

长江口海三棱藨草带生长季大型底栖动物群落变化特征

童春富*, 章飞军, 陆健健

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 2006年4—11月对长江口崇明东滩海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 带大型底栖动物群落进行了定位调查研究。每月1次采用样方法对大型底栖动物和植被进行同步取样; 在鉴定、计数和生物量(干重)测定分析的基础上, 进行了多样性测度以及聚类、排序等统计分析。研究结果表明, 生长季内海三棱藨草带大型底栖动物的多度和生物量整体呈上升趋势, 但是月间存在一定波动变化, 9月份多度最高, 平均为1536 ind/m², 10月份生物量(干重)最高, 平均为21.60 g/m²; 不同月份优势类群组成、多度及生物量特征存在明显差异, 瓣鳃类仅在部分时段表现出优势特征。物种数整体呈V字型变化特征, 在8月份达到最低值。由于种间个体数量分布的变化滞后于整体物种数的变化, Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数的峰谷变化滞后于物种数变化, 即物种数在5月份达到最低, 而多样性及均匀度指数在6月份达到最小值。海三棱藨草带大型底栖动物群落的月间变化特征, 在很大程度上是水文(包括水动力条件)以及植被等因素综合作用的结果, 但在不同时期主导因子或者不同因子协同作用不同。它们的直接影响是导致底栖动物种类组成、多度变化, 进而改变整体生物量和多样性特征。

关键词: 长江口; 崇明东滩; 海三棱藨草; 大型底栖动物群落; 月际变化

中图分类号: Q958.1 文献标识码: A 文章编号: 0254-5853-(2007)06-0640-07

Variation Characteristics of the Macrobenthic Fauna Community in the *Scirpus mariqueter* Zone of the Yangtze Estuary During the Growing Seasons

TONG Chun-fu, ZHANG Fei-jun, LU Jian-jian

(State Key Laboratory of Estuary and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: An *in situ* study on the macrobenthic fauna community in *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan in the Yangtze Estuary was carried out from April to October in 2006. The macrobenthic fauna and vegetation were sampled using a quadrat method synchronously every month, and samples were analysed in the laboratory, including species identification, individual count and biomass measure (Dry weight). Then biodiversity, cluster and multidimensional scaling analyses were carried out. The results proved that during the growing seasons, the abundance and the biomass of the macrobenthic fauna community in the *Scirpus mariqueter* zone had a trend of increasing, while there was still some fluctuation between different months. The abundance arrived at a peak of 1536 ind/m² on average in September, and the biomass arrived at a peak level of 21.60 g/m² (DW) on average in October. The composition, abundance and biomass of the dominant group had different characteristics in different months, the species of Lamellibranchia only had the dominant characteristics in some periods. The track of the species' monthly variation had a similar shape to character V, and the low point arrived in August. Due to the temporal lag between the change in species number and the variation of individual number distribution among different species, the fluctuation of the Shannon-Wiener index value and Pielou evenness index value appeared to be a little later than that of the species number, regardless of whether it was a peak or low point. The species numbers had a low point in May, and the biodiversity indices got the lowest point in June. The synthesis of different factors including hydrological dynamics and the vegetation led to the monthly variation in the macrobenthic fauna community. And during different periods different

收稿日期: 2007-07-03; 接受日期: 2007-09-28

基金项目: 国家自然科学基金(40506029)

*通讯作者 (Corresponding author), E-mail: cftong@sklec.ecnu.edu.cn

第一作者简介: 童春富(1977—), 男, 汉族, 浙江人, 博士。主要从事系统生态学与湿地生态学研究

factors had various impacts on the community. Usually they directly affected the species composition and abundance, which in turn changed the biodiversity and biomass characteristics of the community.

Key words: Yangtze Estuary; Chongming Dongtan; *Scirpus mariqueter*; Macrobenthic fauna community; Monthly variation

近年来, 国内学者对长江河口大型底栖动物群落开展了广泛的研究, 研究内容包括底栖动物群落结构特征及其与生境的关系 (Yuan & Lu, 2001a, 2002, 2003; Fang et al, 2006; Xie et al, 2007), 大型底栖动物资源研究及其生态修复 (Yuan & Lu, 2001c; Shen et al, 2006), 大型底栖动物功能群特征 (Yuan et al, 2002a; Zhu & Lu, 2003)、大型底栖动物群落的演替 (Yang et al, 2006) 以及河口大型工程对大型底栖动物群落的影响 (Yuan & Lu, 2001b; Yuan et al, 2002b) 等。但是, 对于底栖动物群落结构的研究, 主要侧重于群落组成及空间分布特征的分析, 在时间维向上主要反映季节频次的差异, 而对特定生境条件下大型底栖动物群落时间动态变化特征的连续观测研究则鲜见报道。

