

长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构

章飞军, 童春富, 张衡, 陆健健*

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 2005年4月对长江口全区域潮下带共10个采样站位的大型底栖动物进行了调查。调查捕获大型底栖动物38种, 分属5个生态类型, 种类数较少, 河口外缘站位种类数多于口内站位。各站位大型底栖动物的平均丰度为32.9个/m²、平均生物量为5.035 g/m²(湿重); 与20世纪七八十年代相比, 平均生物量显著降低; 口外缘站位的总丰度和总生物量均高于口内站位。环境因子相关分析表明, 盐度是决定长江口大型底栖动物种类分布最重要的环境因子。群落聚类、标序分析显示, 春季长江口潮下带大型底栖动物群落结构空间分异明显, 完全符合目前长江口支、港、槽“三级分汉”的空间格局。其中, 北支的大型底栖动物以混合高盐水种类为主, 而南支则以淡水和半咸水种类为主。南支的南北槽分界处内外站位的群落差异也由盐度决定, 因为靠近口内的群落均受长江冲淡水影响较大; 而口外站位群落则受咸淡水影响。南支的南北港分界点内外的群落差异则主要受长江来水的影响, 原因在于处在港分界点以内的群落所在区域, 直接受长江来水的冲刷, 底质环境极不稳定; 而港、槽分界点之间的群落所在区域由于河口上段的诸多明暗沙体的阻挡, 水势较为稳定, 所以底质环境较稳定, 从而使得港、槽分界点之间的群落出现了更多的沙蚕等底质环境类型种类。

关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 潮下带; 长江口

中图分类号: Q179.4; Q958.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254–5853(2007)01–0047–06

Community Structure of Macrobenthic Fauna in Subtidal Areas of the Yangtze River Estuary in Spring

ZHANG Fei-jun, TONG Chun-fu, ZHANG Heng, LU Jian-jian

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Samples of subtidal macrobenthic fauna were collected and environmental factors were measured in the Yangtze River Estuary in April, 2005. The community structure of macrobenthic fauna and its correlation with environmental factors were analyzed. Thirty-eight species were identified, belonging to five ecological assemblages. The total species numbers were low, but were higher in the outer sampling sites of the estuary. The average abundance was 32.9 ind./m² and the average biomass was 5.035 g/m²(fresh weight) at all sampling stations. Compared with historic data from the 1970s and 1980s, the community structure of macrobenthic fauna has changed obviously and the biomass has decreased rapidly. Total abundance and biomass of the species were obvious higher at the outer sampling sites of the estuary. Salinity was the main factor affecting the distribution of the macrobenthic fauna. The distribution of the macrobenthic fauna communities corresponded to three structural orders of the Yangtze River Estuary.

Key words: Macrobenthic fauna; Community structure; Subtidal; Yangtze river estuary

近年来, 有学者对长江河口潮间带大型底栖动物生态学有过较多的研究, 主要涉及种群生态学 (Ye & Lu, 2001a, b) 和群落生态学两个方面。群

落生态学包括了底栖动物群落结构特征及其与环境的关系 (Yuan & Lu, 2001a, c, 2002; Yuan et al, 2002a, b, c; Yuan & Lu, 2003)、大型底栖动物资源研

* 收稿日期: 2006–09–05; 接受日期: 2006–12–12

基金项目: 国家自然科学基金 (40506029); 国家“973”项目 (2002CB412406); 上海市科委项目 (04DZ12049)

* 通讯作者: E-mail: jjlu@sklec.ecnu.edu.cn

第一作者简介: 章飞军 (1978–), 男, 汉族, 浙江人, 博士研究生。主要从事大型底栖动物生态学、系统生态学研究。E-mail: zhangfei105939@sohu.com

究 (Yuan & Lu, 2001b)、大型底栖动物的功能群特征 (Yuan et al, 2002a; Zhu & Lu, 2003)、大型底栖动物的群落演替 (Yang et al, 2006) 及河口大型工程对大型底栖动物群落的影响 (Yuan & Lu, 2001c; Yuan et al, 2002b) 等的研究。

