

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

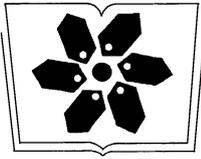
## Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 19 期 2012 年 10 月 (半月刊)

## 目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估 .....	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例 .....	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构 .....	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系 .....	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异 .....	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系 .....	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征 .....	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用 .....	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测 .....	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响 .....	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响 .....	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类 .....	张 荣, 刘 彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响 .....	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响 .....	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 参与 AM 真菌与烟草共生过程 .....	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系 .....	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
早直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构 .....	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系 .....	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响 .....	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响 .....	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响 .....	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO <sub>2</sub> 排放量的影响 .....	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例 .....	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系 .....	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征 .....	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用 .....	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响 .....	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应 .....	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
<b>专论与综述</b>	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式 .....	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展 .....	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应 .....	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响 .....	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展 .....	徐德立, 王德华 (6251)
<b>研究简报</b>	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因 .....	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征 .....	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)



**封面图说:** 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的绿树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

**彩图提供:** 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108251244

袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 于秀娟, 唐玲, 严岩. 珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构. 生态学报, 2012, 32(19): 5962-5971.  
Yuan Q J, Miao S Y, Li H X, Yu X J, Tang L, Yan Y. Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 5962-5971.

## 珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构

袁俏君<sup>1</sup>, 苗素英<sup>1</sup>, 李恒翔<sup>2</sup>, 于秀娟<sup>2</sup>, 唐玲<sup>2</sup>, 严岩<sup>2,\*</sup>

(1. 中山大学生命科学院, 广州 510275; 2. 中国科学院南海海洋研究所海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广州 510301)

**摘要:**于 2010 年 8 月在珠江口水域进行小型底栖生物取样分析, 结果表明, 该调查水域夏季小型底栖生物的平均丰度为 (183±174) 个/10 cm<sup>2</sup>, 平均生物量为 (345±334) μg 干重/10 cm<sup>2</sup>, 平均生产量为 (3104±3008) μg 干重/10 cm<sup>2</sup>。共鉴定出小型底栖生物 16 个类群, 按丰度, 自由生活海洋线虫和双壳类幼体为优势类群, 其丰度分别占调查水域小型底栖生物总丰度的 62.61% 和 22.62%。按生物量, 优势类群由双壳类幼体 (50.57%)、线虫 (13.33%) 和多毛类 (12.47%) 等组成。81.15% 的小型底栖生物分布在 0—5 cm 的沉积物中。与环境因子相关分析表明: 小型底栖生物丰度、线虫丰度与温度呈显著负相关, 与盐度呈显著正相关。调查水域线虫与桡足类数量的比值 (N/C) 呈现出由河口上游向下游递增, 且西岸明显高于东岸的趋势。

**关键词:**珠江口; 小型底栖生物; 丰度; 生物量

## Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer

YUAN Qiaojun<sup>1</sup>, MIAO Suying<sup>1</sup>, LI Hengxiang<sup>2</sup>, YU Xiujuan<sup>2</sup>, TANG Ling<sup>2</sup>, YAN Yan<sup>2,\*</sup>

1 School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2 CAS Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China

**Abstract:** Meiofauna, a fundamental component of terrestrial and marine benthic ecosystems, form an integral element of food webs and play a critical role in nutrient recycling. To clarify the composition and ecological roles of meiobenthic communities within sediments of the Pearl River Estuary, Southern China, meiofauna composition, abundance, biomass and distribution were reported together with abiotic parameters (temperature and salinity of water, organic matter content organic and particle size of sediment) based on samples conducted at 16 stations (from 22.10° N to 22.80° N, 113.50° E to 114.00° E) in summer, 2010.

A total of 16 meiofaunal groups were identified in the whole sampling study. Free living marine nematodes were the most dominant group, with an abundance of (115±115) ind./10cm<sup>2</sup>, accounting for 62.61% of the total meiofauna, followed by Bivalvia larvae (22.62%), crustacean nauplii (5.02%), and harpacticoid copepods (3.28%). The remaining groups accounted for less than 2% of total meiofauna, and included Polychaeta, Nemertea, Echiurida, Ostracoda, Kinorhyncha, Oligochaeta, Turbellaria, Tanaidacea, Cnidaria, Acarina, Tardigrada and unidentified taxa. The average abundance, biomass and production of the meiobenthos was (183±174) ind./10cm<sup>2</sup>, (345±334) μg dwt/10cm<sup>2</sup> and (3104±3008) μg dwt/10cm<sup>2</sup> respectively. Based on the meiobenthic biomass, the main dominant groups were bivalves (50.57% of total meiobenthos biomass), followed by nematodes (13.33% of total) and polychaetes (12.47% of total). Most meiobenthos (81.15%) were found distributed in the 0—5 cm layer of sediment. Vertical distribution was different for the dominant groups of the meiobenthos; bivalves and nematodes were in the 0—5 cm layer of sediment, most copepods were in the 0—2 cm layer, and polychaetes were in the 2—5 cm layer. Analysis of abiotic parameters showed that the

基金项目: 中国科学院-国家外专局创新团队国际合作伙伴计划项目 (KZCX2-YW-T001)

收稿日期: 2011-08-25; 修订日期: 2012-07-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yany@scsio.ac.cn

average organic matter content of the sediment was 6.90%, which showed an increase from the west to the east of the estuary, and from the upper reaches to the lower. The dominant sediment type was poor sorted silt-clay, representing 84.39%—97.29% of total sediment and with median diameter (MD $\Phi$ ) from 6.56—7.18. This sediment type was found throughout most areas of the estuary. In the top 8 cm of sediment, average Chl-a concentration was 0.80  $\mu\text{g/g}$  and the average organic matter was 6.90%.

The correlation analysis between meiobenthos and abiotic parameters indicated that the abundance of meiobenthos correlated positively with salinity, and negatively with temperature near the bottom, silt-clay content, median diameter (MD $\Phi$ ) and organic matter of sediment. The abundance of polychaetes and nematodes was also found to correlate negatively with bottom water temperature and positively with water salinity. The results of hierarchical clustering and multidimensional scaling (MDS) analysis of the sampling showed that all sites could be divided into three groups at the similarity level of 50%. The structure and diversity of the sampling sites were expressed using the Shannon-Wiener index, the Margalef index and the dominance index. Values of the Shannon-Wiener index ranged from 0.667—1.653, while the dominance index ranged 0.314—0.784. The mean nematode/copepod-ratio (N/C-ratio) showed an increasing trend from upper to lower reaches and from west to east of the estuary, which could correspond to the organic pollution of the Pearl River Estuary.

