

迁徙停歇期鸕鹚类在崇明东滩潮间带的食物分布

朱 晶¹, 敬 凯^{1,2}, 干晓静¹, 马志军^{1,*}

(1. 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 复旦大学生物多样性科学研究所, 上海 200433 ;

2. 云南师范大学生命科学学院, 昆明 650092)

摘要 崇明东滩是鸕鹚类在东亚-澳大利西亚迁徙路线上重要的迁徙停歇地, 滩涂上的底栖动物为迁徙的候鸟提供了丰富的食物来源。采用圆筒取样法对崇明东滩潮间带的大型底栖动物群落进行了研究。研究表明, 该区域的大型底栖动物主要有腹足类、双壳类、甲壳类、多毛类环节动物及昆虫幼虫等类群。其中以腹足类密度最高 (2805 ± 360) 个/ m^2), 约占底栖动物总密度的 80%。其次为双壳类, 密度为 (320 ± 31) 个/ m^2 。双壳类的生物量 (湿重) 为 (51.4 ± 7.8) g/m^2 , 腹足类 (38.7 ± 5.1) g/m^2 , 两者占底栖动物总生物量的 90% 以上。不同类群的底栖动物在潮间带的空间分布上有显著差异。腹足类主要分布在海三棱藨草带, 双壳类在海三棱藨草外带至光滩区域分布较多。从空间分布来看, 腹足类在崇明东滩的北部区域分布较多, 在南部区域则明显减少。双壳类在南北各条样线上的平均密度没有显著差异。除双壳类在秋季迁徙期的密度高于春季迁徙期外 ($P < 0.001$) 其他类群的底栖动物在春季和秋季迁徙期的密度均无显著差异 ($P > 0.05$)。

关键词 鸕鹚类, 食物, 底栖动物, 潮间带, 迁徙停歇地, 崇明东滩

文章编号: 1000-0933 (2007) 06-2149-11 中图分类号: Q143, Q958, Q959.7 文献标识码: A

Food supply in intertidal area for shorebirds during stopover at Chongming Dongtan, China

ZHU Jing¹, JING Kai^{1,2}, GAN Xiao-Jing¹, MA Zhi-Jun¹

1 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China

2 School of Life Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2149 ~ 2159.

Abstract: The wetland in Chongming Dongtan is an important stopover site for migratory shorebirds along the East Asian-Australasian Flyway. The high abundance macrobenthos in Chongming Dongtan allow migratory birds to refuel during stopover. This study analyzed the distribution and density of macrobenthos in the intertidal zone. Results showed that the macrobenthos are mainly consisted of gastropods, bivalves, polychaetes, crustaceans and insect larvae. The density of gastropods (2805 ± 360) ind./ m^2) was the highest, accounting for up to 80% of the total macrobenthos density. Meanwhile, bivalves (51.4 ± 7.8) g/m^2) and gastropods (38.7 ± 5.1) g/m^2) together accounted for more than 90% of the total biomass. On the other hand, there were significant differences in the distribution of macrobenthos among different

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30400057, 30670269); 上海市科委资助项目 (04DZ19303, 05QMX1406)

收稿日期: 2006-06-20; 修订日期: 2006-12-15

作者简介: 朱晶 (1982 ~), 女, 上海人, 博士生, 主要从事湿地生态学研究。目前地址: Department of Biological Sciences, Florida Institute of Technology, 150 West University Blvd., Melbourne, FL 32901, USA. E-mail: zhujing_19@hotmail.com

* 通讯作者: Corresponding author. E-mail: zhijunm@fudan.edu.cn

致谢: 感谢崇明东滩鸟类自然保护区管理处对野外工作的协助及佛罗里达理工大学林俊达博士对本文工作的帮助

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30400057, 30670269), and Science and Technology Commission of Shanghai (No. 04DZ19303, 05QMX1406)

Received date 2006-06-20; **Accepted date** 2006-12-15

Biography ZHU Jing, Ph. D. candidate, mainly engaged in wetland ecology. E-mail: zhujing_19@hotmail.com

intertidal zones. Gastropods were confined mainly to the sea-bulrush zones, while bivalves were confined mainly to the outer sea-bulrush zone and the sandy flat. In term of the spatial distribution in density, the gastropod density was high in the north but low in the south. However, no significant difference was found in the density of macrobenthos groups between spring and autumn, except the density of bivalves in autumn was significantly higher than that in spring ($P < 0.001$).

Key Words : shorebirds ; food ; macrobenthos ; intertidal flats ; stopover sites ; Chongming Dongtan

很多候鸟每年要在繁殖地和非繁殖地之间进行数千甚至上万公里的长途迁徙^[1]。候鸟在长距离的迁徙过程中需要消耗大量的能量,其消耗的能量是迁徙前体内积蓄能量的数倍^[2]。为了完成迁徙活动,候鸟在迁徙途中需要在一系列的迁徙停歇地补充食物并积蓄能量,为下一阶段的飞行做准备。候鸟在迁徙停歇地所补充的能量不仅对于鸟类顺利完成迁徙活动具有重要作用,而且对鸟类在繁殖期的繁殖成功率也具有一定影响^[3~5]。

大部分鸕鹚类为长距离迁徙的候鸟。在迁徙停歇期,鸕鹚类主要集中在河口滩涂,以腹足类、双壳类、甲壳类、多毛环节类及昆虫幼虫等大型底栖无脊椎动物作为补充能量的主要食物来源^[6,7]。受滩涂高程、基质类型和盐度等的影响,在潮间带滩涂不同地区潮间带底栖动物的分布常有很大差异^[8,9]。因此,了解底栖动物在滩涂上的种类、分布和生物量等特征,对于有效评估迁徙停歇地的质量,制定鸕鹚类的保护策略具有重要意义。

崇明东滩位于长江河口区域,该区域位于东亚—澳大利西亚鸕鹚类迁徙路线的中间位置,每年迁徙期有大量的鸕鹚类在此停歇^[10,11]。目前,有关长江河口区域底栖动物的种类、分布及其生态学特征开展了大量的研究工作^[9,11~13],但在鸟类迁徙期,作为鸕鹚类食物的底栖动物的分布及其与鸕鹚类的分布、能量补充、迁徙对策之间的关系仍缺乏研究。本文通过对崇明东滩鸕鹚类迁徙期潮间带底栖动物时空分布的研究,了解鸕鹚类食物的类型及食物资源的分布特征,并探讨底栖动物与鸕鹚类的时空分布之间的关系,为鸕鹚类及其迁徙停歇地的保护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究地点

