

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第22期 2011年11月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 官兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝柽柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)	
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	全玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 靖, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保革, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11	



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

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

吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 李玉, 徐加涛, 李士虎, 申欣. 田湾核电站海域浮游动物生态特征. 生态学报, 2011, 31(22): 6902-6911.
Wu J X, Yan B L, Feng Z H, Li Y, Xu J T, Li S H, Shen X. Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6902-6911.

田湾核电站海域浮游动物生态特征

吴建新^{1,2,*}, 阎斌伦^{1,2}, 冯志华^{1,2}, 李玉^{1,2}, 徐加涛^{1,2}, 李士虎^{1,2}, 申欣^{1,2}

(1. 淮海工学院海洋学院, 连云港 222005; 2. 淮海工学院江苏省海洋生物技术重点建设实验室, 连云港 222005)

摘要: 2009 年 8 月在田湾核电站附近海域进行了海洋浮游动物及环境因子的调查, 在 14 个调查站位共鉴定浮游动物 10 大类 43 种。其中原生动物 5 种, 水螅水母类 17 种, 桄水母类 2 种, 枝角类 2 种, 桡足类 11 种, 猷虾 2 种, 樱虾类 1 种, 磷虾 1 种, 毛颚类 1 种, 被囊类 1 种。浮游动物的丰度范围为 99—2546 个/ m^3 , 平均值为 834 个/ m^3 。主要优势种为薮枝螅水母、太平洋纺锤水蚤、背针胸刺水蚤、鸟喙尖头蚤、异体住囊虫、汤氏长足水蚤、强壮箭虫。优势度分别为 0.804、0.586、0.569、0.485、0.197、0.140、0.116。各类指数变幅较大(种类数为 9—17, 丰富度指数为 0.913—1.770, 多样性指数为 1.170—3.212, 均匀度指数为 0.369—0.803)。多样性指数均值为 2.188, 均匀度指数均值为 0.587, 丰富度指数均值为 1.336。相关性分析表明, 水温与浮游动物丰度及种类数之间具有显著的相关性, 相关系数(r)分别为 -0.615 和 -0.574, $P < 0.05$; 种类数与多样性指数、丰富度指数及均匀度指数有显著的正相关, 相关系数(r)分别为 0.730、0.759 ($P < 0.01$) 和 0.552 ($P < 0.05$), 水温升高使浮游动物种类数减少; 水温与氨氮含量之间有极显著的正相关性, 氨氮含量与浮游动物种类数之间有极显著的负相关性, 水温升高使氨氮上升引起浮游动物种类数下降, 温排水导致调查海域水温升高引起了浮游动物群落多样性指数、丰富度指数及均匀度指数的下降。调查海域水质状况的生物多样性指数评价显示, 目前该海域水质总体处于轻度污染。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 田湾核电站; 环境因子

Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station

WU Jianxin^{1,2,*}, YAN Binlun^{1,2}, FENG Zhihua^{1,2}, LI Yu^{1,2}, XU Jiatao^{1,2}, LI Shihu^{1,2}, SHEN Xin^{1,2}

1 School of Marine Science and Technology, HuaiHai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China

2 Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China

Abstract: Zooplankton are a secondary producer in the world's oceans. Changes in the species assemblage or abundance of zooplankton has a direct impact on both primary productivity and the biomass of fish and other marine animal resources. Because, zooplankton are a key member of marine food webs, they have been the focus of a number of studies in the Yellow Sea. However, the majority of these studies have evaluated zooplankton population dynamics at a large scale (e.g., the entire Yellow Sea). To date, there has been little effort to understand the effect of local anthropogenic activity, such as the discharge of nuclear cooling water, on zooplankton ecology. We evaluated the species composition, quantitative distribution, dominant species, and community structural characteristics of zooplankton at 14 inshore sites near the Tianwan nuclear power station (34.62°—34.76°N, 119.46°—119.66°E) in August 2009. We identified 43 species belonging to 10 groups, including 5 species of Protozoa, 17 species of Hydromedusae, 2 Ctenophora, 2 Cladocera, 11 species of Copepoda, 2 Mysidacea, 1 Sergestidae, 1 Euphausiacea, 1 Chaetognath, and 1 Urochordata. The abundance of zooplankton ranged from 99 to 2546 ind/ m^3 (mean 834 ind/ m^3). The most abundant group were the Hydromedusae followed by the Copepoda. Twelve species had a dominance index ranking of >0.02 within the study area. Among these, *Obelia* spp., *Acartia pacifica*, *Centropages dorsispinatus*, *Penilia avirostris*, *Oikopleura dioica*, *Calanopia thompsoni*, and *Sagitta*

基金项目: 国家自然科学基金(青年基金)资助项目(40906054, 906067); 江苏省海洋生物技术重点建设实验室基金资助项目(2008HS005)

收稿日期: 2011-02-16; 修订日期: 2011-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hghkywjx2002@163.com

crassa were the primary dominant species (dominance index: 0.804, 0.586, 0.569, 0.485, 0.197, 0.140, and 0.116, respectively). The amplitude of the index varied significantly (species: 9 to 17, richness: 0.913—1.770, diversity index: 1.170—3.212, evenness index: 0.369—0.803) suggesting the community structure was instable. The mean diversity index of zooplankton was 2.188, the mean richness index was 1.336, and the mean evenness index was 0.587.

Water temperature and the abundance and the number of species were significantly correlated ($P<0.05$) (correlation coefficients: -0.615 and -0.574, respectively; $P<0.05$). We observed a significant relationship between the number of species and the diversity, richness, and evenness indices (correlation coefficients: 0.730, 0.759 ($P<0.01$), and 0.552 ($P<0.05$), respectively. There was a reduction in the number of zooplankton species as the temperature increased. We found a significant negative correlation between ammonia nitrogen content and water temperature and between ammonia nitrogen content and the number of species. Increases in temperature lead to increased ammonia, resulting in a decline in the number of zooplankton species. Thus, we hypothesize that increases in water temperature due to discharge of nuclear power cooling water have caused a decrease in the zooplankton community diversity, richness, and evenness indices in the nearshore region around the Tianwan nuclear power station.

The zooplankton diversity index has since been adopted to assess water quality around the Tianwan nuclear power plant. Monitoring results suggest a low level of water pollution.