**Key Words:** Pearl River Estuary; meiobenthos; abundance; biomass

珠江口是我国第三大河口,受潮流、径流的共同影响,环境因子复杂多变<sup>[1]</sup>。随着珠江三角洲经济的高速发展,人类活动和城市工业污染给珠江口水域的生态环境带来巨大压力,使该水域的生态环境问题成为了国内外关注的热点<sup>[2]</sup>。小型底栖生物是海洋生态系统的重要组成部分,在海洋生态系统物质传递和能量流动中发挥着极其重要的作用;作为环境质量评价的重要指示生物,在海域环境监测中也起到至关重要的作用<sup>[3]</sup>。以往研究中小型底栖生物是指分选时通过 0.5 mm 但被 0.042 mm 孔径网筛保留的后生动物,但近年来,深海小型底栖生物分选的下限已建议到 0.031 mm,已有的资料显示珠江口所在的南海海域小型底栖生物研究的下限在 0.031 mm 至 0.063 mm 之间<sup>[4-7]</sup>。国际上有关陆架海域小型底栖生物生态学的研究开展较多,主要为自由生活海洋线虫的研究,并多趋向于单个环境因子如水深、重金属等对小型底栖生物分布影响的研究<sup>[8-10]</sup>。我国渤海<sup>[11]</sup>、黄海<sup>[7]</sup>、东海<sup>[12]</sup>、南海<sup>[4]</sup>、长江口<sup>[13]</sup>等海域的小型底栖生物已相继进行了相关调查,而珠江口水域的小型底栖生物尚未系统调查和研究<sup>[14]</sup>。

本文首次调查了珠江口水域小型底栖生物类群组成、丰度、生物量及其分布,并深入探讨小型底栖生物与水环境因子之间的相互关系,以为珠江口生物资源调查,水域生态环境监测、开发和保护提供基础资料和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查水域与站位

2010 年 8 月对位于我国南海北部的珠江口水域小型底栖生物和沉积物环境因子进行了样品采集,在纬度 22.10°—22.80°N、经度 113.50°—114.00° E 之间共布设了 16 个调查站位(图 1)。

### 1.2 样品采集和分析

使用采样面积为 0.10 m<sup>2</sup>改进型 Gray-Ohara 箱式采泥器,每站位采集泥样 3 个,采集次数以调查站位半径 100 m 的有效范围的成功采样为准。同时利用内径为 29 mm 注射器改造的取样管,随机垂直取深度为 8 cm 的芯样 3 管,现场按芯样采集深度,将 0—2 cm、2—5 cm、5—8 cm 规格分装,加入等体积过滤海水配置的 4% 甲醛溶液,摇匀固定并避光保存,用于小型底栖生物类群分析;另外在同一采泥样品中,随机取 3 管深度为 5 cm 的芯样,装入密封袋中,-20 °C 冷冻保存,用作沉积物环境因子分析。

小型底栖生物芯样经 4% 虎红染液(Rose Bengal)均匀染色 24 h 后,使用 500  $\mu\text{m}$  和 38  $\mu\text{m}$  孔径的套筛冲洗去泥,将 38  $\mu\text{m}$  孔径网筛中截留的生物转入硅胶液(LudoxTM-50, Sigma-Aldrich, 比重=1.15)中悬浮离心

(1800 r, 10 min), 然后在解剖镜下按类群进行分选和计数<sup>[4-7]</sup>。小型底栖生物的生物量采用体积换算法<sup>[4]</sup>, 不同类群的个体平均干重参照 Jarion、Widbom 的方法<sup>[15-16]</sup>, 生产量则采用  $P=9B$  计算<sup>[17]</sup>。

沉积物的粒度、有机质、含水率等环境因子测定均参照 2007 年颁发的《海洋调查规范》(GB12763. 4—2007) 进行分析<sup>[18]</sup>, 水深、盐度、温度等水体环境因子使用 CTD 测定仪现场测定。

### 1.3 数据统计分析

16 个采集站位中的 P5、P10、P12、P15 站位均位于航道内, 因水流急, 采集到的泥量少, 故这些站位不作小型底栖生物分析。使用 surfer 8.0 软件和 Excel 软件绘制站位图、小型底栖生物丰度、生物量、垂直分布及相关等值线图, 采用 SPSS17.0 软件进行小型底栖生物丰度、生物量与环境因子及各环境因子之间的相关性分析, 英国普利茅斯海洋研究所开发的 PRIMER 5.0 软件用于站位之间的相似性分析, 以及丰富度指数( $d$ )、均匀度指数( $J'$ )、多样性指数( $H'$ )、优势度指数( $\lambda$ ) 分析, 采用等级聚类 (CLUSTER) 和非度量多维标度 (MDS), BIOENV 将环境和生物矩阵相连接, 分析环境因子与生物群落的相关性。

## 2 结果

### 2.1 沉积物环境

#### 2.1.1 水深、底层海水温度和盐度

珠江口调查水域的平均水深为 5.79 m, 最大水深出现在 P1 站位, 为 10.15 m, 最小水深在 P4 站位, 为 3.10 m (图 2a)。底层水温平均值为 29.58 °C, 变化范围在 29.18—30.98 °C (图 2b)。底层海水盐度变幅较大, 介于 3.61—27.97 之间, 呈现出由河口上段站位向河口下段站位增大的趋势 (图 2c)。底层的水温与盐度呈显著负相关 ( $P < 0.01, r = -0.895$ )。

#### 2.1.2 沉积物类型

在成功采集的 12 个泥样中, 沉积物粒度可分属 3 大类型: 其一为粘土质粉砂 I 类型 (P1、P3、P4、P6、P9、P13、P14、P16 站位), 其粉砂+粘土含量均较高 (>84.39%), 最高值为 97.29% (P16 站), 中值粒径范围在 6.56—7.18 之间; 其二为粗中砂 II 类型 (P2 和 P8 站), 表现为粉砂+粘土含量 (分别为 8.74% 和 20.70%) 及中值粒径 (分别为 1.41 和 2.23) 均很低; 其三为砂-粉砂-粘土 III 类型 (P7 和 P11 站), 粉砂+粘土分别为 72.16% 和 64.11%。结果显示珠江口水域底质沉积物类型比较复杂, 没有明显的变化趋势 (图 2d), 中值粒径与有机质质量分数 ( $P < 0.01, r = 0.741$ )、粉砂+粘土含量 ( $P < 0.01, r = 0.909$ ) 呈显著正相关。

