

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **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 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燚,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
芑对黑麦草根茎几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

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

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.

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.

鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究

宋 伦^{1,*}, 杨国军², 李 爱¹, 王年斌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:鸭绿江口湿地是鸕鹚类在东亚—澳大利亚北迁路线上的最重要停歇地, 潮间带上的双壳类、腹足类、多毛类等底栖动物为鸕鹚类提供了能量保障。2010 年 3 月—2011 年 6 月对鸭绿江口潮间带的生物生态进行了调查研究。研究表明, 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。鸕鹚类能量补充来源相对匮乏, 饵料生物量的更新速度较慢, 所提供的能值也相对较低, 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。鸕鹚类主要集中在低潮带下区觅食, 在北迁高峰期对低潮带下区饵料生物影响较显著, 尤其对江户明樱蛤丰度影响最明显。泥螺作为优势种, 生态位最宽, 分布于整个调查断面和潮带, 但因体表分泌一种毒性粘液而不被鸕鹚类取食。饵料生物的种群补充能力较强, 在鸕鹚类迁徙高峰期之后, 饵料丰度和生物量又会恢复到正常水平。虽然目前人类对鸕鹚类的威胁显现较小, 但使人类—生态系统—滨鸟之间持续和谐统一, 必须综合考量鸭绿江口湿地包括人类在内的生态系统各关键组分之间的生态关联, 兼顾生态系统的完整性和人类社会经济发展的可持续性。

关键词:鸕鹚类; 生物生态; 摄食压力; 鸭绿江口; 潮间带; 迁徙停歇地

A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands

SONG Lun^{1,*}, YANG Guojun², LI Ai¹, WANG Nianbin¹

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

2 Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

Abstract: The Yalu River Estuary National Wetland Nature Reserve is the last stopover area for migratory shorebirds flying north on the East Asian-Australasian and West Pacific flyways. Each year, more than 500,000 migratory shorebirds stop here to rest and forage, especially wading birds on the East Asia-Australian flyway. Long-distance migratory waders need to accumulate energy rapidly at stopover sites to ensure successful migration and reproduction. They mainly rely on polychaetes, bivalves, gastropods and crustaceans on the intertidal zone as a food source to renew their energy reserves. Human activities directly impact intertidal biological communities. Hydropower, human-caused changes to the physicochemical environment, sediments and other ecological factors influence the stability of ecological systems like estuaries and the energy supply available to birds at stopover sites. From March 2010 to June 2011, an ecological investigation was conducted on the Yalu River estuary wetland. The results show that the structure of biological community is relatively simple, dominated by bivalves, gastropods and polychaetes, and these dominant species have obviously undergone ecological succession. The estuary has low species diversity, and the species have low density populations. The wading birds forage on relatively poor sources of energy, while the biomass of the forage species renews slowly and provides

基金项目:海洋公益性行业科研专项(201005018);世界自然基金(10000866);中国近海海洋综合调查与评价-908 辽宁专项(LN-908-01-03-06)

收稿日期:2011-07-05; **修订日期:**2011-10-31

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

a comparatively low level of energy. *Moerella jedoensis*, *Cyclina sinensis* (larva) and *Glycera chirori* are the main food species. The food organisms in the low tidal areas are significantly impacted by the migratory birds, especially *M. jedoensis*, because the foraging activities of wading birds are mainly concentrated on the low tidal areas during the peak of the northward migration. *Bullacta exarata*, thought to be the dominant species with the widest ecological distribution and distributed across the entire study area and tidal zone, is excluded by the waders as a food source since they excrete toxic mucus on their body surface. The food organisms are capable of recovering their former abundance and biomass after the peak period of the wading bird migration. The intertidal biological community structure has obviously undergone succession in the past 30 years as a result of human-caused changes. The dominant species with the widest niche breadth, *B. exarata*, is distributed throughout the area of investigation and its cross-sections and tidal zone, but its surface secretes toxic mucus making it inedible to the wading birds. This succession has reduced the food sources and energy available to wading birds as the non-food organisms gradually replaced food organisms. If the wading birds do not obtain enough energy during migration, the success rate of their spring migration will gradually decline, creating a threat to the continued survival of some populations. The disappearance of specific food organisms may also accelerate the rate of extinction for some endangered waders. Large-scale reclamation and coastal engineering from the 1960s to the 1990s resulted in a serious loss of habitat and in structural damage to tidal communities in the high and middle tide belts. This caused some species to disappear or to be forced to move to the subtidal zone. Also, ponds and beach farming have long been using drugs to eliminate organisms harmful to shellfish, which has inadvertently significantly reduced the number of beach species. Frequent disturbance of the substrate in the estuary and the deposition of fine sandy sediments are additional factors in the decline of zoobenthos populations. Finally, while humans were not observed to cause direct significant threats to wading birds, all components of the ecological system, including human, must be considered to harmoniously preserve the integrity of Yalu River estuary wetland ecosystem while maintaining sustainable development for society and human economic concerns.

