

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

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 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张才学, 龚玉艳, 王学锋, 孙省利. 湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素. 生态学报, 2011, 31(23): 7086-7096.

Zhang C X, Gong Y Y, Wang X F, Sun X L. The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7086-7096.

湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素

张才学, 龚玉艳, 王学锋, 孙省利*

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 湛江 524088)

摘要: 2009 年 2 月、5 月、8 月和 11 月分别对湛江港湾浮游动物进行了季度月调查, 并对该海域浮游桡足类群落结构的季节变化及影响因素进行了分析。结果共鉴定出桡足类 72 种, 其中冬季 36 种, 占浮游动物种类数的 29.5%; 春季 33 种, 占浮游动物种类数的 39.3%; 夏季 24 种, 占浮游动物种类数的 29.6%; 秋季 19 种, 占浮游动物种类数的 40.4%。主要优势种为中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、强额拟哲水蚤 *Paracalanus crassirostris*、短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis*、亚强真哲水蚤 *Eucalanus subcrassus*、刺尾纺锤水蚤 *Acartia spinicauda* 和桡足类幼体。季节变化模式为: 夏季丰度最高, 达 960.0 个/m³, 春季次之为 421.0 个/m³, 冬季为 303.4 个/m³, 秋季最低仅为 252.8 个/m³。平面分布冬春季丰度内湾高, 往湾口逐渐降低, 夏季内湾低往湾口逐渐增大, 而秋季分布较均匀。调查海区桡足类丰度与水温、叶绿素 a 和浮游植物细胞丰度呈极显著的正相关, 与 DIN 和 PO₄³⁻ 呈显著的负相关, 与盐度、pH 值和活性硅酸盐相关性不明显。

关键词: 桡足类; 群落结构; 环境因子; 季节变化; 湛江港湾

The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China

ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, SUN Xingli*

Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Copepods are the most abundant and diverse mesozooplankton in marine habitats and are considered to make a major contribution to secondary production in the marine food web. Copepods represent important trophic linkages between the primary producers, phytoplankton, and higher trophic levels such as fish. In coastal waters, copepod community structure often fluctuates with seasonal changes in water temperature, salinity and phytoplankton abundance. Community structure can also be greatly affected by human activities in or near ecosystems such as estuaries and bays, which are often polluted by domestic and industrial wastewaters. Because of this, the community structure and diversity of copepods could be used as a bioindicator of current condition or health of the coastal ecosystem.

Zhanjiang Bay is an economically and militarily important subtropical harbor located in the northeast of the Leizhou Peninsula, Guangdong, China. It is near Naozhou Island, Donghai Island and Nansan Island, and covers 264.9 km². The rapid development of industry and increase in the human population in this region over recent years, has led to increasing levels of pollution in the bay. To gain a basic understanding of the current state of the bay ecosystem, we investigated temporal and spatial changes of the zooplankton community in Zhanjiang Bay.

Plankton samples were collected from 28 stations in February (winter), May (spring), August (summer) and November (fall) of 2009. These stations included sites closed to aquaculture areas (Stations 4, 12, 15, 22), near docks (14, 17, 18, 26, 27) and in the waterways (e. g., 2, 9, 13, 16, 19, 21, 25). Zooplankton samples were collected

基金项目: 广东省海洋渔业科技推广专项 (A200899J01); 国家海洋行业公益性项目 (200905005-05); 广东省海洋与渔业局项目 (2009-015)

收稿日期: 2010-10-08; **修订日期:** 2011-02-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinglsun@126.com

using a vertical net tow and plankton net (Shallow Water Type I, equipped with Digital Flow Meter), and then fixed in 5% formalin to be brought back to the laboratory for microscopic analysis. Phytoplankton abundances were estimated using a concentrated cell count method. Measurements were also made of chlorophyll a, dissolved inorganic nitrogen, phosphate and silicate concentrations.

Our primary focus was to investigate any seasonal changes of the planktonic copepod community. In total, 72 species of copepods were identified, with 36, 33, 24, and 19 found in winter, spring, summer and fall, respectively. This represented 29.5%, 39.9%, 29.6% and 40.4% of the total number of zooplankton species found in the samples in each of these seasons, respectively. The copepods could be divided into four ecological groups: estuarine/brackish water, coastal warm temperate water, coastal warm water and open sea warm water. The coastal warm water group was the dominant group in terms of number of species and individuals, which is typical of a subtropical coastal copepod community. The dominant species were *Calanus sinicus*, *Paracalanus crassirostris*, *Oithona brevicornis*, *Eucalanus subcrassus*, *Acartia spinicauda* and some unidentified copepods. The genus with the most copepod species was *Oithona* (9 species), followed by *Centropages* (6), *Labidocera* (5) and *Acartia* (4), *Microsetella* (4), *Paracalanus* (4) and *Pontellopsis* (4). Copepod species that were common to any two seasons ranged from 6—14 species, with a seasonal change rate of 0.57—0.88. This rate was highest when comparing the fall/winter species and lowest for the summer/fall species. Only four species and one copepodite were found in all seasons, while eight were common to three seasons. This indicates that there were significant changes in the copepod community between seasons. Total copepod abundance was highest in the summer (960.0 individuals m^{-3}), followed by spring (421.0), winter (303.4) and fall (252.8). Copepod abundance was higher in the inner bay, and lower in the outer bay, during the spring and winter; while this trend was reversed in the summer. In the fall, the distribution of copepods was relatively uniform throughout the bay.

There was a significant positive correlation between copepod abundance and water temperature, phytoplankton abundance and chlorophyll α concentration. There was a negative correlation between copepod abundance and the concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphate. There was no evidence of effects of salinity, pH or silicate concentration on copepod abundance. Compared to other regions of inside and outside of China that have been studied, the copepod community in Zhanjiang Bay has higher biodiversity and a more uniform distribution, which could indicate that the bay ecosystem is currently in a relatively stable and healthy condition.

