

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

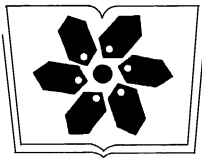
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 15 期 Vol.31 No.15 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 15 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应·····	李锋瑞,刘继亮,化伟,等 (4169)
两种书虱微卫星富集文库的构建及比较·····	魏丹丹,袁明龙,王保军,等 (4182)
菲律宾蛤仔 EST-SSRs 标记开发及不同地理群体遗传多样性·····	闫喜武,虞志飞,秦艳杰,等 (4190)
菲律宾蛤仔大连群体不同世代的遗传多样性·····	虞志飞,闫喜武,杨霏,等 (4199)
玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较·····	姜丽娜,赵艳岭,邵云,等 (4207)
施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化·····	刘海英,崔长海,赵倩,等 (4215)
黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例·····	姚玉璧,王润元,杨金虎,等 (4225)
不同耕作模式下稻田水中氮磷动态特征及减排潜力·····	冯国禄,杨仁斌 (4235)
大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响·····	颜世磊,赵蕾,孙红炜,等 (4244)
短期淹水培养对水稻土中地杆菌和厌氧粘细菌丰度的影响·····	朱超,Stefan Ratering,曲东,等 (4251)
气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整·····	王华,陈新光,胡飞,等 (4261)
长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响·····	何念鹏,韩兴国,于贵瑞 (4270)
黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力·····	刘迎春,王秋凤,于贵瑞,等 (4277)
植物叶表面的润湿性及其生态学意义·····	石辉,王会霞,李秧秧 (4287)
长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态·····	郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等 (4299)
古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义·····	刘会良,宋明方,段士民,等 (4308)
吉首蒲儿根的繁殖生态学特性及其濒危成因·····	邓涛,陈功锡,张代贵,等 (4318)
栖息地永久性破坏的比例对物种多度稳定值影响的迭代算法·····	时培建,戈峰,杨清培 (4327)
喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制·····	毛轶清,郑青松,陈健妙,等 (4334)
阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位·····	袁菲,骆有庆,石娟,等 (4342)
2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制·····	沈慧梅,吕建平,周金玉,等 (4350)
中华稻蝗长沙种群的生活史及其卵滞育的进化意义·····	朱道弘,张超,谭荣鹤 (4365)
“518”油桃主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	施晓丽,毕守东,耿继光,等 (4372)
青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化·····	张洪芝,吴鹏飞,杨大星,等 (4385)
青海可鲁克湖水鸟季节动态及渔鸥活动区分析·····	张国钢,刘冬平,侯韵秋,等 (4398)
排放与森林碳汇作用下云南省碳净排放量估计·····	刘慧雅,王铮,马晓哲 (4405)
北京城市生态占水研究·····	柏樱岚,王如松,姚亮 (4415)
专论与综述	
植物水分传输过程中的调控机制研究进展·····	杨启良,张富仓,刘小刚,等 (4427)
环境介质中的抗生素及其微生物生态效应·····	俞慎,王敏,洪有为 (4437)
自然生态系统中的厌氧氨氧化·····	沈李东,郑平,胡宝兰 (4447)
研究简报	
山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系·····	张莹,吕振波,徐宗法,等 (4455)
新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系·····	杨丽丽,周小玉,刘其根,等 (4468)
不同施肥与灌水量对槟榔土壤氮挥发的影响·····	卢丽兰,甘炳春,许明会,等 (4477)
学术信息与动态	
水土资源保持的科学政策:全球视野及其应用——第 66 届美国水土保持学会国际学术年会述评·····	卫伟 (4485)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-08



封面图说: 塞罕坝地处内蒙古高原南缘向华北平原的过渡带,地势分为坝上、坝下两部分。解放初期,这里是“飞鸟无栖树,黄沙遮天日”的荒原沙丘,自 1962 年建立了机械化林场之后,塞罕坝人建起了 110 多万亩人工林,造就了中国最大的人工林林场。这是让人叹为观止的落叶松人工林海。

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

张莹, 吕振波, 徐宗法, 刘义豪, 靳洋. 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系. 生态学报, 2011, 31(15): 4455-4467.

Zhang Y, Lu Z B, Xu Z F, Liu Y H, Jin Y. Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4455-4467.

山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征 及其与水环境的关系

张 莹^{1,2}, 吕振波^{1,2,*}, 徐宗法¹, 刘义豪¹, 靳 洋¹

(1. 山东省海洋水产研究所, 渔业资源与生态技术研究中心, 烟台 264006;

2. 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006)

摘要: 2006—2007 年对山东半岛南部 4 个海湾(荣成湾、桑沟湾、靖海湾和五垒岛湾) 19 个站位的底栖动物群落结构特征进行了研究, 并对 14 个环境因素和底栖动物群落生态特征分别进行主成分分析和 Spearman 相关分析。结果显示, 荣成湾、桑沟湾和靖海湾的底栖动物种类中, 多毛类所占比例最高, 而五垒岛湾仅秋、冬季多毛类所占比例最高。根据聚类分析和非度量多维标度方法分析, 4 季底栖动物群落均可分为 2 个群落, 春、冬季的第一聚群为靖海湾和五垒岛湾, 第二聚群为荣成湾和桑沟湾。秋季荣成湾、桑沟湾、靖海湾组成第一聚群, 第二聚群由五垒岛湾构成。夏季, 底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')与采样深度和总碱度呈显著正相关, 与水温呈极显著的负相关关系。秋季, 与硝酸盐呈负相关关系, 说明富营养化对山东半岛南部 4 个海湾大型底栖动物群落产生了一定负面影响。ABC 曲线法分析显示, 荣成湾和桑沟湾底栖动物的丰度优势度曲线与生物量优势度曲线相交, 表明荣成湾和桑沟湾大型底栖动物群落处于中度干扰状态, 密集的养殖活动可能对其生态系统带来了巨大影响, 加强海水养殖管理, 强化生态健康养殖理念, 合理利用海洋生物资源, 对大型底栖动物群落的稳定性具有重要意义。

关键词: 荣成湾; 桑沟湾; 靖海湾; 五垒岛湾; 聚类分析; 非度量多维标度方法; Shannon-Wiener 多样性指数; ABC 曲线

Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula

ZHANG Ying^{1,2}, LÜ Zhenbo^{1,2,*}, XU Zongfa¹, LIU Yihao¹, JIN Yang¹

1 Research Center of Fishery Resources and Ecology, Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai 264006, China

2 Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Yantai 264006, China

Abstract: The benthos in four bays (Rongcheng Bay, Sanggou Bay, Jinghai Bay and Wuleidao Bay) at 19 sampling locations were investigated by taxonomy and subjected to calculate the species constitutions, components of dominant species, and spatial distribution, biodiversity pattern and stability of macrobenthic community structure ranging from 2006 to 2007. A total of 14 water environmental variables from 19 sampling locations in four bays were analyzed by factor analysis, and spearman correlations of main water environmental variables and parameters of benthos community were also investigated. The results showed that the dominant benthos species was Chaetopoda in Rongcheng Bay, Sanggou Bay and Wuleidao Bay. In autumn and winter the highest proportion is Chaetopoda, while in spring and summer Crustacea and Mollusca accounted for the highest ratio in Wuleidao Bay. The hierarchical clustering, un-weighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA), and non-metric multidimensional scaling (NMDS) approaches were used to analyze the pattern of community compositions. There existed two macrobenthos assemblages in the survey bays. In spring and winter,

基金项目: 国家海洋局公益性行业专项(20090519); 山东省近海经济生物资源调查与评价(SD-908-02-09); 山东近海产卵场、索饵场综合评价(SD-908-02-14)

