

## 独 创 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得\_\_\_\_\_（注：如没有其他需要特别声明的，本栏可空）或其他教育机构的学位或证书使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：申保忠

导师签字：付孝慈

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权学校可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：申保忠

导师签字：付孝慈

签字日期：2006年5月29日

签字日期：2006年6月1日

## 摘要

近年来,互花米草和大米草相继入侵黄河三角洲,主要分布在东营市河口区仙河镇、小清河河口和无棣岔尖的潮间带。在黄河三角洲裸露的盐荒滩,米草入侵带来了潮间带生态环境的变化。这种变化对潮间带大型底栖无脊椎动物群落产生了一定的影响。

本文以黄河三角洲为调查研究区,以2005年为调查基准年,通过不同季节、不同样区对黄河三角洲米草入侵潮间带大型底栖无脊椎动物的群落结构、密度分布、生物量分布和物种多样性等方面的调查与研究,探讨黄河三角洲潮间带米草入侵对大型底栖无脊椎动物的影响。

对黄河三角洲米草入侵区的水质和底质进行理化分析,黄河三角洲调查区的3个样区海水水质均不符合二类海水水质标准,其中东营海星贝类养殖场水质主要受到石油类污染,无棣岔尖水质受到了硫化物和磷酸盐的污染,以小清河口水质污染最重,以石油类、硫化物、磷酸盐和COD污染为主,溶解氧不符合要求,尤其是磷酸盐浓度已超过海水水质四类标准。底质监测结果:为东营海星贝类养殖场底质中钾超标,小清河口水质的铅、镉、锌、砷超标。

通过全年3次调查采样,在黄河三角洲调查区,共采到大型底栖无脊椎动物21种,分别隶属于4门5纲9目15科。软体动物、节肢动物分别居底栖动物种类总数的第一、二位。东营海星贝类养殖场样区是互花米草入侵区域,入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲和多毛纲,相对多度分别是79.0%和13.5%。底栖动物优势种是珠带拟蟹守螺,相对多度为70.0%。入侵区与对照区的 $P_s=0.09$ ,说明底栖动物群落极不相似。小清河口水样区主要是大米草入侵,入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲,相对多度98.5%,底栖动物优势种是拟沼螺,相对多度高达98.5%。入侵区与对照区的 $P_s=0.04$ ,说明底栖动物群落极不相似。无棣岔尖样区主要是大米草入侵,入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲和甲壳纲,相对多度分别是81.7%和16.2%;底栖动物优势种是托氏蛴螺、拟沼螺和天津厚蟹,相对多度分别是62.8%、18.8%和14.1%。入侵区与对照区的 $P_s=0.04$ ,说明底栖动物群落不相似。3个样区大型底栖无脊椎动物的年平均密度呈现不同分布特点,东营海星贝类养殖场入侵区与对照区分别为178个/ $m^2$ 和456个/ $m^2$ ,入侵区明显低于对照区;小清河口水样区入侵区和对照区分别

为 272.7 个/m<sup>2</sup> 和 47.3 个/m<sup>2</sup>，无棣岔尖米草入侵区与对照区分别为 63.7 个/m<sup>2</sup> 和 29.3 个/m<sup>2</sup>，入侵区明显高于对照区。生物量的分布与密度分布有一定的相关性。大型底栖无脊椎动物的多样性指数在东营海星贝类养殖场样区和无棣岔尖样区的入侵区站点与对照区站点之间，无明显差异；在小清河口样区入侵区底栖动物多样性指数低于对照区。说明米草入侵黄河三角洲后，对大型底栖无脊椎动物的群落结构和多样性产生了不同程度的影响，需要加强防控。

**关键词：**黄河三角洲 米草入侵 大型底栖无脊椎动物

## Abstract

In recent years, mutually spent *Spartina* and the rice grass is introduced a fine variety to the Yellow River delta, mainly distribute in the area between the Xianhe town and the fifth stake of the Dongying city, the bayou of small limpid river, and the tideland of Wudichajian. In the Yellow River delta exposed salt desolate beach the invasion of the mutually spent *Spartina* and the rice grass result in the variety of tideland environment. The variety has obviously effected the large-scale benthos.

Take the Yellow River delta as the investigation and study area, take 2005 as the investigation datum year. Different seasons and sampling area effect the vertebrate's population structure, density distribution, biomass distribution and species multiplicity, according to this reason, discuss the influence of large-scale benthos caused by invasion of the rice grass.

Analysis the water quality and bottom quality on the physics and chemistry. The result shows that the water quality of three sampling areas neither conform to the requirement the second kind seawater quality standard. The water quality of starfish and seashell breed aquatics spot in Dongying is mainly polluted by oil, the water quality of Chajian, Wudi is polluted by sulphide and phosphate, and the pollution of the water quality of the the Xiao Qing River is the heaviest, the contamination mostly is oil, sulphide, phosphat and COD, the dissolved oxygen did not conform to the requirement either. Especially the concentration of phosphate has exceeded four times of the fourth kind seawater standard. The result shows that kalium of starfish and seashell breed aquatics spot in Dongying superpass the standard, and plumbum, cadmium, zinc, arsenic of the bottom of the Xiao Qing River is overstep the standard.

By sampling for three times in a year, collecting 21 kinds of large-scale benthos altogether which belong to 15 family, 9 order, 5 class 4 phylum. The number of mollusk, the arthropod partly take the first and the second part in the number of all the large-scale benthos.

Starfish and seashell breed aquatics spot in Dongying is the area which is invaded by mutually spent *Spartina*, and the large-scale benthos in it is Gastropoda and

Polychaeta, the relatively excessiveness is partly 79 percent and 13.5 percent. The dominance community is *Cerithidea cingulata* (Gmelin), the relatively excessiveness is 70 percent. The  $P_s$  of the invasion area and the contrast area is 0.09, it shows that the bottom-inhabit community is not similar. The invasion species in the sampling area of the Xiao Qing River mainly is the rice grass, the dominance community of bottom-inhabit invertebra community is Gastropoda and Crustacea, the the relatively excessiveness partly is 81.7 percent and 16.2 percent. The dominance community of the large-scale benthos is *Umbonium thomasi* (Crosse), *Assimineia* sp. and *Helice tientsinensis* Rathbun, the relatively excessiveness is 62.8 percent, 18.8 percent, 14.1 percent. The  $P_s$  of the invasion area and the contrast area is 0.04, it shows that the large-scale benthos is not similar. The annual average density distribution of the large-scale benthos in the three sampling area have different character, annual average density of the invasion area and the contrast area in seashell breed aquatics spot in Dongying partly is 178 per square meter and 456 per square meter, and the invasion area is obviously lower than the contrast area. The annual average density of the invasion area and the contrast area in the Xiao Qing River partly is 272.7 per square meter and 47.3 per square meter. The annual average density of the invasion area and the contrast area in Chajian partly is 63.7 per square meter and 29.3 per square meter, and the invasion area is obviously higher than the contrast area. The distribution of biology quantity has some relativity of the distribution of biology density. It shows that the mutually spent *Spartina* and the rice grass which invade in the Yellow River delta effects the community structure and variety of the large-scale benthos in different degree.

**Key word:** Yellow River delta, Rice grass invasion, Large-scale benthos

## 第一章 绪论

### 1 文献综述

目前,地球上的生物物种每年以 0.1%~1.1%的速率在急剧减少<sup>[1]</sup>,这种生物多样性的极度锐减,除了人类大规模开垦土地导致自然生境快速丧失外,它的另一个主要因素就是生物入侵。

在全球范围内,外来物种入侵是继生境破坏之后严重影响生物多样性的第二大威胁因素。随着全球化、商业和旅游的增长以及对自由贸易的重视,有意或无意地为物种传播提供了前所未有的机会。外来物种横越千里,到达新的生境,成为外来入侵种。

成功的入侵外来种对各种环境因子的适应幅度较广,对环境有较强的忍耐力,如耐荫、耐贫瘠土壤、耐污染等,具有很强的繁殖能力,能迅速产生大量的后代<sup>[2]</sup>。外来种与土著种之间存在强烈的相互竞争、抑制作用,同时杂交造成入侵种与本地种的基因交流,导致后者的遗传侵蚀。入侵外来种不仅威胁本地的生物多样性,引起物种的消失与灭绝,而且瓦解生态系统的功能,致使生态系统退化,产生严重的生态和进化后果<sup>[3]</sup>。近年来,有的地区过度、盲目地引进了大量生长期短、易于管理,更能适应环境的外来物种,它们正在逐渐排挤、取代当地物种,并且不断扩大到自然和半自然地区,影响到那里生态系统的种类和功能。

米草属(*Spartina*) (下文统一简称米草)属于禾本科虎尾草族,起源于北美东海岸和墨西哥湾。该属于 1879 年由 Schreber 命名,全球约有 14 种<sup>[5]</sup>,均为多年生耐盐植物,广布世界各地沿海地区<sup>[3]</sup>,主要分布在欧、美、亚、澳四洲温带和亚热带地区的海涂,其最适的生境为河口湾。由于在原产地的生态系统中具有重要的生态功能<sup>[4]</sup>,米草的一些物种已被传到了世界许多地区和国家。从扩散的情况看,7 种米草被认为具有很强的入侵性,其中大米草(*Spartina anglica*)和互花米草(*S. alterniflora*)是全球性的入侵种,在国际上已得到了广泛的关注和研究<sup>[5]</sup>。

#### 1.1 我国米草入侵研究进展

为了在沿海滩涂进行生态建设,自 20 世纪 60 年代以来,我国先后从英国和

北美引进了大米草、互花米草、狐米草 (*S. patens*) 和大绳草 (*S. cynosuroides*) 4 个种<sup>[6]</sup>。其中大米草、互花米草在国内外引种后表现出极强的入侵性,我国已把互花米草列入我国入侵种的黑名单<sup>[6]</sup>。

大米草是一种多年生禾本科植物,原产英国南海岸,是欧洲海岸米草和美洲互花米草的自然杂交种,该种植物耐盐、耐淹能力强,生长繁殖快,生态幅宽,是一种优良的促淤、护堤、保岸和改造滩涂的盐生植物<sup>[6]</sup>。关于大米草的最早记录,始于 1666 年 Merrett 对英国海岸米草的描述<sup>[7]</sup>。英国的 Royal Commission on Coast Erosion 1907 年启动了一项对大米草保堤护岸和造陆功能的研究,并于 1929 年出版了《米草的经济可行性》一书,在世界范围引起了大米草需求的大幅增加,到了 1936 年,世界上已有 130 多个国家有种植<sup>[8]</sup>。目前大米草广布于英国、美国、法国、德国、丹麦、中国、荷兰、新西兰、爱尔兰和澳大利亚等许多国家。荷兰自 1923 年引种大米草,到 1967 年发展为 4000~5800hm<sup>2</sup>,目前已占据绝大部分沿海河口,造成了严重的危害。法国的大米草分布面积在 1967 年为 4000~8000hm<sup>2</sup>;英国的大米草在 1967 年为 12100hm<sup>2</sup>,到 1991 年占据河口盐沼资源总面积(44370hm<sup>2</sup>)的 95.25%。澳大利亚自 1930 年引种大米草,目前的总分布面积为 880hm<sup>2</sup>。美国的米草主要分布于华盛顿州、俄勒岗州相加里福利亚州的太平洋沿岸。其中华盛顿州自 1961 年向 Puget Sound 地区引种了不育的 *S.townsendii*,但后来发现是可育的 *S.anglica*,引入后扩展十分迅速,目前在该地区面积已达 3311hm<sup>2</sup>。

我国是上世纪 60 年代初开始对大米草进行研究的,1963 年南京大学仲崇信教授从英国引种大米草,并在江苏省海涂试种获得成功(只有 21 株成活苗)。1964 年引种于浙江沿海各县、市,1980 年引种到福建,之后逐渐被其他沿海省市引种繁殖并取得成功<sup>[9]</sup>。经过近 40a 的推广种植和自然传播,在我国沿海 90 多个市、县栽培大米草 36000 hm<sup>2</sup>,间断分布在北纬 40° 35' 至北纬 21° 27',即由辽宁省盘山县至广东省电白县,由鸭绿江口至广西合浦县全长 15000km 的海岸带范围内<sup>[10, 11]</sup>。大米草表现出了很强的入侵性,在浙江、江苏地区生长尤为繁茂。福建省自 1981 年在罗源湾引种大米草 667m<sup>2</sup>,至今已发展到 10000hm<sup>2</sup>。江苏省 1982 年试种互花米草,已经扩展至 12500hm<sup>2</sup>。在北方气候寒冷,海水盐度高,生态环境十分恶劣的条件下仍能抗冰凌、耐高盐浓度、耐低温而长盛不衰,在渤

海湾淤泥质滩涂上,有史以来第一次出现了绿色的海岸,是一种改造滩涂的优良植物,也是一种盐渍土裸地上植物群落形成的先锋植物<sup>[10]</sup>。

1979年南京大学仲崇信教授由美国引进了南方高秆生态型的互花米草。互花米草是禾本科米草属的多年生草本植物。茎干粗壮、坚韧、直立,其地下部分由短而细的须根和长而粗的地下茎所组成,在茎基部和根茎的节上常有胚芽生长出土,长出新的植株。种子在10~11月成熟,种子脱落随水漂浮,遇合适的海滩位置和较好的立地条件种子自行萌芽,耐盐耐淹能力强,适宜在高潮带下部至中潮带上部的潮间带生长<sup>[11]</sup>。原产北美洲中纬度海岸潮间带,北自加拿大魁北克沿大西洋海岸直达佛罗里达州及得克萨斯州均有分布,是当地盐沼优势种。互花米草主要以无性分蘖的方法进行繁殖,伴以种子繁殖,在光滩上能迅速成丛,一般无其他伴生种。移栽3个月后,株高能从10~20cm增长到150~190cm,株数从2~3株发展到220~350株,草丛向外扩展0.8~1.2m。短短的20a,我国的沿海北起鸭绿江口,南至广西北部湾的沿海滩涂上都有它的分布,现该物种的种群已发展到 $5.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 以上。由此可见,作为一个外来种,互花米草属于r型对策者,它以较高的繁殖能力和扩散能力取得生存<sup>[11]</sup>。

近年南京大学生物技术研究所又从美国特拉华大学海洋研究院盐生生物实验室引进第三种大米草,即狐米草,原产北美东海岸、加拿大魁北克至佛罗里达及得克萨斯潮滩高潮带及砂质草地,是一种优良的耐盐植物,也是美国的干草资源。目前正在我国推广应用。

随着米草的引种成功和大面积繁殖,对米草各方面的研究也相继展开。仲崇信等对米草的海岸带生态工程和米草的综合利用、经济价值等做了大量研究<sup>[12]</sup>。孙丙寅等对大米草和互花米草盐沼地硫酸盐还原速率进行了比较研究,经测定,两种米草盐沼地硫酸盐还原速率无显著差异,大致反映了两种盐沼土的厌氧微生物群体代谢活性是相似的<sup>[13]</sup>;陈才俊对江苏滩涂大米草的促淤造陆和护岸保滩效果进行了分析,并对提高大米草促淤效果提出了建议<sup>[14]</sup>;漆国先等对大米草在内陆地贵州省气候条件下的生长适应性及净化污水的能力进行研究,结果表明,引入贵州的大米草不仅有较强的生长能力,而且对有机污水存在的 $\text{BOD}_5$ 及N、P有很好的净化效果<sup>[15]</sup>,许德芝也得到了相似的结果<sup>[16]</sup>;庄树宏等研究了各种逆境对引自英国的7种不同生态型的大米草苹果酸脱氢酶MDH和过氧化物酶POD同工



酶的影响,并对不同生态型大米草在酶水平上的分化和遗传背景的差异做了分析<sup>[17]</sup>;福建省1981年在罗源湾引种667m<sup>2</sup>,不到20a已发展为10000km<sup>2</sup>,对福建省滩涂养殖造成严重影响,每年经济损失近两亿元。

