

上海市潮滩湿地大型底栖动物的空间分布格局

全为民¹, 赵云龙², 朱江兴¹, 施利燕¹, 陈亚瞿^{1,*}

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;

2. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200241)

摘要:通过对上海市 6 个典型潮滩湿地(崇明东滩、崇明北滩、九段沙、青草沙、南汇边滩和杭州湾北岸)的调查,共记录到大型底栖动物 112 种,甲壳动物、软体动物和环节动物分别占总物种数的 51.8%、22.3% 和 18.8%。6 个潮滩湿地中大型底栖动物生物量的空间分布呈现一致的规律,即高潮区 > 中潮区 > 低潮区;在生物量构成中,甲壳动物是最为重要的类群,其总体平均相对贡献率在 51% ~ 97% 之间,软体动物的总体平均相对贡献率在 2% ~ 48% 之间。大型底栖动物密度的空间分布在地点间存在较大差异,在崇明东滩、九段沙和杭州湾北岸湿地中,软体动物在数量上占优势;而在崇明北滩、青草沙和南汇边滩,甲壳动物却是优势类群。与 20 世纪 80 和 90 年代的调查资料相比,近 20 多年来上海市潮滩湿地中大型底栖动物生物量明显增加,但群落结构发生了根本改变,优势类群由个体较小的软体动物转变为平均体重较大的甲壳动物,这主要与人类活动(过度采捕、环境污染和生物促淤等因素)的强度干扰有关,也反映上海市潮滩湿地的环境质量和生态功能正在逐步下降。

关键词:潮滩湿地;大型底栖动物;生物量;上海市;长江口

文章编号:1000-0933(2008)10-5179-09 中图分类号:Q145, Q149, Q178, Q179, Q948 文献标识码:A

The spatial pattern of macrozoobenthic communities in the tidal wetlands of Shanghai City

QUAN Wei-Min¹, ZHAO Yun-Long², ZHU Jiang-Xing¹, SHI Li-Yan¹, CHEN Ya-Qu^{1,*}

1 Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

2. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5179 ~ 5187.

Abstract: The macrozoobenthos were sampled in six tidal wetlands of Shanghai City (Chongming Dongtan, Chongming Beitan, Jiuduansha, Qingcaosha, Nanhui Biantan and the northern bank of Hangzhou Bay) along 27 transects from the high to low intertidal during 2004 – 2006. A total of 112 species was recorded. Crustaceans, mollusks and annelids were the dominant taxonomic groups and accounted for approximately 51.8%, 22.3% and 18.8% of the total number of species, respectively.

The macrozoobenthic biomass in six tidal wetlands showed a consistent spatial distribution pattern, namely high

基金项目:上海市科学技术委员会城市建设攻关定向研究资助项目(052112047);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2007M03);上海市科学技术委员会重大资助项目(04DZ19301)

收稿日期:2007-02-04; **修订日期:**2008-06-12

作者简介:全为民(1977 ~),男,湖北省大冶市人,博士,主要从事河口生态学研究. E-mail: quanweim@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaquchen@yahoo.com.cn

致谢:感谢美国佛罗里达理工大学林俊达教授及汪松年先生对写作的帮助;感谢韩金娣和沈鑫绿在样品采集、分析及鉴定过程中提供的帮助。

Foundation item: The project was financially supported by Targeted Research Project for Municipal Construction of Shanghai Science and Technology Committee (No. 052112047); Special Research Fund for the National Non-profit Institutes of China (East China Sea Fisheries Research Institute) (No. 2007M03); Key item of Shanghai Science and Technology Committee (No. 04DZ19301)

Received date: 2007-02-04; **Accepted date:** 2008-06-12

Biography: QUAN Wei-Min, Ph. D., mainly engaged in estuarine ecology. E-mail: quanweim@163.com

intertidal > middle intertidal > low intertidal. The relative contributions of several taxonomic groups to the total biomass varied within and among the six tidal wetlands. Crustaceans accounted for about 51% to 97% of the total biomass of macrozoobenthic communities. Mollusks accounted for 2% to 48% of the total biomass and increased from the high to low intertidal in Dongtan and Jiuduansha wetland.

There is no consistent spatial pattern for the total density of macrozoobenthic community in the six tidal wetlands. In three of them (Chongming Dongtan, Chongming Beitan and Jiuduansha), the greatest density of macrozoobenthic community appeared in the middle intertidal, with the lowest in the low intertidal. The relative contributions of major taxonomic groups to the total density also varied within and among the six tidal wetlands. In Chongming Dongtan, Jiuduansha and the northern bank of Hangzhou Bay, mollusks dominated the macrozoobenthic communities, accounted for between 66% and 77% of the total density. But in the other three wetlands (Chongming Beitan, Qingcaosha and Nanhui biantan), crustaceans were the dominant group.

The mean macrozoobenthic biomass in the tidal wetlands sharply increased from the early 1980s and 1990s to the mid 2000s. The macrozoobenthic community in the tidal wetlands had shifted from the mollusk-dominated to crustaceans-dominated, which possibly resulted from the serious anthropologic disturbance (over-harvest, environmental pollution and biological accretion). The alternation in the community structure possibly influenced the biological production and ecological service value, decreased the quality of bird prey and nektons, and accelerated the biogeochemistry process of nutrients in the tidal wetlands.

