

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

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 33 卷 第 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许 妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李 晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许 超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201201310131

宋伦, 王年斌, 杨国军, 宋永刚. 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应. 生态学报, 2013, 33(9): 2790-2802.

Song L, Wang N B, Yang G J, Song Y G. The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2790-2802.

鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应

宋 伦^{1,*}, 王年斌¹, 杨国军², 宋永刚¹

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁省海洋生物资源与生态学重点实验室, 大连 116023; 2. 大连海洋大学, 大连 116023)

摘要: 利用 ABC 曲线法结合粒径谱理论对鸭绿江口近岸海域的生物群落特征、优势种演替、多样性水平、稳定性状况等进行了分析, 并尝试构建了鸭绿江口近岸海域生物群落稳定性的评估模型。研究表明, 鸭绿江口滨海湿地生物群落结构相对简单, 优势种演替明显, 受外界干扰较大。春、夏季浮游植物以 *r*-对策者为主, 群落数量偏离平衡点; 秋季以 *r*-对策者为主的微小浮游植物逐渐被中大型 *k*-对策者演替, 群落完成反馈调节, 恢复到平衡点。浮游动物由于较高的能量供应其幼体全年一直处于较高优势水平, 但生态效率转换相对较慢。潮间带底栖生物群落结构相对简单, 优势种演替明显, 系统具有低多样性低密度的特点, 群落在夏季受外界扰动较大。游泳生物群落主要以小型个体为主, 已处于极不稳定状态。构建的群落稳定性评估模型测算结果与上述结论基本一致, 这也验证了该评估模型具有一定的有效性与实用性。综合以上分析结果, 说明鸭绿江口近岸海域生物群落稳定性较差, 受外界干扰比较严重。

关键词: ABC 曲线; 生态对策; 生物群落; 生态稳定性; 标准生物量粒径谱; 胁迫响应; 鸭绿江口

The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters

SONG Lun^{1,*}, WANG Nianbin¹, YANG Guojun², SONG Yonggang¹

1 Key Laboratory of Marine Biological Resources and Ecology, Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Liaoning Province, Dalian 116023, China

2 Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

Abstract: This paper analyzes the features of the biological community, succession of dominant species, diversity, and stability of the Yalu River Estuary offshore waters using an ABC curve method combined with particle-size spectrum theory, and establishes a model to evaluate the stability of the Yalu River Estuary ecosystem area. The aim is to understand the ecological health and status of the Yalu River Estuary wetland reserve nature reserve and to analyze problems related to this ecosystem. The results show the structure of the Estuary's biological community is relatively simple; the patterns of succession are obvious for the dominant species and this ecosystem is susceptible to outside interference. Sufficient sunlight, appropriate temperatures and the accumulation of nutrients provide favorable conditions for phytoplankton growth in spring, so microorganisms based on *R*-countermeasures multiply rapidly (*Skeletonema costatum*, *Asterionella kariana*), causing the community to deviate from the point of equilibrium. Rivers constantly supply nutrients from land-based sources in the summer, so the dominant species are replaced by *Nitzschia delicatissima*. In fall, more nutrients are consumed than are replaced by the river, so the micro bio-based *R*-countermeasures will be gradually replaced by *k*-countermeasures (*Coscinodiscus* spp., *Fragilaria* spp., *Ceratium fusus*), the community completes its cycle of natural feedback-driven

基金项目: 海洋公益性行业科研专项 (201005018, 201105011); 世界自然基金 (10000866); 辽宁省海洋与渔业厅科研计划项目 (2011004, 2011009)

收稿日期: 2012-01-31; **修订日期:** 2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songlun827421@sohu.com

regulation and returns to equilibrium. Similarly, the supply of high energy phytoplankton leads to zooplankton blooms; small herbivorous copepod (section) larvae have been present in high numbers throughout the year. Based on the ABC curve results and standard biomass spectrum analysis, external disturbances impact the benthic community in summer because migratory waders feed on benthos. At the peak of migration waders have a more significant influence on intertidal food organisms. After migration peaks, the benthic food biomass recovers gradually, and the community gradually tends to stabilize to former population levels. Standard biomass spectrum analysis confirms the nekton community is comprised primarily of small numbers of individuals, and a stability assessment also shows the nekton community is in a serious state of imbalance. The characteristics of the ABC curve show the Yalu River Estuary biological community has three different seasons, but according to W statistics, phytoplankton and zooplankton communities in the spring and summer are affected significantly by external disturbances; this phenomenon is also observed in the intertidal benthic community in the summer, while the nekton community is always in an unstable state. The characteristics of the standard biomass spectrum slope, the residual variance of spectral lines and correlation coefficient of the regression line also confirm these results. The estimation results of the model evaluating community stability in this paper are basically in accord with the above conclusions, indicating the evaluation model is effective and practical. Above all, it indicates the biological community of the Yalu River Estuary has poor stability, and is seriously impacted by external pressures. Inorganic nitrogen and inorganic phosphorus, which come from terrestrial input and marine aquaculture, are the main environmental factors affecting the biological community stability in the offshore wetlands of the Yalu River Estuary.

Key Words: ABC curves; bionomic strategy; biotic community; ecological stability; normalized biomass size spectra; stress response; Yalu River Estuary

鸭绿江口湿地国家级自然保护区属河口型滨海湿地,有近 60 km 的海岸线,总面积 1010 km²,是东亚—澳大利亚北迁涉禽的最后停歇地,每年支撑超过 50 万只迁徙涉禽在这里停歇觅食^[1]。近海生物群落因其特殊的地理位置受众多自然和人为的干扰,部分种群已发生明显演替,生态系统趋向退化^[2]。生物群落对外界干扰的响应早已引起众多生态学家的关注,

Warwick 在 1986 年^[3]提出用 ABC 曲线法(Abundance Biomass Comparison curves)利用数量和生物量优势度曲线位置比较来监测干扰对底栖无脊椎动物群落的影响,其应用领域也在不断扩展^[4-5]。由于 ABC 曲线法具有生态学中 r -选择和 k -选择策略的理论基础,可比较分析不同时期,不同胁迫情况下群落的响应。Sheldon 等在 1972 年^[6]首先提出了粒径谱理论,即大洋中相等对数化粒径间隔的颗粒物质浓度(生物量)大致相同,随后,这一理论得到了广泛的研究。粒径谱理论可用于评估外部胁迫对生态群落的效应,其标准生物量谱的斜率、回归相关系数、谱线剩余方差可用于表征生物群落的粒径结构,指示生态系统健康与稳定状况^[7-8]。

目前有关鸭绿江口滨海湿地的生态功能、环境胁迫等问题一直缺乏研究。因此,本文利用上述理论对鸭绿江口近岸海域的生物群落特征、优势种演替、多样性水平、稳定性状况等进行了分析,并尝试构建了生物群落稳定性的评估模型,旨在了解鸭绿江口湿地保护区的生态健康状况,筛查生态系统面临的问题,为滨海湿地的科学管理及生态稳定性研究提供理论依据。

1 研究方法

1.1 调查海域和样品采集

2010—2011 年 3—4 月(春)、6 月(夏)、9—10 月(秋)对鸭绿江口近岸海域(123°31′—124°09′E, 39°40′—40°40′N)进行了浮游生物、潮间带底栖生物和游泳生物定点调查,同期进行了海水、沉积物环境监测(图 1)。