由于采样条件的限制, 有关长江河口潮下带大型底栖动物生态学方面的研究较少, 只有早年的生物资源调查有所涉及 (Jiang, 1984; Dai, 1989, 1991; Lu, 1990; Chen, 1988, 1996)。另外, Xu et al (1999) 做过长江河口潮下带底栖动物生态学分析; Ye et al (2004) 研究了长江河口航道整治工程对大型底栖动物群落的影响。近 10 多年来, 关于长江口潮下带大型底栖动物资源调查一度中断。为了更好地了解当前长江河口的生物资源现状及进行可持续利用

研究, 2005 年 4 月, 作者对长江口全区域潮下带大型底栖动物进行了全面调查, 分析了其种类组成、丰度、生物量现状及相关环境因子的作用, 并阐明了其空间分布格局。

1 材料和方法

1.1 调查区域及站位分布

2005 年 4 月 9 日—19 日, 租用沪南渔 4110 号调查船对长江口南北支潮下带进行了生物资源及环境因子的综合调查, 其中大型底栖动物调查总共设立了 10 个采样站位, 站位分布, 如图 1 中星号所示, 并依次用阿拉伯数字 1—10 对应表示, 其中 10 号站位附近的顾圆沙又称启新沙。

1.2 样品采集、处理

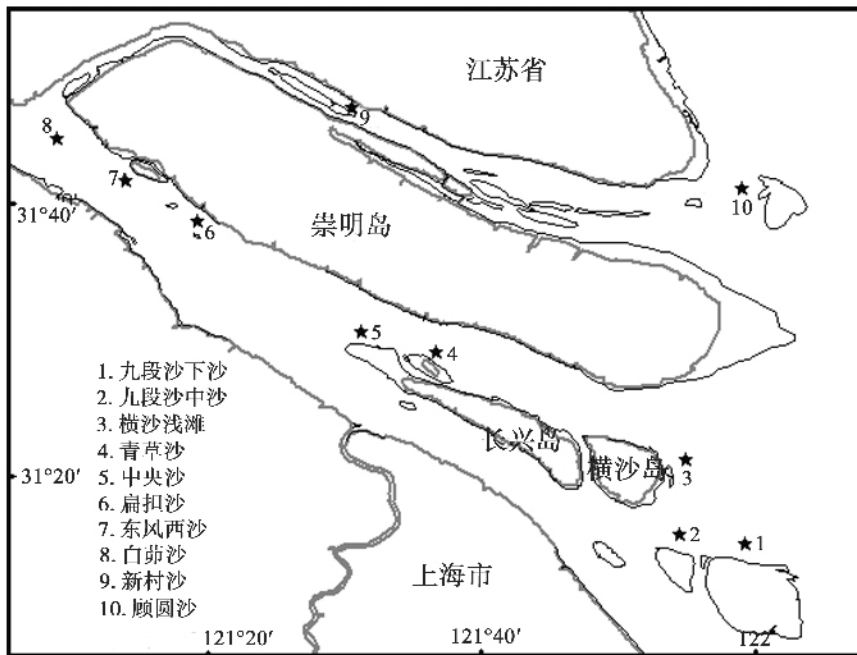


图 1 长江口潮下带大型底栖动物采样站位分布图

Fig. 1 Sampling stations of macrobenthic fauna in subtidal areas of the Yangtze River Estuary

潮下带水域主要依据《全国海岸带和海涂资源调查简明规程》编写组 (1986) 的“底栖动物调查”篇进行采样。定量样品用 0.05 m^2 改良型 Gray-Ohara 箱式采泥器, 每个站位取样 5 次, 丰度和生物量取 5 次采样的平均值; 定性样品用阿氏网采集, 每个站位取样 3 次, 以确保定性分析的全面性。箱式采泥器采集到的泥样经孔径 1 mm 的网筛, 现场筛洗后获取底栖动物标本, 并立即用 5%

福尔马林溶液固定, 带回实验室镜鉴、计数, 鉴定计数后称取大型底栖动物湿重, 再经 80°C 烘干至恒重并称取干重 (精确到 0.1 mg), 软体动物未进行去壳处理。在进行底栖动物采样的同时, 测量相应站位环境因子, 主要包括盐度、pH、DO、水深、水温。