Key Words: tidal wetlands; macrozoobenthos; biomass; Shanghai City; Yangtze River estuary

大型底栖动物是温带潮滩湿地最重要的消费者类群之一,也是潮滩湿地生态系统中负责物质和能量循环的关键类群和鱼类、大型游泳甲壳动物与鸟类的优质饵料^[1~5]。因此,大型底栖动物的物种组成、群落结构及空间分布是河口及滨海生态系统健康的重要指示因子^[6,7]。目前,有关温带地区潮滩湿地中大型底栖动物分布的研究很多,并证实了大型底栖动物分布的区带性(zonation)^[2,7,8];但大多数研究只分析了大型底栖动物在潮间带光滩生境中的空间分布,而有关潮滩湿地(包括盐沼)不同演替阶段生境中大型底栖动物空间分布格局的报道较少^[9]。

许多学者研究了上海市潮滩湿地大型底栖动物的空间分布,但受取样方法和研究地点的影响,不同研究的结果有很大差异^[10~15]。如有些研究认为,高潮区大型底栖动物的生物量最高^[12,14,15];而有的研究结果却认为中潮区或低潮区大型底栖动物生物量最高^[9,13]。尽管大多研究均认为中潮区大型底栖动物的密度最高,但在不同的研究中,大型底栖动物密度差别很大,有时甚至相差一个数量级^[9,12,13]。本研究选择上海市 6 个典型潮滩湿地作为研究地点,通过多个季度的综合调查,研究了潮滩湿地大型底栖动物生物量和密度的空间分布;并通过与历史调查结果比较,阐明了上海市潮滩湿地大型底栖动物群落结构的改变。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选择 6 个典型潮滩湿地作为研究地点,包括崇明东滩(A)、崇明北滩(B)、九段沙(C)、青草沙及中央沙(下文称青草沙)(D)、南汇边滩(E)和杭州湾北岸(F)(图 1)。整个调查于 2004 年 1 月至 2006 年 12 月期间进行,在 6 个潮滩湿地上共设置了 27 个断面,具体采样地点、时间和断面数见表 1。在每个断面上,分别在高、中和低潮区各设一个取样点(青草沙由于潮间带较短,仅设高潮区和低潮区),手持 GPS 定位。在长江口的 4 个潮滩湿地(崇明东滩、崇明北滩、九段沙和青草沙),高潮区设置于芦苇群落内,中潮区设置于海三棱藨草/藨草群落中,低潮区位于光滩上;在 2 个大陆边滩湿地(南汇边滩和杭州湾北岸),按垂直于岸线方向,依据高程分别设置高中低 3 个样点。在每个取样点上平行设置 3 个样方,每个样方的面积为 0.5 m × 0.5 m,挖表层 30 cm 土样,以孔径 1 mm 的筛子筛出所有生物,样品用 75 % 酒精固定保存后带回实验室称重、分析和

鉴定。

1.2 数据处理

大型底栖动物群落特征以物种数、生物量和密度表示。其中软体动物样品带壳称重,按肉壳比换算成生物量,连同其它生物类群统计出大型底栖动物的生物量(g/m^2)和密度($\text{ind.}/\text{m}^2$)。

大型底栖动物生物量和密度的组成采用相对贡献率和总体平均相对贡献率来表示。相对贡献率是指某一样点(高潮区、中潮区和低潮区)上各类群生物量(或密度)占大型底栖动物生物量(或密度)的百分比。总体平均相对贡献率是指某类群的平均生物量(或密度)值占总平均生物量(或密度)的百分比。

2 结果

2.1 物种组成

经鉴定,共记录大型底栖动物 112 种。其中,甲壳动物 58 种,占总物种数的 51.8%;软体动物 25 种,占总物种数的 22.3%;环节动物 21 种,占总物种数的 18.8%;鱼类 6 种,占总物种数的 5.4%;其它类群 2 种。

九段沙的物种数最多,为 83 种;其次是崇明东滩,为 45 种;青草沙的物种数最少,仅有 14 种;崇明北滩、南汇边滩和杭州湾北岸的物种数分别为 19、26 和 19。从 6 个滩涂湿地大型底栖动物各类群的物种数来看(表 2),除杭州湾北岸(F)软体动物所占比最高外,其它 5 个滩涂湿地甲壳动物的物种数均高于其它类群。