收稿日期: 2010-11-28; 修订日期: 2011-05-30

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

the sampling stations of Jinghai Bay and Wuleidao Bay were clustered, and then the sampling stations of Rongcheng Bay and Sanggou Bay formed an independent cluster. In autumn, two groups were constituted in the survey bays. The group I contained the sampling stations of Rongcheng Bay, Sanggou Bay and Wuleidao Bay, the sampling stations of Wuleidao Bay constituted the group II. Both in Rongcheng Bay and Sanggou Bay the macrobenthic Shannon-Wiener indices were higher. The averages Shannon-Wiener index was lowest in Wuleidao Bay in spring, summer and autumn, and in Jinghai Bay in winter. The Spearman correlation analysis between main environmental variables and parameters of benthos community demonstrated that sampling depth and total alkalinity was significantly positively correlated with Shannon-Wiener indices, and significantly negative correlation was established between water temperature and Shannon-Wiener indices in summer. In autumn, Shannon-Wiener indices were negatively correlated with nitrate. The abundance biomass comparison (ABC) calves and W -statistic were used to analyze the disturbed states. In undisturbed states, the community was supposed to be dominated by k -selected species (slow-growing, large, late maturing), the biomass curve lied above the abundance curve, the W -statistic value was positive. With increasing disturbance, the system was increasingly dominated by r -selected species (fast-growing, small, opportunistic), the biomass curve would lie below the abundance curve, and the W -statistic value was negative. The ABC curve and W -statistic value were generated by PRIMER software (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). It was found that the abundance curves were above the biomass curve and the W -statistic in Rongcheng Bay was below zero also in spring and winter, which indicated that the present macrobenthic communities were heavily disturbed. All the results demonstrated that benthic communities structure were correlated with sampling depth, total alkalinity and water temperature in the summer, and with nitrate and water temperature in the autumn. There existed significant difference in the habitat water environment factors between Wuleidao Bay and the other three bays, contributing to the difference in benthic community structure between Wuleidao Bay and the other three bays. Eutrophication in Wuleidao Bay had some negative impact on benthic communities. The macrobenthic communities in Rongcheng Bay and Sanggou Bay were interfered perhaps due to the tremendous impact of intensive aquaculture activities on marine ecosystems. It is important to protect the macrobenthic communities by enhancing management of marine aquaculture, strengthening the concept of ecological health of aquaculture, and rational exploration of marine biological resources.

Key Words: Rongcheng Bay; Sanggou Bay; Wuleidao Bay; Jinghai Bay; cluster analysis; non-metric multidimensional scaling; Shannon-Wiener index; ABC curves

大型底栖动物是海洋环境中一个重要的生态类群,它在水体生态系统的物质循环和能量流动中占有十分重要的地位^[1]。大部分的底栖动物可作为鱼类、虾类等水产经济动物的直接食物来源^[2]。作为天然饵料,底栖动物亦成为碎屑食物链的关键一环^[3]。同时,底栖动物生活在水底,生活环境相对固定,具有区域性强、迁移能力差的特点^[4],它们通过摄食、掘穴和建管等活动与周围环境发生着相互作用,在受污染水域的水质净化中具有重要作用,加之其对生存环境及污染的不同耐受和敏感程度,有些底栖动物还成为海洋污染的指示生物^[5]。因此,对大型底栖动物群落生态特征的研究不仅能够了解底栖动物群落的动态变化,而且为评估生态系统健康状况,科学管理和利用大型底栖动物资源提供理论依据。

底栖动物的种类组成、区域分布及多样性特征等与其生存的环境密切相关^[6-7],如盐度^[8]、沉积质的特征^[9-12]、水生生物密度^[13]和人为扰动^[14-16]等的变化都会引起底栖动物种类数量分布及生物多样性的改变。本文是以 14 个主要的水环境因素:采样深度、水温、盐度、溶解氧、pH 值、总碱度、硝酸盐、铵盐、活性硅酸盐、磷酸盐、溶解态氮、溶解态磷、悬浮物和叶绿素 a 为研究对象,采用因素分析法探讨影响山东近岸海湾大型底栖动物群落生物多样性的关键环境因素,拟为山东近岸海湾底栖动物群落生物多样性保护,水生态系统修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究海域及采样方法

1.1.1 研究海域

2006 年 8 月,2006 年 12 月,2007 年 4 月和 2007 年 10 月夏、冬、春、秋四个季节,在山东半岛南部的荣成湾、桑沟湾、靖海湾和五垒岛湾内进行了调查,调查范围为 $36^{\circ}51'—37^{\circ}21'N$, $121^{\circ}56'—122^{\circ}39'E$,采取均匀部位的原则,由于部分站位处于海带养殖区或者离岸距离较近,因此对不合理的站位做出了一定调整,共设 19 个站位(图 1)。其中位于荣成湾有 5 个站位(1、2、3、4、5),位于桑沟湾有 6 个站位(6、7、8、9、10、11),位于靖海湾有 4 个站位(12、13、14、15),位于五垒岛湾有 4 个站位(16、17、18、19)。

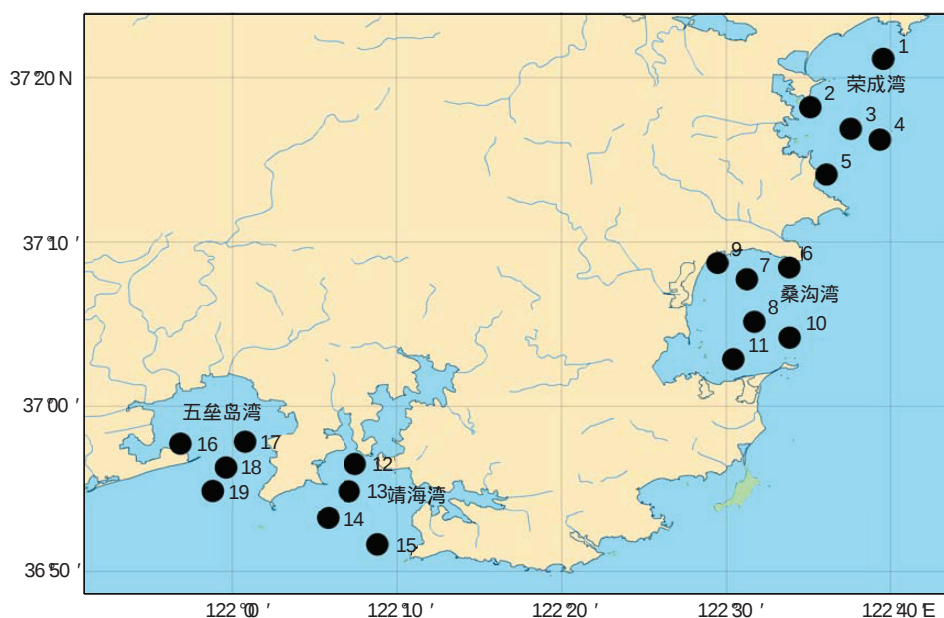


图 1 采样站点

Fig. 1 Sampling locations

1.1.2 采样方法

使用 0.1 m^2 的箱式采泥器,每站取样 3 次,分选泥样所用的网筛孔径为 0.5 mm 样品的处理、保存、计算和称重均按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[17] 进行。

1.2 海水化学分析

溶解氧、pH 值、总碱度、悬浮物、硝酸盐、铵盐、活性硅酸盐、溶解态氮和溶解态磷分别采用碘量法、pH 计法、重量法、锌镉还原比色法、次溴酸盐氧化法、硅钼黄法、过硫酸钾氧化法和过硫酸钾氧化法。采样海水样品用孔径 $0.65\text{ }\mu\text{m}$ 、直径为 25 mm 的玻璃纤维滤膜过滤,将滤膜对折,用铝箔包好,放入干燥的储样管中低温 ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 保存,然后采用荧光萃取法测定叶绿素 a,所有样品分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[17] 进行。

1.3 数据处理

1.3.1 生态优势度

利用 Pinkas 相对重要性指数 (Index of Relative Importance, 简称 *IRI*)^[18] 确定种类在群落中的重要性。将 *IRI* 值大于 1000 的种类定义为优势种。