浮游生物及环境监测:共设置 15 个站位(图 1),采用《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)推荐的浅水 I、II、III 型浮游生物网从底至表层垂直拖网,分别统计大、中型浮游动物和浮游植物;同期进行海水的溶解态

无机氮(DIN)、溶解态无机磷(DIP)、石油类(Oil)、pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、重金属汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)、镉(Cd)、砷(As)以及沉积物的有机质(OM)、硫化物(Sulfide,S)、砷(As)、锌(Zn)、铜(Cu)、铅(Pb)、汞(Hg)、石油类(Oil)、镉(Cd)含量监测。

潮间带底栖生物:共设置5条断面(图1),在大潮期采样,站位采用网格化设置,每个断面在中潮带和低潮带上、下分别设置3个站位(平行于岸线站位间距100 m,垂直于岸线站位间距约为1000 m)。每个站位使用《海洋调查规范》推荐的取样器(25 cm×25 cm×30 cm)重复采样5次(直线重复间距1 m)。

游泳生物:共设置5个站位(A、B、C、D、E)(图1),使用当地渔捕定置网(簍网)采集,网口宽1200 m,网口高4 m,网目45 mm。

以上调查和监测分析方法均参照国家标准《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)和《海洋监测规范》(GB17378—2007)执行。

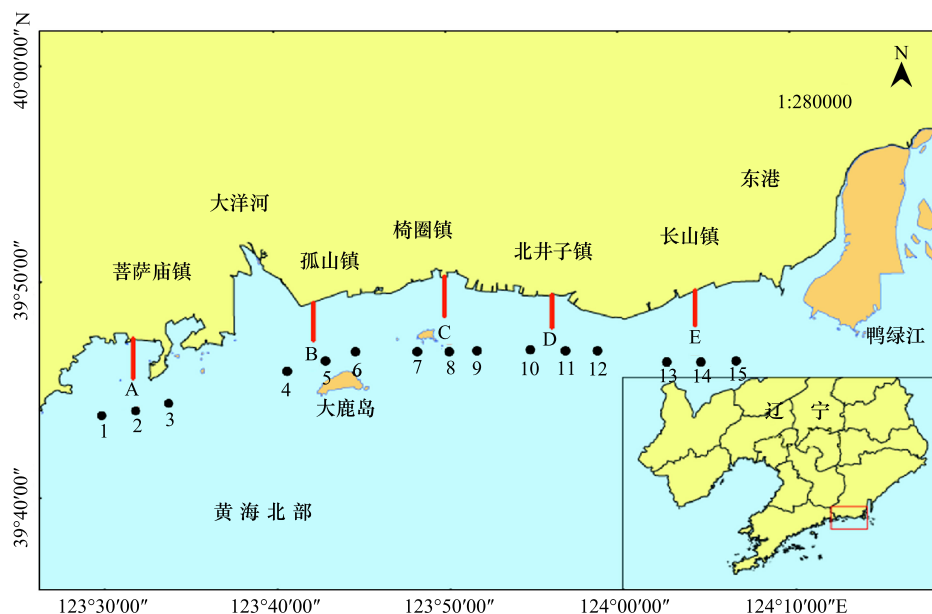


图1 研究区位置及调查站位示意图

Fig.1 Research area and survey station schematic

1—15 为采样站位;A—E 为采样断面

1.2 数据统计与分析

实验室内分别对生物样品进行镜检、计数、称重并记录其体长、宽和高。浮游植物细胞体积、含碳量参照孙军等^[9]以及 Eppley 等^[10]述及的相应关系式进行测算;浮游动物个体重量、体积、含碳量参照白雪娥等^[11]以及相关文献^[12-16]关系式进行测算。

采用相对重要性指数(IRI)确定群落中的优势种: $IRI = (W + N) \times F$; W 为某种类的生物量百分比; N 为某种类的数量百分比; F 为调查某种类出现的频率^[17]。

根据标准化生物量谱(NBSS)的特征参数来评价生态系统、群落结构的稳定性,指示系统的变化和环境健康状况^[8,18]。以 $\log_2$ 转换的个体含碳量(浮游生物)^[18]、去灰分干重(潮间带底栖生物)^[19-20]、体质量(游泳生物)^[4]为横坐标划分粒级,以 $\log_2$ (总生物量/粒级差)为纵坐标构建标准化生物量谱,并对谱线进行相关性分析及回归分析。粒级划分原则:每一组个体生物量的上限是下限的两倍。潮间带底栖生物和游泳生物的含碳量参照 Brey 经验公式估算^[21]。

通过 ABC 曲线法对群落的稳定性和胁迫变化状况进行分析,用 W 统计量作为 ABC 曲线方法的一个统计量,其公式为: $W = \sum_{i=1}^s \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)}$;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。当生物量优势曲线在数量优势度曲线之上时, W 为正, 反之 W 为负^[3]。

水质环境胁迫因子筛查执行《海水水质标准》(GB3097—1997) 中的二类海水水质标准; 沉积物环境胁迫因子筛查执行《海洋沉积物质量》(GB18668—2002) 中的一类标准。综合污染指数采用各项污染指数的平均值和最大值平方和的尼罗梅法, 既考虑了平均分指数的影响, 也照顾到最大分指数的影响: $PI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$,

$CPI = \sqrt{\frac{PI^2 + PI_{\max}^2}{2}}$, 式中, PI 为 n 项污染物污染指数平均值, P_i 为第 i 项污染物污染指数, $PI_{\max}$ 为 n 项污染物污染指数最大值, CPI 为综合污染指数。

对上述公式计算、数据分析、曲线绘制均通过 Microsoft Excel 和 SPSS 13.0、PRIMER 5.0 软件完成。

2 结果

2.1 群落优势种季节演替

调查共检出浮游植物 53 种(硅藻 44 种)、浮游动物 22 种(桡足类 13 种)、潮间带底栖生物 29 种(软体动物 13 种)、游泳生物 28 种(鱼类 20 种)。

表 1 列出了各季节 $IRI > 1000$ 的种类, 其中浮游植物春季优势种以生物量占优势的巨圆筛藻、布氏双尾藻和以丰度占优势的中肋骨条藻、加拟星杆藻为主; 夏季演替为以生物量占优势的巨圆筛藻、格氏圆筛藻和以丰度占优势的柔弱伪菱形藻为主; 秋季演替为以生物量占优势的巨圆筛藻、格氏圆筛藻、中心圆筛藻和以丰度占优势的拟脆杆藻、梭角藻为主。