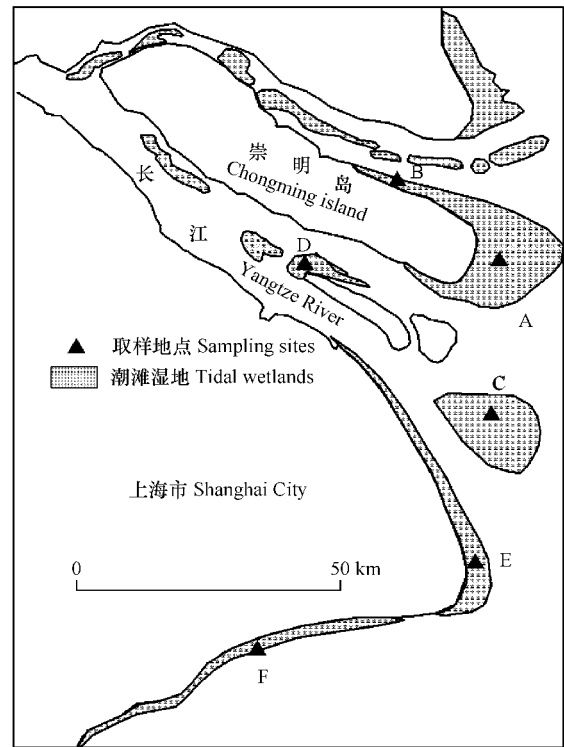


图 1 长江口滩涂湿地及取样点

Fig. 1 Tidal wetlands in Yangtze River estuary and the sampling sites

字母 A~F 的含义见表 1。The letters A~F are shown as Table 1

表 1 6 个滩涂湿地的基本特征及采样时间和断面数量

Table 1 The area, vegetation type, number of transects and sampling time of six tidal wetlands

滩涂湿地 Tidal wetlands	潮间带面积(km^2) Intertidal area	植被类型 Vegetation types	断面 Transects	调查时间 Sampling time
崇明东滩(A) Chongming Dongtan	132	芦苇, 互花米草, 海三棱 藨草、藨草	5	2006 年 2、5、8、10 月 Feb., May, Aug. and Oct. 2006
崇明北滩(B) Chongming Beitan	42	芦苇, 糙叶苔草, 互花米草	3	2004 年 7 月和 2005 年 1 月 July 2004, Jan. 2005
九段沙(C) Jiuduansha	175	芦苇, 互花米草, 海三棱藨草、藨草	9	2005 年 4、7、10 月和 2006 年 1 月 Apr., July and Oct. 2005, Jan. 2006
青草沙(D) Qingcaosha	92	芦苇, 菰	5	2005 年 11 月, 2006 年 2、5、8 月 Nov. 2005, Feb., May and Aug. 2006
南汇边滩(E) Nanhui biantan	57	芦苇	3	2004 年 9 月 Sep. 2004
杭州湾北岸(F) Northern bank of Hangzhou Bay	37	芦苇	2	2004 年 9 月 Sep. 2004

芦苇 *Phragmites australis*, 互花米草 *Spartina alterniflora*, 海三棱藨草 *Scirpus mariqueter*, 藨草 *Scirpus triqueter*, 糙叶苔草 *Carex scabrifolia*, 菰 *Zizania caduciflora*

2.2 空间分布

2.2.1 生物量

在 6 个滩涂湿地中,大型底栖动物生物量的空间分布呈现一致的规律:高潮区 > 中潮区 > 低潮区,即随着高程的降低,在由陆向海的方向上,大型底栖动物的生物量逐步降低(图 2)。

图3显示了潮滩湿地大型底栖动物生物量的组成。甲壳动物的总体平均(T)相对贡献率在51%~97%之间,软体动物的总体平均(T)相对贡献率在2%~48%之间,环节动物的总体平均(T)相对贡献率不超过3%。在青草沙(D),甲壳动物的总体平均(T)相对贡献率达到97%;而在九段沙(C)、南汇边滩(E)和杭州湾北岸(F),软体动物对生物量的总体平均相对贡献率(T)要高于崇明东滩(A)、崇明北滩(B)和青草沙(D)。

表2 潮滩湿地中主要大型底栖动物类群的物种数

Table 2 The species number of major taxonomic groups of macrozoobenthos in six tidal wetlands

潮滩湿地 Tidal wetlands	总物种数 Total species	甲壳动物 Crustaceans	软体动物 Mollusks	环节动物 Annelids	其它 Others
A	45	16 (35.6%)	11 (24.4%)	13 (28.9%)	5 (11.1%)
B	19	7 (36.8%)	4 (21.1%)	3 (15.8%)	5 (26.3%)
C	83	40 (48.2%)	25 (30.1%)	12 (14.5%)	6 (7.2%)
D	14	6 (42.8%)	2 (14.3%)	5 (35.7%)	1 (7.1%)
E	26	14 (53.9%)	6 (23.1%)	5 (19.2%)	1 (3.8%)
F	19	4 (21.1%)	10 (52.6%)	4 (21.1%)	1 (5.3%)

括号中数字代表该类群物种数占总物种数的百分比 The values in parenthesis show the percentage of the taxa among the total species number