Key Words: wading shorebirds; bio-ecology; grazing pressure; Yalu River estuary; intertidal flat; stopover site

鸭绿江口湿地国家级自然保护区是北迁涉禽的最后停歇地,每年支持超过 50 万只迁徙涉禽在这里停歇觅食,其中东亚-澳大利亚鸕鹚类是迁徙的主要种群^[1]。为保证迁徙和繁殖的顺利进行,长距离迁徙的鸕鹚类需要在迁徙停歇地快速地积累能量^[2-6]。鸕鹚类主要以潮间带的多毛类、双壳类、腹足类、甲壳类等无脊椎动物为补充能量的主要食物来源^[7-9]。水文动力、理化环境、底质类型等生态因子和人类活动都直接影响着潮间带的生物群落^[10-11],进而间接影响鸕鹚类迁徙停歇地的生态系统稳定性与能量供给水平。

目前,国内外对鸕鹚类的研究主要涉及种群结构、食性、食物分布、觅食策略、生境选择与干扰等方面^[9,12-16],而对迁徙停歇地的生物群落稳定性、优势种演替、能量供给以及摄食压力等方面仍缺乏研究。随着鸭绿江口湿地保护区东西两侧港口的快速开发以及朝鲜黄金坪经济区规划建设,势必会影响鸭绿江口潮间带生物群落的稳定性。因此,通过分析鸭绿江口潮间带的生物群落特征、时空分布、生态位、优势种演替、能量供给与更新、鸕鹚类摄食压力等方面内容,探讨鸕鹚类—底栖生态系统—养殖者三者之间的生态关联,可以有效评估和保护迁徙停歇地的生态功能,为潮间带湿地生态系统的保护管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究地点

鸭绿江口滩涂湿地位于黄海海岸线的最北端,地理位置在 123°31'—124°09'E, 39°40'—40°40'N 之间(图 1)。保护区面积 1010 km²,潮间带面积大约占 20%,平均宽度约 5 km,滩面平缓,平均坡度 1.3‰。该区底质较为简单,均为软相的泥沙生态岸相。保护区东西两侧的鸭绿江和大洋河流域,为底栖贝类的饵料生物携带了大量的营养盐和有机物。优良的滩涂环境为鸕鹚类停歇和能量补充提供了重要场所。2010 年调查统

计鸻鹬类为 176535 只,其中斑尾塍鹬(*Limosa lapponica*)、大滨鹬(*Calidris tenuirostris*)和黑腹滨鹬(*Calidris alpina*)为优势种群,占总数量的 92.6%。

1.2 调查方法

2010 年 3 月(春)、6 月(夏)、9 月(秋)在鸭绿江口潮间带设置 5 条断面,在大潮期间进行潮间带生物调查(图 1),站位采用网格化设置,每个断面在中潮带和低潮带上、下区分别设置 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)。2011 年 3 月、4 月、6 月(鸻鹬类迁徙前、中、后期^[1])在 D 断面进行了鸻鹬类摄食压力调查。在中潮带和低潮带上、下区共设置 20 个站位(平行于岸线设置 5 条断面,平均间距 500 m,垂直于岸线设置 4 条断面,平均间距 300 m)。调查使用 GPS 精确定位,以保证后续调查位置的一致性。

调查和分析方法参照国家标准《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)和《海洋监测规范》(GB17378—2007)执行。由于研究区底栖动物 95% 以上种类分布在 0—30 cm 层,虽然鸻鹬类受喙长限制只能取食 15 cm 以内的生物,但鉴于底栖动物特别是多毛类在沉积层中还具有显著的垂直运动习性^[17],因此确定采样深度为 30 cm。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)。