表 1 各生物群落主要种类的 IRI 值*

Table 1 The IRI values of major species of each biotic community

生物群落 Biotic community	种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	平均 Mean
浮游植物 ^[22] Phytoplankton	巨圆筛藻 <i>Coscinodiscus gigas</i>	7186	5358	3817	5454
	柔弱伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	218	10620	127	3655
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	7004	202	909	2705
	格氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus granii</i>	182	2026	2448	1552
	中心圆筛藻 <i>Coscinodiscus centralis</i>	267	318	2734	1106
	拟脆杆藻 <i>Fragilariopsis</i> sp.	102	258	2919	1093
	加拟星杆藻 <i>Asterionella kariana</i>	1966	0	88	685
	梭角藻 <i>Ceratium fusus</i>	0	0	2005	668
	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwelli</i>	1016	11	85	371
	浮游动物	4086	2706	9637	5476
浮游动物 Zooplankton	桡足类幼体 <i>Copepodite larva</i>	4086	2706	9637	5476
	桡足类无节幼体 <i>Nauplius larva</i>	4099	4731	2291	3707
	小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	2554	1883	627	1688
	奥氏纺锤水蚤 <i>Acartia omori</i>	3338	1116	70	1508
	多毛类幼体 <i>Polychaeta larvae</i>	123	1018	2387	1176
	拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>	1705	364	1372	1147
	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	45	2405	208	886
	强额拟哲水蚤 <i>Parvocalanus crassirostris</i>	1039	467	825	777
	火腿镖水蚤 <i>Pseudodiaptomus poplesia</i>	66	2161	125	784
	双刺纺锤水蚤 <i>Acartia bifilosa</i>	1310	445	148	634
	双壳类幼体 <i>Lamellibranchia larvae</i>	0	0	1497	499
	长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	0	1132	116	416
	底栖生物	6338	10175	2444	6319
Macrobenthos	江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i>	3472	5070	8842	5795
	青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	1838	1195	1461	1498

续表

生物群落 Biotic community	种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	平均 Mean
底栖生物 Macrobenthos	宽身大眼蟹 <i>Macrophthalmus dilatatus</i>	410	405	1180	665
	长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	1419	741	1226	1129
	双管阔沙蚕 <i>Platynereis bicanaliculata</i>	1133	803	616	851
游泳生物 Nekton	文蛤 <i>Meretrix meretrix</i>	664	904	1374	981
	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	2881	—	5373	4127
	叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	3504	—	3000	3252
	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	3559	—	1097	2328
	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	647	—	2840	1743
	多鳞鱮 <i>sillago sihama</i>	0	—	2940	1470
	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	1722	—	350	1036
	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	760	—	1271	1016
	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	209	—	1267	738
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	261	—	1128	695
	斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	1328	—	24	676
	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	1329	—	0	665

* 表中仅列出各季节 IRI>1000 的种类;“—”表示未调查

浮游动物春季优势种以生物量占优势的桡足类幼体、小拟哲水蚤、奥氏纺锤水蚤和以丰度占优势的桡足类无节幼体、拟长腹剑水蚤、双刺纺锤水蚤为主;夏季演替为以生物量占优势的奥氏纺锤水蚤、多毛类幼体、中华哲水蚤、火腿镖水蚤、长额刺糠虾和以丰度占优势的桡足类无节幼体、桡足类幼体、小拟哲水蚤为主;秋季演替为以生物量占优势的桡足类幼体、多毛类幼体和以丰度占优势的桡足类无节幼体、拟长腹剑水蚤、双壳类幼体为主。

潮间带底栖生物春、夏、秋季以底上型的泥螺和底内型的江户明樱蛤、青蛤占绝对优势,春→夏→秋优势种的季节演替规律为[泥螺、江户明樱蛤、青蛤、长吻沙蚕、双管阔沙蚕]→[泥螺、江户明樱蛤、青蛤]→[江户明樱蛤、泥螺、青蛤、文蛤、长吻沙蚕、宽身大眼蟹],其中青蛤和文蛤为养殖种类。

游泳生物优势种春季以生物量占优势的黄鲫、大泷六线鱼、斑鲷和以数量占优势的叫姑鱼、日本鳀、脊腹褐虾为主;秋季演替为以生物量占优势的黄鲫、日本鳀、矛尾鰕虎鱼、蓝点马鲛、小黄鱼和以数量占优势的叫姑鱼、脊尾白虾、多鳞鱮为主。

2.2 群落 ABC 曲线特征

春、夏、秋 3 个季节各生物群落的 ABC 曲线趋势如图 2、图 3 所示,浮游植物 2 个优势度曲线在春季相交、夏季数量曲线居上、秋季则反向更替;浮游动物 2 个曲线则在春秋季节更替相交、夏季分离(数量曲线居上);而潮间带底栖生物 2 个曲线在春、夏、秋季基本重叠;游泳生物则在秋季更替相交、春季分离(数量曲线居上)。

从 W 统计量来看,浮游动、植物群落在春、夏季受外界扰动较大,潮间带底栖生物群落在夏季受外界扰动较大,而游泳生物群落始终处于不稳定状态。

从表 2 可以看出,浮游植物 3 个季节生物量第一优势种均为巨圆筛藻,而数量第一优势种分别由中肋骨条藻、柔弱伪菱形藻和拟脆杆藻贡献;浮游动物数量第一优势种春、夏季均由桡足类无节幼体贡献,生物量第一优势种则分别由奥氏纺锤水蚤和火腿镖水蚤支持,而秋季的桡足类幼体独控数量和生物量第一优势种的地位;潮间带底栖生物 3 个季节数量和生物量第一优势种地位均由生态位较高的泥螺控制;游泳生物数量和生物量第一优势种均由小型鱼类贡献。

2.3 多样性水平

图 2 和图 3 中的数量优势度曲线即为 *k*-优势度曲线(*k*-dominance curve),用来检验种类丰度组成中包含的优势种类的多少,可进行多样性水平的分析与评价,曲线位置越低代表群落多样性水平越高^[23-24],而第一