Key Words: zooplankton; community structure; Tianwan Nuclear Power Plant; environmental factors

田湾核电站位于江苏省连云港市最东端的高公岛乡(N34°42'09.07", E119°28'31.11"),是中国目前单机容量最大的核电站,于1999年开工建设,1、2号机组分别于2007年5月和8月投入商业运行,目前正在开展二期3、4号机组扩建工程。核电站能够通过温排水把巨大热能传递到邻近海域,致使局部水温升高。

海洋浮游动物的种群相对稳定,是研究海洋环境变化对生态系统胁迫的理想对象,也是监测海洋生态系统动态的理想指标,近岸海域浮游动物群落特征已有相关研究^[1-12],针对核电站附近海域浮游动物群落特征的研究报道较少^[13-14],而连云港田湾核电站附近海域浮游动物种类组成、群落结构、多样性特征及其与水质因子的相互关系的研究尚未见报道。在2009年8月对连云港田湾核电站附近海域的浮游动物进行了分析研究,通过对田湾核电站附近海域生物类群结构研究,为核电站等重大工程建设项目对海域环境影响评价及生态环境保护措施的制订和渔业资源可持续利用等提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查站位

2009年8月在连云港田湾核电站周围海域34.62°—34.76°N,119.46°—119.66°E之间,从近岸到远岸布设5个断面I-V(S1-1、S1-2、S1-3; S2-1、S2-2; S3-1、S3-2; S4-1、S4-2、S4-3、S4-4; S5-1、S5-2、S5-3)共14个站位进行浮游动物采样研究,采样站位如图1所示。

1.2 采样及处理方法

浮游动物采样使用浅水I型浮游生物网(网长145 cm,网口内径50 cm,网口面积0.2 m²,网目大小505 μm)和浅水II型浮游生物网(网长140 cm,网口内径31.6 cm,网口面积0.08 m²,网目大小160 μm)在大潮期间的落潮时段进行采样,网具从海底垂直提升至海面,采集、固定处理、计数等均按《海洋调查规范》要求执行^[15],实验室内参照相关文献^[16-17]进行种类分析鉴定,同时在各站位采集水样,并按照《海洋调查规范》测定水温、水深、氨氮含量、溶解氧、悬浮物浓度等水质指标。分别计数I型网和II型网的浮游动物,合并数据统一分析。

1.3 分析方法和计算公式

根据滤水量(网口面积与垂直采样水深之积)将浮游动物计数的结果换算成浮游动物的丰度(个/m³),定量描述浮游动物群落特征的参数采用Margalef丰富度指数(d)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀

度指数(J')和优势度指数(Y)， Y 大于0.02的种类为优势种。计算公式分别为：

$$H' = -\sum P_i \times (\log_2 P_i)$$

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

$$J' = H'/\log_2 S$$

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中， H' 为多样性指数， S 为该站位的物种数， P_i 为第*i*种的个数占与该站位总个数的比值， d 为丰富度指数， J' 为均匀度指数。 n_i 为某个站位第*i*种的个体数， f_i 为该种在各站位出现的频率， N 为每个种的总个体数^[18]。使用Suffer8.0软件作图，SPSS 16.0软件进行数据与相关性分析^[19]。

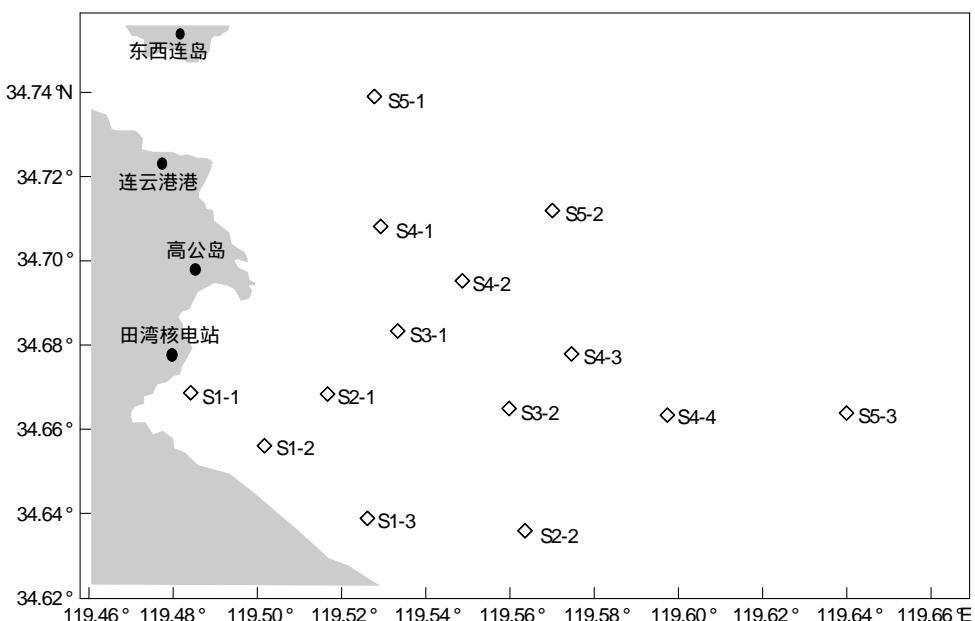


图1 采样站位示意图

Fig. 1 Map of sampling stations

2 结果

2.1 海水温度的平面分布特征

核电站温排水使调查海域海水温度从断面Ⅴ到断面Ⅰ逐渐升温(图2)。调查海域最低水温是25.3℃,在远岸第Ⅴ断面上的S5-1、S5-2、S5-3 3个站位上,平均水温是25.3℃;最高水温是26.6℃,出现在第Ⅰ断面的S1-3,该断面的平均水温最高,为26.4℃;第Ⅱ断面的平均水温为26.1℃;第Ⅲ断面的平均水温是26.0℃;第Ⅳ断面的平均水温降为25.75℃,同期东西连岛周围海域水温在23.7℃左右。近岸处几个站位水深较浅(图3),最小水深是5 m,分别是S1-1 和 S2-1 站位,而S1-3 站位水深也仅仅是7 m,最大水深是11 m,出现在S3-1 和 S3-2;东北方向的站位水深较深,离排水口也较远,因而造成调查海域近高远低的水温分布状况,说明核电站温排水造成了局部海域水温上升,但是升幅不大,在3℃以内,温升区域的面积也有限。