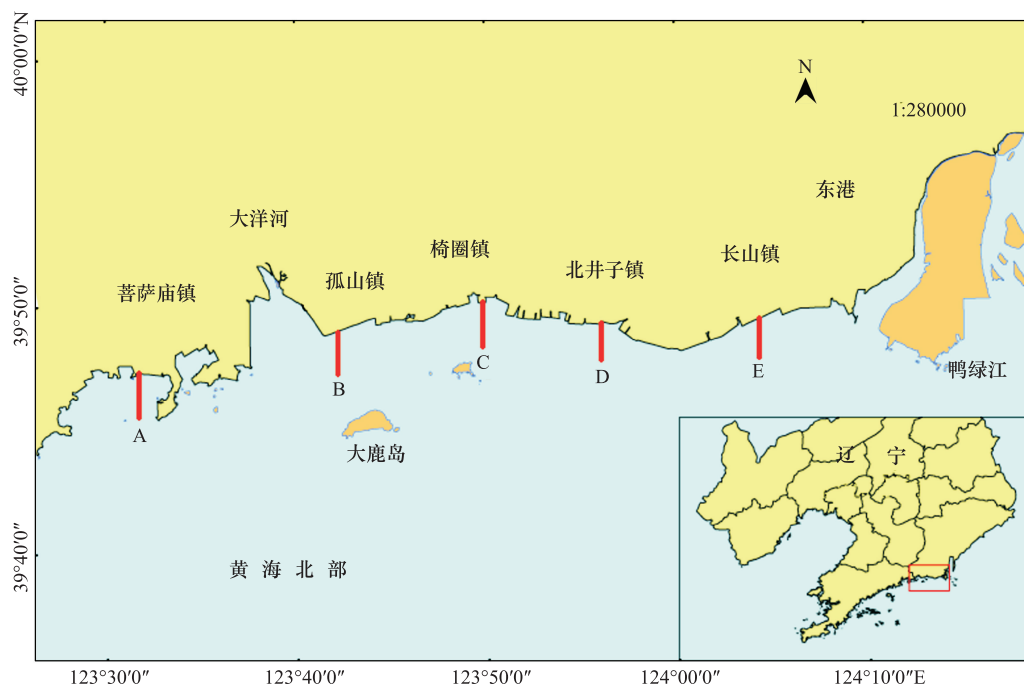


图 1 研究区位置及调查断面(A—E)示意图

Fig. 1 Research area and survey section (A—E) schematic

1.3 调查断面环境

鸭绿江口海域潮汐为正规半日潮,每日有两次涨潮和落潮过程。由于 20 世纪 60—90 年代围垦业和海岸工程兴起,占据了大部分高、中潮带(仅鸭绿江口和大洋河口剩有少量高、中潮带),面积比 50 年代(342 km²)减少了近一半,局部区域中潮带只剩下不到 300 m 的宽度。调查 A 断面位于丹东东港市菩萨庙镇南面大洋河口西侧(39°47′7.81″N, 123°31′32.16″E),中潮带沉积物为泥质,低潮带为细沙泥;调查 B 断面位于丹东东港市孤山镇南面大洋河口东侧(39°49′0.00″N, 123°42′10.71″E),中潮带、低潮带沉积物均为细沙泥;调查 C 断面位于丹东东港市椅圈镇南面獐岛北侧(39°49′44.68″N, 123°47′37.17″E),中潮带沉积物为泥质,低潮带为细沙泥;调查 D 断面位于丹东东港市北井子镇南面(39°49′22.82″N, 123°54′9.77″E),中潮带沉积物为泥质,低潮带为细沙质;调查 E 断面位于丹东东港市长山镇南面鸭绿江河口西侧(39°49′16.01″N, 124°4′8.46″E),中

潮带、低潮带沉积物均为泥质。调查区潮下带为菲律宾蛤仔养殖区。

1.4 数据分析

(1) 优势度分析采用 Berger-Parter 指数(Y):

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

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数; n_i 为第 i 种的总个体数; f_i 为该种在各样品中出现的频率。

(2) 相对重要性分析采用 Pinaka 指数(IRI):

$$IRI = (W+N)F$$

式中, W 为某种类的生物量占总生物量的百分数; N 为某种类的密度占总密度的百分数; F 为调查某种类出现的频率。生物量与密度的分析统计参照国家标准《海洋监测规范》(GB17378.7—2007)中“潮间带生物生态调查方法”。

(3) 相对多度(RA)计算公式:

$$RA = \frac{ni}{N}$$

式中, n_i 为 i 种的密度或生物量, N 为统计单元的总密度或总生物量。

(4) 物种多样性采用 Shannon-Wiener 指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中, P_i 为第 i 种生物的个体数与样本总个体数的比值; S 为种类数。

(5) 物种均匀度采用 Pielou 指数(J):

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

式中, H' 为多样性指数; S 为种类数。

(6) 单纯度(P)计算公式:

$$P = \sum_{i=1}^s \frac{N_i^2}{N^2}$$

式中, N_i 为 i 种的个体数, N 为群落的个体总数, S 为种类数。

(7) 生态位宽度(B_i)计算公式:

$$B_i = - \sum_{j=1}^N (P_{ij} \ln P_{ij}) / \ln r$$

式中, P_{ij} 为种 i 的个体数占 j 位点个体数的比例, N 为环境资源位点的总数——本研究中为 15(研究的 5 条断面 3 个季节取样,每个取样位点相当于一次环境位点)。

(8) 次级生产力分析和饵料能量估算采用 Brey 经验公式^[18]:

$$\lg P = 0.27 \lg A + 0.737 \lg B - 0.4$$

式中, P 为大型底栖动物次级生产力 [$\text{g}(\text{AFDW}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$]; A 为大型底栖动物年平均丰度 ($\text{个}/\text{m}^2$), B 为大型底栖动物年平均去灰干重生物量 [$\text{g}(\text{AFDW})/\text{m}^2$]。生物量湿重转化为干重的比例采用 5:1,干重转化为去灰干重 (AFDW) 的比例采用 10:9^[19]。湿重转换为干重 (DW, g/m^2)、去灰分干重 (AFDW, g/m^2) 和对应能值 (kJ/m^2) 参考 Brey 等提出的转换系数^[20]。 P/B 值反映了一个生态群落内物种的新陈代谢率的高低和世代更替的速度^[21],本文采用 P/B 值来衡量饵料生物量的年更新速度。

采用 t 检验(成对双样本均值分析),对潮间带生物的密度与生物量进行季际显著性变化分析和鸕鹚类饵料生物丰度、生物量的月际显著性变化分析。对上述公式的计算和数据处理、分析均通过 Microsoft Excel 和 SPSS 13.0 软件完成。

2 结果

2.1 鸭绿江口潮间带生物群落结构

3 次调查共检出潮间带生物 29 种(表 1),隶属 8 门 8 纲 16 目 24 科 27 属,其中包括人工投苗养殖生物 5

种,自然繁殖非采捕物种有 18 种。群落结构以软体动物最多,占总种数的 52.00%。栖息空间主要为底内型,占总种数的 75.86%。根据查阅相关文献^[7-9,22]结合现场观察分析,推测鸭绿江口潮间带可被鸕鹚类取食的底栖生物共有 24 种(表 1)。

研究区潮间带生物春、夏、秋季密度平均相对多度依次为 0.30、0.30、0.40,生物量平均相对多度依次为 0.34、0.27、0.39。纵向密度平均相对多度春(0.50)、夏(0.39)为低潮带下区最高,秋季为低潮带上区最高(0.42);生物量平均相对多度(春 0.39、夏 0.41、秋 0.50)均为低潮带下区最高;横向密度平均相对多度(春 0.75、夏 0.75、秋 0.92)和生物量平均相对多度(春 0.62、夏 0.73、秋 0.91)以 D 断面(北井子镇)最高;从季节变化来看,春→夏→秋总密度和总生物量呈先降后升的趋势,但变化均不显著($t=0.687, P>0.05$)。各调查断面潮间带生物密度(个/ m^2)及生物量(g/m^2)时空分布见表 2。