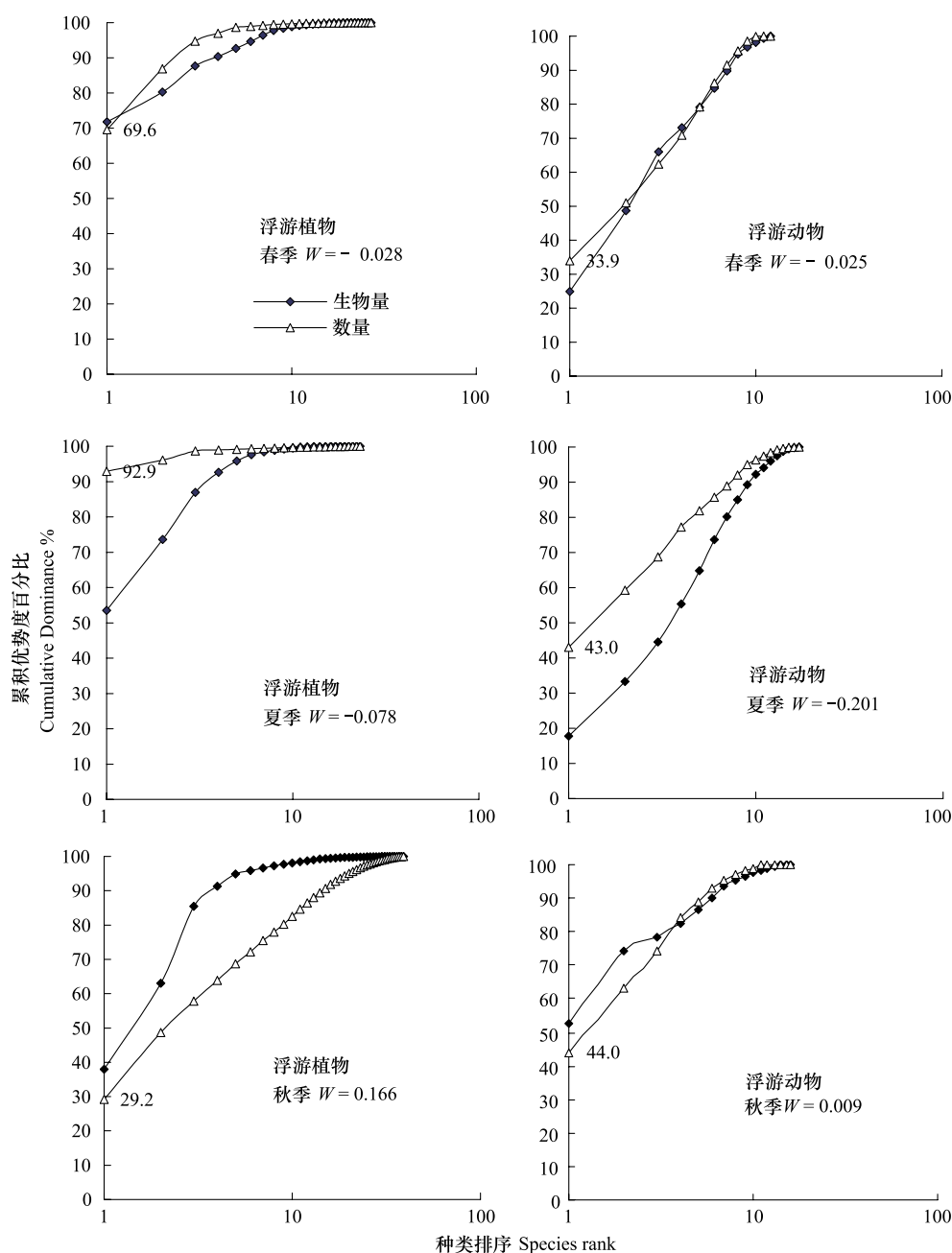


图2 各季节浮游生物群落的ABC曲线以及W统计值

Fig. 2 ABC curves and W value of plankton community each season

优势度决定了 k -优势度曲线的起始位置。从表3可以看出,浮游植物群落多样性水平依次为秋>春>夏;浮游动物为春>夏>秋;潮间带底栖生物为春>秋>夏;游泳生物为春>秋。中等程度的干扰频率可以维持高多样性,但干扰频繁,则先锋种不能发展到演替中期,从而保持较低的多样性。

2.4 群落粒径结构特征

浮游植物等效球径(ESD)在3—245 μm 之间,春、夏、秋季总含碳量范围分别为0.7—11.9、0.1—5.0、0.6—2.6 mg;浮游动物ESD在88—1150 μm 之间,春、夏、秋季总含碳量范围分别为0.5—17.1、0.2—8.6、0.6—302.1 mg;潮间带底栖生物去灰分干重(AFDW)在18.8—376.9之间,春、夏、秋季总含碳量范围分别为12.5—253.6 mg、5.7—130.9 mg、20.6—136.2 mg;游泳生物个体质量在3—2656 g之间,春、秋季总含碳量范围分别为1.1—105.9 g、1.4—38.5 g。

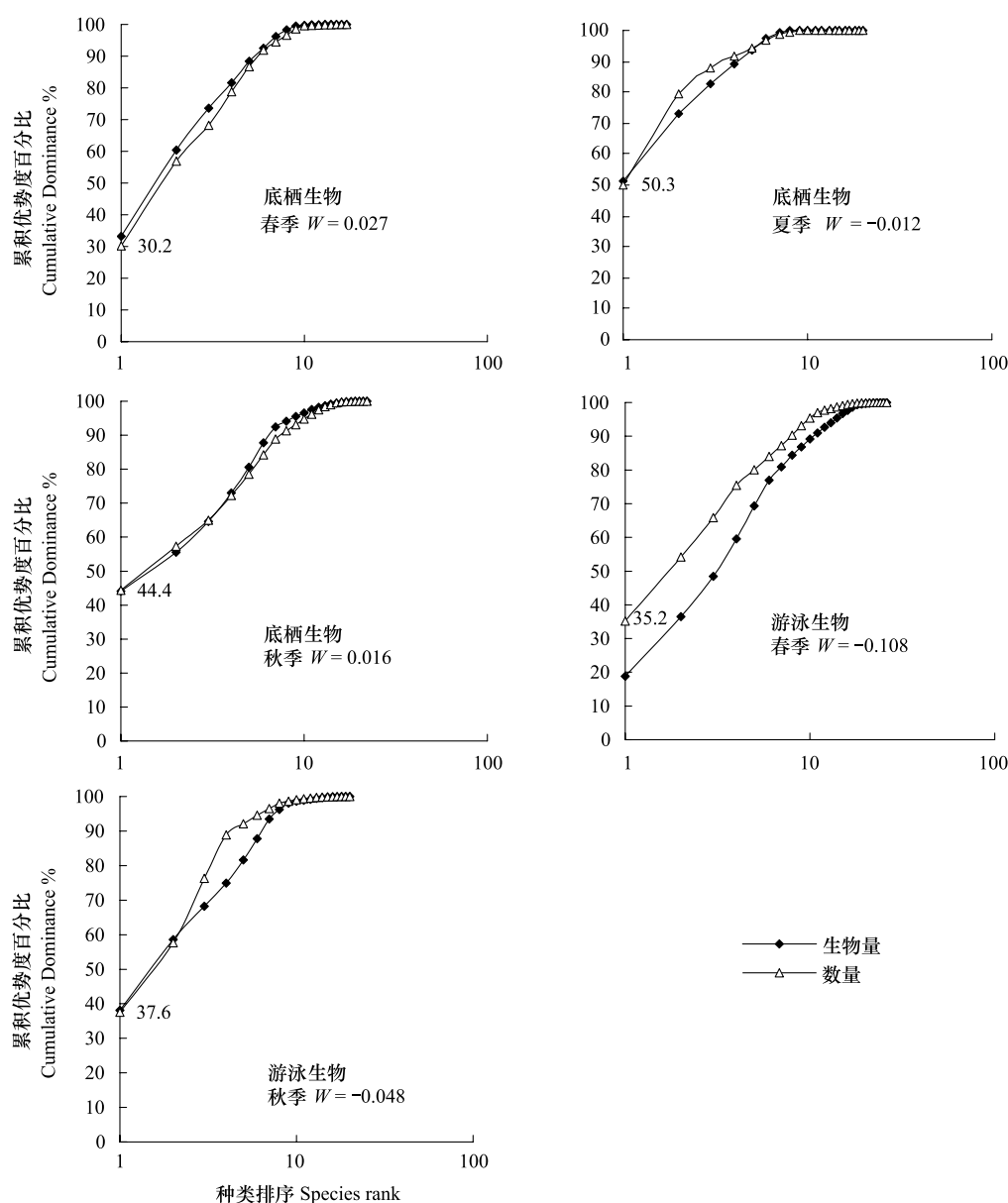


图3 各季节底栖与游泳生物群落的 ABC 曲线以及 W 统计值

Fig. 3 ABC curves and W value of macrobenthos and nekton community each season

各群落的标准生物量谱及线性回归的参数值见图 4 和表 4。除浮游植物群落和夏季的潮间带底栖生物标准生物量回归谱线相关性未达显著水平 ($P > 0.05$), 其他谱线各个季节回归相关性均达极显著水平 ($P < 0.01$)。除浮游植物群落, 其他 3 个群落标准化生物量谱线性回归的斜率均小于 -1, 说明鸭绿江口近岸海域浮游植物群落的生物量随着粒级的增加而逐渐增加, 而浮游动物、潮间带底栖生物和游泳生物群落的生物量随着粒级的增加不呈均匀分布, 而是随着体重的增加生物量逐渐减少。从季节变化看, 各群落夏季谱线斜率普遍偏高, 而秋季偏低, 说明夏季小个体的生物在数量和生物量上占优势, 具有较高的生产力, 生态转换效率相对较快, 而秋季反之。

