成方面分析该水域大型底栖动物在几十年来的动态变化。其中,1959 年资料为春夏季节(5 ~ 7 月份)在冲淡水区 22 个站位的平均数据,1985 ~ 1986 年资料为该水域的年平均数据,2005 ~ 2006 年资料为本次调查在口外水域的平均数据。

表2 长江口冲淡水区大型底栖动物生物量的年际变化(g/m²)

Table 2 Annual variation of macrobenthic biomass in the Changjiang diluted sea area

调查时间 Time	总生物量 Total biomass	类群 Group				资料来源 Resources
		多毛类 Polychaeta	软体动物 Mollusca	甲壳动物 Crustacea	棘皮动物 Echinodermata	
2005 ~ 2006	19.9	8.64	4.83	2.96	2.35	本研究 This study
1985 ~ 1986	21.75	3.45	10.26	1.73	4.19	[20]
1959	21.95	3.63	5.15	0.81	9.61	①

从表 2 可以看出,近半个世纪以来,本海区大型底栖动物的总生物量未呈现明显变化,其值在 20 g/m² 左右变动。以 1959 年为参考点,到 1985 ~ 1986 年,总生物量仅下降了 0.9%;到 2005 ~ 2006 年,总生物量也不过下降了 4.8%。但从四大类底栖生物对总生物量的贡献来看,近 50 年来该水域的底栖生物群落结构发生了显著改变。在 1959 年调查中,棘皮动物的生物量为 9.61 g/m²,占总生物量的 43.8%,生物量贡献率居四大类群首位,其次是软体动物与多毛类,甲壳动物的生物量最低,为 0.81 g/m²,仅占总生物量的 3.7%。在 1985 ~ 1986 年调查中,软体动物的生物量高达 10.26 g/m²,占总生物量的 47.2%,成为总生物量的最大贡献者,棘皮动物退居次席,生物量为 4.19 g/m²,其次是多毛类,甲壳动物的生物量仍然最低,占总生物量的 8%。到 2005 ~ 2006 年,多毛类的生物量超过其它类群,跃居四大类群首位(8.64 g/m²),占总生物量的 43.4%,其

①注:全国海洋综合调查资料,中华人民共和国科学技术委员会海洋组综合调查办公室编

次是软体动物与甲壳动物,棘皮动物的生物量最低,为 2.35 g/m^2 。

在四大类大型底栖动物中,甲壳动物是 50 年来生物量呈现持续增长的唯一类群,本次调查的生物量为 20a 前调查时的 1.71 倍,更是 1959 年的 3.65 倍之多。棘皮动物的生物量则在 50a 来呈现持续下降趋势,本次调查的生物量为 20a 前调查时的 56%,仅为 1959 年的 24%。多毛类在前两次调查中生物量变化不大,本次调查中生物量却出现显著增长,为 50a 前的 2.38 倍,增长率仅次于甲壳动物。软体动物的生物量在 1985 ~ 1986 年调查中出现高值,为 1959 年调查的 1.99 倍,但在本次调查中又降低至 50a 前的水平。总体来说,长江口冲淡水区大型底栖动物的总生物量在近 50a 来变化不大,但各生态类群的优势地位出现了明显更替。个体较小、生长周期较短的多毛类取代个体较大、生长周期较长的棘皮动物,成为目前冲淡水区最重要的优势类群。从种群的繁殖策略上来说,目前长江口水域寿命长、具有高竞争力的 *K* 对策种的优势地位正逐渐丧失,而被寿命短、适应能力宽、具有高繁殖能力的 *R* 对策种所取代,以适应越来越不稳定的自然环境。可以预见,随着人类活动的日益加剧,自然环境越来越复杂多变,长江口水域底栖生物体型越来越小、生长周期越来越短的趋势在短期内难以逆转。

值得注意的是,与湖泊、淡水河道等生态环境较为稳定的研究区域相比,河口因其固有的复杂性与多样性,其物理、化学和生物特征的空间变化十分剧烈,致使长江口大型底栖动物的空间分异现象显著,如河道内的底栖生物种类与数量都远远低于口外海域。在诸多已有的长江口大型底栖动物研究中,由于研究者关注的重点各有不同,调查区域往往都存在显著差异。因此,对不同时期的底栖动物资料进行比较时,应谨慎考虑调查站位的具体设置情况。

3 结论

本文系统报道了长江口及毗邻海域大型底栖动物的空间分布特征,并从生物量角度分析了长江冲淡水区大型底栖动物的历史演变趋势。调查区内的底栖生物自西向东、由近岸向外海大致可分为 3 个等级:在最西侧的口内水域与杭州湾,底栖生物种类组成最为单调,生物多样性指数最低,群落结构极为脆弱;在紧邻该底栖生物贫乏带的东侧,也就是口外水域与舟山海区,底栖生物种类组成呈现复杂化,生物多样性指数较高;在调查海域东南侧的近海区,底栖生物的种类组成复杂,生物多样性指数最高,群落结构最为稳定。长江口冲淡水区大型底栖动物的总生物量在近 50a 来变化不大,但各生态类群的优势地位出现了明显更替,多毛类取代棘皮动物成为目前冲淡水区最重要的优势类群。