崇明东滩鸟类自然保护区(图1)位于崇明岛的最东端,地理位置在 $E121^{\circ}50' \sim 122^{\circ}05'$, $N31^{\circ}25' \sim 31^{\circ}38'$ 之间。保护区面积 241.55km^2 ,其中潮间带滩涂面积为 145.77km^2 。由于长江携带的泥沙在河口区域不断沉积,崇明东滩的滩涂一直处于淤涨状态。广袤的滩涂湿地为鸕鹚类的觅食和能量补充提供了重要场所。目前,保护区记录到的鸕鹚类有 51 种,除少数种类在此越冬外,绝大部分种类为旅鸟^[11]。

崇明东滩处于中等潮汐河口,每日有两次涨潮和落潮过程。随着滩涂高程的变化,植物呈现出明显的演替规律^[10]。低潮滩高程小于 2.0m ,为裸露的光滩,基本无植被覆盖;中潮滩高程约 $2.0 \sim 2.9\text{m}$,植被主要为海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 和藨草 (*S. triqueter*) 群落,高潮滩高程约 $2.9 \sim 3.5\text{m}$,植被为芦苇 (*Phragmites australis*) 群落、互花米草 (*Spartina alterniflora*) 群落和海三棱藨草群落^[11]。

1.2 底栖动物的采样

底栖动物的采样时间在 2003 年 9 月和 2004 年 4 月,分别为鸕鹚类在秋季和春季的迁徙高峰期^[10,11]。

根据潮间带滩涂植被的覆盖情况,从海堤向外确定 6 个采样区域。靠近海堤的为芦苇群落,有互花米草呈斑块状镶嵌其中。芦苇群落向外为海三棱藨草群落,根据海三棱藨草群落在春季的海拔高程、群落外貌和潮汐特征,将其分为内带、中带和外带。海三棱藨草带以外为裸露的光滩,基本无植被覆盖。其中,靠近海三棱藨草带的光滩区域的基质以颗粒较细的泥质沉积物为主,该区域与光滩其他部分之间有一条明显的潮水冲刷坎,因此将这一区域与其余的沙质光滩区分,划为光滩边缘。这样,潮间带从海堤至光滩沿着滩涂高程下降的方向划分为 6 个带:芦苇带 (PA)、海三棱藨草内带 (IS)、海三棱藨草中带 (MS)、海三棱藨草外带 (OS)、光

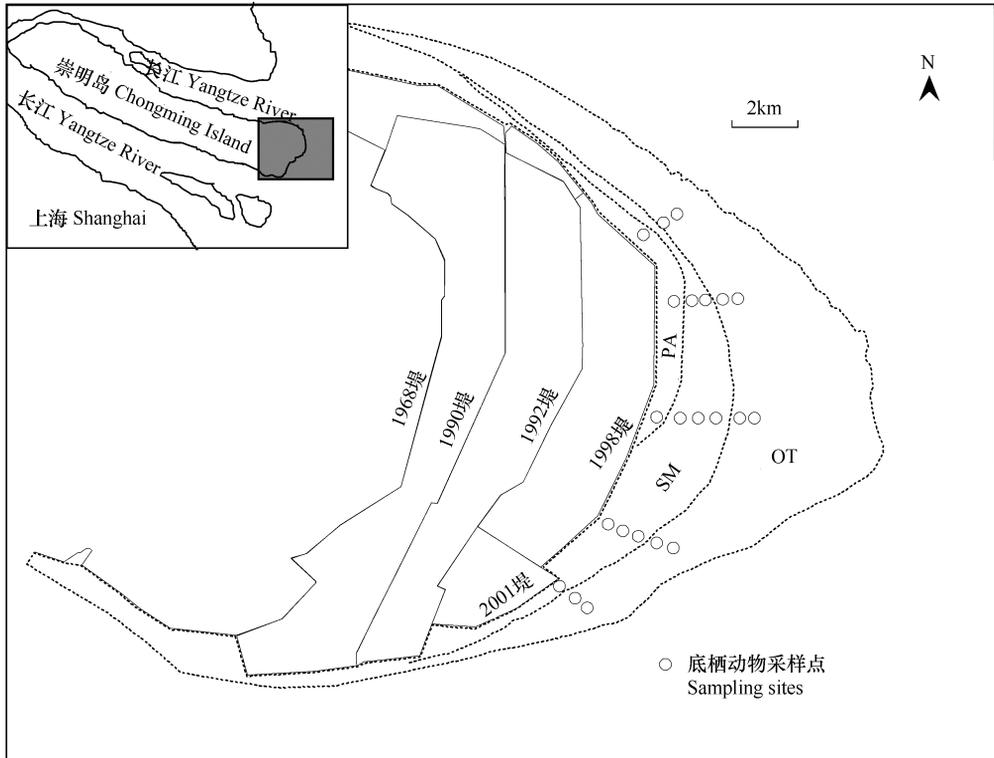


图1 研究区位置及底栖动物采样点分布图

Fig. 1 Map of study area and sampling sites

左上图显示崇明东滩在长江口的位置, PA: 芦苇带 *Phragmites* zone, SM 海三棱藨草带 *Scirpus* zone, OT 光滩 Open intertidal flats

The up left shows the location of Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary

滩边缘 (MF) 和光滩 (SF)。根据南北自然条件的差异, 采样的样线由北至南共分五条 A、B、C、D、E (图 1)。由于不同样线所在的滩面宽窄不同, 植被覆盖区域有一定差异, 有些样线没有芦苇带或海三棱藨草带 (表 1)。

采样时在每个样带的中间位置选择一个点作为底栖动物的采样调查点, 使用 GPS 定位每个样点, 在固定样点用直径 10cm (面积为 78.5cm^2) 的不锈钢圆筒取样器取样。由于鹤鹑类无法取食在基质里埋藏较深的底栖动物, 只取地表 15cm 深的土样。在每个样点做 5 个重复, 每个重复取样距离相隔 1m。