1.3 数据分析

群落聚类和标序分析均使用 PRIMER 5 软件包

(plymouth marine laboratory, UK) (Clarke, 1993; Clarke & Warwick, 1994) 进行。丰度和生物量数据通过二次方根标准化, 在计算 Bray-Curtis 相似性系数的基础上, 用非参数多维标序 (non-metric multidimensional scaling) 技术 (nMDS) 作二维标序。Stress 值用于分析 MDS 标序的可信度; 聚类 (CLUSTER) 分析也在上述数据分析基础上进行。

2 结果

2.1 种类、丰度及生物量

2.1.1 种类组成 本次调查共计采获大型底栖动物 38 种, 分属 5 个主要生物类群 (图 2), 其中甲壳类 15 种, 占总种类数的 39%; 多毛类 9 种, 占总种类数的 24%; 底层鱼类 7 种, 占总种类数的 18%; 软体动物 6 种, 占总种类数的 16%; 纽虫 1 种, 占总种类数的 3%。因资料缺乏, 纽虫未能鉴定到种, 所有采获的纽虫本文中记成同一个种。

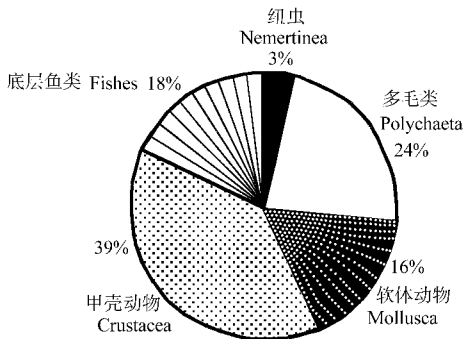


图 2 长江口潮下带大型底栖动物不同类群的种类百分组成

Fig. 2 Species and percentage composition of the macrobenthic fauna in subtidal areas of the Yangtze River Estuary

根据 Xu et al (1999) 对长江口大型底栖 5 种生态类型的划分, 本次调查采获的主要的广盐性种类有棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus* (Richardson)、狭颚绒螯蟹 *Eriocheir leptognathus* (Rathbun)、凤鲚 *Coilia mystus* (Linnaeus)、焦氏舌鳎 *Cynoglossus joyneri* (Günther)、蝌蚪鰕虎鱼 *Lophiogobius ocellicauda* (Günther) 等; 淡水种类主要是河蚬 *Corbicula fluminea* (Müller); 河口半咸水种类主要有安氏白虾 *Exopalaemon annandalei* (Kemp)、秀丽白虾 *Exopalaemon modestus* (Heller)、焦河篮蛤 *Potamocorbula ustulata* (Reeve) 等; 混合高盐水类型有葛氏长臂虾 *Palaemon gravieri* (Yu) 等; 底质环境

类型的有异足索沙蚕 *Lumbrineris heteropoda* (Marenzeller)、疣吻沙蚕 *Tyllorrhynchus heterochaetus* (Quatrefages)、日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* (Izuka)、双齿围沙蚕 *Perinereis aibuhitensis* (Grube)、多齿围沙蚕 *Perinereis nuntia* (Savigny)、圆锯齿吻沙蚕 *Dentinephtys galbra* (Hartman) 等。

2.1.2 丰度及生物量 对箱式采泥器采获的定量样品进行丰度、生物量分析, 本次调查水域大型底栖动物的平均丰度为 32.9 ind./m²、平均生物量为 5.035 g/m² (湿重)。

不同站位的丰度、生物量分析结果, 如图 3 所示。九段沙下沙附近的 1 号站位和中沙附近的 2 号站位的大型底栖动物丰度较大, 分别为 80 ind./m² 和 70 ind./m²。其余 8 个站位的丰度则均小于 50 ind./m², 其中尤其以白茆沙附近的 8 号站位和新村沙附近的 9 号站位最小, 仅为 4 ind./m²。生物量分布则以九段沙附近 1、2 号, 东风西沙附近的 7 号和新村沙附近的 9 号站位较高, 其他站位相对较低, 其中尤其以白茆沙附近的 8 号站位最低, 仅为 0.048 g/m² (干重)。