References:

- [1] Böhmer J, Zenker A, Ackermann B, *et al.* Macrozoobenthos communities and biocoenotic assessment of ecological status in relation to degree of human impact in small streams in southwest Germany. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 2001, 8: 407—419.
- [2] Belan T A. 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*, 2003, 46: 1111—1119.
- [3] Barton D R, Anholt B. The macrobenthos of lake Ontario during 1964 to 1966, and subsequent changes in the deepwater community. *Aquatic Sciences-Research Across Boundaries*, 1997, 59 (2): 158—175.
- [4] Edgar G J, Barrett N S. Benthic macrofauna in Tasmanian estuaries: scales of distribution and relationships with environmental variables. *Bay. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 270: 1—24.
- [5] Diaz R J, Cutter G R, Dauer D M. A comparison of two methods for estimating the status of benthic habitat quality in the Virginia Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 285: 371—381.
- [6] Salas F, Neto J M, Borja A, *et al.* Evaluation of the applicability of a marine biotic index to characterize the status of estuarine ecosystems; the case of Mondego estuary (Portugal). *Ecological Indicators*, 2004, 4: 215—225.
- [7] Conlan K E, Kim S L, Lenihan H S, *et al.* Benthic changes during 10 years of organic enrichment by McMurdo Station, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49: 43—60.
- [8] Dauvin J C, Ruellet T, Desroy N, *et al.* The ecological quality status of the Bay of Seine and the Seine estuary: Use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55: 241—257.
- [9] Liu L S, Meng W, Li X Z, *et al.* The community structure of macrobenthos in the Changjiang (Yangtze) River Estuary. *Oceanologia et Limnologia*

- Sinica, 2006, 37 (supp.): 124—129.
- [10] Liu L S, Li Z Y, Meng W, *et al.* The community structure of zoobenthos and bioassessment of water quality in the lower reaches of the Songhua River. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20 (3): 81—86.
- [11] Sun D Y, Dong Y T. Ecological features of the polychaetes in the Changjiang Estuary and adjacent waters. *Studia Marina Sinica*, 1986, 27: 175—183.
- [12] Xu Z L, Jiang M, Bai X M, *et al.* An ecological study on zoobenthos in the Changjiang Estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6 (5): 59—62.
- [13] Liu L S, Li X Z. Distribution of macrobenthos in spring and autumn in the East China Sea. *Biodiversity Science*, 2002, 10 (4): 351—358.
- [14] Wang J H, Xu R, Qin Y T, *et al.* The Basic Biological Resources and Variation During the Last Decades in the Changjiang Estuary. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36 (5): 821—828.
- [15] Meng W, Liu L S, Zheng B H, *et al.* Macrobenthic community structure in the Changjiang Estuary and its adjacent waters in summer. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 26 (6): 62—71.
- [16] Chinese Technology and Supervise Bureau. *National Oceanography Census Regulation Methods*. Beijing: Standards Press of China, 1992.
- [17] Clarke K R, Warwick R M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Natural Environment Research Council, Plymouth, UK, 1994. 144.
- [18] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrobenthic species diversity in southern and central Bohai Sea. *China. Biodiversity Science*, 2003, 11 (1): 20—27.
- [19] Liu R Y, Cui Y H, Xu F S, *et al.* The ecological characteristics of macrobenthos in the Yellow Sea and the East Sea. *Studia Marina Sinica*, 1986, 27: 154—173.
- [20] Liu R Y, Xu F S, Sun D Y, *et al.* Prediction of the impacts of the three gorges project on the invertebrate resources in the Changjiang River Estuary. *Studia Marina Sinica*, 1992, 33: 237—247.

参考文献:

- [9] 刘录三, 孟伟, 李新正, 等. 长江河口段大型底栖动物的群落结构现状研究. *海洋与湖沼*, 2006, 37(增): 124~129.
- [10] 刘录三, 李中宇, 孟伟, 等. 松花江下游底栖动物群落结构与水质生物学评价. *环境科学研究*, 2007, 20 (3): 81~86.
- [11] 孙道元, 董永庭. 长江口及其邻近水域多毛类生态特点. *海洋科学集刊*, 1986, 27: 175~183.
- [12] 徐兆礼, 蒋玫, 白雪梅, 等. 长江口底栖动物生态研究. *中国水产科学*, 1999, 6 (5): 59~62.
- [13] 刘录三, 李新正. 东海春秋季大型底栖动物分布现状. *生物多样性*, 2002, 10 (4): 351~358.
- [14] 王金辉, 徐韧, 秦玉涛, 等. 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*, 2006, 36 (5): 821~828.
- [16] 国家技术监督局. *海洋调查规范: 海洋生物调查*. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [18] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物物种多样性的研究. *生物多样性*, 2003, 11 (1): 20~27.
- [19] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山, 等. 黄海、东海底栖生物的生态特点. *海洋科学集刊*, 1986, 27: 154~173.
- [20] 刘瑞玉, 徐凤山, 孙道元, 等. 长江口区底栖生物及三峡工程对其影响的预测. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 237~247.