在研究期间共采集底栖动物样品 195 份。在野外将样品用水浸泡、淘洗, 使用孔径 0.5mm 的网筛进行初步筛选, 获取的大型底栖动物用 10% 的福尔马林溶液固定。回实验室后进一步进行淘洗, 挑出底栖动物, 固定于 70% 的乙醇溶液中。在解剖镜下鉴定底栖动物的种类并计数。软体动物、环节动物及部分甲壳类动物鉴定到种, 昆虫幼虫合并为一类。用滤纸将酒精吸干, 将底栖动物按物种归类称重。

一些大型甲壳类 (无齿相手蟹 (*Sesarma dehaani*), 天津厚蟹 (*Helice tridens*) 等) 在滩涂上的洞穴较深, 圆筒取样无法获得。但由于这些底栖动物只能被少数几种大型鹤鹑类 (如白腰杓鹑 (*Numenius arquata*), 红腰杓鹑 (*Numenius madagascariensis*), 中杓鹑 (*Numenius phaeopus*) 等) 所取食, 因此在本研究没有进行统计。

1.3 数据分析

将大型底栖动物分为腹足类 (Gastropods)、双壳类 (Bivalves)、多毛类 (Polychaetes)、甲壳类 (Crustaceans) 和昆虫 (Insects) 五大类。由于寡毛纲动物的种类和数量均较少, 且在鹤鹑类的食物利用方面与多毛纲相似, 本研究将其并入多毛类。分别计算每类底栖动物的物种数、个体数量以及生物量。根据底栖动物的个体数量和各样点的取样面积, 计算各类底栖动物的密度。

采用 ANOVA 比较各样带之间底栖动物的密度和生物量的差异。首先对数据进行 Shapiro-Wilk 正态性检验, 符合正态分布的用原始数据进行分析, 不符合正态分布的采用 Kruskal-Wallis 非参数检验。如果 ANOVA

检验结果有显著差异 ($P < 0.05$) 则根据方差是否齐性进行 LSD 或 Tamhane's T2 多重比较, 采用配对 T 检验 (符合正态分布) 或 Wilcoxon 配对非参数检验 (不符合正态分布) 比较春季和秋季各类群底栖动物的密度和生物量。另外, 采用 ANOVA 比较不同样线之间底栖动物的密度和生物量的差异。数据的统计分析用 SPSS 12.0 软件进行。

表 1 潮间带各样带的特征及每条样线上的取样点 (星号标记为取样点)

Table 1 Characteristics of each sampling zone and setting of sample sites on each transect (The stars show the sampling sites)

样带 Sampling zones	PA	IS	MS	OS	MF	SF
海拔高程 (Altitude) / m	>3.5	2.7 ~ 3.3	2.5 ~ 2.7	2.3 ~ 2.5	2.0 ~ 2.3	<2.0
主要植被 Major vegetation	芦苇 <i>Phragmites australis</i> 、互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	芦苇 <i>P. australis</i> 、海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i> 、藨草 <i>Scirpus triqueter</i>	海三棱藨草 <i>S. mariqueter</i> 、藨草 <i>S. triqueter</i>	海三棱藨草 <i>S. mariqueter</i> 、藨草 <i>S. triqueter</i>	无植被 no vegetation	无植被 no vegetation
植被高度 (cm) Vegetation height	>150	50 ~ 150	20 ~ 50	20 ~ 50	0	0
每月淹水天数 (%) Days of inundation per month	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100	100
样线 Transect	A					
	B					
	C					
	D					
	E					

PA : 芦苇带 *Phragmites* zone, IS : 海三棱藨草内带 Inner *Scirpus* zone, MS : 海三棱藨草中带 Middle *Scirpus* zone, OS : 海三棱藨草外带 Outer *Scirpus* zone, MF : 光滩边缘 Muddy flats, SF : 光滩 Sandy flats, 下同 the same below

由于滩涂发育不完整或被围垦, 一些样带在所设的样线上没有分布 Since the incomplete development or over-reclaimed in some regions on tidal flats, some zones were absent on the transect.

2 结果

2.1 崇明东滩潮间带大型底栖动物的种类、密度及生物量

本次调查共记录到大型底栖动物 24 种。其中腹足类 8 种, 双壳类 5 种, 多毛类 7 种, 甲壳类 4 种。另外, 还记录到昆虫的幼虫和成虫 (表 2)。底栖动物的平均密度为 (3383 ± 368) ind./m², 其中腹足类的平均密度最高, 为 (2805 ± 360) ind./m², 双壳类次之, 为 (320 ± 31) ind./m²。底栖动物的平均生物量为 (96.1 ± 8.5) g/m², 其中腹足类为 (38.7 ± 5.1) g/m², 双壳类为 (51.4 ± 7.8) g/m²。多毛类、甲壳类和昆虫的密度和生物量均较低。

在腹足类中, 密度最高的为董拟沼螺 (*Assiminea violacea*) 达 (1594 ± 237) ind./m²; 其次为光滑狭口螺 (*Stenothyra toucheana*), 密度为 (577 ± 133) ind./m²。生物量最高的是中华拟蟹守螺 (*Cerithidea sinensis*), 为 (21.2 ± 4.7) g/m²。在双壳类中, 河蚬 (*Corbicula fluminea*) 的密度最高, 为 (228 ± 26) ind./m²。多毛类中, 背蚓虫 (*Notomastus latericeus*) 的密度最高, 为 (45 ± 7) ind./m² 其次是疣吻沙蚕 (*Tylorhynchus heterochaetus*) 密度为 (25 ± 5) ind./m²。甲壳类中的优势种为谭氏泥蟹 (*Ilyoplax deschampsii*) 密度为 (52 ± 9) ind./m²。不同种类底栖动

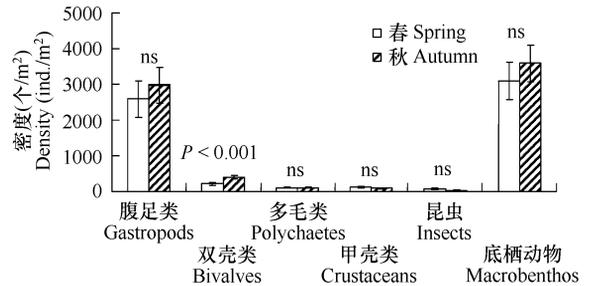


图 2 春秋两季崇明东滩潮间带不同类群底栖动物的密度 (平均值 ± 标准误)

Fig. 2 Density of different macrobenthos categories in intertidal area of Chongming Dongtan in spring and autumn (Mean ± SE)