1.3.2 群落结构分析

采用非参数多变量分析群落结构,数据分析时,按各季节底栖动物总密度排序,构成了“站位×种类密度”矩阵。对各站位底栖动物密度进行四次方根转换,然后采用等级聚类 (未加权的组平均方法,即 UPGMA)

的分类方法和非度量多维标度 (Non-metric Multidimensional Scaling, 简称 NMDS) 的排序方法分析调查站位的底栖动物结构特征^[19-20]。

1.3.3 Margalrf 丰富度指数、Pielou 均匀度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数

采用 Margalrf 丰富度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J') 和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 来研究调查站位出现种类的多样性^[21-23]:

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad J' = H' / \ln S \quad (2)$$

$$\text{Margalrf 种类丰富度指数} \quad D = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

式中, S 为种类数, N 为总尾数, p_i 为第 i 种底栖动物占总底栖动物重量的比例。采用 PRIMER 5.2 软件进行上述指数计算。

1.3.4 ABC 曲线

丰度/生物量比较曲线 (Abundance Biomass Comparison Curve, 简称 ABC 曲线) 方法是在同一坐标系中比较生物量优势度曲线和丰度优势度曲线, 通过两条曲线的分布情况来分析群落不同干扰状况, 若生物量优势度曲线在丰度优势度曲线之上, 表明群落处在未受干扰状态; 两条曲线相交, 表明群落处在中等干扰的状态; 丰度优势度曲线在生物量曲线之上, 表明群落处在严重干扰状态^[20, 24-26]。用 W 统计量 (W -statistic) 作为 ABC 曲线法的一个统计量, 其公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)} \quad (4)$$

式中, B_i 和 A_i 为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累积百分比, S 为出现物种数。当生物量优势度曲线在数量优势度之上时, W 为正, 反之为负。ABC 曲线绘制和 W 统计的计算均使用 PRIMER 5.2 软件^[20]。

1.3.5 群落生态特征与水环境相关分析

采用主成分分析法对实验数据进行分析 (在 SPSS11.5 中完成)。为减小数据处理的误差, 首先对各变量原始数据进行标准化处理, 消除量纲影响^[27]:

$$\text{std}x_i = (x_i - \bar{x}_i) / X_i \quad (5)$$

式中, $\text{std}x_i$ 为标准指标变量, x_i 为原始值, $\bar{x}_i$ 为第 i 个样本均值; 其次, 计算变量之间的相关系数矩阵、特征值和特征向量, 确定主成分个数, 计算主成份贡献率。

用 SPSS11.5 软件对底栖动物的 Margalrf 丰富度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J') 和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 分别和春、夏、秋、冬四个季节的主要水化学环境因素进行相关性分析, 显著水平设置为 0.05, 极显著水平设置为 0.01。

2 结果

2.1 各海湾大型底栖动物种类组成

本次调查发现, 荣成湾、桑沟湾和靖海湾底栖动物各门类物种数季节变化显著, 夏季各门类物种数要显著高于其他季节, 物种总数同样高于其他几个季节 ($P < 0.05$), 五垒岛湾比较特殊, 春、夏、冬季各门类物种数和物种总数相当, 而在所统计的各门类中, 秋季缺少甲壳动物和棘皮动物。在空间分布上, 春、夏季荣成湾的物种总数高于其他 3 个海湾, 秋、冬季桑沟湾的物种总数高于其他 3 个海湾。

荣成湾、桑沟湾和靖海湾在调查的大型底栖动物种类组成中, 多毛类动物春、夏、秋、冬季所占比例都最高。五垒岛湾甲壳动物春季所占比例最高, 为 42.3%, 多毛类次之, 为 34.6%, 软体动物为 15.4%, 而未发现棘皮动物; 软体动物夏季所占比例最高, 为 39.1%, 其次是多毛类, 为 34.8%, 甲壳动物为 21.7%, 棘皮动物所占比例最低, 仅为 4.3%; 五垒岛湾秋季多毛类和软体动物分别占底栖动物总数的 40% 和 33.3%, 而未发现甲壳动物和棘皮动物; 多毛类冬季所占比例最高, 为 37% (表 1)。

表 1 调查海域各海湾大型底栖动物种类组成及所占比例

Table 1 Species constitutions of benthos in study area

海湾 Bays	种类 Species	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
		数量	比例/%	数量	比例/%	数量	比例/%	数量	比例/%
		Numbers	Proportion	Numbers	Proportion	Numbers	Proportion	Numbers	Proportion
荣成湾	多毛类 Chaetopoda	19	50	24	36.9	16	51.6	17	50
Rongcheng Bay	甲壳动物 Crustacea	7	18.4	13	20	5	16.1	3	8.8
	棘皮动物 Echinodermata	6	15.8	6	9.2	1	3.2	2	5.9
	软体动物 Mollusca	4	10.5	20	30.8	8	25.8	7	20.6
	其他 Others	2	5.3	2	3.1	1	3.2	5	14.7
	总 Total	38	100	65	100	31	100	34	100
桑沟湾	多毛类 Chaetopoda	16	57.1	20	40.8	18	46.1	20	50
Sanggou Bay	甲壳动物 Crustacea	3	10.7	9	18.4	6	15.4	4	10
	棘皮动物 Echinodermata	4	14.3	2	4.1	1	2.6	3	7.5
	软体动物 Mollusca	4	14.3	16	32.7	13	33.3	11	27.5
	其他 Others	1	3.6	2	4.1	1	2.6	2	5
	总 Total	28	100	49	100	39	100	40	100
靖海湾	多毛类 Chaetopoda	10	40	21	42.9	6	30	8	33.3
Jinghai Bay	甲壳动物 Crustacea	6	24	8	16.3	6	30	4	16.7
	棘皮动物 Echinodermata	2	8	2	4.1	1	5	0	0
	软体动物 Mollusca	5	20	14	28.6	5	25	8	33.3
	其他 Others	2	8	4	8.2	2	10	4	16.7
	总 Total	25	100	49	100	20	100	24	100
五垒岛湾	多毛类 Chaetopoda	9	34.6	8	34.8	6	40	10	37
Wuleidao Bay	甲壳动物 Crustacea	11	42.3	5	21.7	0	0	8	29.6
	棘皮动物 Echinodermata	0	0	1	4.3	0	0	1	3.7
	软体动物 Mollusca	4	15.4	9	39.1	5	33.3	6	22.2
	其他 Others	2	7.7	0	0	4	26.7	2	7.4
	总 Total	26	100	23	100	15	100	27	100

2.2 优势种

荣成湾春、夏、秋季的绝对优势种都为日本倍棘蛇尾,春季的优势种还有彩虹明樱蛤、钩虾类和不倒翁虫,夏季还有薄云母蛤和扁角樱蛤,秋季还有小头虫科。冬季为长偏顶蛤和褐蚶,IRI 分别为 3185.2 和 1900.3。桑沟湾四季共有优势种 8 种,多毛类 6 种,占 75%,软体动物 2 种,占 25%,其中索沙蚕在 4 个季节都为优势种。靖海湾和五垒岛湾春、秋、冬季薄荚蛭为优势种,靖海湾夏季的优势种为索沙蚕和毛蚶,IRI 分别为 2515.9 和 1034.0。五垒岛湾夏季的绝对优势种为脉红螺(表 2)。

2.3 群落划分及其空间分布

采用等级聚类(UPGMA)的分类方法对山东南部海湾大面 19 个站位进行群落结构分析,非度量多维标度(NMDS)的排序方法表明,春、夏、秋和冬季胁强系数均小于 0.20,可用二维点阵图表示(图 2)。由图 2 可知,春季 19 个站位群体样本可划分为 2 群,第一聚群包括站位 12—19,即靖海湾和五垒岛湾,第二聚群包括站位 1—9、11,即荣成湾和桑沟湾。夏季可分为两个聚群,即 1—5,7—8 10—12,15 组成第一聚群,而 9、13—14 和 16 站位组成第二聚群,夏季 4 个海湾的群落结构并无明显划分。秋季群体大致可划分为 2 个聚群,由荣成湾(1—3,5 站位)、桑沟湾(6—11 站位)、靖海湾(12—14 站位)组成第一聚群,而第二聚群由五垒岛湾的所有站位(16—19)和靖海湾的 15 站位共同构成。冬季大致可分为两个聚群,靖海湾(12—15 站位)和五垒岛湾(16,18—19 站位)组成第一聚群,荣成湾(1—4 站位)和桑沟湾(7—9,11 站位)组成第二聚群。