海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 是我国的特有种, 主要分布在长江口和杭州湾 (Yuan et al, 2002c), 是长江河口潮间带植被的主要类型之一。专门针对海三棱藨草带大型底栖动物群落特征的研究, 仅见于袁兴中等人的工作 (Yuan et al, 2002c), 但主要侧重于植被与底栖动物群落特征空间差异的对应分析。为了更好地揭示海三棱藨草带底栖动物群落的动态变化特征, 探讨对应变化关系的影响因子, 2006 年 4—11 月, 在海三棱藨草的生长季内, 作者对崇明东滩海三棱藨草带的大型底栖动物群落开展了定位研究, 分析了其种类组成、生物量及多样性的动态变化特征及影响因子。

1 材料和方法

1.1 调查区域和站位设置

调查区域设在崇明东滩的海三棱藨草带。崇明东滩位于崇明岛的东部, 0 m 线以上面积约 246 km², 滩涂最宽处在 10 km 以上, 是目前长江口规模最大的潮汐滩涂湿地, 也是亚太候鸟迁徙路线上的重要栖息地。该区域位于北亚热带南缘, 是东亚季风盛行地区, 年平均温度 15.7℃, 年降雨量 1123.7 mm, 潮汐属非正规半日浅海潮, 平均盐度为 0.1%~0.3% (Yuan et al, 2002c)。区域自然植被为芦苇 (*Phragmites australis*) 群落和海三棱藨草群落, 具有成带分布特征, 且海三棱藨草带分布在芦苇带

的下缘, 为草滩的前缘; 芦苇分布区有部分人工种植的互花米草 (*Spartina alterniflora*), 目前已明显扩散。从植物萌芽到地上部分枯死, 主要生长季为 4—11 月。调查区域是崇明东滩国家级鸟类自然保护区的组成部分, 大型底栖动物是许多鸟类的饵料。

采样站位设在崇明东滩正东端捕鱼港的海三棱藨草带, 该区域海三棱藨草带宽度约为 1.5 km。通常根据高程, 并考虑植被格局、表层结构异质性、底栖动物分布等特征, 可以将海三棱藨草带分为低位、中位和高位 3 个亚带 (Yuan et al, 2002c)。低位区为海三棱藨草带下缘, 与光滩交错, 植株稀疏, 高度较小, 生长不连片, 往往呈岛状斑块分布; 中位区为海三棱藨草带主体, 海三棱藨草连片生长, 植株密度大、高度较高, 生境相对均质 (潮沟分布区除外); 高位区为海三棱藨草带上缘, 海三棱藨草生长情况较低位区好, 但是该亚带上部有芦苇、互花米草斑块侵入, 海三棱藨草群落表现出一定的衰退迹象。为了避免边缘区域不同生境的影响, 本研究采样点设在海三棱藨草带中位区, 中心点座标为 31°30.610'N, 121°58.810'E, 如图 1 所示。该区域沉积物以中粉沙为主, 粒径为 4.47 Φ , 盐度约为 0.012%, 有机质含量为 1.19% (Yuan et al, 2002c; Fang et al, 2006)。

1.2 样品采集、处理

2006 年 4—11 月, 每月 1 次对固定站位的植被和底栖动物进行采样。每次在距离中心点半径 100 m 范围内, 采集 6 个样方。样方面积为 25 cm \times 25 cm。取样时先用草刀将植物地上部分割至近地面, 然后用铁铲向下挖取 30 cm, 泥样用 1 mm 孔径网筛淘洗。筛洗后捡取底栖动物, 并立即用 5% 福尔马林溶液固定。在实验室对底栖动物进行鉴定计数, 然后在 80℃ 烘干至恒重并称取干重, 软体动物未进行去壳处理; 植物在记录密度、高度后, 将地上、地下部分同时在 105℃ 烘干至恒重并称取干重。

