

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 21 期 Vol.32 No.21 **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 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王 强,袁兴中,刘 红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张 霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856)
专论与综述	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864)
全球 CO_2 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892)
研究简报	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任 珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-11



封面图说: 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

彩图提供: 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI:10.5846/stxb201109151349

杨青,王真良,樊景凤,邵魁双,李宏俊.北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.生态学报,2012,32(21):6747-6754.

Yang Q, Wang Z L, Fan J F, Shao K S, Li H J. Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6747-6754.

北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化

杨 青*, 王真良, 樊景凤, 邵魁双, 李宏俊

(国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

摘要:2009 年秋、冬季在北黄海全海域 121°30'—124°00'E, 37°30'—40°00'N 范围开展了浮游动物多样性监测及年间变化研究, 探讨浮游动物多样性对海流及全球变化的指示。共鉴定出浮游动物 8 大类 28 种(不含 6 大类浮游幼虫和鱼卵仔鱼), 类群组成以暖温性近岸种和广温广盐种为主, 兼有少量冷温性和暖水性外海种。聚类分析将浮游动物群落划分为: 北黄海高盐水团群落、北黄海混合水团群落、北黄海沿岸低盐水团群落。2009 年秋、冬季在北黄海均监测到暖水种小齿海樽和肥胖箭虫, 前者形成秋季浮游动物优势种, 但 1959 年调查显示它们向北分布不能抵达北黄海, 这些暖水种的向北扩布可能预示着黄海暖流的增强。2009 年秋、冬季北黄海主要暖温种中华哲水蚤和强壮箭虫丰度也较 1959 年同期有所升高。研究表明全球变化影响下温带海域北黄海浮游动物暖水种种类增加、分布北移, 暖温种丰度升高, 这与亚热带海域东海浮游动物对气候变暖的响应模式不同, 能够为浮游动物对全球变暖的区域响应机制研究提供参考资料。

关键词:浮游动物; 物种多样性; 年间变化; 全球变化; 北黄海

Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009

YANG Qing*, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, SHAO Kuishuang, LI Hongjun

National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China

Abstract: Zooplankton species diversity was monitored in the Northern Yellow Sea (121°30'—124°00'E, 37°30'—40°00'N) in the autumn and winter of 2009. Based on comparisons with historic data 1959 and 1982, the variation of zooplankton diversity was analyzed. The connection between zooplankton diversity and sea currents and global change was also revealed. Zooplankton samples were collected with a plankton net (mesh size 500 μm) in the Northern Yellow Sea (NYS). A total of 28 species belonging to 8 classes (excluding zooplankton larva and juveniles, fish eggs, and fish larvae) were collected. Warm-temperate and eurythermal species constituted the majority of zooplankton in the NYS and only a small number of cold-temperate and subtropical species were found. Based on zooplankton species composition at each station, community classifications were analyzed using CLUSTER analysis and the SIMPROF test (Primer 6.0 software). Three zooplankton communities were distinguished as: the NYS High Salinity Water Community, the NYS Mixed Water Community and the NYS Coastal Water Community.

In the autumn and winter of 2009, the warm water species *Doliolum denticulatum* and *Sagitta enflata* were observed in the NYS. The average abundance of *D. denticulatum* was 81.00 ind/ m^3 and 0.06 ind/ m^3 in autumn and winter, respectively. The frequency of occurrence was 57.1% in autumn and 7.1% in winter. The average abundance of *S. enflata* was 0.24 ind/ m^3 and 0.37 ind/ m^3 in autumn and winter, respectively. The frequency of occurrence was 14.3% in autumn

基金项目:海洋公益性行业科研专项(201005015); 国家青年科学基金项目(41106116); 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室资助项目(201003)

收稿日期:2011-09-15; 修订日期:2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qyang@nmemc.gov.cn

and 50.0% in winter. Notably, in autumn of 2009, *D. denticulatum* became one of the dominant zooplankton species in the NYS. In the same season during 1959, the northward distribution limit of these warm water species did not reach the NYS. The northward expansion of these warm water species might reveal the reinforcement of the Yellow Sea Warm Current (YSWC) from the impacts of climate change.

Calanus sinicus and *S. crassa* were the main warm-temperate species and dominated the zooplankton in both seasons measured. In autumn and winter of 2009, the abundance of both *C. sinicus* and *S. crassa* was higher than those in the same period of 1959. In autumn, the average abundance of *C. sinicus* in 2009 was 3.7 times that in 1959 and 5.4 times that in 1982. The maximum abundance of *C. sinicus* in 2009 was 3.5 times that in 1959 and 1.7 times that in 1982. The abundance of the main warm-temperate species has increased significantly in the NYS over the past 50 years.