随着研究的不断深入,对引进的米草属植物的功过国内存在争议。很多人认为这些米草属植物引进是成功的,并在我国固滩、护堤、促淤中发挥了重要作用,对米草的正面评价较高<sup>[3]</sup>;而米草属植物在一些地方也存在危害当地生态系统、引发生物多样性丧失,并对滩涂养殖造成经济损失等危害,因此有人提出米草生态入侵的警告,强调了其入侵的危害和严重生态后果,认为应认真对待米草种群爆发正在或将来对原有生态系统的严重危害<sup>[5]</sup>。

### 1.1.1 米草生态功能的正面评价

米草是宿根性强的草本植物,具有非常发达的地下茎,用地下茎和种子繁殖,具有抗逆性强、适应性广,分蘖力和繁殖力强,种群密度高、群落生物量大等特点。自1963年引入以来,米草适应于我国海岸带自然环境而正常生长发育,具有明显的促淤造陆、保滩护岸、环境保护等生态功能,并有显著的经济效益,是一种改造滩涂的优良植物,也是一种盐渍土裸地植物群落的先锋植物。经过40a栽培、观察和实验研究,米草已充分证明在保护我国海岸带生态环境中具有多方面积极作用。

#### 1.1.1.1 促淤造陆功能

我国沿海各省海涂资源丰富,沿海滨海潮滩盐土(海岸线以下,零米线以上潮间带)135.2万hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。米草促淤主要是米草繁殖能力强,很快形成盘根错节的米草群落带,利用其庞大根系,能固定滨海松软流动的受潮水间断浸渍的淤泥质土壤,当其发育形成密集的植物群落后,便具有消浪、缓流、拦截潮水带来的泥沙,促进滩面淤积和增高,进而为滨海光滩裸地植树种草或农田垦殖创造新的环境,发挥促淤造陆的功能。米草促淤造陆的生态过程十分迅速。我国利用大米草从海洋得到的第一块陆地——浙江省温岭市东片农场,自1964年试种大米草成功后,1967~1968年海涂种植面积286hm<sup>2</sup>,1973年围涂面积达400hm<sup>2</sup>,到1985年围涂面积已近670hm<sup>2</sup><sup>[17, 18]</sup>,可见米草促淤造陆效果明显。高志强调查发现,米草的生长密度越大,促淤造陆的能力越强;有米草种植的海滩地带,其泥沙的淤积速度比相同高程光滩上泥沙的淤积速度快2~3倍<sup>[20]</sup>,滩面比未种大米草的

光滩每年多淤高 10 ~20cm<sup>[21]</sup>。

### 1.1.1.2 保滩护岸功能

海岸带地区是我国受自然灾害最严重的地区,受灾区从辽宁丹东到广东珠江三角洲,基本上可以连接成带,尤其是几个大河三角洲及其他经济发达地区都属于重灾区。危害海岸带地区的自然灾害主要有风暴潮、台风、海岸侵蚀等,特别是台风和风暴潮经常发生,对沿海经济和人民生命财产危害极大。米草不仅能促进海滩淤积、抬高滩面,同时能以其庞大密集根系固结土粒以减小波浪的冲击;粗壮的茎秆和浓密的叶冠层,能减小风力的侵蚀,具有防风、消浪功能<sup>[22]</sup>。例如 1957 年山东惠民地区筑堤工人数万,突遭一夜海啸使数十人丧生;1987 年,石质和水泥质桩西防潮大堤,长 37km,耗资亿元,3 年后堤基损坏严重,出现空洞,抗风能力下降。1990 年东营市与胜利油田协作,用米草生态工程保护桩西海堤均获成功,发挥了抗灾减灾的功能作用<sup>[23]</sup>。

### 1.1.1.3 防治污染功能

米草是耐污、耐肥的植物。对污染物的去除,主要是通过吸收、富集污水中的有机物、N、P 等营养物质,在植物体内进行代谢转化,将水体中的污染物转变成植物体内的营养物质,从而降低污染物含量,使水体得到净化。

### 1.1.1.4 生物栖息地

米草繁殖快、再生能力强,种植 2~3a 便可发展成茂密的群落,是潮间带生态系统重要的初级生产者,在米草沼泽区基围内,鱼、虾、蟹、蛤、牡蛎有了滋生地,同时也是许多海鸟和另外一些野生动物的栖息场所。大米草为底栖生物如双齿围沙蚕创造了有利生存的土壤,并为沙蚕提供丰富的食物来源,使得双齿围沙蚕的生物量得以大幅度上升。在大米草滩上双齿围沙蚕的数量一般比光滩高数倍至数十倍<sup>[24]</sup>。

综上所述,米草在我国重要的湿地资源——海滩生态环境中,不但对促淤造陆,防止海涂侵蚀、保护海岸<sup>[25]</sup>,吸收、转化和降低水中营养物和有毒污染物含量,提高水质等方面起着极其重要的作用,而且为野生动物提供了栖息、繁衍、迁徙和越冬的场所。因此,米草在海涂上的生态效益是显著的。

### 1.1.2 米草入侵的负面影响

我国引种米草的目的是为了在沿海滩涂进行生态建设,当初人们主要注重于米草带来的经济效益,而对于米草的入侵性及其危害性还没有足够的认识,有关米草的入侵生态学研究并未受到重视,对其入侵机制、遗传后果等研究较少。迄今为止,人工引种米草的工作仍在我国一些地区进行。

大米草的生物学特点使得它适合于滩涂生长,但其快速扩展繁殖的特点很容易在某些地方过度繁殖,影响本地物种的生存,以致于改变原有生态系统的特征。例如,互花米草原产美国东海岸大西洋沿岸,西海岸的旧金山湾曾引入互花米草,它与当地的太平洋大米草杂交、遗传同化,从而导致太平洋大米草局部绝灭,并且影响当地生态系统,也被当作一种侵入性的外来种加以控制。由于米草属的一些种类表现为明显的杂草性,并且在不少引种地区快速扩展,影响当地生态系统,2001年IUCN将大米草列入全球100种最有害外来物种名单,它是该名单中两种水生植物之一,另一种为水葫芦。互花米草则被列入《中国外来入侵种》名单,也是国家环保局最近公布的首批入侵我国的16种外来入侵种之一。

米草在成为保滩护岸,促淤造陆的先锋植物的同时,也由于其极强的抗逆性,蔓延的速度超过人们的控制能力,以至于原有的滩涂生态遭到严重破坏,致使航道被淤,滩涂被占,严重影响了沿海航运、滩涂养殖及海滩旅游;米草强烈的促淤功能也使得米草所在地的水文学特征发生变化:潮汐流减弱,水体交换能力差,尤其在河口区,排水不畅,易发生涝灾,并诱发赤潮的产生;米草的种植有利于向海争地,开垦新的农田,但这样会使原有生态系统被改变,原有的自然演替被阻,取而代之的是结构单一、典型的、脆弱的农田生态系统;米草在许多地区对护滩固岸曾起过积极的作用,但近年来,在原引种地以外地段,入侵的米草在潮间带的竞争能力显著大于土著的盐沼植物,导致了土著植物种群分布面积的减少和种群数量显著降低。在我国的长江河口湾潮间带,互花米草已经在土著植物海三棱藨草(*Scripus mariqueter*)群落中定居和扩散,最后形成大片单一物种组成的互花米草群落,对当地物种多样性造成了一定影响<sup>[26]</sup>。

### 1.1.3 米草入侵对大型底栖无脊椎动物群落的影响

底栖动物(zoobenthos)是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物。在起源方面,底栖动物可分为原生底栖动物(Primay zoobenthos)和

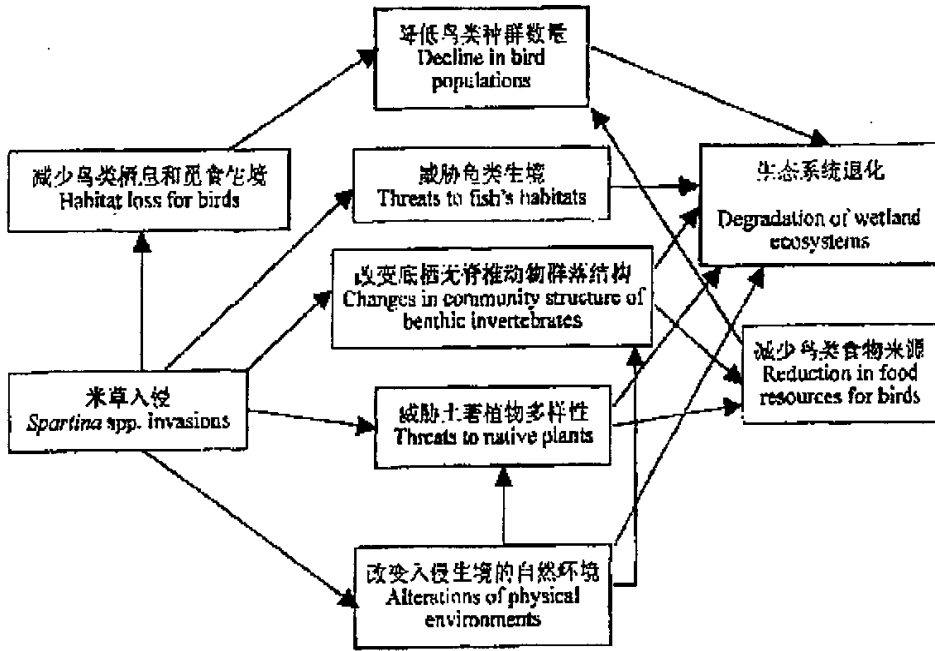
次生底栖动物(secondary zoobenthos)。原生底栖动物的特点是能直接利用水中溶解氧,其种类包括常见的蠕虫、底栖甲壳类、双壳类软体动物等;次生底栖动物是由陆地生活的祖先在系统发育过程中重新适应水中生活的动物。主要包括各类水生昆虫、软体动物的肺螺类等。在大小方面,为了研究方便,近代研究常根据筛网孔径的大小将它们划分为不同的类型。将不能通过 500  $\mu\text{m}$  孔径筛网的动物称为大型底栖动物(macrofauna),能通过 500  $\mu\text{m}$  孔径筛网但不能通过 42  $\mu\text{m}$  孔径筛网的动物为小型底栖动物(meiofauna),能通过 42  $\mu\text{m}$  孔径筛网的动物为微型底栖动物(nanofauna)<sup>[29]</sup>。

由于大型底栖动物在取样和鉴定等问题上与中型和小型底栖动物有较大的优势,一直来倍受滩涂湿地、河口岸湿地生态学研究者的青睐。底栖动物取食浮游生物、底栖藻类和有机碎屑等,本身又被其他鱼类和鸟类所取食,直接影响其他物种的生存和繁殖<sup>[30]</sup>。大型底栖动物处于滩涂湿地生态系统的中心环节,环境的变化必然导致大型底栖动物群落结构及多样性的变化,可以通过群落结构和多样性变化来表征环境质量。大型底栖动物群落在环境条件发生变化时,会改变其中的物种组成、密度以及多样性等,这种响应机制为研究环境变化对群落造成的影响带来一定的指导,研究人员可以通过大型底栖动物群落结构的变化来了解环境变化产生的影响以及进行群落的控制因子研究等,并且可以在大型底栖动物群落中选取一些物种或者一些群落特征指标作为生境质量的指示和度量,进行生态系统评价等工作。

潮间带大型底栖无脊椎动物是鸟类食物的重要组成部分,是滩涂生态系统中食物网的重要环节<sup>[30]</sup>,其分布不仅与滩涂底质水文等理化环境密切相关,而且与不同时间和空间尺度上的自然或人为干扰相关,上述因素的变化均可导致底栖动物群落结构和多样性发生变化。

大型底栖动物能通过多种方式表现出对环境的变化的响应,如:通过运动、食物获取、生理反应、生活史对策和其他的行为等,物种的变化必然反映到群落的变化上,群落通过这种变化以适应环境的变化。米草具有非常发达的地下茎、粗壮的茎秆和浓密的叶冠层,入侵后会显著改变潮间带环境<sup>[6]</sup>。这种环境的变化是否对大型底栖无脊椎动物群落产生影响,目前研究很少。

陈中义归纳了 Cordell et al.在 1994-1996 年的工作, 得出了米草入侵对生态系统的生态后果。认为米草入侵新的生态系统后, 由于其抗逆性强、生物量大、繁殖扩散能力强和竞争力强, 其种群很快爆发, 从而对被入侵生态系统造成深刻的影响<sup>[5]</sup>。并绘制了米草入侵的生态后果示意图:



米草入侵生态后果图 (自陈中义)

一些研究表明, 米草入侵光滩后, 米草群落底泥中的无脊椎动物总密度和丰富度要高于邻近的光滩<sup>[5]</sup>。蒋福兴等研究发现, 在我国光滩上种植大米草 10a 后, 底泥中的大型底栖无脊椎动物的种类和数量也显著增加, 尤以双齿围沙蚕 (*Perinercs aibuhitensis*) 的密度增加明显<sup>[31,32]</sup>。但 Luiting et al 在对 Willapa 海湾互花米草入侵区研究后发现, 米草入侵光滩后, 侵入斑块中无脊椎动物的种群数量和物种丰富度都显著小于潮间带光滩, 造成了底栖无脊椎动物多样性的减少<sup>[33]</sup>。Jackson 在英国 Soue 河的研究中也发现了类似的结果。陈中义等通过研究发现, 互花米草入侵崇明东滩盐沼后, 显著降低了大型底栖无脊椎动物的物种多样性, 同时显著改变了营养类群的结构, 并认为互花米草入侵所引起的植物群落高度、密度、盖度、生物量的变化可能是造成大型底栖无脊椎动物群落结构改变的主要原因<sup>[35]</sup>。而吴纪华在比较同一海滩互花米草和海三棱藨草底泥中的线虫

群落时，却得到相反的结论<sup>[5]</sup>。

已有研究结果说明，米草入侵海岸滩涂后，会改变潮间带大型底栖无脊椎动物群落的结构。但由于大型底栖无脊椎动物群落具有季节性变化，米草生境、米草入侵的历史不同，其对大型底栖无脊椎动物群落的影响程度也不同。因此需要从不同的生境、时间和空间尺度上深入研究米草入侵对大型底栖动物多样性的影响。另外，米草入侵河口区和潮间带后，究竟带来什么样的生态后果，是直接改变生态系统过程，还是首先影响群落的组成，然后才对生态系统产生危害，也是亟待研究的问题。

## 1.2 黄河三角洲地区米草入侵现状及危害

黄河三角洲地区 1993 年开始引进大米草和互花米草两种米草<sup>[3, 12]</sup>，主要分布于东部沿海潮间带，用于解决黄河三角洲地区海岸蚀退问题。互花米草主要集中在东营市河口区仙河镇神仙沟入海口南岸的贝类养殖区，引进时仅 30m<sup>2</sup>，但近年来发展速度惊人，2002 年面积发展到 400hm<sup>2</sup>左右，到 2003 年已发展到 700hm<sup>2</sup>左右，目前正在 10hm 海滩上以每年 6 倍的速度疯长蔓延，覆盖面积越来越大，成灾面积多达 866.6hm<sup>2</sup>，零星可见成草面积达 3333~4000hm<sup>2</sup>以上，草籽漂流面积在 6666hm<sup>2</sup>以上，对沿海滩涂多种海洋生物构成严重威胁<sup>[27]</sup>。此外，小清河口和无棣岔尖也发现小片、零星的大米草。