#### 2.1.3 有机质

调查的沉积物有机质含量均较高, 平均为 6.90%, 最高值位于 P3 站 (8.97%), 最低值出现在 P7 站 (4.92%)。统计分析结果显示, 有机质含量与中值粒径、粘土+粉砂含量呈显著正相关。

#### 2.1.4 叶绿素 a (Chl-a)

沉积物中叶绿素 a 含量的分布规律为河口上游和河口下游站位的数值大于河口中部的站位 (图 2e), 叶绿素 a 平均含量为 0.80  $\mu\text{g/g}$ , 最低值出现在 P8 站, 只有 0.14  $\mu\text{g/g}$ 。叶绿素 a 含量与中值粒径 ( $P < 0.05, r = 0.598$ ) 和粘土+粉砂含量 ( $P < 0.05, r = 0.652$ ) 呈显著正相关。

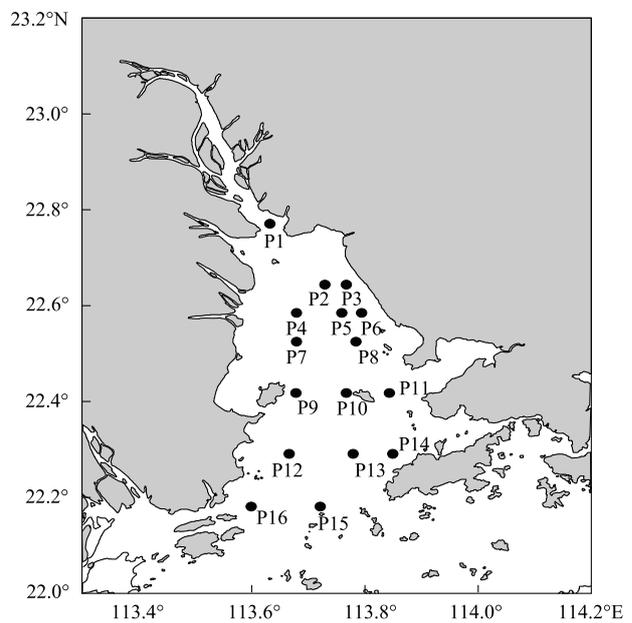


图 1 珠江口水域小型底栖生物调查站位

Fig. 1 Sampling stations of meiobenthos in the Pearl River Estuary  
P1—P6 代表站位

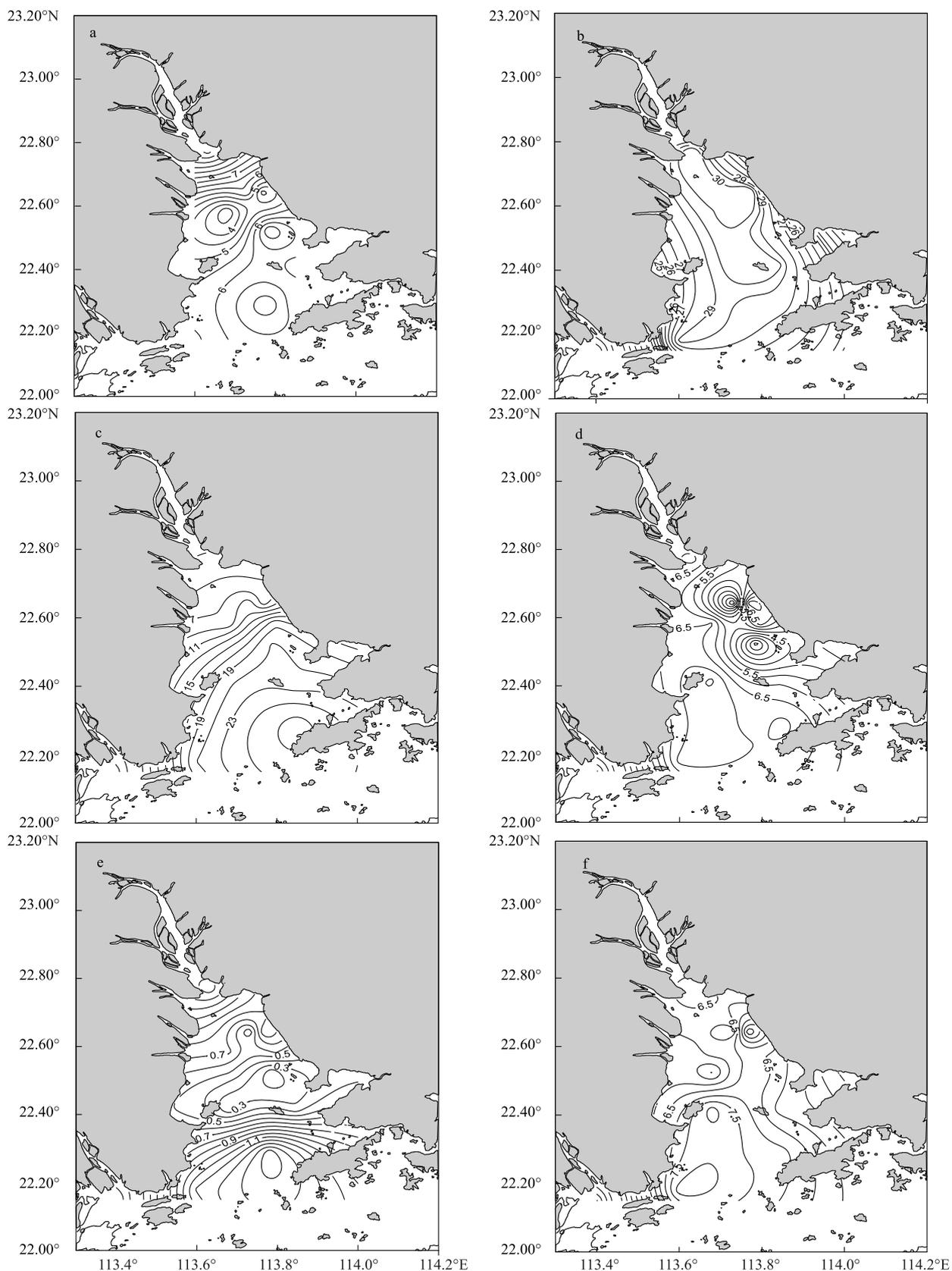


图 2 珠江口水域沉积物环境参数

Fig.2 The environmental parameters of sediment in the Pearl River Estuary

a. 水深(m), b. 底温(°C), c. 底盐, d. 中值粒径( $\Phi$ ), e. 叶绿素 a( $\mu\text{g/g}$ ), f. 有机质(%)