We hypothesize that climate change is responsible for the northward expansion of warm water species (*D. denticulatum* and *S. enfata*) and the increase in abundance of the main warm-temperate species (*C. sinicus* and *S. crassa*) in the NYS. The response model of zooplankton to climate change in the NYS (warm-temperate sea) was different from that in the East China Sea (subtropical sea). This research is of scientific interest for studying the response of zooplankton to global climate change.

Key Words: zooplankton; diversity; variation; global change; Northern Yellow Sea

海洋浮游动物作为海洋生态系统的次级生产者,它们是经济水产动物,特别是上、中层鱼类和一切幼鱼的饵料基础^[1];一些种类的分布对许多重要海流、水团及气候变化等具有生物指示作用。已有研究表明全球海洋浮游动物多样性及丰度的时空分布格局正逐渐改变^[2],譬如北大西洋暖水性桡足类分布界限大尺度北移^[3],北大西洋^[4]、加利福尼亚上升流区^[5]及北海^[6]浮游动物丰度已明显变化。国内,李君华等^[7]和 Zhang 等^[8]综述了全球变暖对浮游动物多样性及分布等的影响,徐兆礼和高倩^[9]、周进等^[10]、李云等^[11]、Xu 等^[12]、Ma 等^[13]先后在亚热带海域——东海开展了浮游动物对气候变暖的响应研究,而对于我国温带海域此方面尚未见报道。不同温度区域浮游动物的生态群落组成不同,从而温带海域与亚热带海域浮游动物对气候变暖的响应模式可能有所不同,因此研究典型温带海域浮游动物多样性对气候变暖的响应具有重要科学意义。

北黄海为山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的暖温带半封闭海域,目前已开展了局部海域浮游动物时空分布^[14-15]、垂直移动规律^[16]等研究,并且“1958—1959 年全国海洋综合调查”、“1982 年黄海污染现状综合调查”等大型调查均覆盖了北黄海全海域,为本研究的开展提供了宝贵历史资料积累。本研究于 2009 年秋、冬季对北黄海全海域浮游动物多样性进行监测,并与 1959 年、1982 年等历史同期资料对比,探讨了典型温带海域浮游动物多样性的年间变化及其对气候变暖的指示,能够为浮游动物对全球变暖的区域响应机制研究提供参考资料。

1 材料和方法

1.1 站位布设及采样方法

2009 年秋季(10 月)和冬季(12 月)在北黄海 121°30′—124°00′E、37°30′—40°00′N 范围海域开展浮游动物多样性监测,监测站位及北黄海主要流系分别见图 1 和图 2。浮游动物样品的采集和室内处理均按照《海洋监测规范》(GB/T 17378—2007)进行,采用浅水 I 型浮游生物网(水深小于 50 m)或大网(水深超过 50 m)自底至表层垂直拖网采集(为方便表述统称为“大网”)。样品经 5% 福尔马林溶液固定后,体视显微镜下进行种类鉴定和个体计数。

1.2 数据分析

1.2.1 优势度及优势种的确定

优势度计算公式如下: $Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$; 式中, n_i 为第 i 种类的丰度, f_i 为第 i 种类的出现频率, N 为总丰度。当

优势度 $Y \geq 0.02$ 时,确定该种为优势种^[18]。

图 1 北黄海调查站位图

Fig. 1 Map of sampling stations in the Northern Yellow Sea (NYS)

图 2 北黄海主要流系(仿孙荣涛等^[17])

Fig. 2 Main current system in the NYS (from Sun et al.^[17])

1.2.2 群落划分

采用非参数多元统计软件包 Primer 6.0 进行聚类分析,从而划分群落。分析以 Bray-Curtis 相似性系数 S_{ij} 为基础进行计算,Bray-Curtis 相似性系数大的多个站位具有相同的生态群落组成;并对原始丰度数据进行对数转换: $\log(1+x)$,以降低各种间数据的极化程度^[19]。采用 SIMPROF test 进行结果的显著性检验 ($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 种类组成及生态类群