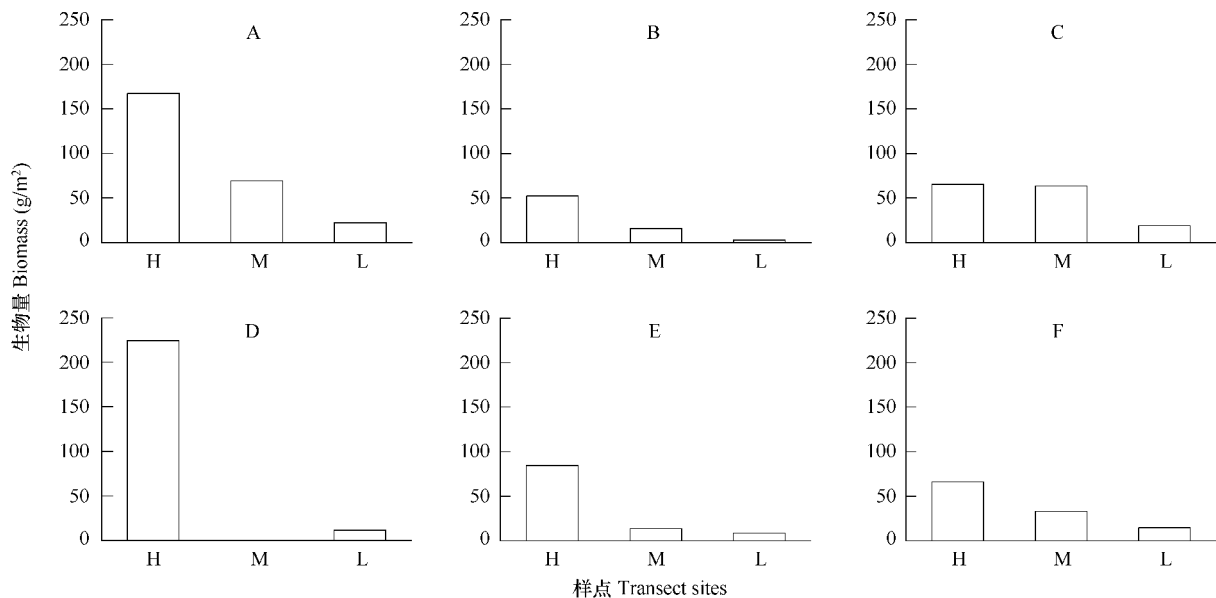


图2 潮滩湿地大型底栖动物生物量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of macrozoobenthic biomass in six tidal wetlands

H, M 和 L 分别表示高潮区、中潮区和低潮区; 字母 A-F 的含义见表 1 The letters H, M and L show the high, middle and low intertidal, respectively; The letters A-F are shown as Table 1

同时,大型底栖动物生物量组成沿高程梯度也呈现出较大变化。在崇明东滩(A)、九段沙(C)和青草沙(D),低潮区软体动物对生物量的相对贡献明显大于高、中潮区;如在崇明东滩和九段沙湿地,低潮区软体动物对生物量的相对贡献率分别达到77%和56%。而在大陆边滩的2个湿地(E,F),中潮区软体动物的相对贡献最大,低潮区甲壳动物的相对贡献率反而大于高、中潮区。

2.2.2 密度

图4显示了潮滩湿地大型底栖动物密度的空间分布。在崇明东滩(A)、崇明北滩(B)和九段沙(C),大型底栖动物的密度呈现出一致的空间分布规律,中潮区密度最高,高潮区次之,低潮区最低。而在青草沙(D),高潮区>低潮区;在南汇边滩(E)为低潮区>高潮区>中潮区;而杭州湾北岸(F)为高潮区>中潮区>低潮区。

图 5 显示了潮滩湿地大型底栖动物密度的组成。在崇明东滩(A)、九段沙(C)和杭州湾北岸(F), 软体动物是优势类群, 其总体平均相对贡献率(T)介于 66% ~ 77% 之间。如在崇明东滩, 各潮区软体动物在数量上均占优势; 在九段沙和杭州湾北岸, 高、中潮区以软体动物占优势; 而在低潮区, 甲壳动物是优势类群。在崇明北滩(B)、青草沙(D)和南汇边滩(E), 甲壳动物是优势类群, 其总体平均(T)相对贡献率在 58% ~ 95% 之间。

3 讨论

3.1 空间分布

潮滩湿地中大型底栖动物的分布取决于多个因子的协同作用, 包括物理环境(沉积物粒径、盐度和潮汐等)、植物群落、动物的生理生态和物种间的相互作用等^[2,16,17]。潮滩湿地是一个不断发育和演替的生态系统, 从高潮滩到低潮滩的方向上, 存在着一个逐步变化的环境梯度, 从而使大型底栖动物的群落结构具有较大的空间变异^[9,11]。许多研究结果表明, 潮滩湿地中大型底栖动物的分布存在区带性特征^[2,7,8,18]。本研究很好地支持了这一观点, 在 2 个典型潮滩湿地中(崇明东滩和九段沙), 高潮区主要分布着沉积物取食者, 如蟹类(无齿相手蟹 *Sesarma denaani*、红螯相手蟹 *Sesarma haematocheir* 和弧边招潮 *Uca arcuata* 等)和腹足类(中华拟蟹守螺 *Cerithidea sinensis* 和菲拟沼螺 *Assimineea*