黄河三角洲米草的危害主要有以下几个方面：(1)破坏近海生物栖息环境，使沿海养殖贝类、蟹类、鱼类等多种生物窒息死亡。(2)影响海水交换能力，导致水质下降并诱发赤潮，殃及深海生物。(3)堵塞航道，影响各类船只进出港，给海上运输、渔业、国防等带来不便。(4)破坏石油运输管线。(5)与沿海滩涂本地植物竞争生长空间，致使生物多样性遭到破坏<sup>[28]</sup>。

## 1.3 选题的目的和意义

黄河三角洲地区有我国暖温带最广阔的河口湿地，是物种保护、候鸟迁徙和河口生态演替的重要地点。现在所称的黄河三角洲，是指 1855 年黄河自河南铜瓦厢决口，废弃此前的徐淮流路，北夺山东大清河入渤海以来形成的，以东营市垦利县宁海为顶点形成的扇形冲积区，海岸线长在 350~490km 之间，湿地总面积约 4500km<sup>2</sup>，其中泥质滩涂面积达 1150km<sup>2</sup><sup>[34]</sup>。潮间带滩面平坦宽阔，底质全为泥沙。由于黄河每年携带大量营养盐类入海，浅海滩涂生产力高，是鱼、虾、蟹、

贝类生长繁衍的天然场所。这一片地势平坦、面积广阔的区域上孕育了丰富的生物多样性。

近年来，互花米草和大米草相继被引种到黄河三角洲，主要分布在东营市河口区仙河镇至五号桩、小清河口和无棣岔尖的潮间带。在黄河三角洲裸露的盐荒滩，米草入侵带来了的潮间带生态环境的变化，这种变化对潮间带大型底栖无脊椎动物群落会产生一定的影响。因此，本文的研究目的是调查互花米草、大米草入侵黄河三角洲潮间带后，是否改变了潮间带米草群落中大型底栖无脊椎动物的密度、物种多样性和群落结构，从而为米草入侵的防控提供科学依据。

## 第二章 研究思路与研究方法

### 2.1 本论文研究思路

以黄河三角洲为调查研究区,以 2005 年为调查基准年,通过不同季节、不同样区对黄河三角洲米草入侵潮间带大型底栖无脊椎动物的群落结构、密度分布、生物量分布和物种多样性等方面的调查与研究,探讨黄河三角洲潮间带米草入侵对大型底栖无脊椎动物的影响。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 大型底栖无脊椎动物的调查方法

##### 2.2.1.1 布点

黄河三角洲米草入侵区主要分布在东营市河口区孤岛镇五号桩、小清河口和无棣岔尖。东营市河口区仙河镇东营海星贝类养殖场(N38° 00' 52" E118° 58' 30")主要是互花米草入侵,生长迅速,扩展很快,已形成密集单一的互花米草群落,面积约达 667hm<sup>2</sup>。小清河口(N37° 16' 743" E118° 57' 043")是大米草入侵,已在芦苇群落中成斑块分布。无棣岔尖(N38° 07' 369" E117° 59' 184")也是大米草入侵,近年来有自然退化现象,分布区域窄小,已形不成大的群落。在东营海星贝类养殖场、小清河口和无棣岔尖米草入侵区,根据潮间带米草入侵面积不同,分设了 3 个调查样区。东营海星贝类养殖场样区分设米草入侵区 3 个调查站点和 1 个对照站点(非入侵区),其他 2 个调查样区各设米草入侵站点 1 个和对照站点 1 个。

##### 2.2.1.2 样品采集和标本分析

潮间带大型底栖生物取样按照 1998 年颁布的《海洋监测规范》<sup>[36]</sup>第 7 部分:近海污染生态调查和生物监测的方法进行。在 2005 年 5 月 13~15 日,8 月 23~25 日,10 月 15~17 日,各进行 1 次取样,全年计 3 次。每个站位取样面积为 50cm×50cm。先拣取表面动物入标本瓶中,然后迅速挖取样方内的沉积物,采泥深度为 30cm。所采沉积物放入网目分别为 5mm 和 1mm 的二层套筛中,用水冲洗,挑出肉眼可见的动物,放入标本瓶中,用 10%的福尔马林液固定。同时记录环境特征状况。



标本固定 5d 后, 室内分类鉴定。定量分析按种计数和称重。称重使用感量为 0.01g 的扭力天平。依据取样面积, 将个体数和湿重换算成密度(个/m<sup>2</sup>)和生物量(g/m<sup>2</sup>)。

## 2.2.2 水质监测与评价方法

对 3 个样区浅海水质进行了同步监测, 水质采样与大型底栖无脊椎动物采样同步进行。水质监测项目 18 个, 以《海水水质标准》(GB3097-97) 中的 II 类标准进行评价。

## 2.2.3 底质监测与评价方法

对 3 个样区米草入侵区潮间带底质于 8 月份进行了 1 次监测, 采样时间、站点同水质监测。监测项目 7 个, 以单因子评价法评价。

## 2.2.4 数据处理和统计

探讨生物多样性的学说和模式很多, 但尚未有得到公认的理想模式, 而且对用个体还是用生物量计算多样性也有争议。目前应用较普遍的是以个体数计算生物多样性。本研究也采用个体数计算多样性指数, 并使用均匀度和单纯度两个指标, 从不同侧面对大型底栖无脊椎动物的群落结构多样性进行探讨。同时采用群落间种类相似性指数计算米草入侵区之间、米草入侵区与对照区之间的相似度。

1. 多样性指数 ( $H$ ) : 又称 Shannon—Weaver 指数, 是种类数和种类中个体分配上的均匀度的综合指标。其公式为:

$$H = -\sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right) \ln\left(\frac{n_i}{N}\right) \quad (2-1)$$

式中,  $H$ -----生物多样性指数;

$S$ -----生物的种类数;

$N$ -----群落的个体总数;

$n_i$ ----- $i$  种的个体数。

2. Pielou 均匀度指数: 反映种间个体分布的均匀性。其公式为:

$$J = H / \ln S \quad (2-2)$$

式中,  $J$ -----均匀度;  $H$ 、 $S$ -----意义同 (1-1) 式。

3.Simpson 优势度 ( $C$ ): 是反映种类数和优势种数量占总数量的比例, 其公式为:

$$C = \sum n_i^2 / N^2 \quad (2-3)$$

式中,  $P$ -----优势度;

$n_i$ 、 $N$ ----- 意义同 (1-1) 式。

4.群落间种类相似性 Jaccard 指数:

$$Jc=c/(a+b-c) \times 100\% \quad (2-4)$$

式中,  $Jc$ -----相似性指数;

$a$ 、 $b$  分别为断面  $a$  和  $b$  出现的种数;  $c$  为  $a$ 、 $b$  断面的共有种数。

5.群落间相对多度相似性指数:

$$P_s = \sum P_{i_{\min}} \quad (2-5)$$

式中,  $P_s$ -----相对多度相似性指数;

$P_{i_{\min}}$ -----群落间同种动物相对多度的最小值。

为了便于分析底栖动物群落结构, 人为定义相对多度为 5% 以上的种类为群落优势种类, 相对多度为 1%~5% 的种类为群落常见种类, 相对多度 1% 以下为稀有种类。使用方差分析来测定不同季节、不同样区大型底栖无脊椎动物的密度、Shannon—Weaver 指数、均匀度、优势度、分类群的相对多度的差异, 统计分析 Excel2003 数据分析工具包。

### 第三章 黄河三角洲调查水质与底质理化因子分析

#### 3.1 黄河三角洲调查区水质状况

##### 3.1.1 东营海星贝类养殖场样区水质

5、8、10 月份对东营海星贝类养殖场样区水质 3 次监测结果（见表 3-1）表明：PH 范围 8.14~8.17, COD 浓度范围 1.87~1.96mg/L, 溶解氧浓度范围 7.05~8.76 mg/L, 盐度范围 28.80%~30.12%, 砷浓度范围 0.0017~0.0020mg/L, 挥发酚浓度范围 0.0010~0.0046mg/L, 活性磷酸盐浓度范围 0.0022~0.0091mg/L, 硫化物、氰化物、铜、铅、锌、镉、汞均未检出。上述监测指标均符合海水水质

表 3-1 黄河三角洲调查区水质监测结果统计表

单位: mg/L

采样地点	水温 (°C)	pH	DO	COD	盐度 (%)	石油类	亚硝酸盐	硝酸盐	磷酸盐	有机质 (%)	硫化物	砷	挥发酚
东营海星贝类养殖场	15.2	8.17	876	1.96	30.12	0.0606	0.0086	0.360	0.0062	0.22	未检出	0.0017	0.0010
小清河口	15.0	7.97	2.14	6.69	19.38	0.1660	0.0724	0.083	0.3570	0.32	0.140	0.0020	0.0032
无棣岔尖	15.3	8.13	8.44	2.42	28.52	0.0436	0.0645	1.017	0.0330	0.76	0.019	0.0018	0.0010
东营海星贝类养殖场	28.5	8.14	7.05	1.96	28.80	0.0185	0.0144	0.427	0.0022	0.23	未检出	0.0019	0.0046
小清河口	29.2	7.88	1.64	5.11	16.32	0.1160	0.0932	0.260	0.1250	0.35	0.240	0.0024	0.0010
无棣岔尖	28.7	7.87	9.66	2.76	23.53	0.0026	0.0263	0.085	0.0122	0.79	0.120	0.0018	0.0010
东营海星贝类养殖场	24.3	8.15	7.52	1.87	30.00	0.0210	0.0280	0.382	0.0091	0.25	未检出	0.0020	0.0022
小清河口	24.9	7.92	2.21	6.80	18.27	0.1720	0.0850	0.032	0.2153	0.36	0.200	0.0035	0.0010
无棣岔尖	24.5	7.85	7.48	2.65	25.92	0.0230	0.0190	0.027	0.0174	0.85	0.020	0.0016	0.0010

备注: 5、8、10 月份水质的铜、铅、锌、镉、汞、氰化物均未检出。

二类标准 (GB3097-1997, 下同), 但石油类浓度范围 0.0185~0.0605mg/L, 最大值出现在 5 月份, 超过海水水质标准 0.05mg/L 的 0.21 倍; 不符合海水二类标准, 说明该样区水质受到了石油类污染。

### 3.1.2 小清河口样区水质

5、8、10 月份对小清河口样区水质 3 次监测结果 (见表 3-1) 表明: PH 范围 7.88~7.97, 盐度范围 16.32%~19.38%, 盐度较低; 砷浓度范围 0.0020~0.0035mg/L, 挥发酚浓度范围 0.0010~0.0032mg/L, 氰化物、铜、铅、锌、镉、汞均未检出。上述监测指标均符合海水水质二类标准, 但溶解氧浓度范围 1.64~2.21mg/L, 均低于海水水质二类标准 3mg/L; COD 浓度范围 5.11~6.69mg/L, 均超过海水水质二类标准, 超标率为 100%, 最大值超标 1.23 倍; 石油类浓度范围 0.1160~0.1720mg/L, 均超过海水水质二类标准, 超标率为 100%, 最大值超标 2.44 倍; 硫化物浓度范围 0.140~0.240mg/L, 均超过海水水质二类标准, 超标率为 100%, 最大值超标 3.80 倍; 磷酸盐浓度范围 0.1250~0.3570mg/L, 均超过海水水质二类标准, 超标率为 100%, 最大值超标 10.90 倍, 且均超过海水水质三类标准, 最大值甚至超过四类标准。可见, 小清河口水质溶解氧、石油类、硫化物、磷酸盐和 COD 计 5 项指标不符合海水水质二类标准。

### 3.1.3 无棣岔尖样区水质

5、8、10 月份对无棣岔尖样区水质 3 次监测结果 (见表 3-1) 表明: PH 范围 7.85~8.13, COD 浓度范围 2.42~2.76mg/L, 溶解氧浓度范围 7.48~9.66mg/L, 盐度范围 23.53%~28.52%, 盐度较低; 砷浓度范围 0.0016~0.0018mg/L, 挥发酚浓度均为 0.0010mg/L, 石油类浓度范围 0.0232~0.0436mg/L, 氰化物、铜、铅、锌、镉、汞均未检出。上述监测指标均符合海水水质二类标准。但硫化物浓度范围 0.019~0.120mg/L, 最大值出现在 8 月份, 超过海水水质二类标准 1.40 倍; 磷酸盐浓度范围 0.0122~0.0330mg/L, 最大值出现在 8 月份, 超过海水水质二类标准 0.10 倍。

综上监测结果说明, 黄河三角洲调查区的 3 个样区海水水质均不符合二类海水水质标准, 其中东营海星贝类养殖场水质主要受到石油类污染, 无棣岔尖水质受到了硫化物和磷酸盐的污染, 以小清河口水质污染最重, 以石油类、硫化物、磷酸盐和 COD 污染为主, 溶解氧不符合要求, 尤其是磷酸盐浓度已超过海水水质

四类标准，这与小清河受到了济南、淄博、滨州、东营、潍坊市工业废水和生活污水污染有关<sup>[37]</sup>。

### 3.2 黄河三角洲调查区底质状况

8月份米草入侵区底质样品一次性监测结果（见表 3-2）表明：底质中钾含量范围为 27428~30229mg/kg，以东营海星贝类养殖场为高；铅含量范围为 11.5~16.8mg/kg，以小清河口为高；镉含量范围为 0.047~0.155mg/kg，以小清河口为高；锌含量范围为 64.2~111.2mg/kg，也以小清河口为高；铜含量范围为 20.9~26.2mg/kg，以东营海星贝类养殖场为高；砷含量范围为未检出~2.57mg/kg，以小清河口为高；汞含量范围为 20.8~474.2mg/kg，以无棣岔尖为高。由此可见，小清河口底质的铅、镉、锌、砷含量均高于其他 2 个样区，而东营海星贝类养殖场米草入侵区则钾、铜含量高于其他样区，唯无棣岔尖样区底质中汞的含量远高于其他样区，原因有待于分析。

表 3-2 2005 年 8 月黄河三角洲调查区底质监测结果

测试项目	单位	米草入侵区			对照区
		小清河口	无棣岔尖	东营海星贝类养殖场	东营海星贝类养殖场
K	mg/kg	27428	28816	30229	25442
Pb	mg/kg	16.8	11.5	16.3	26.9
Cd	mg/kg	0.155	0.047	0.055	0.260
Zn	mg/kg	111.2	64.20	84.50	283.40
Cu	mg/kg	24.6	20.9	26.2	35.1
As	mg/kg	2.57	0.081	未检出	2.88
Hg	mg/kg	20.8	474.2	102.3	21.2

根据东营海星贝类养殖场米草入侵区与对照区底质监测结果看，对照区底质的铅、镉、锌、铜、砷均高于米草入侵区，是否是米草对铅、镉、锌、铜、砷的吸收有关，还有待于研究。而米草入侵区底质中钾的含量却高于对照区，是否与米草根、茎、叶的腐败还原于底质有关，还需要今后进一步研究。在小清河口覆有一层淤泥，厚度 0.2~0.6cm 左右，含有大量的腐殖质、微生物、泥沙等<sup>[38]</sup>。

目前，国内尚没有底质评价标准，一般以环境背景值或监测平均值为标准进行评价<sup>[39]</sup>。现以米草入侵区 3 个样区底质监测平均值为标准分析，东营海星贝类养殖场底质中钾超过平均值 0.05 倍，小清河口底质中的铅、镉、锌、砷分别超过平均值 0.15、1.31、0.28、1.89 倍。由此说明小清河口底质受到了铅、镉、锌、砷的污染。

## 第四章 黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物群落组成 及分布特点

### 4.1 底栖动物的群落组成

#### 4.1.1 群落组成

在黄河三角洲调查区,采集所得大型底栖无脊椎动物共 21 种(见名录表 4-1),分别隶属于纽形动物门、环节动物门、软体动物门和节肢动物门。其中纽形动物门检出 1 纲 1 目 1 科 1 种,占底栖动物总种数的 4.76%;环节动物门检出 1 纲 1 目 1 科 2 种,占底栖动物总种数的 9.52%;软体动物门检出 2 纲 5 目 8 科 11 种,占底栖动物总种数的 52.38%;节肢动物门检出 1 纲 2 目 5 科 7 种,占底栖动物总种数的 33.33%(表 4-2,图 4-1)。可见,软体动物、节肢动物分居底栖动物种类总数的第一、二位。

表 4-2 黄河三角洲调查区底栖动物群落组成

门	纲(个)	目(个)	科(个)	种(个)	占总种数(%)
纽形动物门	1	1	1	1	4.76
环节动物门	1	1	1	2	9.52
软体动物门	2	5	8	11	52.38
节肢动物门	1	2	5	7	33.33

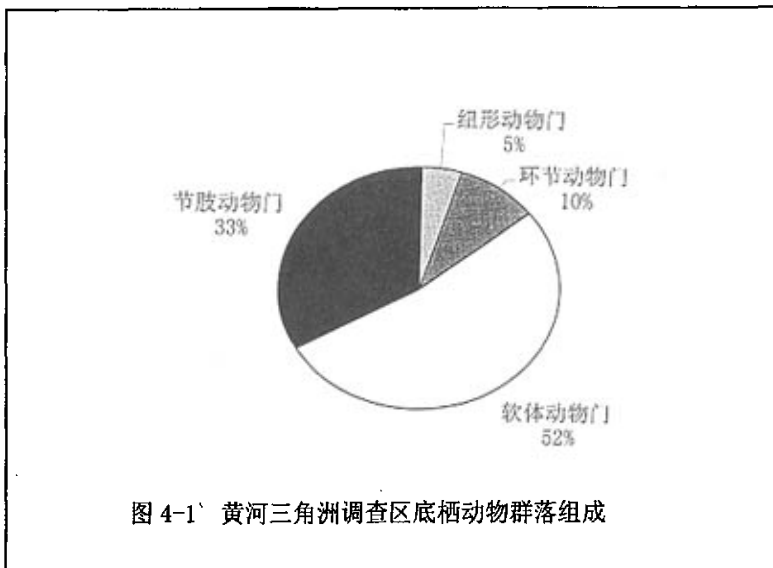


表 4-1 黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物名录

一、纽形动物门 Nematinea

无针纲 Anopla

异纽虫目 Heteronemertea

纵沟科 Lineidae

纵沟纽虫属 Lineus

1. 沟纽虫 *Lineus* sp.