表 2 各调查断面潮间带生物密度/(个/ m^2)/生物量/(g/m^2)时空分布

Table 2 The temporal and spatial distribution of each survey section of the intertidal zone density/biomass

调查断面 Survey section	春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn		
	M	Lu	Ll	M	Lu	Ll	M	Lu	Ll
A	33.89	69.09	95.85	37.71	39.61	29.62	5.47	5.09	18.67
	/21.46	/28.83	/9.14	/14.60	/7.60	/9.90	/3.21	/6.65	/73.54
B	37.35	15.28	16.98	76.52	84.89	57.72	17.38	26.97	16.99
	/71.56	/29.66	/28.71	/101.11	/84.54	/39.12	/7.67	/22.03	/20.77
C	86.58	57.55	98.50	134.12	57.82	49.30	46.34	30.15	37.24
	/164.81	/219.42	/185.29	/62.02	/40.30	/87.00	/16.23	/14.59	/19.96
D	37.59	205.49	381.62	40.74	258.66	313.32	166.84	460.10	393.16
	/34.76	/188.33	/253.91	/11.97	/206.51	/225.74	/48.69	/371.83	/378.87
E	51.20	32.00	42.67	13.92	15.96	27.16	14.21	21.58	36.84
	/31.77	/46.45	/51.73	/7.19	/10.36	/17.45	/12.97	/9.24	/16.16
平均值 Mean	49.32	75.88	127.12	60.60	91.39	95.43	50.05	108.78	100.58
	/64.87	/102.54	/105.76	/39.38	/69.86	/75.84	/17.76	/84.87	/101.86

M:中潮带 Middle tide zone, Lu:低潮带上区 The upper part of low tide zone, Ll:低潮带下区 The lower part of low tide zone

2.2 优势物种及其生态位宽度

一般将 Berger-Parter 指数(Y) >0.02 ^[24]或 Pinaka 指数^[25](IRI) $>1,000$ 定为优势种,优势度公式只考虑了密度因素,而重要性指数增加了生物量的影响。对于研究鸕鹚类停歇地的食物贡献而言,重要性指数更具实际意义。从表 3 可见,底上型的泥螺和底内型的江户明樱蛤、青蛤在春、夏、秋季占绝对优势,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。

泥螺和长吻沙蚕生态位宽度最大,分布于整个调查断面和潮带;双管阔沙蚕主要分布在 A 断面和低潮带;宽身大眼蟹主要分布在 C、D 断面和中潮带;青蛤主要分布在 B、D 断面和中潮带;江户明樱蛤和文蛤主要分布在 D 断面和低潮带下区。

表 3 研究区潮间带生物优势种季节演替及生态位宽度

Table 3 The research area niche breadth and seasonal succession of dominant species

优势种 Dominant species	重要性指数 Index of importance			优势度 Dominance			生态位宽度 Niche breadth
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	6337.6	10175.3	2444.2	0.30	0.50	0.13	1.50
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	1419.2	740.6	1226.5	0.11	0.04	0.08	1.16
双管阔沙蚕 <i>Platynereis bicanaliculata</i>	1133.3	803.4	616.1	0.11	0.08	0.06	0.70
宽身大眼蟹 <i>Macrophthalmus dilatatus</i>	410.3	405.4	1179.6	0.02	0.02	0.02	0.64
青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>	1837.8	1195.2	1461.2	0.05	0.03	0.06	0.62
江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i>	3471.7	5069.9	8842.4	0.27	0.29	0.44	0.48
文蛤 <i>Meretrix meretrix</i>	664.5	904.2	1374.3	0.03	0.02	0.05	0.17

2.3 物种多样性分析

通过多样性、均匀度、单纯度指数分析(表4、图2、图3)可见,D断面多样性指数(1.52 ± 0.11)最高,但均匀度(0.53 ± 0.06)和单纯度(0.46 ± 0.04)最低;B断面多样性指数(1.06 ± 0.15)最低,但均匀度(0.70 ± 0.07)和单纯度(0.56 ± 0.05)最高。主要是由于D断面的多样性来自于物种多度的贡献,而优势种群的数量削弱了其均匀度和单纯度,B断面正好与之相反。除A断面,其他四条断面春→夏→秋多样性指数呈现极显著先降后升趋势(t_H (春季-夏季)=3.23, $P<0.01$; t_H (夏季-秋季)=2.84, $P<0.01$)。说明夏季研究区域潮间带某些种群受外界因素(滨鸟摄食、人为采捕等)干扰较大。