Key Words: community structure; copepod; environmental factor; seasonal variation; Zhanjiang Bay

海洋浮游桡足类是一类小型、低等的浮游甲壳动物,它是浮游动物中最重要的组成部分,也是海洋生态系统中物质循环和能量流动的重要环节,其群落结构和时空分布与各种海洋环境的变迁和海洋渔业资源的盛衰密切相关,可作为探索鱼群和寻找渔场的重要依据。有关海洋浮游桡足类的研究国内外已有不少报道,他们分别对不同海域浮游桡足类的群落结构、时空分布和生态学等方面进行了较详细的研究^[1-8],在海洋生态系统动力学、生物地理学和环境生物学等方面取得了一系列的研究成果,充分论证了生态系统中环境与生物之间相互依赖和相互制约的辩证关系,环境决定着生物的群落结构,而生物的群落结构也能反映环境的特征,可以通过研究生物的群落结构和变化规律来评价环境的质量状况和变化趋势。

湛江港湾位于中国大陆最南端广东省雷州半岛的东北部,海湾纵深 60 km,湾外由硇洲岛、东海岛、南三岛形成天然屏障,湾域面积 264.9 km^2 ,湾内自然岸线长 241 km,港内水深浪静,海域宽阔,航行和停泊条件良好,是集商港、军港、渔港和油港等于一身的我国南方深水良港,素有“南海明珠”之称,港内及周边的交通运输业、养殖业、石油加工业、服务业、旅游业等较为发达,现已与世界 100 多个国家和地区通航,港口年吞吐量已超亿吨。随着湛江“工业立市、以港兴市”发展战略的深入实施和“前港后厂、前港后库”发展思路的逐步落实以及宝钢湛江钢铁基地、石化加工等项目的建设,环湛江港湾的工业大港已初具规模,港湾内海洋生物赖以

生存的生态环境正承受着因多层次开发利用(养殖、捕捞、排污、航运、疏浚、建港、筑路、填海等)而带来的多方污染日益增大的压力,海洋生态环境和生态系统的健康状况令人堪忧,为了了解海湾生态系统的健康状况,并为海湾的进一步研究提供基础资料,笔者等对海湾的生态环境和生物群落结构进行了系统的季节调查,并分析了其群落结构和变化规律及影响因素,评价了海湾环境质量状况和变化趋势。本文仅对浮游桡足类的群落结构、时空分布及其影响因素进行了分析,其结果和结论可为政府决策部门提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

于2009年2月(冬季)、5月(春季)、8月(夏季)和11月(秋季)分别对湛江港湾海域的浮游动物及环境因子等进行了4个季度月的周年调查,根据湛江港湾的地形地貌共布设了28个调查站位(图1)。其中站4靠近对虾养殖区,站12、15为网箱养殖区,站22为贝类养殖区,站14、17、18、26、27靠近码头,各断面的中间站位为航道。浮游动物用装有网口流量计的浅水I型浮游生物网自底至表进行垂直拖网采集,标本以5%福尔马林溶液固定保存,室内用显微镜进行分类和计数。浮游植物用浓缩计数法、叶绿素a用丙酮溶液萃取紫外-可见分光光度法、氨氮用靛酚蓝分光光度法、亚硝酸盐用萘乙二胺分光光度法、硝酸盐用紫外分光光度法、活性硅酸盐用硅钼蓝分光光度法、活性磷酸盐用磷钼蓝分光光度法于室内进行分析^[9]。

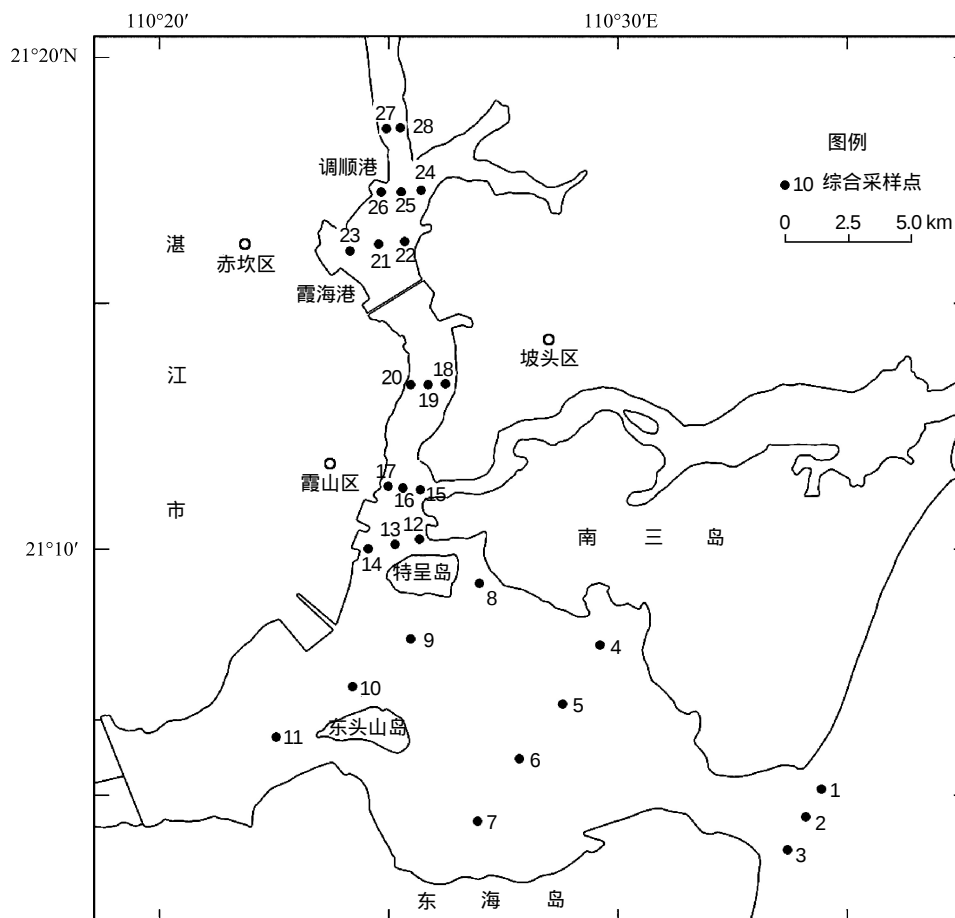


图1 湛江港湾采样站

Fig. 1 Sampling stations in Zhanjiang Bay

1.2 统计方法

多样性指数 $H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$, 式中 s 为物种数, P_i 为第 i 种在全部采样中的比例 ($P_i = n_i \cdot N^{-1}$), n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数。

均匀度 $J = H' \cdot (\log_2 S)^{-1}$, 式中 H' 为前式的多样性指数值, S 为样品中总种类数。

优势度 $Y = (n_i \cdot N^{-1}) \cdot f_i$, 式中 n_i 为第 i 种的总个体数; N 为所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率, 以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