二、环节动物门 Annelida

多毛纲 Polychaeta

叶须虫目 Phyllodocida

沙蚕科 Nereididea

刺沙蚕属 *Neanthes*

2. 日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* (Izuka)

角沙蚕属 *Ceratonereis*

3. 红角沙蚕 *Ceratonereis eythraeenis* Fauvel

三、软体动物门 Mollusca

腹足纲 Gastropoda

原始腹足目 Archaeogastropoda

马蹄螺科 Trochidae

鲎螺属 *Umbonium*

4. 托氏鲎螺 *Umbonium thomasi* (Crosse)

中腹足目 Mesogastropoda

泥沼螺科 Assimineidae

拟沼螺属 *Assimineia*

5. 拟沼螺 *Assimineia* sp.

汇螺科 Potamodidae

拟蟹守螺属 *Corithidea*

6. 珠带拟蟹守螺 *Cerithidea cingulata* (Gmelin)

7. 红树拟蟹守螺 *C. rhizophorarum* A. Adams

玉螺科 Naticidae

镰玉螺属 Lunatica

8. 微黄镰玉螺 *Lunatica gilva* (Philippi)

狭舌目 Stenoglossa

织纹螺科 Nassariidae

织纹螺属 Nassarius

9. 秀丽织纹螺 *Nissarius festives* (Powys)

双壳纲 Bivalvia

帘蛤目 Veneroida

樱蛤科 Tellinidae

明樱蛤属 Moerella

11. 彩虹明樱蛤 *Moerella iridescens* (Benson)

角樱蛤属 Angulus

11. 扁角樱蛤 *Angulus compressissimus* (Reeve)

帘蛤科 Veneridae

青蛤属 Cyclina

12. 青蛤 *Cyclina sinensis* (Gmelin)

海螂目 Myoida

篮蛤科 Corbulidae

河篮蛤属 Potamocorbula

13. 焦河篮蛤 *Potamocorbula ustulata* (Reeve)

14. 光滑河篮蛤 *P.laevis* (Hinds)

四、节肢动物门 Arthropoda

甲壳纲 Crustacea

端足目 Amphipoda

双眼钩虾科 Ampeliscidae

双眼钩虾属 Ampelisca

15. 双眼钩虾 *Ampelisca* sp.

十足目 Decapoda



长脚蟹科 Goneplacidae

强蟹属 Eucrate

16.隆线强蟹 *Eucrata crenata* (de Haan)

豆蟹科 Pinnotheridae

三强蟹属 Tritodynamia

17.霍氏三强蟹 *Tritodynamia horvathi* Nobili

短眼蟹属 Xenophthalmus

18.豆形短眼蟹 *Xenophthalmu pimotheroide* White

沙蟹科 Ocypodidae

大眼蟹属 Macrophthalmus

19.宽身大眼蟹 *Macrophthalmus dilatatum*.(de Haan)

方蟹科 Grapsidae

厚蟹属 Helice

20.天津厚蟹 *Helice tientsinensis* Rathbum

21.沈氏厚蟹 *H. tridens* Shen

#### 4. 1. 1. 1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物的群落组成

通过全年 3 次调查, 东营海星贝类养殖场样区大型底栖无脊椎动物的群落组成见表 4-3。由表可见, 东营海星贝类养殖场米草入侵区大型底栖无脊椎动物群落优势种类(个体数占总数量的 5%以上)有 3 种: 珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata* Gmelin) (70.0%)、日本刺沙蚕 (*Neanthes japonica* Izuka) (13.5%)、光滑河篮蛤 (*P.laevis* Hinds) (5.2%); 常见种类(个体数占总数量的 1%~5%)有天津厚蟹 (*Helice tientsinensis* Rathbum)、霍氏三强蟹 (*Tritodynamia horvathi* Nobili)、秀丽织纹螺 (*Nissarius festives* Powys) 等 3 种, 稀有种类(个体数占总数量的 1%以下)有宽身大眼蟹 (*Macrophthalmus dilatatum* de Haan)、豆形短眼蟹 (*Xenophthalmu pimotheroide* White)、焦河篮蛤 (*Potamocorbula ustulata* Reeve)、青蛤 (*Cyclina sinensis* Gmelin)、红树拟蟹守螺 (*C. rhizophorarum* A. Adams) 等 5 种。对照区站点大型底栖无脊椎动物群落优势种类(个体数占总数量的 5%以上)有 2 种: 焦河篮蛤 (75.4%)、扁角樱蛤 (*Angulus compressissimus* Reeve) (6.1%); 常见种类(个体数占总数量的 1%~5%)有霍氏三强蟹、沈氏厚蟹 (*H. tridens* Shen)、光滑河篮

蛤、拟沼螺 (*Assiminea* sp.)、秀丽织纹螺、彩虹明樱蛤 (*Moerella iridescens* Benson) 等 6 种, 稀有种类(个体数占总数量的 1%以下)有纵沟纽虫 (*Lineus* sp.)、红角沙蚕 (*Ceratonereis egyptica* Fauvel)、日本刺沙蚕、微黄镰玉螺 (*Lunatica gilva* Philippi)、珠带拟蟹守螺、青蛤等 6 种。

4 个采样站点大型底栖无脊椎动物群落的组成明显不同。从种类组成上看, 3 号站点有 8 种, 1 号站点有 6 种, 2 号站点仅 5 种, 米草入侵区 3 个站点总的种

表 4-3 东营海星贝类养殖场样区大型底栖无脊椎动物密度分布

单位: 个/m<sup>2</sup>

种类	1 号			2 号			3 号			对照区		
	5 月	8 月	10 月	5 月	8 月	10 月	5 月	8 月	10 月	5 月	8 月	10 月
纵沟纽虫										4		
日本刺沙蚕		12	8		8	32	4	4	4			4
红角沙蚕										4		
拟沼螺											8	
珠带拟蟹守螺	284	14	28	4	16	16	4	8			4	
红树拟蟹守螺							4					
微黄镰玉螺										4		
秀丽织纹螺					4			4			8	
彩虹明樱蛤										12		
扁角樱蛤											16	12
青蛤			4									4
焦河篮蛤							4			180	160	4
光滑河篮蛤		24						4			8	
霍氏三强蟹						8			4	4		12
豆形短眼蟹		4										
宽身大眼蟹			4									
天津厚蟹					8	4		8				
沈氏厚蟹											8	
合计	284	54	44	4	36	60	16	28	8	208	212	36

类有 11 种, 对照区站点则有 14 种。仅有 2 种在 4 个站点均有发现, 而有 9 种仅出现在 1 个站点中。

由此可见, 米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势类群都是腹足纲和多毛纲。腹足纲和多毛纲在米草入侵区中的相对多度分别是 79.0%和 13.5%, 在对照区的相对多度分别是 92.1%和 1.7%, 取样站点对腹足纲和多毛纲的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

#### 4.1.1.2 小清河口样区底栖动物的群落组成

由表 4-4 可看出, 入侵区站点与对照区站点大型底栖无脊椎动物群落的组成明显不同。从种类组成上看, 入侵区站点有 4 种, 对照区站点则有 7 种。米草入侵区优势类群是腹足纲, 相对多度 98.5%; 对照区优势类群是甲壳纲和多毛纲, 相对多度分别是 75.3%和 22.5%。取样站点对底栖动物优势类群的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

表 4-4 小清河口样区大型底栖无脊椎动物密度分布

单位: 个/m<sup>2</sup>

种类	米草入侵区			对照区		
	5 月	8 月	10 月	5 月	8 月	10 月
日本刺沙蚕	4			3		
拟沼螺	192	92	522	4		
焦河篮蛤					4	
光滑河篮蛤					24	
双眼钩虾	4			3		
隆绒强蟹					4	
霍氏三强蟹		4			68	32
合计	200	96	522	10	100	32

#### 4.1.1.3 无棣岔尖样区底栖动物的群落组成

无棣岔尖米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物的群落组成见表 4-5。入侵区站点与对照区站点大型底栖无脊椎动物群落的组成相同。从种类组成上看, 入侵区站点和对照区站点皆有 5 种, 种类完全相同。米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势类群都是腹足纲和甲壳纲。腹足纲和甲壳纲在米草入侵区中的相对多度分别是 81.7%和 16.2%, 在对照区的相对多度分别是 22.7%和 72.7%, 取样站点对腹足纲和甲壳纲的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

#### 4.1.2 优势种

多毛纲、腹足纲和甲壳纲动物是黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物群落中的主要组成类群 (见表 4-6)。在东营海星贝类养殖场样区的底栖动物中以日本刺沙蚕、珠带拟蟹守螺、秀丽织纹螺、光滑河篮蛤、霍氏三强蟹、天津厚蟹等

分布较广泛，为优势种。小清河口样区的底栖动物以日本刺沙蚕、拟沼螺、双眼钩虾 (*Ampelisca* sp.)、霍氏三强蟹分布较广泛，为优势种。无棣岔尖样区的底栖动物以日本刺沙蚕、托氏鲎螺 (*Umbonium thomasi* Crosse)、拟沼螺、霍氏三强蟹、天津厚蟹分布较广泛，为优势种。

表 4-5 无棣岔尖样区大型底栖无脊椎动物密度分布

单位:个/m<sup>2</sup>

种类	米草入侵区			对照区		
	5月	8月	10月	5月	8月	10月
日本刺沙蚕			4			4
托氏鲎螺	104	12	4	8	4	4
拟沼螺		16	20		4	
霍氏三强蟹			4			8
天津厚蟹	3	24		20	36	
合计	107	52	32	28	44	16

#### 4.1.2.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物优势种

米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势种完全不同 (表 4-3)。焦河篮蛤在对照区中相对多度达 75.4%，占绝对优势，而在米草入侵区相对多度仅为 0.07%；珠带拟蟹守螺在米草入侵区相对多度为 70.0%，而在对照区仅为 0.9%。取样站点对优势种的相对多度有显著影响 ( $P < 0.05$ )。一些稀有种只出现在一个区域中，纵沟纽虫、红角沙蚕、拟沼螺、微黄镰玉螺、彩虹明樱蛤、沈氏厚蟹仅在对照区中检出，而豆形短眼蟹、宽身大眼蟹、天津厚蟹、红树拟蟹守螺仅分布于米草入侵区。

#### 4.1.2.2 小清河口样区底栖动物优势种

由表 4-4 可见，小清河口米草入侵区大型底栖无脊椎动物群落优势种类只有 1 种：拟沼螺，相对多度高达 98.5%，占绝对优势；常见种类无；稀有种类有 3 种：日本刺沙蚕、双眼钩虾、霍氏三强蟹。对照区站点大型底栖无脊椎动物群落优势种类有 2 种：霍氏三强蟹 (70.4%)、光滑河篮蛤 (16.9%)；常见种类有 5 种：隆绒强蟹 (*Eucrata crenata* de Haan) (2.8%)、拟沼螺 (2.8%)、焦河篮蛤 (2.8%)、日本刺沙蚕 (2.1%)、双眼钩虾 (2.1%)；稀有种类无。由此可见，米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势种完全不同。

#### 4.1.2.3 无棣岔尖样区底栖动物优势种

由表 4-5 可见,无棣岔尖米草入侵区大型底栖无脊椎动物群落优势种类有 3 种:托氏鲎螺 (62.8%)、拟沼螺 (18.8%)、天津厚蟹 (14.1%); 常见种类有 2 种:日本刺沙蚕 (2.1%)、霍氏三强蟹 (2.1%); 稀有种类无。对照区站点大型底栖无脊椎动物群落优势种类有 3 种:天津厚蟹 (63.6%)、托氏鲎螺 (18.2%)、霍氏三强蟹 (9.1%); 常见种类有 2 种:日本刺沙蚕 (4.5%)、拟沼螺 (4.5%); 稀有种类无。由此可见,米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势种基本相同。

## 4.2 底栖动物的空间分布

### 4.2.1 区域分布

黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物存在着区域分布差异 (表 4-6)。东

表 4-6 黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物区域分布

门类	种类	东营海星贝类养殖场	小清河口	无棣岔尖
纽形动物门	纵沟纽虫	+		
环节动物门	日本刺沙蚕	+	+	+
	红角沙蚕	+		
软体动物门	托氏鲎螺			+
	拟沼螺	+	+	+
	珠带拟蟹守螺	+		
	红树拟蟹守螺	+		
	微黄镰玉螺	+		
	秀丽织纹螺	+		
	彩虹明樱蛤	+		
	扁角樱蛤	+		
	青蛤	+		
	焦河篮蛤	+	+	
	光滑河篮蛤	+	+	
节肢动物门	双眼钩虾			
	隆绒强蟹		+	
	霍氏三强蟹	+	+	+
	豆形短眼蟹	+	+	
	宽身大眼蟹	+		
	天津厚蟹	+		+
	沈氏厚蟹	+		
	合计	18	7	5

营海星贝类养殖场样区检出的种类最多,共 18 种,占总检出种类的 85.7%;小清河口样区种类为 7 种,占总检出种类的 33.3%;无棣岔尖样区检出种类最少,共 5 种,仅占总检出种类的 23.8%。

#### 4.2.2 调查区底栖动物群落间相似性

各调查区底栖动物种类数相差较大,以东营海星贝类养殖场底栖动物种类最多,小清河口与无棣岔尖种类数相近。从表 4-7 可以看出,无棣岔尖样区和小清河口样区的相似性指数最高,虽然它们之间的共有种是所有样区中最少的。东营海星贝类养殖场样区和无棣岔尖样区的共有种 4 种,相似性指数最低,仅为 0.21。