表 2 调查海域各海湾优势种组成特征

Table 2 Important components of dominant species in the study area

海湾 Bays	分类单元 Taxa	IRI			
		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
荣成湾	日本倍棘蛇尾 <i>Amphioplus japonicus</i>	2637.9	4514.7	1234.1	
Rongcheng Bay	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	1245.5			
	钩虾科 Gammaridea	1087.0			
	不倒翁虫 <i>Sternaspis sculata</i>	1082.6			
	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>		2003.3		
	扁角樱蛤 <i>Angulus compressissimus</i>		1650.1		
	小头虫科 Capitellidae			1288.0	
	长偏顶蛤 <i>Modiolus elongatus</i>				3185.2
	褐蚶 <i>Didimacra tenebrica</i>				1900.3
	索沙蚕属 <i>Lumbrineris</i>	3578.0	1158.0	2979.8	5992.0
桑沟湾	丝鳃沙蚕属 <i>Audouinia</i>	1985.1			
	丝管虫亚科 Filograninae Rioja	1167.6			
	不倒翁虫 <i>Sternaspis sculata</i>		1506.5		
	薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i>		1210.0		
	异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>		1200.2	1613.9	
	丝鳃虫科 Cirratulidae			1166.3	
	彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>			1011.2	
靖海湾	薄荚蛭 <i>Siliqua pulchella</i>	4806.2		3856.0	2871.2
Jinghai Bay	强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	1589.3		1214.8	
	纽虫动物门 Nemertea	1039.8			
	索沙蚕属 <i>Lumbrineris</i>		2515.9		
	毛蚶 <i>Scapharca kagoshimensis</i>		1034.0		
	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>			1221.3	
	小头虫科 Capitellidae				1241.6
	不倒翁虫 <i>Sternaspis sculata</i>				1237.9
	日本长手沙蚕 <i>Magelona japonica</i>				1091.2
	薄荚蛭 <i>Siliqua pulchella</i>	7322.0		1207.5	1973.4
	脉红螺 <i>Rapana venosa</i>		1597.9		
五垒岛湾	圆筒原盒螺 <i>Eocylichna braunsi</i>			1384.8	
	凸镜蛤 <i>Dosinia derupta</i>			1125.0	
	螺赢蜚科 Corophiidae				1052.9

2.4 底栖动物的 Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数

2006—2007 年对山东半岛南部 4 个海湾 4 个季节的底栖动物 Margalef 丰富度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J') 和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 进行分析, 结果见表 3。从表 3 可以看出, 春季, 荣成湾和桑沟湾的丰富度指数 (D) 显著高于靖海湾和五垒岛湾, 而 4 个海湾的均匀度指数 (J') 无显著差异, 荣成湾的多样性指数 (H') 显著高于五垒岛湾。夏季, 荣成湾、桑沟湾和靖海湾的丰富度指数 (D) 显著高于五垒岛湾, 荣成湾和桑沟湾的均匀度指数 (J') 高于五垒岛湾, 桑沟湾和靖海湾的多样性指数 (H') 显著小于荣成湾, 并且这 3 个海湾的多样性指数 (H') 都显著高于五垒岛湾。秋季, 桑沟湾的丰富度指数 (D) 显著高于五垒岛湾, 4 个海湾秋季的均匀度指数 (J') 无显著差异, 而桑沟湾的多样性指数 (H') 显著高于其它 3 个海湾。冬季, 荣成湾的丰富度指数 (D) 显著高于五垒岛湾, 荣成湾和桑沟湾的均匀度指数 (J') 显著高于靖海湾, 而对于多样性指数 (H'), 仅表现为桑沟湾显著高于靖海湾。

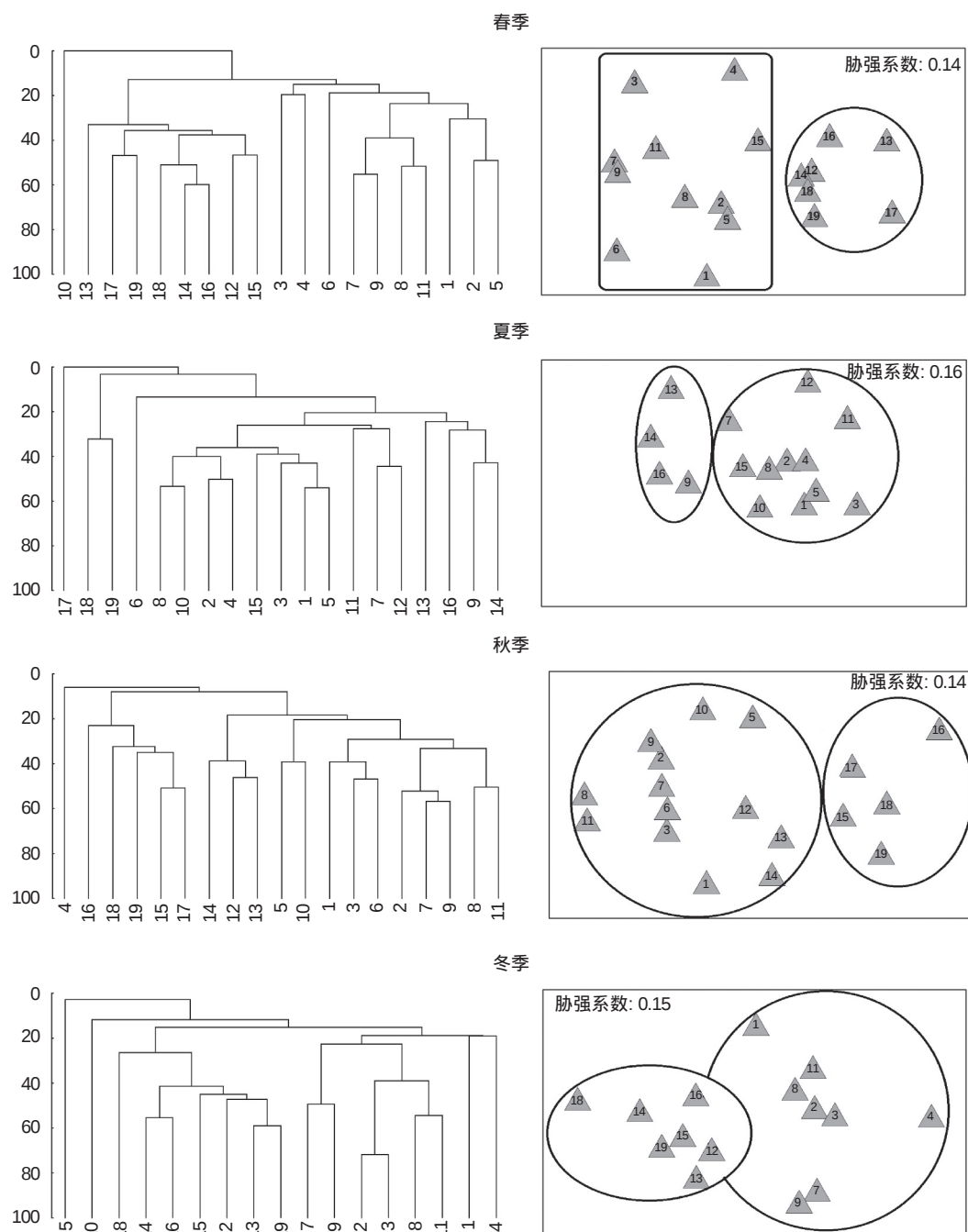


图2 山东半岛南部海湾底栖动物调查站位的聚类分析图(左)和NMDS排序图(右)