2009 年秋、冬季共监测到浮游动物 8 大类 28 种(不含 6 大类浮游幼虫(体)和鱼卵仔鱼)。其中,水母类 9 种(包括水螅水母类 7 种、栉水母类 2 种),占总种数的 32.1%;桡足类 8 种,占总种数的 28.6%;糠虾类 3 种,占总种数的 10.7%;毛颚类、被囊类和十足类各 2 种,分别占总种数的 7.1%;端足类和磷虾类各 1 种,分别占总种数的 3.6%。两个季节的共有种为 9 种,占总种数的 32.1%。秋季,出现频率大于 50% 的种类依次是中华哲水蚤 *Calanus sinicus*、强壮箭虫 *Sagitta crassa*、小齿海樽 *Doliolum denticulatum*、拟长脚蚰 *Parathemisto gaudichardi*、异体住囊虫 *Oikopleura dioica* 和双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*,其中前 3 个种类为秋季浮游动物优势种。冬季,出现频率大于 50% 的种类依次是中华哲水蚤、强壮箭虫、拟长脚蚰、卡玛拉水母 *Malagazzia carolinae*、太平洋磷虾 *Euphausia pacifica* 和肥胖箭虫 *S. enflata*,其中前 3 个种类为冬季浮游动物优势种。

北黄海秋、冬季浮游动物类群组成以暖温性近岸种和广温广盐种为主,兼有少量的冷温性和暖水性外海种。其中,暖温性近岸种有中华哲水蚤、真刺唇角水蚤 *L. euchaeta*、腹针胸刺水蚤 *Centropages mcmurricchi*、强壮箭虫、拟长脚蚰等;广温广盐种有双刺唇角水蚤、瓜水母 *Beroe cucumis* 等;暖水性外海种有小齿海樽和肥胖箭虫;冷温性外海种仅发现太平洋磷虾,它是南黄海低温高盐冷水团的典型代表种。

值得注意的是,1959 年未出现的暖水性外海种小齿海樽和肥胖箭虫,在 1982 年和 2009 年秋季、以及 2009 年冬季均出现(1982 年冬季未调查)。

2.2 群落划分

采用 CLUSTER 聚类分析进行秋、冬季浮游动物群落划分,结果分别见图 3 和图 4。根据聚类分析和 SIMPROF 检验的结果,北黄海浮游动物群落可划分为 3 组:北黄海高盐水团群落(A)、北黄海混合水团群落(B)、北黄海沿岸低盐水团群落(C)。其中,A 组是典型外海高盐类群分布区,秋季以暖水性外海种小齿海樽为典型代表,冬季以冷温性外海种太平洋磷虾、暖水性外海种肥胖箭虫为典型代表;而近岸低盐种类如真刺唇角水蚤、腹针胸刺水蚤等在该区完全消失。B 组为沿岸水团与黄海高盐水团的交汇混合区,秋季偏低温低盐的暖温性近岸种中华哲水蚤和强壮箭虫丰度较 A 组明显高,冬季外海种肥胖箭虫和太平洋磷虾等在该区具

有一定的分布,但其丰度显著低于 A 组。C 组以沿岸水团占主导,以近岸低盐类群为主,秋季外海种小齿海樽、冬季外海种太平洋磷虾和肥胖箭虫在该区基本绝迹;而近岸低盐种类真刺唇角水蚤等却在该区广泛分布。

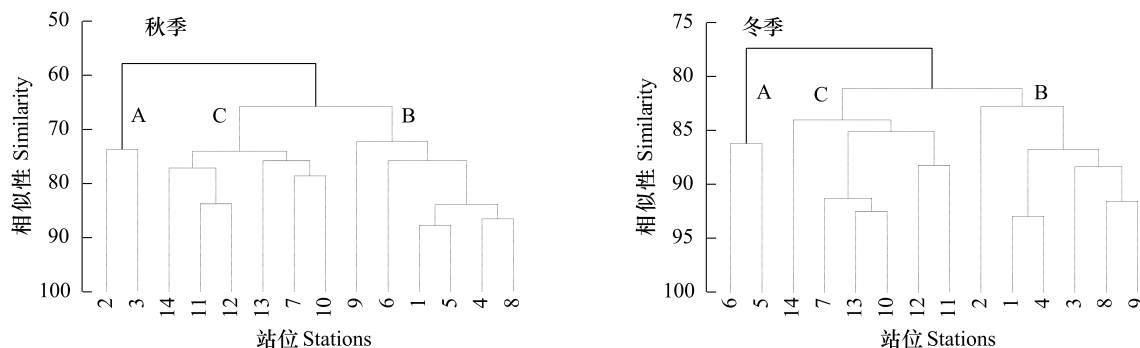


图3 秋季和冬季北黄海调查站位 CLUSTER 聚类分析

Fig. 3 The CLUSTER of sampling stations in the NYS in autumn and winter 实线表示经 SIMPROF 显著性检验 $P < 0.05$