2.5 群落稳定性

ABC 曲线法具有生态学中 r -选择和 k -选择策略的理论基础, 在稳定的状态下, 群落主要是以 k -选择种类 (生长慢、性成熟晚的大个体种类) 为主, 生物量曲线位于数量曲线之上。随着外界胁迫的增加, k -选择物种的生物量 (或数量) 逐渐减少, r -选择物种的生物量 (或数量) 则逐渐增加, 当处于不稳定的状态时, 两条曲线将

相交;当群落逐渐变为由 r -选择的物种(生长快、个体小的种类)为主,此时生物量曲线在数量曲线之下,则表明群落处于不稳定的状态。因此,ABC 曲线法可比较分析不同时期,不同胁迫情况下群落的响应^[4-5,25]。

表 2 各生物群落第一优势种*

Table 2 The first dominant species of each biotic community

生物群落 Biotic community	种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
浮游植物 Phytoplankton	巨圆筛藻 <i>Coscinodiscus gigas</i>	B	B	B
	柔弱伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>		A	
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	A		
	拟脆杆藻 <i>Fragilariopsis</i> sp.			A
浮游动物 Zooplankton	桡足类幼体 Copepodite larva			AB
	桡足类无节幼体 Nauplius larva	A	A	
	奥氏纺锤水蚤 <i>Acartia omori</i>	B		
	火腿镖水蚤 <i>Pseudodiaptomus poplesia</i>		B	
底栖生物 Macrobenthos	泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	AB	AB	AB
游泳生物 Nekton	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	B	—	B
	叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	A	—	
	多鳞鳊 <i>Sillago sihama</i>		—	A

* 表中“A、B”分别表示数量、生物量第一优势种;“—”表示未调查

表 3 各生物群落多样性水平统计参数

Table 3 The statistical parameter of diversity level of each biotic community

生物群落 Biotic community	统计参数 Statistical parameter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
浮游植物 Phytoplankton	DFDS/% ^①	69.6	92.9	29.2
	k -dominance<90% ^②	2	0	14
浮游动物 Zooplankton	DFDS/%	33.9	43.0	44.0
	k -dominance<90%	6	7	5
底栖生物 Macrobenthos	DFDS/%	30.2	50.3	44.4
	k -dominance<90%	5	3	7
游泳生物 Nekton	DFDS/%	35.2	—*	37.6
	k -dominance<90%	7	—*	4

①第一优势种的优势度(Dominance of first dominant species)②累积 k -优势度<90% 的种类数; * “—”表示未调查

表 4 各生物群落标准生物量谱回归分析的参数值

Table 4 Descriptive statistics for normalized biomass size spectra of each biotic community each season

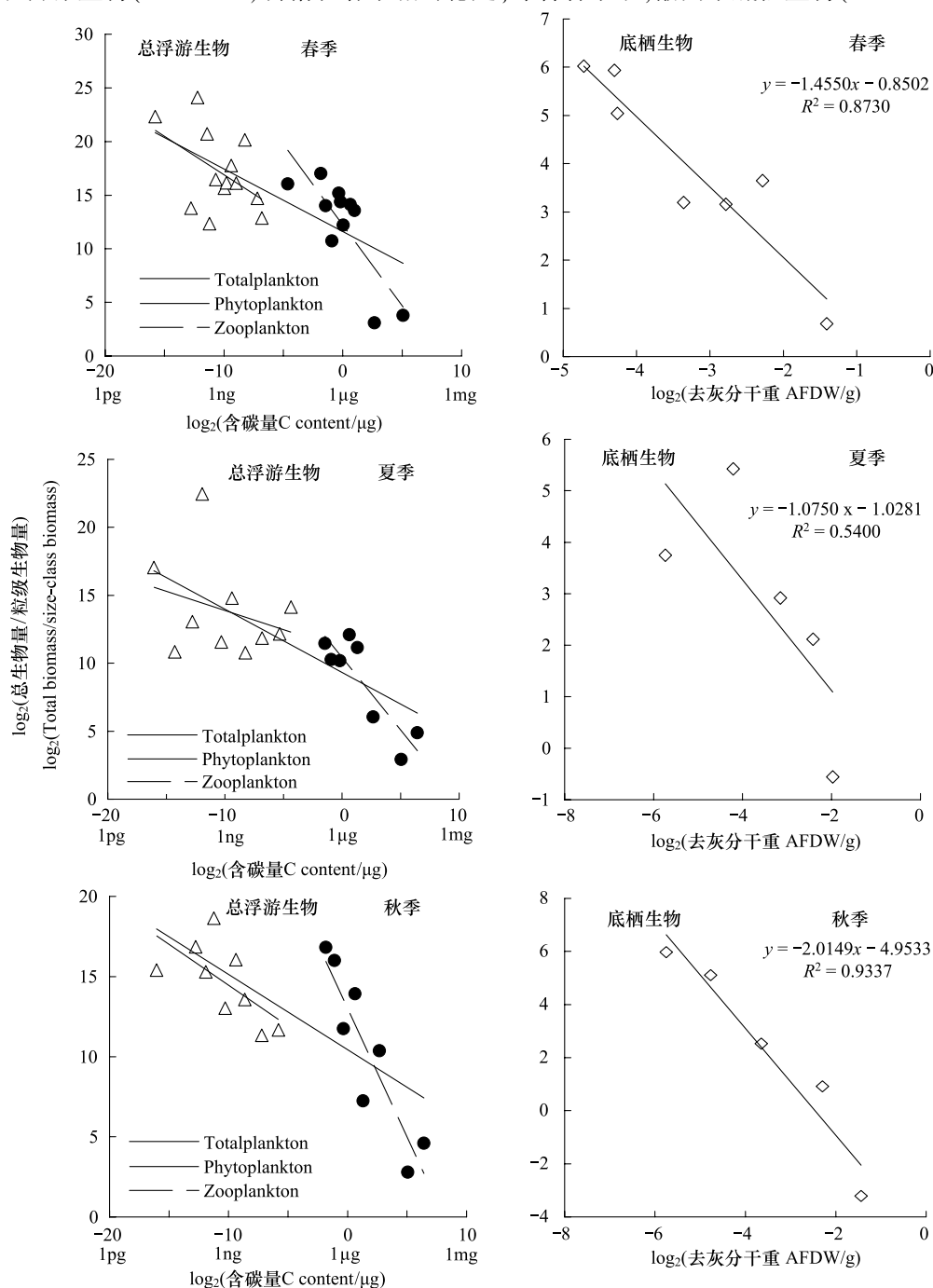
生物群落 Biotic community	季节 Season	斜率 Slope	截距 Intercept	相关系数 r^2 Correlation	剩余方差 Residual variance
浮游植物 Phytoplankton	春季	-0.7158	9.7603	0.2263	11.32
	夏季	-0.2813	11.0703	0.0910	13.24
	秋季	-0.5102	9.3610	0.4160	3.97
浮游动物 Zooplankton	春季	-1.5078	12.2060	0.6526**	8.36
	夏季	-1.0693	10.4430	0.7606**	3.37
	秋季	-1.6023	13.0130	0.8219**	5.59
总浮游生物 Totalplankton	春季	-0.5846	11.6130	0.5027**	11.86
	夏季	-0.4656	9.3171	0.5318**	9.46
	秋季	-0.4695	10.4450	0.5268**	9.81
底栖生物 Macrobenthos	春季	-1.4550	-0.8502	0.8730**	0.54
	夏季	-1.0750	-1.0281	0.5400	2.99
	秋季	-2.0149	-4.9533	0.9337**	1.19
游泳生物 Nekton	春季	-1.7712	11.6083	0.7596**	5.36
	秋季	-2.9352	16.3694	0.7877**	6.91