从不同类群大型底栖动物各站位的平均丰度及平均生物量 (图 4) 分析可见: 本调查水域大型底栖动物平均丰度从高到低依次为软体动物、多毛类、纽虫、甲壳类。平均生物量组成也以软体动物居首, 多毛类次之, 最低为甲壳类。

2.2 聚类、排序结果

根据定量样品分析, 得出 10 个站位大型底栖动物群落聚类结果 (图 5)。A 类群和 B、C、D 三个类群之间的种类丰度相似度最低, 仅为 15.57%; B、C 类群和 D 类群的相似度次低, 为 24.95%; 而 B 类群和 C 类群的相似度为 33.66%。对应的非参数多变量排序结果见图 6; 0.05 < stress < 0.1 表明结果基本可信。

2.3 环境因子相关分析

不同站位大型底栖动物种类数量、丰度、生物量和盐度等环境因子的相关分析结果见表 1, 仅有盐度与大型底栖动物的种类数量呈显著正相关关系 ($R = 0.924$, $P < 0.05$), 其他因子与大型底栖动物群落的相关性不显著。

3 讨论

春季长江口潮下带大型底栖动物生态类型丰富, 种类数量较少。本次调查采获了 38 种大型底

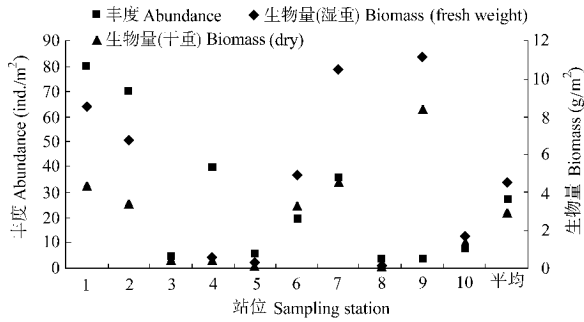


图3 各站点潮下带大型底栖动物总生物量、总丰度分布图

Fig. 3 Distribution of total biomass and total abundance of macrobenthic fauna in subtidal areas at the different sampling stations

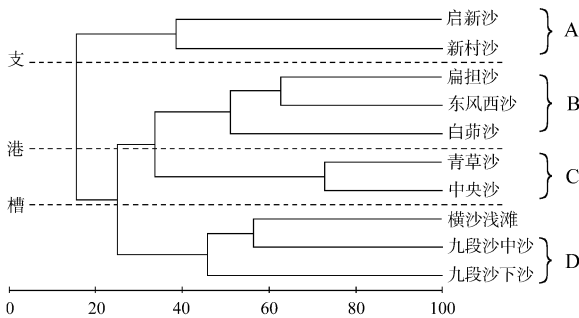


图5 10个站点大型底栖动物群落的Bray-Curtis聚类

Fig. 5 The Bray-Curtis Cluster of the macrobenthic fauna at each sampling station

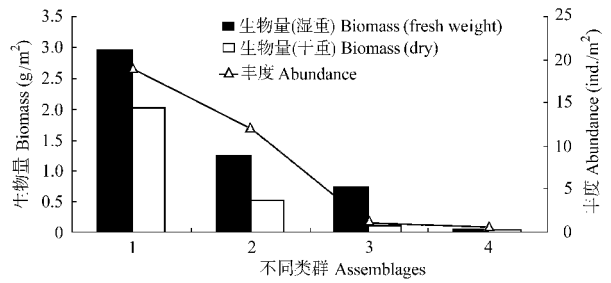


图4 长江口潮下带不同类群大型底栖动物平均丰度和平均生物量

Fig. 4 Average biomass and average abundance of macrobenthic fauna in subtidal areas of the Yangtze River Estuary

1: 软体动物 (Mollusca); 2: 多毛类 (Polychaeta); 3: 纽虫 (Nemertea); 4: 甲壳动物 (Crustacea)。

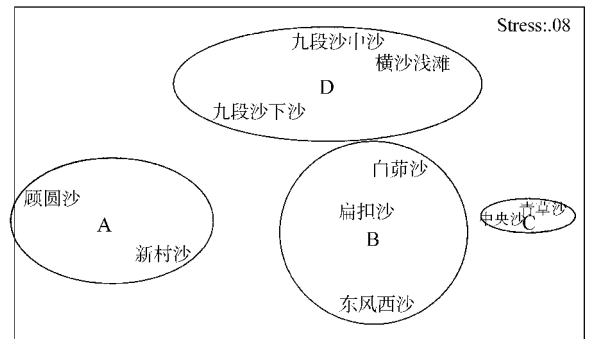


图6 10个站点大型底栖动物种类丰度的非参数多变量标序 (Stress = 0.08)