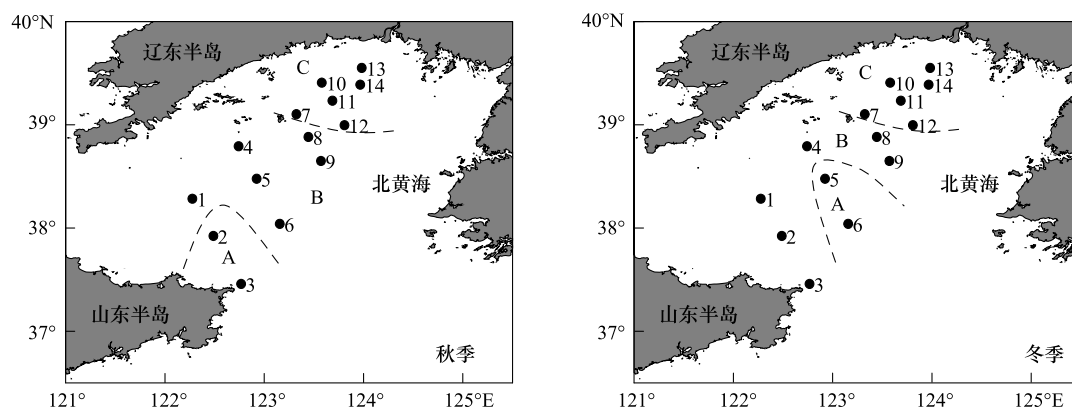


图4 秋季和冬季北黄海浮游动物群落地理分布

Fig. 4 Geographic distribution of zooplankton community in the NYS in autumn and winter

2.3 暖水种的分布及其年间变化

小齿海樽和肥胖箭虫为暖水性外海种,本研究发现 2009 年秋、冬季这两个种类在北黄海均出现。2009 年秋季各站位小齿海樽丰度较高,平均丰度为 $81.00 \text{ 个}/\text{m}^3$,最高丰度达 $817.50 \text{ 个}/\text{m}^3$,站位出现率为 57.1%,向北分布可达北黄海中部北纬 39° 附近(图 5);冬季小齿海樽的平均丰度较低,为 $0.06 \text{ 个}/\text{m}^3$,站位出现率为 7.1%。2009 年秋季和冬季肥胖箭虫平均丰度分别为 $0.24 \text{ 个}/\text{m}^3$ 和 $0.37 \text{ 个}/\text{m}^3$,其站位出现率分别为 14.3% 和 50.0%,向北可分布至北纬 39.5° 左右(图 5)。

与历史同期大网监测数据相比,2009 年秋季暖水种小齿海樽及肥胖箭虫的平均丰度和最高丰度较 1982 年均有所升高。其中,小齿海樽的平均丰度由 1982 年的 $62.38 \text{ 个}/\text{m}^3$ 升高至 2009 年的 $81.00 \text{ 个}/\text{m}^3$,最高丰度由 $571.42 \text{ 个}/\text{m}^3$ 升高至 $817.50 \text{ 个}/\text{m}^3$;肥胖箭虫的平均丰度由 $0.01 \text{ 个}/\text{m}^3$ 升高至 $0.24 \text{ 个}/\text{m}^3$,最高丰度由 $0.39 \text{ 个}/\text{m}^3$ 升高至 $2.50 \text{ 个}/\text{m}^3$ 。1959 年秋、冬季暖水种小齿海樽和肥胖箭虫均未出现。

综上所述,与 1959 年相比,北黄海新增两种暖水性外海种小齿海樽和肥胖箭虫,它们在 1982 年秋季(冬季未调查)和 2009 年秋、冬季均出现,且 2009 年其丰度较 1982 年有所升高。结合群落划分的结果(图 4)可以看出,秋、冬季暖水种小齿海樽和肥胖箭虫主要分布于北黄海高盐水团和混合水团群落所覆盖海域,在沿岸低盐水团群落所处海域它们基本绝迹。