Fig. 2 Group average clustering (left) and NMDS ordination (right) of sampling stations in the southern Bays of Shan Dong province

2.5 环境变量的主成分分析

表4结果显示,春季4个海湾的第一主成分中主要的环境因素是水温、采样深度、叶绿素a、盐度和溶解氧,夏季4个海湾的第一主成分中主要的环境因素是溶解态磷、总碱度、采样深度、水温和盐度,秋季4个海湾的第一主成分中主要的环境因素是采样深度、硅酸盐、pH值,水温,硝酸盐,溶解态氮,冬季4个海湾的第一主成分中主要的环境因素是水温、采样深度、盐度和溶解氧。4个季节第一主成分中环境因素的贡献率都大于50%,结果表明14个环境变量中,不同的季节均有不同的主要环境影响因素对海湾底栖动物群落的组成和结构起关键作用。

表 3 调查海湾底栖生物的 Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数

Table 3 Margalef index, Pielou index and Shannon-Wiener index of benthos

季节 Seasons	海湾 Bays	丰富度指数 Margalef index (<i>D</i>)	均匀度指数 Pielou index (<i>J'</i>)	生物多样性指数 Shannon-Wiener index (<i>H'</i>)
春季 Spring	荣成湾	9.9±3.8a	0.6±0.2a	1.7±0.2a
	桑沟湾	13.3±1.3a	0.7±0.0a	1.5±0.2ab
	靖海湾	5.7±1.5b	0.6±0.0a	1.5±0.3ab
	五垒岛湾	4.9±0.6b	0.5±0.1a	1.3±0.3b
夏季 Summer	荣成湾	9.6±3.0a	0.6±0.1a	2.0±0.2a
	桑沟湾	7.3±1.5a	0.6±0.1a	1.5±0.4bc
	靖海湾	8.1±0.7a	0.5±0.1ab	1.3±0.4c
	五垒岛湾	1.3±0.8b	0.3±0.2b	0.2±0.1d
秋季 Autumn	荣成湾	4.5±1.8ab	0.5±0.2a	1.1±0.2a
	桑沟湾	5.6±1.8a	0.6±0.1a	1.5±0.3b
	靖海湾	3.4±1.1ab	0.5±0.1a	1.0±0.1a
	五垒岛湾	1.6±0.5b	0.4±0.1a	0.7±0.3a
冬季 Winter	荣成湾	5.2±2.5a	0.6±0.1a	1.4±0.5ab
	桑沟湾	8.9±1.5ab	0.6±0.2a	1.6±0.4a
	靖海湾	7.8±0.7ab	0.2±0.1b	0.5±0.2b
	五垒岛湾	13.4±5.0b	0.6±0.3ab	0.9±0.5ab

不同字母代表在 0.05 水平下差异显著

表 4 山东半岛南部海湾春、夏、秋、冬四个季节环境因子的主成分分析

Table 4 Factor analysis of main environmental variables in Spring, Summer, Autumn and Winter in four bays of Shandong

春季 Spring 因素	成分 Component				夏季 Summer 因素	成分 Component			
	1	2	3	4		1	2	3	
水温	0.9				溶解态磷	-0.9			
采样深度	-0.9				总碱度	-0.8			
叶绿素 a	0.9				采样深度	-0.7			
盐度	-0.8				水温	0.7			
溶解氧	-0.7				盐度	-0.6			
铵盐		0.9			硅酸盐				
硝酸盐		0.9			硝酸盐		0.8		
硅酸盐		0.8			溶解态氮		0.8		
磷酸盐		0.8			叶绿素 a		0.8		
溶解态磷			0.9		悬浮物		0.7		
总碱度			0.8		溶解氧				0.9
悬浮物			0.7		铵盐				-0.8
溶解态氮			0.6		pH 值				0.6
pH 值				-0.9					
秋季 Autumn 因素	成分 Component				冬季 Winter 因素	成分 Component			
	1	2	3			1	2	3	4
采样深度	0.9				水温	0.9			
硅酸盐	-0.9				采样深度	0.9			
pH 值	0.9				盐度	0.8			
水温	0.9				溶解氧	-0.8			
硝酸盐	-0.8				硅酸盐		0.8		
溶解态氮	-0.7				硝酸盐		0.8		
铵盐		-0.8			溶解态磷		0.7		
叶绿素 a		0.8			叶绿素 a		0.7		
悬浮物		0.7			总碱度		0.615		
溶解态磷			0.9		铵盐			0.9	
溶解氧			0.7		悬浮物			0.8	
总碱度			-0.6		溶解态氮				-0.9
					pH 值				0.8

2.6 主要环境因素与底栖动物 Margalef 丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J')和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')的相关性分析

分别对山东南部 4 个海湾春、夏、秋、冬 4 个季节的第一主成分中的环境因素与表征底栖动物多样性的重要参数 (Margalef 丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J')和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')) 进行 Spearman 相关分析(表 5),结果表明,春季,丰富度指数(D)与水温 and 叶绿素 a 呈显著负相关关系($P < 0.05$),相关系数分别为-0.55 和-0.59,而均匀度指数(J')和多样性指数(H')与 5 个主成分环境因素都无显著相关性。夏季,丰富度指数(D)、均匀度指数(J')和多样性指数(H')都与采样深度和总碱度呈显著正相关($P < 0.05$),而均匀度指数(J')和多样性指数(H')与水温呈极显著的负相关关系($P < 0.01$)。秋季,丰富度指数(D)和多样性指数(H')与水温呈正相关性($P < 0.05$),分别与活性硅酸盐和硝酸盐呈负相关关系,而均匀度指数(J')与 6 个主成分环境因素都无显著相关性。冬季,丰富度指数(D)与水温 and 采样深度呈负相关关系($P < 0.05$),与溶解态磷呈正相关性($P < 0.05$),均匀度指数(J')与叶绿素 a 呈极显著相关关系($P < 0.01$),相关系数为 0.67。

表 5 环境因素与表征底栖动物多样性的重要参数的 Spearman 相关分析

Table 5 Spearman correlations of main environmental variables and parameters of benthos community

季节 Seasons	相关指数 Related parameters	水温 Water temperature	采样深度 Water depth	叶绿素 a Chla	盐度 Salinity	溶解氧 Dissolved Oxygen
春季	D	-0.55 *	0.45	-0.59 *	0.44	0.37
	J'	-0.14	0.16	-0.33	0.12	0.26
	H'	-0.15	0.12	-0.36	0.22	0.12
夏季	D	-0.54	0.50 *		0.33	
	J'	-0.70 **	0.55 *		0.39	
	H'	-0.75 **	0.66 **		0.38	
秋季	D	0.53 *	0.17			
	J'	0.27	0.15			
	H'	0.48 *	0.17			
冬季	D	-0.76 *	-0.69 *	-0.15		
	J'	0.11	0.02	0.67 **		
	H'	0.15	0.09	-0.03		
季节 Seasons	总碱度 Total alkalinity	溶解态磷 Dissolved phosphorus	活性硅酸盐 Silicate	pH	溶解态氮 Dissolved nitrogen	硝酸盐 Phosphate
春季						
夏季	0.62 **	0.45				
	0.68 **	0.38				
	0.79 **	0.50 *				
秋季			-0.52 *	0.25	-0.09	-0.41
			-0.19	0.01	-0.23	-0.40
			-0.43	0.14	-0.30	-0.55 *
冬季		0.66 *	0.27		0.59	
		0.39	0.21		0.15	
		-0.16	-0.28		-0.07	

