DOI: 10.5846/stxb201402100230
江旷,陈小南,鲍毅新,李海宏,施渭渭,王华,任鹏.互花米草入侵对大型底栖动物群落垂直结构的影响.生态学报,2016,36(2): - .
Jiang K,Chen X N,Bao Y X,Li H H,Shi W W,Wang H,Ren P.Effect of *Spartina alterniflora* invasion on the vertical structure of macrobenthic community. Acta Ecologica Sinica,2016,36(2): - .

# 互花米草入侵对大型底栖动物群落垂直结构的影响

江 旷,陈小南,鲍毅新*,李海宏,施渭渭,王 华,任 鹏
浙江师范大学 生态研究所,金华 321004

**摘要**:2012 年 8 月,在浙江省玉环县漩门湾国家湿地公园,利用自制分层采样器,以 5 cm 为单位对 0—25 cm 泥层进行分层取样,研究潮间带互花米草滩涂和自然滩涂两种生境中大型底栖动物的垂直分布情况,以及互花米草入侵对大型底栖动物垂直结构的影响。两种生境中共获得大型底栖动物 40 种,其中软体动物 18 种,甲壳动物 13 种,环节动物 4 种,其他类群 5 种。在自然滩涂生境中获得的物种数为 30 种,互花米草生境为 31 种,两种生境的共有种有 21 种。互花米草和自然滩涂生境平均栖息密度分别为 222.6 ind./$m^2$和 1052.8 ind./$m^2$。研究结果表明:(1) 大型底栖动物主要栖息在 0—10 cm 泥层深度;(2) 大型底栖动物群落沿泥层深度存在分层分布现象;(3)互花米草入侵缩短了底栖动物的垂直分布距离,但对其主要栖息深度影响不大;(4)互花米草入侵改变了原来生境特征,导致大型底栖动物的群落结构发生变化。

**关键词**:互花米草;大型底栖动物;潮间带;垂直分布

# Effect of *Spartina alterniflora* invasion on the vertical structure of macrobenthic community

JIANG Kuang,CHEN Xiaonan,BAO Yixin*,LI Haihong,SHI Weiwei,WANG Hua,REN Peng
*Institute of Ecology,Zhejiang Normal University,Jinhua* 321004,*China*

**Abstract**: A *Spartina alterniflora* tidal flat (HH), (coverage = 25%—30%) and a natural tidal flat (ZR) were studied to determine the impact of a *S. alterniflora* invasion on the vertical structure of a macrobenthic community. Macrobenthos field sampling was carried out in the HH and ZR areas in Xuanmen Bay National Wetland Park, YuHuan County, Zhejiang Province, China, in August 2012. The tidal flat was reclaimed in 2005 and its current width is approximately 200—250 m. The study area was divided into HH and ZR habitat types, which are defined by geomorphological features and vegetation distribution. Within each habitat type, three sample lines were selected. Each sample line was composed of five sites, which were 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, and 250 m from the coast. Four quadrats (25 × 25 × 25 cm) were taken from independent patches in each site and sieved (1 mm). Macrobenthos samples were collected from depths of 0 cm, 0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm, 15—20 cm, and 20—25 cm, with a newly designed, stratified macrobenthos sampling device.

We analyzed the numerical data using several biodiversity indices, e.g., the Shannon-Wiener ($H'$), Pielou ($J$), Margalef ($D_{ma}$), and Simpson ($D$) indices. Community structure was determined by hierarchical cluster and multidimensional scaling analyses. Significance testing for differences in macrobenthic species and density between sample lines and sediment depth was undertaken. Based on the data collected from three sample lines in the ZR and three in the HH, a total of 40 species were obtained, of which 18 species were Mollusca, 13 were Crustacea, 4 were Polychaeta, and the remaining five were members of various other taxonomic groups. Thirty species were obtained in the ZR, 31 were obtained in the HH, and 21 were found in both habitats. In both HH and ZR, the macrobenthic species numbers were

**收稿日期**:2014-02-10; **网络出版日期**:2015- -
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: Sky90@zjnu.cn

highest at 0—5 cm depth and lowest at 20—25 cm depth. The average density in the HH and ZR was 222.6 ind./$m^2$ and 1,052.8 ind./$m^2$, respectively. The main habitat depth coincidence rate was more than 50% when the quantities of species were more than 1% of the total species. When the quantities of species were more than 10% of the total species, then the coincidence rate was more than 75%. In the 0—20 cm deep HH sediment, the Margalef, Shannon-Wiener, and Pielou indices were higher than at the same sediment depth in ZR, but the Simpson index showed an opposite trend. In the 20—25 cm deep HH sediment, the Margalef, Shannon-Wiener, and Pielou indices were lower at the same depth in ZR. Again, the Simpson index showed an opposite trend. The results revealed that (1) In HH and ZR, macrobenthos mainly inhabit the 0—10 cm deep sediment category; (2) different macrobenthic communities are distributed at different sediment depths in both habitats; (3) the invasion of *S. alterniflora* reduced the vertical macrobenthos distribution depth, but had little effect on its main habitat depth; and (4) the *S. alterniflora* invasion altered the original habitat characteristics, which caused changes to the macrobenthic community structure.