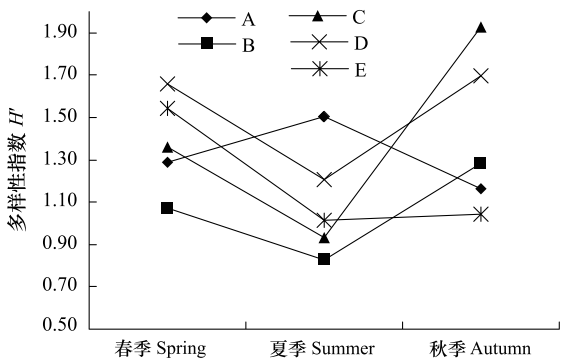


图2 各调查断面多样性指数季节变化

Fig.2 The survey section seasonal variation of diversity index

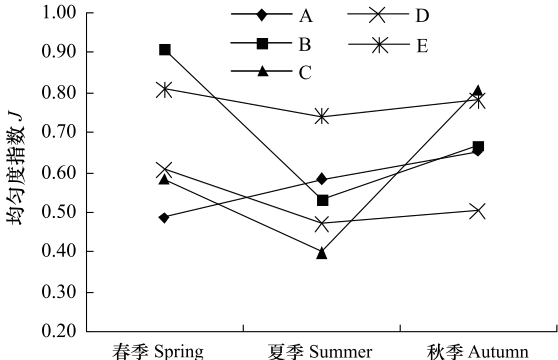


图3 各调查断面均匀度指数季节变化

Fig.3 The survey section seasonal variation of evenness index

表4 各调查断面不同生境生态指数季节变化

Table 4 The survey section different habitats of seasonal variation of ecological index

调查断面 Survey section	生境 Habitat	多样性指数(H')			均匀度指数(J)			单纯度(P)		
		春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季	春季	夏季	秋季
		Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn
A	M	1.12	1.28	1.25	0.48	0.55	0.62	0.50	0.46	0.49
	Lu	1.45	1.69	1.58	0.48	0.53	1.00	0.48	0.39	0.33
	Ll	1.28	1.55	0.66	0.50	0.67	0.33	0.50	0.38	1.00
B	M	1.32	1.11	1.02	0.83	0.48	0.64	0.44	0.56	0.55
	Lu	0.92	0.71	2.10	0.92	0.44	0.91	0.56	0.75	0.26
	Ll	0.97	0.67	0.73	0.97	0.67	0.46	0.52	0.71	0.68
C	M	1.65	0.60	1.06	0.82	0.30	0.67	0.36	0.81	0.55
	Lu	0.20	0.40	2.38	0.13	0.20	0.92	0.95	0.88	0.21
	Ll	2.24	1.80	2.34	0.80	0.70	0.83	0.24	0.37	0.21
D	M	1.99	1.59	1.78	0.86	0.80	0.56	0.30	0.38	0.38
	Lu	1.55	1.16	1.78	0.45	0.34	0.52	0.43	0.50	0.44
	Ll	1.43	0.86	1.52	0.51	0.29	0.44	0.47	0.72	0.52
E	M	0.81	1.11	1.05	0.51	0.70	0.66	0.71	0.57	0.59
	Lu	1.92	1.13	1.10	0.96	0.71	0.69	0.28	0.51	0.51
	Ll	1.91	0.81	0.99	0.95	0.81	0.99	0.28	0.63	0.51

M:中潮带 Middle tide zone, Lu:低潮带上区 The upper part of low tide zone, Ll:低潮带下区 The lower part of low tide zone

2.4 饵料生物能量估算及更新速度

许多研究表明,鸬鹚类都是广食性的,为了能在中途停歇地快速地补充能量,对取食种类的选择不太强烈,对停歇地的利用也是基于当地可利用食物种群的密度^[22,26]。由于斑尾塍鹬、大滨鹬和黑腹滨鹬在鸭绿江口停歇地占主导数量,因此只针对这3个种群进行食物利用分析。3个种群均以触觉连续觅食策略为主,视觉连续觅食策略为辅,主要取食多毛类和软体动物。根据其摄食策略及可利用规格,多毛类全部统计;双壳类

统计壳高<15 mm 部分;腹足类统计壳宽<15 mm 部分(泥螺除外,体表分泌一种毒性粘液不被鸕鹚类取食)。

从图 4、图 5 可见,低潮带下区饵料生物次级生产力(2.89 ± 2.42) g AFDW $\cdot$ m $^{-2}\cdot$ a $^{-1}$ 和对应能值(78.67 ± 67.68) kJ/m 2 最高,中潮带相对较低。D 断面的低潮带下区为饵料生物的主要贡献区域[(12.56 ± 2.34) g AFDW $\cdot$ m $^{-2}\cdot$ a $^{-1}$ 、(347.91 ± 118.01) kJ/m 2]。现场观察也证实鸕鹚类在低潮带水线附近觅食频次较高。

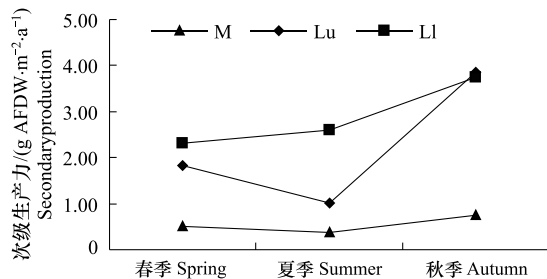


图 4 不同潮带次级生产力季节变化

Fig. 4 Different tidal zones seasonal variation of secondary production

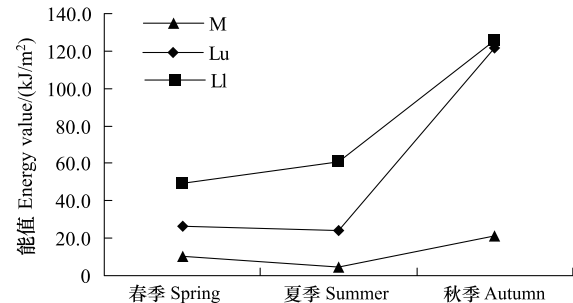


图 5 不同潮带生物能值季节变化

Fig. 5 Different tidal zones seasonal variation of biological energy value

从饵料生物量的更新速度来看,研究区 P/B 平均值(1.07 ± 0.07),说明鸭绿江口潮间带饵料生物量每年只有 1.07 次轮回,其中中潮带为 1.15 次、低潮带下区为 1.14 次、低潮带上区为 0.92 次。从断面来看,A (1.30)、B(1.18)断面更新较快,C(0.97)、D(0.98)、E(0.94)断面更新速度相差不大。优势种江户明樱蛤的 P/B 为 1.06,青蛤的 P/B 为 0.71,长吻沙蚕的 P/B 为 0.93。