季节更替率 $R = m \cdot M^{-1}$, 式中 m 为两个季节间不相同的物种数; M 为两个季节总物种数。

2 结果

2.1 浮游桡足类的种类组成和生态类群

2.1.1 种类组成

调查期间共鉴定浮游桡足类 28 属 72 种^[10-14], 其中冬季 36 种, 占浮游动物种类数的 29.5%; 春季 33 种, 占浮游动物种类数的 39.3%; 夏季 24 种, 占浮游动物种类数的 29.6%; 秋季 19 种, 占浮游动物种类数的 40.4%。种类最多的是长腹剑水蚤属 (*Oithona*) 达 9 种, 其次为胸刺水蚤属 (*Centropages*) 6 种, 唇角水蚤属 (*Labidocera*) 5 种, 纺锤水蚤属 (*Acartia*)、小毛猛水蚤属 (*Microsetella*)、拟哲水蚤属 (*Paracalanus*) 和简角水蚤属 (*Pontellopsis*) 各 4 种。各季节间共有种数在 6—14 种, 季节更替率变化范围在 0.57—0.88, 秋冬季更替最大, 夏秋季更替最小 (表 1), 4 季均出现的种类有 4 种和 1 类幼体, 3 季均出现的种类有 8 种, 说明该海域季节间环境异质性相差较大, 浮游桡足类种类更替明显。

表 1 湛江港湾浮游桡足类季节更替率

Table 1 Seasonal alternate rate of planktonic copepods in Zhanjiang Bay

指标 Index	春 Spring/ 夏 Summer	春 Spring/ 秋 Autumn	春 Spring/ 冬 Winter	夏/秋	夏/冬	秋/冬
各季节种数 Species amount	33/24	33/19	33/36	24/19	24/36	19/36
共有种数 Same species amount	14	8	11	13	9	6
季节更替率 R	0.67	0.82	0.81	0.57	0.82	0.88

2.1.2 生态类群

湛江港湾地处亚热带, 终年水温较高, 湾内受官渡河、大陆径流和城市排污的影响, 也受到外海高温高盐水的影响, 浮游动物群落结构较为复杂。根据浮游桡足类的生态习性和地理分布, 湛江港海域的浮游桡足类大致可划分为 4 个生态类群。

(1) 河口低盐 (含半咸水) 生态类群

因湛江港湾受官渡河、大陆径流和城市生活污水等淡水的影响, 这一区域生活着一些适应低盐的种类, 主要代表有刺尾纺锤水蚤 *Acartia spinicauda*、中华异水蚤 *Acartiella sinensis*、海洋伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus marinus*、真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*、瘦尾简角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*、瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiemi* 等。

(2) 近岸暖温性生态类群

适应于偏低温低盐的暖温带种类, 主要代表有中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*、背针胸刺水蚤 *Centropages dorsispinatus*、克氏纺锤水蚤 *Acartia clausi* 等, 这是典型的低温低盐种类, 在我国渤海至南海沿岸水域均有分布。

(3) 近岸暖水性生态类群

适应于偏高温低盐种类, 主要种类有驼背隆哲水蚤 *Acrocalanus gibber*、太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*、红纺锤水蚤 *Acartia erythraea*、亚强真哲水蚤 *Eucalanus subcrassus*、强额拟哲水蚤 *Paracalanus crassirostris*、针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*、短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis*、小长腹剑水蚤 *Oithona nana*、伪长腹剑水蚤 *Oithona fallax*、羽状长腹剑水蚤 *Oithona plumifera*、坚长腹剑水蚤 *Oithona rigida*、大同长腹剑水蚤 *Oithona similis*、锥形宽水蚤 *Temora turbinata*、柱形宽水蚤 *Temora styliifera*、异尾宽水蚤 *Temora discaudata*、弓角基齿哲水蚤 *Clausocalanus arcuicornis*、丹氏厚壳水蚤 *Scolecithrix danae*、分叉角水蚤 *Pontella chierchiaie*、羽小角水蚤 *Pontellina*

plumata、挪威小毛猛水蚤 *Microsetella norvegica* 等,这是典型的亚热带种类,在我国南海沿岸水域均有分布。

(4) 外海暖水性生态类群

属偏高温高盐热带性种类,适温适盐范围较宽,主要种类有普通波水蚤 *Undinula vulgaris*、叉胸刺水蚤 *Centropages furcatus*、尖额唇角水蚤 *Labidocera acuta*、微驼隆哲水蚤 *Acrocalanus gracilis*、小哲水蚤 *Nannocalanus minor*、红小毛猛水蚤 *Microsetella rosea* 等,说明高温高盐的外海水对该区域有较强的影响。

湛江港湾浮游桡足类虽 4 种生态类群共存,但以近岸暖水性种类居主导地位,兼有河口低盐性、近岸暖温性和外海暖水性的种类,群落结构较复杂,这体现了湛江港湾既受官渡河淡水的影响,也受到南海外海高温高盐水的影响,随着季节的变化而出现了暖温性和暖水性种类的更替,属于典型的亚热带沿岸群落。