1.3 数据分析

1.3.1 多样性测度 采用物种丰富度 (S)、数 (J) 对底栖动物物种多样性进行测度分析 (Ludwig & Reynolds, 1988)。

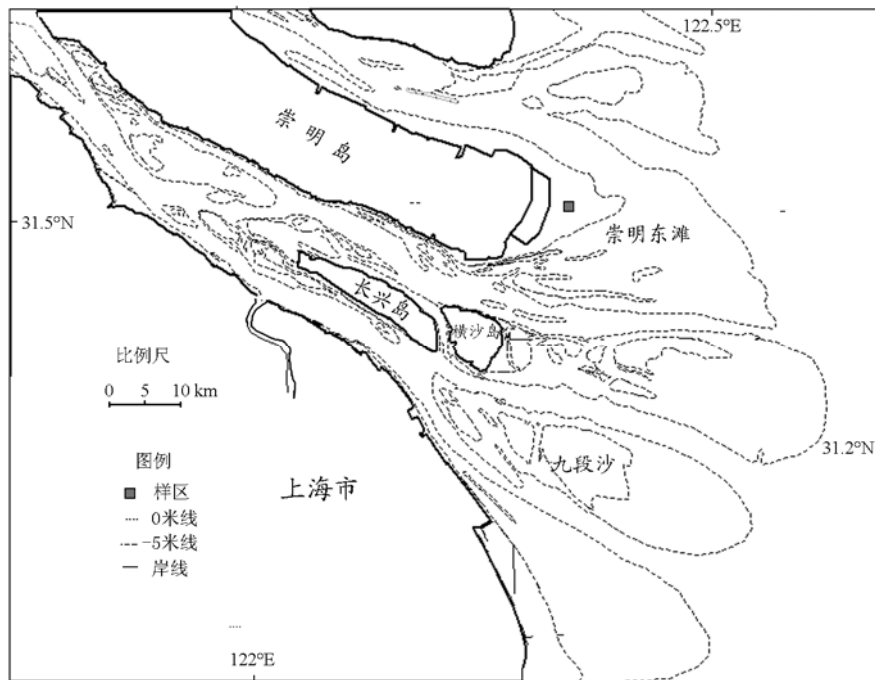


图 1 崇明东滩海三棱藨草带大型底栖动物样区

Fig. 1 Sampling site for the macrobenthic fauna in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

物种丰富度: $S = C + \sum Si$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数: $J' = H' / H'_{\max}$

其中, S 为总的物种数, C 为所有样方共有的物种数, S_i 为样方 i 中特有的物种数; P_i 为样方中第 i 种的个体数量占个体总数的比例, $H'_{\max} = \ln S$ 为最大的物种多样性。

1.3.2 统计分析 用 Statistica 6.0 进行统计分析。群落聚类 and 排序分析采用 PRIMER 5.0 软件包 (Plymouth Marine Laboratory, UK) (Clarke, 1993; Clarke & Warwick, 1994) 进行。种类多度数据经过二次方根标准化, 在计算 Bray-Curtis 相似性系数的基础上, 用非参数多维排序 (non-Metric multidimensional scaling, nMDS) 技术作二维排序。Stress 值用于分析 MDS 排序的可信度; 聚类分析也在上述相似性系数计算的基础上进行。

2 结果

2.1 群落组成与生物量

调查期间共记录大型底栖动物 19 种, 分属 3 门 5 纲 9 目 14 科。其中多毛类、昆虫各 2 种, 均占总种数的 10.5%; 瓣鳃类 3 种, 占总种数的 15.8%;

甲壳类和腹足类各 6 种, 均占总种数的 31.6%。

崇明东滩海三棱藨草带大型底栖动物多度量值主要集中在 $0 \sim 2000 \text{ ind/m}^2$, 但最大值为 2320 ind/m^2 , 最小值为 16 ind/m^2 , 变动幅度较大; 生物量值主要集中在 $0 \sim 30 \text{ g/m}^2$, 但最大值为 53.30 g/m^2 , 最小值为 0.23 g/m^2 , 变动幅度也较大(图 2)。崇明东滩海三棱藨草带大型底栖动物的生物量和多度具有一定的相关性 ($r=0.5984$, $P=0.00000$, $7 < 0.05$) (图 2), 说明多度增加是生物量增加的一个重要因素。