2.2 调查海域浮游动物的种类组成和生态类型

调查海域共鉴定浮游动物10大类43种(图4)(不包括浮游幼虫、鱼卵、仔稚鱼和偶然浮游动物等)。浮游动物的种类组成如表1所示,水螅水母类最多,共有17种;桡足类位居第二,共有11种。浮游动物种类组成中的水螅水母类和桡足类占很大优势。可以看出,主要由低盐近岸生态类群,如背针胸刺水蚤(*Centropages dorsispinatus*)、中华假磷虾(*Psudeuphausia sinica*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)等组成,尚有少量的半咸水河口生态类群,如中国毛虾(*Acetes chinensis*)、长额刺糠虾(*Acanthomysis longirostris*)、球形侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)和广温广盐生态类群,如瓜水母(*Beroe cucumis*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*) (表1)。

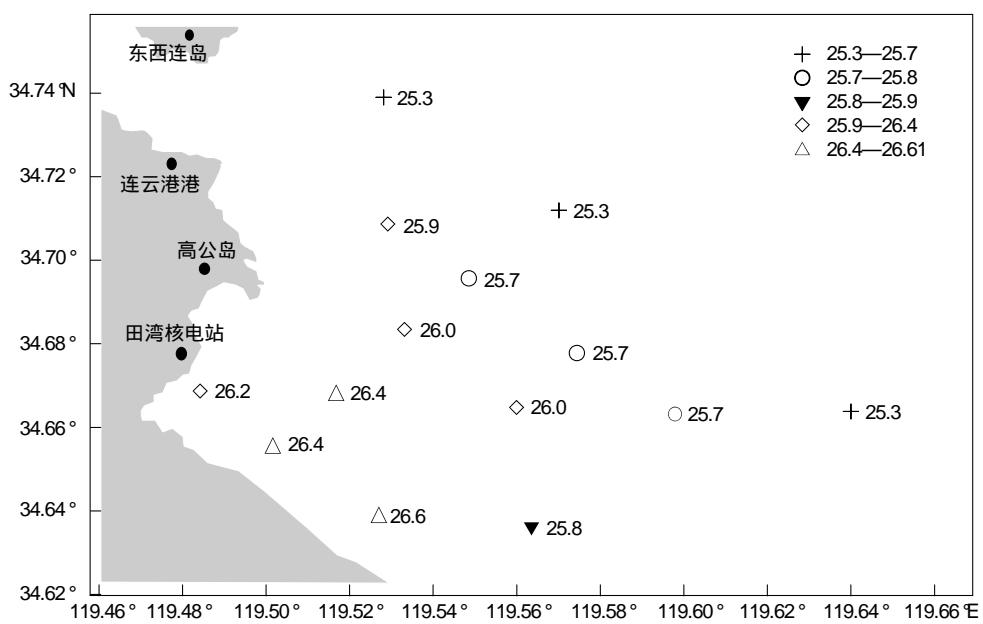


图2 采样站位水温(℃)

Fig. 2 Water temperatures of sampling stations

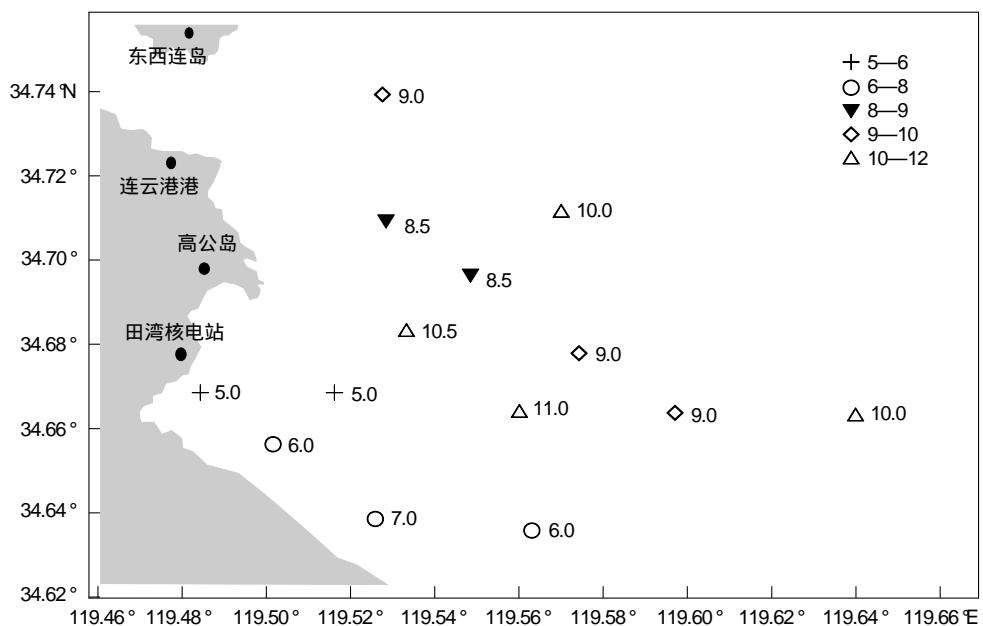


图3 采样站位水深(m)

Fig. 3 Water depth of sampling stations

2.2 调查海域浮游动物的群落特征

调查海域不同站位浮游动物的丰度范围为 99—2546 个/ m^3 , 平均值 834 个/ m^3 。最高丰度为 2546 个/ m^3 , 出现在离岸较远的 S5-2; 最低丰度为 99 个/ m^3 , 出现在近岸靠近码头的 S3-1; 浮游动物丰度平面分布有很大差异, 总的趋势是近岸丰度低, 离岸远则丰度增高, 丰度低值区分布在 S4-1、S4-2、S3-1、S1-2、S3-2、S1-3、S2-2, 高值区为 S5-2、S4-4、S5-3; 不同断面的丰度平均值是 V (1797 个/ m^3)>IV (847 个/ m^3)>I (580 个/ m^3)>II (450 个/ m^3)>III (130 个/ m^3) (图 5)。浮游动物种类数各站位较贫乏, 都不足 20 种, 最高值有 17 种, 出现在 S5-1、S5-4、S2-1, 最少为 9 种, 出现在 S1-3, 具体如表 2 所示。

整个调查海域浮游动物的多样性指数在1.170—3.212之间,均值为2.188。多样性指数最高和最低的站位分别是S2-2和S1-3;多样性指数大于1而小于2的站位是S1-1、S4-2、S1-2、S4-3、S1-3、S4-4,大于3的站位有S5-1、S2-2,其它站位在2和3之间;各断面的平均多样性指数是Ⅱ(3.074)>V(2.602)>Ⅲ(2.585)>Ⅳ(1.685)>I(1.592)(图7)。均匀度指数范围在0.369—0.803之间,均值为0.587,均匀度指数最高的站位是S2-2,最低的站位是S1-3;各断面平均均匀度指数Ⅱ(0.761)>Ⅲ(0.734)>V(0.641)>Ⅳ(0.475)>I(0.471)(图8);丰富度指数在0.913—1.770之间,均值为1.336,丰富度指数最高的站位是S2-1最低的站位是S1-3(表2)。各断面平均丰富度指数是Ⅱ(1.764)>Ⅲ(1.513)>V(1.486)>Ⅳ(1.153)>I(1.023)(图9)。