2.2 浮游桡足类丰度的平面分布和季节变化

湛江港湾浮游桡足类丰度的平面分布相差悬殊,不同站位其值不同(图 2),从 21.4 个/ m^3 到 4120.3

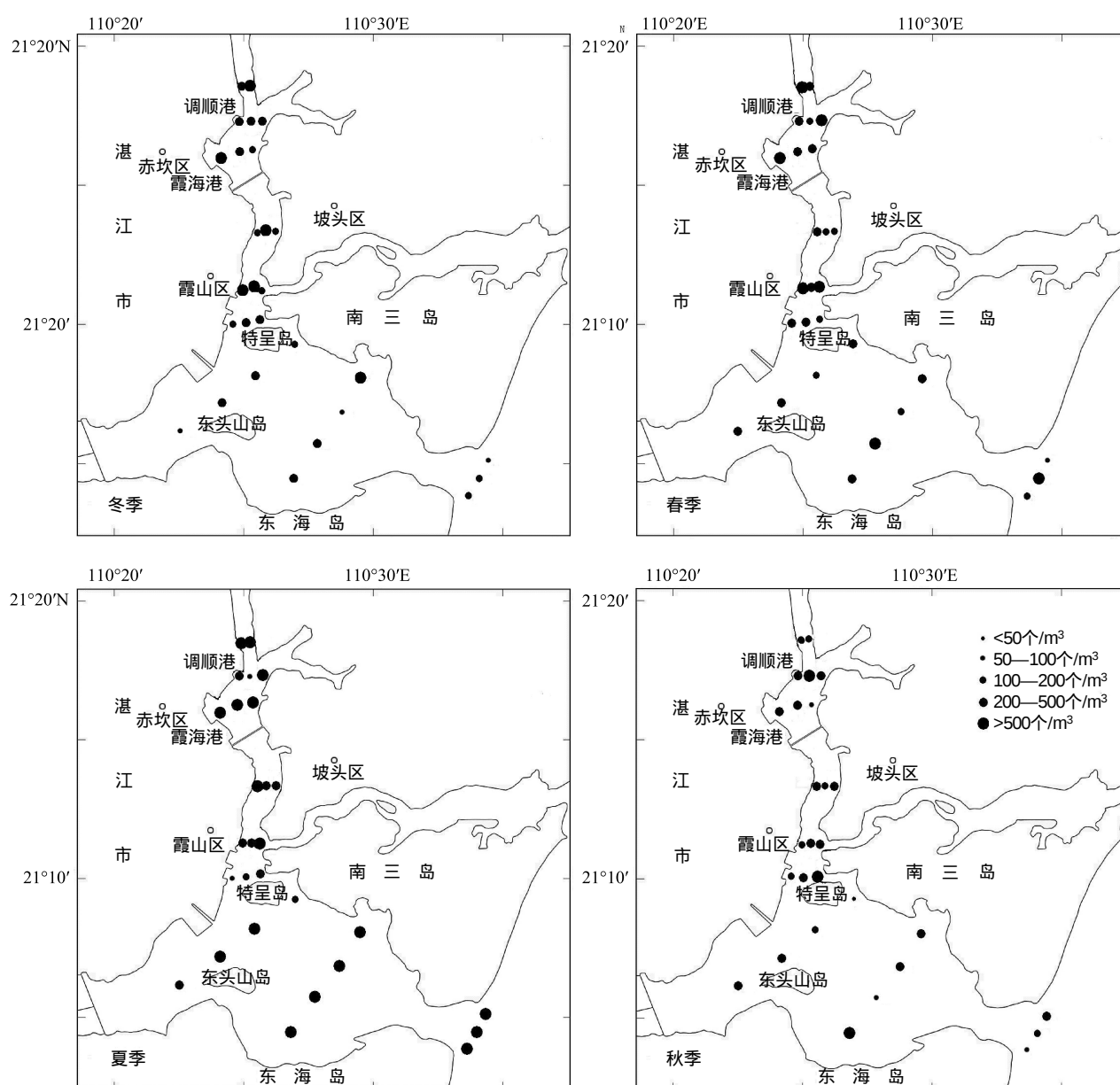


图 2 湛江港湾桡足类丰度的平面分布和季节变化

Fig. 2 Horizontal distribution and seasonal variations of abundance of zooplankton in Zhanjiang Bay

个/ m^3 不等,4 站位最高,年均值达 1304.8 个/ m^3 ,周年变动范围为 260.5—4120.3 个/ m^3 ;24 站位次之,年均值为 1023.0 个/ m^3 ,周年变动范围为 290.1—1818.1 个/ m^3 ;8 站位最低,年均值为 142.1 个/ m^3 ,周年变动范围为 21.4—270.1 个/ m^3 ,最高站位是最低站位的 9.2 倍。湾口处 3 站位最高,年均值 972.4 个/ m^3 ,周年变化范围为 56.4—3657.4 个/ m^3 ,居于调查海区丰度年均值第 3 位。

湛江港湾浮游桡足类丰度的季节变化较大,在不同季节其丰度差别明显,夏季最高平均为 960.0 个/ m^3 ,春季次之为 421.0 个/ m^3 ,冬季为 303.4 个/ m^3 ,秋季最低仅为 252.8 个/ m^3 ,年均丰度为 484.3 个/ m^3 。冬季 28 站位最高,11 站位最低,大体上从湾顶往湾口逐渐降低;春季 24 站位最高,17 站位次之,3 站位最低,湾顶丰度最高,在内湾往外将近湾中部也有一个密集区,之后自特垵岛往外的广大区域直至湾口,丰度均较低,且相差不大;夏季 4 站位最高,3 站位次之,14 站位最低,自湾顶往外逐渐减少,至近湾中部达最低,之后往湾口逐渐增大,靠近对虾养殖区的丰度达最大,这与虾池排放富含硅藻的养殖水有关,在该季节,各站位浮游桡足类的丰度相差最为悬殊,这说明浮游桡足类具有群聚的习性;秋季 12 站位最高,8 站位最低,该季节各站位丰度均较接近,在整个港湾内基本上分布较均匀。

2.3 浮游桡足类优势种的季节演替

湛江港湾浮游桡足类优势种共有 11 种(包括桡足类幼体),其中冬季 2 种,春季 3 种,夏季 5 种,秋季 6 种(表 2)。冬季优势度最大的种类是中华哲水蚤,丰度为 174.9 个/ m^3 ,其次为锥形宽水蚤,丰度为 17.2 个/ m^3 ;春季优势度最大的也是中华哲水蚤,丰度为 77.3 个/ m^3 ,其次为普通波水蚤,丰度为 57.8 个/ m^3 ;夏季优势度最大的为桡足类幼体 Copepodite,丰度为 310.7 个/ m^3 ,其次为强额拟哲水蚤,丰度为 177.9 个/ m^3 ;秋季优势度最大的为短角长腹剑水蚤,丰度为 68.6 个/ m^3 ,其次为亚强真哲水蚤,丰度为 35.9 个/ m^3 。由于气候的季节变化,海湾的环境因子随之发生变化,适应环境变化的群落结构和优势种群也发生了相应的变化。中华哲水蚤为暖温性种类,适应较低温低盐环境,在亚热带的湛江港湾冬季(水温 21—23.4℃,盐度 25.8—29.3)为中华哲水蚤提供了适宜的环境条件,大量繁殖成为冬季的第一优势种群,优势度为 0.57,平均丰度为 174.9 个/ m^3 ,最高丰度出现在 16 站位,为 601.9 个/ m^3 。随着水温的逐渐回升,中华哲水蚤的数量也在逐渐下降,至春季其虽仍为第一优势种,但丰度已下降至 77.3 个/ m^3 ,之后丰度急剧减少至秋季消失。强额拟哲水蚤为喜高温种类,在湛江港湾冬季消失,春季开始出现,到了夏季大量繁殖,成为除了幼体外的第一优势种群,

表 2 湛江港湾浮游桡足类优势种群的季节演替

Table 2 Seasonal successions of dominant species of planktonic copepods in Zhanjiang Bay