2.4 主要温水种的分布及其年间变化

中华哲水蚤和强壮箭虫属于近岸性暖温种,在北黄海秋、冬季均为浮游动物优势种及主要温水种。2009

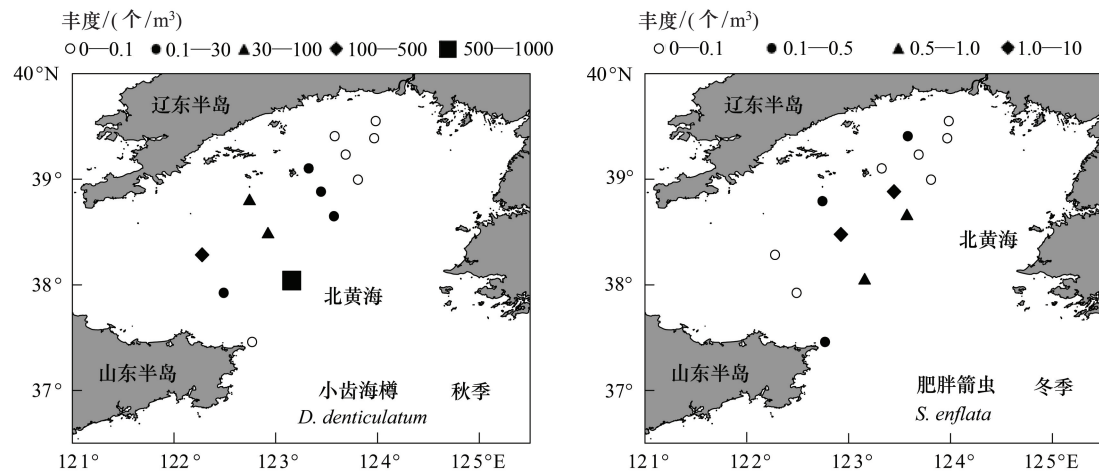


图5 北黄海暖水种小齿海樽及肥胖箭虫的分布

Fig. 5 Distribution of the warm water species *D. denticulatum* and *S. enflata* in the NYS

年秋季中华哲水蚤和强壮箭虫的优势度分别为 0.4501 和 0.2438, 冬季其优势度分别为 0.4892 和 0.4427, 秋冬季两者的站位出现率均达到 100%。

与 1959 年、1982 年历史同期大网监测数据相比, 2009 年秋季中华哲水蚤的丰度呈显著升高趋势(图 6), 其平均丰度与最高丰度分别是 1959 年的 3.7 倍和 3.5 倍, 分别是 1982 年的 5.4 倍和 1.7 倍, 平均丰度与最高丰度分别由 1959 年的 36.90 个/ m^3 和 109.00 个/ m^3 升高至 2009 年的 134.96 个/ m^3 和 376.67 个/ m^3 。冬季, 中华哲水蚤平均丰度较 1959 年略有升高、最高丰度略有下降, 波动幅度不大(图 6)。秋季, 强壮箭虫的平均丰度略呈上升趋势、最高丰度略有下降(图 6), 其平均丰度由 1959 年的 49.60 个/ m^3 升高至 2009 年的 73.09 个/ m^3 。冬季, 强壮箭虫的平均丰度和最高丰度均较 1959 年均略有升高(图 6), 平均丰度由 1959 年的 35.00 个/ m^3 升高至 2009 年的 52.08 个/ m^3 , 最高丰度由 1959 年的 63.00 个/ m^3 升高至 2009 年的 99.33 个/ m^3 。综上所述, 2009 年秋、冬季北黄海主要暖温种中华哲水蚤和强壮箭虫的丰度较 1959 年均有所升高。

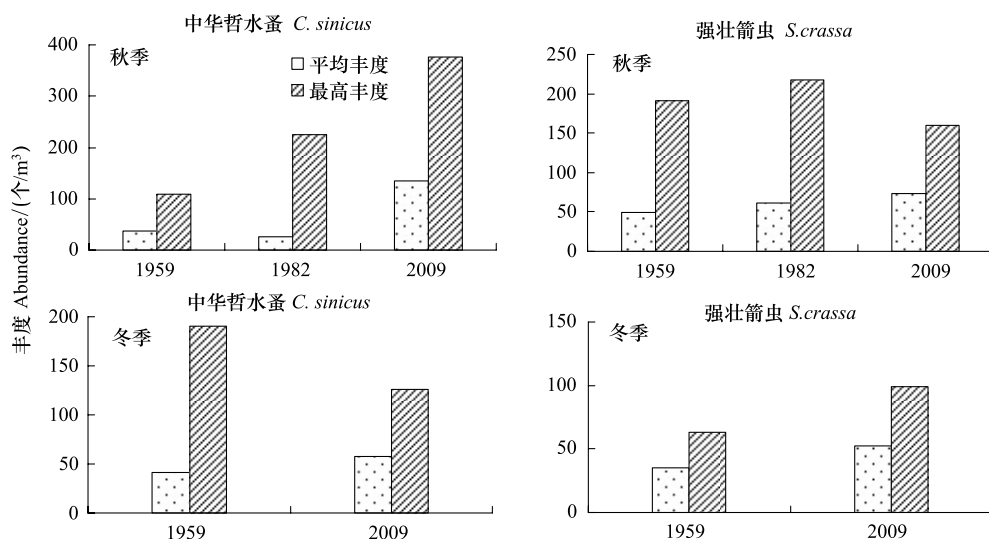


图6 秋、冬季北黄海浮游动物主要暖温种丰度的年间变化

Fig. 6 Variation of the abundance of zooplankton main warm-temperate water species in the NYS in autumn and winter