**Key Words**: *Spartina alterniflora*; Macrobenthos; Tidal flat; Vertical distribution

互花米草(*Spartina alterniflora*)原产于北美东海岸,由其具有秸秆密集粗壮,地下根茎发达,能够促进泥沙的快速沉降和淤积的特点,致使许多国家引进互花米草来进行保滩护堤、促淤造陆,我国于 1979 年引进互花米草,后被引种到许多河口和海湾的滩涂潮间带[1-2]。互花米草在潮间带湿地生境中具有超强的繁殖和扩散能力,它的定居和大面积扩散,已威胁到湿地生境中的土著物种,还影响到滩涂生态系统的结构和功能[3-5]。目前有关互花米草的研究,已引起了国内外诸多学者的关注[6-9]。

大型底栖动物是湿地生态系统中的重要组成部分,同时也是生态系统物质循环、能量流转中积极的消费者和转移者。目前国内外学者已对互花米草生境中大型底栖动物的群落结构[10]、时空动态[11]、次级生产力[12]、多样性[13]等进行了研究,并对不同密度[14]、不同发育时间[15]的互花米草对大型底栖动物的影响进行了分析,同时也开展了互花米草不同治理措施对大型底栖动物的影响[16]等研究。有关底栖动物垂直分布则比较复杂,因为底栖动物垂直分布有两种涵义:第一,沿潮间带分布或水深分布;第二,沿沉积物深度分布[17]。有关沿潮间带分布或水深分布的研究较多,如洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[18],胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态[19]等;而有关沉积物深度分布的研究较少。本文通过对互花米草和自然滩涂生境中大型底栖动物群落结构,不同泥层深度大型底栖动物群落结构以及同一物种在两种生境中分布的异同进行研究,旨在探讨互花米草入侵对大型底栖动物群落结构在垂直空间分布的影响。

## 1 研究地点与方法

### 1.1 研究地点概况

漩门湾国家湿地公园位于浙江省台州市玉环县,属亚热带季风气候,潮汐类型为典型的正规半日潮,年平均气温 16.9—17.6 ℃,年降水量为 1300—1400 mm。漩门二期工程于 1999 年开始围垦,2005 年完成围垦后,潮间带宽度约为 250—300 m,为泥质滩涂,沉积物主要由粘土组成。潮间带地貌特征结合植被分布可分为自然滩涂和互花米草滩涂(图 1)。其中,互花米草从岸边至离岸 250 m 左右距离均有分布,由于入侵年限较早,多已成熟,调查区域互花米草盖度为 25%—35%。

### 1.2 采样

根据预实验结果,我们将调查区域大型底栖动物物种数和栖息密度最大的夏季选为取样时间。2012 年 8 月,用 25 cm×25 cm×30 cm 自制的分层采样器(如图 2)进行采样。在自然滩涂和互花米草滩涂两种生境中各取 3 条与海岸垂直的带状断面,3 条断面均匀分布在互花米草和自然滩涂区域,每个断面选取 5 个样点,各样点离岸距离分别为 50 m、100 m、150 m、200 m、250 m,每个样点取 4 个样方。在最低潮时,每个样方分别采集 0 cm 层、0—5 cm 层、5—10 cm 层、10—15 cm 层、15—20 cm 层、20—25 cm 层泥样,以了解大型底栖动物沿沉

积物深度的分布及群落结构。所采泥样用 1 mm 孔径的分样筛进行淘洗,所获取大型底栖动物用 10%福尔马林固定,带回实验室后,立即分类计数。样品的处理和分析按《海洋调查规范》第六部分:海洋生物调查(GB12763.6-2007)进行。

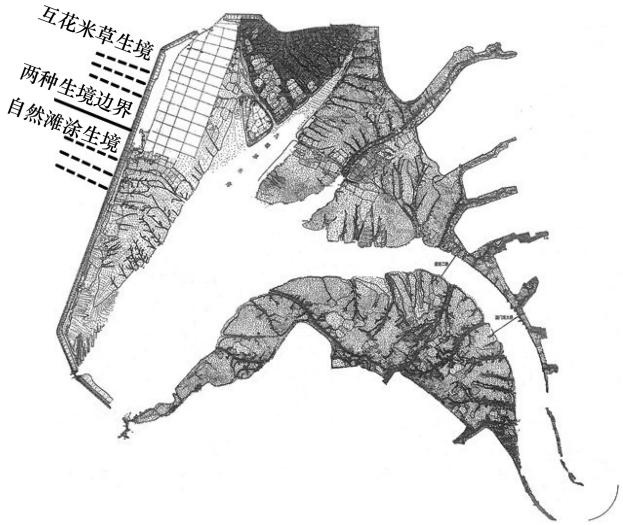


图 1　研究区域及样带

Fig. 1　Location of the study area and sampling lines

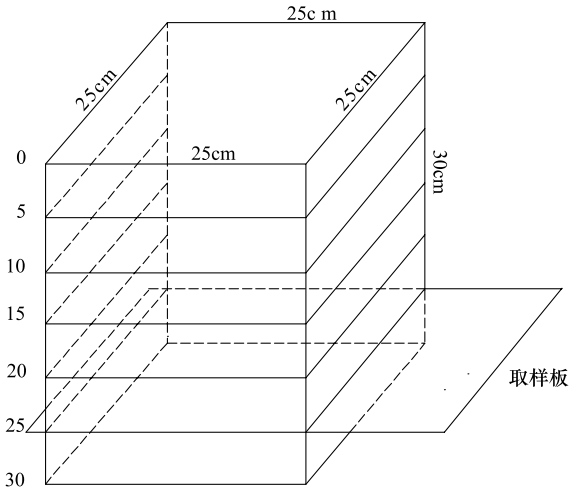


图 2　大型底栖动物分层采样装置

Fig. 2　The stratified sampling device of macrobenthos

### 1.3　主要栖息深度

本文将物种栖息密度从大到小排在前三的分布层自定义为该物种的主要栖息深度。若此三层不连续,则将它们之间的区域也并入主要栖息深度。

### 1.4　数据处理

根据滩涂底栖动物群落的特点及取样数据,以下列公式进行数据及结果分析:

栖息深度重合率=两种生境重合层数/两种生境物种分布总层数

Margalef 种类丰度指数　　$D_{ma} = (S - 1)/lnN$

Shannon—wiener 指数　　$H' = -\sum P_i lnP_i$

Pielou 均匀度指数　　$J = (-\sum P_i lnP_i)/lnS$

Simpson 优势度指数　　$D = \sum P_{i2}$

欧氏距离(Euclidean distance):　　$ED = \sqrt{\sum_{i=1}^{S}(X_{ij} - X_{ik})}$

式中,$S$ 为总种数;$P_i$ 为种 $i$ 的个体数占总个体数的比例,用小数表示;$N$ 为所有种的个体总数;$X_{ij}$ 和 $X_{ik}$ 分别为 $i$ 物种在 $j$,$k$ 样地中密度的开 4 次方,以此降低数量占优势的个别物种对群落的影响权重[20-21]。运用 SPSS18.0软件中的无重复双因素方差分析,比较样带和泥层深度的大型底栖动物物种数和栖息密度;并用单因素方差分析,比较不考虑样带影响下,各泥层深度下的物种数和栖息密度,显著水平设置为 0.05。同时用 SPSS 软件中的系统聚类(Hierarchical Cluster)和多维排序尺度方法(MDS)对群落结构进行分析。利用 Excel 2010 处理数据,Origin 8.5 软件绘图。

## 2　结果与分析

### 2.1　种类组成及分布

本次采样共获取大型底栖动物 40 种,隶属于 6 门 8 纲 25 科(表 1)。其中,软体动物、节肢动物、环节动

物分别为 18、13、4 种,合计达 35 种,占总种数的 87.5%。

自然滩涂和互花米草滩涂获取的物种数分别为 30、31 种,两种生境中均分布的物种有 21 种。只在互花米草滩涂分布的物种有 10 种,分别为尖锥拟蟹守螺、细肋织纹螺、玉螺、中间拟滨螺、泥螺、泥蚶、弧边招潮蟹、红螯相手蟹、绒螯近方蟹、粒螯刺鼓虾;只在自然滩涂上分布的物种有 9 种,分别为斑玉螺、石璜、微角齿口螺、彩虹明樱蛤、豆形拳蟹、浙小长眼寄居蟹、安氏白虾、中华蜾蠃蜚、海鳗。

在 0、0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm、20—25 cm 层分布的物种数分别为 25、32、24、23、18、14。

**表 1 调查发现的大型底栖动物及其在互花米草(HH)与自然滩涂(ZR)生境中的栖息密度**

**Table 1 The macrobenthic species discovered in the investigation and their densities in both *Spartina alterniflora* tidal flat(HH) and natural tidal flat(ZR)**

| 物种 Species | 互花米草中密度 Density(HH) ind./$m^2$ | 自然滩涂中密度 Density(ZR) ind./$m^2$ |
|---|---|---|
| 线形动物门 Nematomorpha | | |
| 线虫 Eelworm | 5.1 | 15.5 |
| 环节动物门 Annelida | | |
| 日本沙蚕 *Nereis japonica* | 0.3 | 1.9 |
| 日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* | 0.3 | 0.5 |
| 多齿围沙蚕 *Perinereis nuntia* | 0.5 | 1.1 |
| 长吻沙蚕 *Glycera chirori* | 0.5 | 0.5 |
| 软体动物门 Mollusca | | |
| 短拟沼螺 *Assiminea brevicula* | 65.5 | 562.1 |
| 绯拟沼螺 *A.latericera* | 32 | 235.5 |
| 珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* | 29.3 | 6.4 |
| 尖锥拟蟹守螺 *C.largillierti* | 1.6 | 0 |
| 半褶织纹螺 *Nassarius semiplicatus* | 0.8 | 15.2 |
| 细肋织纹螺 *Zeuxis scalaris* | 0.3 | 0 |
| 光滑狭口螺 *Stenothyra glabra* | 1.3 | 2.9 |
| 微黄镰玉螺 *Lunatia gilva* | 0.3 | 0.3 |
| 玉螺 *Natica vitellus* | 0.3 | 0 |
| 斑玉螺 *Natica tigruna roding* | 0 | 0.3 |
| 中间拟滨螺 *Littorinopsis intermedia* | 6.1 | 0 |
| 泥螺 *Bullacta exarata* | 1.1 | 0 |
| 石璜 *Onchidium verruculatum* | 0 | 0.8 |
| 微角齿口螺 *Odostomia subangulata* | 0 | 8 |
| 焦河蓝蛤 *Potamocorbula ustulata* | 0.8 | 123.5 |
| 橄榄蚶 *Estellarca olivacea* | 0.5 | 0.3 |
| 泥蚶 *Tegillarca granosa* | 0.8 | 0 |
| 彩虹明樱蛤 *Moerella iridescen* | 0 | 0.5 |
| 节肢动物门 Arthropoda | | |
| 淡水泥蟹 *Ilyoplax tansuiensis* | 0.5 | 47.7 |
| 锯眼泥蟹 *Ilyoplax serrata* | 1.6 | 19.7 |
| 弧边招潮蟹 *Uca arcuata* | 8.3 | 0 |
| 长足长方蟹 *Metaplax longipes* | 27.2 | 10.7 |
| 日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus* | 0.3 | 0.3 |
| 红螯相手蟹 *Sesarma haematocheir* | 4 | 0 |
| 绒螯近方蟹 *Hemigrapsus penicillatus* | 0.3 | 0 |
| 豆形拳蟹 *Philyra pisum* | 0 | 0.3 |
| 浙小长眼寄居蟹 *Paguristes pusillus zhejiangensis* | 0 | 0.3 |

续表

| 物种 Species | 互花米草中密度 Density(HH) ind./m$^2$ | 自然滩涂中密度 Density(ZR) ind./m$^2$ |
|---|---|---|
| 鲜明鼓虾 *Alpheus distinguendus* | 1.3 | 1.1 |
| 粒螯次鼓虾 *Betaeus yokyai kubo* | 3.7 | 0 |
| 安氏白虾 *Exopalaemon annandalei* | 0 | 0.3 |
| 中华蜾蠃蜚 *Corophium sinensis* | 0 | 5.6 |
| 星虫动物门 Sipunculida | | |
| 可口革囊星虫 *Phasolosma esculenta* | 26.4 | 5.6 |
| 脊索动物门 Chordata | | |
| 青弹涂鱼 *Scartelaos virids* | 1.1 | 0.3 |
| 大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* | 0.5 | 0.8 |
| 海鳗 *Muraenesox cinereus* | 0 | 0.3 |