季节 Season	物种 Species	出现频度 Frequency	平均丰度 Average abundance	丰度百分比 Percentage	优势度 Dominancy
冬季 Winter	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	1.00	174.9	0.56	0.56
	锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>	0.36	17.2	0.06	0.02
春季 Spring	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.79	77.3	0.18	0.14
	普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>	0.36	57.8	0.15	0.05
	小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	0.39	38.3	0.09	0.04
夏季 Summer	桡足类幼体 Copepodite	1.00	310.7	0.31	0.31
	强额拟哲水蚤 <i>Paracalanus crassirostris</i>	0.86	177.9	0.18	0.15
	刺尾纺锤水蚤 <i>Acartia spinicauda</i>	0.64	107.1	0.11	0.07
	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	0.50	102.6	0.10	0.05
	短角长腹剑水蚤 <i>Oithona brevicornis</i>	0.39	64.0	0.06	0.02
	短角长腹剑水蚤 <i>Oithona brevicornis</i>	0.75	68.6	0.26	0.20
秋季 Autumn	短角长腹剑水蚤 <i>Oithona brevicornis</i>	0.75	68.6	0.26	0.20
	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	0.68	35.9	0.15	0.10
	桡足类幼体 Copepodite	0.54	34.4	0.18	0.10
	强额拟哲水蚤 <i>Paracalanus crassirostris</i>	0.50	33.7	0.13	0.07
	伪长腹剑水蚤 <i>Oithona fallax</i>	0.29	19.9	0.08	0.02
	坚长腹剑水蚤 <i>Oithona rigida</i>	0.36	13.8	0.06	0.02

平均丰度达 177.9 个/ m^3 , 在 3 站位和 4 站位出现密集区, 最高丰度为 925.9 个/ m^3 , 秋季丰度下降成为除幼体外的第三优势种。短角长腹剑水蚤适温范围较广, 在湛江港湾全年均出现, 冬季丰度较低, 仅为 1.9 个/ m^3 , 进入春季数量逐渐增多, 至夏季为除了幼体外的第二优势种群, 平均丰度为 64.0 个/ m^3 , 接着一直保持高丰度至秋季, 为 68.6 个/ m^3 , 成为秋季的第一优势种群。湛江港湾属亚热带海湾, 全年均有桡足类幼体, 但其丰度高峰却出现于夏季, 平均高达 310.7 个/ m^3 , 成为夏季第一优势类群, 冬春季丰度较小, 特别是春季, 其丰度为全年最低值, 秋季较多, 为秋季的第三优势类群(图 3)。在夏秋季出现桡足类幼体优势类群, 说明该海域桡足类的繁殖盛季为夏秋季, 尤其是夏季幼体优势度为次优势种的 2 倍多, 这是亚热带海湾桡足类群落的重要特征之一。

3 讨论

3.1 湛江港湾浮游桡足类的群落结构特征

在调查期间湛江港湾共发现浮游动物 217 种和 12 类浮游幼体, 其中浮游桡足类 72 种, 占浮游动物总种类数(含浮游幼体)的 31.4%, 是种类数最多的一类浮游动物, 分别隶属于哲水蚤目(12 科 22 属 58 种, 占桡足类种类数的 80.6%)、剑水蚤目(2 科 2 属 8 种, 占桡足类种类数的 11.1%)和猛水蚤目(3 科 3 属 6 种, 占桡足类种类数的 8.3%)。优势种共有 10 种(不含浮游幼体), 除夏秋季有 3 种属剑水蚤目外, 其余 7 种均属哲水蚤目的种类, 没有全年优势种, 显示季节更替明显。优势种类除了中华哲水蚤和小拟哲水蚤为暖温性种类外, 其他优势种均为近岸暖水性种类, 反映了湛江港湾亚热带的气候特点。此外, 在优势种类中出现了半咸水种类刺尾纺锤水蚤和外海高温高盐种类普通波水蚤, 说明湛江港湾同时受到淡水的冲击和外海水的强烈影响。全年皆有浮游桡足类生长繁殖, 桡足类幼体夏季最多, 秋季次之, 春季最少, 繁殖盛季为夏季, 从丰度的季节变化显示冬季开始增长繁殖, 至夏季出现丰度高峰, 进入秋季逐渐减少至低谷, 属季节单峰型变化, 但春季桡足类幼体丰度最低, 这与多数亚热带海湾桡足类繁殖季节的变化趋势不同, 一般亚热带海湾桡足类幼体冬季丰度最低, 春季丰度逐渐增多, 夏季达到最高峰, 到了秋季又逐渐下降。这是否与该海湾浮游植物优势种群的季节演替以及受南海海水强烈影响有关, 还有待进一步研究。

湛江港湾浮游桡足类的群落结构个体大多较小, 在主要优势种中华哲水蚤、强额拟哲水蚤、短角长腹剑水蚤、刺尾纺锤水蚤、亚强真哲水蚤、小拟哲水蚤、普通波水蚤、伪长腹剑水蚤、坚长腹剑水蚤和桡足类幼体中除了中华哲水蚤和亚强真哲水蚤为中型桡足类外, 其他均为小型桡足类, 这种小型化趋势可能与浮游植物主要优势种小型硅藻中肋骨条 *Skeletonema costatum*、旋链角毛藻 *Chaetoceros Curvisetus*、日本星杆藻 *Asterionella japonica*、浮动弯角藻 *Eucampia zoodiacus* 和斯氏根管藻 *Rhizosolenia stolterfothii* 在浮游植物群落构成中占绝对优势有关(在浮游植物总细胞数中占 44.07%)。在冬季浮游植物主要优势种为浮动弯角藻、日本星杆藻和斯氏根管藻, 是中华哲水蚤的主要摄食对象; 春季浮游植物主要优势种为旋链角毛藻、丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus*、中肋骨条藻, 也是中华哲水蚤的主要摄食对象; 夏季浮游植物主要优势种为中肋骨条藻和日本星杆藻, 是强额拟哲水蚤和桡足类幼体等的良好饵料; 秋季浮游植物主要优势种为中肋骨条藻、奇异菱形藻和旋链角毛藻, 是短角长腹剑水蚤和桡足类幼体等的良好饵料(表 3)。许多研究表明, 水体富营养化的加重和营养盐结构的变化已使得近岸海域浮游植物群落构成趋于小型化^[15-16], 并通过食物链的传递效应, 进一步引起主要摄食者浮游动物的小型化。Kitheka 等^[17]发现肯尼亚 Gazi Bay 海域营养盐结构的变化与雨水和河流的排水密切相关, 而营养盐结构的变化是导致浮游植物小型化的主要因素, 并由此进一步引起浮游动物的小型化。事实上, 这种由浮游植物群落结构小型化而引发其主要摄食者浮游桡足类群落结构小型化的