3 讨论

3.1 种类组成变化及群落划分

北黄海地处暖温带海域, 其流系主要由黄海暖流余脉(以冬季影响最强)以及辽南沿岸流、鲁北沿岸流、

西朝鲜沿岸流等沿岸流系所组成的气旋式环流,形成黄海中央水团(夏季明显分为两层,下层为低温高盐水,即“黄海冷水团”)和沿岸水团两大类基本水团。浮游动物种类组成以暖温性近岸种和广温广盐种为主。然而,本研究于 2009 年在北黄海发现两种暖水性外海种小齿海樽和肥胖箭虫,它们在 1959 年未出现在北黄海,而 2009 年秋、冬季广泛出现在北黄海中南部海域,本研究组在 1982 年秋季也曾观察到类似现象^[20],这反映了北黄海浮游动物种类组成及生态类群的改变;这些暖水性种类可能由黄海暖流携带进入所致。

在众多流系和水团的影响下,北黄海形成了较为复杂的浮游动物群落结构。根据本研究 2009 年秋、冬季浮游动物群落聚类分析的结果,北黄海浮游动物可划分为 3 个群落:北黄海高盐水团群落(A)、北黄海混合水团群落(B)、北黄海沿岸低盐水团群落(C)。其中 A 与郑执中^[21]所划分的黄海和东海西部浮游动物中群落 IV 相对应,C 与其群落 III 相对应,但由于本研究站位布设距离海岸线较远,其所划分的山东半岛近岸群落在本研究未出现。肖贻昌^[22]认为黄海浮游动物可划分为沿岸低盐群落和中央高盐群落,但从水平分布看近岸种和外海种重叠交错分布的幅度很大,以致分布界限不很清楚。本研究与上述研究最大不同在于,将其中中央高盐群落进一步细化为两个群落 A 和 B,外海种小齿海樽、肥胖箭虫等在 A、B 群落均有分布,但是秋季 B 群落偏低温低盐的近岸暖温种中华哲水蚤和强壮箭虫丰度明显高于 A 群落(A 所处站位表层水温超过 18℃,盐度超过 32^①),冬季 B 群落外海种肥胖箭虫和太平洋磷虾的丰度显著高于 A 群落,从而解决了北黄海近岸种和外海种重叠交错分布的区域浮游动物群落划分问题。

3.2 物种多样性变化对海流及气候变化的指示

小齿海樽^[23]和肥胖箭虫^[24]均是典型的暖水性外海种。根据 1959 年全国海洋综合调查结果,小齿海樽仅分布于我国东海和南海,肥胖箭虫仅分布于南黄海、东海和南海。然而,2009 年秋、冬季它们广泛出现于北黄海中南部海域;本研究组于 1982 年秋季也曾观察到类似现象,但春、夏季在北黄海均未检测到上述两个种类^[20]。秋、冬季暖水种小齿海樽和肥胖箭虫的向北扩布对海流与环境具有怎样的指示作用?

秋、冬季北黄海重要水文特征之一是黄海暖流余脉(图 2),其向北黄海输送了大量高温高盐的外海水。黄海暖流强弱呈季节变化,其秋季开始形成,冬季最强,夏季最弱^[25]。目前普遍接受的观点是黄海暖流来自东海北部对马暖流、台湾暖流与当地水团混合后的混合水^[26];冬季黄海暖流向北进入北黄海,循深槽深入至渤海海峡,而夏季黄海暖流则甚弱,且局限于北黄海的南端^[27]。综上所述,北黄海暖水种的时空分布与黄海暖流的季节性变化具有较好的吻合性,本研究推测北黄海秋、冬季暖水种小齿海樽和肥胖箭虫的分布可能由黄海海流输送所致,其对海流具有一定的指示作用,同时也可能预示着全球变化影响下黄海暖流在北黄海入侵势力的增强。徐兆礼等^[28]对东海海樽类的研究表明,海樽类数量波动与东海暖流势力消长过程中的携带有密切联系,这与本研究结果一致。