## 2.2　数量组成及分布

由图 3 可以看出,互花米草和自然滩涂均在 0—5 cm 层物种最多,在 20—25 cm 层物种最少。同一泥层深度中,除 0—5 cm,10—15 cm 层以外,自然滩涂的物种数均高于互花米草滩涂。在这两种生境中,均存在随着泥层深度的增加大型底栖动物种类数减少的趋势。

图 4 显示,在两种生境中大型底栖动物密度均随着泥层深度增加有减小的趋势,且大型底栖动物主要栖息在 0—10 cm 泥层上。不同生境同一泥层深度,自然滩涂的底栖动物密度明显高于互花米草生境。

在采样中发现,互花米草生境随深度增加,泥层逐渐变硬,在 20—25 cm 只能采集到很少物种,并且个体数也较少。图 3,图 4 也直观显示出互花米草 20—25 cm 生境中物种数最少,其栖息密度也最小,均远小于同一深度的自然滩涂生境。

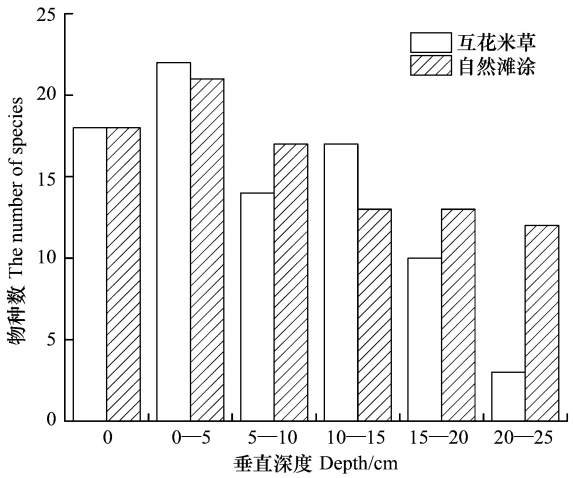


**图 3　不同深度下,互花米草(HH)和自然滩涂(ZR)生境中大型底栖动物的物种数**

**Fig. 3　The macrobenthos' species number of *Spartina alterniflora* tidal flats (HH) and Natural tidal flats (ZR) in different depth**

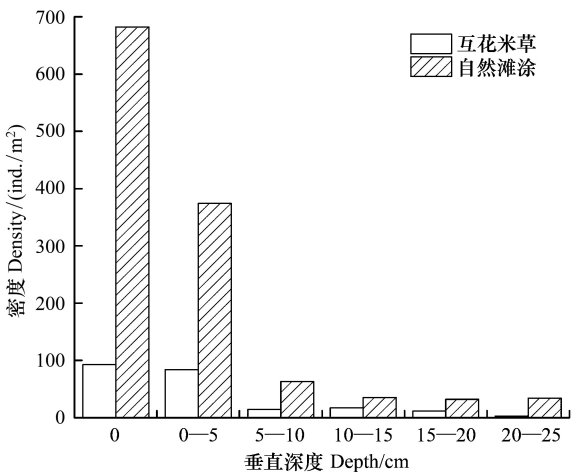


**图 4　不同深度下,互花米草(HH)和自然滩涂(ZR)生境中大型底栖动物的密度(ind./m$^2$)**

**Fig. 4　The macrobenthos' density of *Spartina alterniflora* tidal flats (HH) and Natural tidal flats (ZR) in different depth**

通过对定量取样获得数据,对互花米草、自然滩涂两种生境中 3 条平行样带与每条样带各泥层深度大型底栖动物种类数和密度分别进行无重复双因素分析,结果表明,互花米草、自然滩涂生境中的 3 条平行样带间种类数和密度均无差异;互花米草、自然滩涂生境中部分泥层深度间存在显著差异($P<0.05$)。由于互花米草、自然滩涂 3 条平行样带间种类数和密度差异均不显著($P>0.05$),故对数据进行不考虑样带间变化的单因

素方差分析(表 2)。结果显示,互花米草、自然滩涂两种生境中,部分泥层深度之间物种数和密度存在显著差异。

### 2.3 互花米草对物种垂直分布的影响

在互花米草和自然滩涂均有分布的物种为 21 种,将这些物种分别在互花米草和自然滩涂生境的栖息深度进行对比(表 3),可以看出栖息密度数量级为Ⅱ、Ⅲ的物种在两种生境中主要栖息深度的重合率均为≥50%(半褶织纹螺除外),数量级为Ⅲ的物种主要栖息深度的重合率均为≥75%,说明在本研究中,采集到的个体数量占总个体数量 1%以上的物种在不同生境中主要栖息深度差异不大。

**表 2 各泥层深度数据在不考虑样带影响下的单因素方差分析**

**Table 2 The One-way ANOVA analyze on density and number of species of different depth in HH and ZR without the effect of difference in parallel sampling lines**

| 生境 Habitat | 项目 Item | 泥层深度 Depth(cm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 0—5 | 5—10 | 10—15 | 15—20 | 20—25 |
| 互花米草 HH | 种类数 | 12.33±4.84[ab] | 14.33±3.21[a] | 8.00±1.00[b] | 8.33±2.31[b] | 5.33±0.58[bc] | 1.00±1.73[c] |
| | 密度 | 99.47±21.78[a] | 89.87±13.15[a] | 13.07±5.33[b] | 17.33±9.54[b] | 11.47±4.62[b] | 2.67±4.62[b] |
| 自然滩涂 ZR | 种类数 | 11.00±2.65[ab] | 12.67±0.58[a] | 8.67±2.08[ab] | 7.00±1.00[b] | 7.00±1.00[b] | 8.33±2.08[b] |
| | 密度 | 682.13±230.58[a] | 373.87±33.87[b] | 65.87±36.37[c] | 38.13±18.14[c] | 32.80±19.40[c] | 36.00±23.06[c] |