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2.7 ABC 曲线分析

海洋大型底栖动物生活相对稳定,对海洋环境污染反应敏感,具有污染效应指示性。Warwick 提出用丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线)法来监测环境污染对大型底栖动物群落的扰动^[25],并对不同海域、不同生境中的大型底栖动物群落进行了验证,结果表明:对于任何物理性、生物性以及污染扰动引起的大型底栖动物群落变化,ABC 曲线都能灵敏地做出反应。根据山东半岛南部 19 个站位 4 个季节的丰度和生物量数据做 ABC 曲线(图 3)。由图 3 可知,山东半岛南部荣成湾和桑沟湾底栖动物的 ABC 曲线中生物量曲线和丰度曲线相交,表明荣成湾和桑沟湾底栖动物群落处在中度干扰状态,大型底栖动物群落逐渐由一种或几种个体较小的种类占优势。

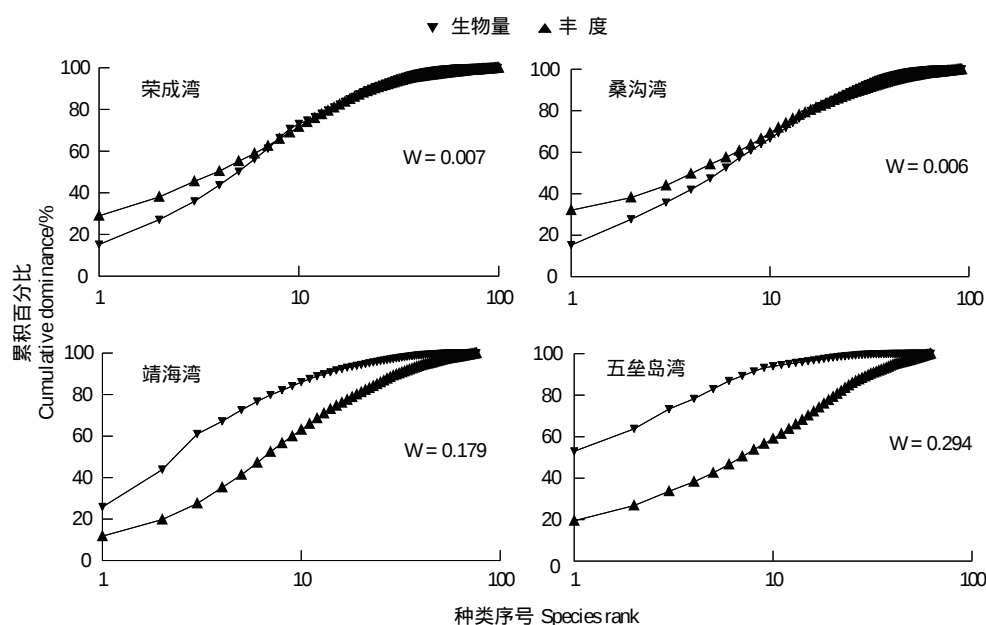


图 3 山东半岛南部底栖动物的 ABC 曲线以及 W 统计值

Fig. 3 ABC curves and W value of macrobenthic communities in the Rongcheng Bay, Sanggou Bay, Jinghai Bay and Wuleidao Bay of Shandong

3 讨论

3.1 种类组成和群落结构

调查的荣成湾、桑沟湾和靖海湾大型底栖动物种类中,多毛类动物春、夏、秋、冬季所占比例都最高。对五垒岛湾调查发现,甲壳动物春季所占比例最高,软体动物夏季所占比例最高,秋、冬季调查中,多毛类所占比例最高(表 1)。这次调查结果与 2006 年 7—8 月的南黄海大面积调查结果基本相符,南黄海调查设 130 站次,共获底栖动物 192 种,多毛类最多,占 64%^[28]。中国海湾志记载荣成湾、桑沟湾和靖海湾的沉积物性质,荣成湾和靖海湾沉积物类型主要以粘土质粉砂为主,荣成湾是粉砂和粘土质粉砂混合型沉积物类型^[29-30],而五垒岛湾的沉积物类型为软砂泥底,含泥量为 60%—70%,含砂量为 30%—40%^[31]。可见,山东半岛南部 4 个海湾大型底栖动物群落的种类组成与底质类型密切相关。采用等级聚类和非度量多维标度的方法对山东半岛南部海湾 19 个站位进行群落结构分析表明,春、冬季 19 个站位群体样本可划分为 2 群,第一聚群为靖海湾和五垒岛湾,第二聚群为荣成湾和桑沟湾。夏季 4 个海湾的群落结构并无明显划分。秋季群体大致可划分为 2 个聚群,由荣成湾、桑沟湾、靖海湾组成第一聚群,而第二聚群由五垒岛湾构成。结果表明,荣成湾和桑沟湾在春、夏、秋、冬四季海域环境无显著差异,底栖动物群落结构可能相似。靖海湾和五垒岛湾在春、冬季海域环境相近,相近的生境可能栖息着相同结构的底栖动物群落。秋季五垒岛湾与其它 3 个海湾海域环境存在着显著差异,形成不同的生境,可能导致五垒岛湾的底栖动物群落结构与其他 3 个海湾存在差异。

在本次调查过程中,荣成湾的优势种为日本倍棘蛇尾、彩虹明樱蛤、钩虾类、不倒翁虫、薄云母蛤、扁角樱蛤、小头虫科等。1988 年对荣成湾底栖动物调查结果显示,水深 15 m 等深线内浅海底栖动物的优势种为不倒翁虫、异足索沙蚕、日本倍棘蛇尾、长吻沙蚕和双眼钩虾等^[29],与本调查荣成湾底栖动物优势种类略有差异。桑沟湾 4 季共有优势种 8 种,多毛类 6 种,占 75%,软体动物 2 种,占 25%,优势种中无甲壳动物和棘皮动物。中国海湾志记载,1988 年桑沟湾底栖动物的优势种约有 20 种,其中多毛类 8 种,软体动物 5 种,甲壳动物 6 种,棘皮动物 2 种^[29]。近年来,由于桑沟湾大面积高密度养殖,阻碍了海水流动的顺畅,影响了生源要素的输运和补充,造成了局部海域营养盐严重缺乏^[32],这可能是造成桑沟湾底栖动物群落结构改变的原因之一。靖海湾和五垒岛湾的春、秋、冬季薄荚蛭为优势种,靖海湾夏季的优势种为索沙蚕和毛蚶,五垒岛湾夏季的绝对优势种为脉红螺(表 2),结果与历史底栖动物调查结果基本相符^[30]。

3.2 大型底栖动物多样性及与水环境因子的关系

Shannon-Wiener 多样性指数(H')在国内外普遍被用来监测淡水、海水底栖动物群落结构的变化,是一个较好的评价工具^[33]。本次调查中,对山东半岛南部 4 个海湾底栖动物的多样性指数(H')进行分析。结果表明,春、夏季荣成湾底栖动物多样性指数(H')最高,秋、冬季桑沟湾底栖动物多样性指数(H')最高,春、夏、秋三季五垒岛湾底栖动物多样性指数(H')相对较低,而冬季靖海湾底栖动物的多样性指数(H')最低。多样性指数(H')的差异是由于荣成湾和桑沟湾具有较高的 Margalef 丰富度指数(D),而五垒岛湾的丰富度指数(D)和冬季靖海湾的 Pielou 均匀度指数(J')相对较低。