物在各样线上的密度见表 2。

表 2 底栖动物的种类、密度 (个/m²) 及其在各条样线上的分布 (平均值 ± 标准误)

Table 2 The species, density (ind./m²) and distribution of macrobenthos on each sample line (Mean ± SE)

种名 Species	A	B	C	D	E
腹足类 Gastropods					
缙拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>	25 ± 13	69 ± 25	6 ± 5		
董拟沼螺 <i>Assiminea violacea</i>	60 ± 23	1605 ± 460	3079 ± 591	1381 ± 410	318 ± 160
光滑狭口螺 <i>Stenothyra toucheana</i>	2573 ± 741	260 ± 97	150 ± 71	438 ± 120	80 ± 32
蔗眼螺 <i>Rissoina dunedini</i>	1927 ± 982	71 ± 25	83 ± 27	15 ± 8	
中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>	93 ± 35	84 ± 23	42 ± 14		
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	4 ± 4				
长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>					4 ± 4
琵琶拟沼螺 <i>Assiminea lutea</i>	4 ± 4	20 ± 9			
双壳类 Bivalves					
中国绿螂 <i>Glaucomya chinensis</i>	200 ± 96	145 ± 49	15 ± 6		
蟾蜍 <i>Sinonovacula constricta</i>	13 ± 7	10 ± 8			
河蚶 <i>Corbicula fluminea</i>	76 ± 34	117 ± 29	308 ± 63	321 ± 63	331 ± 68
焦河蓝蛤 <i>Potamocorbula ustulata</i>	51 ± 24	5 ± 5			
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	29 ± 10				
多毛类 Polychaetes					
索沙蚕 <i>Lumbrieris</i> sp.	9 ± 9				
多鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>	22 ± 11	20 ± 9	4 ± 3		25 ± 9
疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>	22 ± 9	48 ± 14	15 ± 6	31 ± 15	9 ± 6
寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	4 ± 4	36 ± 13	4 ± 3	25 ± 10	9 ± 9
背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	80 ± 33	51 ± 11	9 ± 4	20 ± 10	89 ± 24
小头虫 <i>Capitella capitata</i>	13 ± 9	3 ± 3	4 ± 4		
蚯蚓 <i>Lumbricus</i> sp.	4 ± 4		3 ± 2		
甲壳类 Crustaceans					
虾幼体 <i>Palaemon</i> sp.	29 ± 13	31 ± 11	4 ± 3		
光背节鞭水虱 <i>Synidotea laevidorsalis</i>	17 ± 10	43 ± 12	38 ± 18	5 ± 5	25 ± 9
螺赢蜚 <i>Corophium sinensis</i>		3 ± 3	29 ± 10	5 ± 5	
谭氏泥蟹 <i>Ilyoplax deschampsii</i>	4 ± 4	46 ± 12	47 ± 14	82 ± 34	93 ± 39
昆虫 Insects					
昆虫幼虫 Insects larvae		18 ± 7	51 ± 15	41 ± 14	119 ± 63
昆虫成虫 Insects imagoes		5 ± 4	3 ± 2		9 ± 9

2.2 在春季和秋季间大型底栖动物密度和生物量的比较

春季和秋季的大型底栖动物总密度之间无显著差异 ($Z = -1.648$, $P > 0.05$)。除秋季双壳类的密度显著高于春季的密度 ($Z = -4.035$, $P < 0.001$) 外, 底栖动物其他各类群 (腹足类、多毛类、甲壳类及昆虫) 的密度在春秋两季之间均无显著差异 (腹足类: $Z = -1.235$, $P > 0.05$; 多毛类: $Z = -0.083$, $P > 0.05$; 甲壳类: $Z = -0.771$, $P > 0.05$; 昆虫: $Z = -0.728$, $P > 0.05$, 见图 2)。从每种双壳类的密度来看, 河蚶在秋季的密度显著高于在春季的密度 ($Z = -4.593$, $P < 0.001$)。由于河蚶为双壳类中的主要组成部分, 故它在春季和秋季的密度差异是造成双壳类在春季和秋季的密度呈显著差异的主要原因。另外, 虽然腹足类在春季和秋季的总密度没有显著差异, 但是光滑狭口螺 ($Z = -2.682$, $P < 0.01$) 和麈眼螺 (*Rissoina dunedini*) ($Z = -3.088$, $P < 0.01$) 在秋季的密度都显著高于在春季的密度。

大型底栖动物的总生物量以及每个类群的生物量在春季和秋季之间均无显著差异 (总生物量: $Z =$

-1.032 $P > 0.05$ 腹足类 $Z = -0.077$ $P > 0.05$;双壳类 $Z = -1.222$ $P > 0.05$;多毛类 $Z = -0.401$ $P > 0.05$;甲壳类 $Z = -0.110$ $P > 0.05$;昆虫 $Z = -0.500$ $P > 0.05$) (图 3)。

2.3 大型底栖动物在潮间带的分布格局

2.3.1 大型底栖动物在潮间带不同高程的密度

大型底栖动物总密度在潮间带各样带上的分布有极显著差异 (Kruskal-Wallis Test, $\chi^2_5 = 67.699$, $P < 0.001$)。其中,底栖动物在海三棱藨草中带的密度显著高于其他各样带的密度,而芦苇带和光滩的密度最低。不同类群的底栖动物在潮间带各样带的分布也具有显著差异 (图 4)。

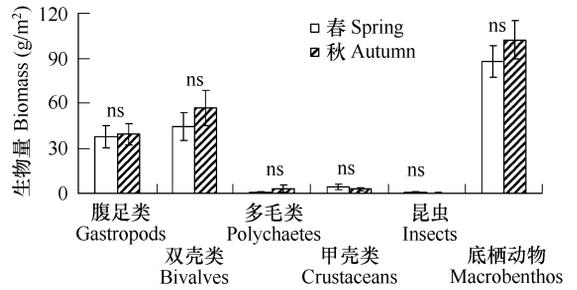


图 3 春秋两季崇明东滩底栖动物不同类群的生物量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 3 Biomass of different macrobenthos categories in spring and autumn (Mean ± SE)