上标不同表示差异显著,SNK 多重比较

**表 3 21 个物种主要栖息深度**

**Table 3 The main depth of the habitat of 21 species**

| 种类 Species | 数量级 Order of magnitude | 重合率 Superpositon Rate(%) | HH 0 | ZR 0 | HH 0—5 | ZR 0—5 | HH 5—10 | ZR 5—10 | HH 10—15 | ZR 10—15 | HH 15—20 | ZR 15—20 | HH 20—25 | ZR 20—25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 短拟沼螺 *Assiminea brevicula* | Ⅲ | 100 | + | − | + | − | + | − | | | | | | |
| 绯拟沼螺 *A.latericera* | Ⅲ | 100 | + | − | + | − | + | − | | | | | | |
| 珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* | Ⅱ | 100 | + | − | + | − | + | − | | | | | | |
| 半褶织纹螺 *Nassarius semiplicatus* | Ⅱ | 33 | + | − | | − | | − | | | | | | |
| 光滑狭口螺 *Stenothyra glabra* | Ⅱ | 100 | + | − | + | − | + | − | | | | | | |
| 微黄镰玉螺 *Lunatia gilva* | Ⅰ | 0 | | | | − | | | + | | | | | |
| 焦河蓝蛤 *Potamocorbula ustulata* | Ⅲ | 75 | + | − | + | − | + | − | + | | | | | |
| 橄榄蚶 *Estellarca olivacea* | Ⅰ | 0 | | | + | | + | | | − | | | | |
| 淡水泥蟹 *Ilyoplax tansuiensis* | Ⅱ | 67 | + | − | + | − | | − | | | | | | |
| 锯眼泥蟹 *Ilyoplax serrata* | Ⅱ | 50 | + | − | + | − | | − | + | | | | | |
| 长足长方蟹 *Metaplax longipes* | Ⅱ | 60 | + | − | + | − | + | − | | − | | − | | |
| 日本大眼蟹 *Macrophthalmus japonicus* | Ⅰ | 0 | | | + | | | − | | | | | | |

续表

| 种类 Species | 数量级 Order of magnitude | 重合率 Superpositon Rate(%) | HH 0 | ZR 0 | HH 0—5 | ZR 0—5 | HH 5—10 | ZR 5—10 | HH 10—15 | ZR 10—15 | HH 15—20 | ZR 15—20 | HH 20—25 | ZR 20—25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 鲜明鼓虾 *Alpheus distinguendus* | Ⅰ | 33 | | − | + | − | + | | | | | | | |
| 青弹涂鱼 *Scartelaos virids* | Ⅰ | 50 | + | − | + | | | | | | | | | |
| 大弹涂鱼 *Boleophthalmus pectinirostris* | Ⅰ | 33 | | − | + | − | | | + | | | | | |
| 日本沙蚕 *Nereis japonica* | Ⅰ | 25 | | | | − | | − | + | − | | − | | |
| 日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* | Ⅰ | 0 | | | | | | | + | | | − | | |
| 多齿围沙蚕 *Perinereis nuntia* | Ⅰ | 25 | | | | | + | | | − | + | − | | − |
| 长吻沙蚕 *Glycera chirori* | Ⅰ | 25% | | | | − | + | − | + | | + | | | |
| 可口革囊星虫 *Phasolosma esculenta* | Ⅱ | 60 | | | + | | + | − | + | − | + | − | | − |
| 线虫 Eelworm | Ⅱ | 75 | + | | + | − | + | − | + | − | | | | |

“+”表示物种在互花米草生境(HH)中的主要栖息深度;“-”表示物种在自然滩涂生境(ZR)中的主要栖息深度,Ⅰ表示该种数量占总数的1%以下;Ⅱ表示该种数量占总数的1%—10%;Ⅲ表示该种数量占总数的10%以上

## 2.4　生物多样性分析

表4为自然滩涂和互花米草各6个泥层大型底栖动物群落的生态学特征值。在0—20 cm层,互花米草生境中的Margalef指数 $D_{ma}$、Shannon-Wiener指数 $H'$、Pielou指数 $J$ 均高于同一深度的自然滩涂生境,Simpson指数 $D$ 则相反,为互花米草生境低于自然滩涂生境。在20—25 cm层,互花米草生境中的Margalef指数 $D_{ma}$、Shannon-Wiener指数 $H'$、Pielou指数 $J$ 均低于同一深度的自然滩涂生境,Simpson指数 $D$ 则相反,为互花米草生境高于自然滩涂生境。在互花米草生境中,20—25 cm层 $D_{ma}$,$H'$,$J$ 均最小,均低于其它各层,$D$ 则相反,高于其它各层。在自然滩涂生境中,0 cm层 $D_{ma}$,,$H'$,$J$ 均最小,均低于其它各层,$D$ 则相反,高于其它各层。