表1 调查海域浮游动物种名录
Table 1 List of marine zooplankton species

类群 Groups	物种 Species	类群 Groups	物种 Species
原生动物 Protozoa	根状拟铃虫 <i>Tintinnopsis radix</i> 巴拿马网纹虫 <i>Favella panamensis</i> 妥肯丁拟铃虫 <i>Tintinnopsis tocantinensis</i> 小领细壳虫 <i>Stenosemella parvicollis</i> 运动类铃虫 <i>Codonellopsis mobilis</i>	栉水母类 Ctenophora	瓜水母 <i>Beroe cucumis</i> 球形侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>
水螅水母	单囊美螅水母 <i>Clytia folleata</i>	枝角类 Cladocera	鸟喙尖头溞 <i>Penilia avirostris</i> 肥胖三角溞 <i>Eradne tergestina</i>
Hydromedusae	米勒氏水母 <i>Moerisia lyonsi</i> 双手水母 <i>Amphinema</i> sp. 灯塔水母 <i>Turritopsis nutricula</i> 薮枝水母 <i>Obelia</i> spp. 半球杯水母 <i>Phialidium hemisphaericum</i> 杯水母 <i>Phialidium</i> sp. 锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i> 囊水母 <i>Eupysa</i> sp. 双手水母 <i>Amphinema dinema</i> 带拟杯水母 <i>Phialidium taeniogonia</i> 卡拟杯水母 <i>Phialidium caroliniae</i> 绿杯水母 <i>Phialidium virens</i> 罗氏水母 <i>Lovenella assimilis</i> 真瘤水母 <i>Eutima</i> sp. 盘形杯水母 <i>Phialidium discoidea</i> 四叶小舌水母 <i>liriope tetraphylla</i>	桡足类 Copepoda	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera eucheta</i> 双刺纺锤水蚤 <i>Acartia bipinnata</i> 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> 双刺纺锤水蚤 <i>Acartia bifilosa</i> 克氏纺锤水蚤 <i>Acartia clausi</i> 汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i> 短角长腹剑水蚤 <i>Oithona brevicornis</i> 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> 瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i> 背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinus</i> 日本角眼剑水蚤 <i>Corycaeus japonicus</i> 长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i> 日本新糠虾 <i>Neomysis japonica</i> 中华假磷虾 <i>Psudeuphausia sinica</i> 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> 强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i> 异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i>
		糠虾类 Mysidacea	尾索动物 Urochordata

2.4 浮游动物优势种类

整个调查海域的浮游动物优势种类(优势度Y>0.02)共12种。主要优势种类(优势度>0.1)为薮枝螅水母、太平洋纺锤水蚤、背针胸刺水蚤、鸟喙尖头溞、异体住囊虫、汤氏长足水蚤、强壮箭虫。优势度分别为0.804、0.586、0.569、0.485、0.197、0.140、0.116。

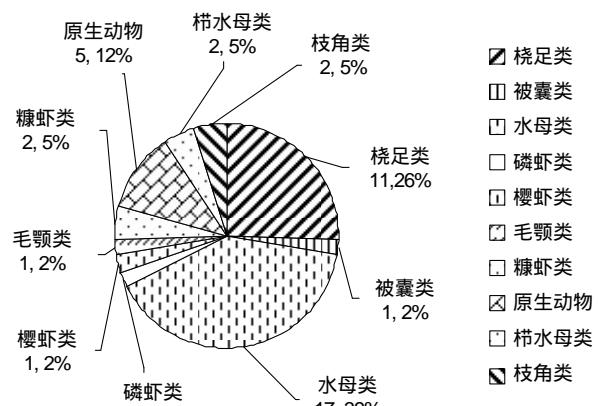


图4 浮游动物类群比例

Fig. 4 The proportion of each group of zooplankton

2.5 调查站位主要非生物因子

不同采样站位的氨氮含量有较大差异,最高为0.34 mg/L,出现在S1-3,最低为0.03 mg/L,出现在S5-2和S2-2,平均为0.14 mg/L;悬浮物(SPM)含量最高为56.8 mg/L,出现在S1-1,最低为25.4 mg/L,出现在S4-4,平均为38.3 mg/L;溶解氧含量最高为8.81 mg/L,出现在S4-3,最低为6.86 mg/L,出现在S4-1,平均为7.64 mg/L(表3)。不同站位的水深(图3)和水温有较大差异,最深处处在S3-2,深度11m,最浅处在S1-1和S2-1,深度5 m;水温最高为26.6 °C,在S1-3,最低为25.3 °C,在S5-1、S5-2、S5-3(表2)。

表2 丰度、种类数、丰富度指数、生物多样性指数、均匀度、水温和水深

Table 2 Abundance, species number, richness indices, diversity index, evenness, water temperature and Water depth

站位 Station	丰度/(个/m ³) Abundance	种类数(S) number of species	丰富度指数(D) Richness index	多样性指数(H') Diversity index	均匀度(J') Evenning index	水温/°C water temperature	水深/m Water depth
S1-1	889	12	1.123	1.937	0.540	26.2	5.0
S1-2	418	10	1.034	1.670	0.503	26.4	6.0
S1-3	434	9	0.913	1.170	0.369	26.6	7.0
S2-1	527	17	1.770	2.935	0.718	26.4	5.0
S2-2	372	16	1.757	3.212	0.803	25.8	6.0
S3-1	99	12	1.661	2.658	0.741	26.0	10.5
S3-2	161	11	1.364	2.513	0.726	26.0	11.0
S4-1	274	12	1.358	2.111	0.589	25.9	8.5
S4-2	452	11	1.134	1.676	0.485	25.7	8.5
S4-3	877	11	1.023	1.567	0.453	25.7	9.0
S4-4	1786	13	1.111	1.384	0.374	25.7	9.0
S5-1	720	17	1.686	3.117	0.763	25.3	9.0
S5-2	2546	17	1.414	2.138	0.523	25.3	10.0
S5-3	2126	16	1.357	2.550	0.637	25.3	10.0
平均值	834	13	1.336	2.188	0.587	25.9	8.2