2.5 鸕鹚类摄食压力分析

2011 年鸕鹚类 3 个优势种群迁徙高峰期大概是:斑尾塍鹚 3 月 28 日—4 月 28 日,大滨鹚 4 月 7 日—5 月 15 日,黑腹滨鹚 3 月 28 日—5 月 10 日。为研究鸕鹚类的摄食压力,2011 年 3 月 21—22 日、4 月 15—16 日、5 月 31 日—6 月 1 日(鸕鹚类迁徙前期、高峰期、离开)选择饵料生物最为丰富的 D 断面进行了跟踪调查。结果显示,中潮带和低潮带上区饵料丰度 3—4 月变化不显著($t_M = 0.803, P > 0.05$; $t_{Lu} = 1.048, P > 0.05$),而低潮带下区下降较显著($t_{LI} = 3.165, P < 0.05$),其中江户明樱蛤下降尤为明显(减少率 80.92%);饵料生物量 3—4 月各潮带变化均不显著($t_M = 0.329, P > 0.05$; $t_{Lu} = 1.619, P > 0.05$; $t_{LI} = 2.529, P < 0.05$)。

从饵料丰度和生物量的对数($\log_2$)散点分布图(图 6,图 7)可见,鸕鹚类对停歇地饵料生物的摄食压力在迁徙高峰(4 月中旬)达到最大,但在离开之后,饵料丰度和生物量又会恢复到正常水平,说明研究区饵料生物的种群补充能力较强。

3 讨论

3.1 鸭绿江口潮间带生物群落结构相对简单

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、密度和分布直接影响到鸕鹚类的迁徙^[22]。与热带和亚热带鸕鹚类越冬地相比,温带和热带、亚热带之间在生物量上并无显著差异,亦无明显的纬度变异。但与北温带潮间带相比,热带生物种群结构比温带更丰富^[27]。鸭绿江口潮间带位于北温带,底栖动物显示出明显的温带特色,群落主要以双壳类、腹足类和多毛类为主。

与鸕鹚类在澳大利亚西北部的 Roebuck 越冬地(底栖动物 161 个分类单元,平均密度 1287 个/m 2)、东大西洋迁徙路线上的越冬地 Banc d'Arguin^[28](底栖动物 110 个分类阶元,平均密度 1404 个/m 2)、南非 Nahoon 河口^[29](底栖动物 118 种,平均密度 5171 个/m 2)以及鸕鹚类黄海域的另一个重要停歇地—崇明东滩^[22](底栖动物 35 种,平均密度 3982 个/m 2)相比,鸭绿江口停歇地生物种群结构相对较为简单(底栖动物 29 种,平均密度 84 个/m 2),具有低多样性低密度的特点。20 世纪 60—90 年代由于大规模围垦和海岸工程兴起,高潮带和中潮带生态系统严重丧失,群落结构破坏,致使一些适宜中高潮带栖息的种群消失或被迫向潮下带移动;

另外,池塘和滩涂养殖长期使用清除贝类敌害生物(甲壳类、多毛类)的药物,是导致滩涂种群数量减少的一个重要原因;而河口底层频繁扰动和细沙底质的特性是底栖动物数量较少的自然因素^[15]。