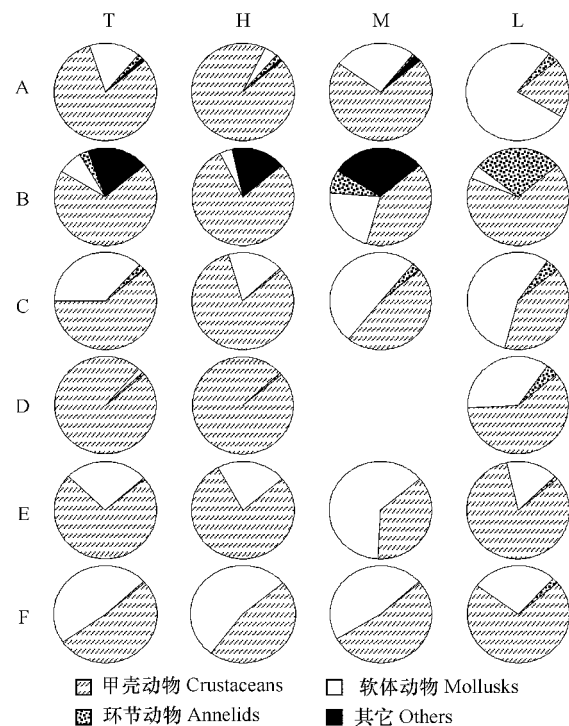


图 3 各类群对大型底栖动物生物量的相对贡献

Fig. 3 Relative contributions of major taxonomic groups to macrozoobenthic biomass at the transect sites in tidal wetlands
各字母简写的含义见图 2; T 表示总体平均 The abbreviation of the uppercase letters is shown as Fig. 2; T: the total mean

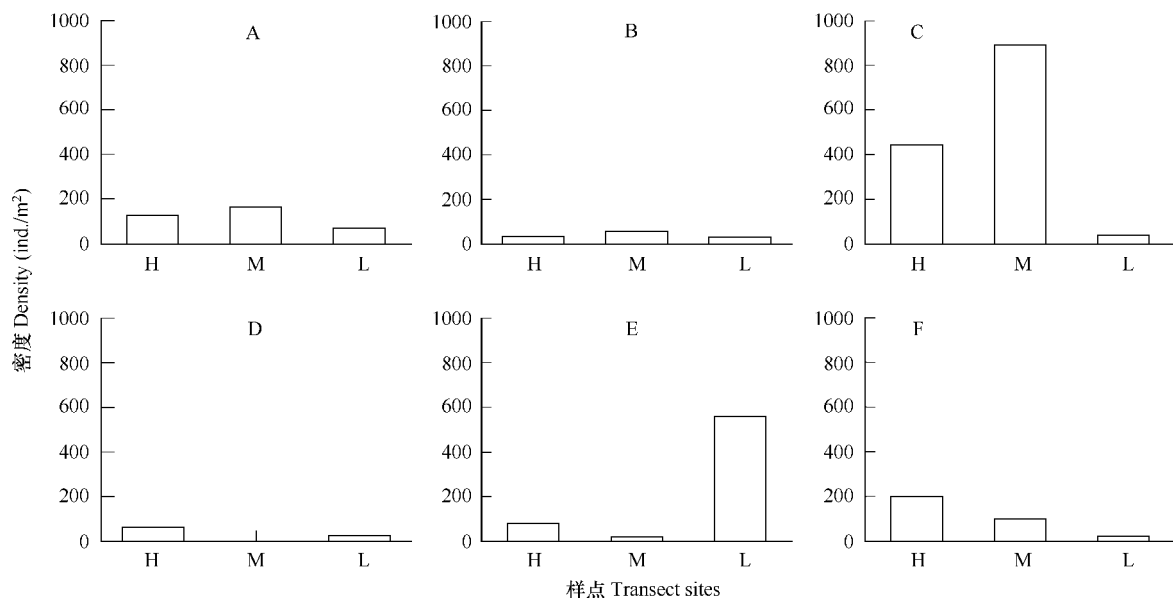


图 4 潮滩湿地大型底栖动物密度的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of macrozoobenthic density in tidal wetlands
各字母简写的含义见图 2. The abbreviation is shown as Fig. 2

*latericera*等)等;在中潮区,大型底栖动物的组成具有过渡性特征,既有底上型的螺类(光滑狭口螺 *Stenothyra glabra* 和董拟沼螺 *Cerithidea sinensis* 等),也有穴居性的蟹类(天津厚蟹 *Helice tientsinensis* 和谭氏泥蟹 *Ilyoplax deschampsii* 等),还有双壳类(中华绿螂 *Glaucomya chinensis*、缢蛏 *Sinowacula constricta* 和河蚬 *Corbicula fluminea* 等);在低潮区,以悬浮颗粒有机物为食的双壳类软体动物为优势类群,如焦河篮蛤 *Potamocorbulata ustulata*、河蚬和缢蛏等。但在两个大陆边滩湿地(南汇边滩和杭州湾北岸)中,大型底栖动物的分布并没有呈现出这种典型的区带特征,主要原因可能是这两个潮滩湿地滩面较短、潮滩较为平坦、使环境因子沿高程梯度的变化不明显^[1,2]。

本研究结果也发现,从高潮区到低潮区,随着高程的降低,大型底栖动物的生物量逐步下降,这与许多研究的结果是一致的^[12,14,15]。主要原因可能有:①维管植物,在长江口潮滩湿地的高、中潮区,通常生长着稠密的维管植物(芦苇和海三棱藨草)。一方面,这些植物的初级生产为大型底栖动物提供了大量可食性的有机碎屑^[19,20];另一方面,植物的生长改变了潮滩湿地的物理环境,为底栖动物营造了适宜的栖息生境,如植物冠层结构显著降低了水流速度、加快了细悬浮颗粒的沉积,增加了土壤有机质含量,而且盐沼植物通气组织能输送大量氧气到沉积物中,改变了沉积物的氧化还原条件^[9,20,21];因此,高潮滩稳定的底质环境非常适合于大型蟹类的生长繁殖;同时,高潮区异质性的生境结构也有利于底栖动物躲避其它游泳动物的捕食作用。②水动力条件,高程越高,潮淹时间越短,沉积物粒径越小,这种环境有利于底上型和穴居性动物的生长,不适宜于双壳类软体动物的生长^[2,22]。而低潮滩属于潮滩发育的早期,严酷的环境条件和限制性的食物资源制约着底栖动物的数量,群落组成以底内动物为主。