表3 采样站位氨氮、悬浮物和亚硝酸盐含量/(mg/L)

Table 3 Ammonia nitrogen, suspended matter and nitrites content of sampling stations

站位 Station	S1-1	S1-2	S1-3	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	S4-3	S4-4	S5-1	S5-2	S5-3
氨氮	0.28	0.31	0.34	0.04	0.03	0.30	0.18	0.07	0.07	0.11	0.05	0.07	0.03	0.06
悬浮物	56.8	52.6	50.6	35.2	32.6	33.2	27.8	36.4	40.0	43.8	25.4	26.4	39.6	35.4
亚硝酸盐	18.2	22.5	22.6	24.0	25.0	21.6	20.5	21.2	20.6	19.3	20.0	19.4	17.7	19.4

氨氮: Ammonia nitrogen; 悬浮物: Suspended matter; 亚硝酸盐: Nitrites

3 分析与讨论

浮游动物是海洋生态系中一个重要类群,其在特定海域的数量和种类的多少直接受到海洋环境条件不同的影响,影响因素包括水温、水深、海流、氨氮含量、浮游植物、亚硝酸盐、pH值等;同时,浮游动物本身又是许多重要经济鱼类的饵料,其种类及生物量的多少直接影响鲱鱼、鲐鱼等的产量。

3.1 浮游动物丰度和种类分布特征

调查海域浮游动物丰度的平面分布变化很大(图5),最小值为99个/m³,出现在S3-1,丰度最大值为2546个/m³,出现在S5-2,总的的趋势是近岸丰度低,远岸丰度高。陈小庆等^[3]在2006年8月对舟山渔场及邻近海域浮游动物的调查中生物量在3.33个/m³到872个/m³之间,方良等^[8]在2004年调查得到大亚湾海域浮游动物丰度为164—1073个/m³,都远低于田湾核电站附近海域浮游动物的密度,推测是由于其数据仅使用了I型浮游生物网采样资料,而本研究是I型浮游生物网和II型浮游生物网采样的合并资料。调查海域共鉴

定浮游动物 10 大类 43 种,种类数的平面分布也有较大的差异(图 6),最少的 9 种,最多的 17 种。不同断面浮游动物种类数的分布趋势是近岸少而远岸种类数多。黄亚如^[13]等在 1991 年春季对大亚湾核电站附近对浮游动物进行了调查,发现浮游动物 31 种,以桡足类居多,腔肠动物次之,本调查的浮游动物中水螅水母种类最多,桡足类种类数次之,应该是海域差异造成的结果。

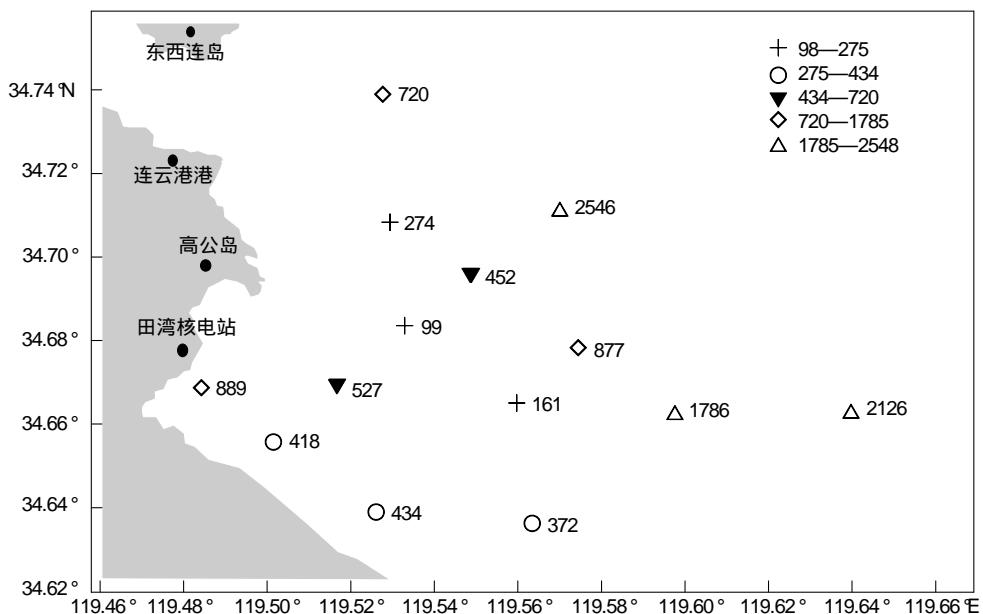


图 5 采样站位浮游动物丰度(个/ m^3)
Fig. 5 Density of zooplankton sampling stations

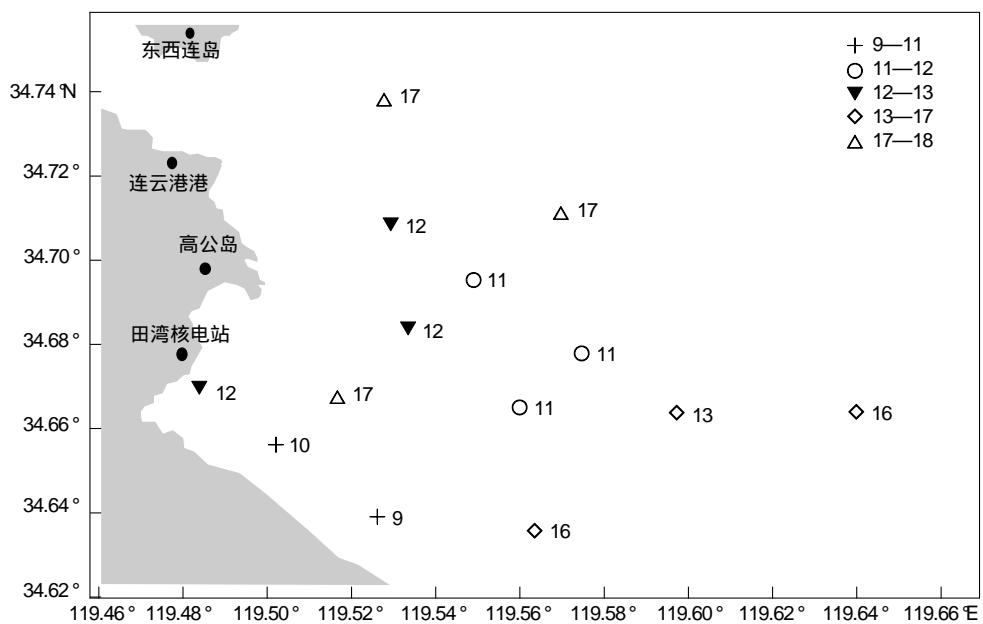


图 6 采样站位浮游动物种类数
Fig. 6 Species number of sampling stations

3.2 浮游动物群落特征参数与环境因子的关系

相关性分析结果表明,水温与浮游动物丰度之间具有显著的相关性($r=-0.615, P=0.019 < 0.05$),水温越高浮游动物丰度越低,调查海域水温的平面分布特征显示与核电温排水有关(图 5),表明核电温排水会减少