3.3 与其它典型海域的比较

关于浮游动物多样性变化及对气候变化的响应,国内在亚热带海域东海已开展了一些研究。徐兆礼和高倩^[9]发现 2002 年长江口海域暖温种真刺唇角水蚤的丰度较 1959 年明显降低。周进等^[10]发现近年来春季长江口水域暖温种拟长脚蚳丰度有所降低。李云等^[11]研究发现长江口水域环境变暖,暖水种肥胖箭虫夏季丰度明显上升,暖温种强壮箭虫冬季丰度显著下降。Xu 等^[12]发现东海暖水性浮游介形类短棒真浮萤 *Euconchoecia chierchiae* 和齿形海萤 *Cypridina dentate* 的丰度增加,并发展成为长江口主要优势种;而适应相对低温的种类后圆真浮萤 *E. maimai*、细长真浮萤 *E. elongate* 和针刺真浮萤 *E. aculeate* 的丰度明显降低,可能与全球变暖和过去 20a 东海暖流的增强有关。综上所述,亚热带海域东海浮游动物对气候变暖的响应表现为暖水种丰度增加、暖温种丰度降低。而本研究通过对典型暖温带海域北黄海浮游动物暖水种和主要温水种的分布及年间变化分析,发现温带海域浮游动物对气候变暖的响应模式与亚热带海域有所不同;温带海域北黄海浮游动物暖水种种类增加、分布北移,暖温种丰度升高;具体表现为 1959 年暖水种小齿海樽和肥胖箭虫未

① 根据同步 CTD 获取的数据

出现在北黄海、而 2009 年两者在秋、冬季均出现(图 5),北黄海主要暖温种中华哲水蚤和强壮箭虫丰度较 1959 年也有所增加(图 6),这些反映了不同生态类群浮游动物对气候变化响应不同,从而不同温度区系浮游动物对气候变化的响应也不同,本研究能够为浮游动物对全球变暖的区域响应机制研究提供参考资料。

References:

- [1] Zheng Z, Li S J, Xu Z Z. Marine Planktology. Beijing: China Ocean Press, 1984.
- [2] Hays G C, Richardson A J, Robinson C. Climate change and marine plankton. Trends in Ecology and Evolution, 2005, 20(6):337-344.
- [3] Beaugrand G, Reid P C, Ibañez F, Lindley J A, Edwards M. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. Science, 2002, 296(5573):1692-1694.
- [4] Richardson A J, Schoeman D S. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. Science, 2004, 305(5690):1609-1612.
- [5] Roemmich D, McGowan J. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. Science, 1995, 267(5202):1324-1326.
- [6] Lynam C P, Hay S J, Brierley A S. Interannual variability in abundance of North Sea jellyfish and links to the North Atlantic Oscillation. Limnology and Oceanography, 2004, 49(3):637-643.
- [7] Li J H, Li S J, Zhu X M. Effects of global warming on marine zooplankton in the oceans. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008, (4):137-144.
- [8] Zhang D J, Li S J, Guo D H. Impacts of global warming on marine zooplankton. Marine Science Bulletin, 2010, 12(2):15-25.
- [9] Xu Z L, Gao Q. *Labidocera euchaeta*; its distribution in Yangtze River Estuary and responses to global warming. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5):1196-1201.
- [10] Zhou J, Xu Z L, Ma Z L. Effect of global warming on abundance variation of *Parathemisto gaudichardi* (Amphipoda) in the Changjiang Estuary. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11):5758-5765.
- [11] Li Y, Xu Z L, Gao Q. Effects of global warming on *Sagitta crassa* and *Sagitta enflata* (Chaetognatha) in the Changjiang Estuary during different years. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9):4773-4780.
- [12] Xu Z L, Gu X L, Zhang F Y. Species composition, diversity and density of pelagic Ostracoda in the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 26(5):96-106.
- [13] Ma Z L, Xu Z L, Zhou J. Effect of global warming on the distribution of *Lucifer intermedius* and *L. hanseni* (Decapoda) in the Changjiang estuary. Progress in Natural Science, 2009, 19(10):1389-1395.
- [14] Wang Z L. Preliminary studies on zooplankton community in waters around Xiao Changshan Island. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(4):296-300.
- [15] Dong J, Liu H Y, Wang W B, Li P J. The zooplankton in the coast of Northern Yellow Sea where shrimp were stocked with. Journal of Dalian Fisheries University, 2000, 15(1):65-70.
- [16] Wang Z L, Liu X D. A preliminary research on diel vertical migration of zooplankton in North Huanghai Sea (Yellow Sea). Advances in Marine Science, 1989, 7(4):50-54.
- [17] Sun R T, Li T G, Chang F M. Distribution of benthic foraminifera and its bearing on marine environmental factors in the North Yellow Sea surface sediments. Marine Geology and Quaternary Geology, 2009, 29(4):21-28.
- [18] 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.
- [19] Field J G, Clarke K R, Warwick R M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. Marine Ecology Progress Series, 1982, 8(2):37-52.
- [20] Wang Z L, Xu H G, Zhu J D, Zhang X G, Yang B, Liu X D, Sun D. The zooplankton of the Yellow Sea. Marine Science Bulletin, 1985, 4(5):33-39.
- [21] Zheng Z Z. The structure of zooplankton communities and its seasonal variation in the Yellow Sea and in the Western East China Sea. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1965, 7(3):199-204.
- [22] Xiao Y C. Preliminary studies on the ecological characteristics of the zooplankton of the Yellow Sea. Transaction of Oceanology and Limnology, 1979, (2):51-55.
- [23] Xu Z L, Sun J, Lin M. Statistical analysis to ecological group of Thaliacea in the East China Sea. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11):5698-5705.
- [24] Xu Z L, Chen Y Q. Relationships between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1):76-82.