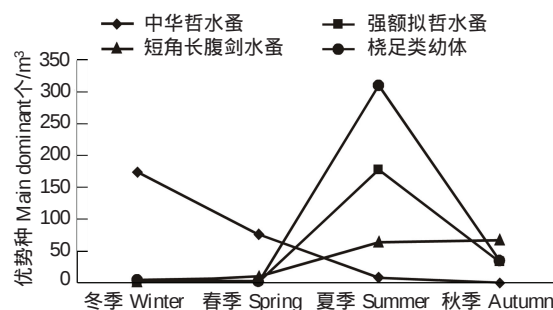


图 3 主要优势种的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of the main dominant

现象在世界许多海域都有发生,并已成为生态系统生物群落结构变化适应生态环境全球变化的一个普遍规律。

表 3 各季节浮游植物和浮游动物主要优势种

Table 3 The main dominant species of phytoplankton and zooplankton every season

优势种类别 Socials category	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
浮游植物主要优势种 Phytoplankton dominant species	浮动弯角藻、日本星杆藻、斯氏根管藻	旋链角毛藻、中肋骨条藻、丹麦细柱藻	中肋骨条藻、日本星杆藻、旋链角毛藻	中肋骨条藻、奇异菱形藻、旋链角毛藻
浮游动物主要优势种 Zooplankton dominant species	中华哲水蚤、锥形宽水蚤	中华哲水蚤、普通波水蚤、小拟哲水蚤	桡足类幼体、强额拟哲水蚤、刺尾纺锤水蚤	短角长腹剑水蚤、亚强真哲水蚤、桡足类幼体

3.2 湛江港湾浮游桡足类丰度的时空分布及其影响因素

浮游桡足类的时空分布是外界环境条件综合的结果,湛江港湾为一大型台地溺谷湾,位于南海北部,由于宽阔的面积与较大的潮差,形成了巨大的纳潮量,大量南海外海高温高盐水通过潮汐涌进港湾,同时由于官渡河等大陆径流的影响,海淡水交互作用,环境条件极为复杂,浮游桡足类的平面分布和季节变化必然受到外界诸多环境因素的综合影响。

3.2.1 浮游桡足类的空间分布及其影响因素

湛江港湾浮游桡足类的平面分布,基本上是冬春季内湾丰度高,往湾口逐渐降低,夏季是内湾低往湾口逐渐增大,而秋季较均匀的分布格局。湛江港湾为湛江市所包围,城市生活和工农业生产必然带来大量的污染物,包括营养物质,这些营养物质在港湾的分布是从内湾往外逐渐扩散的。湛江港湾处于亚热带,冬春季属枯水期,由官渡河带入的淡水和营养盐相对较少,湾内外海水交换量也少,营养物质在湾内往外扩散的速度相对较慢,其分布必然是内湾比外湾高,使得浮游植物和浮游动物的分布是内湾丰度高,往外湾逐渐减少的格局;到了夏季进入丰水期,大量的淡水使得进入港湾的营养物质迅速扩散至湾外,由于水温和盐度适宜,湾口附近的浮游植物和浮游动物大量繁殖起来,而湾内由于各种污染物和理化因子变化较大必然影响浮游生物优势种群的生长繁殖,因此形成浮游动物丰度由内湾低往湾口逐渐增大的格局;秋季雨水逐渐减少,湾内海淡水交换量相对较稳定,因此浮游动物在整个港湾的分布较均匀(图 5)。湛江港湾是工业港口,同时也是军港,港口码头来往船只频繁,必然对浮游动物的分布产生影响,因此,靠近码头和航道中央的 S14、S13、S12、S16、S17、S18、S25 和 S26 等站位浮游桡足类丰度较低,而靠近对虾养殖区的 S4 和受船只影响较小的 S3、S22、S24 等站位浮游桡足类丰度较高。然而,并非航道中央的 S8 站位丰度最低,可能是因其为水体交换通道和靠近网箱养殖区之故,其原因有待进一步研究。

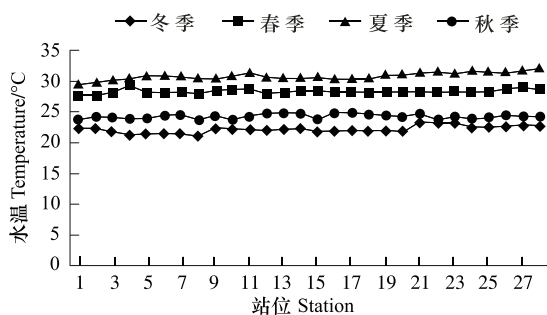


图 4 调查海区水温的平面分布和季节变化

Fig. 4 Horizontal distribution and seasonal changes of water temperature in the investigated area

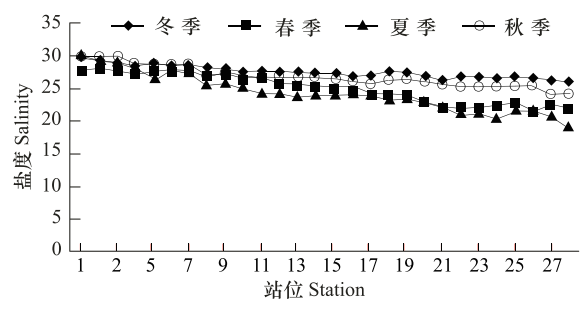


图 5 调查海区盐度的平面分布和季节变化

Fig. 5 Horizontal distribution and seasonal changes of salinity in the investigated area

3.2.2 浮游桡足类的季节变化及其影响因素

湛江港湾浮游桡足类丰度的季节变化为单峰型,从冬季到夏季上升至高峰,再从夏季到秋季下降至低谷,这与外界环境条件密切相关。湛江港湾水温的季节变化与气候的季节变化相一致,夏季水温最高,春季次之,冬季最低,桡足类随着水温的上升数量不断增加,至夏季达到全年最高峰,但夏季与秋季之间的水温落差较大,这应是秋季桡足类种类数和丰度最低的原因之一(图4)。湛江港湾盐度的季节变化与降水量有关,冬季盐度最高,秋季次之,夏季最低,但各季节间盐度变化不明显(图5)。这与湛江港湾水较深海域较宽阔有关,广大水体能保持盐度终年较稳定,故其对桡足类丰度季节变化影响不显著。湛江港湾浮游植物丰度夏季最高,春季次之,冬季最低,浮游桡足类丰度夏季高峰和春季次之的主要影响因素显然是浮游植物丰度,秋冬季浮游桡足类丰度的主要制约因素则非浮游植物,而主要是水温的显著变化(图6)。