生长季大型底栖动物的多度呈上升趋势, 9 月份达到最高, 平均多度为 1536 ind/m^2 ; 此后在 10 月和 11 月有所下降(图 3)。不同月份各类群多度特征具有明显差异, 而且存在一定交替出现的特征(图 4)。4 月份甲壳动物占明显优势, 主要优势种为无齿螳臂相手蟹 (*Chinomantes dehaani*), 天津厚蟹 (*Helice tientsinensis*); 5—7 月份, 以瓣鳃类数量居多, 优势种为中国绿螂 (*Glaucanome chinensis*); 而 8—11 月腹足类数量占明显优势, 优势种为拟沼螺 (*Assiminea* sp.)。昆虫只在 5 月和 11 月分别以幼虫和蛹的形式出现; 多毛类只在 4—5、9 以及 11 月有记录, 两者出现的数量都相对较少。生长季大型底栖动物生物量总体呈上升趋势, 10 月份达到最高, 平均生物量为 21.60 g/m^2 (干重), 11

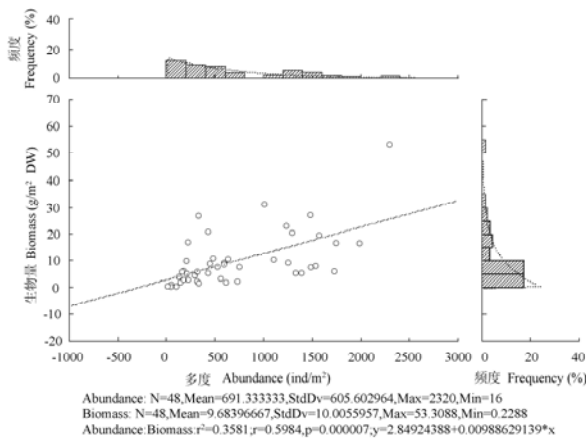


图 2 崇明东滩海三棱蔗草带大型底栖动物生物量和多度相关分析以及量值频度分布
 Fig. 2 Correlation analysis between the abundance and biomass of the macrobenthic fauna, frequency distribution analysis of the biomass and abundance

月份略有下降 (图 5)。从不同类群生物量变化特征来看, 具有与多度变化的不同特点。4 月份以瓣鳃类和甲壳类生物量为主导, 但 5—8 月以瓣鳃类生物量居多; 9 月以后腹足类、甲壳类生物量明显增加, 而居于主导地位 (图 6)。

2.2 多样性、聚类与排序

大型底栖动物多样性月间变化特征如图 7 所示。物种丰富度整体呈 V 字型变化。4—5 月先增加, 5 月份达到一个峰值, 5 月以后一直到 8 月, 呈下降趋势, 8 月份达到最低值; 8 月以后一直到 11 月, 又呈现上升趋势。而 Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数受物种丰富度的影响较大, 其变化特征与物种丰富度有一定的差异。最大

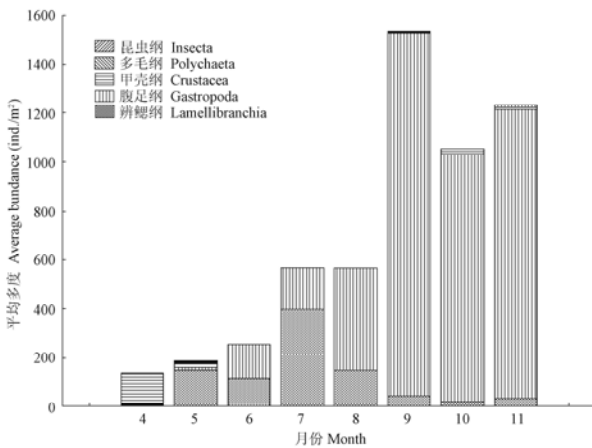


图 4 崇明东滩海三棱蔗草带不同类群大型底栖动物多度变化
 Fig. 4 Monthly abundance variation of the different macrobenthic fauna groups in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

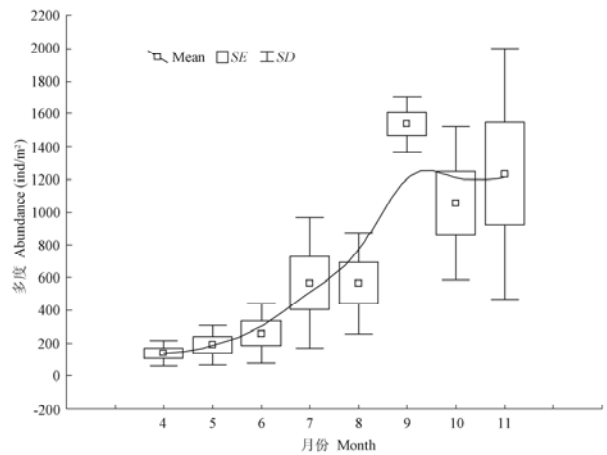


图 3 崇明东滩海三棱蔗草带大型底栖动物多度月变化
 Fig. 3 Monthly variation of the macrobenthic fauna abundance in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