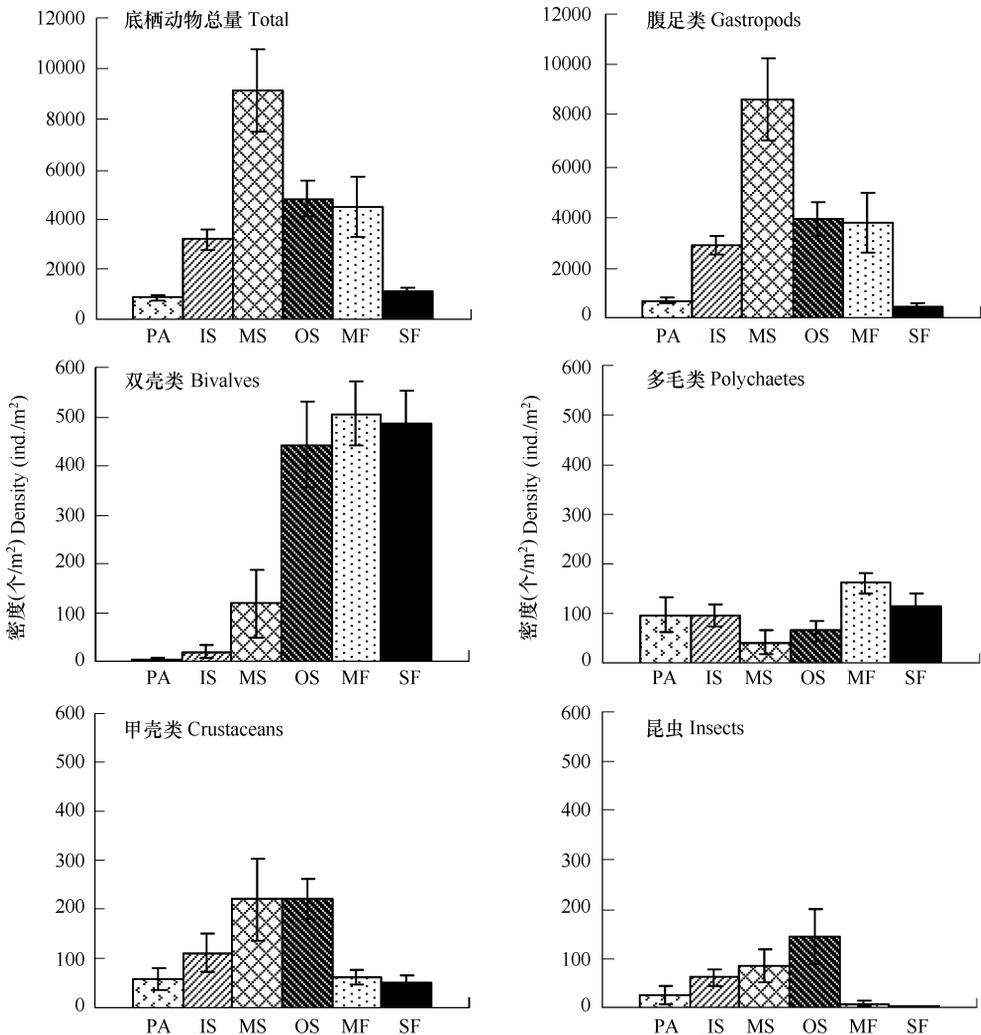


图 4 底栖动物在各样带上的平均密度 (平均值 ± 标准误)

Fig. 4 Density of different macrobenthos categories on each zone (Mean ± SE)

横坐标的样带代码见表 1 The code of the x-axis see table 1

腹足类主要分布在海三棱藨草群落的 3 个样带和光滩边缘,其中在海三棱藨草中带的密度最高。腹足类中密度最高的董拟沼螺主要分布在芦苇带和海三棱藨草群落中的 3 个样带,以海三棱藨草中带的密度最高。

缙拟沼螺 (*Assiminea latericea*) 主要分布在芦苇带及海三棱藨草内带和中带。中华拟蟹守螺在芦苇带密度最高, 随着滩涂高程的降低, 其密度逐渐减少, 在光滩边缘和光滩只有零星分布。光滑狭口螺在光滩边缘密度最高, 海三棱藨草外带次之, 在芦苇带偶有记录。

双壳类主要分布在海三棱藨草外带、光滩边缘和光滩, 在芦苇带分布极少。双壳类中密度最高的河蚬主要分布在海三棱藨草外带、光滩边缘和光滩, 其中以在光滩边缘的密度最高。中国绿螂 (*Glaucomya chinensis*) 在海三棱藨草群落、光滩边缘和光滩都有分布, 其中在海三棱藨草外带的密度最高。

多毛类在光滩边缘的密度最高, 与其他各带差异显著 ($\chi^2 = 22.104, P < 0.001$)。其中, 多鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys polybranchia*) 和寡鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys oligobranchia*) 仅在光滩边缘和光滩两个区域有分布; 疣吻沙蚕在各个样带都有分布, 其中在海三棱藨草的 3 个样带中的密度最高, 背蚓虫在各个带也都有分布, 但与疣吻沙蚕相反, 其在海三棱藨草 3 个样带的密度较低, 而在芦苇带、光滩边缘和光滩的密度较高。

甲壳类主要分布在海三棱藨草中带和外带。其中密度最高的谭氏泥蟹在海三棱藨草外带的密度最高。昆虫 (主要为昆虫幼虫) 主要分布在海三棱藨草群落的 3 个样带。

综上所述, 在芦苇带及海三棱藨草群落中的 3 个样带, 腹足类的密度占优势, 而在光滩, 双壳类的密度占优势 (图 4)。

2.3.2 大型底栖动物在潮间带不同高程的生物量

底栖动物的总生物量在各样带之间无显著差异 ($\chi^2 = 2.594, P > 0.05$), 但底栖动物不同类群的生物量在各样带之间存在着显著差异 (图 5)。

腹足类在芦苇带和海三棱藨草 3 个样带的生物量比在光滩边缘和光滩高。其中生物量最高的中华拟蟹守螺主要分布在芦苇带。由于其个体较大, 虽然其密度不高, 但总的生物量比其他腹足类高。因此, 虽然芦苇带腹足类的密度不高, 但生物量与海三棱藨草群落中的 3 条样带并无显著差异 ($\chi^2 = 2.830, P > 0.05$)。