表 4-7 黄河三角洲调查样区间共有种及种类相似性指数

地 点	无棣岔尖		小清河口		东营海星贝类养殖场	
	共有种	Jc(%)	共有种	Jc(%)	共有种	Jc(%)
无棣岔尖	5	-	-	-	-	-
小清河口	3	33.3	7	-	-	-
东营海星贝类养殖场	4	21.1	6	31.6	18	-

#### 4.2.2.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物群落间的相似性

东营海星贝类养殖场样区检出的大型底栖动物种类分别是:1 号站点 6 种、2 号站点 5 种、3 号站点 8 种,入侵区总计 11 种;光滩对照区 14 种(表 4-8)。日本刺沙蚕和珠带拟蟹守螺在米草入侵区 3 个站点与对照区都有分布,说明是该区域的优势种,其次是秀丽织纹螺、光滑河篮蛤、霍氏三强蟹,而纵沟纽虫、红角沙蚕、拟沼螺、微黄镰玉螺、彩虹明樱蛤、扁角樱蛤、青蛤、沈氏厚蟹等 8 种底栖动物仅在对照区有分布。

1 号站点与 2 号站点共有种类最少,仅 2 种,分别是日本刺沙蚕和珠带拟蟹守螺,相似指数也最低,为 0.22(表 4-9)。2 号站点与 3 号站点相似指数最高,为 0.63,共有种类 5 种,现场观察,2 个站点互花米草长势均很茂盛。3 号站点与对照区站点共有种类最多,为 6 种,相似指数为 0.38。从表 4-9 还可明显看出,米草入侵区 3 个站点与对照区站点的共有种类分别是 4 种、4 种、6 种,相似指数都较低,分别是 0.25、0.27、0.38,群落间的种类组成差异较大,说明米草入侵后,改变了入侵区滩涂环境,影响了入侵区内底栖动物的种类分布,引起入侵区底栖动物种类减少。

表 4-8 东营海星贝类养殖场样区底栖动物分布

门类	种类	米草入侵区			对照区
		1号	2号	3号	
纽形动物门	纵沟纽虫				+
环节动物门	日本刺沙蚕	+	+	+	+
	红角沙蚕				+
软体动物门	拟沼螺				+
	珠带拟蟹守螺	+	+	+	+
	红树拟蟹守螺			+	
	微黄镰玉螺				+
	秀丽织纹螺		+	+	+
	彩虹明樱蛤				+
	扁角樱蛤				+
	青蛤	+			+
	焦河篮蛤			+	+
	光滑河篮蛤	+		+	+
节肢动物门	霍氏三强蟹		+	+	+
	豆形短眼蟹	+			
	宽身大眼蟹	+			
	天津厚蟹		+	+	
	沈氏厚蟹				+
合计		6	5	8	14

表 4-9 东营海星贝类养殖场米草入侵区与对照区共有种及种类相似性指数

地点	2号站点		1号站点		3号站点		对照区站点	
	共有种	Jc(%)	共有种	Jc(%)	共有种	Jc(%)	共有种	Jc(%)
2号站点	5	-	-	-	-	-	-	-
1号站点	2	0.22	6	-	-	-	-	-
3号站点	5	0.63	3	0.27	8	-	-	-
对照区站点	4	0.27	4	0.25	6	0.38	14	-

#### 4.2.2.2 小清河口样区底栖动物群落间的相似性

小清河口米草入侵区和对照区分别检出底栖动物 4 种、7 种（表 4-10）。米草入侵区发现的 4 种底栖动物，均可在周围的对照区检出，即入侵区与对照区共有种类是 4 种。焦河篮蛤、光滑河篮蛤和隆绒强蟹未在入侵区发现。两者间的相似性指数很高，达 0.57，说明米草入侵后，没有显著改变入侵区域的底栖动物种类。

表 4-10 小清河米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物分布

门类	种类	米草入侵区	对照区
环节动物门	日本刺沙蚕	+	+
软体动物门	拟沼螺	+	+
	焦河篮蛤		+
	光滑河篮蛤		+
节肢动物门	双眼钩虾	+	+
	隆绒强蟹		+
	霍氏三强蟹	+	+
合计		4	7

#### 4.2.2.3 无棣岔尖样区底栖动物群落间的相似性

无棣岔尖米草入侵区和对照区各检出底栖动物 5 种（表 4-11），而且种类组成均相同，相似指数最高，为 1。大米草在此滩涂长势极弱，零星分散，没有形成大的群落，群落面积不足 2m<sup>2</sup>。大米草的生长，尚没有对大型底栖动物的种类组成造成影响。

表 4-11 无棣岔尖米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物分布

门类	种类	米草入侵区	对照区
环节动物门	日本刺沙蚕	+	+
软体动物门	托氏帽螺	+	+
	拟沼螺	+	+
节肢动物门	霍氏三强蟹	+	+
	天津厚蟹	+	+
合计		5	5

#### 4.2.2.4 各样区入侵区与对照区底栖动物群落间的相似性

利用公式 2-5 计算所得，3 个样区的入侵区与对照区底栖动物相对多度相似性指数见表 4-12，显示东营海星贝类养殖场样区和小清河口样区米草入侵区底栖动物群落结构与对照区之间极不相似 ( $P_s < 0.25$ )，无棣岔尖样区米草入侵区

表 4-12 各样区入侵区与对照区底栖动物相对多度相似性指数

	东营海星贝类养殖场	小清河口	无棣岔尖
$P_s$	0.09	0.04	0.41

底栖动物群落结构与对照区之间不相似 ( $P_s < 0.50$ )。



### 4.2.3 密度分布

#### 4.2.3.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物密度分布

由表 4-3 可见,米草入侵区 3 个站点大型底栖无脊椎动物平均密度为 178 个/m<sup>2</sup>。密度最高的 1 号站点达 436 个/m<sup>2</sup>,为平均密度的 2.45 倍;2 号站点密度最低,仅为 100 个/m<sup>2</sup>,为平均密度的 0.56 倍。对照区大型底栖无脊椎动物密度为 456 个/m<sup>2</sup>。米草入侵区与对照区底栖动物的密度差异显著。

从各群落的优势种密度上看,米草入侵区与对照区之间的差异显著。珠带拟蟹守螺在米草入侵区平均密度达 124.7 个/m<sup>2</sup>,在对照区栖息密度仅为 4 个/m<sup>2</sup>。焦河篮蛤在对照区栖息密度高达 344 个/m<sup>2</sup>,而在米草入侵区仅为 1.3 个/m<sup>2</sup>。

#### 4.2.3.2 小清河口样区底栖动物密度分布

由表 4-4 可见,米草入侵区大型底栖无脊椎动物密度为 272.7 个/m<sup>2</sup>,对照区大型底栖无脊椎动物密度为 47.3 个/m<sup>2</sup>,差异显著。从优势种密度上看,米草入侵区与对照区之间的差异极显著。拟沼螺在米草入侵区密度达 806 个/m<sup>2</sup>,在对照区栖息密度仅为 4 个/m<sup>2</sup>。霍氏三强蟹在对照区栖息密度高达 100 个/m<sup>2</sup>,而在米草入侵区栖息密仅为 4 个/m<sup>2</sup>。

#### 4.2.3.3 无棣岔尖样区底栖动物密度分布

由表 4-5 可见,米草入侵区大型底栖无脊椎动物密度为 63.7 个/m<sup>2</sup>,对照区大型底栖无脊椎动物密度为 29.3 个/m<sup>2</sup>,差异显著。从优势种密度上看,米草入侵区与对照区之间的差异显著。托氏鲎螺在米草入侵区密度达 120 个/m<sup>2</sup>,在对照区栖息密度仅为 16 个/m<sup>2</sup>。天津厚蟹在米草入侵区密度为 27 个/m<sup>2</sup>,而在对照区栖息密度为 56 个/m<sup>2</sup>。

### 4.2.4 生物量分布

#### 4.2.4.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物生物量分布

由表 4-12 可见,米草入侵区 3 个站点大型底栖无脊椎动物平均年生物量为 85.2g/m<sup>2</sup>,生物量最高的 1 号站点达 190.3g/m<sup>2</sup>,为平均生物量的 2.23 倍;3 号站点生物量最低,底栖动物生物量仅为 17.28g/m<sup>2</sup>,为平均生物量的 0.20 倍。对照区大型底栖无脊椎动物年生物量为 101.0g/m<sup>2</sup>,高于米草入侵区的平均年生物量。

米草入侵区与对照区底栖动物的生物量差异显著。大型底栖无脊椎动物优势种的生物量在米草入侵区与对照区之间也存在极显著差异。珠带拟蟹守螺在米草入侵区生物量达  $55.4\text{g}/\text{m}^2$ ，在对照区生物量仅为  $0.52\text{g}/\text{m}^2$ 。焦河篮蛤在对照区生物量高达  $55.7\text{g}/\text{m}^2$ ，而在米草入侵区生物量仅为  $0.24\text{g}/\text{m}^2$ 。

#### 4.2.4.2 小清河口样区底栖动物生物量分布

由表 4-13 可得，米草入侵区大型底栖无脊椎动物生物量  $78.6\text{g}/\text{m}^2$ ，对照区大型底栖无脊椎动物生物量为  $14.6\text{g}/\text{m}^2$ 。对照区与米草入侵区底栖动物生物量差异显著。优势种生物量上看，大型底栖无脊椎动物优势种的生物量在米草入侵区与对照区之间也存在极显著差异。拟沼螺在米草入侵区生物量达  $67.8\text{g}/\text{m}^2$ ，在对照区生物量仅为  $0.88\text{g}/\text{m}^2$ 。霍氏三强蟹在对照区生物量为  $8.24\text{g}/\text{m}^2$ ，而在米草入侵区生物量仅为  $0.04\text{g}/\text{m}^2$ 。

表 4-12 东营海星贝类养殖场米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物生物量分布

单位： $\text{g}/\text{m}^2$

种类	1号			2号			3号			对照区		
	5月	8月	10月	5月	8月	10月	5月	8月	10月	5月	8月	10月
纵沟纽虫										0.08		
日本刺沙蚕		1.80	0.72		0.20	3.00	3.12	0.04	0.20			0.32
红角沙蚕										0.60		
拟沼螺											0.04	
珠带拟蟹守螺	122.20	4.24	12.33	5.00	11.76	9.40	0.44	0.88			0.52	
红树拟蟹守螺							0.52					
微黄镰玉螺										1.32		
秀丽纹织螺					0.84			0.88			2.20	
彩虹明樱蛤										2.48		
扁角樱蛤											2.48	2.92
青蛤			41.72									20.84
焦河篮蛤							0.72			36.04	19.08	0.60
光滑河篮蛤		0.96						4			8	
霍氏三强蟹						15.40			6.32	0.12		1.12
豆形短眼蟹		0.08										
宽身大眼蟹			6.28									
天津厚蟹					0.24	3.08		0.16				
沈氏厚蟹											2.20	
合计	122.20	7.08	60.05	5	13.04	30.88	4.80	5.96	6.52	40.64	34.52	25.80

表 4-13 小清河口米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物生物量分布

单位: g/m<sup>2</sup>

种类	米草入侵区			对照区		
	5月	8月	10月	5月	8月	10月
日本刺沙蚕	10.72			1.40		
拟沼螺	9.68	4.88	53.24	0.88		
焦河篮蛤					0.88	
光滑河篮蛤					1.12	
双眼钩虾	0.08			0.24		
隆绒强蟹					1.84	
霍氏三强蟹		0.04			6.72	1.52
合计	20.48	4.92	53.24	2.52	10.56	1.52

#### 4.2.4.3 无棣岔尖样区底栖动物生物量分布

由表 4-14 可得, 米草入侵区大型底栖无脊椎动物生物量 51.3g/m<sup>2</sup>, 对照区大型底栖无脊椎动物生物量为 32.8g/m<sup>2</sup>。对照区与米草入侵区底栖动物生物量差异不显著。优势种生物量上看, 大型底栖无脊椎动物优势种的生物量在米草入侵区与对照区之间差异不显著。托氏蛳螺在米草入侵区生物量达 27.9g/m<sup>2</sup>, 在对照区生物量仅为 4.5g/m<sup>2</sup>。天津厚蟹在对照区生物量为 23.6g/m<sup>2</sup>, 而在米草入侵区生物量为 20g/m<sup>2</sup>。

表 4-14 无棣岔尖米草入侵区与对照区大型底栖无脊椎动物生物量分布

单位:g/m<sup>2</sup>

种类	米草入侵区			对照区		
	5月	8月	10月	5月	8月	10月
日本刺沙蚕			0.20			0.72
托氏蛳螺	21.80	1.52	4.60	1.72	0.52	2.28
拟沼螺		1.12	0.60		0.28	
霍氏三强蟹			1.48			3.28
天津厚蟹	5.68	14.32		2.08	21.48	
合计	27.48	16.96	6.88	3.80	22.68	6.28

### 4.3 底栖动物的季节变化

#### 4.3.1 群落季节变化

黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物的群落组成有一定季节变化(图 4-2)。5 月份底栖动物的群落组成中, 软体动物、节肢动物、环节动物分占总种数的 54%、23%、15%, 纽形动物占总种数的 8%。8 月份纽形动物消失, 软体

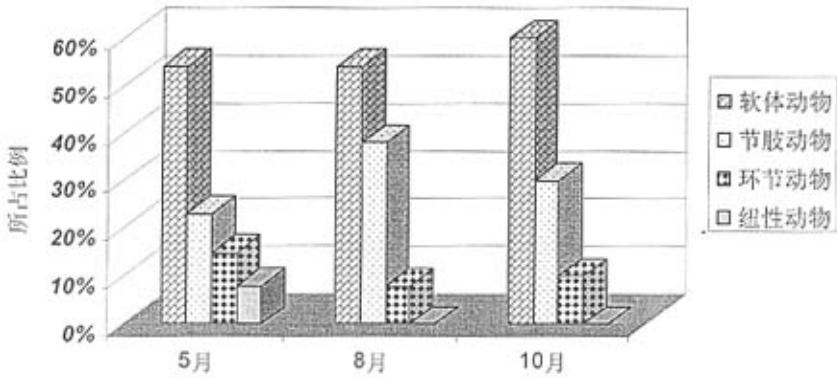


图4-2 黄河三角洲调查区底栖动物群落季节分布

动物、节肢动物、环节动物分占总种数的 54%、38%、8%，节肢动物所占比例上升 15%，环节动物下降 7%。10 月份软体动物、节肢动物、环节动物分占总种数的 60%、30%、10%，纽形动物无。

#### 4.3.1.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物群落季节变化

由表 4-3 可见，3 个采样季节大型底栖无脊椎动物群落的组成明显不同。从种类组成上看，米草入侵区 5 月份有 4 种，8 月份有 6 种，10 月份 6 种，3 个季节总的种类有 11 种；对照区 5 月份有 6 种，8 月份有 7 种，10 月份 5 种。米草入侵区仅有 2 种在 3 个季节均有发现，而有 7 种仅出现在 1 个季节。对照区仅有 1 种在 3 个季节均有发现，而有 11 种仅出现在 1 个季节。

由此可见，米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势类群都是腹足纲和多毛纲。米草入侵区腹足纲和多毛纲的相对多度在 5 月份分别是 56.2%和 0.7%，8 月份分别是 13.9%和 4.5%，10 月份分别是 8.9%和 6.7%。在对照区的相对多度 5 月份分别是 43.0%和 1.8%，8 月份分别是 43.0%和 0，10 月份分别是 4.4%和 0.9%。取样季节对腹足纲和多毛纲的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

#### 4.3.1.2 小清河口样区底栖动物群落季节变化

由表 4-4 可见，3 个采样季节大型底栖无脊椎动物群落的组成明显不同。从种类组成上看，米草入侵区 5 月份有 3 种，8 月份有 2 种，10 月份仅 1 种，3 个

