

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205230767

彭松耀, 李新正. 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群. 生态学报, 2013, 33(17): 5274-5285.

Peng S Y, Li X Z. Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5274-5285.

乳山近海大型底栖动物功能摄食类群

彭松耀^{1,2}, 李新正^{1,*}

(1. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 根据 2006 年 12 月至 2007 年 11 月对乳山近海的调查样品, 报道了该海域大型底栖动物功能摄食类群的生态学状况。结果表明: 乳山近海大型底栖动物以食底泥者和肉食者占较大优势, 其次为滤食者, 食碎屑者、杂食者、植食者相对丰度较小; 食底泥者的优势种为中蚓虫、不倒翁虫、丝异蚓虫和轮双眼钩虾, 肉食者的优势种为寡鳃齿吻沙蚕、圆筒原盒螺和纽虫, 滤食者的优势种为滑理蛤、菲律宾蛤仔、金星蝶铰蛤和江户明樱蛤; 各功能摄食类群分布受有机负荷和底质类型限制; 基于大型底栖动物功能类群的生态参数评价结果表明, 乳山近海大型底栖动物群落健康状况由虚弱趋于不稳定, 大部分站位大型底栖动物群落受到轻度扰动, 底栖生态质量状况较优良; 冗余分析表明, 盐度、水温、总氮、悬浮物、溶解氧、总有机碳和硅酸盐等 7 个因子与乳山近海大型底栖动物功能摄食类群存在较显著的相关性。

关键词: 乳山近海; 大型底栖动物; 功能摄食类群

Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan

PENG Songyao^{1,2}, LI Xinzhen^{1,*}

1 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The trophic structure of the benthic communities in the coastal waters off Rushan, situated off the southern coast of the Shangdong Peninsula, in the Yellow Sea, was characterized according to a feeding functional guild approach, based on sampling surveys conducted from December 2006 to November 2007. Macrobenthic organisms were assigned to six distinct trophic groups (herbivores, deposit-feeders, filter-feeders, carnivores, detritus-feeders, omnivores) and the feeding diversity and ecosystem health of the research area was estimated using the Shannon-Wiener index, Pielou's evenness index, and Infaunal Trophic Index (ITI), applied in conjunction with a Marine Biotic Index (AMBI). The dominance of feeding groups was related to environmental variables using multivariate ordination techniques (Redundancy Analysis). The results show that deposit-feeders and carnivores were the most abundant functional groups, making up 34% and 31% of the benthic communities in terms of relative abundance, respectively, followed by filter-feeders (22%), the detritus-feeders (7%), omnivores (5%), and herbivores (1%). The dominant deposit-feeding species were *Mediomastus californiensis*, *Sternaspis scutata*, *Heteromastus filiformis* and *Ampelisca cyclopst* while the dominant carnivorous species were *Nephtys oligobranchia*, *Eocylichna cylindrella* and *Nemertinea* sp.; and the dominant filter-feeding species were *Theora lubrica*, *Venerupis philippinarum*, *Trigonothracia jinxingae* and *Moerella jedoensis*. When seasonal variation was incorporated into the analysis, deposit-feeders had the highest relative abundance (39.3% in December 2006) and mean abundance (107.4 ind/m² in May 2007), followed by carnivores (37.9% in November 2007, 94.7 ind/m² in May 2007) and filter-feeders (27.2% in November 2007, 77.4 ind/m² in May 2007), while herbivores abundance accounted for only 1.1% and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41176133)

收稿日期: 2012-05-23; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixzh@qdio.ac.cn

2.9 ind/m² in December 2006. With regard to spatial distributions, sites G1 and B4 had the highest values of deposit-feeders with relative abundances of 73.3% (recorded in August 2007) and densities of 385 ind/m² (May 2007) respectively. The highest abundance of carnivores was recorded at site A1 (74% and 285 ind/m² in November 2007) whereas sites H1 and D2 exhibited the highest abundance of filter-feeders, with relative abundances of 100% (recorded in August 2007) and densities of 325 ind/m² (May 2007) respectively. The distribution of each functional feeding group was significantly related to organic load and sediment type. Assuming that a healthy environment is characterized by all feeding groups being present, with a clear dominance of deposit-feeders, feeding diversity would be expected to be maximal with the evenness feeding diversity index close to one. Most of the stations in the research area exhibited good or high feeding diversity, corresponding to a healthy ecological state, with the exceptions of stations A1, G1, and I2, that showed occasionally low feeding diversity, ITI and AMBI values. The poor condition at these sites was mainly related to disturbance impacts and natural accumulation of organic matter, with some feeding groups being absent or present at low relative abundances, with one or two groups dominating the community, which was particularly the case with deposit feeders. The redundancy analysis (RDA) results of indicated that salinity, water temperature, total nitrogen, suspended matter, dissolved oxygen, total organic carbon, and silicate were significant predictors of community trophic structure variance ($p < 0.05$).

Key Words: Rushan; macrozoobenthos; functional feeding groups

近年来沿海地区经济高速发展,导致近海水质污染、生态环境恶化等一系列生态功能衰退问题的出现,近海生态系统是世界上受到最大威胁的生态系统之一,因此近海生态系统健康及其相关研究也受到广泛重视。

功能摄食类群(FFGs)最初由 Cummins^[1] 在 20 世纪 70 年代提出,海洋大型底栖动物功能摄食类群经 Pearson 等学者的努力^[2-5],其分类系统已基本完善,主要分为 6 个功能摄食类群:植食者、食底泥者、滤食者、肉食者食碎屑者和杂食者。

组成功能群落的不同物种,主要是通过食物关系而结合起来的^[6],因此,功能摄食类群对研究生物群落结构和功能具有重要作用。大型底栖动物是近海生态系统食物链中有机物、营养源与更高营养级生物的主要连接体,同时大型底栖动物对外界胁迫较为敏感,群落结构与功能属性均能从不同侧面反映水质状况的好坏,从而有效地指示水生生态系统的健康^[7]。目前,国际上有关大型底栖动物群落功能研究,主要集中于对底栖营养类群的研究^[8-12],研究方法大多运用多元统计分析等。目前,我国有关海洋大型底栖动物功能摄食类群的研究有所报道^[13-14],但包括乳山近海在内的山东半岛及黄海海域却鲜有报道,仅见乳山近海大型底栖动物群落结构分析以及与环境因子关系的研究^[15]。鉴于此,本研究以乳山近海大型底栖动物为对象,对大型底栖动物功能摄食类群的时空分布规律以及与环境因子的相互关系进行研究,并尝试应用基于功能摄食类群的多项参数对乳山近海生态系统进行评价,以期为进一步的生态系统变化及其与环境影响因子的相互作用研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查区域

乳山位于东经 121°31',北纬 36°54',地处山东半岛东北部,濒临黄海。年平均气温在 12.3℃,是典型的暖温带海洋性气候。本研究在乳山近海设置 26 个采样站(图 1),于 2006 年 12 月和 2007 年 5 月、8 月、11 月对大型底栖动物进行调查采样。

1.2 底栖动物的采集及鉴定

每个采样站用 0.1m²Gray-O'Hara 箱式采泥器重复采样 2 次,用底层孔径为 0.5mm 的套筛筛选,两次取样获得的样品合并作为该站该次采样 0.2m²内样品,所获样品用 75%的酒精固定后带回实验室,随后进行种类鉴定、个体计数、称重(使用 0.001g 精度天平),并对所获数据进行统计分析。