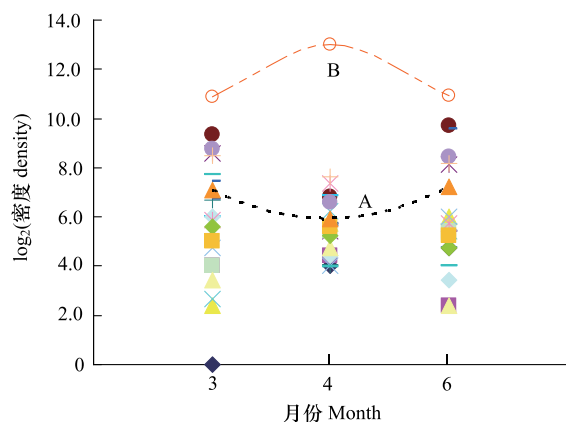


图6 鸬鹚类对饵料生物密度影响规律

Fig. 6 The influence law of shorebirds to density of food organisms

A: 饵料生物平均密度对数趋势线; B: 同步调查鸬鹚类数量对数趋势线

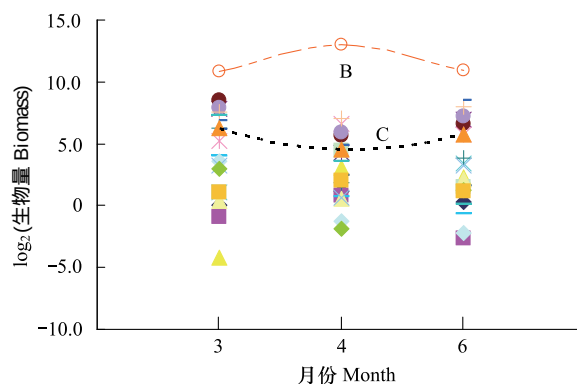


图7 鸬鹚类对饵料生物量影响规律

Fig. 7 The influence law of shorebirds to diet biomass

A: 饵料生物平均生物量对数趋势线; B: 同步调查鸬鹚类数量对数趋势线

3.2 近30a群落结构发生明显演替

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,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。从生态学角度分析,生态位相同或相似的几个群落不可能永久共存,较弱的种群最终会被排斥,符合生态学的高斯原理(Gause's principle)。泥螺作为鸭绿江口潮间带的主要优势种,却因体表分泌一种毒性粘液不被鸬鹚类取食。这种演替对鸬鹚类的食物来源、能量补充会产生不利影响,饵料生物逐渐被非饵料生物取代,鸬鹚类不能及时获取足够的能量补充,迁徙到繁殖地的成功率会逐渐下降,进而对鸬鹚类的种群延续产生威胁。个别饵料生物消失,也可能会加速某些濒危鸬鹚类的灭绝速度。

鸬鹚类能量补充来源相对匮乏。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^②。鸭绿江口潮间带底栖生物江户明樱蛤、青蛤(幼体)和长吻沙蚕是鸬鹚类的主要食物来源,所提供的能值(49.30 kJ/m²)相对较低。饵料生物量的更新速度平均为1.07次/a,其中江户明樱蛤为1.06次/a,青蛤为0.71次/a,长吻沙蚕为0.93次/a。

3.3 鸬鹚类—底栖生态—养殖者生态关联

鸬鹚类处于滨海湿地食物链的高端环节对底栖生物有下行控制作用,尤其在北迁高峰期对低潮带下区江户明樱蛤丰度影响较为明显。但饵料生物的种群补充能力较强,在鸬鹚类迁徙高峰期之后,饵料丰度和生物量又会恢复到正常水平。种群的补充途径主要依赖个体的繁殖生长,大多数饵料生物的幼体期栖息于潮下带

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)

② 与复旦大学马志军教授和蔡志阳博士的“个人交流”

水域,随着附着生长以及潮汐和海流作用,其种群不断向潮上带补充。

鸭绿江口潮间带的养殖生物主要有缢蛏、文蛤、青蛤和四角蛤蜊(菲律宾蛤仔为潮下带的主要养殖生物),目前都没有形成较大的养殖规模。鸕鹚类对它们的摄食威胁主要在幼体期(壳高<15 mm),而文蛤、青蛤和四角蛤蜊由于壳质坚硬、生物量少,其可利用率较低,缢蛏幼体由于壳质较薄、规格适中(壳高<5 mm),往往成为鸕鹚类摄食的偏好对象。缢蛏投苗期(每年4月上旬)往往与鸕鹚类迁徙高峰期重叠,养殖者一般在投苗后的几天内以放鞭炮等形式惊吓驱逐,一直持续到缢蛏苗钻到较深泥中为止(下潜周期约占鸕鹚类迁徙停歇期的十分之一左右)。鸭绿江口潮间带缢蛏还处于试养阶段,主要在长山镇、北井子镇和椅圈镇等地区有小规模养殖。目前养殖者的利益和鸕鹚类的觅食矛盾显现较小,一是鸕鹚类主要集中在低潮带下区觅食,天然饵料生物的种群补充能力较强;二是缢蛏主要在低潮带上区及中潮区养殖,养殖面积和规模相对较小,投苗干扰期也相对较短。但随着刺参养殖业不断扩大,目前已有大部分缢蛏养殖池塘被改造成刺参养殖池塘,池塘缢蛏养殖产量的下降必然会促使缢蛏养殖向潮间带扩张,人类与鸕鹚类的矛盾会逐渐显现出来。

为使人类—生态系统—滨鸟之间达到生态和谐,必须综合考量鸭绿江口湿地包括人类在内的生态系统各关键组分之间的生态关联,兼顾生态系统的完整性和人类社会经济发展的可持续性。