季节总的种类有 4 种；对照区 5 月份有 3 种，8 月份有 4 种，10 月份仅 1 种。3 个季节总的种类 7 种。米草入侵区仅有 1 种在 3 个季节均有发现，而有 3 种仅出现在 1 个季节。对照区有 6 种仅出现在 1 个季节。

由此可见，米草入侵区大型底栖无脊椎动物的优势类群是腹足纲。米草入侵区腹足纲的相对多度在 5 月份是 23.4%，8 月份是 11.2%，10 月份是 63.8%。对照区大型底栖无脊椎动物的优势类群是甲壳纲，其相对多度 8 月份和 10 月份分别是 47.9%和 22.5%，5 月份没有出现。取样季节对腹足纲和甲壳纲的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

#### 4.3.1.3 无棣岔尖样区底栖动物群落季节变化

由表 4-5 可见，3 个采样季节大型底栖无脊椎动物群落的组成明显不同。从种类组成上看，米草入侵区 5 月份有 2 种，8 月份 3 种，10 月份 4 种，3 个季节总的种类有 5 种；对照区 5 月份有 2 种，8 月份有 3 种，10 月份 3 种。3 个季节总的种类 5 种；米草入侵区仅有 1 种在 3 个季节均有发现，而有 2 种仅出现在 1 个季节。对照区仅有 1 种在 3 个季节均有发现，有 3 种仅出现在 1 个季节。

由此可见，米草入侵区和对照区大型底栖无脊椎动物的优势类群都是腹足纲和甲壳纲。米草入侵区腹足纲和甲壳纲的相对多度在 5 月份分别是 54.5%和 1.6%，8 月份分别是 14.7%和 12.7%，10 月份分别是 12.6%和 2.1%。对照区腹足纲和甲壳纲的相对多度 5 月份分别是 9.1%和 22.7%，8 月份分别是 9.1%和 41.0%，10 月份分别是 4.5%和 9.1%。取样季节对腹足纲和甲壳纲的相对多度具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

#### 4.3.2 优势种季节变化

调查显示，黄河三角洲米草入侵滩涂大型底栖无脊椎动物种类具有显著的季节分布差异。取样季节对大型底栖无脊椎动物的种类有一定影响（表 4-15）。5 月份共检出 13 种，8 月份检出 13 种，10 月份则检出 10 种。在 3 个取样时间全部检出的有 7 种，即日本刺沙蚕、托氏鲎螺、拟沼螺、珠带拟蟹守螺、焦河篮蛤、霍氏三强蟹、天津厚蟹。

##### 4.3.2.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物优势种季节变化

由表 4-3 可见，米草入侵区底栖动物优势种珠带拟蟹守螺在 5 月份相对多度

达 53.8%，占绝对优势，8 月份相对多度为 7.0%，10 月份相对多度则为 8.1%。对照区底栖动物优势种焦河篮蛤在 5 月份相对多度达 39.5%，8 月份相对多度为 35.0%，10 月份相对多度仅为 0.9%。一些稀有种只出现在一个季节中，纵沟纽虫、红角沙蚕、红树拟蟹守螺、微黄镰玉螺仅出现在 5 月份，拟沼螺、光滑河篮蛤、豆形短眼蟹、秀丽织纹螺、沈氏厚蟹仅出现在 8 月份，青蛤仅出现在 10 月份。

#### 4.3.3.2 小清河口样区底栖动物优势种季节变化

由表 4-4 可见，米草入侵区底栖动物优势种拟沼螺在 5 月份相对多度为 23.5%，8 月份相对多度为 11.2%，10 月份相对多度最高达 63.8%。对照区底栖动物优势种霍氏三强蟹在 5 月份相对多度为 0，8 月份相对多度最高，为 47.96%，10 月份相对多度为 22.5%，光滑河篮蛤仅在 8 月份出现，相对多度为 16.9%。一些稀有种只出现在一个季节中，日本刺沙蚕、双眼钩虾仅出现在 5 月份，焦河篮蛤、隆绒强蟹仅出现在 8 月份。

#### 4.3.3.3 无棣岔尖样区底栖动物优势种季节变化

由表 4-5 可见，米草入侵区底栖动物优势种有 3 种：托氏鲎螺、拟沼螺、天津厚蟹；托氏鲎螺 5 月份相对多度为 54.5%，8 月份相对多度为 6.3%，10 月份相对多度仅为 2.1%；拟沼螺 5 月份相对多度为 0，8 月份相对多度为 8.4%，10 月份相对多度为 10.5%；天津厚蟹 5 月份相对多度为 1.6%，8 月份相对多度为 12.6%，10 月份相对多度为 0。对照区底栖动物优势种天津厚蟹 5 月份相对多度为 22.7%，8 月份相对多度为 40.9%，10 月份相对多度为 0。托氏鲎螺 5 月份相对多度为 9.1%，8 月份相对多度为 4.5%，10 月份相对多度仅为 4.5%。一些稀有种只出现在一个季节中，日本刺沙蚕、霍氏三强蟹仅出现在 10 月份。

### 4.3.3 密度季节变化

#### 4.3.3.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物密度季节变化

由表 4-3 可见，米草入侵区大型底栖无脊椎动物平均密度为 59.3 个/m<sup>2</sup>。米草入侵区底栖动物密度最高的是 5 月份，达 101.3 个/m<sup>2</sup>，为平均密度的 1.71 倍；最低是 10 月份，密度仅为 37.3 个/m<sup>2</sup>，为平均密度的 0.63 倍。对照区底栖动物平均密度为 152 个/m<sup>2</sup>，密度最高的是 5 月份，达 208 个/m<sup>2</sup>，为平均密度的 1.37 倍；最低的是 10 月份，密度仅为 36 个/m<sup>2</sup>，为平均密度的 0.24 倍。

### 4.3.3.2 小清河口样区底栖动物密度季节变化

由表 4-4 可见, 米草入侵区底栖动物密度最高的 10 月份达 522 个/m<sup>2</sup>, 最低的 8 月份为 96 个/m<sup>2</sup>。对照区底栖动物密度最高的 8 月份仅为 100 个/m<sup>2</sup>, 与米草入侵区有显著差异。密度的季节变化与优势种密度的季节变化密不可分, 其中拟沼螺在米草入侵区的 10 月份密度最大, 达 522 个/m<sup>2</sup>; 5 月份次之, 为 192 个/m<sup>2</sup>; 8 月份最低, 为 92 个/m<sup>2</sup>。

表 4-15 黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物季节分布

门类	种类	季节		
		5 月	8 月	10 月
纽形动物门	纵沟纽虫	+		
环节动物门	日本刺沙蚕	+	+	+
	红角沙蚕	+		
软体动物门	托氏蛳螺	+	+	+
	拟沼螺	+	+	+
	珠带拟蟹守螺	+	+	+
	红树拟蟹守螺	+		
	微黄镰玉螺	+		
	秀丽织纹螺		+	
	彩虹明樱蛤	+		
	扁角樱蛤		+	+
	青蛤			+
	焦河篮蛤	+	+	+
节肢动物门	光滑河篮蛤		+	
	双眼钩虾	+		
	隆绒强蟹		+	
	霍氏三强蟹	+	+	+
	豆形短眼蟹		+	
	宽身大眼蟹			+
	天津厚蟹	+	+	+
	沈氏厚蟹		+	
合计		13	13	10

#### 4.3.3.3 无棣岔尖样区底栖动物密度季节变化

由表 4-5 可见,米草入侵区底栖动物密度最高的 5 月份达 107 个/m<sup>2</sup>;密度最低的 10 月份为 32 个/m<sup>2</sup>。对照区密度最高的 8 月份为 44 个/m<sup>2</sup>,密度最低的 10 月份仅 16 个/m<sup>2</sup>。优势种托氏蛳螺在米草入侵区站点中 5 月份密度最大,为 107 个/m<sup>2</sup>,占绝对优势。

#### 4.3.4 生物量季节变化

##### 4.3.4.1 东营海星贝类养殖场样区底栖动物生物量季节变化

由表 4-12 可见,米草入侵区底栖动物生物量最高的是 5 月份,达 132.0 g/m<sup>2</sup>,最低是 8 月份,生物量仅为 26.2g/m<sup>2</sup>,10 月份生物量为 98.5 g/m<sup>2</sup>。对照区底栖动物生物量最高的是 5 月份,达 40.6 g/m<sup>2</sup>,最低是 10 月份,生物量仅为 25.8 g/m<sup>2</sup>,8 月份生物量为 34.5g/m<sup>2</sup>。

##### 4.3.4.2 小清河口样区底栖动物生物量季节变化

由表 4-13 可见,米草入侵区底栖动物生物量最高的是 10 月份,为 53.2 g/m<sup>2</sup>,最低是 8 月份,仅为 4.9g/m<sup>2</sup>,5 月份生物量为 20.5 g/m<sup>2</sup>。对照区底栖动物生物量最高的是 8 月份,仅 10.6g/m<sup>2</sup>,5 月份和 10 月份生物量分别为 2.5g/m<sup>2</sup>和 1.5g/m<sup>2</sup>。

##### 4.3.4.3 无棣岔尖样区底栖动物生物量季节变化

由表 4-14 可得,无棣岔尖米草入侵区大型底栖无脊椎动物生物量最高的是 5 月份,为 27.5 g/m<sup>2</sup>,最低是 10 月份,仅为 6.9g/m<sup>2</sup>,8 月份生物量为 17.0g/m<sup>2</sup>。对照区底栖动物生物量最高的是 8 月份,为 22.3g/m<sup>2</sup>,5 月份和 10 月份生物量分别为 3.8 g/m<sup>2</sup>和 6.3g/m<sup>2</sup>。



## 第五章 米草入侵对大型底栖无脊椎动物多样性的影响

### 5.1 东营海星贝类养殖场样区大型底栖无脊椎动物多样性

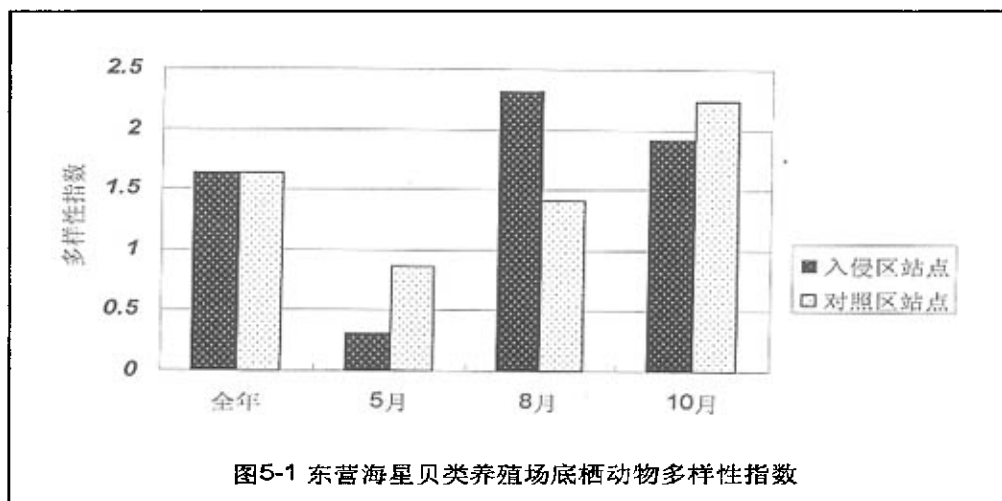
以(2-1)、(2-2)、(2-3)式计算黄河三角洲东营海星贝类养殖场样区大型无脊椎动物多样性指数,结果见表5-1,图5-1,图5-2,图5-3。

#### 5.1.1 多样性指数

入侵区和对照区多样性指数无显著性差异。入侵区站点多样性指数以8月份最高,为2.31;10月份次之,为1.92;5月份最低,为0.30。对照区站点以10月份最高,为2.24;8月份次之,为1.41;5月份最低,为0.86。

表5-1 东营海星贝类养殖场样区大型底栖无脊椎动物多样性指数

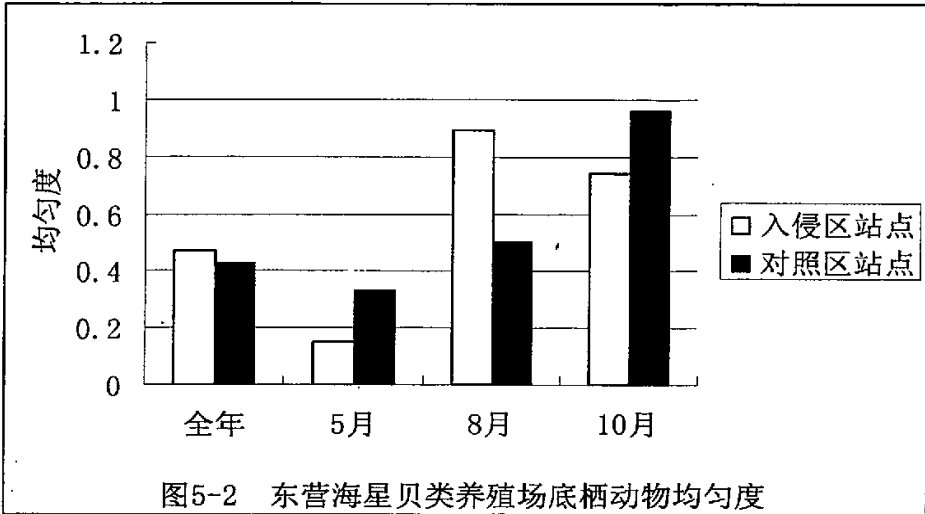
站号	全年			5月			8月			10月		
	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)
入侵区站点	1.63	0.47	0.51	0.30	0.15	0.92	2.31	0.89	0.22	1.92	0.74	0.32
对照站点	1.63	0.43	0.58	0.86	0.33	0.75	1.41	0.50	0.58	2.24	0.96	0.26



#### 5.1.2 均匀度

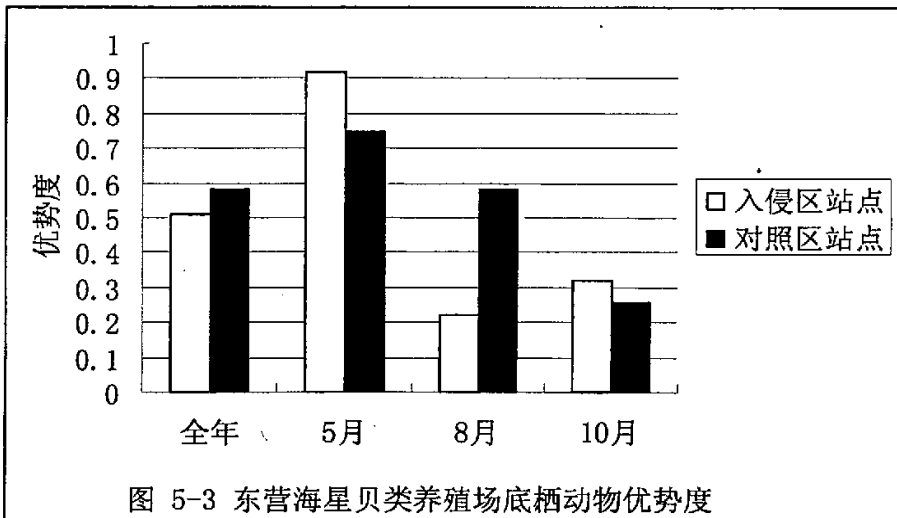
入侵区和对照区均匀度无显著性差异。入侵区站点均匀度以8月份最高,为

0.89; 10月份次之, 为 0.74; 5月份最低, 为 0.15。对照区站点以 10月份最高, 为 0.96; 8月份次之, 为 0.50; 5月份最低, 为 0.33。