**表4　不同深度下,互花米草和自然滩涂生境中大型底栖动物的多样性指数**

**Table 4　The macrobenthos' diversity index of HH and ZR in different depth**

| 垂直距离 Vertical distance/(cm) | $D_{ma}$ | | $H'$ | | $J$ | | $D$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HH | ZR | HH | ZR | HH | ZR | HH | ZR |
| 0 | 3.75 | 2.61 | 1.78 | 0.99 | 0.61 | 0.34 | 0.25 | 0.48 |
| 0—5 | 4.74 | 3.38 | 2.26 | 1.67 | 0.73 | 0.55 | 0.14 | 0.27 |
| 5—10 | 5.25 | 3.86 | 2.31 | 1.61 | 0.87 | 0.57 | 0.13 | 0.33 |
| 10—15 | 5.61 | 3.37 | 2.31 | 1.62 | 0.81 | 0.63 | 0.14 | 0.29 |
| 15—20 | 3.69 | 3.46 | 1.82 | 1.68 | 0.79 | 0.65 | 0.23 | 0.30 |
| 20—25 | 2.04 | 3.12 | 0.64 | 1.58 | 0.58 | 0.64 | 0.66 | 0.29 |

## 2.5　聚类分析

对互花米草和自然滩涂的12个泥层中的大型底栖动物群落进行系统聚类分析(Hierarchical Cluster),得到系统聚类树枝图(图5)。从图5可以看出,通过以不同泥层大型底栖动物群落结构物种密度4次方根数据为基础的系统聚类分析,在泥层深度为7 cm处可以将12个泥层分为4大类,互花米草0 cm层和0—5 cm层,

自然滩涂 0 cm 层和 0—5 cm 层,互花米草 5—25 cm 层,自然滩涂 5—25 cm 层。在泥层深度为 12 cm 处可以将 12 个泥层分为 3 大类,互花米草和自然滩涂并在一起的 5—25 cm 层,互花米草 0 cm 层和 0—5 cm 层,自然滩涂 0 cm 层和 0—5 cm 层。这说明了底栖动物群落在垂直深度上产生了明显的分化,并且受垂直深度的影响比生境影响还大。

以群落距离矩阵为基础,对大型底栖动物进行非度量多维标度(Non-matric Multidimensional Scaling, MDS)二维分析的结果见图 6,其 Stress 值(协强系数)为0.04, Stress<0.05 说明图形吻合极好。通过图 6 可以看出,MDS 排序图支持聚类分析的结果,而且,更直观地显示了互花米草 0 cm、0—5 cm 层,自然滩涂 0 cm、0—5 cm 层,互花米草 5—25 cm 层,自然滩涂 5—25 cm 层 4 大类生境之间的距离关系即相似程度的情况。

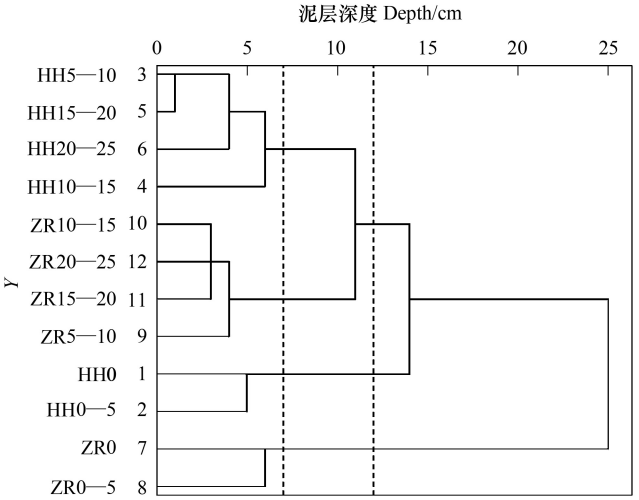


**图 5 互花米草(HH)和自然滩涂(ZR)生境中,各泥层深度大型底栖动物群落系统聚类图**

**Fig. 5 The hierarchical cluster dendrogram of macrobenthos communities at different mud depth in HH and ZR**

## 3 讨论

### 3.1 群落结构

关于互花米草对大型底栖动物群落结构的影响,至今还无定论。Hedge 等[22]研究认为互花米草生境中底栖无脊椎动物栖息密度和丰富度要高于邻近的自然滩涂。洪荣标等[23]研究发现互花米草大型底栖动物的丰度、栖息密度、种类多样性均高于邻近的自然滩涂。陈中义等[24]对崇明东滩盐沼大型底栖动物群落进行研究发现,互花米草入侵后改变了营养类群的结构的同时,还显著降低了大型底栖动物多样性。赵永强等[14]对浙江省中部台州市椒江河口南侧养殖塘外侧潮间带不同互花米草密度大型底栖动物群落格局进行研究,结果发现,在互花米草浓密区、稀疏区和光滩生境中大型底栖动物群落结构的比较中,均显示有显著差异。候森林等[25]对盐城自然保护区射阳河口潮间带大型底栖动物空间分布的研究结果表明,互花米草生境和自然滩涂生境大型底栖动物群落结构有明显分化,并指出互花米草和潮汐是影响大型底栖动物群落结构的两个重要因素。

本研究中,两种生境共有物种为 21 种,仅在自然滩涂和互花米草生境出现的物种分别为 9、10 种,约占各自生境的 1/3。互花米草生境中大型底栖动物平均栖息密度为 222.6 ind./$m^2$,远低于自然滩涂的 1052.8 ind./$m^2$。由表 1 还可以看出在两种生境中共有物种的栖息密度之间存在一定差异,且常见种之间差别十分明显。说明互花米草的入侵改变了原来的生境特征,群落已经发生了部分演替。

研究结果还显示,沿泥层深度大型底栖动物群落结构存在明显的分层现象:0—10 cm 层为短拟沼螺-珠带拟蟹守螺-焦河蓝蛤-泥蟹组成的群落;10—20 cm 层为弧边招潮蟹-鲜明鼓虾-沙蚕-可口革囊星虫-海鳗组成的群落;20—25 cm 层则为弧边招潮蟹-长足长方蟹-可口革囊星虫组成的群落。