大型底栖动物同时受到底层水环境和底质环境影响,其中,水文状况决定了动物区系的组成和性质,因此,在同一个海区虽然底质相同,却有可能由于水文条件不同而有完全不同的种类出现,底栖动物的生物多样性呈现差异^[34]。本研究对山东南部海湾春、夏、秋、冬 4 个季节的第一主成分中的环境因素与多样性指数(H')进行 Spearman 相关分析。结果表明,春、冬季,多样性指数(H')与所研究的主成分环境因素都无显著相关性。夏季,多样性指数(H')与采样深度和总碱度呈显著正相关,与水温呈极显著的负相关关系。本次研究结果与刘卫霞等对北黄海夏季大型底栖生物生态学研究结果基本一致,认为北黄海夏季与大型底栖动物群落最为匹配的水环境因子为水深和底温^[35]。黄海中央的冷水团是在特殊的地理和气候条件下形成的夏季低温水团,它和山东半岛、辽东半岛沿岸水流以及黄海暖流的相互作用,决定了大型底栖动物的区系性质和组成成分^[34]。秋季,大型底栖动物的多样性指数(H')与硝酸盐呈负相关关系,结果表明,水体中营养盐物质增加时,大型底栖动物多样性会相应降低,说明富营养化对山东半岛南部 4 个海湾大型底栖动物群落产生了一定负面影响。春、夏、秋 3 季五垒岛湾底栖动物多样性指数(H')相对较低,因为五垒岛湾属半封闭型海湾,湾内虾池密集,有机富营养化严重^[36],使五垒岛湾大型底栖动物的多样性大大降低。

3.3 人为扰动对大型底栖动物群落的影响

Warwick 提出用丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线)法来监测人为扰动或环境污染对大型底栖动物群落的影响^[25]。根据山东半岛南部 19 个大面站位 4 个季节的丰度和生物量数据做 ABC 曲线(图 3)。由图 3 可知,山东半岛南部荣成湾和桑沟湾底栖动物的 ABC 曲线中生物量曲线和丰度曲线相交,表明荣成湾和桑沟湾底栖动物群落处在中等干扰状态。当群落受到中等程度的污染扰动时,个体较大的种的优势度被削弱,丰度和生物量优势度的不均等程度减弱,丰度和生物量曲线接近重合,或出现部分交叉。这是由于当群落受到中度污染时,生物量占优势的大个体消失,在数量上占优势的种是个体较小的种,在此情况下种内丰度的分布与生物量分布优势难分^[25]。荣成湾和桑沟湾底栖动物种类组成和优势种类组成中多毛类的比例最高,棘皮动物占总种类组成的 2.6%—15.8% 之间(表 1—表 2)。据何明海对厦门西港底栖生物生态调查报告显示,在一定环境污染状况下,多毛类的某些种类数量随着污染程度的增加而增加,而棘皮动物数量却减少,甚至绝迹^[37],其中多毛类数量占群落数量总数比例的升高是底栖动物群落在受到环境污染或者人为扰动下做出的一种反应,即机会种大量繁殖。ABC 曲线是对整个底栖群落进行统计性分析,从生物量和丰度优势度的差别可以直观反应出群落组成中机会种与竞争型物种间比例是否均衡,本文中荣成湾和桑沟湾底栖动物群落的丰

度优势度积累曲线起点比较高,说明某些机会种的数量开始增加,预示了荣成湾和桑沟湾底栖动物群落受到了环境或者人为扰动的影响。桑沟湾是我国北方的典型浅海养殖区域,为海带、裙带菜、扇贝、牡蛎、鲍鱼、海水鱼类等藻、贝、鱼的立体混合养殖模式。与此同时,密集的养殖活动也给海洋生态系统带来了巨大影响,如营养盐排放、养殖生物的逃逸、疾病的传播等^[38]。荣成湾和桑沟湾大型底栖动物群落的这种现状主要是人为扰动引起的,加强海水养殖管理,强化生态健康养殖理念,合理利用海洋生物资源,对底栖动物群落的稳定性具有重要意义。

致谢: 感谢山东省海洋水产研究所李凡和徐炳庆对数据分析的支持,魏振华和张培超海上调查取样,感谢中国科学院烟台海岸带研究所赵建民研究员对本文写作的帮助。

References:

- [1] Moodley L, Heip C H R, Middelburg J J. Benthic activity in sediments of the Northwestern Adriatic Sea; sediment oxygen consumption, macro-and meiofauna dynamics. *Journal of Sea Research*, 1998, 40(3/4): 263-280.
- [2] Xia J B, Li C R, Xu J W, Liu L J. Biodiversity of macrobenthos of estuary beach wetland in Yellow River Delta in summer. *Wetland Science*, 2009, 7(4): 299-305.
- [3] Ma J, Fu R S. Progress of ecology research on macrobenthos. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010, (2): 78-81.
- [4] Zhang S H, Zhang R L, Wang L Q, Ji G H, Fan Z F. Study on benthos community composition and evaluation of water quality in Dianshan Lake in Shanghai. *Sichuan Journal of Zoology*, 2010, 29(3): 452-458.
- [5] Tian S Y, Zhang W L, Zhang R. Role of macrobenthos in marine ecosystem. *Journal of Salt and Chemical Industry*, 2009, 38(2): 50-54.
- [6] Yu H Y, Li X Z, Li B Q, Wang J B, Wang H F. The biodiversity of macrobenthos from Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 416-422.
- [7] 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.
- [8] Sanders H L, Mangelsdorf P C, Hampson G R. Salinity and faunal distribution in the Pocasset River, Massachusetts. *Limnology and Oceanography*, 1965, 10: 216-229.
- [9] Otani S, Kozuki Y, Kurata K, Ueda K, Nakai S, Murakami H. Relationship between macrobenthos and physical habitat characters in tidal flat in eastern Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 57(1/5): 142-148.
- [10] Gray J S. Animal-sediment relationships. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1974, 12: 223-261.
- [11] Chapman M G, Tolhurst T J. The relationship between invertebrate assemblages and bio-dependant properties of sediment in urbanized temperate mangrove forests. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 304(1): 51-73.
- [12] Occhipinti-Ambrogi A, Savini D, Forni G. Macrobenthos community structural changes off Cesenatico coast (Emilia Romagna, Northern Adriatic), a six year monitoring programme. *Science of the Total Environment*, 2005, 353(1/3): 317-328.
- [13] Boström C, Bonsdorff E. Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 1997, 37(1/2): 153-166.
- [14] Pearson T H, Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1978, 16: 229-231.
- [15] Diaz R J, Rosenberg R. Marine benthic hypoxia; a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1995, 33: 245-303.
- [16] Belan T A. Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbour. *Marine Environmental Research*, 2003, 57(1/2): 89-101.
- [17] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey. Beijing: Standards Press of China, 2007: 56-62.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish Bulletin*, 1971, 152: 1-105.
- [19] Field J G, Clarke K R, Warwick R M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology: Progress Series*, 1982, 8: 37-52.
- [20] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E, 2001.
- [21] Ludwig J A, Reynolds J F. Statistical Ecology. New York: John Wiley and Sons, 1988.
- [22] Li G G. The replication of biodiversity. *Marine Sciences*, 1981, (2): 4-8.
- [23] Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 62-75.
- [24] Li S F. Status of fish community in East China Sea using the method of abundance-biomass comparison (ABC) curve. *Journal of Fishery Sciences*

- of China, 2008, 15(1): 136-144.
- [25] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [26] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 374-379.
- [27] Zhao X G, Chao Y X, Zhang J, Wang B X, Chai D S. Factor analysis of environmental variables influencing benthic macroinvertebrate community in Lijiang River. *Journal of Guangxi Normal University(Natural Science Edition)*, 2009, 27(2): 137-141.
- [28] 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.
- [29] China Bay Log. Part III: The Bays in the Northern and Eastern Shandong Peninsula. Beijing: Ocean Press, 1991: 351-353, 401-402.
- [30] China Bay Log. Part IV: The Bays in the Southern Shandong Peninsula and Jiangsu Province. Beijing: Ocean Press, 1993: 20-21.
- [31] Song Z Y, Wang S D, Jiang Q P. Large-scale breeding and technique of aquacultural reproduction in *Tegillarca granosa*. *Journal of Aquaculture*, 2009, 30(6): 13-14.
- [32] Shi J, Wei H, Zhao L, Fang J G, Zhang J H. Study on ecosystem model of multi-species culture in Sanggou Bay: II Simulation of ecosystem and the circulation of nutrients. *Marine Fisheries Research*, 2010, 31(4): 36-42.
- [33] Li Y Q, Ding M L. *Marine Pollution Biology*. Beijing: Ocean Press, 1981.
- [34] Liu R Y, Cui Y H, Xu F S, Tang Z C. Ecological characteristic of benthos in Yellow Sea and East China Sea. *Marine Science Bulletin*, 1986, 27: 153-173.
- [35] Liu W X. Study on the Ecology of Macrobenthos in North Yellow Sea in Summer and Winter. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [36] Xing Z X. Wendeng follow three highlights and accelerate the development of marine aquaculture health. *Shandong Fisheries*, 2009, 26(1): 58-58.
- [37] He M H, Cai E X, Wu Q Q, Jiang J X, Lin S D, Xu H Z, Liu Q S, Zheng F W, Li R G. Ecology of benthos in west harbour of Xiamen. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1988, 7(2): 189-194.
- [38] Zhang Z H, Lu J B, Ye S F, Zhu M Y. Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2540-2547.