对湛江港湾各季节各站位浮游桡足类丰度与环境因子进行相关性分析发现,桡足类丰度与水温、叶绿素a和浮游植物细胞丰度呈极显著的正相关,相关系数分别为0.384、0.415和0.457($P<0.01$, $n=112$, 双尾),与DIN和 PO_4^{3-} 呈显著的负相关,相关系数分别为-0.210和-0.238($P<0.05$, $n=112$, 双尾),与盐度、pH值和活性硅酸盐相关性不明显。

3.3 湛江港湾浮游桡足类群落特征与其他海湾的比较

在全球范围内生物物种多样性分布规律一般是从高纬度往低纬度增大的,然而湛江港湾浮游桡足类的种类数既比同为亚热带纬度稍高的柘林湾、大亚湾、深圳湾为多,也比低纬度的三亚湾、埃及 Gulf of Aqaba 和印度西部 Bombay Harbor 为多,即使这些调查所使用的网目小于或等于湛江港湾的网目,这些海湾桡足类的种类数都比湛江港湾的少,多样性指数和均匀度也较低,而丰度湛江港湾则比柘林湾、深圳湾、Gulf of Aqaba 和 Bombay Harbor 为小,比大亚湾和三亚湾的为大,这些数据显示湛江港湾比其他海湾生物多样性为高、群落结构较复杂而稳定;与该海湾的历史资料^[24]相比,种类数大为增加,但优势种的丰度却大为减少(沈嘉瑞调查的优势种太平洋纺锤水蚤、中华隆哲水蚤 *Acrocalanus sinicus*、短刺拟哲水蚤 *Paracalanus brevispinatus*、小拟哲水蚤、缺刻伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus incisus*、钳状歪水蚤 *Totanus forcipatus*、小长腹剑水蚤等其丰度均超过1000个/ m^3),这可能与海区的渔业资源结构有关,现代湛江港湾渔业资源结构的小型化给桡足类带来了强大的摄食压力。虽然没有资料显示40多年前湛江港湾海域的生态环境质量状况,但从桡足类种类数和优势种的丰度可以判断现代湛江港湾生态环境质量状况处于良好状态。

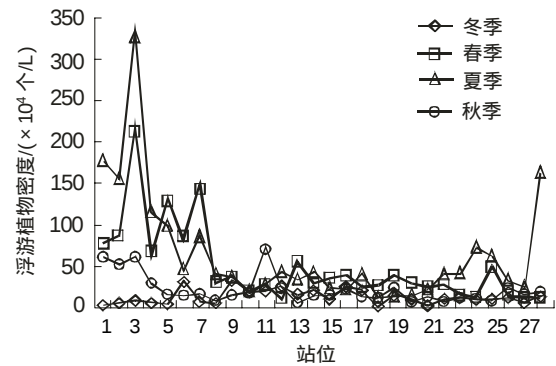


图6 调查海区浮游植物的平面分布和季节变化

Fig. 6 Horizontal distribution and seasonal changes of the phytoplankton in the investigated area

表4 湛江港湾桡足类群落结构与其他海湾的比较

Table 4 Comparison of community structure of Copepods between Zhanjiang Bay and other bays

海域 Sea area	调查时间 Investigated time	网目直径/ μm Mesh diameter	丰度 /(个/ m^3) Abundance	种类数 Species amount	多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness index	文献来源 Literature source
三亚湾 Sanya bay	1998—1999	505	39.1	55	—	—	[18]
大亚湾 Daya bay	2003—2004	505	52.5	54	—	—	[19]
柘林湾 Zhelin bay	2001—2002	169	9.9×10^3	60	2.35	0.688	[20]
深圳湾 Shenzhen bay	2008	505	406.7	22	2.57	0.526	[21]
Gulf of Aqaba	1985—1986	55	4.0×10^3	31	3.10	0.438	[22]
Bombay Harbor	1994—1995	300	2.1×10^3	46	2.80	0.762	[23]
湛江港湾 Zhanjiang bay	2009	505	403.4	72	3.39	0.716	本次调查

从营养盐的监测数据显示,湛江港湾已富营养化,但由于水体交换良好,环境并未受到严重污染,又因其受到官渡河、大陆径流和城市生活用水等淡水的冲击以及南海外海高温高盐水的影响,海湾环境异质性高,浮游桡足类群落结构复杂多变,既有外海高温高盐的种类,也有河口和沿岸低盐的种类;湛江港湾处于亚热带,随着季节的更替水温出现明显的变化,既有耐高温的热带亚热带种类,也有耐低温的暖温性种类。在生态系统中环境决定着生物的群落结构,而生物的群落结构也能反映环境的特征,在时空分布上,丰富的浮游桡足类种类数和较高的多样性指数充分显示湛江港湾生态系统处于较稳定的健康状态。

References:

- [1] Shimode S, Toda T, Kikuchi T. Spatio-temporal changes in diversity and community structure of planktonic copepods in Sagami Bay, Japan. *Marine Biology*, 2006, 148 (3): 581-597.
- [2] Rezaei H, Yusoff F M, Arshad A, Ross O. Spatial and temporal variations in calanoid copepod distribution in the Straits of Malacca. *Hydrobiologia*, 2005, 537 (1/3): 157-167.
- [3] Turner J T. Planktonic copepods of Boston Harbor, Massachusetts Bay and Cape Cod Bay, 1992. *Hydrobiologia*, 1994, 292/293 (1): 405-413.
- [4] Xu Z L, Wang R, Chen Y Q. Study on ecology of meso-small pelagic copepods in the southern Yellow Sea and the East China Sea I. Quantitative distribution. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27 (supp 1): 1-8.
- [5] Chen Y Q, Xu Z L, Yang Y L. Study on ecology of meso-small pelagic copepods in the Southern Yellow Sea and the East China Sea II. Species composition and community characteristics. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27 (supp 1): 9-15.
- [6] Jiang S, Huang C J, Chen S W, Zhou K, Dong Q. Community structure and temporal and spatial distribution of zooplankton in Zhelin bay, China (2000—2001). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (6): 828-840.
- [7] Li K Z, Yin J Q, Huang L M, Song X Y. Study on planktonic copepods ecology in the Pearl River estuary. *Ecologic Science*, 2007, 26 (2): 97-102.
- [8] Huang F P, Huang J Z, Yang Y L, Li Y, Wang Z L. Spatial-temporal distribution of planktonic copepod in the Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (8): 4045-4052.
- [9] State Technology Supervision Bureau. The Specification for Marine Monitoring—Part 4: Seawater Analysis (GB17378. 4—1998). Beijing: Standards Press of China, 1999.
- [10] Zheng Z, Li S Q, Xu Z Z. *Marine Planktology*. Beijing: Ocean Press, 1984: 1-65.
- [11] Zheng Z, Zhang S Z, Li S. The Marine Planktonic Copepods in the China Sea (Vol. 1). Shanghai: Science Technology Press, 1982: 1-210.
- [12] Zheng Z, Zhang S Z, Li S. The Marine Planktonic Copepods in the China Sea (Vol. 2). Shanghai: Science Technology Press, 1982: 1-162.
- [13] Chen Q C, Zhang S Z. The planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea I. Calanoida. *Studia Marina Sinica*, 1965, 7: 20-131.
- [14] Chen Q C, Zhang S Z, Zhu C S. The planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea II. Cyclopoida and Harpacticoida. *Studia Marina Sinica*, 1974, 9: 26-100.
- [15] Pan Y L, Rao D V S. Impacts of domestic sewage effluent on Phytoplankton from Bedford Basin, eastern Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, 34 (12): 1001-1005.
- [16] Dippner J W. Competition between different groups of phytoplankton for nutrients in the Southern North Sea. *Journal of Marine Systems*, 1998, 14 (1/2): 181-198.
- [17] Kitheka J U, Ohowa B O, Mwashote B M, Shimbara W S, Mwaluma J M, Kazungu J M. Water circulation dynamics, water column nutrients and plankton productivity in a well-flushed tropical bay in Kenya. *Journal of Sea Research*, 1996, 35 (4): 257-268.
- [18] Yin J Q, Zhang G X, Tan Y H, Huang L M, Li K Z. Species composition and quantitative distribution of zooplankton in Sanya Bay, Hainan Province, China. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23 (5): 1-9.
- [19] Liao X L, Li Q H, Du F Y, Lin Q, Jia X P. Ecological study on Copepods in Daya Bay. *South China Sea Fisheries Science*, 2006, 2 (4): 46-53.
- [20] Huang C J, Chen S W, He X, Du H, Zhu L, Dong Q X. Ecological studies on zooplankton in Zhelin Bay of Eastern Guangdong: 2001—2002. *Oceanologia et limnologia Sinica*, 2003, 34 (2): 117-130.
- [21] Zhang C X, Zhou K, Sun X L, Chen C L, Zhang J B, Zhang Y B. Community structure and seasonal variation of the zooplankton in Shenzhen Bay. *Ecology and Environmental Science*, 2010, 19 (11): 2686-2692.
- [22] Khalil M T, Ei-Rakman N S A. Abundance and diversity of surface zooplankton in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Egypt. *Journal of Plankton*

Research, 1997, 19 (7): 927-936.

- [23] Ramaiah N. Distribution and abundance of copepods in the pollution gradient zones of Bombay Harbor-Thana creek-Bassein creek, west coast of Indian. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1997, 26: 20-25.
- [24] SHEN C R, LI F S. On the estuarine copepods of Chaikiang River, Kwangtung Province. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 1966, 3 (3): 213-223.

参考文献:

- [4] 徐兆礼, 王荣, 陈亚瞿. 黄海南部及东海中小型浮游桡足类生态学研究 I. 数量分布. *水产学报*, 2003, 27 (增刊): 1-8.
- [5] 陈亚瞿, 徐兆礼, 杨元利. 黄海南部及东海中小型浮游桡足类生态学研究 II. 种类组成及群落特征. *水产学报*, 2003, 27 (增刊): 9-15.
- [6] 姜胜, 黄长江, 陈善文, 周凯, 董巧香. 2000—2001 年柘林湾浮游动物的群落结构及时空分布. *生态学报*, 2002, 22 (6): 828-840.
- [7] 李开枝, 尹健强, 黄良民, 宋星宇. 珠江口浮游桡足类的生态研究. *生态科学*, 2007, 26 (2): 97-102.
- [8] 黄凤鹏, 黄景洲, 杨玉玲, 李艳, 王宗灵. 胶州湾浮游桡足类时空分布. *生态学报*, 2009, 29 (8): 4045-4052.
- [9] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范第 4 部分: 海水分析(GB17378.4—1998). 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [10] 郑重, 李少青, 许振祖. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1984: 1-653.
- [11] 郑重, 张松踪, 李松. 中国海洋浮游桡足类(上). 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 1-210.
- [12] 郑重, 张松踪, 李松. 中国海洋浮游桡足类(中). 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 1-162.
- [13] 陈清潮, 章淑珍. 黄海和东海的浮游桡足类 I. 哲水蚤目. *海洋科学集刊*, 1965, 7: 20-131.
- [14] 陈清潮, 章淑珍, 朱长寿. 黄海和东海的浮游桡足类 II. 剑水蚤目和猛水蚤目. *海洋科学集刊*, 1974, 9: 26-100.
- [18] 尹健强, 张谷贤, 谭烨辉, 黄良民, 李开枝. 三亚湾浮游动物的种类组成与数量分布. *热带海洋学报*, 2004, 23 (5): 1-9.
- [19] 廖秀丽, 李纯厚, 杜飞雁, 林钦, 贾晓平. 大亚湾桡足类的生态学研究. *南方水产*, 2006, 2 (4): 46-53.
- [20] 黄长江, 陈善文, 何歆, 杜虹, 朱琳, 董巧香. 2001—2002 年粤东柘林湾浮游动物的生态学研究. *海洋与湖沼*, 2003, 34 (2): 117-130.
- [21] 张才学, 周凯, 孙省利, 陈春亮, 张际标, 张瑜斌. 深圳湾浮游动物的群落结构及季节变化. *生态环境学报*, 2010, 19 (11): 2686-2692.
- [23] 沈嘉瑞, 李获香. 广东湛江口的桡足类. *动物分类学报*, 1966, 3 (3): 213-223.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

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:100717	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:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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