12 个站位的沉积物环境因子(水深、底温、底盐、沉积物粒度组成、Chl-a 和有机质含量)相似性分析 (CLUSTER 聚类、非度量多维标度 MDS 标序)(图3 和图4)结果大致可分为两组(A、B)。其中 A 组为 P2 和 P8 站的环境因子,共同特征是沉积物类型均为粗中砂,粘土+粉砂含量较低,有机质和叶绿素 a 含量也较低;B 组中包括其余 10 个站点的环境因子,具有较高的环境因子相似性,有机质和叶绿素 a 含量均较高,沉积物类型以粘土质粉砂或者砂-粉砂-粗砂为主。

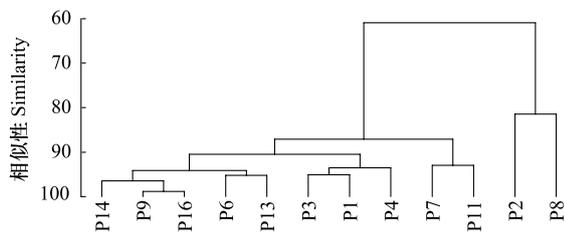


图3 环境变量的 CLUSTER 分析

Fig.3 CLUSTER analysis of environmental parameters

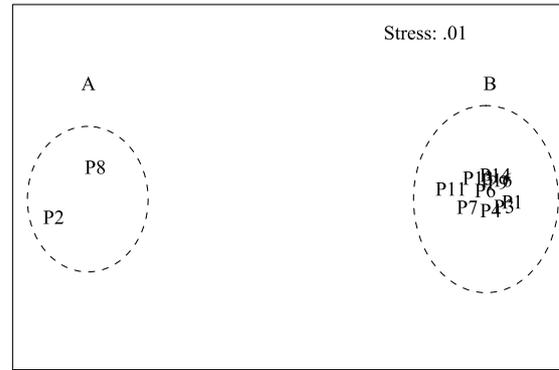


图4 环境变量的 MDS 标序

Fig.4 MDS ordination of environmental parameters

### 2.2 小型底栖生物类群组成、丰度及分布

共鉴定出小型底栖生物 16 个主要类群(表 1),其中海洋线虫的数量占绝对优势,其平均丰度为(115±115) 个/10 cm<sup>2</sup>,占小型底栖生物总丰度的 62.61%;其次依次为双壳类和甲壳类幼体,分别占 22.62% 和 5.02%;其余数量较多的类群还有桡足类、多毛类和动吻类等。调查水域小型底栖生物平均丰度为(183±172) 个/10 cm<sup>2</sup>(表 1),河口下游站点小型底栖生物的数量总体上多于河口上游的站点(图 5a),其中高值区位于 P14 和 P16 站,平均丰度分别为(539±21) 个/10 cm<sup>2</sup> 和(278±15) 个/10 cm<sup>2</sup>,低值区出现在 P1 站,仅为(60±9) 个/10 cm<sup>2</sup>。统计分析结果表明,小型底栖生物的丰度与温度呈显著负相关( $P < 0.05, r = -0.647$ ),与

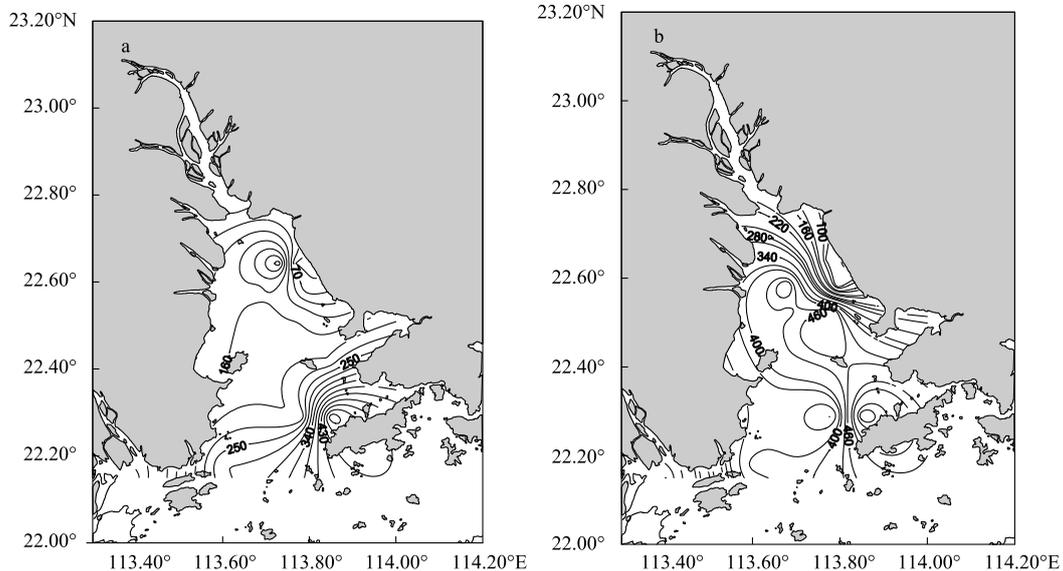


图5 珠江口水域小型底栖丰度和生物量分布

Fig.5 The abundance and biomass of meiobenthos in the Pear River Estuary

a. 小型底栖生物丰度(个/10cm<sup>2</sup>), b. 小型底栖生物生物量(µg 干重/10cm<sup>2</sup>)

沉积物有机质质量分数、中值粒径、粉砂+粘土均呈负相关(表 2),但与盐度呈显著正相关( $P < 0.05$ ,  $r = 0.604$ )。

小型底栖生物在 0—8 cm 沉积物中垂直分布情况不一致,其中分布于沉积物表层 0—2 cm 的小型底栖生物量占 40.71%,在沉积物中层 2—5 cm 的生物量占 40.46%,在沉积物底层 5—8 cm 的生物量占 18.78%。不同类群生物中,桡足类主要分布在表层 0—2 cm,生物量占 45.90%;多毛类则主要集中在中层 2—5 cm(占 43.24%);双壳类多出现在表层 0—2 cm(占 46.91%)和中层 2—5 cm(占 35.19%)。