局部海域的浮游动物丰度;水温与浮游动物种类数之间也具有显著的相关性($r=-0.574, P=0.032 < 0.05$),水温越高,浮游动物种类数越少(图6),表明核电温排水会降低局部海域的浮游动物的种类数。水温与多样性指数、均匀度指数及丰富度指数均呈现负相关,但相关性不显著。

相关性分析结果表明,水温与亚硝酸盐含量之间具有显著的正相关性($r=0.572, P=0.033 < 0.05$),表明水温越高亚硝酸盐含量越高。浮游动物丰度与亚硝酸盐含量之间具有显著的负相关性($r=-0.609, P=0.021 < 0.05$),亚硝酸盐含量越高浮游动物丰度越低。水温与氨氮含量之间具有极显著的正相关性($r=0.689, P=0.006 < 0.01$),水温越高氨氮含量越高。因此,水温的升高在调查海域引起了水质的恶化。

相关性分析结果表明,氨氮含量与浮游动物种类数之间具有极显著的相关性($r=-0.709, P=0.004 < 0.01$),说明调查海域氨氮浓度越高浮游动物种类数越少(图6),水温的升高引起氨氮的升高,从而减少调查海域浮游动物的种类数;悬浮物含量与氨氮含量之间具有显著的正相关性($r=0.604, P=0.022 < 0.05$,表明悬浮物含量越高则氨氮含量也越高。氨氮含量与浮游动物丰度、多样性指数、均匀度指数、丰富度指数之间均呈现负相关性,但相关性不显著。

相关性分析结果表明(图7,图9),悬浮物含量与物种多样性指数及物种丰富度指数具有显著的负相关性($r=-0.536$ 和 $-0.609, P=0.048$ 和 $0.021 < 0.05$),是否说明浮游动物对不同含量的悬浮物有不同的适应性,还是有其它原因,尚需进一步研究。

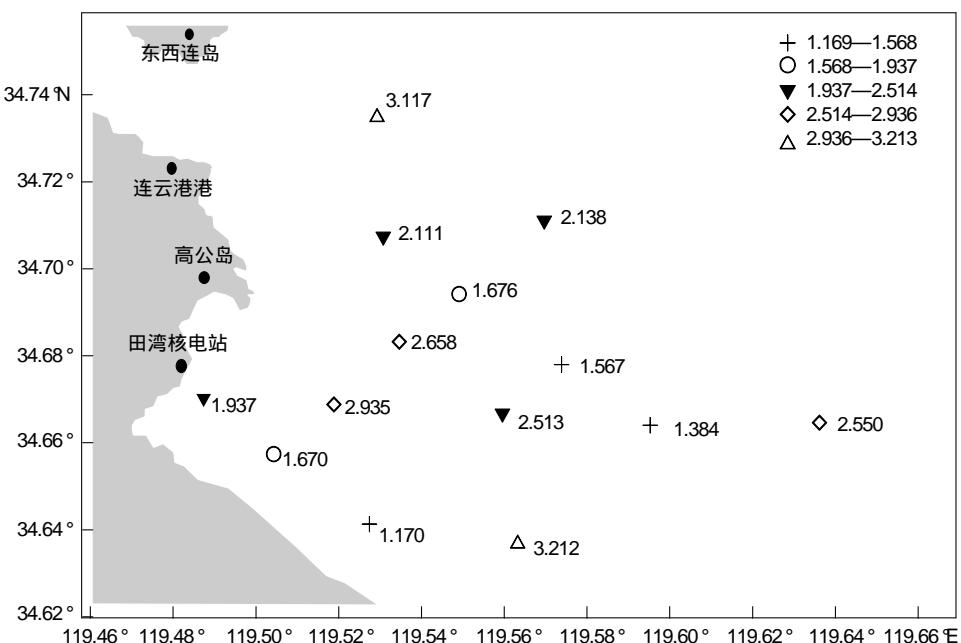


图7 采样站位生物多样性指数
Fig. 7 Biodiversity indexes of sampling stations

相关性分析结果表明,浮游动物种类数与多样性指数和丰富度指数之间均具有极显著的相关性,相关系数($r=-0.730$ 和 $-0.759, P=0.003$ 和 $0.002 < 0.01$);浮游动物种类数与均匀度指数之间具有显著的相关性,相关系数($r=0.552, P=0.041 < 0.05$)(图8)。

总之,分析表明浮游动物丰度与水温和亚硝酸盐均有显著相关,水温和亚硝酸盐含量越高则浮游动物丰度越低,温排水影响了调查海域的浮游动物丰度;浮游动物种类数与水温和氨氮含量分别有显著和极显著的负相关,说明核电站温排水影响了浮游动物的种类数;浮游动物种类数与多样性指数和丰富度指数之间均具有极显著的相关性,而与均匀度指数之间具有显著的相关性。水温升高通过使浮游动物种类数减少,导致多样性指数、丰富度指数和均匀度指数的下降。水温与氨氮和亚硝酸盐之间分别有极显著和显著的正相关性,水温升高氨氮和亚硝酸盐含量升高,间接导致浮游动物种类数下降,引起多样性指数、均匀度指数和丰富度指