参考文献:

- [2] 夏江宝, 李传荣, 许景伟, 刘立杰. 黄河三角洲滩涂湿地夏季大型底栖动物多样性分析. *湿地科学*, 2009, 7(4): 299-305.
- [3] 马骏, 付荣恕. 大型底栖动物生态学研究进展. *山东农业科学*, 2010, (2): 78-81.
- [4] 张世海, 张瑞雷, 王丽卿, 季高华, 范志锋. 上海市淀山湖底栖动物群落结构及水质评价. *四川动物*, 2010, 29(3): 452-458.
- [5] 田胜艳, 张文亮, 张锐. 大型底栖动物在海洋生态系统中的作用. *盐业与化工*, 2009, 38(2): 50-54.
- [7] 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.
- [17] 国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.
- [22] 李冠国. 多样性指数的应用. *海洋科学*, 1981, (2): 4-8.
- [23] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. *海洋学报*, 2004, 26(1): 62-75.
- [24] 李圣法. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况. *中国水产科学*, 2008, 15(1): 136-144.
- [27] 赵湘桂, 曹艳霞, 张杰, 王备新, 蔡德所. 影响漓江底栖动物群落的主要环境因素解析. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 27(2): 137-141.
- [28] 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.
- [29] 中国海湾志. 第三分册: 山东半岛北部和东部海湾. 北京: 海洋出版社, 1991: 351-353, 401-402.
- [30] 中国海湾志. 第四分册: 山东半岛南部和江苏省海湾. 北京: 海洋出版社, 1993: 20-21.
- [31] 宋宗岩, 王世党, 姜启平. 泥蚶规模化繁育与增养殖技术开发. *水产养殖*, 2009, 30(6): 13-14.
- [32] 史洁, 魏皓, 赵亮, 方建光, 张继红. 桑沟湾多元养殖生态模型研究: II 生态环境模拟与生源要素循环. *渔业科学进展*, 2010, 31(4): 36-42.
- [33] 李永祺, 丁美丽. *海洋污染生物学*. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [34] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山, 唐质灿. 黄海、东海底栖生物的生态特点. *海洋科学集刊*, 1986, 27: 153-173.
- [35] 刘卫霞. 北黄海夏、冬两季大型底栖生物生态学研究. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [36] 邢志晓. 文登抓好三个亮点加快发展海水健康养殖. *齐鲁渔业*, 2009, 26(1): 58-58.
- [37] 何明海, 蔡尔西, 吴启泉, 江锦祥, 林双淡, 徐惠州, 刘泉顺, 郑凤武, 李荣冠. 厦门西港底栖生物的生态. *台湾海峡*, 1988, 7(2): 189-194.
- [38] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 朱明远. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2540-2547.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.15 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance	LI Fengrui, LIU Jiliang, HUA Wei, et al (4169)
Construction and comparative analysis of enriched microsatellite library from <i>Liposcelis bostrychophila</i> and <i>L. entomophila</i> genome	WEI Dandan, YUAN Minglong, WANG Baojun, et al (4182)
Development of EST-SSRs markers and analysis of genetic diversities among different geographical populations of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	YAN Xiwu, YU Zhifei, QIN Yanjie, et al (4190)
Genetic diversity of different generations of the Dalian population of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> through selective breeding	YU Zhifei, YAN Xiwu, YANG Fei, et al (4199)
Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field	JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, et al (4207)
Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress	LIU Haiying, CUI Changhai, ZHAO Qian, et al (4215)
Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (4225)
Dynamic changes in nitrogen and phosphorus concentrations and emission-reduction potentials in paddy field water under different tillage models	FENG Guolu, YANG Renbin (4235)
Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition	YAN Shilei, ZHAO Lei, SUN Hongwei, et al (4244)
Effects of short-term flooding on <i>Geobacteraceae</i> spp. and <i>Anaeromyxobacter</i> spp. abundance in paddy soil	ZHU Chao, Stefan Ratering, QU Dong, et al (4251)
Adaptive adjustments of the sowing date of late season rice under climate change in Guangdong Province	WANG Hua, CHEN Xinguang, HU Fei, et al (4261)
Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (4270)
Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau	LIU Yingchun, WANG Qiufeng, YU Guirui, et al (4277)
Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang (4287)
Seasonal dynamics of litter accumulation in major forest communities on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China	ZHENG Jinping, GUO Zhongling, XU Chengyang, et al (4299)
A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone	LIU Huiliang, SONG Mingfang, DUAN Shimin, et al (4308)
The reproductive ecological characteristics of <i>Sinosenecio jishouensis</i> (Compositae) and its endangerment mechanisms	DENG Tao, CHEN Gongxi, ZHANG Daigui, et al (4318)
Iterative algorithm for analyzing the influence of the proportion of permanently destroyed sites on the equilibrium abundances of species	SHI Peijian, GE Feng, YANG Qingpei (4327)
Physiological mechanism of foliage spraying paclobutrazol on increasing salt tolerance of <i>Jatropha curcas</i> seedlings	MAO Yiqing, ZHENG Qingsong, CHEN Jianmiao, et al (4334)
Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan	YUAN Fei, LUO Youqing, SHI Juan, et al (4342)
Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) in Yunnan, 2009	SHEN Huimei, LÜ Jianping, ZHOU Jinyu, et al (4350)
Life history and the evolutionary significance of egg diapause in Changsha population of the rice grasshopper, <i>Oxya chinensis</i> (Orthoptera: Catantopidae)	ZHU Daohong, ZHANG Chao, TAN Ronghe (4365)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in "518" nectarine orchard	SHI Xiaoli, BI Shoudong, GENG Jiguang, et al (4372)
Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China	ZHANG Hongzhi, WU Pengfei, YANG Daxing, et al (4385)
Seasonal changes in waterbirds population and movements of Great Black-headed Gull <i>Larus ichthyaetus</i> at Keluke Lake of Qinghai, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, HOU Yunqiu, et al (4398)
Predictions of net carbon emissions based on the emissions and forest carbon sinks in Yunnan Province	LIU Huiya, WANG Zheng, MA Xiaozhe (4405)
Ecological water depletion by human use in Beijing City	BAI Yinglan, WANG Rusong, YAO Liang (4415)
Review and Monograph	
Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants	YANG Qiliang, ZHANG Fucang, LIU Xiaogang, et al (4427)
Antibiotics in environmental matrices and their effects on microbial ecosystems	YU Shen, WANG Min, HONG Youwei (4437)
Anaerobic ammonium oxidation in natural ecosystems	SHEN Lidong, ZHENG Ping, HU Baolan (4447)
Scientific Note	
Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula	ZHANG Ying, LÜ Zhenbo, XU Zongfa, et al (4455)
Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang	YANG Lili, ZHOU Xiaoyu, LIU Qigen, et al (4468)
Effect of different fertilization and irrigation practices on soil ammonia volatilization of Arecanut (<i>Areca catechu</i> L.)	LU Lilan, GAN Bingchun, XU Minghui, et al (4477)

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 15 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 15 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@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