峰、谷值均滞后前者 1 个月。从 4—5 月, 尽管物种数增加, 但是均匀度降低, 而 Shannon-Wiener 多样性指数略有增长; 5—6 月, 尽管物种数下降, 但是均匀度增加, 相应多样性仍然是上升的, 并在 6 月份达到峰值; 6—9 月, 均匀度尽管有一定波动, 但是由于个别种, 如中国绿螂、拟沼螺等个体数量的异常增加, 整体呈下降趋势, 相应 Shannon-Wiener 多样性指数也呈现下降趋势, 9 月份达到最低值; 此后 9—11 月, 随着物种数与均匀度的增加, 相应多样性指数略有增长。由不同多样性指数自身特点可知, 海三棱蔗草带大型底栖动物种间个体数量分布的变化, 滞后于整体物种数的变化。

不同月份大型底栖动物种类多度聚类结果如

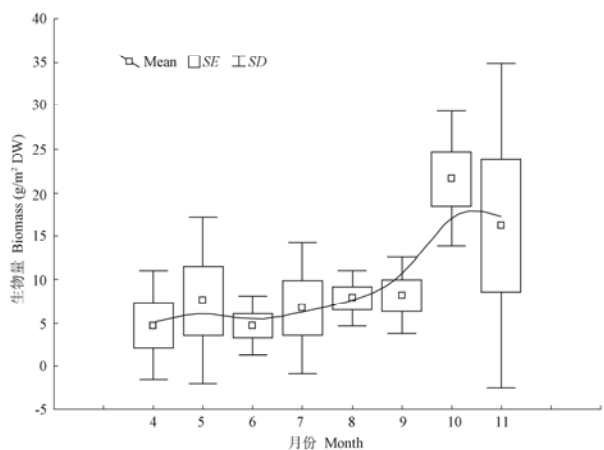


图 5 崇明东滩海三棱蔗草带大型底栖动物生物量月变化
 Fig. 5 Monthly variation of the macrobenthic fauna biomass in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

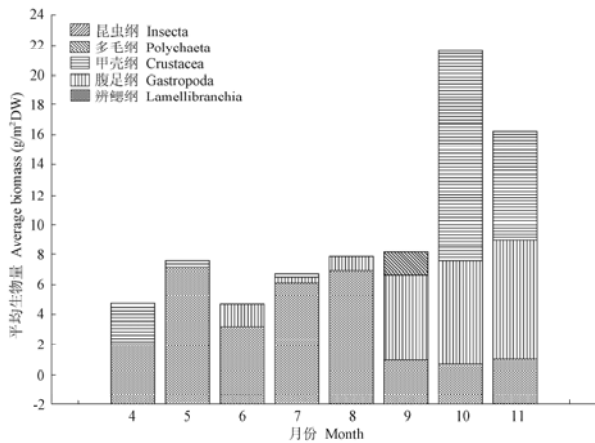


图 6 崇明东滩海三棱藨草带不同类群大型底栖动物生物量变化
Fig. 6 Monthly biomass variation of the different macrobenthic fauna groups in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

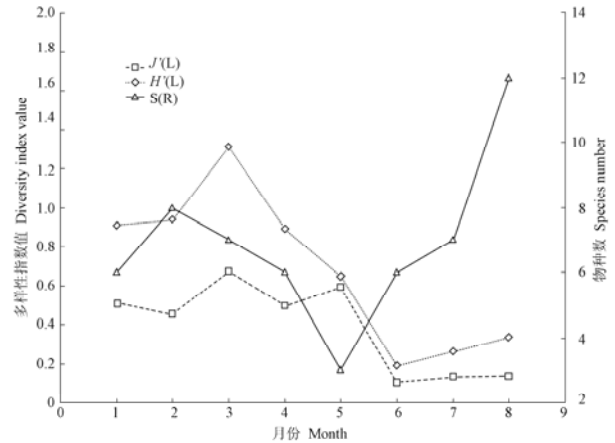


图 7 崇明东滩海三棱藨草带大型底栖动物多样性月变化
Fig. 7 Monthly variation of the macrobenthic fauna diversity in the *Scirpus mariqueter* zone of Chongming Dongtan