1.3 理化指标的测定及方法

水温 (Temp)、水深、盐度、pH 值用 AAQ1183-IF 型多功能温盐深仪 (CTD) 现场同步测定。于每个样点采集 2 瓶 600 mL 底层水样,其中一瓶现场加硫酸调整 pH 值<2,低温保存。带回实验室后测定其化学指标,包括总氮 (TN)、总磷 (TP)、硅酸盐 (SiO₃-Si)、总有机碳 (TOC)、化学需氧 (COD)、溶氧 (DO)、悬浮体 (SS) 和叶绿素 a (Chl-a) 共计 8 项指标^[16]。

1.4 大型底栖动物功能群的划分

本文主要根据海洋大型底栖动物的食性类型划分功能群^[2-6],将大型底栖动物分为以下 6 类功能群:(1)植食者(H),主要以某些藻类和底栖硅藻为食。(2)滤食者(FF),滤食水体中的有机质和微小浮游生物。(3)食底泥者(DF),以沉积物里的有机碎屑、细菌和底栖藻类为食。(4)食碎屑者(DTF),以沉积物表面的有机碎屑、细菌和底栖藻类为食。(5)肉食者(C),捕食者和食腐动物。(6)杂食者(O),依靠皮肤或鳃的表皮,直接吸收溶解在水中的有机物,也可以取食植物腐叶和小型双壳类、甲壳类。

1.5 大型底栖动物生态类群参数

根据 Gamito 和 Furtado 的研究^[17],本研究主要从大型底栖动物功能类群的多样性以及对环境的响应等方面入手,应用基于大型底栖动物功能类群的参数对近海生态系统进行评价(表 1,表 2)。运用 Shannon-Wiener 指数(H'_{FD})、Pielou 指数(J'_{FD})、底内动物指数 (ITI) 和海洋生物指数 (AMBI) 对近海生态系统进行评价。计算公式和相关参数见(表 1,表 2)。

表 1 H'_{FD} 指数和 J'_{FD} 指数的计算公式及相关参数^[18]

Table 1 Formula and parameters for feeding diversity measured by Shannon-Wiener information index or by evenness when six feeding groups were considered

H'_{FD} 指数的参数 Parameters of H'_{FD}	J'_{FD} 指数的参数 Parameters of J'_{FD}
$H'_{FD} = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$	$J'_{FD} = \frac{H'_{FD}}{\log_2 S}$
P_i 为第 <i>i</i> 种功能摄食类群的个体数与样品中的总个数的比值; S 为功能摄食类群数	

表 2 ITI 指数 (Infaunal Trophic Index) 和 AMBI 指数的计算公式及相关参数^[19-21]

Table 2 Formula and parameters for ITI and AMBI

ITI 指数的参数 Parameters of ITI		AMBI 指数的参数 Parameters of AMBI	
$ITI = 100 - 33.3 \times \frac{TG_2 + 2TG_3 + 3TG_4}{TG_{1,2,3,4}}$		$AMBI = \frac{0 \times EG_1 + 1.5 \times EG_2 + 3 \times EG_3 + 4.5 \times EG_4 + 6 \times EG_5}{100}$	
TG ₁	悬浮食性者(滤食者)	EG ₁	对扰动敏感的物种
TG ₂	食腐动物个数(肉食者和杂食者)	EG ₂	对扰动惰性的物种
TG ₃	表层食底泥者个数(食碎屑者)	EG ₃	对扰动有耐受性力的物种
TG ₄	底内食底泥者个数(食底泥者)	EG ₄	第二级机会种
TG _{1,2,3,4}	所有类群的总个数	EG ₅	第一级机会种

TG_i为各类群的个体数;EG₁—EG₅分别为 5 种底栖动物生态类群的相对丰度

1.6 数据分析处理

大型底栖动物功能摄食类群的多样性分析采用 PRIMER 5 软件,AMBI 指数计算采用软件 AMBI 4.0 (<http://www.ambi.azti.es>),冗余分析(RDA)采用软件 Canoco 4.5。

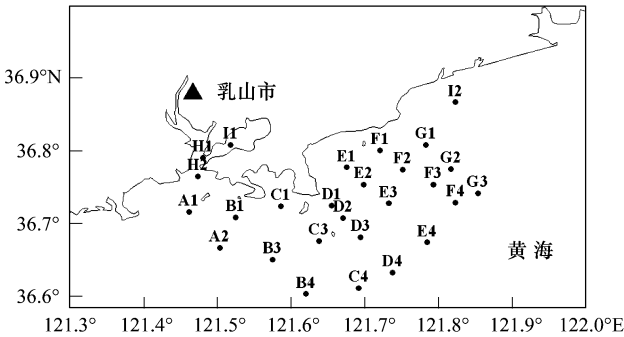


图 1 乳山近海站位图

Fig.1 Sampling stations of macrobenthos from the coastal water off Rushan, Shandong Peninsula

2 结果

2.1 功能摄食类群的组成

对乳山近海大型底栖动物功能摄食类群进行分析,结果表明,食底泥者和肉食者在乳山近海占较大优势,相对丰度分别为 34% 和 31%,其次为滤食者,相对丰度为 22%、食碎屑者、杂食者、植食者相对丰度较小,分别为 7%、5%、1% (图 2)。

食底泥者、肉食者和滤食者的优势物种见物种排序丰度图(图 3),由图可知,中蚓虫 *Mediomastus californiensis*、不倒翁虫 *Sternaspis scutata*、丝异蚓虫 *Heteromastus filiformis* 和轮双眼钩虾 *Ampelisca cyclops* 为食底泥者类群的优势种;寡鳃齿吻沙蚕 *Nephtys oligobranchia*、圆筒原盒螺 *Eocylichna cylindrella* 和纽虫 *Nemertinea* sp. 为肉食者类群的优势种;滑理蛤 *Theora lubrica*、菲律宾蛤仔 *Venerupis philippinarum*、金星蝶铰蛤 *Trigonothracia jinxingae* 和江户明樱蛤 *Moerella jedoensis* 为滤食者类群的优势种。

2.2 功能摄食类群的时空分布

2.2.1 相对丰度和平均丰度的时间分布

周年乳山近海大型底栖动物功能摄食类群相对丰度和平均丰度见图 4。食底泥者、肉食者和滤食者相对丰度和平均丰度明显高于其它功能摄食类群,优势地位明显,食底泥者相对丰度最大出现在 2006 年 12 月,为 39.3%,平均丰度最大则出现在 2007 年 5 月,为 107.4 个/ m^2 ;肉食者和滤食者相对丰度均出现在 2007 年 11 月,分别为 37.9% 和 27.2%,平均丰度最大均出现在 2007 年 5 月,分别为 94.7 个/ m^2 和 77.4 个/ m^2 ;植食者相对丰度和平均丰度则较低,最大值均出现在 2006 年 12 月,分别为 1.1% 和 2.9 个/ m^2 。

2.2.2 相对丰度的空间分布

周年乳山近海大型底栖动物功能摄食类群相对丰度空间分布见图 5。由图可知,优势类群食底泥者、相对丰度最大出现在 2007 年 8 月 G1 站,为 73.3%,最小出现在 2007 年 8 月 H1 和 H2 站,为 0;肉食者相对丰度最大出现在 11 月 A1 站,为 74%,最小出现在 2007 年 8 月 H1 站,为 0;滤食者相对丰度最大分别出现在 8 月 H1 站,为 100%;最小分别出现在 2006 年 12 月 H2 站、2007 年 8 月 E2 和 F1 站和 2007 年 11 月 A2 和 C3 站,均为 0。食碎屑者、杂食者和植食者相对丰度最大分别出现在 2007 年 8 月 G3 站、5 月的 D1 站和 2006 年 12 月 A1 站,分别为 30.6%、27.6% 和 5.3%。