** 相关极显著, $P < 0.01$

粒径谱理论可用于评估外部胁迫对生态群落的效应,其标准生物量谱的斜率、截距、回归相关系数、谱线剩余方差可用于表征生物群落的粒径结构,指示生态系统健康与稳定状况。处于理论上稳定状态的生物群落的标准生物量谱的线性回归斜率为 -1.22 (以含碳量为单位)和 -1 (以体积或重量为单位),斜率偏离理论值的程度、围绕谱线的剩余方差和回归直线的相关系数表征了群落偏离稳定状态的程度^[8,26-27]。

表5筛选用于表征群落偏离稳定状态程度的4个参数,构建了鸭绿江口近岸海域生物群落稳定性的评估模型。其中 W 为ABC曲线的统计值,并对其进行单个群落归一化处理; $K\chi^2$ 为标准生物量谱线性回归斜率与理论斜率比较的 χ^2 值; r^2 为标准生物量谱的回归直线相关系数; s^2 为围绕谱线的剩余方差,并对其进行单个群落归一化处理。稳定系数(SF)为各参数的平均值,总稳定系数(TSF)为各 SF 的平均值。

测算结果为,浮游植物($SF=0.29$)和浮游动物($SF=0.27$)群落在秋季相对稳定,而潮间带底栖生物($SF=0.43$)和游泳生物($SF=0.01$)群落在春季相对稳定;综合各季节,潮间带底栖生物($SF=0.22$)群落最稳



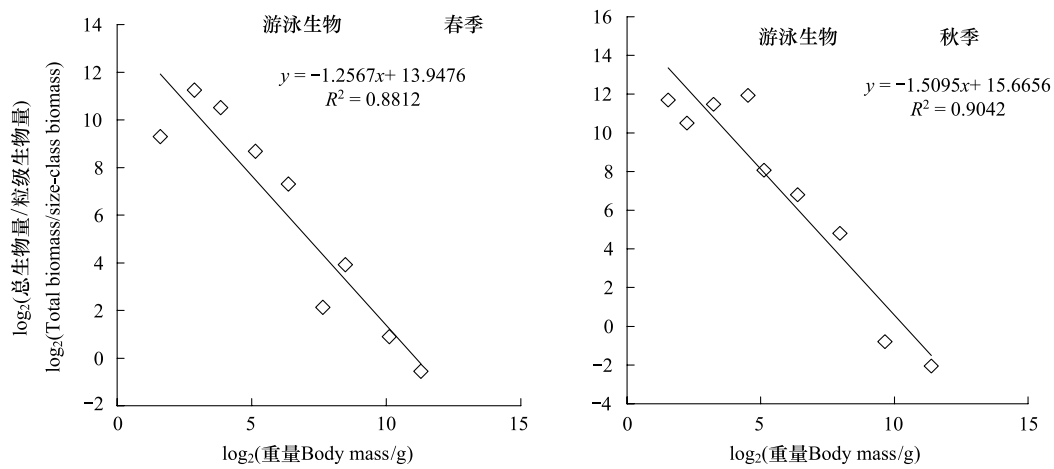


图4 各生物群落的标准生物量谱季节变化

Fig.4 Normalized biomass size spectra seasonal variation of each biotic community

定,游泳生物($SF = -0.35$)群落最不稳定;综合各群落,总稳定系数($TSF = 0.06$)远低于参照理论值($RF = 0.40$),说明鸭绿江口近岸海域生物群落稳定性较差,受外界干扰较严重。

表5 生物群落稳定性评估模型

Table 5 Assessment model of biotic community

生物群落 Biotic community	季节 Season	W	$K-\chi^2$	r^2	s^2	稳定系数 SF Stability factor
浮游植物 Phytoplankton	春季	-0.10	-0.21	0.23	0.27	0.05
	夏季	-0.29	-0.72	0.09	0.20	-0.18
	秋季	0.61	-0.41	0.42	0.53	0.29
浮游动物 Zooplankton	春季	-0.11	-0.07	0.65	0.18	0.16
	夏季	-0.86	-0.02	0.76	0.47	0.09
	秋季	0.04	-0.12	0.82	0.34	0.27
底栖生物 Macrobenthos	春季	0.49	-0.21	0.87	0.55	0.43
	夏季	-0.22	-0.01	0.54	0.03	0.09
	秋季	0.29	-1.03	0.93	0.41	0.15
游泳生物 Nekton	春季	-0.69	-0.59	0.76	0.56	0.01
	秋季	-0.31	-3.74	0.79	0.44	-0.71
总稳定系数 TSF Total stability factor						0.06
参照值 RV Reference value						0.40

2.6 环境胁迫因子筛查

海水及沉积物环境因子综合污染指数见图5、图6。其中海水环境的主要胁迫因子为溶解态无机氮(DIN)和无机磷(DIP),3个季节其含量均超出二类海水水质标准;沉积物环境质量相对乐观,其污染因子含量均符合一类沉积物质量标准要求。

3 讨论

生物群落的稳定性与物种多样性和关键种有关,其概念包含弹性和抗性两方面含义。ABC曲线法的原理是基于Connell的中度扰动假说和Huston的种类多样性假说,可比较分析不同时期,不同胁迫情况下群落的响应^[4-5]。标准生物量谱的各项参数可用于表征外部胁迫对生态群落的影响程度。任何生物种群都具有相对稳定性,表现在种群的变动具有一定的上限和下限,还可能有一个长时间的平均水平(时滞)。当种群密