双壳类、多毛类、甲壳类和昆虫 3 种类型的生物量与密度的分布相似 (见图 4、图 5)。

2.4 底栖动物在南北各条样线上的分布

2.4.1 底栖动物在各条样线上的密度

底栖动物的密度在各样线之间存在极显著差异 ($\chi^2 = 67.699, P < 0.001$)。在光滩边缘和光滩, 由于光滑狭口螺和麋眼螺在位于最北部的 A 线的密度较其他各样线高, 且这两类底栖动物的密度在光滩边缘和光滩分别占了底栖动物总密度的 66% 和 44%, 因此光滩边缘及光滩底栖动物的密度以 A 线为最高, 其次为 B 线。由于缙拟沼螺为芦苇群落和海三棱藨草群落中的优势种 (其在芦苇带以及海三棱藨草群落中的内、中、外 3 条样带的密度分别占底栖动物总密度的 42%、85%、87% 和 66%), 因此缙拟沼螺在各条样线上的密度影响着底栖动物的总密度。在芦苇带和海三棱藨草中带, C 线上缙拟沼螺的密度最高, 在海三棱藨草内带, D 线上缙拟沼螺的密度最高。底栖动物总密度的分布也是如此。

除了位于最南部的 E 线的底栖动物平均密度显著低于其他各样线外 ($\chi^2 = 13.271, P < 0.01$) 外, 其余几条样线上底栖动物的平均密度之间均无显著差异 ($\chi^2 = 2.016, P > 0.05$)。E 线腹足类的平均密度显著低于其他各条样线 ($\chi^2 = 24.919, P < 0.001$), 而双壳类、甲壳类和昆虫的平均密度在各条样线之间没有显著差异 (双壳类: $\chi^2 = 3.917, P > 0.05$; 甲壳类: $\chi^2 = 7.518, P > 0.05$; 昆虫: $\chi^2 = 9.490, P > 0.05$)。多毛类除 C 线密度较低外, 其余各样线之间也无显著差异 ($\chi^2 = 4.310, P > 0.05$)。因此, E 线腹足类的密度较低是造成 E 线底栖动物平均密度低于其他各样线的主要原因 (表 3)。

2.4.2 大型底栖动物在各条样线上的生物量比较

在芦苇带和光滩边缘, 底栖动物的生物量在各条样线之间均无显著差异 (芦苇带: $\chi^2 = 0.266, P > 0.05$; 光滩边缘: $\chi^2 = 6.319, P > 0.05$)。在光滩, 底栖动物的主要优势种为双壳类的河蚬和中国绿螂 (其生物量占光滩上底栖动物总生物量的 71%), 而中国绿螂在 A 线分布较多, 河蚬在 C 线分布较多, 因此光滩 A、C 两线底栖动物的生物量比其他各线高。在海三棱藨草群落中的 3 条样带, 底栖动物的生物量在各样线之间也存在

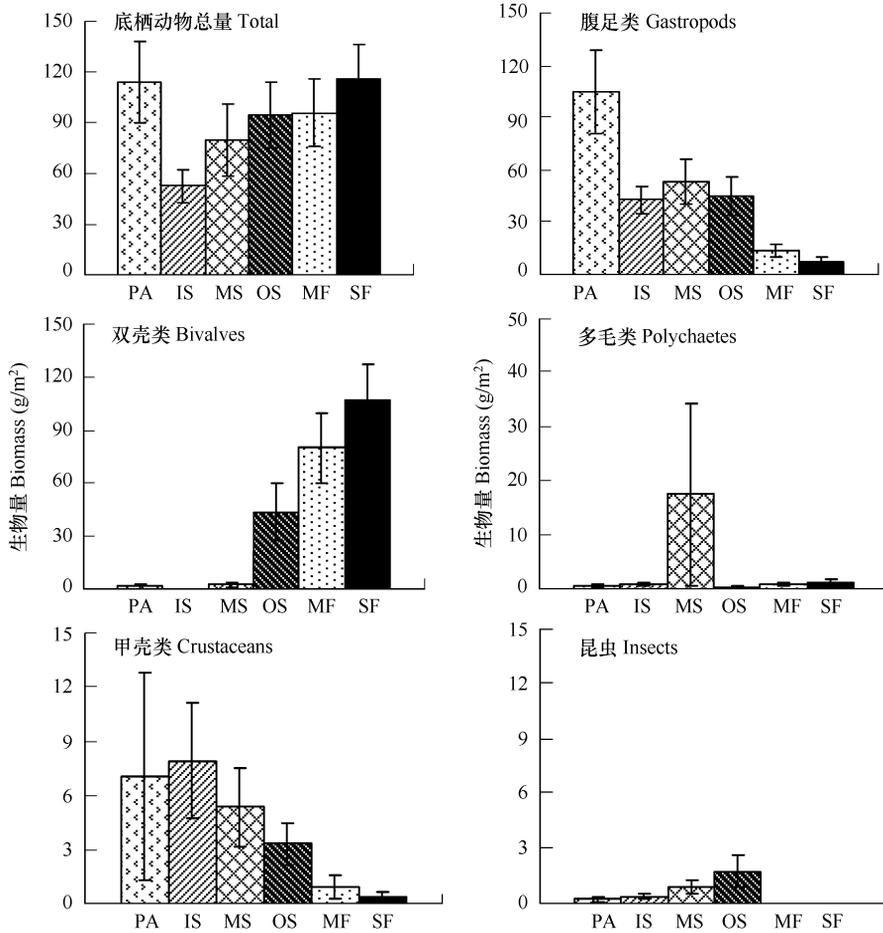


图5 底栖动物在样带上的平均生物量 (平均值 ± 标准误)

Fig. 5 Biomass of different macrobenthos categories on each zone (Mean ± SE)

横坐标的样带代码见表1 The code of the x-axis see table 1

表3 崇明东滩潮间带底栖动物在不同样线上的平均密度 (个/m²) (平均值 ± 标准误)

Table 3 Density of different macrobenthos categories (ind./m²) on each sample line in intertidal area of Chongming Dongtan (Mean ± SE)

	A	B	C	D	E
腹足类 Gastropods	5350 ± 1646	2474 ± 513	3414 ± 616	1834 ± 451	404 ± 160
双壳类 Bivalves	369 ± 97	278 ± 53	322 ± 64	321 ± 63	331 ± 68
多毛类 Polychaetes	153 ± 34	158 ± 25	38 ± 9	76 ± 19	131 ± 33
甲壳类 Crustaceans	51 ± 22	122 ± 22	121 ± 29	92 ± 36	118 ± 39
昆虫 Insects	0 ± 0	23 ± 8	54 ± 15	41 ± 14	127 ± 66
总计 Total	5924 ± 1679	3055 ± 538	3949 ± 632	2364 ± 464	1112 ± 193