### 5.1.3 优势度

入侵区和对照区优势度无显著性差异。入侵区站点优势度以 5月份最高, 为 0.92; 10月份次之, 为 0.32; 8月份最低, 为 0.22。对照区站点以 5月份最高, 为 0.75; 8月份次之, 为 0.58; 10月份最低, 为 0.26。



### 5.1.4 多样性指数分析

东营海星贝类养殖场样区底栖动物多样性指数、均匀度、优势度在入侵区与对照区之间均无显著性差异。其中入侵区 8月份多样性指数最高, 均匀度较高,

而优势度亦较低，底栖动物种类最多，种类组成最复杂。入侵区 5 月份多样性指数最低，均匀度亦最低，而优势度最高，底栖动物种类较少，种类组成较简单，个体分布也不如其它月份均匀。对照区站点的多样性指数、均匀度和优势度，与前人的研究结果类似<sup>[34]</sup>。

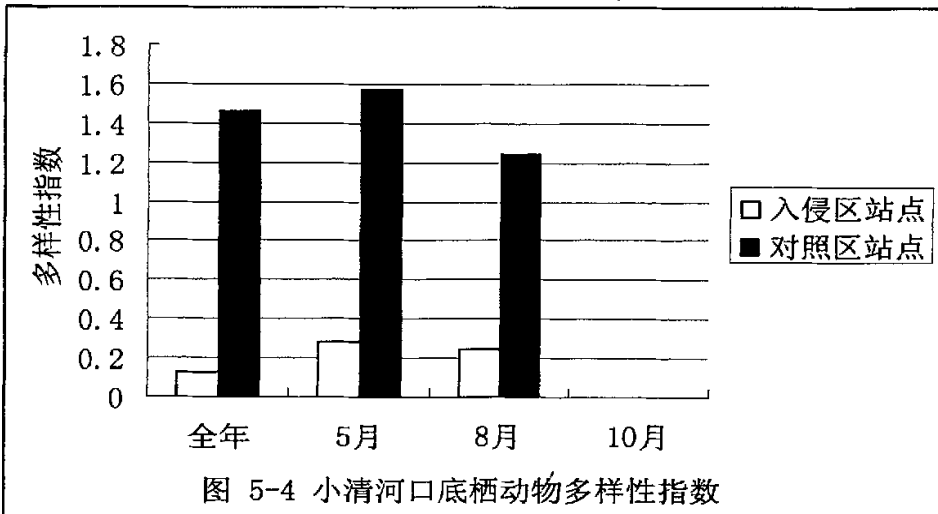
将东营海星贝类养殖场样区底栖动物多样性指数与均匀度、优势度作相关分析，结果表明：入侵区多样性指数与均匀度相关系数  $r=0.99996$ ，对照区  $r=0.98977$ ，经相关系数检验，入侵区和对照区均  $r > r_{0.05}$ ， $r > r_{0.01}$ ，相关系数有极显著意义，大型底栖动物多样性指数与均匀度呈极显著的正相关。入侵区多样性指数与优势度相关系数  $r = -0.99867$ ，对照区  $r = -0.9983$ ，经相关系数检验，入侵区和对照区均  $|r| > r_{0.05}$ ， $|r| > r_{0.01}$ ，相关系数有极显著意义，表明大型底栖动物多样性指数与优势度呈极显著的负相关。

## 5. 2 小清河口样区大型底栖无脊椎动物多样性

以 (2-1)、(2-2)、(2-3) 式计算黄河三角洲小清河口样区大型无脊椎动物多样性指数，结果见表 5-2，图 5-4，图 5-5。

### 5. 2. 1 多样性指数

对照区站点与入侵区多样性指数分别是 1.46 和 0.13，存在显著性差异。入侵区站点多样性指数以 5 月份最高，为 0.28；8 月份次之，为 0.25；10 月份最



低，为 0。对照区站点则以 5 月份最高，为 1.57；8 月份次之，为 1.24；10 月份最低，为 0。

5 月份底栖动物多样性指数最高值出现对照区站点，为 1.57，入侵区站点为 0.28；8 月份对照区站点为 1.24，入侵区站点为 0.25；10 月份对照区站点和入侵区站点皆为 0。以上底栖动物多样性指数表明，各月份多样性指数分布不均匀，10 月份在对照区和入侵区都最低。

表 5-2 小清河口样区大型底栖无脊椎动物多样性指数

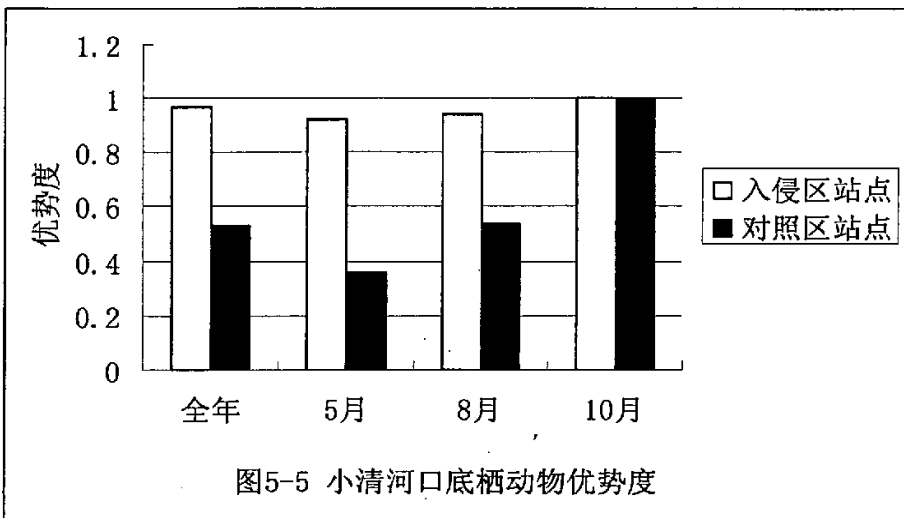
站号	全年			5 月			8 月			10 月		
	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)
入侵区站点	0.13	0.07	0.97	0.28	0.18	0.92	0.25	0.25	0.94	0	-	1
对照站点	1.46	0.52	0.53	1.57	0.99	0.36	1.24	0.62	0.54	0	-	1

### 5.2.2 均匀度

对照区站点与入侵区均匀度指数趋势，存在显著性差异。入侵区站点均匀度以 8 月份最高，为 0.25；5 月份次之，为 0.18；10 月份无均匀度指数。对照区站点则以 5 月份最高、为 0.99，8 月份次之，为 0.62；10 月份无均匀度指数。

### 5.2.3 优势度

对照区站点与入侵区优势度指数趋势，存在显著性差异。入侵区站点优势度以 10 月份最高，为 1.00；8 月份、5 月份接近，分别为 0.94 和 0.92。对照区站



点亦以 10 月份最高，为 1.00；8 月份为 0.54，5 月份最低，为 0.36。

### 5.2.4 多样性指数分析

可见,小清河口样区对照区底栖动物多样性指数高于入侵区,均匀度亦高于入侵区,优势度则低于入侵区。说明对照区站点,底栖动物种类较多,种类组成较复杂。小清河口样区底栖动物多样性指数以5月份最高,均匀度亦最高,而优势度最低,底栖动物种类最多,种类组成最复杂。10月份多样性指数最低,而优势度最高,底栖动物种类极少,种类组成简单,个体分布也不如其它月份均匀。

将小清河口样区底栖动物多样性指数与优势度作相关分析,入侵区多样性指数与优势度相关系数  $r = -0.9884$ ,对照区  $r = -0.9812$ ,经相关系数检验,入侵区和对照区均  $|r| > r_{0.05}$ ,  $|r| > r_{0.01}$ ,相关系数有极显著意义,表明大型底栖动物多样性指数与优势度呈极显著的负相关。

### 5.3 无棣岔尖样区大型底栖无脊椎动物多样性

以(2-1)、(2-2)、(2-3)式计算黄河三角洲无棣岔尖样区大型无脊椎动物多样性指数,结果见表5-3,图5-6,图5-7,图5-8。

#### 5.3.1 多样性指数

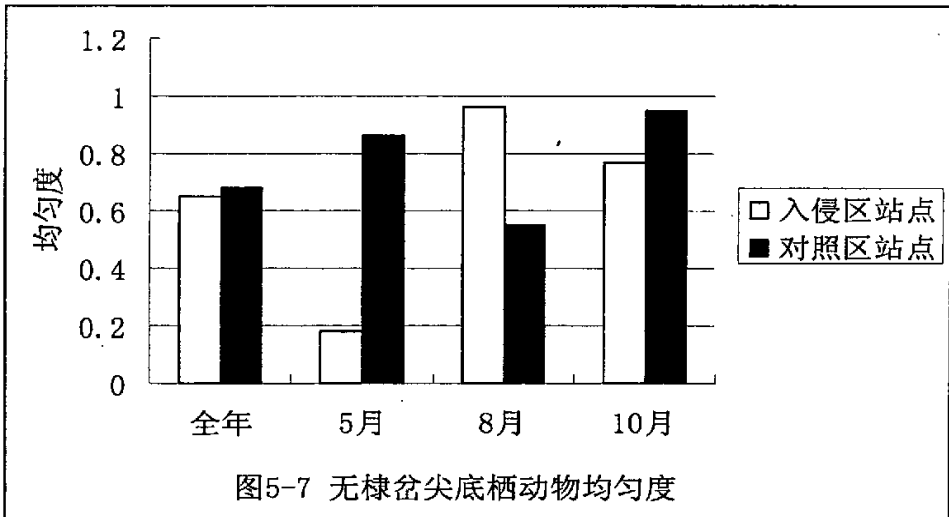
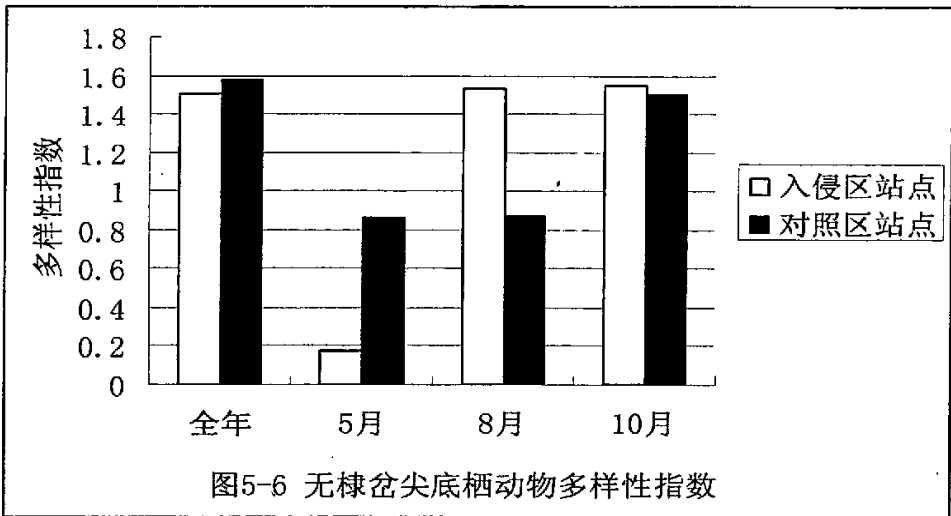
对照区站点与入侵区多样性指数分别是1.58和1.50,无显著性差异。入侵区站点多样性指数以10月份最高,为1.55;8月份次之,为1.53;5月份最低,为0.18。对照区站点则以10月份最高,为1.50;8月份和5月份分别为0.87和0.86。5月份底栖动物多样性指数最高值出现对照区站点,为0.86,入侵区站点为0.18;8月份对照区站点为0.87,入侵区站点为1.53;10月份对照区站点和入侵区站点分别是1.50和1.55。底栖动物多样性指数表明,各月份多样性指数分布不均匀,5月份最低,10月份最高。

表5-3 无棣岔尖样区大型底栖无脊椎动物多样性指数

站号	全年			5月			8月			10月		
	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)	(H)	(J)	(C)
入侵区站点	1.50	0.65	0.45	0.18	0.18	0.95	1.53	0.96	0.36	1.55	0.77	0.43
对照站点	1.58	0.68	0.45	0.86	0.86	0.59	0.87	0.55	0.69	1.50	0.95	0.38

### 5.3.2 均匀度

对照区站点与入侵区均匀度指数分别是 0.68 和 0.65，无显著性差异。入侵区站点均匀度以 8 月份最高，为 0.96；10 月份次之，为 0.77；5 月份最低，为 0.18。对照区站点则以 10 月份最高，为 0.95；5 月份和 8 月份分别为 0.86 和 0.55。



### 5.3.3 优势度

对照区站点与入侵区均匀度指数均为 0.45，无显著性差异。入侵区站点优势度以 5 月份最高，为 0.95；10 月份次之，为 0.43；8 月份最低，为 0.36。对照区站点则以 8 月份最高，为 0.69；5 月份为 0.59，10 月份最低，为 0.38。

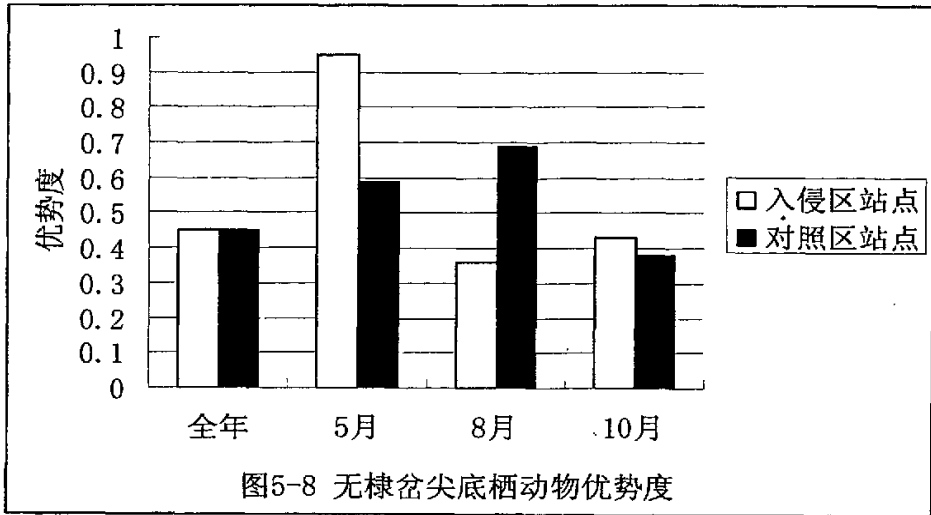


图5-8 无棣岔尖底栖动物优势度

### 5.3.4 多样性指数分析

无棣岔尖样区底栖动物多样性指数、均匀度和优势度在入侵区站点与对照区站点之间，无明显差异。底栖动物多样性指数以10月份最高，均匀度亦最高，而优势度最低，底栖动物种类最多，种类组成最复杂。5月份多样性指数最低，均匀度亦最低，而优势度最高，底栖动物种类较少，种类组成较简单，个体分布也不如其他月份均匀。

将无棣岔尖样区底栖动物多样性指数与均匀度、优势度作相关分析，结果表明：入侵区多样性指数与均匀度相关系数  $r=0.9285$ ，对照区  $r=0.2940$ ，表明大型底栖动物多样性指数与均匀度呈显著的正相关。入侵区多样性指数与优势度相关系数  $r=-0.9908$ ，对照区  $r=-0.6636$ ，表明大型底栖动物多样性指数与优势度呈显著的负相关。