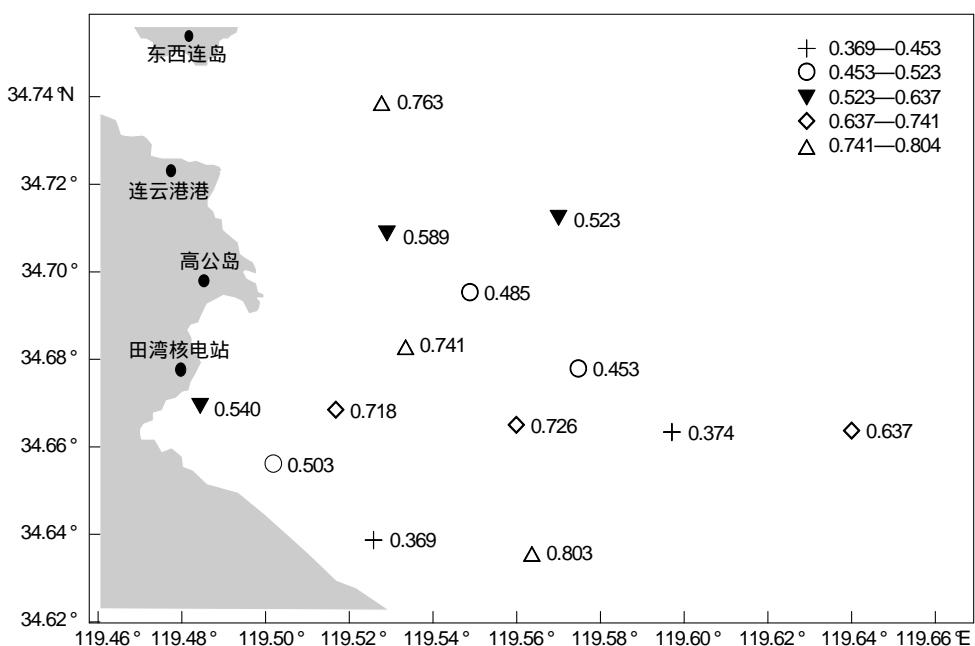


图8 采样站位均匀度指数

Fig. 8 Evenness index of sampling stations

数下降。物种多样性指数及物种丰富度指数与悬浮物含量均有显著的负相关,悬浮物含量多则在水温升高时会释出更多的氨氮,氨氮含量的升高使浮游动物种类数下降。

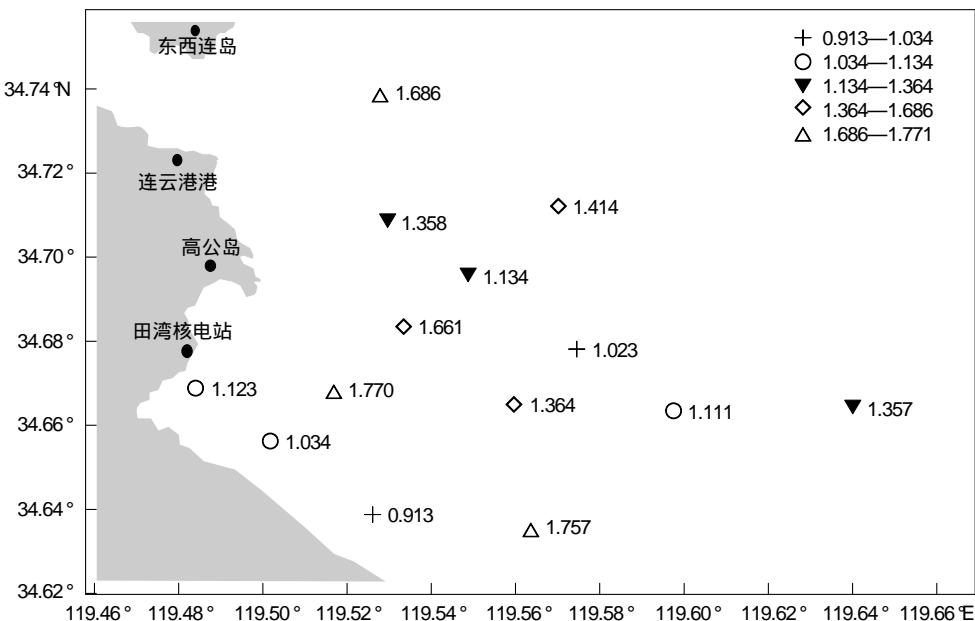


图9 采样站位物种丰富度指数

Fig. 9 Species richness indexes of sampling station

3.4 浮游动物多样性环境评价

调查海域浮游动物种类有些贫乏,多样性指数不高,平均值为2.188,最高值为3.212。方良等^[5]有关大亚湾海域调查中多样性指数最高达5.273,而有关田湾核电站近岸海域的浮游动物多样性指数尚无历史资料可以比较;参照国内通用的生物指数评价标准^[20], $H'=0$,为严重污染; $0 < H' < 1$,重污染; $1 < H' < 2$,为中污染; $2 < H' < 3$,为轻污染; $H' > 3$,为清洁。可以判定,目前调查海域水质状况总体属于轻度污染,受到核电运行一定的

影响。

References:

- [1] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. Chinese Journal of Ecology, 1989, 8(4): 13-15.
- [2] Mackas D L, Galbraith M. Zooplankton community composition along the inner portion of Line P during the 1997—1998 El Niño event. Progress in Oceanography, 2002, 54(1/4): 423-437.
- [3] Chen X Q, Chen B, Huang B, Wang J Y, Zheng J, Ning P, Yu C G. Analysis on community structure of zooplankton in Zhoushan fishing ground and its adjacent area in summer. Zoological Research, 2010, 31(1): 99-107.
- [4] Xu Z L, Shen X Q, Ma S W. Ecological characters of zooplankton dominant species in the waters near the Changjiang estuary in spring and summer. Marine Sciences, 2005, 29(12): 13-19.
- [5] Fang L, Li C H, Du F Y, Jia X P, Zhang W. Ecological characteristics of zooplankton in Daya Bay. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 2981-2991.
- [6] Mackas D L, Tsurumi M, Galbraith M D, Yelland D R. Zooplankton distribution and dynamics in a North Pacific Eddy of coastal origin: II. Mechanisms of eddy colonization by and retention of offshore species. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2005, 52(7/8): 1011-1035.
- [7] Xu Z L, Hong B, Zhu M Y, Chen Y Q. Ecological characteristics of zooplankton in frequent HAB areas of the East China Sea in Spring. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(7): 1081-1085.
- [8] Gao Q, Xu Z L, Zhuang P. Comparison of mesozooplankton communities in North Channel and North Branch of Yangtze River Estuary. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 2049-2055.
- [9] Guo P Y, Shen H T, Liu A C, Wang J H, Yang Y L. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892-900.
- [10] Mackas D L, Tsuda A. Mesozooplankton in the eastern and western subarctic Pacific: community structure, seasonal life histories, and interannual variability. Progress in Oceanography, 1999, 43(2/4): 335-363.
- [11] 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.
- [12] Meng F, Mao X H, Yu J L, Zhang X L, Huang F P, Li R X. On the composition and distribution of zooplankton species in the coastal waters off Jiangsu Province. Acta Ecologica Sinica, 1987, 7(3): 256-266.
- [13] Huang Y R, Ou Q, Li J R, Qian H L. Comparison of zooplankton from Dapeng Bay and Daya Bay and relationship between zooplankton and red tide. Marine Science Bulletin, 1993, 12(2): 46-51.
- [14] Yang G M, Wang C S, He D H, Liu H B, Zhu X Y. Ecological characteristics of zooplankton in the waters near Qinshan Nuclear Power Station. Journal of Marine Sciences, 1991, 9(2): 98-108.
- [15] State Bureau of Technical Supervision. The specification for oceanographic survey (GB/T 12763). Beijing: China Standard Press, 1991.
- [16] Zheng Z, Li S J, Xu Z Z. Marine Planktology. Beijing: China Ocean Press, 1984.
- [17] Zheng Z. Essays on Marine Plankton Ecology. Xiamen: Xiamen University Press, 1986.
- [18] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology. Beijing: Science Press, 2002: 158-162.
- [19] Guo Z G. Social Statistical Analysis Methods—SPSS Software Applications. Beijing: China Renmin University Press, 1999: 18-83.
- [20] Cai X M. Ecosystem Ecology. Beijing: Science Press, 2000.