Fig. 6 MDS analysis of species with abundance of the macrobenthic fauna at each sampling station

表1 大型底栖动物与环境因子的相关系数 (R)

Tab. 1 The correlation of macrobenthic fauna and environmental factors

| 指标 Index | 种类 Species | 丰度 Abundance | 生物量 Biomassp |
|----------------------|------------|--------------|--------------|
| pH | -0.476 | -0.272 | -0.366 |
| 盐度 Salinity | 0.924* | 0.536 | 0.259 |
| DO Dissolved oxygen | 0.202 | -0.461 | -0.432 |
| 水深 Depth | -0.072 | 0.088 | 0.079 |
| 水温 Water temperature | -0.772 | -0.205 | 0.318 |

* P < 0.05.

栖动物, 分属广盐性种类、淡水种类、河口半咸水种类、混合高盐水种类等多个生态类型。与20世纪90年代调查结果 (Xu et al, 1999) 相似。种类数以江口外缘的顾圆沙附近的10号站点和九段沙下沙附近的1号站点较多, 分别为23种和12种, 除此之外的其他站点均未超过10种。这是由于淡水型的底栖动物常常会出现在低盐度且变化不显著的河口近河流段中, 而很多海洋型底栖动物生活于河口的盐淡水混合带和口外海滨带。底栖动物的物

种丰富度通常随着从海水上升流进入低盐度水域而明显减少 (Lu, 2003)。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。

春季长江口外站位的潮下带大型底栖动物的丰度和生物量高于口内, 总丰度和生物量偏低。处于河口上端白茆沙附近的8号站点丰度和生物量均

最小, 而处于口外的九段沙附近 1、2 号的丰度和生物量均为最大值。这可能是由于河口上端的水文、底质条件极不稳定, 而口外底栖动物生存的环境相对稳定的缘故。各站位的平均生物量仅为 5.035 g/m^2 (湿重), 大大低于 1988 年同期 (5 月) 的平均生物量 24.2 g/m^2 (Chen, 1996)。不同类群大型底栖动物的生物量也均低于 1982—1983 年同期水平 (Chen, 1988)。高强度的人为干扰可能是造成这些变化的原因 (Xu et al, 1999; Yuan et al, 2001c; Ye et al, 2004)。

与环境因子的相关分析表明, 盐度是决定长江口潮下带大型底栖动物种类分布的主要影响因子。根据各站位的盐度数据显示, 口外的 1 号和 9、10 号站位盐度较高, 处于混合高盐水区; 其次是 2 号和 3 号站位, 表现为咸淡水性质; 而 4、5、6、7 和 8 号站位的盐度都接近 0, 表现出淡水特性。从不同站位出现的物种的生态类型看, 混合高盐水类型有葛氏长臂虾仅出现在 1 和 10 号站位; 安氏白虾、秀丽白虾、焦河篮蛤等河口半咸水种类主要出现在 2、3 和 9 号站位; 淡水种类河蚬则是 8 号站位的主要优势种。狭颚绒螯蟹、蝌蚪鰕虎鱼等广盐性种类在各站位均有出现。由此可见, 盐度对长江口大型底栖动物的种类分布起着决定性作用。当然, 底质沉积环境对河口区底栖动物影响也是不容忽视的, 特别是由于河口区沉积速率很高, 大量泥沙沉降, 使底质处于剧烈的扰动变化中, 一定程度限制了某些底栖动物的生存和发展 (Xu et al, 1999)。