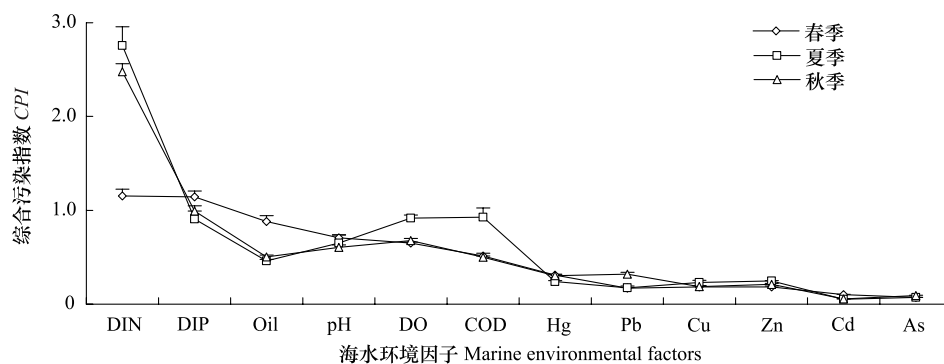


图5 海水环境因子综合污染指数季节变化

Fig. 5 Integrated pollution index seasonal variation of marine environmental factors

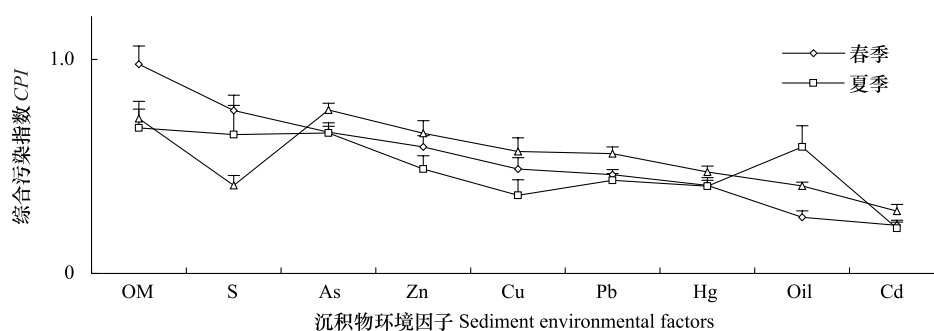


图6 沉积物环境因子综合污染指数季节变化

Fig. 6 Integrated pollution index seasonal variation of sediment environmental factors

度离开平均水平上升或下降时,就有一种使种群密度重返原来水平的倾向。并且种群数量上升或下降越剧烈,这种反馈调节也越显著。在稳定的环境下,群落主要以 k -对策者为主,随着外界胁迫的增加,群落逐渐转为 r -对策者控制^[28]。鸭绿江口近海生物群落因其特殊的地理位置经受各种各样的干扰,包括自然界的干扰(气候、河流、风浪、海冰)、人类的干扰(海洋工程、陆源排污、养殖捕捞)、候鸟的干扰(摄食)以及群落间的干扰等等。温带、亚热带河口和海岸是鸕鹚类迁徙的主要中途停歇地,停歇地食物的多样性、丰度、生物量和生态稳定性直接影响到鸕鹚类的迁徙。鸭绿江口滨海湿地生物群落结构相对简单,优势种演替明显,受外界环境干扰较大。与1980—1981年的调查结果对比^①,目前许多种群明显退化或消失。20世纪80年代调查的日本镜蛤(*Dosinorbis japonica*)、薄片镜蛤(*Dosinia laminata*)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*)、长竹蛏(*Solen strictus*)等自然优势种群目前已经很难采集到,红带织纹螺和托氏昌螺等自然种群年退化率也超过3.3%。而生态位宽度最大的底上生物——泥螺已演替为主要优势种。分析原因,20世纪80年代初期至90年代末期(1985—1997年)是该地区对虾养殖兴旺时期,围垦的虾圈挤占了大部分高潮带和中潮带,底栖生物群落结构发生改变。对虾养殖的兴起,使得养殖者到滩涂上大肆掠取小型贝类作为对虾饵料,导致一些优势种类大量减少,贝类养殖池塘大量用药和排水也导致滩涂底栖生物部分种群退化,而泥螺借助当时利用率较低、敌害生物较少、繁殖力较强、生态位较宽等优势因素,为后期繁衍提供了发展空间^[2,29]。

春季,由于光照充足、温度适宜和营养盐的蓄积给浮游植物生长带来了有利条件,使得中肋骨条藻、加拟星杆藻等以 r -对策者为主的小个体细胞迅速繁殖,导致群落偏离平衡点;夏季,海水营养盐不断从陆源通过河流得到补充,数量优势被柔弱伪菱形藻代替,群落逐渐向平衡点恢复;到了秋季,由于营养盐消耗大于补充,以

① 1986年辽宁省海岸带和海涂资源综合调查报告集—潮间带生物调查报告(内部)

r -对策者为主的小个体细胞逐渐被 k -对策者圆筛藻和脆杆藻、梭角藻等大个体细胞演替,群落完成反馈调节,恢复到平衡点。同样,浮游动物由于浮游植物较高的能量供应而大量繁殖,小型植食性桡足类(无节)幼体全年一直处于较高优势水平,但较高的食物量使得消费者的消化率降低,生态效率转换相对较慢(图 4 中浮游动物谱线斜率较浮游植物为低)。

潮间带底栖生物群落结构相对简单,主要以双壳类、腹足类和多毛类为主,优势种演替明显,系统具有低多样性低密度的特点,从 ABC 曲线和标准生物量谱分析结果来看,底栖生物群落在夏季受外界扰动较大,主要是由于北迁涉禽鸕鹚类的摄食影响,江户明樱蛤、青蛤(幼体)和长吻沙蚕是鸕鹚类的主要食物来源,斑尾塍鹚、大滨鹚、黑腹滨鹚到达鸭绿江停歇地时体重大约为 240、130、50 g,离开时体重大约为 480、240、80 g,体重增加近 1 倍^①。鸕鹚类北迁高峰期(4 月下旬—5 月中旬)对潮间带饵料生物影响较显著,秋季在迁徙高峰期之后,饵料生物量逐渐得到恢复,群落逐渐趋向稳定。泥螺作为优势种,生态位最宽,全年一直控制第一优势种地位,但因体表分泌一种毒性粘液而不被鸕鹚类取食,人类只是选择大规格采捕,其较强的繁殖力使种群数量一直维持较高的水平^[2]。

渔业生态系统结构和功能的退化是近几十年来发生在黄海北部海域的普遍现象,鱼类群落内种类组成由大个体、性成熟晚、高营养级的鱼类向小型、周期短、生长快的种类转变^[30]。鸭绿江口近岸海域游泳生物小型种类比例较高,近 80% 种类个体质量不足 100 g,系统中生物量优势却依靠个体质量不足 50 g 的黄鲫维持,而稍大型鱼类(蓝点马鲛、鲈、花鲈、扁颌针鱼、鲮、白姑鱼、小带鱼)春、秋季数量仅占 1.31%、1.93%,生物量仅占 3.46%、5.77%。