2.2.3 丰度的空间分布

周年乳山近海大型底栖动物功能摄食类群丰度空间分布见图 6,由图可知,优势类群食底泥者最大出现在 2007 年 5 月 B4 站,为 385 个/ m^2 ,最小出现在 2007 年 8 月 H1 和 H2 站,为 0;肉食者最大出现在 2007 年 11 月 A1 站,为 285 个/ m^2 和,最小出现在 2007 年 8 月 H1 站,为 0;滤食者丰度最大出现在 2007 年 5 月 D2 站,丰度为 325 个/ m^2 ,最小出现在 2006 年 12 月 H2 站、2007 年 8 月 E2 和 F1 站、11 月 A2 和 C3 站,均为 0。食碎屑者、杂食者和植食者丰度最大分别出现在 2006 年 12 月 G2 站、2007 年 5 月 B4 站和 2006 年 12 月 D3 站,丰度分别为 195、135、20 个/ m^2 。

2.3 应用基于功能类群的参数对乳山近海生态系统进行评价

2.3.1 各项参数的时间变化

对功能摄食类群各项参数的时间动态进行分析(图 7),结果表明:乳山近海 J'_{FD} 、 H'_{FD} 、ITI 和 AMBI 指数

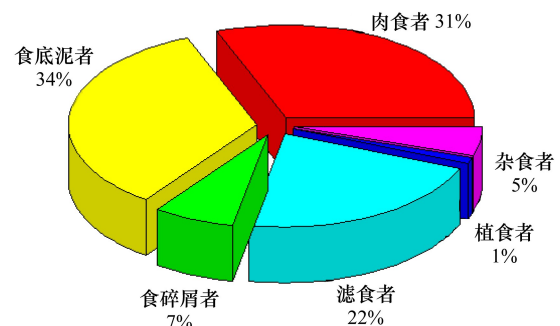


图 2 乳山近海大型底栖动物各功能摄食类群相对丰度

Fig.2 The abundant ratios of the FFGs in the total macrobenthic abundance from the coastal water off Rushan, Shandong Peninsula

C:肉食者 Carnivores, DF:食底泥者 Deposit Feeders, DTF:食碎屑者 Detritus Feeders, FF:滤食者 Filter Feeders, H:植食者 Herbivores, OM:杂食者 Omnivores

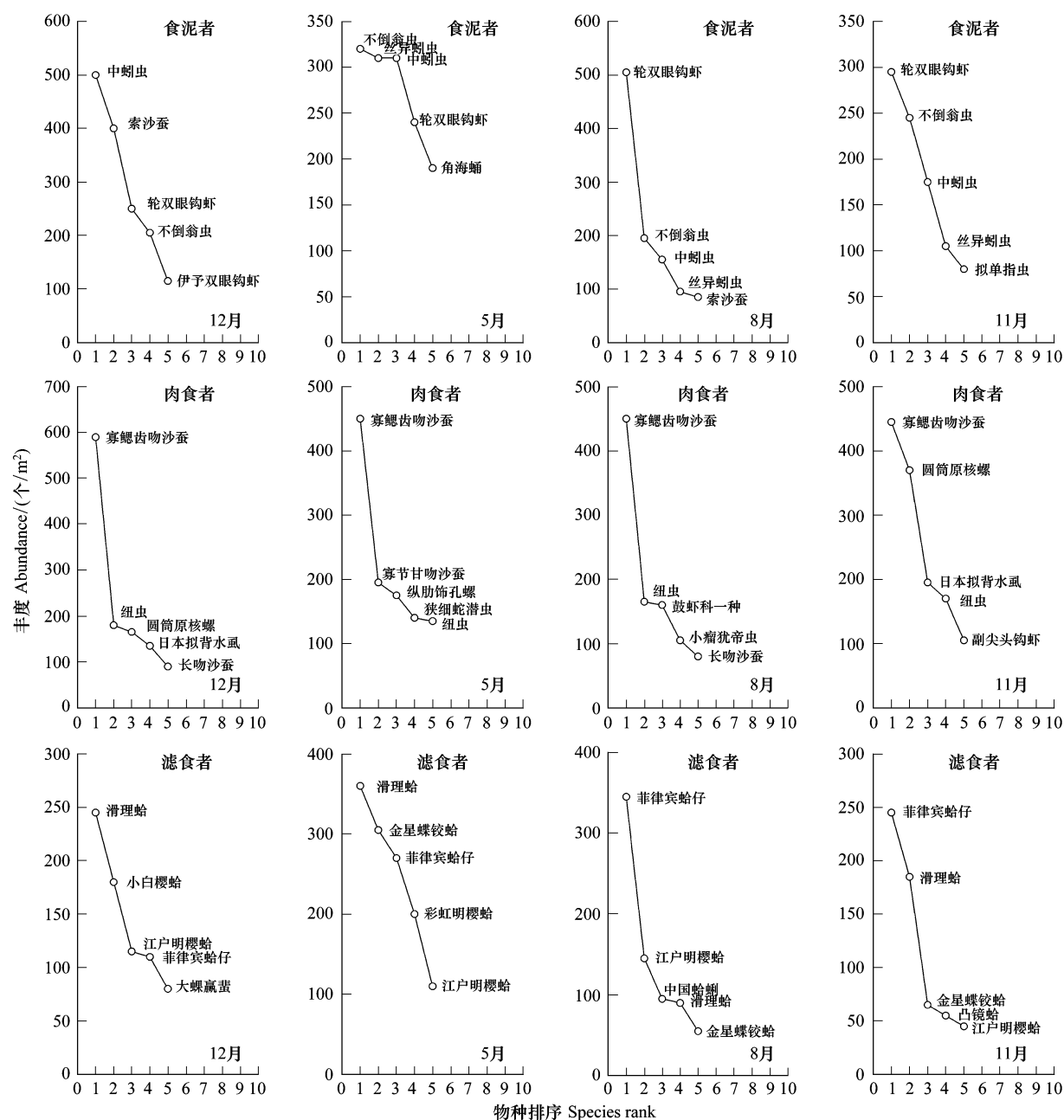


图3 乳山近海大型底栖动物食底泥者、肉食者和滤食者类群的优势种

Fig.3 The dominant species of the three FFGs of macrobenthos in the coastal water off Rushan, Shandong Peninsula in different seasons

DF:食底泥者 Deposit Feeders; C:肉食者 Carnivores; FF:滤食者 Filter Feeders

平均值最大分别为 0.83(5 月)、1.81(12 月)、54(11 月)和 1.95(5 月)。 J'_{FD} 、 H'_{FD} 、ITI 和 AMBI 指数最小为 0.8(8 月)、1.65(8 月)、44(12 月)和 1.33(11 月)。

2.3.2 各项参数的空间变化

对各项参数的空间动态进行分析(图 7),结果表明: J'_{FD} 、 H'_{FD} 、ITI 和 AMBI 指数最大分别出现在 C3 站(11 月)、E4 站(5 月)、H1 站(8 月)和 I2 站(5 月),指数值分别为 1、2.15、100 和 4.37。 J'_{FD} 指数最小出现在 G1 站(12 月)和 A1 站(11 月),均为 0.56; H'_{FD} 指数最小出现 H1 站(8 月),为 0;ITI 和 AMBI 指数最小均出现在 G1 站(8 月),分别为 19 和 0.5。