致谢:复旦大学马志军教授和蔡志扬博士提供鸕鹚类摄食策略、生活习性等资料;辽宁省海洋水产科学研究院田金、吴金浩、王召会、杨爽等协助外业调查,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] Mcneil R, Cadieux F. Fat content and flight-range capabilities of some adult spring and fall migrant North American shorebirds in relation to migration routes on the Atlantic Coast. *Naturaliste Canadien*, 1972, 99: 589-606.
- [3] Drent R, Piersma T. An exploration of the energetics of leap-frog migration in Arctic breeding waders//Gwinner E, ed. *Bird Migration: Physiology and Ecophysiology*. Berlin: Springer-Verlag, 1990: 399-412.
- [4] Schaub M, Jenni L. Stopover durations of three warbler species along their autumn migration route. *Oecologia*, 2001, 128(2): 217-227.
- [5] Smith R J, Moore F R. Arrival fat and reproductive performance in a long-distance passerine migrant. *Oecologia*, 2003, 134(3): 325-331.
- [6] Ma Z J, Wang Y, Chen J K. Physiological ecology of migratory birds during the stopover periods. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3067-3075.
- [7] Weber L M, Haig S M. Shorebird diet and size selection of nereid polychaetes in South Carolina coastal diked wetlands. *Journal of Field Ornithology*, 1997, 68(3): 358-366.
- [8] Kostina E E, Spirina I S, Yankina T A. Distribution of intertidal macrobenthos in Vostok Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya (Vladivostok)*, 1996, 22(2): 81-88.
- [9] Zhu J, Jing K, Gan X J, Ma Z J. Food supply in intertidal area for shorebirds during stopover at Chongming Dongtan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2149-2159.
- [10] Gao A G, Yang J Y, Zeng J N, Wang C S, Hu X G, Chen Q Z, Zhu G H. Ecological characteristics of the benthic organisms in the rocky intertidal zone near the pollutant discharge orifice at Kanmen. *Donghai Marine Science*, 2004, 22(4): 24-30.
- [11] Bao Y X, Ge B M, Zheng X, Cheng H Y. Spatial distribution and seasonal variation of the macrobenthic community on tidal flats of Tianhe, Wenzhou Bay. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 45-52.
- [12] Hou S L. Research Progress of Shorebirds. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(32): 15873-15874.
- [13] Yuan X Z, Lu J J. Ecological characteristics of macrozoobenthic community of tidal flat wetland in the Changjiang Estuary. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 414-420.
- [14] Xu H F, Zhao Y L. *Scientific Survey on Chongming Dongtan Migratory Birds Nature Reserve of Shanghai*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.
- [15] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Influence of characteristics of *Scirpus mariqueter* community on the benthic macro-invertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 326-333.
- [16] Yuan X Z, Lu J J. Preliminary study on macrobenthic community of the creek in the tidal flat of the Changjiang estuary. *Zoological Research*, 2001, 22(3): 211-215.

- [17] Dierschke V, Kube J, Rippe H. Feeding ecology of dunlins *Calidris alpina* staging in the southern Baltic Sea, 2. Spatial and temporal variations in the harvestable fraction of their favourite prey *Hediste diversicolor*. Journal of Sea Research, 1999, 42(1): 65-82.
- [18] Brey T. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. Archive of fishery and marine research (Meeresforschung), 1990, 32(4): 329-343.
- [19] Crisp D J. Energy flow measurements//Holme N A, McIntyre A D, eds. Methods for the Study of Marine Benthos. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1984: 284-366.
- [20] Brey T, Müller W C, Zittier Z, Hagen W. Body composition in aquatic organisms — A global data bank of relationships between mass, elemental composition and energy content. Journal of Sea Research, 2010, 64(3): 334-340.
- [21] Water T F. Secondary production in inland waters. Advances in Ecological Research, 1977, 10: 91-164.
- [22] Jing K. Stopover Ecology of Shorebirds in Chongming Dongtan, Shanghai [D]. Shanghai: Fudan University, 2005.
- [23] Liu R Y. Checklist of marine biota of China seas. Beijing: Science Press, 2008.
- [24] Xu Z L, Wang Y L, Chen Y Q. An ecological study on zooplankton in Maximum turbid zone of estuarine area of Changjiang (Yangtze) River. Journal of Fishery Sciences of China, 1995, 2(1): 39-48.
- [25] 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.
- [26] Warwick R M, Price R. Macrofauna production in an estuarine mud-flat. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1975, 55: 1-18.
- [27] Piersma T, de Goeij P, Tulp I. An evaluation of intertidal feeding habitats from a shorebird perspective: towards relevant comparisons between temperate and tropical mudflats. Netherlands Journal of Sea Research, 1993, 31(4): 503-512.
- [28] Wijusma G, Wolff W J, Meijboom A, Duiven P, De Vlas J. Species richness and distribution of benthic tidal flat fauna of the Banc d'Arguin, Mauritania. Oceanologica Acta, 1999, 22(2): 233-243.
- [29] Bursey M, Wooldridge T. Diversity of benthic macrofauna of the flood-tidal delta of the Nahoon estuary and adjacent beach, South Africa. African Zoology, 2002, 37(2): 237-246.

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.
- [6] 马志军, 王勇, 陈家宽. 迁徙鸟类中途停歇期的生理生态学研究. 生态学报, 2005, 25(11): 3067-3075.
- [9] 朱晶, 敬凯, 干晓静, 马志军. 迁徙停歇期鸕鹚类在崇明东滩潮间带的食物分布. 生态学报, 2007, 27(6): 2149-2159.
- [10] 高爱根, 杨俊毅, 曾江宁, 王春生, 胡锡钢, 陈全震, 朱根海. 玉环坎门排污口邻近岩相潮间带生物分布特征. 东海海洋, 2004, 22(4): 24-30.
- [11] 鲍毅新, 葛宝明, 郑祥, 程宏毅. 温州湾天河滩涂大型底栖动物群落分布与季节变化. 动物学报, 2006, 52(1): 45-52.
- [12] 侯森林. 鸕鹚类研究进展. 安徽农业科学, 2009, 37(32): 15873-15874.
- [13] 袁兴中, 陆健健. 长江口潮滩湿地大型底栖动物群落的生态学特征. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 414-420.
- [14] 徐宏发, 赵云龙. 上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [15] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, 2002, 22(3): 326-333.
- [16] 袁兴中, 陆健健. 长江口潮沟大型底栖动物群落的初步研究. 动物学研究, 2001, 22(3): 211-215.
- [22] 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.
- [23] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 2008: 301-870.
- [24] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿. 长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究. 中国水产科学, 1995, 2(1): 39-48.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元