标准生物量谱印证了游泳生物群落主要以小型个体为主,稳定性评估结果也显示了鸭绿江口近岸海域游泳生物群落已处于严重失衡状态。

鸭绿江口近岸海域生物群落 3 个季节的 ABC 曲线特征虽有不同,但从 W 统计量来看,浮游动、植物群落在春夏季受外界扰动较大,潮间带底栖生物群落在夏季受外界扰动较大,而游泳生物群落始终处于不稳定状态;而标准化生物量谱的斜率、谱线剩余方差和回归直线的相关系数特征同样印证了上述结果;本文最后构建的群落稳定性评估模型测算结果与上述分析结论基本一致,这也验证了该评估模型具有一定的有效性与实用性。综合以上分析结果,说明鸭绿江口近岸海域生物群落稳定性较差,受外界干扰比较严重。环境胁迫因子筛查表明,海水无机氮和无机磷是影响鸭绿江口海域生物群落稳定性的环境因素,其主要来源于鸭绿江和大洋河等 7 条河流的陆源输入以及海水养殖。

致谢:辽宁省海洋水产科学研究院田金、吴金浩、王召会、李楠、赵海勃、李爱、杨爽等在外业调查、样品采集、化验分析过程中给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Zhao H, Li D C. The current situation and protection measure of wading birds resource in Yalujiang River Wet Land. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2007, 25(6): 31-33.
- [2] Song L, Yang G J, Li A, Wang N B. A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(24): 7500-7510.
- [3] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [4] 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.
- [5] Qu F Y, Yu Z S, Sui J X, Liu W X, Zhang Z N. The limitations of abundance biomass comparison method. *Marine Sciences*, 2009, 33(6): 118-121.
- [6] Sheldon R W, Parkash A, Sutcliffe W H. The size distribution of particles in the ocean. *Limnology and Oceanography*, 1972, 17(3): 327-340.
- [7] Boudreau P R, Dickie L M, Kerr S R. Body-size spectra of production and biomass as system-level indicators of ecological dynamics. *Journal of Theoretical Biology*, 1991, 152(3): 329-339.

① 与复旦大学马志军教授和蔡志阳博士的个人交流

- [8] Zhou L B, Tang Y H, Huang L M, Lian X P. The advances in the aquatic particle/biomass size spectra study. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (12): 3319-3333.
- [9] Sun J, Liu D Y, Qian S B. Study on phytoplankton biomass I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(2): 75-85.
- [10] Strickland J D H. The Ecology of the plankton off La Jolla, California: in the period April through September, 1967. California: University of California Press, 1970: 33-42.
- [11] Bai X E, Wang W X. Measurements of the individual weight of plankton in Po-Hai and Yellow sea. *Journal of Fisheries of China*, 1966, 3(2): 142-149.
- [12] Uye S I. Length-Weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. *Journal of the Oceanography Society of Japan*, 1982, 38(3): 149-158.
- [13] Rodriguez J, Mullin M M. Relation between biomass and body weight of plankton in a steady state oceanic ecosystem. *Limnology and Oceanography*, 1986, 31(2): 361-370.
- [14] Iguchi N, Ikeda T. Elemental composition (C, H, N) of the euphausiid *Euphausia pacifica* in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Plankton Biology and Ecology*, 1998, 45(1): 79-84.
- [15] Ikeda T, Shiga N. Production, metabolism and production/biomass (P/B) ratio of *Themisto japonica* (Crustacea: Amphipoda) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(2): 299-308.
- [16] Satapoomin S. Carbon content of some common tropical Andaman Sea copepods. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(11): 2117-2123.
- [17] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971, 152: 1-105.
- [18] Zuo T, Wang J, Jin X S, Li Z Y, Tang Q S. Biomass size spectrum of net plankton in the adjacent area near the Yangtze River Estuary in spring. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1174-1182.
- [19] Hua E, Zhang Z N. Benthic organism biomass size spectra in Huanghe River adjacent waters. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39 (5): 971-978.
- [20] Xu C L, Xu B D, Ren Y P, Xue Y, Ji Y P. The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 5071-5080.
- [21] Brey T. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. *Archive of Fishery and Marine Research*, 1990, 32(4): 329-343.
- [22] Sun J, Liu D Y. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China seas waters. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(3): 271-286.
- [23] Ellis J R, Rogers S I, Freeman S M. Demersal assemblages in the Irish Sea, St George's Channel and Bristol Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(3): 299-315.
- [24] Platt H M, Shaw K M, Lamshead P J D. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environment perturbations. *Hydrobiologia*, 1984, 118(1): 59-66.
- [25] 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.
- [26] Boudreau P R, Dickie L M, Kerr S R. Body-size spectra of production and biomass as system-level indicators of ecological dynamics. *Journal of Theoretical Biology*, 1991, 152(3): 329-339.
- [27] Platt T, Denman K. The structure of pelagic marine ecosystems Rapp. P. -v. Réun, Cons. perm. int. Explor, Mer, 1978, 173: 60-65.
- [28] Shen G Y, Huang L F, Guo F, Shi B Z. *Marine Ecology*. Beijing: Science Press, 2010.
- [29] Jing K. *Stopover Ecology of Shorebirds in Chongming Dongtan, Shanghai* [D]. Shanghai: Fudan University, 2005.
- [30] Song L, Wang N B, Dong J, Zhang Y F, Wen Q. Impact of fishing on fishery ecosystem: a case study in Changshan archipelago area. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1578-1584.

参考文献:

- [1] 赵虹, 李大成. 鸭绿江口湿地涉禽资源现状及保护措施. *中国资源综合利用*, 2007, 25(6): 31-33.
- [2] 宋伦, 杨国军, 李爱, 王年斌. 鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究. *生态学报*, 2011, 31(24): 7500-7510.
- [4] 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.
- [5] 曲方圆, 于子山, 隋吉星, 刘卫霞, 张志南. 丰度生物量比较法应用局限性. *海洋科学*, 2009, 33(6): 118-121.
- [8] 周林滨, 谭烨辉, 黄良民, 连喜平. 水生生物粒径谱/生物量谱研究进展. *生态学报*, 2010, 30(12): 3319-3333.
- [9] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 浮游植物生物量研究 I. 浮游植物生物量细胞体积转化法. *海洋学报*, 1999, 21(2): 75-85.
- [11] 白雪娥, 王为祥. 渤、黄海浮游生物个体重量的测定. *水产学报*, 1966, 3(2): 142-149.
- [18] 左涛, 王俊, 金显仕, 李忠义, 唐启升. 春季长江口邻近外海网采浮游生物的生物量谱. *生态学报*, 2008, 28(3): 1174-1182.
- [19] 华尔, 张志南. 黄河口邻近海域底栖动物粒径谱研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(5): 971-978.
- [20] 张崇良, 徐宾铎, 任一平, 薛莹, 纪毓鹏. 胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化. *生态学报*, 2011, 31(17): 5071-5080.
- [22] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. *海洋与湖沼*, 2002, 33(3): 271-286.
- [28] 沈国英, 黄凌风, 郭丰, 施并章. *海洋生态学*. 北京: 科学出版社, 2010: 66-112.
- [29] 敬凯. *上海崇明东滩鸕鹚类中途停歇生态学研究* [D]. 上海: 复旦大学, 2005.
- [30] 宋伦, 王年斌, 董婧, 张玉凤, 温泉. 捕捞对长山群岛海域渔业生态系统的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(8): 1578-1584.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《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,探索自然奥秘,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 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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