- [25] Bao X W, Li N, Yao Z G, Wu D X. Seasonal variation characteristics of temperature and salinity of the North Yellow Sea. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4):553-562.
- [26] Tang Y X, Zhou E M, Lie H J. On the origin and path of the Huanghai Warm Current during winter and early spring. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(1):1-12.
- [27] Su J L, Yuan Y C, Jing J Z. Advances in physical oceanography in China since the establishment of the PRC. *Acta Geophysica Sinica*, 1994, 37 (Supp. I):85-95.
- [28] Xu Z L, Lin M, Zhang J B. Relationship of water environment and abundance distribution of Thaliacea in the East China Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2007, 38(6):549-554.

参考文献:

- [1] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学. 北京:海洋出版社, 1984.
- [7] 李君华, 李少菁, 朱小明. 海洋浮游动物多样性及其分布对全球变暖的响应. *海洋湖沼通报*, 2008, (4):137-144.
- [9] 徐兆礼, 高倩. 长江口海域真刺唇角水蚤的分布及其对全球变暖的响应. *应用生态学报*, 2009, 20(5):1196-1201.
- [10] 周进, 徐兆礼, 马增岭. 长江口拟长脚蚖数量变化和对环境变暖的响应. *生态学报*, 2009, 29(11):5758-5765.
- [11] 李云, 徐兆礼, 高倩. 长江口强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度变化对环境变暖的响应. *生态学报*, 2009, 29(9):4773-4780.
- [14] 王真良. 小长山岛周围海域浮游动物群落结构的初步研究. *大连水产学院学报*, 2003, 18(4):296-300.
- [15] 董婧, 刘海映, 王文波, 李培军. 黄海北部对虾放流区的浮游动物. *大连水产学院学报*, 2000, 15(1):65-70.
- [16] 王真良, 刘晓丹. 北黄海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究. *黄渤海海洋*, 1989, 7(4):50-54.
- [17] 孙荣涛, 李铁刚, 常凤鸣. 北黄海表层沉积物中的底栖有孔虫分布与海洋环境. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(4):21-28.
- [18] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海水域浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系. *生态学杂志*, 1989, 8(4):13-15.
- [20] 王真良, 徐汉光, 朱建东, 张兴国, 杨波, 刘晓丹, 孙弟. 黄海的浮游动物. *海洋通报*, 1985, 4(5):33-39.
- [21] 郑执中. 黄海和东海西部浮游动物羣落的结构及其季节变化. *海洋与湖沼*, 1965, 7(3):199-204.
- [22] 肖贻昌. 黄海浮游动物的基本生态特点. *海洋湖沼通报*, 1979, (2):51-55.
- [23] 徐兆礼, 孙军, 林茂. 东海海樽类生态类群统计分析. *生态学报*, 2008, 28(11):5698-5705.
- [24] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东海毛颚类优势种及与环境的关系. *中国水产科学*, 2005, 12(1):76-82.
- [25] 鲍献文, 李娜, 姚志刚, 吴德星. 北黄海温盐分布季节变化特征分析. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2009, 39(4):553-562.
- [26] 汤毓祥, 邹娥梅, Lie H J. 冬至初春黄海暖流的路径和起源. *海洋学报*, 2001, 23(1):1-12.
- [27] 苏纪兰, 袁耀初, 姜景忠. 建国以来我国物理海洋学的进展. *地球物理学报*, 1994, 37(增刊 I):85-95.
- [28] 徐兆礼, 林茂, 张金标. 东海海樽类数量分布及与环境的关系. *海洋与湖沼*, 2007, 38(6):549-554.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry (<i>Fragaria ananassa</i> Duch)	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i>	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
Review and Monograph	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO ₂ level on the physiology and ecology of phytoplankton	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
Scientific Note	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

《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 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 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:1000717	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