显著差异 (内带: $F_{(2,22)} = 4.564, P < 0.05$; 中带: $\chi^2_1 = 9.375, P < 0.01$; 外带: $\chi^2_3 = 9.614, P < 0.05$)。其中在海三棱藨草中带 C 线的生物量最高, 在海三棱藨草外带 B、C 两线的生物量高于 D、E 两线。

在底栖动物总的生物量方面, 除 D 线显著低于其他几条样线外 ($\chi^2_4 = 12.141, P < 0.05$), 其余各条样线间无显著差异。除昆虫类群外 ($\chi^2_4 = 6.947, P > 0.05$), 底栖动物其他类群的生物量在各条样线间均存在显著差异 (腹足类: $\chi^2_4 = 34.547, P < 0.001$; 双壳类: $\chi^2_4 = 12.968, P < 0.01$; 多毛类: $\chi^2_4 = 18.178, P < 0.001$; 甲壳类: $\chi^2_4 = 10.375, P < 0.05$)。其中腹足类在崇明东滩北部 A、B、C 三条样线的生物量较高, 双壳类在 A、C、E 线较高; 多毛类除 C 线生物量较高外, 其余各线无显著差异 ($\chi^2_3 = 1.846, P > 0.05$); 甲壳类除在 A 线生物量较低外, 其他各样线之间也无显著差异 ($\chi^2_3 = 5.033, P > 0.05$) (表 4)。

3 讨论

崇明东滩的大型底栖动物是鸕鹚类在迁徙停歇期进行能量补充的重要食物来源^[4]。本研究表明,崇明东滩的大型底栖动物以腹足类和双壳类这两类软体动物为主,它们的密度和生物量都在崇明东滩所有的底栖动物类群中占绝对优势。在腹足类中,董拟沼螺的密度最高,且在各条样线均有分布;在双壳类中,河蚬的密度最高,生物量最大,主要分布在海三棱藨草外带至光滩区域。这两类底栖动物是迁徙停歇期鸕鹚类在崇明东滩最主要的食物来源^[11,14]。中华拟蟹守螺虽然密度不高,但其个体是崇明东滩腹足类中最大的种类,其生物量也很高,主要被一些中等体型的鸕鹚类所取食^[4,15]。

表 4 崇明东滩潮间带底栖动物在不同样线上的生物量 (g/m^2) (平均值 \pm 标准误)

Table 4 Biomass (g/m^2) of different macrobenthos categories on each sample line in intertidal area of Chongming Dongtan (Mean \pm SE)	A	B	C	D	E
腹足类 Gastropods	75.4 \pm 22.0	60.4 \pm 11.8	29.4 \pm 4.8	16.6 \pm 4.6	2.8 \pm 1.0
双壳类 Bivalves	65.6 \pm 24.1	11.8 \pm 2.7	65.5 \pm 15.2	22.9 \pm 14.4	98.5 \pm 27.1
多毛类 Polychaetes	0.5 \pm 0.1	0.9 \pm 0.3	4.7 \pm 4.2	1.8 \pm 0.9	1.1 \pm 0.5
甲壳类 Crustaceans	0.3 \pm 0.1	4.2 \pm 1.5	5.4 \pm 2.9	2.4 \pm 1.5	2.2 \pm 1.1
昆虫 Insects	0 \pm 0	0.3 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	1.5 \pm 1.0
总计 Total	141.8 \pm 28.5	77.6 \pm 12.1	105.4 \pm 15.0	44.1 \pm 14.5	106.1 \pm 26.8

崇明东滩位于北亚热带的南部,大型底栖动物种类有 63 种^[11],其中潮间带分布的有 36 种^[13]。与热带地区相比,该区域底栖动物的物种数并不多。如在位于热带的南非 Nahoon 河口,大型底栖动物的种类达 118 种^[6]。从不同气候带底栖动物的优势类群来看,温带地区的底栖动物以软体动物为主,如位于美洲的鸟类太平洋迁徙路线上的 Copper 河口,其双壳类密度达 4000 ind./ m^2 ^[7]。在热带地区,底栖动物以多毛类和甲壳类为主,如非洲西部的鸟类东大西洋迁徙路线上的 Banc d'Arguin 河口有多毛类 42 种^[8]。崇明东滩位于亚热带地区,其底栖动物的组成介于温带和热带之间,软体动物(双壳类和腹足类)和甲壳类都较为丰富。但与其他亚热带地区的河口相比,崇明东滩的多毛类种类和数量均较少。如同处于亚热带的伊比利亚半岛的 Cadiz 湾,其多毛类约占底栖动物总生物量的 50%^[9]。这可能是由于崇明东滩所处的河口地区泥沙沉积速度较快,使底质受到剧烈扰动,限制了多毛类的生存^[20]。因此,多毛类并不是迁徙停歇期鸕鹚类在崇明东滩的主要食物来源。

各类底栖动物在潮间带的分布具有明显的成带现象。如中华拟蟹守螺主要分布在芦苇带,董拟沼螺在海三棱藨草带密度最高,泥螺 (*Bullacta exarata*) 和河蚬则主要分布在没有植被覆盖的滩涂。很少有底栖动物在整个潮间带都有分布。底栖动物的成带分布可能与滩涂的高程变化有关,如中华拟蟹守螺主要分布于高潮滩,而河蚬主要分布于低潮滩^[11]。虽然底栖动物在潮间带不同区域都有分布,但其密度在海三棱藨草带和光滩边缘较高。对崇明东滩迁徙期鸕鹚类在滩涂上分布的研究表明,鸕鹚类主要集中在海三棱藨草中带至光滩的区域活动,如鸕鹚类中密度最高的滨鹚类多在没有植被覆盖的光滩觅食,而鸕鹚类大多在海三棱藨草带觅食^[15]。这与底栖动物的分布基本一致。因此,食物资源的分布状况可能是影响鸕鹚类在潮间带分布的一个重要因素。