在长江口3处潮滩湿地(崇明东滩、崇明北滩和九段沙)中,大型底栖动物密度呈现出相同的分布特征,即最高密度分布于中潮区,这与许多前人的研究结果是一致的,也证实了如下假说:最高密度通常分布于中等潮位和沉积物组成的潮区^[2,22],原因可能是中潮区处于盐沼和光滩的交界处,其生境也具有过渡性特征,适宜的底质特性、多样性的生境结构和相对低的环境压力适宜于更多的大型底栖动物在此栖息。而在杭州湾北岸湿地,大型底栖动物密度的分布规律与生物量一致,即高潮区>中潮区>低潮区,主要原因可能是这处潮滩湿地的中、低潮区较狭窄,受潮水侵蚀作用较强,底质不稳定,所以中、低潮区大型底栖动物的丰度很低,也表明大型底栖动物的分布与潮滩湿地的宽度、地形、潮水状况及环境压力等因素有关^[14]。

3.2 群落结构的改变及其对潮滩湿地生态系统的影响

与历史资料相比较^[14,15],近20多年来,上海市潮滩湿地大型底栖动物的生物量明显增加,目前的平均生物量分别是20世纪80和90年代的1.77和2.37倍(图6),而且大型底栖动物的群落结构发生了改变,优势类群由个体较小的软体动物转变为个体较大的甲壳动物。在20世纪80和90年代,软体动物对生物量的平均相对贡献率均约为85%,而目前软体动物的平均相对贡献率仅为14%。相反,甲壳动物对生物量的相对贡献显著增加,20世纪80和90年代甲壳动物的相对贡献率分别为13%和11%,目前却高达84%。与生物量不同,目前的平均密度与20世纪90年代初的调查结果比较接近,但与20世纪80年代初的调查结果相比,大

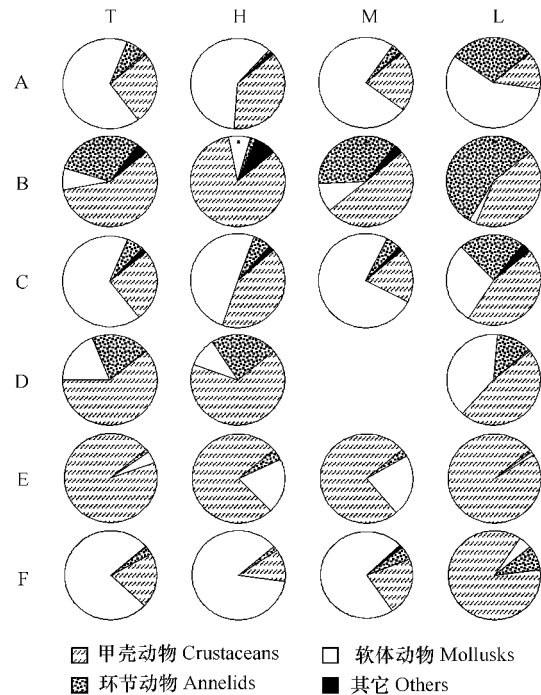


图5 各类群对大型底栖动物密度的相对贡献

Fig. 5 Relative contributions of major taxonomic groups to macrozoobenthic density at the transect sites in six tidal wetlands

各字母简写的含义见图3 The abbreviation of the uppercase letters is shown as Fig. 3

型底栖动物的密度约降低了 70% (图 6)。同时,在数量组成上,软体动物的相对贡献显著降低,而甲壳动物的相对贡献却在增加。

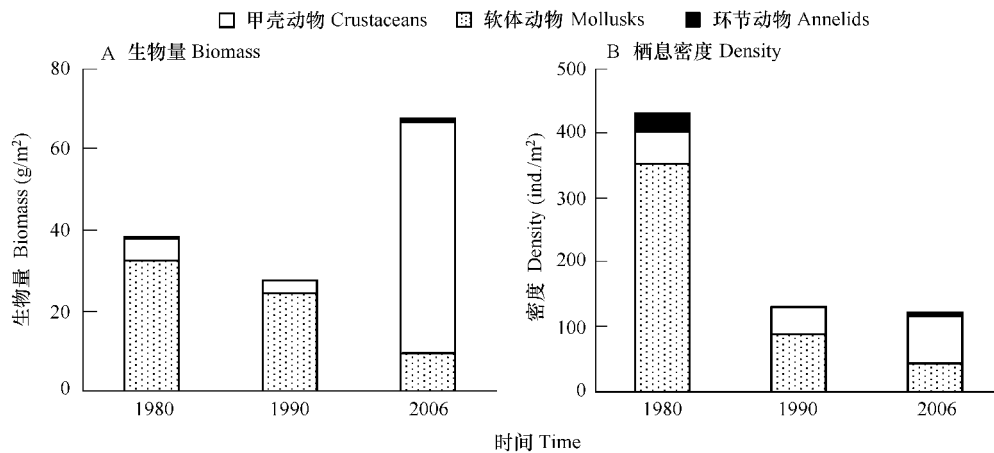


图 6 上海市潮滩湿地大型底栖动物群落结构的改变

Fig. 6 Change of macrozoobenthic community structure in tidal wetlands of Shanghai city