图 8A 所示。10、11 月份底栖动物群落相似性最高，相似性达到 80.8%；在相似性为 33.2% 水平上，分成 3 个组，8、9、10、11 月为一组，5、6、7 月为一组，4 月份单独成为一组，与其他组汇聚的相似性水平为 8.55%。如图 8B 所示，排序结果与聚类分析结果相一致，stress=0.01<0.05，说明结果可信。从聚类的梯级变化特征可以看出，4—5 月种类组成及多度变化最为突出，而后 5—8 月种类、多度月间变化较为明显，月间相似性较低；7—8 月变化强度仅次于 4—5 月，8 月份种类、多度组成已明显不同于 7 月。8 月以后，9—11 月种类组成、多度变化幅度减小，月间相似性增加。

2.3 植被生长特征相关分析

海三棱藨草带大型底栖动物的多度与海三棱藨草的密度、高度、地上生物量以及地下生物量相关性相对较高 (表 1)，说明植被生长特征对大型底栖动物多度的影响大于物种数和生物量变化，特别是地下生物量对大型底栖动物多度的作用尤为突出。

3 讨论

本文研究结果表明，生长季内，海三棱藨草带大型底栖动物的多度和生物量整体呈上升趋势，但是月间存在一定波动变化；不同月份，大型底栖动物优势类群的多度和生物量存在明显差异，如 5—7 月以瓣鳃类数量占优势，而 8—11 月以腹足类数量居多。在已有空间对比分析研究的基础上 (Yuan et al, 2002c)，进一步揭示了海三棱藨草带大型底栖动物在时间维向上的变化特征。而研究尺度与观测频次的差异，往往导致研究结果的不同。如崇明东滩不同生境四季对比调研分析表明，崇明东滩大型底栖动物生物量在不同季节均以双壳类 (瓣鳃类) 占优势 (Fang et al, 2006)，而本文研究表明，在海三棱藨草带中心区域，双壳类 (瓣鳃类) 仅在部分时间段表现出优势特征。

已有研究结果表明，长江口大型底栖动物群落的组成及分布特征主要受植被 (Yuan et al, 2002c; Zhu & Lu, 2003; Xu et al, 2006)、水动力条件

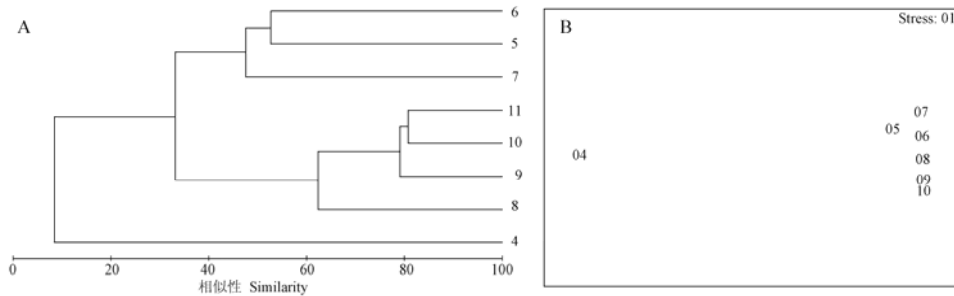


图 8 不同月份大型底栖动物种类多度的聚类和排序
Fig. 8 Cluster and MDS analysis on the species abundance of the macrobenthic fauna in different months

表 1 底栖动物与植物生长特征的相关系数 (R)
Tab. 1 The correlation between the benthic fauna and plant growing characteristics

底栖动物 Benthic fauna	植物 Plant			
	密度 Density	高度 Height	地上生物量 Above ground biomass	地下生物量 Under ground biomass
物种数 Species number	0.212	0.123	-0.03	0.138
多度 Abundance	0.509*	0.494*	0.439*	0.616*
生物量 Biomass	0.225	0.235	0.045	0.185

* $P < 0.05$ 。

(Yuan & Lu, 2001b; Yang et al, 2006) 以及沉积物特征 (Yuan & He, 1999; Fang et al, 2006) 等因素的影响。而作为径流强、潮流中等的特大型淤泥质河口, 长江口水文 (包括水动力条件) 往往成为底栖动物生境塑造的重要因子, 它与生境构成要素的植被一起, 对底栖动物群落变化特征产生重要作用。