## 第六章 讨论与结论

### 6.1 讨论

#### 6.1.1 米草入侵对大型底栖无脊椎动物群落组成的影响

在黄河三角洲调查区,共采到大型底栖无脊椎动物 21 种,分别隶属于 4 门 5 纲 9 目 15 科。软体动物、节肢动物分别居底栖动物种类总数的第一、二位。东营海星贝类养殖场样区主要是互花米草入侵,共采到大型底栖无脊椎动物 18 种,其中入侵区和对照区各 11 种和 14 种;入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲和多毛纲,相对多度分别是 79.0%和 13.5%。底栖动物优势种是珠带拟蟹守螺,相对多度为 70.0%。小清河口样区主要是大米草入侵,共采到大型底栖无脊椎动物 7 种,其中入侵区和对照区各 4 种和 7 种;入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲,相对多度 98.5%;底栖动物优势种是拟沼螺,相对多度高达 98.5%。无棣岔尖样区主要是大米草入侵,共采到大型底栖无脊椎动物 5 种,其中入侵区和对照区均是 5 种,种类完全相同;入侵区大型底栖无脊椎动物优势类群是腹足纲和甲壳纲,相对多度分别是 81.7%和 16.2%;底栖动物优势种是托氏鲎螺、拟沼螺和天津厚蟹,相对多度分别是 62.8%、18.8%和 14.1%。

由此可见,3 个样区入侵米草种类不同,大型底栖无脊椎动物的群落组成和优势种存在差异。东营海星贝类养殖场样区以腹足纲和多毛纲种类最多,腹足纲个体数量最多;小清河口样区以腹足纲种类和个体数量最多,占绝对优势;无棣岔尖样区以腹足纲和甲壳纲种类最多,腹足纲数量最多,占绝对优势。东营海星贝类养殖场是互花米草入侵区,水质主要受到石油类污染,有机质含量低,底质中钾、铜含量较高,互花米草长势良好,根深叶茂,覆盖度很高,形成了单一群落。小清河口大米草入侵区,水质污染最重,以石油类、硫化物、磷酸盐和 COD 污染为主,溶解氧不符合要求,尤其是磷酸盐浓度极高,底质松软,污染较严重,受到总镉、总铅、总铬、总砷、总汞、挥发酚和硫化物等污染。严重的污染是造成底栖动物种类较少的原因。无棣岔尖是大米草入侵区,水质受到了硫化物和磷酸盐的污染,有机质含量很高,大米草长势很弱,零星分布,覆盖度很低。无棣岔尖样区和小清河口样区的共有种最少,相似性指数最高;东营海星贝类养殖场样区和小清河口样区的共有种最多,相似性指数居中;东营海星贝类养殖场样区



和无棣岔尖样区的共有种居中，相似性指数最低。

东营海星贝类养殖场入侵区站点与对照区站点大型底栖无脊椎动物群落组成存在显著差异， $P_s=0.09$ ，相似性指数极低，群落间大型底栖动物的种类组成与优势种相对多度都存在显著性差异，说明米草入侵后，改变了入侵区潮间带环境，影响了入侵区内底栖动物的种类分布，引起入侵区底栖动物种类减少。小清河口米草入侵区和对照区共有种类 4 种，种类相似性指数较高，但  $P_s$  仅为 0.04，说明米草入侵后，虽然没有显著改变入侵区域大型底栖动物的种类组成，但动物群落中优势种发生了极显著变化，可能与小清河口大米草零星分布，群落面积较小有关。无棣岔尖米草入侵区和对照区底栖动物种类组成完全相同， $P_s=0.41$ ，现场观察，大米草生长的潮间带紧邻无棣岔尖渔港，人为干扰严重，大米草长势极弱，零星分散，没有形成大的群落。说明大米草的生长尚没有对大型底栖动物的种类组成造成影响。

入侵植物进入荒盐滩后，可能引起与大型底栖无脊椎动物生存密切相关的一些因素的改变，最终导致大型底栖无脊椎动物群落的结构发生改变<sup>[41]</sup>。黄河三角洲潮间带米草入侵后，由于 3 个样区米草种类和入侵时间不同，各样区水质、底质理化性质存在差异，米草长势和米草群落差异显著，造成 3 个米草入侵区潮间带动物的生境相差较大，可能是大型底栖无脊椎动物群落结构存在差异的主要原因。

### 6.1.2 米草入侵对大型底栖无脊椎动物空间分布的影响

米草入侵对黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物的密度和生物量分布有一定影响。3 个样区大型底栖无脊椎动物的年平均密度呈现不同分布特点，东营海星贝类养殖场入侵区与对照区分别为 178 个/ $m^2$  和 456 个/ $m^2$ ，入侵区明显低于对照区；小清河口米草入侵区和对照区分别为 272.7 个/ $m^2$  和 47.3 个/ $m^2$ ，无棣岔尖米草入侵区与对照区分别为 63.7 个/ $m^2$  和 29.3 个/ $m^2$ ，入侵区明显高于对照区。生物量的分布与密度分布有一定的相关性。东营海星贝类养殖场大型底栖无脊椎动物的生物量亦是入侵区明显低于对照区，小清河口和无棣岔尖则入侵区明显高于对照区，与密度分布基本一致。大型底栖无脊椎动物群落密度与生物量的分布与优势种的密度与生物量的分布密切相关，东营海星贝类养殖场入侵区优势种珠带拟蟹守螺在 1 号站点栖息密度最高，达 326 个/ $m^2$ ，生物量亦最高，年生物量

达  $138.8\text{g/m}^2$ ；对照区优势种焦河篮蛤栖息密度最高，达  $344\text{个/m}^2$ ，年生物量也最高，为  $55.7\text{g/m}^2$ 。

### 6.1.3 米草入侵对大型底栖无脊椎动物季节分布的影响

黄河三角洲调查区大型底栖无脊椎动物的群落组成和优势种有明显的季节变化，纽形动物仅出现在 5 月份，软体动物、节肢动物所占比例逐月不同。入侵区和对照区的优势类群与优势种也存在季节变化，采样季节对优势类群的相对多度具有显著影响，对优势种的相对多度有一定影响，一些稀有种只出现在一个季节中。群落密度和生物量的季节变化与优势种密度和生物量的季节变化密不可分，小清河口米草入侵区优势种拟沼螺在 10 月份密度和生物量最大，分别是  $522\text{个/m}^2$  和  $53.2\text{g/m}^2$ ，入侵区的密度和生物量亦是 10 月份最高。这个结果是否与大米草的生长规律有关，有待进一步研究。

### 6.1.4 米草入侵对大型底栖无脊椎动物多样性的影响

米草入侵黄河三角洲潮间带后，底泥中细粉沙含量、土壤颗粒粒径、有机质含量、盐度没有发生显著性的变化，东营海星贝类养殖场互花米草入侵区大型底栖无脊椎动物的密度和群落的优势种类发生了显著性变化，但大型底栖无脊椎动物的香农-威纳指数和均匀度与对照区之间无显著性差异，说明互花米草入侵光滩后没有显著改变大型底栖无脊椎动物的多样性。这与陈中义对互花米草入侵东滩盐沼后对大型底栖无脊椎动物群落影响的研究结果不同<sup>[41]</sup>。小清河口大米草入侵区大型底栖动物的香农-威纳指数、均匀度和优势度与对照区之间具有极显著差异，米草入侵区大型底栖动物群落香农-威纳指数极低（仅为 0.13），说明大米草入侵光滩后，显著降低了大型底栖无脊椎动物的多样性。无棣岔尖样区底栖动物多样性指数、均匀度和优势度在入侵区站点与对照区站点之间，无显著性差异，可能是大米草长势弱，矮化退化现象严重，群落面积太小，尚不能对底栖动物的种类数量、种类组成形成影响。

## 6.2 结论

6.2.1 黄河三角洲米草入侵区与对照区相隔距离不足 50m，处于相同的水质与底质环境。尽管三个样区的水质、底质理化因子不同，污染程度不同，但同一样区内的水质、底质污染尚未对大型底栖无脊椎动物群落结构和多样性造成影

响。

**6.2.2** 黄河三角洲三个样区的米草入侵历史长短不同、入侵面积大小不等，对大型底栖无脊椎动物的影响也不同。以东营海星贝类养殖场样区与小清河口样区米草入侵的影响最为显著。

**6.2.3** 互花米草与大米草入侵黄河三角洲后表现出不同的生态特性，大米草出现矮化退化现象，而互花米草入侵性强，对大型底栖无脊椎动物的影响较为明显。

## 参考文献

- [1] World Conservation Monitoring Centre. Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resource. Chapman & Hall, London, 1992.
- [2] 杨秀娟, 张树苗. 生物入侵对生物多样性的影响[J]. 林业调查规划, 2005 30(1):36~38.
- [3] 唐廷贵, 张万均. 论中国海岸带大米草生态工程效益与“生态入侵”[J]. 中国工程科学, 2003, 5(3):15-20
- [4] Curutt JL, Host-area specific-climatching: similarity breeds exotics, Biological Conservation, 2000, 94:341.
- [5] 陈中义, 李博, 陈家宽. 米草属植物入侵的生态后果及管理对策[J]. 生物多样性, 2004, 12(2):280-289.
- [6] 贺士元, 王金维, 汪劲武, 等. 河北植物志·三卷[M]. 1991, 343
- [7] 仲崇信. 海岛环境与海岸开发[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993.
- [8] 张敏, 厉仁安, 陆宏. 大米草对我国海涂生态环境的影响[J]. 浙江林业科技. 2003, 23(3):86-89.
- [9] 高尚士. 大米草——海滩上的功勋草[J]. 盐碱地利用. 1991(2):20-21.
- [10] 赵大昌, 刘勋, 陈树培, 等. 中国海岸带植被[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 214~221
- [11] 朱晓佳, 钦佩. 外来种互花米草及米草生态工程[J]. 海洋科学 2003, 27(12):14~19.
- [12] 钦佩, 仲崇信. 米草的应用研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [13] 孙炳寅, 经美德. 废黄河口盐沼土硫酸盐还原速率的研究[J]. 应用生态学报, 1990, 1(3):245-253.
- [14] 陈才俊. 江苏滩涂大米草促淤护岸效果[J]. 海洋学报, 1993, 13(2):55-60.
- [15] 漆国先, 许德芝, 钟晓. 大米草对污水中 N、P 净化效果的研究[J]. 贵州环保科技, 1999, 5(1):44-48.
- [16] 许德芝. 大米草净化生活污水的研究[J]. 贵州大学学报, 2000, 21(2):121-125.
- [17] 庄树宏, 王克明, 曲复宁. 三种生态型大米草在逆境条件下同工酶表达的差异[J]. 烟台大学学报, 1998, 11(3):185-189.
- [18] 宁海县长街区农技站, 镇海县大矸区农技站, 宁波地区农科所, 等. 海涂种植

- 大米草对改良土壤加速涂地垦种高产的效果[J]. 海涂围垦科技资料, 1997 (1) :85- 88.
- [19]程辉, 齐国祥. 大力开发利用大米草资源[J]. 饲料研究, 1995 (6) :20 - 20.
- [20]高志强. 福建滨海滩地大米草资源开发利用问题[J]. 福建农业大学学报, 1996, 25 (1) :72-77.
- [21]陈锡鹏, 吴洁, 张登辉. 大米草促淤保滩和培肥利用[J]. 浙江农业科学, 1980 (1) :21
- [22]陈卫东, 彭子成. 治理黄河三角洲海岸蚀退的生物措施——米草生态防护工程[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(3) :45 48
- [23]仲崇信. 采用米草生态工程开发黄河三角洲[A]. 盐碱地造林绿化研讨会. 盐碱地造林绿化与综合开发文集[C]. 北京:中国环境科学出版社, 1992. 107~108
- [24]赵清良, 赵强. 大米草对双齿围沙蚕生境中土壤的改良作用的研究[J]. 生态学杂志, 1997, 16 (2): 28-30.
- [25]宋连清. 互花米草及其对海岸的防护作用[J]. 东海海洋, 1997, 15(1):11-19.
- [26]李博. 从上海外来杂草区系剖析植物入侵的一般特征[J]. 生物多样性, 2001, 9 (4): 446-457.
- [27]商明清, 常兆芝. 山东省大米草发生现状[J]. 植物检疫, 2004, 6: 342-344.
- [28]杨建花, 高小芹. 敲响生物入侵警钟保护河口滩涂贝类资源——关于遏制大米草蔓延, 保护滩涂贝类资源的建议[J]. 中国水产, 2003, 8:29-30.
- [29]刘建康. 高级水生生物学[]:北京:科学出版社 1981.
- [30]孙儒泳. 动物生态学原理(第三版)[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2001
- [31]赵清良, 赵强, 徐家铸. 启东双齿围沙蚕生物量变化规律的研究[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 1993, 16 (1) :55 - 60.
- [32]蒋福兴, 黄耀生. 大米草——双齿围沙蚕相关性初探[J]. 生态学报, 1992, 12 (1) :84 - 88.
- [33]Luiting, V. T., Cordell, J. R., Olson, A. M. and Charles, A. S. 1997. Does exotic *Spartina alterniflora* change benthic invertebrate assemblages? In: Pattern, K. (ed), *proceeding of the second International Spartina Conference*. Washington State University, Olympia, 48-50.

- [34]田家怡,贾文泽,等.黄河三角洲生物多样性研究[M].青岛:青岛出版社,1999.
- [35]陈中义,付萃长,王海毅,等.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[J].湿地科学.2005, 3(1):1-7.
- [36] 龚志军,谢平,阎云君.底栖动物次级生产力研究的理论与方法[J].湖泊科学,2001, 13(1):79-88.
- [37]国家质量技术监督局.近海污染生态调查和生物监测[S].GB17378.7—1998.
- [38]鹿东华,田贵全,王德明.山东小清河干流底泥污染评价[J].环境保护,2003, 1:37-40.
- [39]佟光玉,赵书泉,张淑芹,等.山东小清河河床底质对污染物迁移影响浅析[J].成果与方法,2004, 20(2):52-54.
- [40]蔡建安,张文艺.环境质量评价与系统分析[M].合肥:合肥工业大学出版社,2003.
- [41]陈中义,付萃长,王海毅,等.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[J].湿地科学,2005, 3(1):1-7.

## 致 谢

首先要感谢我的导师付荣恕教授。付先生治学严谨，待人宽厚，对学生充满关怀，信任学生，并尊重学生的意见和建议，热衷和学生进行探讨，在论文的选题、样品的采集以及资料的收集、数据处理方面给予我指导性建议，这使得这项研究的设计得以不断完善并付诸实施。从最初的选题设计，到后来对文稿字斟句酌的修改，无不渗透了傅先生的心血。

感谢滨州学院科研处田家怡研究员，不仅为我提供了大量的文献资料，并在论文完成过程中提出了很多建议，对我的论文进行了详细而认真的评阅。田先生与我共同参与野外工作，并传授野外工作的经验，使得我的野外工作水平不断提高。那些在东营、滨州野外工作的日子，将永远铭记在我的记忆中。

感谢滨州学院姚志刚教授、中国科学院海洋研究所的邹景忠教授，他们分别在生物统计学和底栖动物分类学上给了我很大的帮助，他们对科学的不倦追求，严肃认真的态度让我感动。在此，对他们表示衷心的感谢。感谢东营市海洋监测站张士华站长在水质、底质化验分析上提供的支持和帮助。

本文是 2005 年山东省环境保护科技计划项目《黄河三角洲地区米草生态调查与防治关键字技术研究》的子课题，感谢山东省环保局对本文提供的资助。感谢课题组的石东里副教授、李建庆博士以及刘庆年、阎永利、于祥等同志在野外工作中给与我的帮助。感谢南京大学钦佩教授、刘长安博士后在米草种类鉴定和野外考察中给与的帮助。他们渊博的学识、严谨认真的工作态度，是我学习的榜样。对他们给与的支持与帮助，表示衷心的感谢。

最后，还要感谢家人和亲友们对我的理解，以及在物质和精神上给予我的全力支持。他们是我学术道路上的一个重要动力来源。

申保忠

2006 年于滨州学院

**发表的科研成果：**

1. 黄河三角洲水质污染对淡水底栖动物多样性的影响 滨州学院学报 2005.12
2. 动物学实验教程 科学出版社 2004.10
3. 动物学野外实习教程 科学出版社 2005.06