### 3.2 种类和密度

高阳等[17]在深圳湾福田潮间带的研究表明,大型底栖动物主要分布在 0—10 cm 层,认为沉积物表层大型底栖动物栖息密度高是各种潮间带生物分布的共性。Quijon 和 Jaramillo[26]在 Queule 河口的研究表明,大型底栖动物在沙和泥层 0—3 cm 中的栖息密度最高。Haque 等[27]认为,在 0—5 cm 层大型底栖动物和小型底栖动物最为丰富。本文的结果也表明,在玉环漩门湾潮间带的大型底栖动物主要分布在 0 cm 和 0—5 cm 层,与上述结论相一致。

关于大型底栖动物主要分布在表层的原因,Kumar[2]认为,表层食物的可利用性和深层的厌氧条件决定

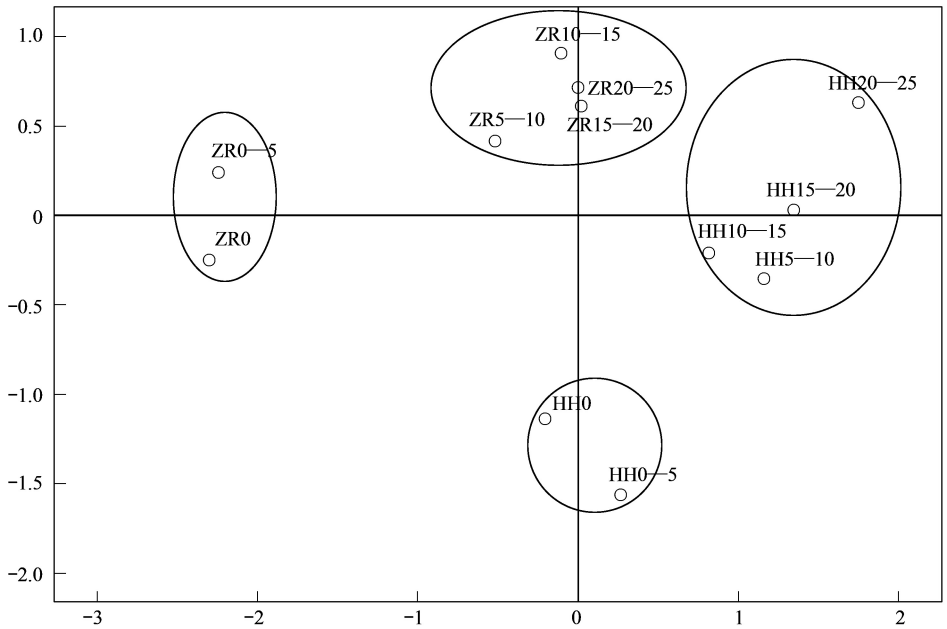


**图 6　互花米草(HH)和自然滩涂(ZR)生境中,各泥层深度大型底栖动物群落丰度的非度量多维标度排序(stress=0.04)**

**Fig. 6　Non-metric MDS plot of macrobenthos abundances at different mud depth in HH and ZR**

了底栖动物的垂直分布。Quijon 和 Jaramillo[26]研究表明,沉积物性质不是决定大型底栖动物垂直分布的主要因素,更多的悬浮、沉积营养物在表层富集以及相对丰富的含氧条件才是底栖动物分布在表层的主要原因。

### 3.3　互花米草入侵对物种垂直分布的影响

互花米草入侵,减小了底栖动物垂直分布距离。本研究中,互花米草生境 20—25 cm 泥层只分布 3 个物种,而在同一深度的自然滩涂上却有 13 个物种(图 3)。这一结果与采样过程中发现在互花米草生境中,随泥层深度增加泥层逐渐板结变硬,底层泥质不适宜底栖动物生存相吻合。

通过物种的主要栖息深度分析(表 3),可知物种个数占总个体数的比例超过 1%的同一物种在自然滩涂和互花米草生境中的主要栖息深度差异不大。由此可以推断:互花米草入侵后,缩短了底栖动物的垂直分布距离,而对其主要栖息深度影响不大。

### 3.4　多样性分析

互花米草生境 0—20 cm 层的 Margalef 指数 $D_{ma}$、Shannon-Wiener 指数 $H'$、Pielou 指数 $J$ 均高于同一深度的自然滩涂,这与自然滩涂中各层采集到的底栖动物的密度较大有关。Shannon-Wiener 指数 $H'$的生态学意义有两点:(1) 对于已知物种的群落,当所有的种以相同的比例存在时,多样性达到最大值;(2) 对于物种个体数完全均匀分布的群落来说,有较多物种的群落多样性高[28]。由图 3 可知,互花米草滩涂与自然滩涂的 0—20 cm 层的物种数相近;互花米草生境各泥层物种之间密度相近,而自然滩涂各泥层物种间密度差异较大,其中短拟沼螺和绯拟沼螺等腹足类密度远高于其他物种。所以,由 (1) 可知,物种间比例相对更为均匀的互花米草滩涂的 Shannon-Wiener 指数更高。在 20—25 cm 层,自然滩涂和互花米草两种生境中的物种间个体数都相差不大,但物种数差异较大,自然滩涂中为 13 种,远高于互花米草滩涂中的 3 种,所以自然滩涂中的多样性更高。Margalef 物种丰富度指数和 Pielou 均匀度与 Shannon-Wiener 指数的表现是一致的。对 Simpson 优势度指数,自然滩涂中优势种较多,故优势度指数也较大。

### 3.5　聚类和 MDS 排序

许多研究者认为,单单依靠多样性指数来评价群落结构的相似性(差异性)是不可靠的,应该用多元分析的手段或者采用聚类分析的方法[29]。由聚类图和 MDS 排序可以看出:互花米草 5—25 cm 层与自然滩涂 5—25 cm 层聚为一类,说明即使生境不同,相同的泥层深度之间相似性也较高;而 0 cm、0—5 cm 与 5—25 cm