上海市潮滩湿地大型底栖动物群落结构的改变可能有下列 3 个方面的原因:①过度采捕,一些软体动物(泥螺 *Bullacta exarata*、河蚬、缢蛏、彩虹明樱蛤 *Moerella iridescens* 和焦河篮蛤等)通常是当地的主要经济物种,每年春夏季大规模采捕可能是造成软体动物数量下降的主要原因^[5,15]。②环境污染,与甲壳动物蟹类相比,活动能力更小的软体动物对环境污染反映得更为敏感。③湿地的发育,自从 20 世纪 80 年代以来,频繁的生物促淤加快了潮滩湿地的发育,增加了潮滩湿地的植被面积,如 1997~2004 年期间,九段沙湿地植被面积就增加了 2.3 倍^[23],这种还原性的沉积物环境减少了双壳类软体动物的数量,增加了大型甲壳动物的数量,从而使大型底栖动物的群落结构发生了快速演替^[20]。

大型底栖动物的群落结构是河口及滨海生态系统健康的重要指示因子^[6,22]。根据 Borja 等^[6]提出的生物指数划分方法,近岸软相底质大型底栖动物可被划分为 5 个生态类群(I~V),类群越大,说明动物对污染物的忍耐力越强。根据此方法,双壳类软体动物为第 II 生态类群,而沉积物食性的甲壳动物蟹类为第 III 生态类群。因此,近 20 多年来上海市潮滩湿地大型底栖动物群落由第 II 生态类群为主转变为以第 III 生态类群为主,表明上海市潮滩湿地的环境质量显著降低。

大型底栖动物群落结构的改变可能会影响潮滩湿地的生态经济价值和生态系统功能。首先,从物质生产的角度来看,潮滩湿地中蟹类的经济价值很低,而许多软体动物通常是传统的经济物种^[4,5]。另外,从食物饵料资源的角度来看,蟹类通常个体较大,不易被游泳动物和鸟类所捕食,而软体动物通常是游泳动物和鸟类的优质饵料。因此,这种群落结构的改变表明潮滩湿地的生态系统功能呈下降趋势。

大型底栖动物在潮滩湿地营养盐的生物地球化学循环过程中起着重要的作用,它们通过生物扰动(包括潜穴、爬行、觅食和避敌等)和生理活动等过程影响着营养盐在潮滩沉积物—水—气三相界面之间的物质通量^[24,25]。刘敏等^[25]的研究结果表明,蟹类动物具有较强的生物扰动作用,通过掘穴活动改变了沉积物物理结构,加快了沉积物中有机氮向 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的转化和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的转化,从而促进了潮滩沉积物氮的生物地球化学循环过程。而双壳类软体动物具有“生物泵”功能,能不断把水体养分输入到沉积物,加快氮磷元素的沉积速率^[26,27]。因此,大型底栖动物群落由食悬浮颗粒物的软体动物转变为以生物扰动为主的蟹类,可能会加快潮滩湿地营养盐的生物地球化学循环过程。

4 结论

通过对上海市 6 个典型潮滩湿地大型底栖动物的综合研究,主要得出以下结论:

(1) 共记录到大型底栖动物 112 种,隶属 6 门 7 纲,其中甲壳动物 58 种、软体动物 25 种和环节动物 21

种,分别占总物种数的 51.8%、22.3% 和 18.8%。

(2) 潮滩湿地中大型底栖动物生物量的空间分布规律为:高潮区 > 中潮区 > 低潮区。从生物量组成来看,甲壳动物是最为重要的类群,其总体平均相对贡献率在 51% ~ 97% 之间,软体动物的总体平均相对贡献率在 2% ~ 48% 之间,环节动物的总体平均相对贡献率小于 3%。

(3) 近 20 多年来,上海市潮滩湿地大型底栖动物的群落结构发生了明显改变,优势类群由个体较小的软体动物转变为平均体重较大的甲壳动物,这种群落结构的改变主要与人为活动(过度采捕、环境污染和生物促淤)的强度干扰有关,也反映上海市潮滩湿地的环境质量和生态系统功能正在逐步降低。

References:

- [1] Ricciardi A, Bourget E. Global patterns of macroinvertebrate biomass in marine intertidal communities. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 185: 21 — 35.
- [2] Dittmann S. Zonation of benthic communities in a tropical tidal flat of north-east Australia. *Journal of Sea Research*, 2000, 43: 33 — 51.
- [3] Posey M H, Alphin T D, Meyer D L, *et al.* Benthic communities of common reed *Phragmites australis* and marsh cordgrass *Spartina alterniflora* marshes in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 261: 51 — 61.
- [4] Chen J K. Comprehensive Surveys on Shanghai Jiuduansha Wetland Nature Reserve, the Yangtze River Estuary. Beijing: Science Press, 2003. 165 — 190.
- [5] Xu H F, Zhao Y L. Comprehensive Surveys on Chongming Dongtan Migratory Bird Wetland Nature Reserve, the Yangtze River Estuary. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2005. 75 — 115.
- [6] Bojia A, Franco J, Pérez V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40: 1100 — 1114.
- [7] Koh C H, Shin H C. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mudflat of the west coast of Korea (Yellow Sea). *Netherlands Journal of Sea Research*, 1988, 22: 279 — 290.
- [8] Peterson C H. Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *American Scientist*, 1991, 79: 236 — 249.
- [9] Yang Z H, Tong C F, Lu J J. Characteristics of macrobenthic fauna communities in three successional stages of the new emergent salt marsh in an Estuary of the Yangtze River. *Zoological Research*, 2006, 27(4): 411 — 418.
- [10] Xie Y M. Shanghai wetland. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 2004. 21 — 26.
- [11] Fang T, Li D J, Li M T, *et al.* Distribution and seasonal changes of benthos in different sediment types in Chongming tidal flat. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(1): 24 — 26, 48.
- [12] Zhang Y P, You W H, Jiao J P. Studies on macrozoobenthic community of Jiuduansha wetland in the Yangtze River estuary. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(2): 169 — 172.
- [13] Zhou X, Wang T H, Ge Z M, *et al.* Impact of *Spartina alterniflora* invasion on the macrobenthos community of Jiuduansha's intertidal mudflat in the Yangtze River estuary. *Biodiversity Sciences*, 2006, 14(2): 165 — 171.
- [14] Group of Shanghai Island Comprehensive Investigation. Report of Shanghai islands comprehensive investigation. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Publisher, 1995. 246 — 249.
- [15] Chen J Y, Yang Q L, Zhao Q Y. Report of comprehensive survey on the coastal zone and intertidal resources of Shanghai. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 1988. 146 — 150.
- [16] Bonsdorff E, Norkko A, Sandberg E. Structuring zoobenthos: the importance of predation, cropping and physical disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995, 192: 125 — 144.
- [17] Peterson C H, Black R. Resource depletion by active suspension feeders on tidal flats: influence of local density and tidal elevation. *Limnology and Oceanography*, 1987, 32: 143 — 166.
- [18] Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2054 — 2062.
- [19] Hedge P, Kriwoken L K, 2000. Evidence for effects of *Spartina anglica* invasion on benthic macrofauna in Little Swanport estuary, Tasmania. *Australia Ecology*, 1988, 25: 150 — 159.
- [20] 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.
- [21] Neira C, Grosholz E D, Levin L A, *et al.* Mechanisms generating modification of benthos following tidal flat invasion by a spartina hybrid.

Ecological Applications, 2006, 16: 1391—1404.

- [22] Beukema J J. Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1976, 10: 236—261.
- [23] Huang H M, Zhang L Q. Remote sensing analysis of range expansion of *Spartina alterniflora* at Jiuduansha shoals in Shanghai, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 75—82.
- [24] Mortimer R J G, Davey J T, Kroma M D, *et al.* The effect of macrofauna on porewater profiles and nutrient fluxes in the intertidal zone of the Humber estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 48: 683—699.
- [25] Liu M, Hou L J, Xu S Y, *et al.* Experimental simulation of the effects of macrobenthos on the microcycling of nitrogen in the Yangtze estuarine and tidal flat ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1132—1137.
- [26] Quan W M, Shen X Q, Luo M B, *et al.* Ecological function and restoration measures of oyster reef in estuaries. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(10): 1234—1239.
- [27] Jørgensen C B, Famme P, Kristensen H S, *et al.* The bivalve pump. *Marine Ecology Progress Series*, 1986, 34: 69—77.

参考文献:

- [4] 陈家宽. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集. 北京: 科学出版社, 2003. 165~190.
- [5] 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. 75~115.
- [9] 杨泽华, 童春富, 陆健健. 长江口湿地三个演替阶段大型底栖动物群落特征. *动物学研究*, 2006, 27(4): 411~418.
- [10] 谢一民. 上海湿地. 上海: 上海科学技术出版社, 2004. 21~26.
- [11] 方涛, 李道季, 李茂田, 等. 长江口崇明东滩底栖动物在不同类型沉积物的分布及季节性变化. *海洋环境科学*, 2006, 25(1): 24~26, 48.
- [12] 张玉平, 由文辉, 焦俊鹏. 长江口九段沙湿地底栖动物群落研究. *上海水产大学学报*, 2006, 15(2): 169~171.
- [13] 周晓, 王天厚, 葛振鸣, 等. 长江口九段沙湿地不同生境中大型底栖动物群落结构特征分析. *生物多样性*, 2006, 14(2): 165~171.
- [14] 《上海市海岛资源综合调查》编写组. 上海市海岛资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1996. 13~28.
- [15] 陈吉余, 杨启伦, 赵传纲. 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 146~150.
- [18] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. *生态学报*, 2002, 22(12): 2054~2062.
- [20] 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.
- [23] 黄华梅, 张利权. 上海九段沙互花米草种群动态遥感研究. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 75~82.
- [25] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江口潮滩生态系统氮微循环过程中大型底栖动物效应实验模拟. *生态学报*, 2005, 25(5): 1132~1137.
- [26] 全为民, 沈新强, 罗民波, 等. 牡蛎礁的生态功能及恢复措施. *生态学杂志*, 2006, 25(10): 1234~1239.