底栖动物在南北各条样线间的分布具有显著差异。一些物种如泥螺和彩虹明樱蛤 (*M. iridescens*) 仅在北面的 A、B 两线有分布,中华拟蟹守螺、麋眼螺和中国绿螂等在 A、B 两线分布较多,而在南面的 D、E 两线很少有分布。这与崇明东滩南部和北部区域的环境特征有关。崇明东滩处于长江入海口,长江的淡水与潮汐所带来的海水在此交汇。长江干流经崇明岛后分为南、北两支入海,其中北支的径流量仅占长江总径流量的 1~3%。由于南北两支径流量的差异,北支受潮流的影响较大,水中的盐度高,而南支受长江径流的影响较大,盐度较低^[21]。这是造成崇明东滩底栖动物在南部和北部分布差异的主要原因。如在双壳类中,焦河蓝蛤、缢蛭等是喜低盐种,因此在靠长江北支较近的 A、B 线分布较多,而河蚬是淡水种^[9],因此主要集中在靠长江南支

较近的 C、D、E 线。

由于海三棱藨草带中底栖动物的密度较高,因此,海三棱藨草带的分布与底栖动物的密度有密切的关系。A 线虽然底栖动物种类丰富,在光滩边缘和光滩的底栖动物密度显著高于其他各条样线在这两条样带的底栖动物密度,但由于 A 线没有海三棱藨草带,从整条样线的平均密度来看,A 线与 B、C、D 线的底栖动物密度没有显著差异。同样,处于南边淡水区域的 D、E 两线,由于 E 线仅有海三棱藨草外带,其底栖动物在整条样线上的平均密度低于 D 线。野外观察发现,不仅海三棱藨草群落的地面有丰富的腹足类、甲壳类等底栖动物,一些腹足类还附着在海三棱藨草的植株上。由于海三棱藨草的地下部分可为取食植物的根及其碎屑物的底栖动物提供丰富的食物来源^[2],因此,海三棱藨草群落的分布对底栖动物的分布和密度有着重要影响,同时,通过影响鸻鹬类的食物资源而影响到鸻鹬类对迁徙停歇地的利用。

近年来的调查表明,秋季迁徙期在崇明东滩停歇的鸻鹬类数量远远少于春季的数量^[22]。但从底栖动物的密度和生物量上看,大部分底栖动物的密度和生物量在春季和秋季之间在无显著差异,而且光滑狭口螺和河蚬在秋季的密度甚至高于春季。由于河蚬和光滑狭口螺为鸻鹬类在迁徙期的主要食物来源^[1,14],在秋季迁徙期,鸻鹬类在崇明东滩的食物资源仍非常丰富。因此,春季和秋季鸟类数量巨大差异的原因需要从食物资源以外的其他方面进行分析。

References :

- [1] Morrison R I G. Migration systems of some New World shorebirds. In : Burger J , Gila B L , eds. Shorebirds : Migration and foraging behavior. New York : Plenum Press , 1984. 125 — 202.
- [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] Senner S E , West G C , Norton D W. The spring migration of western sandpipers and dunlins in south central Alaska : numbers , timing , and sex ratios. *Journal of Field Ornithology* , 1981 , 52 : 271 — 284.
- [4] Ebbinge B S , Spaans B. The importance of body reserves accumulated in spring staging areas in the temperate zone for breeding in Dark-bellied Brent Geese *Branta b. bernicla* in the high Arctic. *Journal of Avian Biology* , 1995 , 26 : 105 — 113.
- [5] Ma Z J , Li B , Chen J K. Habitat use and migratory strategies of migratory birds at stopover sites. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 , 25 : 1404 — 1412.
- [6] 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 : 103 — 123.
- [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] 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 : 414 — 420.
- [10] Huang Z Y , Sun Z H , Yu K , *et al.* Bird Resources and Habitats in Shanghai. Shanghai : Fudan University Press , 1993.
- [11] Xu H F , Zhao Y L. Scientific Survey on Chongming Dongtan Migratory Birds Nature Reserve of Shanghai. China Forestry Publishing House , Beijing. 2005.
- [12] 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 : 326 — 333.
- [13] 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 : 211 — 215.
- [14] Wang T H , Qian G Z. Shorebirds in the Yangtze River Estuary and Hangzhou Bay. Shanghai : East China Normal University Press , 1988.
- [15] Jing K , Ma Z J , Li B , *et al.* Foraging strategies involved in habitat use of shorebirds at the intertidal area of Chongming Dongtan , China. *Ecological Research* , 2007 , DOI 10. 1007/s11284-006-0302-7.
- [16] Burse 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 : 237 — 246.
- [17] Powers S P , Bishop M A , Grabowski J H , *et al.* Intertidal benthic resources of the Copper River Delta , Alaska , USA. *Journal of Sea Research* ,

2002, 47: 13–23.

- [18] Wijnsma G, Wolff W J, Meijboom A, *et al.* Species richness and distribution of benthic tidal flat fauna of the Banc d'Arguin, Mauritania. *Oceanologica Acta*, 1999, 22: 233–243.
- [19] Masero J A, Perez-Gonzalez M, Basadre M, *et al.* Food supply for waders (Aves: Charadrii) in an estuarine area in the Bay of Cadiz (SW Iberian Peninsula). *Acta Oecologica*, 1999, 20: 429–434.
- [20] Rhoads D C, Young D K. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*, 1970, 28: 150–178.
- [21] Kong Y Z, He S L, Ding P X *et al.* Characteristics of temporal and spatial variation of salinity and their indicating significance in the Changjiang Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26 (4): 9–18.
- [22] Ma, Z J, Tang SM, Jing K, *et al.* Chongming Island: A less important shorebirds stopover site during southward migration? *Stilt*, 2002, 41: 35–37.

参考文献:

- [5] 马志军, 李博, 陈家宽. 迁徙鸟类对中途停歇地的利用及迁徙对策研究. *生态学报*, 2005, 25: 1404–1412.
- [9] 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: 414–420.
- [10] 黄正一, 孙振华, 虞快, 等. 上海鸟类资源及其生境. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [11] 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.
- [12] 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: 326–333.
- [13] 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: 211–215.
- [14] 王天厚, 钱国桢. 长江口杭州湾鸻形目鸟类. 上海: 华东师范大学出版社, 1988.
- [21] 孔亚珍, 贺松林, 丁平兴, 等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义. *海洋学报*, 2004, 26 (4): 9–18.