根据 J'_{FD} 、ITI 和 AMBI 指数空间分布结果和指数分级状况(图 7 和表 3),发现 A1 站(11 月)、G1 站(12

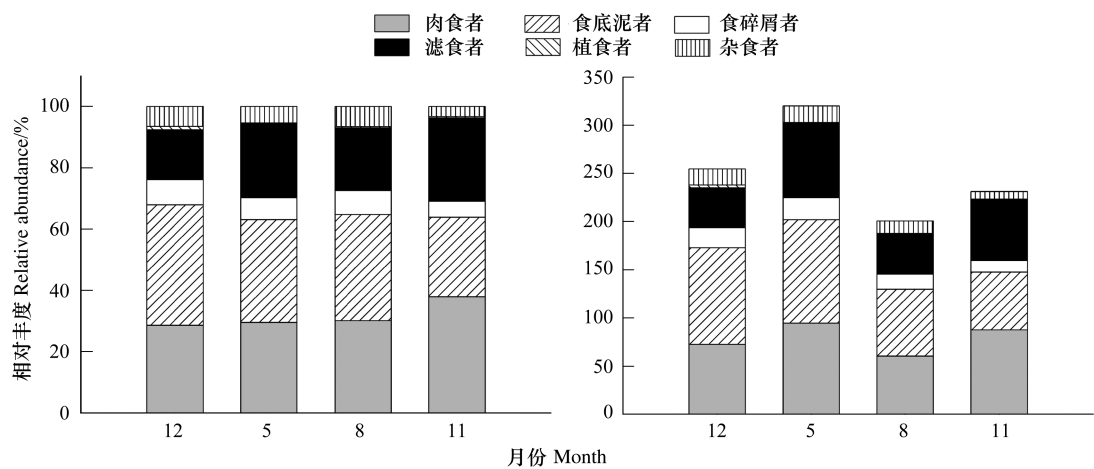


图 4 大型底栖动物各功能摄食类群相对丰度和平均丰度的季节动态

Fig.4 The abundant ratios of macrozoobenthic functional feeding groups in total abundance in different seasons

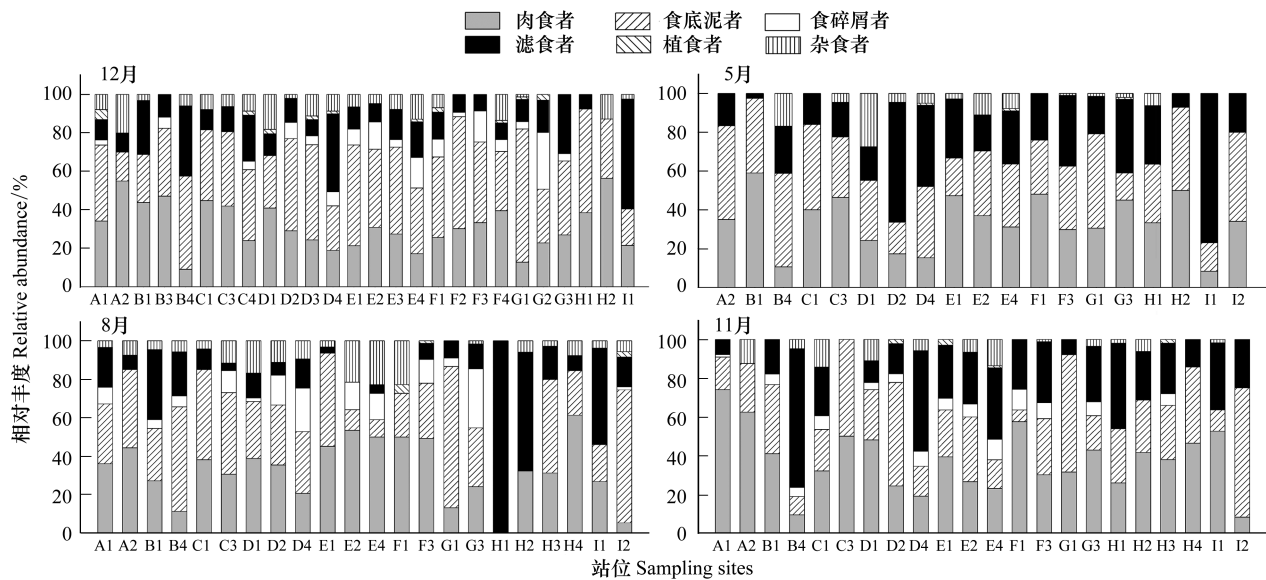


图 5 各季节不同站位大型底栖动物各功能摄食类群相对丰度

Fig.5 The abundant ratios of the six feeding groups in total abundance of different stations in different seasons

月)和 I2 站(8 月) J'_{FD} 指数值均低于 0.6; G1 站(除 5 月)和 I2 站(8 月) ITI 指数值均低于 30; I2 站(5 月) AMBI 指数值大于 4.3。

表 3 AMBI 指数、 J'_{FD} 指数和 ITI 指数(Infaunal Trophic Index)的分级^[17,22-25]

Table 3 Classifications of AMBI, J'_{FD} , ITI					
AMBI 指数 A Marine Biotic Index	J'_{FD} 指数 Pielou Index	ITI 指数 Infaunal Trophic Index	底栖群落健康 Benthic community health	站位扰动等级 Site disturbance classification	生态质量状况 Ecological status
0—0.2	0.8—1	60—100	常态的	无扰动	高等的
0.2—1.2	0.6—0.8	30—60	虚弱的		
1.2—3.3			不稳定的	轻度扰动	优良的
3.3—4.3	0.4—0.6		向污染过渡的	中度扰动	中等的
4.3—5.0	0.2—0.4	0—30	被污染的		不健康的
5.0—5.5			向重度污染过渡的	重度扰动	
5.5—6.0	0.2 以下		重度污染的		极不健康的
6.0—7.0			无生命的	极端扰动	

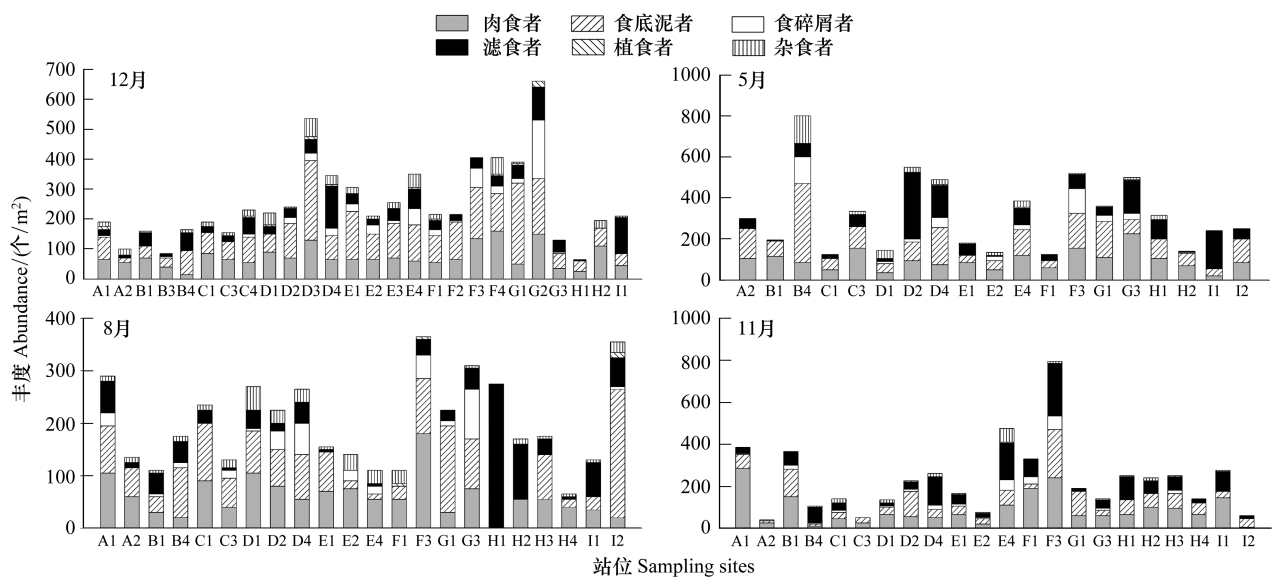


图6 各季节不同站位大型底栖动物各功能摄食类群丰度

Fig.6 Abundances of the six feeding groups and total abundance of macrobenthos in different stations in different seasons