表 1 珠江口水域小型底栖生物的平均丰度、生物量和生产量

Table 1 Average abundance, biomass and production of meiobenthos in the Pearl River Estuary

类群 Community	丰度 Abundance		生物量 Biomass		生产量 Production /( $\mu\text{g}$ 干重/10 $\text{cm}^2$ )
	/(个/10 $\text{cm}^2$ )	/%	/( $\mu\text{g}$ 干重/10 $\text{cm}^2$ )	/%	
线虫 Nematoda	115±115	62.61	46±46	13.33	413±417
双壳类 Bivalvia	41±30	22.62	174±127	50.43	1570±1146
甲壳类幼体 Nauplii	9±5	5.02	1±0	0.30	9±5
桡足类 Copepoda	6±5	3.62	12±11	3.54	110±100
多毛类 Polychaeta	3±3	1.65	43±39	12.47	387±349
纽虫 Nemertina	2±3	1.33	8±11	2.35	73±103
蠕虫类 Echiurida	2±2	1.10	30±29	8.82	274±268
介形类 Ostracoda	1±2	0.54	18±46	5.39	176±419
动物类 Kinorhyncha	1±1	0.52	2±2	0.59	18±20
寡毛类 Oligochaeta	0±1	0.20	4±13	1.37	39±100
涡虫 Turbellaria	0±1	0.20	1±2	0.38	12±21
原足类 Tanaidacea	0±1	0.31	1±2	0.52	16±17
刺胞动物 Cnidaria	0±0	0.02	0±1	0.02	1±4
棘皮动物 Echinodermata	0±1	0.10	1±3	0.36	11±26
海螵类 Halacaroidea	0±1	0.07	0±1	0.05	2±5
缓步类 Tardigrada	0±1	0.07	0±1	0.05	2±5
其它 Others	0±0	0.02	0±1	0.02	1±4
总计 Total	183±172	100	345±334	100	3104±3008

表 2 珠江口水域小型底栖生物的丰度和生物量与其环境因子的相关性分析

Table 2 Correlations of the abundance/biomass of meiobenthos with the environmental parameters in the Pearl Rivr Estuary

环境因子 Environmental parameters	小型底栖生物 Meiobenthos		线虫 Nematoda	桡足类 Copepoda	多毛类 Polychaeta	双壳类 Bivalvia
	丰度 Abundance	生物量 Biomass	生物量 biomass	生物量 biomass	生物量 biomass	生物量 biomass
水深 Depth of water	-0.001	-0.087	0.050	0.026	0.172	-0.067
底温 Bottom water temperature	-0.647 *	-0.593 *	-0.626 *	-0.152	-0.711 **	-0.089
底盐 Bottom water salinity	0.615 *	0.502	0.615 *	0.038	0.652 *	0.024
粉砂+粘土 Silt+Clay	-0.022	-0.062	0.014	-0.395	-0.138	-0.007
中值粒径 Median diameter	-0.066	-0.072	-0.035	-0.414	-0.164	-0.015
有机质 Organic matter	-1.141	0.027	-0.118	-0.387	0.540	0.22
叶绿素 a Chlorophyll a	0.228	-0.129	0.326	0.052	0.047	-0.297

\*\* 表示极显著( $P < 0.01$ ), \* 表示显著( $P < 0.05$ )

### 2.3 小型底栖生物的生物量及分布

小型底栖生物的平均生物量和生产量分别为(345±334)  $\mu\text{g}$  干重/10  $\text{cm}^2$  和(3104±3008)  $\mu\text{g}$  干重/10  $\text{cm}^2$ 。生物量的水平分布情况与丰度分布相类似(图 5),最高值出现在下游的 P14 站,平均生物量为(601.36±151.42)  $\mu\text{g}$  干重/10  $\text{cm}^2$ ;其次依次是 P8 和 P4 站,平均生物量分别为(494.37±136.34)  $\mu\text{g}$  干重/10

$\text{cm}^2$  和  $(485.68 \pm 151.53) \mu\text{g}$  干重/ $10 \text{ cm}^2$  (图 5)。不同类群对生物量的贡献中,双壳类幼体 (50.57%) 占主导,其余分别为海洋线虫 (13.33%),多毛类 (12.47%),蠕虫类 (8.82%) (表 1)。相关分析结果显示,小型底栖生物的生物量与底温呈显著负相关 ( $P < 0.05, r = -0.593$ ),但与其他环境因子的相关性不显著。海洋线虫的生物量与底温呈显著负相关 ( $P < 0.05, r = -0.626$ ),与底盐呈显著正相关 ( $P < 0.05, r = 0.615$ )。多毛类生物量与底温呈显著负相关 ( $P < 0.01, r = -0.711$ ),与底盐呈显著正相关 ( $P < 0.05, r = 0.652$ )。

#### 2.4 小型底栖生物群落多样性

各站位小型底栖生物类群数量 ( $S$ )、丰富度指数 ( $D$ )、均匀度指数 ( $J'$ )、多样性指数 ( $H'$ ) 和优势度指数 ( $\lambda$ ) 统计结果见表 3。丰富度指数平均值为 1.352,最高值出现在 P7 站位 (1.88),最低值出现在 P2 站位 (0.646)。均匀度指数平均值为 0.534,变化幅度为 0.315—0.801。多样性指数最高值出现在 P7 站,为 1.653,其次为 P3 站位的 1.558,最低值为 P16 站位的 0.667。优势度指数变化范围在 0.314—0.748 之间,平均为 0.542。综上所述,珠江口水域小型底栖生物群落多样性处于中等偏下水平。

表 3 珠江口小型底栖生物群落多样性

Table 3 Diversity index of meiobenthos in Pearl River Estuary

站位 Station	类群数量 Number of species ( $S$ )	丰富度指数 Margalef index ( $D$ )	均匀度指数 Pielou's evenness index ( $J'$ )	多样性指数 Shannon-Wiener index ( $H'$ )	优势度指数 Simpson dominance index ( $\lambda$ )
P1	5	0.849	0.515	0.830	0.400
P2	5	0.646	0.470	0.757	0.355
P3	7	1.403	0.801	1.558	0.748
P4	10	1.544	0.525	1.210	0.608
P6	9	1.757	0.611	1.343	0.659
P7	12	1.880	0.665	1.653	0.734
P8	7	1.049	0.660	1.284	0.657
P9	11	1.691	0.507	1.216	0.625
P11	8	1.174	0.517	1.074	0.586
P13	12	1.853	0.447	1.111	0.450
P14	12	1.584	0.315	0.782	0.314
P16	6	0.793	0.372	0.667	0.370
平均 Mean	8.7	1.352	0.534	1.124	0.542