长江入河口区径流年内分配不均, 5—10 月为洪季, 其径流量占全年的 71.3%, 11 月至翌年 4 月为枯季, 其径流量占全年的 28.7%, 最大 3 个月 (6、7、8 月) 的径流量占全年径流量的 39.61%; 对应的枯季潮差小, 洪季潮差大 (Shen & Pan, 2001)。4 月份为枯季末期, 滩面淹水频度以及水动力条件所造成的扰动影响相对较弱, 特别是海三棱藨草刚刚萌发, 地下根系尚未完全发育, 生境条件明显不同于其他季节, 较适合于植食性和沉积食性、营掘穴生活的种类栖居。从聚类与排序的结果可以看出, 4 月份与其他月份种类、多度的相似性最低, 种类组成以移动性强、掘穴生活的甲壳类, 如无齿螳臂相手蟹和天津厚蟹为主, 基本上就反应了这一特征。

而进入丰水期以后, 水动力条件造成的滩面扰动作用增强, 特别是进入 6 月份以后, 潮汐、径流加上台风暴雨的影响形成的风暴潮, 对滩面的扰动作用进一步加剧, 滩面稳定性降低, 这导致大型底栖动物物种数减少; 同时, 由于海三棱藨草地下部分的发育, 生物量的增加, 以及地上植株密度的增大, 不再适于移动性强、以掘穴为主的蟹类栖居, 优势类群转变为以滤食性、底埋型的瓣鳃类为主。本研究揭示的海三棱藨草生长特征, 特别是地下部分生物量对大型底栖动物多度影响较为突出的特点, 也说明了这一点; 而聚类、排序分析结果所显

示的这一时期各月间种类多度相似性较低, 也反映了这一时期环境不稳定、底栖动物种类组成变化较快的特点。

9 月份以后, 风暴潮影响开始减弱, 同时由于植被的发育及其对水动力条件的影响, 使滩面条件转向稳定。已有研究表明, 海三棱藨草植被生长区平均波能仅为光滩的 19%, 近底层平均流速与邻近同高程光滩的比值为 0.16~0.84 (Yang et al, 2001), 除了风暴潮等极强扰动影响, 海三棱藨草具有明显的滩面稳定作用。这为沉积食性、营底上附着生活的腹足类创造了适宜的条件, 使这一时期腹足类数量, 如拟沼螺迅速增加, 底栖动物物种数回升; 10 月份以后, 随着枯水期的临近, 海三棱藨草的枯萎、倒伏, 以及地下生物量的分解、减少, 对移动性强、掘穴型底栖动物的制约影响减弱, 天津厚蟹等甲壳动物又重新进入海三棱藨草分布区。

因此, 本文研究中, 不同时期海三棱藨草带大型底栖动物群落特征的差异, 在很大程度上是水文, 包括水动力条件, 以及植被等因素综合作用的结果, 但在不同时期主导因子或者不同因子协同作用的特征不同。从现有的研究结果来看, 植被等因子最直接的影响是导致底栖动物种类组成、多度的变化, 植被与底栖动物生长特征的相关分析结果在一定程度上也说明了这一点。而相应生物量的变化, 一方面是由于多度变化的影响, 另一方面也是不同物种自身生物学、生长特征的反映; 而多样性指数, 特别是 Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数的变化特征, 实际上是物种丰富度与多度特征的综合反映。当然, 种类组成变化可能与特定物种的生活史特征有关, 这还有待于进一步研究。

参考文献:

- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structures [J]. *Aust J Ecol*, **18**: 117-143
- Clarke KR, Warwick R. 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation [M]. Plymouth, UK: Natural Environmental Research Council, 144
- Fang T, Li DJ, Li MT, Deng S. 2006. Distribution and seasonal changes of benthos in different sediment types in Chongming tidal flat [J]. *Mar Environ Sci*, **25** (1): 24-26, 28.[方涛, 李道季, 李茂田, 邓爽. 2006. 长江口崇明东滩底栖动物在同类型沉积物的分布及季节性变化. 海洋环境科学, **25** (1): 24-26, 28.]
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988. Statistical Ecology [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Shen HT, Pan DA. 2001. Turbidity Maximum in the Changjiang Estuary [M]. Beijing: China Ocean Press, 15-17. [沈焕庭, 潘定安. 2001. 长江河口最大浑浊带. 北京: 海洋出版社, 15-17]
- Shen XQ, Chen YQ, Luo MB, Wang YL. 2006. Preliminary study on the restoration of benthos in the Changjiang Estuary [J]. *J Agro-Environ Sci*, **25** (2): 373-376. [沈新强, 陈亚瞿, 罗民波, 王云龙. 2006. 长江口底栖动物生物修复的初步研究. 农业环境科学学报, **25** (2): 373-376.]
- Xie ZF, Zhang FJ, Liu WL, Lu JJ. 2007. The community structure of benthic macroinvertebrates associated with *Spartina alterniflora* in the Yangtze Estuary, in China [J]. *Zool Res*, **28** (2): 167-171.[谢志发, 章飞军, 刘文亮. 2007. 长江口互花米草生长区大型底栖动物的群落特征. 动物学研究, **28** (2): 167-171.]
- Xu XJ, Wang H, You WH, Liu BX. 2006. A study on the fluctuation of zoobenthic community in Chongming Dongtan's *Spartina alterniflora* Loisel [J]. *Trans Oceano Limn*, **2**: 89-95. [徐晓军, 王华, 由文辉, 刘宝兴. 2006. 崇明东滩互花米草群落中底栖动物群落动态的初步研究. 海洋湖沼通报, **2**: 89-95.]
- Yang SL, Shi Z, Zhao QY. 2001. Influence of tidal marsh vegetations on hydrodynamics and sedimentation in the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ocean Sin*, **23** (4): 75-80. [杨世伦, 时 钟, 赵庆英. 2001. 长江口潮沼植物对动力沉积过程的影响. 海洋学报, **23** (4): 75-80.]
- Yang ZH, Tong CF, Lu JJ. 2006. Characteristics of macrobenthic fauna communities in three successional stages of the new emergent salt marsh in an Estuary of the Yangtze River [J]. *Zool Res*, **27** (4): 411-418. [杨泽华, 童春富, 陆健健. 2006. 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, **27** (4): 411-418.]
- Yuan XY, He WS. 1999. Animal diversity of marine sediment and its ecosystemic function [J]. *Adv Earth Sci*, **14** (5): 458-463. [袁兴中, 何文珊. 1999. 海洋沉积物中的动物多样性及其生态系统功能. 地球科学进展, **14** (5): 458-463.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001a. Preliminary study on macrobenthic community of the creek in the tidal flat of the Changjiang Estuary [J]. *Zool Res*, **22** (3): 211-215. [袁兴中, 陆健健. 2001a. 长江口潮沟大型底栖动物群落的初步研究. 动物学研究, **22** (3): 211-215.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001b. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **21** (10): 1642-1647. [袁兴中, 陆健健. 2001b. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, **21** (10): 1642-1647.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2001c. Studies on zoobenthos resources in the islands of the Changjiang Estuary [J]. *J Nat Resour*, **16** (1): 37-41. [袁兴中, 陆健健. 2001c. 长江口岛屿湿地的底栖动物资源. 自然资源学报, **16** (1): 37-41.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2002. Ecological characteristics of macrozoobenthic community of tidal flat wetland in the Changjiang Estuary [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, **11** (5): 414-420. [袁兴中, 陆健健. 2002. 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, **11** (5): 414-420.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002a. Distribution pattern and variation in the functional groups of zoobenthos in the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **22** (12): 2054-2062. [袁兴中, 陆健健, 刘 红. 2002a. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. 生态学报, **22** (12): 2054-2062.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002b. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the new shoal of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ocean Sin*, **24** (2): 133-139. [袁兴中, 陆健健, 刘 红. 2002b. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征. 海洋学报, **24** (2): 133-139.]
- Yuan XZ, Lu JJ, Liu H. 2002c. Influence of characteristics of scirpus mariqueter community on the benthic macro-invertebrate in a salt marsh of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecol Sin*, **22** (3): 326-333. [袁兴中, 陆健健, 刘 红. 2002c. 河口盐沼植物对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, **22** (3): 326-333.]
- Yuan XZ, Lu JJ. 2003. Micro-topographical element- "Biogenic Structure" and spatial distribution of meiofauna on the tidal flat [J]. *Chn J Ecol*, **22** (6): 124-126. [袁兴中, 陆健健. 2003. 潮滩微地貌元素“生物结构”与小型底栖动物的空间分布. 生态学杂志, **22** (6): 124-126.]
- Zhu XJ, Lu JJ. 2003. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary [J]. *Zool Res*, **24** (5): 355-361. [朱晓君, 陆健健. 2003. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, **24** (5): 355-361.]