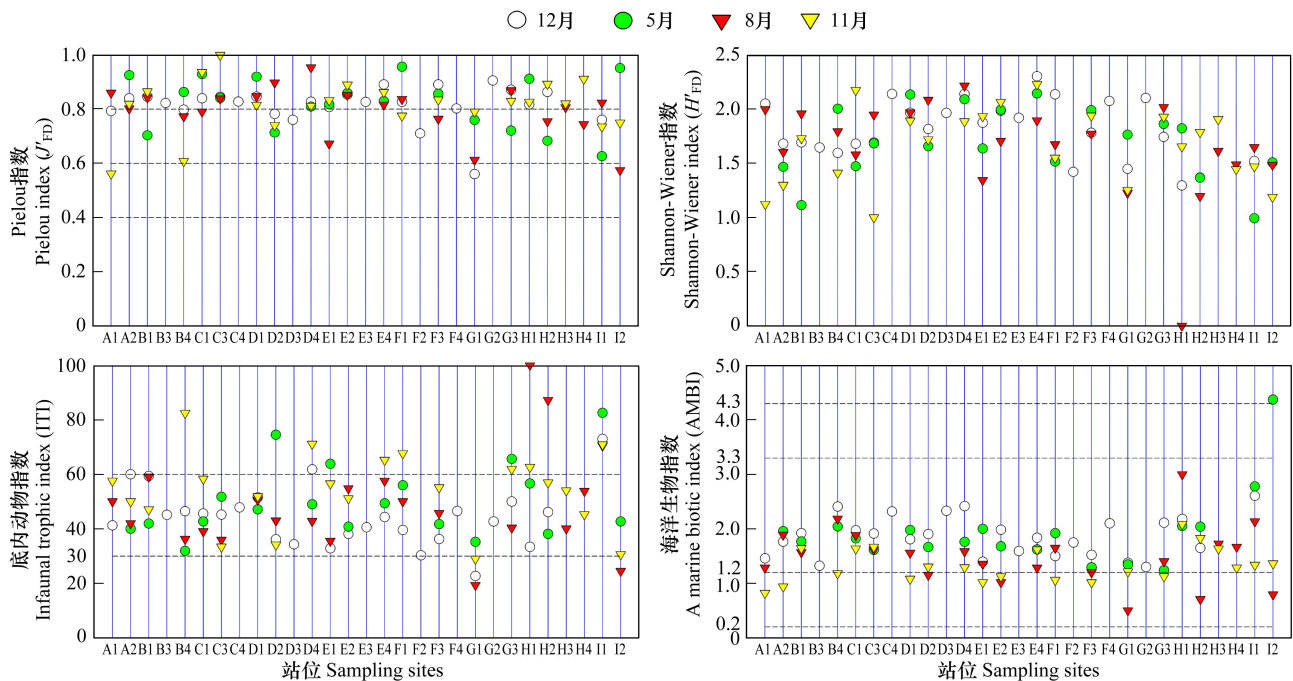


图7 研究区大型底栖动物 Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数、底内动物指数和海洋生物指数

Fig.7 Values of J'_{FD} , H'_{FD} , ITI, AMBI in different stations

黑色虚线指示指数分级 Note: the broken lines show the different class levels

综合上述分析,对乳山近海底栖生态环境质量进行评价。结果表明:乳山近海底栖群落健康状况由虚弱趋于不稳定,生态质量状况较为优良,大部分站位底栖生物群落受到轻度扰动。而周年 A1 站、G1 站和 I2 站生态参数值均较低,表明上述站位底栖生态环境质量较低,底栖动物群落受到中度扰动。评价结果与李新正等^[15]的研究较为一致。

2.4 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群与环境因子之间的冗余分析

为了解调查期间不同环境因子对研究海域大型底栖动物功能摄食类群的影响状况,将大型底栖动物摄食

功能类群同水温、水深、盐度、pH 值、总氮、总磷、硅酸盐、总有机碳、化学需氧、溶氧、悬浮体和叶绿素 a 等 12 个环境因子进行冗余分析(图 8)。

通过蒙特卡洛检验(Monte Carlo Permutation Test),排除贡献小的因子($P<0.05$),发现 2007 年 5 月盐度、水温、总氮和悬浮物等 4 个因子与乳山近海大型底栖动物功能摄食类群存在较显著的相关性;2007 年 8 月溶解氧和水温与大型底栖动物功能摄食类群存在较显著的相关性;2007 年 11 月和 2006 年 12 月则分别是总有机碳和硅酸盐与乳山近海大型底栖动物功能摄食类群存在较为显著的相关性。