#### 2.5 小型底栖生物群落结构

采用聚类分析法研究各站位小型底栖生物的群落结构 (图 6),结果显示 P9 和 P11 站位类群组成相似性系数最高,达 90.91%;其次为 P8 和 P9 站位,相似性系数为 83.85%。以相似性系数 40% 作为标准可划分为 3 个组合:P3 和 P6 站位构成组合 I,其特征为主要类群线虫、桡足类和多毛类的丰度差别不大;P1 站位为组合 II,表现特征为种类少,生物多样性程度低,且主要类群线虫丰度值较低;P4、P7、P8、P9、P11、P13、P2、P16 和 P14 构成组合 III,共同特征是类群多样性程度高,线虫、双壳类、甲壳类成为主要类群。

#### 2.6 海洋线虫与桡足类的比值 ( $N/C$ )

调查水域的海洋线虫与桡足类数量的比值 ( $N/C$ ) 为  $(27.20 \pm 39.04)$ ,其中 P11 站位未发现桡足类,故不作分析。 $N/C$  最高值为 P16 站位的 140,其次为 P9 站位的 59.3 和 P14 站位的 29.5,其余站位均较低。整个

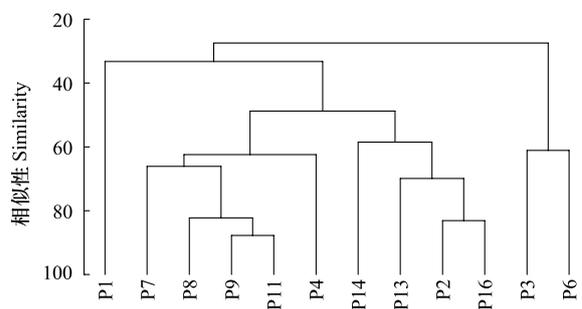


图 6 珠江口小型底栖生物的 CLUSTER 分析

Fig. 6 CLUSTER analysis of meiobenthos in Pearl River Estuary

调查水域 N/C 值呈现出由河口上游向河口下游递增,且西岸明显高于东岸的趋势(图 7)。N/C 比值与所测环境因子之间无显著相关关系。

### 3 讨论

#### 3.1 不同生境小型底栖生物丰度比较

此次调查的珠江口水域小型底栖生物的丰度( $183 \pm 172$ ) 个/10 cm<sup>2</sup> 与同纬度的南海海区越南海湾(Ha Long Bay) 的调查结果( $180.8 \pm 13.1$ ) 个/10 cm<sup>2</sup> 相近<sup>[6]</sup>。越南海湾调查站位均位于内湾,海域盐度变化不大,影响丰度最重要因子是沉积物类型和中值粒径;而珠江口是开放性河口,盐度梯度变化大,影响丰度最重要因子是盐度。与我国其它调查海域相比,珠江口小型底栖丰度低于南海外海海域<sup>[4]</sup> 和长江口海域<sup>[13]</sup>,这可能与珠江口盐度( $16.49 \pm 7.69$ ) 偏低有关。本次调查中 P1 站小型底栖生物丰度和盐度均为水域最低值,而 P14 站位丰度值和盐度均为水域最高值,由此可见盐度是决定珠江口水域小型底栖生物的限制性因子,这也充分体现了海洋起源的物种缺乏低盐耐受性的特点<sup>[19-21]</sup>。

与南海外海已有调查结果<sup>[4]</sup> 相比,珠江口沉积物有机质质量分数相对较高,且东岸的数值高于西岸。有关研究<sup>[22]</sup> 表明珠江口水域已受到一定程度的污染,如有机物是伶仃洋的主要污染因子。2010 年中国海洋环境状况公报显示,珠江口水域生态环境处于亚健康状态<sup>[23]</sup>。水体富营养化,水体层化和富营养化耦合会导致局部水域出现季节性缺氧<sup>[22-25]</sup>,不利于小型底栖生物的栖息和生长。刘晓收等<sup>[26]</sup> 指出沉积物有机质含量高会适当增加线虫的分布,但过于富集的有机质环境会致使线虫的数量剧减。因此,珠江口沉积物有机质质量分数偏高可能是导致该水域小型底栖丰度偏低的重要原因之一。

众多研究<sup>[4-13]</sup> 表明小型底栖生物主要分布在表层沉积物中,本研究的小型底栖生物也集中出现在 0—5 cm 的沉积物中,数量所占比例为 81.1%,与南海外海海域<sup>[4]</sup> 研究结果(85%) 接近,但低于黄河口(95%)<sup>[27]</sup> 和东海、黄海海域(91%—97%)<sup>[12]</sup>。珠江口水域小型底栖生物在沉积物表层 0—2 cm(40.7%) 与中层 2—5 cm(40.4%) 中的分布数量差异不大,但在我国外海海域<sup>[4,11-13]</sup> 和长江口河口水域<sup>[13]</sup>,小型底栖生物在沉积物表层 0—2 cm 中的分布数量所占比例均高于 50%。珠江口小型底栖生物在表层(0—2 cm) 和中层(2—5 cm) 的数量差别不明显可能是受到调查水域底层环境的影响,如淡水和海水相互作用、航道运输与疏通、渔业活动等。

小型底栖生物的丰度除与环境因子有关外,还受到采集的沉积物深度和过筛冲洗选择的网筛孔径大小等影响<sup>[28]</sup>。刘晓收等<sup>[28]</sup> 在对南黄海小型底栖生物的研究中发现,50 μm 网筛分选获得的动物数量仅为 31 μm 网筛所获动物数量的 91%,线虫的分选效率约为 90%。本文参考了相关调查文献<sup>[4-13,28]</sup>,采用 38 μm 作为分选的下限,调查结果会更为科学与可靠。

#### 3.2 不同生境小型底栖生物群落结构比较

海洋小型底栖动物数量巨大,可生活于世界海洋的各种底质环境中,其中海洋线虫是主要优势类群,但在不同的生境中,小型底栖动物丰度、生物量、类群组成和群落多样性差异较大<sup>[28]</sup>。以往的调查<sup>[4-13,28]</sup> 次级优势种多为桡足类或多毛类,而珠江口水域则为双壳类幼体,这与珠江口水域出现大量河蓝蛤(*Potamocorbula* sp.) 成体有关<sup>[2]</sup>。