参考文献:

- [1] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲹渔场的关系. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
- [3] 陈小庆, 陈斌, 黄备, 王婕妤, 郑基, 宁平, 俞存根. 夏季舟山渔场及邻近海域浮游动物群落结构特征分析. 动物学研究, 2010, 31(1): 99-107.
- [4] 徐兆礼, 沈新强, 马胜伟. 春、夏季长江口邻近水域浮游动物优势种的生态特征. 海洋科学, 2005, 29(12): 13-19.
- [5] 方良, 李纯厚, 杜飞雁, 贾晓平, 张伟. 大亚湾海域浮游动物生态特征. 生态学报, 2010, 30(11): 2981-2991.
- [7] 徐兆礼, 洪波, 朱明远, 陈亚瞿. 东海赤潮高发区春季浮游动物生态特征的研究. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1081-1085.
- [8] 高情, 徐兆礼, 庄平. 长江口北港和北支浮游动物群落比较. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2049-2055.
- [9] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 王金辉, 杨元利. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- [11] 尹健强, 张谷贤, 谭焯辉, 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.
- [12] 孟风, 毛兴华, 俞建森, 张锡烈, 黄凤鹏, 李瑞香. 江苏海岸带水域浮游动物的种类组成和分布. 生态学报, 1987, 7(3): 256-266.
- [13] 黄亚如, 欧强, 李锦蓉, 钱宏林. 南海大鹏湾与大亚湾浮游动物的比较及其与赤潮的关系. 海洋通报, 1993, 12(2): 46-51.
- [14] 杨关铭, 王春生, 何德华, 刘红斌, 祝希雅. 秦山核电站邻近水域浮游动物的生态特点. 海洋学研究, 1991, 9(2): 98-108.
- [15] 国家技术监督局. 海洋调查规范 (GB/T 12763). 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [16] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [17] 郑重. 海洋浮游生物生态学文集. 厦门: 厦门大学出版社, 1986.
- [18] 沈国英, 施并章. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2002: 158-162.
- [19] 郭志刚. 社会统计分析方法——SPSS 软件应用. 北京: 中国人民大学出版社, 1999: 18-83.
- [20] 蔡晓明. 生态系统生态学. 北京: 科学出版社, 2000.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji (6645)
Potential distribution of rice in China and its climate characteristics	DUAN Juqi, ZHOU Guangsheng (6659)
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	WU Yumei, ZHOU Qiang, YU Bingjun (6669)
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	ZHANG Pei, YUAN Guofu, ZHUANG Wei, et al (6677)
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, SHI Fuxi, et al (6688)
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	XIAO Jianhong, CHEN Shaojin, YU Qingdong, et al (6696)
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	JIANG Ruizhu, LI Xiuqi, ZHU Yongan, et al (6708)
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	LI Na, ZHOU Demin, ZHAO Kuiyi (6717)
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	CHENG Yanhong, CHEN Xiaoyun, LIU Manqiang, et al (6727)
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network K-function	YANG Juejie, LIU Shiliang, ZHAO Qinghe, et al (6734)
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	ZHANG Tongwen, YUAN Yujiang, YU Shulong, et al (6743)
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	TIAN Chao, LIU Yang, YANG Xinbing, et al (6753)
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	CHEN Jin, CHEN Bufeng, PAN Yongjun, et al (6766)
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	LIU Dengwang, ZHOU Shan, LIU Shengrui, et al (6777)
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	TONG Yuhua, ZHOU Hongliang, HUANG Zhefeng, et al (6788)
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	LIU Zhilong, YU Mukui, MA Yue, et al (6796)
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	SHI Yu, WEN Zhongming, GONG Shihui (6805)
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in five woody plants living in arid zone	TAN Yongqin, BAI Xinfu, ZHU Jianjun, et al (6815)
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	XUE Li, CHEN Hongyue, YANG Zhenyi, et al (6824)
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	WANG Lei, ZHANG Lei, DUAN Xuejun, et al (6832)
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	ZHAO Sufen, HE Peimin (6845)
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	BAO Yunxuan, MENG Cuili, SHEN Shuanghe, et al (6853)
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	YUE Ping, ZHANG Qiang, YANG Jinhui, et al (6866)
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	CHEN Wei, JIANG Wei, QIU Xuebai, et al (6877)
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	LIU Mei, ZHAO Xiuxia, ZHAN Jing, et al (6886)
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	MENG Xiuxiang, GONG Baocao, XUE Dayuan, et al (6896)
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	WU Jianxin, YAN Binlun, FENG Zhihua, et al (6902)
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	WANG Zhenhua, WANG Kai, ZHANG Shouyu (6912)
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	ZHONG Manxiu, XU Lizhong, YANG Jing (6926)
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	ZHANG Heng, ZHENG Baojiang, SONG Baohua, et al (6936)
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	LIU Bo, ZHOU Feng, WANG Guoxiang, et al (6947)
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	LIU Dongping, XIAO Wenfa, LU Jun, et al (6959)
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	SHI Xiaotao, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping, et al (6967)
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	WU Jun, XU Haigen, DING Hui (6973)
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	CHEN Jianwen, WANG Mengben, SHI Jianwei (6978)

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 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 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@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. 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