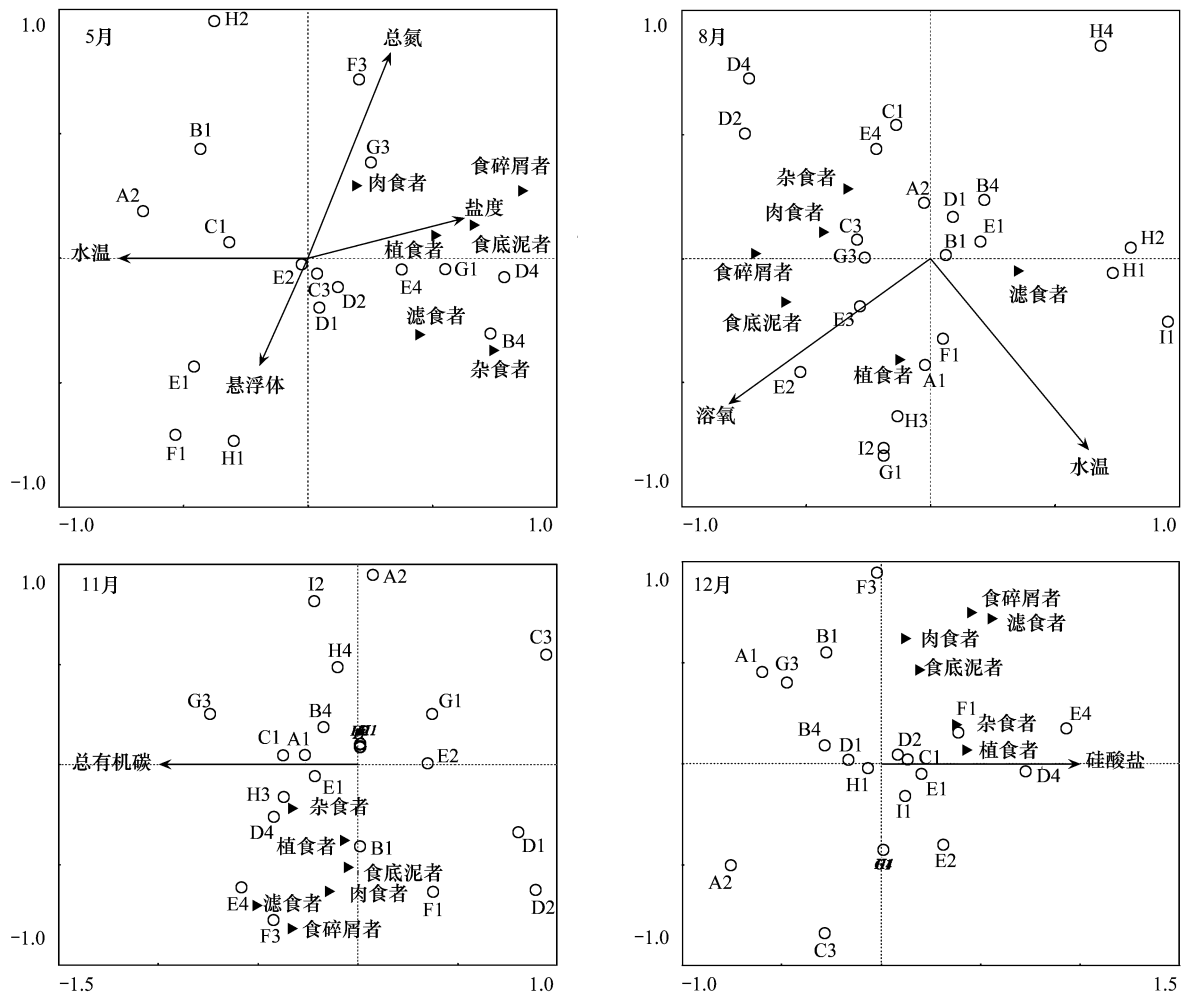


图 8 乳山近海各季度大型底栖动物与环境变量之间的冗余分析

Fig. 8 Relationships of macrozoobenthos and environmental factors obtained by Redundancy analysis (RDA) from off Rushan, Shandong Peninsula in different seasons

3 讨论

3.1 功能摄食类群的组成

乳山近海大型底栖动物食底泥者、肉食者和滤食者功能摄食类群相对丰度较高,占优势地位,结果与葡萄牙 Tagus 河口^[26]及西班牙西北部维哥湾^[27]报道较一致。对比国内其他研究区域,乳山近海底栖动物物种数、优势功能类群和种类组成存在较大差别,主要表现为:乳山近海底栖动物物种数(236 种),远高于象山港^[28](95 种)、胶州湾潮滩^[29](71 种)、长江口南岸潮滩^[14](55 种)和灵昆岛潮滩^[13](33 种)等区域。乳山近海大型底栖动物以食底泥者为优势功能类群,而灵昆岛潮滩和长江口九段沙等区域优势功能类群分别为肉食者、植食者和滤食者;与国内一些研究区域功能群代表种比较,乳山近海食底泥者代表种为中蚓虫、不倒翁虫、丝异蚓虫和轮双眼钩虾,肉食者代表种为寡鳃齿吻沙蚕、圆筒原盒螺和纽虫,滤食者代表种为滑理蛤、菲律宾蛤仔、

金星蝶铰蛤和江户明樱蛤,而长江口九段沙为鹿眼螺 *Rissoina* sp. 和河蚬 *Corbicula fluminea*, 灵昆岛潮滩为日本沙蚕 *Neanthes japonica*、彩虹明樱蛤 *Moerella iridescen* 和焦河蓝蛤 *Potamocorbula ustulata*, 象山港为缢蛏 *Sinonovacula constricta*、日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* 和纵肋织纹螺 *Nassarius variciferus*。对比发现,不同研究区,功能群的代表种不同,其主要原因可能是各研究区地理尺度不同,生境状况各异,而底栖功能群的物种组成和分布是各个物种对栖息地不同环境因子的综合反应,如葛宝明等研究显示了功能群的生境梯度变化^[13],袁兴中等也发现长江口河口上游和污染严重断面,功能群单一,优势种为食底泥者霍普水丝蚓 *Limnodrilus hoffmeisteri* 和小头虫 *Capitella capitata*,下游浏河口优势种为河蚬,属淡水种,与该处的沉积物盐度较低有关^[14]。反映了底栖动物功能群物种组成和多样性与环境梯度和生境质量有着必然联系。

3.2 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群的时空分布

底栖动物功能群丰度的季节变化与种类生殖习性、种间关系和人类干扰有关^[30-32]。乳山近海 5 月各类群丰度最高,这可能与春季许多幼体补充进了底栖生物的群落有关,有研究发现软体动物繁殖季节多在 5—6 月,许多新个体进入群落,丰度达最高值^[30]。8 月各类群丰度为周年最低,这可能与底栖动物的自然死亡、高营养级捕食者对底栖动物的摄食和渔业捕捞有一定的关系^[33]。例如,胶州湾夏季至冬季随着软体动物幼体自然死亡和被捕食,因此栖息丰度也随着降低。此外,对乳山近海拖网出现的鹰爪虾 *Trachysalambria curvirostris* 而言,多毛类丝异蚓虫是其主要的摄食对象^[34]。

沉积物类型是底栖生物空间异质性的主要影响因素^[26],食底泥者在软底质中数量较多,滤食者则多分布于较粗底质中^[35-36]。乳山近海 B4 站(5 月),食底泥者丰度最大,为 385 个/m²,采样底质为软泥,角海蛹、丝异蚓虫和不倒翁虫对丰度贡献较大,这可能与底质有机质含量较高有关。角海蛹、丝异蚓虫和不倒翁虫这些物种多分布在底质颗粒较细、有机质较为丰富的海域,并且对有机质富集环境有较强耐受性^[37-38];H1 站(8 月)未采集到食底泥者,而 5 月和 11 月食底泥者丰度均在 70 个/m²以上。H1 站食底泥者丰度季节的差异可能与采样的随机性、沉积物及底栖生物的斑块分布有关。D2 站(5 月)滤食者丰度最大,为 325 个/m²,埋栖性的金星蝶铰蛤、滑理蛤和江户明樱蛤数量较多,这可能与该站底层水悬浮体浓度(22.6 mg/L)较高有关,Vale 等、Boaventura 研究发现滤食者多分布在有机悬浮物颗粒浓度较高的水域^[39-40]。此外有研究发现浮游植物丰度与滤食者分布密切相关^[41],如 Saito 等发现滑理蛤种群是 Maizuru 湾浮游植物生产量主要消费者^[42],Horikoshi 等也报道了滑理蛤分布区藻华发生频率较高^[43]。肉食者的丰度最大出现在 A1 站(11 月),丰度为 285 个/m²,寡鳃齿吻沙蚕为该站优势种,可能与 A1 站(11 月)底质有机质丰富有关,蔡立哲等^[44]就发现寡鳃齿吻沙蚕的数量与有机质含量有正相关关系,此外 Wijnsman 等人^[45]认为肉食者高丰度区碳通量可能较高,支撑较高营养级生物生存。