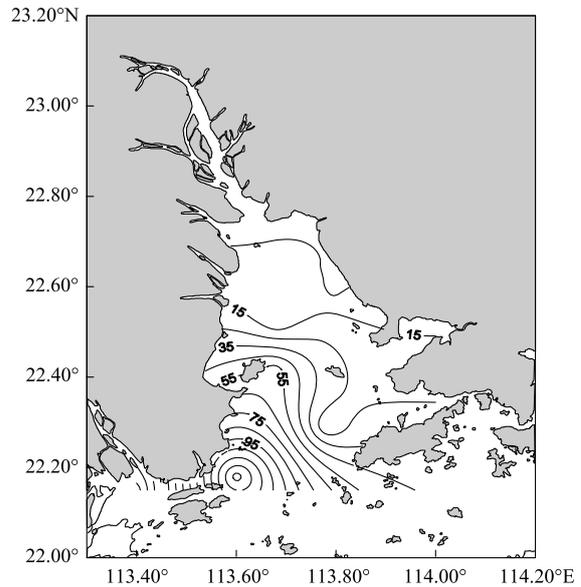


图 7 珠江口水域线虫与桡足类丰度比值(N/C)分布

Fig.7 Ratio of the abundance of nematodes to copepods (N/C)

本次调查的小型底栖生物群落均匀度指数和丰富度指数均较低,可能受到类群分类标准的影响,本次调查只鉴定到生物的类群,若能进一步鉴定到物种,则更能准确反映出调查水域小型底栖生物群落多样性水平。P7 和 P11 站位的多样性指数均较高,说明在砂质沉积物环境中,粘土和粉砂含量较高的站位其物种多样性也较高<sup>[5]</sup>。

### 3.3 海洋线虫与桡足类的比值(N/C)在环境污染中的应用分析

海洋线虫与桡足类的数量比值(N/C)作为海洋富营养化与有机污染的指标存在着争议,但仍可在一定程度上为海洋底栖环境污染检测提供参考<sup>[29-30]</sup>。Rafaelli 建议 N/C 最好用于遭受有机污染的砂质海滩的生物学评价,以 N/C 大于 100 为有机污染区<sup>[29]</sup>。本次调查中 N/C 比值大于 100 的站位,只有处于珠江口下游的 P16 站(140),反映出该站位及邻近水域已受到有机物污染。调查水域西部沿岸的 N/C 比值高于东部沿岸,这可能与珠江口季风流和潮流有关,水体中有机质更容易沉积到西部海岸下游的沉积物中。从而带来有机污染,由此可见,N/C 比值在一定程度上可为海洋底栖生态环境的监测提供依据。

致谢:中国科学院南海海洋研究所林传旭、何盛毅、郑泽文协助样品采集,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Zhang Y, Xia H Y, Qian L B, Zhu P L. Analysis on hydrological characteristics off the Pearl River Estuary in summer and winter of 2006. *Journal of Tropical Oceanography*, 2011, 30(1): 20-28.
- [ 2 ] Zhang J H, Gao Y, Fang H D, Xu Z B. Ecological characteristics of macrobenthic communities in Pearl River Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2989-2999.
- [ 3 ] Zhang Z N, Zhou H. Some progress on the study of meiofauna. *Periodical of Ocean University of China*, 2004, 34(5): 799-806.
- [ 4 ] Du Y F, Xu K D, Meng Z C, Wang J D. Spatial distribution of meiofauna in relation to environmental factors in the South China Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2010, 41(2): 199-207.
- [ 5 ] Pavlyuk O N, Trebukhova J A. Meiobenthos in Nha trang bay of the South China sea (Vietnam). *Ocean Science Journal*, 2006, 41(3): 139-148.
- [ 6 ] Pavlyuk O, Trebukhova Y, Thanh N V, Tu N D. Meiobenthos in estuary part of Ha Long Bay (Gulf of Tonkin, South China Sea, Vietnam). *Ocean Science Journal*, 2008, 43(3): 153-160.
- [ 7 ] Huang Y. Studies on Ecology of Meiofauna and Systematics of Free-living Marine Nematodes in the Southern Yellow Sea, China [D]. Shandong: Ocean University of China, 2005.
- [ 8 ] Song S J, Ryu J, Khim J S, Kim W, Yun S G. Seasonal variability of community structure and breeding activity in marine phytoplankton harpacticoid copepods on *Ulva pertusa* from Pohang, east coast of Korea. *Journal of Sea Research*, 2010, 63(1): 1-10.
- [ 9 ] Netto S A, Warwick R M, Attrill M J. Meiobenthic and macrobenthic community structure in carbonate sediments of Rocas Atoll (North-east, Brazil). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 48(1): 39-50.
- [ 10 ] Fonseca G, Hutchings P, Gallucci F. Meiobenthic communities of seagrass beds (*Zostera capricorni*) and unvegetated sediments along the coast of New South Wales, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2011, 91(1): 69-77.
- [ 11 ] Guo Y Q, Zhang Z N, Mu F H. Large-Scale Patterns of meiofaunal abundance in the Bohai Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1463-1469.
- [ 12 ] Zhuang Z N, Lin K X, Zhou H, Han J, Wang R Z, Tian S Y. Abundance and biomass of meiobenthos in autumn and spring in the East China Sea and the Yellow Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 997-1005.
- [ 13 ] Wang X G, Wang C S, Zhang D S, Hong L S, Yang D. Abundance and biomass of meiofauna in the Changjiang Estuary and its adjacent continental shelf waters in spring, 2007. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 717-727.
- [ 14 ] Zhang J H, Gao Y, Fang H D. Abundance and biomass of meiobenthos in Lingdingyang Bay of Pearl River Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2741-2748.
- [ 15 ] Juario J V. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German bight. *Veroffentlichung des Instituts flit Meeresforschung Bremerhaven*, 1975, 15(4): 283-337.
- [ 16 ] Widbom B. Determination of average individual dry weights and ash-free dry weights in different sieve fractions of marine meiofauna. *Marine Biology*, 1984, 84(1): 101-108.
- [ 17 ] Coull B C. Ecology of the marine meiofauna // Higgins R P, Thiel H, eds. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Washington: Smithsonian

Institution Press, 1988: 18-38.