春季长江口潮下带大型底栖动物群落结构的空分异明显。目前长江口呈“三级分汊, 四口入海”的空间格局。一级分汊口位于崇明岛顶端, 将

长江口分为南支和北支; 二级分汊口位于长兴岛顶端, 将南支分隔为南港和北港; 在九段沙上沙形成三级分汊, 将南港分隔为南槽和北槽。根据图 3、图 4 中的聚类、排序结果, A 所包含两个站位 (9、10) 都位于长江口的北支; 而 B (6、7、8)、C (4、5)、D (1、2、3) 所包含的站位均处在长江口南支。B 类群处在南支港的分界点以内; C 类群处在港槽分界点之间; D 类群则正好处在槽的分界点以外水域。从而反映出长江口支、港、槽三个分级梯度上的大型底栖动物群落存在明显差异。首先从南北支的大型底栖动物群落看, 北支的大型底栖动物 (A 类群) 以混合高盐水种类为主, 而南支 (B、C、D 类群) 则以淡水和半咸水种类为主。这是因为 18 世纪中叶前, 长江口北支一直是长江主流入海的通道, 随后主流改走南支, 其分流量不断减少。1959 年起出现水沙倒灌, 由径流作用为主转成了以潮流作用为主。1999 年北支分流量降至 1% 以下, 致使潮流作用进一步增强, 逐渐成为准强潮河口, 水沙倒灌日益严重, 加快了衰退进程。目前由于径流输入不断减小, 咸潮作用明显增强, 北支口区水体盐度明显高于南支口门区 (Meng & Cheng, 2005)。而 B、C 与 D 的群落差异也是由于盐度的影响造成的, 因为 B、C 群落均受长江冲淡水影响较大, D 群落则主要受咸淡水交汇影响。B 与 C 的群落差异则主要受长江来水的影响。原因在于 B 群落所在的区域, 直接受长江来水的冲刷, 底质环境极不稳定。而 C 群落所在区域由于河口上段的诸多明暗沙体的阻挡, 水势较为稳定, 所以底质环境也较稳定, 从而使得 C 群落出现了更多的沙蚕等底质环境类型种类。

参考文献:

- Chen JY. 1988. Report of Shanghai Coastal and Tidal Sources Comprehensive Investigation [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Publisher. [陈吉余. 1988. 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社.]
- Chen JY. 1996. Report of Shanghai Islands Comprehensive Investigation [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Publisher. [陈吉余. 1996. 上海市海岛资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社.]
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structures [J]. *Aust J Ecol*, **18**: 117–143.
- Clarke KR, Warwick R. 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation [M]. Plymouth, UK: Natural Environmental Research Council, 144.
- Compiling Group of Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey. 1986. Concise Regulation of National Coastal Zone and Coastal Resources Comprehensive Survey [M]. Beijing: Ocean Press. [全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程编写组. 1986. 全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程. 北京: 海洋出版社.]
- Dai GL. 1989. Effect of pollution on the zoobenthos in the south coast of Yangtze River Estuary [J]. *Mar Environ Sci*, **8** (3): 32–35. [戴国梁. 1989. 长江河口南岸污染对底栖动物的影响. 海洋环境科学, **8** (3): 32–35.]
- Dai GL. 1991. The ecological character of the zoobenthos in Yangtze River Estuary and around it [J]. *J Fish Chn*, **15** (2): 104–116. [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.]
- Jiang JX. 1984. The preliminary study on distribution of the zoobenthos in continental shelf and it's round area of the East China Sea [J]. *Acta Ocean Sin*, **7** (2): 246–25. [江锦祥. 1984. 东海大陆架及其邻近海区底栖动物数量分布的初步研究. 海洋学报, **7** (2): 246–255.]
- Lu JJ. 2003. *Estuary Ecology* [M]. Beijing: Ocean Press. [陆健健. 2003. 河口生态学. 北京: 海洋出版社.]
- Lu JL, Lai W, Du NS. 1990. Studies on monitoring pollution in the south coast of the Yangtze River Estuary by using zoobenthos [J]. *J Ocean Univ Qingdao*, **20** (2): 32–43. [卢敬让, 赖伟, 堵南山. 1990. 应用底栖动物监测长江口南岸污染的研究. 青岛海洋大学学报, **20** (2): 32–43.]
- Meng L, Cheng J. 2005. The decline mechanism of the north segment in Yangtze River Estuary [J]. *Mar Geo Let*, **21** (1): 1–10. [孟翊, 程江. 2005. 长江口北支入海河段的衰退机制. 海洋地质动态, **21** (1): 1–10.]
- Xu ZL, Jiang M, Bai XM, Zhu JX, Yuan Q. 1999. An ecological study on benthos in the Changjiang Estuary [J]. *J Fish Sci Chn*, **6** (5): 59–62. [徐兆礼, 蒋玫, 白雪梅, 朱江兴, 袁骐. 1999. 长江口底栖动物生态学. 中国水产科学, **6** (5): 59–62.]
- Yang ZH, Tong CF, Lu JJ. 2006. Characteristics of macrobenthic fauna communities in three successional stages of the new emergent salt marsh in an Estuary of the Yangtze River [J]. *Zool Res*, **27** (4): 411–418. [杨泽华, 童春富, 陆健健. 2006. 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, **27** (4): 411–418.]
- Ye SF, Ji HH, Cao L, Huang XQ. 2004. Studies on the impacts of large-scale estuarine engineering on species composition and biomass of benthos in the Yangtze River Estuary [J]. *Mar Sci Bull*, **23** (4): 32–37. [叶属峰, 纪焕红, 曹恋, 黄秀清. 2004. 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, **23** (4): 32–37.]
- Ye SF, Lu JJ. 2001a. Characteristics and ecological significance of the developing population of *Bullacta exarata* (Philippi, 1848) (Mollusca: Gastropoda, Atyidae) in the Yangtze Estuary, China [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, **10** (3): 216–222. [叶属峰, 陆健健. 2001a. 长江口泥螺 (*Bullacta exarata*) 的种群特征及其生态学意义. 长江流域资源与环境, **10** (3): 216–222.]
- Ye SF, Lu JJ. 2001b. Analysis on the spatial distribution of *Bullacta exarata* (Mollusca: Gastropoda: Atyidae) population in Yangtze River Estuary, China [J]. *Zool Res*, **22** (2): 131–136. [叶属峰, 陆健健. 2001b. 长江口泥螺 (*Bullacta exarata*) 种群夏季的空间格局分析. 动物学研究, **22** (2): 131–136.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002a. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **22** (12): 2054–2062. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 2002a. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. 生态学报, **22** (12): 2054–2062.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002b. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ocean Sin*, **24** (2): 133–139. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 2002b. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征. 海洋学报, **24** (2): 133–139.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002c. Influence of characteristics of scirpus mariqueter community on the benthic macro-invertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **22** (3): 326–333. [袁兴中, 陆健健, 刘红. 2002c. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, **22** (3): 326–333.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001a. Preliminary study on macrobenthic community of the creek in the tidal flat of the Changjiang Estuary [J]. *Zool Res*, **22** (3): 211–215. [袁兴中, 陆健健. 2001a. 长江口潮沟大型底栖动物群落的初步研究. 动物学研究, **22** (3): 211–215.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001b. Studies on zoobenthos resources in the islands of the Changjiang Estuary [J]. *J Nat Resour*, **16** (1): 37–41. [袁兴中, 陆健健. 2001b. 长江口岛屿湿地的底栖动物资源. 自然资源学报, **16** (1): 37–41.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001c. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **21** (10): 1642–1647. [袁兴中, 陆健健. 2001c. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, **21** (10): 1642–1647.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2002. Ecological characteristics of macrozoobenthic community of tidal flat wetland in the Changjiang Estuary [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, **11** (5): 4144–4120. [袁兴中, 陆健健. 2002. 长江口潮滩湿地大型底栖动物群落的生态学特征. 长江流域资源与环境, **11** (5): 4144–4120.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2003. Micro-topographical element-“Biogenic Structure” and spatial distribution of meiofauna on the tidal flat [J]. *Chn J Ecol*, **22** (6): 124–126. [袁兴中, 陆健健. 2003. 潮滩微地貌元素“生物结构”与小型底栖动物的空间分布. 生态学杂志, **22** (6): 124–126.]
- Zhu XJ, Lu JJ. 2003. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary [J]. *Zool Res*, **24** (5): 355–361. [朱晓君, 陆健健. 2003. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, **24** (5): 355–361.]