3.3 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群与环境之间的关系

冗余分析表明,调查期间底层水的盐度、总氮、水温、悬浮物浓度、有机质浓度、溶解氧和硅酸盐浓度是影响乳山近海功能摄食类群的环境因子。5 月乳山近海水体盐度与各功能类群相关性较强,结果与 Nanami 等^[46]的研究结果一致,其原因是底栖动物的分布受盐度影响^[47]。5 月和 8 月水温与乳山近海功能群丰度相关性较强,与徐勤增等对夏季南黄海大型底栖动物分布受水温影响较一致^[48],也类似于 Dolbeth 等的研究结果^[10],底栖生物生长发育和繁殖及分布范围受水温影响^[27]。5 月总氮与肉食者的丰度有较强相关性,可能与沉积物受扰动、生源要素氮释放和动物残体的分解有关,如航道疏浚扰动使食腐动物丰度增高^[49]。此外,水体悬浮体浓度与滤食者相关性较强,结果类似于 Muniz 和 Pires 的研究^[50],水体悬浮颗粒物浓度较高为滤食者提供了丰富的饵料。溶解氧是影响底栖生物分布的主要因素^[3,50-51],8 月乳山近海底层水溶解氧与功能群分布相关性较强,夏季底栖生物新陈代谢加强,摄食和呼吸会消耗大量的溶解氧,水体耗氧有机质分解也抑制底栖生物,进而影响底栖生物群落结构和分布。除了盐度、水体悬浮物浓度和溶解氧,沉积物有机质含量也是影响底栖生物分布的重要因素^[50,52-55]。11 月乳山近海底层水的有机质浓度与各功能群相关性较强,这可能与调查水域有机负荷较高及水层-底栖界面耦合作用有关。12 月硅酸盐与乳山近海功能群相关性较强,尤其

与植食者关系密切,这可能与植食者的饵料较为丰富有关,因为硅酸盐浓度较高区域藻类生长良好^[56],此外, Bartoli 等在研究水层系统与底栖系统物质循环时发现硅酸盐与菲律宾蛤仔的生物量相关性较强^[57]。

总之,不同调查海域与调查时间影响大型底栖动物营养结构的环境因素不同,要深入了解非生物或生物因素对大型底栖动物的影响,需要全面了解大型底栖动物群落的功能。

致谢:本课题组王洪法、张宝琳、李宝泉、王金宝、周进、韩庆喜、董超、董栋、马林、蔡文倩、孙德海以及中国科学院海洋生物标本馆王少青、帅莲梅等参加了野外调查和实验室样品分析工作,在此一并致以衷心的感谢。

References:

- [1] Cummins K W. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience*, 1974, 24(11): 631-641.
- [2] Pearson T H. Studies on the ecology of the macrobenthic fauna of Lochs Linnhe and Eil, west coast of Scotland. II. Analysis of the macrobenthic fauna by comparison of feeding groups. *Vie et Milieu*, 1971, 1: 53-91.
- [3] Gaston G R. Benthic polychaeta of the Middle Atlantic Bight: feeding and distribution. *Marine Ecology-Progress Series*, 1987, 36: 251-262.
- [4] Sanchez-Mata A, M Lastra, J Mora. Macrobenthic crustacean characterization of an estuarine area. *Crustaceana*, 1993, 64(3): 337-355.
- [5] Fauchald K, Jumars P A. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1979, 17: 193-284.
- [6] He Z H. *Freshwater Ecology*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 101-102.
- [7] Ma T W, Huang Q H, Wang H, Wang Z J, Wang C X, Huang S B. Selection of benthic macroinvertebrate- based multimetrics and preliminary establishment of biocriteria for the bioassessment of the water quality of Taihu Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1192-1200.
- [8] Wijnhoven S and Hummel H. Patterns in macrozoobenthic assemblages indicate the state of the environment: insights from the Rhine-Meuse estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, 436: 29-50.
- [9] Lavesque N, Blanchet H, de Montaudouin X. Development of a multimetric approach to assess perturbation of benthic macrofauna in *Zostera noltii* beds. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 368(2): 101-112.
- [10] Dolbeth M, Teixeira H, Marques J C, Pardal M A. Feeding guild composition of a macrobenthic subtidal community along a depth gradient. *Scientia Marina*, 2009, 72(2): 225-237.
- [11] Macdonald T A, Burd B J, van Roodelaar A. Facultative feeding and consistency of trophic structure in marine soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, 445: 129-140.
- [12] Carvalho S, Pereira P, Pereira F, de Pablo H, Vale C, Gaspar, M B. Factors structuring temporal and spatial dynamics of macrobenthic communities in a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Marine Environmental Research*, 2011, 71(2): 97-110.
- [13] Ge B M, Bao Y X, Cheng H Y, Li H H, Hu Z Y. The trophic functional groups and trophic levels of the macrobenthic community at the east tidal flat of Lingkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4797-4804.
- [14] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of Zoobenthos in the Chanjiang estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [15] Li X Z, Li B Q, Wang H F. Community structure of macrobenthos in coastal water off Rushan, southern Shandong Peninsula, and the relationships with environmental factors. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 28(5): 81-93.
- [16] State Oceanic Administration of China. *The Specification for Marine Monitoring-Part 4: Seawater Analysis*. Beijing: China Standards Press, 1998: 382-383.
- [17] Gamito S, Furtado R. Feeding diversity in macroinvertebrate communities: a contribution to estimate the ecological status in shallow waters. *Ecological Indicators*, 2009, 9(5): 1009-1019.
- [18] Gamito S. Three main stressors acting on the Ria Formosa lagoonal system (Southern Portugal): physical stress, organic matter pollution and the land-ocean gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 77(4): 710-720.
- [19] Word J Q. The infaunal trophic index // Bascom W, ed. *Southern California Coastal Water Research Project*. California, 1978: 19-39.
- [20] Borja A, Franco J, Pérez V. A Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(12): 1100-1114.
- [21] Borja A, Muxika I, Franco J. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(7): 835-845.
- [22] Kaiser M J, Ramsay K, Richardson C A, Spence F E, Brand A R. Chronic fishing disturbance has changed shelf sea benthic community structure. *Journal of Animal Ecology*, 2000, 69(3): 494-503.