- [18] Specifications for Oceanographic Survey. The standards of the People's Republic of China GB. Beijing Standards Press of China, 2007.
- [19] Montagna P A, Kalke R D. The effect of freshwater inflow on meiofaunal and macrofaunal populations in the Guadalupe and Nueces Estuaries, Texas. *Estuaries and Coasts*, 1992, 15(3): 307-326.
- [20] Bouwman L A, Romeyn K, Kremer D E, van Es F B. Occurrence and feeding biology of some nematode species in estuarine Aufwuchs communities. *Cahiers de Biologie Marine*, 1984, 25(3): 287-303.
- [21] Heip C, Vincx M, Vranken G. The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 1985, 23: 399-489.
- [22] Lin W Q, Li S Y. Vertical distribution of COD and DO and its affecting factors in the Pearl River Estuary in Summer. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2002, 41(4): 82-86.
- [23] State Oceanic Administration People's Republic of China. The marine environment condition bulletin [EO/OL]. (2011-5-16) [2011-6-13]. <http://www.soa.gov.cn/soa/hygbml/hjgb/ten/webinfo/1305507673168338.htm>
- [24] Luo L, Li S Y, Li H M. Characteristics of dissolved Oxygen and its affecting factors in the Pearl River Estuary in summer. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2005, 44(6): 118-122.
- [25] Huang X P, Tian L, Peng B, Zhang D W. Environmental pollution in the Pearl River Estuary: a review. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(1): 1-7.
- [26] Liu X S, Xu W Z, Cheung S G, Shin P K S. Subtropical meiobenthic nematode communities in Victoria Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 56(8): 1491-1497.
- [27] Zhang Z N, Li Y G, Tu L H, Wang Z S. Preliminary study on the ecology of the benthic meiofauna in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1989, 20(3): 197-208.
- [28] Liu X S, Zhang Z N, Huang Y. Sublittoral meiofauna with particular reference to nematodes in the southern Yellow Sea, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71(3/4): 616-628.
- [29] Raffaelli D G. The behaviour of the Nematode/Copepod ratio in organic pollution studies. *Marine Environmental Research*, 1987, 23(2): 135-152.
- [30] Warwick R M. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 1981, 12(10): 329-333.

#### 参考文献:

- [1] 张燕, 夏永华, 钱立兵, 朱鹏利. 2006年夏、冬季珠江口附近海域水文特征调查分析. *热带海洋学报*, 2011, 30(1): 20-28.
- [2] 张敬怀, 高阳, 方宏达, 徐志斌. 珠江口大型底栖生物群落生态特征. *生态学报*, 2009, 29(6): 2989-2999.
- [3] 张志南, 周红. 国际小型底栖生物研究的某些进展. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2004, 34(5): 799-806.
- [4] 杜永芬, 徐奎栋, 孟昭翠, 王家栋. 南海小型底栖动物生态学的初步研究. *海洋与湖沼*, 2010, 41(2): 199-207.
- [7] 黄勇. 南黄海小型底栖生物生态学和海洋线虫分类学研究 [D]. 山东: 中国海洋大学, 2005.
- [11] 郭玉清, 张志南, 慕芳红. 渤海小型底栖动物丰度的分布格局. *生态学报*, 2002, 22(9): 1463-1469.
- [12] 张志南, 林岩旋, 周红, 韩洁, 王睿照, 田胜艳. 东、黄海春秋季小型底栖生物丰度和生物量研究. *生态学报*, 2004, 24(5): 997-1005.
- [13] 王小谷, 王春生, 张东声, 洪丽莎, 杨丹. 长江口及其陆架春季小型底栖生物丰度和生物量. *生态学报*, 2010, 30(17): 4717-4727.
- [14] 张敬怀, 高阳, 方宏达. 珠江口伶仃洋海域小型底栖生物丰度和生物量. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2741-2748.
- [18] 海洋调查规范. 中华人民共和国国家标准(GB12763.4—2007). 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [22] 林卫强, 李适宇. 夏季伶仃洋 COD、DO 的垂向分布及其影响因素. *中山大学学报: 自然科学版*, 2002, 41(4): 82-86.
- [23] 国家海洋局. 2010年中国海洋环境状况公报 [EB/OL]. (2011-5-16). <http://www.soa.gov.cn/soa/hygbml/hjgb/ten/webinfo/1305507673168338.htm>
- [24] 罗琳, 李适宇, 厉红梅. 夏季珠江口水域溶解氧的特征及影响因素. *中山大学学报: 自然科学版*, 2005, 44(6): 118-122.
- [25] 黄小平, 田磊, 彭勃, 张大文. 珠江口海域环境污染研究进展. *热带海洋学报*, 2010, 29(1): 1-7.
- [27] 张志南, 李永贵, 图立红, 于子山. 黄河口水下三角洲及其邻近水域小型底栖动物的初步研究. *海洋与湖沼*, 1989, 20(3): 197-208.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China ..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)

Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen ..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)

Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer ..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)

Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010 ..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)

Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for *Illex argentinus* ..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)

Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta ..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)

Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region ..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)

Mobilization of potassium from Soils by *rhizobium phaseoli* ..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)

Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil ..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)

Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of *Trollius chinensis* Bunge ..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)

Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China ..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)

Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert ..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)

Effects of mixing leaf litter from *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *Larix principis-rupprechtii* with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau ..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)

Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under *Phyllostachys praecox* stands ..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)

Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants ..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)

Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area ..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)

Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field ..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)

Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties ..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)

Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution ..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)

Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers ..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)

Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system ..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)

Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO<sub>2</sub> emission in dry-land of maize ..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)

The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County ..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)

The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province ..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)

Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model ..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)

Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats ..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)

Effect of population of *Kerria yunnanensis* on diversity of ground-dwelling ant ..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)

Response of *Parnassius apollo* population and vertical distribution to climate warming ..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)

**Review and Monograph**

Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method ..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)

Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review ..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)

Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish ..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)

Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses ..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)

Advances in ecological immunology ..... XU Deli, WANG Dehua (6251)

**Scientific Note**

The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills ..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)

Characteristics of seed rain of *Haloxylon ammodendron* in southeastern edge of Junggar Basin ..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

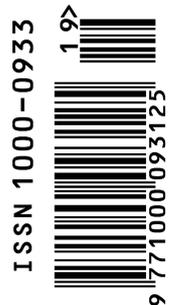
第 32 卷 第 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元