之间距离较远,表明两种生境中大型底栖动物群落受泥层深度影响较大。同时,聚类和 MDS 排序的结果也与前述大型底栖动物在表层呈高密度分布相一致。MDS 排序结果中互花米草 20—25 cm 与互花米草 5—20 cm 各层间距离较自然滩涂中 20—25 cm 与 5—20 cm 各层远,这与互花米草 20—25 cm 深度泥层变硬,不适宜大型底栖动物生存相吻合。

综上所述,在玉环县漩门湾国家湿地公园,大型底栖动物在表层物种数及密度均最高,且沿泥层深度其群落结构有明显的分层现象。互花米草入侵后,互花米草中各泥层深度的大型底栖动物密度均比自然滩涂中小,且采样过程中在互花米草 20—25 cm 深度的很多样方中没采到样本,而在自然滩涂中这种现象较少见,这说明互花米草入侵后的环境已不利于大型底栖动物在较深泥层生活。虽然互花米草的入侵已经影响到大型底栖动物的垂直结构,但是同一物种在互花米草滩涂和自然滩涂中的主要栖息深度基本相同,表明物种对垂直空间的利用主要由自身性质决定。

**参考文献(References):**


[1] Davis H G, Taylor C M, Civille J C, Strong D R. An allee effect at the front of a plant invasion: spartina in a pacific estuary. Journal of Ecology, 2004, 92(2): 321-327.

[2] Sunil K R. Vertical distribution and abundance of sediment dwelling macro-invertebrates in an estuarine mangrove biotope: Southwest Coast of India. Indian Journal of Marine Science, 1997, 26(1): 26-30.

[3] Levin L A, Neira C, Grosholz E D. Invasive cordgrass modifies wetland trophic gunction. Ecology, 2006, 87(2): 419-432.

[4] Li H P, Zhang L Q. An experimental study on physical controls of an exotic plant *Spartina alterniflora* in Shanghai, China. Ecological Engineering, 2008, 32(1): 11-21.

[5] Zhang J L, Xu F S, Liu R Y. Community structure changes of macrobenthos in the South Yellow Sea. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(2): 248-255.

[6] Subudhi P K, Baisakh N. *Spartina alterniflora* Loisel, a halophyte grass model to dissect salt stress tolerance. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant, 2011, 47(4): 441-457.

[7] Xiao D, Zhang L, Zhu Z. A study on seed characteristics and seed bank of *Spartina alterniflora* at saltmarshes in the Yangtze Estuary, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 83(1): 105-110.

[8] Zhou H X, Liu J, Qin P. Impacts of an alien species (*Spartina alterniflora*) on the macrobenthos community of Jiangsu coastal inter-tidal ecosystem. Ecological Engineering, 2009, 35(4): 521-528.

[9] Xie W J, Gao S. The macrobenthos in *Spartina alterniflora* salt marshes of the Wanggang tidal-flat, Jiangsu coast, China. Ecological Engineering, 2009, 35(8): 1158-1166.

[10] Webster P J, Rowden A A, Attrill M J. Effect of shoot density on the infaunal macro-invertebrate community within a *Zostera marina* seagrass bed. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1998, 47(3): 351-357.

[11] 全为民, 赵云龙, 朱江兴, 施利燕, 陈亚瞿. 上海市潮滩湿地大型底栖动物的空间分布格局. 生态学报, 2008, 20(10): 5179-5187.

[12] 李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 527-533.

[13] 于海燕, 李新正, 李宝泉, 王金宝, 王洪法. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状. 生态学报, 2012, 26(2): 416-422.

[14] 赵永强, 曾江宁, 陈全震, 高爱根, 寿鹿, 廖一波, 徐晓群, 刘晶晶. 不同互花米草密度生境中大型底栖动物群落格局. 自然资源学报, 2009, 24(4): 630-639.

[15] 谢志发, 何文珊, 刘文亮, 陆健健. 不同发育时间的互花米草盐沼对大型底栖动物群落的影响. 生态学杂志, 2008, 27(1): 63-67.

[16] 王睿照, 张利权. 水位调控措施治理互花米草对大型底栖动物群落的影响. 生态学报, 2009, 29(5): 2639-2645.

[17] 高阳, 蔡立哲, 马丽, 徐华林, 王勇军, 昝启杰. 深圳湾福田红树林潮滩大型底栖动物的垂直分布. 台湾海峡, 2004, 23(1): 76-81.

[18] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 吴惠仙. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性. 生态学报, 2011, 31(20): 5865-5874.

[19] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 王金宝, 张宝琳. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态. 动物学报, 2006, 52(3): 612-618.

[20] 厉红梅, 蔡丽哲, 林丽珠, 姚建彬. 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 735-740.

[21] 葛宝明, 鲍毅新, 郑祥, 程宏毅. 灵昆岛潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析. 生态学报, 2005, 25(11): 3037-3043.

[23] 洪荣标, 吕小梅, 陈岚, 方少华. 九龙江口红树林湿地与米草湿地的底栖生物. 台湾海峡, 2005, 24(2): 189-194.

[24] 陈中义, 付萃长, 王海毅, 李博, 吴纪华, 陈家宽. 互花米草入侵东滩盐沼对大型底栖无脊椎动物群落的影响. 湿地科学, 2005, 3(1): 1-7.

[25] 侯森林, 余晓韵, 鲁长虎. 盐城自然保护区射阳河口潮间带大型底栖动物空间分布与季节变化. 生态学杂志, 2011, 30(2): 297-303.

[26] Quijon P, Jaramillo E. Seasonal vertical distribution of the intertidal macroinfauna in an estuary of South-central Chile. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1996, 43(5): 653-663.

[27] Haque A M, Szymelfenig M, Weslawski J M. Small-scale vertical distribution of zoobenthos in the sandy littoral of the Gulf of Gdansk. Oceanologia, 1997, 39(4): 433-446.

[28] 戈峰. 现代生态学 (第二版). 北京: 科学出版社, 2008.

[29] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 王世权. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析. 中国环境科学, 1997, 17(4): 297-300.