- [23] Diaz R J, Cutter G R Jr, Dauer D M. A comparison of two methods for estimating the status of benthic habitat quality in the Virginia Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 285-286: 371-381.
- [24] Muxika I, Ibaibarriaga L, Saiz J I, Borja A. Minimal sampling requirements for a precise assessment of soft-bottom macrobenthic communities, using AMBI. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 349(2): 323-333.
- [25] Bascom W, Mearns A J, Word J. Establishing boundaries between normal, changed and degraded areas // Bascom W, ed. Southern California Coastal Water Research Project Report. California, 1978: 81-94.
- [26] Gaudencio Maria Jose, Cabral H N. Trophic structure of macrobenthos in the Tagus estuary and adjacent coastal shelf. *Hydrobiologia*, 2007, 587(1): 241-251.
- [27] Cacabelos E, Domínguez M, Troncoso J S. Trophic structure of soft-bottom macrobenthos in an inlet in north-western Spain. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2009, 89(3): 439-447.
- [28] You Z J, Tao L, Jiao H F, Shi H X, Lou D. A survey of macrobenthos in the Xiangshan Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(3): 431-435.
- [29] Xin J H, Ren Y P, Xu B D, Zhang C L, Xue Y, Ji Y P. Macrozoobenthos functional groups in intertidal flat of northwest Jiaozhou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1885-1892.
- [30] Li X Z, Yu H Y, Wang Y Q, Shuai L M, Zhang B L, Li X H. Study on the quantitative dynamics of macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Studia Marina Sinica*, 2002, 44: 66-73.
- [31] Hussy K, St John M A, Botcher U. Food resource utilization by juvenile Baltic cod *Gadus morhua*: a mechanism potentially influencing recruitment success at the demersal juvenile stage? *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 155: 199-208.
- [32] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531-537.
- [33] Li B Q, Li X Z, Yu H Y, Wang H F, Wang J B, Xu F S, Zhang B L. Macrobenthic mollusca fauna and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(3): 193-198.
- [34] Yang J M. A study on food and Trophic levels of Bohai Sea invertebrates. *Modern Fisheries Information*, 2001, 16(9): 8-16.
- [35] Rhoads D C, Young D K. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*, 1970, 28: 150-178.
- [36] Bonsdorff E, Pearson T H. Variation in the sublittoral macrozoobenthos of the Baltic Sea along environmental gradients: a functional-group approach. *Australian Journal of Ecology*, 1999, 24(4): 312-326.
- [37] Wang J B, Li X Z, Wang H F. Ecological characteristics of dominant polychaete species from the Jiaozhou Bay. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 63-69.
- [38] Callier M D, McKindsey C W, Desrosiers G. Multi-scale spatial variations in benthic sediment geochemistry and macrofaunal communities under a suspended mussel culture. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 348: 103-115.
- [39] Boaventura D, da Fonseca L C, Teles-Ferreira C. Trophic structure of macrobenthic communities on the Portuguese coast. A review of lagoonal, estuarine and rocky littoral habitats. *Acta Oecologica*, 1999, 20(4): 407-415.
- [40] Vale C and Sundby B. Suspended sediment fluctuations in the Tagus estuary on semi-diurnal and fortnightly time scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1987, 25(5): 495-508.
- [41] Chfcharo L, Regala J, Gaspar M, Alves F, Chfcharo A. Macrofauna spatial differences within clam dredge-tracks and their implications for short-term fishing effect studies. *Fisheries Research*, 2002, 54(3): 349-353.
- [42] Saito H, Ueno M, Hayashi I. Temporal fluctuation in the abundance of a semelid bivalve, *Theora fragilis* (A. Adams) in Maizuru Bay, Sea of Japan. *Hydrobiologia*, 1998, 375-376: 151-163.
- [43] Horikoshi M. Macrobenthic communities in Japanese coastal waters // Oceanographic Society of Japan, ed. Coastal oceanography of Japanese islands (Suppl vol). Tokyo: Tokai University Press, 1990: 283-311.
- [44] Cai L Z, Li H M, Liu J J, Lin P. Distribution and polluting effects on *Capitella capitata*, *Nephtys oligobranchia*, *Tharyx* sp. on the intertidal mudflats in Shenzhen Estuary. *Acta Ecologica Sinica* 2001, 21(10): 1649-1653.
- [45] Wijsman J W M, Herman P M J, Gomoiu M T. Spatial distribution in sediment characteristics and benthic activity on the Northwestern Black Sea shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 181: 25-39.
- [46] Nanami A, Saito H, Akita T, Motomatsu K, Kuwahara H. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthic invertebrates in a brackish lake in relation to environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63(1/2): 167-176.
- [47] Ysebaert T, Meire P, Coosen J, Essink K. Zonation of intertidal macrobenthos in the estuaries of Schelde and Ems. *Aquatic Ecology*, 1998, 32(1): 53-71.

- [48] Xu Q Z, Li R X, Wang Z L, Fan S L, Wang Z X. Macrobenthos distribution of the South Yellow Sea in summer. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(3): 393-399.
- [49] Chícharo, M A, Chícharo L, Amaral A, Condinho S, Gaspar M. Chronic effects of dredging-induced stress on the clam (*Spisula solida*): nucleic acid and lipid composition. *Fisheries Research*, 2003, 63(3): 447-452.
- [50] Muniz P, Pires A M S. Trophic structure of the polychaetes in the São Sebastião Channel (southeastern Brazil). *Marine Biology*, 1999, 134(3): 517-528.
- [51] Liu L S, Meng W, Li X Z, Li Z C, Zheng B H, Lei K, Li Z Y. Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: II. Biodiversity and community structure. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(2): 155-161.
- [52] Zhang Z N. Some progress of the study on the ecosystem dynamics for benthic-pelagic coupling. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2000, 30(1): 115-122.
- [53] Gaston G R, Rakocinski C F, Brown S S, Cleveland C M. Trophic function in estuaries: response of macrobenthos to natural and contaminant gradients. *Marine and Freshwater Research*, 1998, 49(8): 833-846.
- [54] Blanchet H, de Montaudouin X, Chardy P, Bachelet G. Structuring factors and recent changes in subtidal macrozoobenthic communities of a coastal lagoon, Arcachon Bay (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 64(4): 561-576.
- [55] Fujii T. Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 75(1/2): 101-119.
- [56] Kuosa H, Autio R, Kuuppo P, Setälä O, Tanskanen S. Nitrogen, silicon and zooplankton controlling the Baltic spring bloom: an experimental study. *Estuarine, Coast and Shelf Science*, 1997, 45(6): 813-821.
- [57] Bartoli M, Nizzoli D, Viaroli P, Turolla E, Castaldelli G, Fano E A, Rossi R. Impact of Tapes philippinarum farming on nutrient dynamics and benthic respiration in the Sacca di Goro. *Hydrobiologia*, 2001, 455(1/3): 203-212.

参考文献:

- [6] 何志辉. 淡水生态学. 北京: 中国农业出版社出版, 2000: 101-102.
- [13] 葛宝明, 鲍毅新, 程宏毅, 李欢欢, 胡知渊. 灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物功能群及营养等级构成. *生态学报*, 2008, 28(10): 4797-4804.
- [14] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. *生态学报*, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [16] 国家海洋局. 海洋监测规范第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 1998: 382-383.
- [28] 尤仲杰, 陶磊, 焦海峰, 施慧雄, 楼丹. 象山港大型底栖动物功能群研究. *海洋与湖沼*, 2011, 42(3): 431-435.
- [29] 辛俊宏, 任一平, 徐宾铎, 张崇良, 薛莹, 纪毓鹏. 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物功能群. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1885-1892.
- [30] 李新正, 于海燕, 王永强, 帅莲梅, 张宝琳, 李笑红. 胶州湾大型底栖动物数量动态的研究. *海洋科学集刊*, 2002, 44: 66-73.
- [32] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构. *生态学报*, 2004, 24(3): 531-537.
- [33] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 王洪法, 王金宝, 徐凤山, 张宝琳. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系. *海洋与湖沼*, 2005, 36(3): 193-198.
- [34] 杨纪明. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究. *现代渔业信息*, 2001, 16(9): 8-16.
- [37] 王金宝, 李新正, 王洪法. 胶州湾多毛类环节动物优势种的生态特点. *动物学报*, 2006, 52(1): 63-69.
- [44] 蔡立哲, 厉红梅, 刘俊杰, 林鹏. 深圳河口泥滩三种多毛类的数量季节变化及污染影响. *生态学报*, 2001, 21(10): 1649-1653.
- [48] 徐勤增, 李瑞香, 王宗灵, 范士亮, 王宗兴. 南黄海夏季大型底栖动物分布现状. *海洋科学进展*, 2009, 27(3): 393-399.
- [51] 刘录三, 孟伟, 李新正, 李子成, 郑丙辉, 雷坤, 李中宇. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: II. 生物多样性与群落结构. *环境科学研究*, 2009, 22(2): 155-161.
- [52] 张志南. 水层-底栖耦合生态动力学研究的某些进展. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 2000, 30(1): 115-122.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 张利权

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)

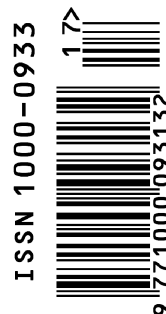
第 33 卷 第 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (September, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元