

胶州湾盐沼湿地植被、大型底栖动物群落与 环境要素生态特征研究*

刘欣禹^{1,2,3}, 徐子钧^{1,2,3}, 魏计房^{1,2,3}, 赵玉慧^{1,2,3}, 于庆云^{1,2,3},
沙婧婧^{1,2,3}, 周瑞佳^{1,2,3}, 杜小媛^{1,2,3}, 齐衍萍^{1,2,3**}

(1. 国家海洋局北海环境监测中心, 山东 青岛 266033; 2. 自然资源部渤海生态预警与保护修复重点实验室, 山东 青岛 266033;
3. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266033)

摘要: 为了解胶州湾湿地不同盐沼植被分布区内大型底栖动物的生态特征,探究植被群落与土壤环境要素的关系,本研究针对夏季胶州湾湿地植被、大型底栖动物以及土壤环境要素的进行了调查。胶州湾湿地主要植被类型为芦苇、盐地碱蓬、互花米草和小米草,各植被呈带状分布,芦苇分布于高潮带,盐地碱蓬、互花米草和小米草分布于中潮带。不同植被分布区的表层土壤中值粒径相近,土壤 pH 呈现中性或弱碱性特征,各植被分布区的表层土壤全盐含量呈极显著差异($P < 0.01$),小米草分布区平均全盐含量($23.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)与互花米草分布区平均全盐含量($12.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)均显著高于盐地碱蓬分布区平均全盐含量($8.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和芦苇分布区平均全盐含量($6.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。大型底栖动物的主要类群为节肢动物和环节动物,但是不同分布区内其功能群有所不同:芦苇与盐地碱蓬分布区优势功能群均为植食性大型底栖动物,丰度占比分别为 97.78%和 63.33%;互花米草分布区的大型底栖动物中,肉食性的和杂食性的分别占比为 37.68%和 31.16%;小米草分布区的大型底栖动物中杂食性的占比为 50.00%;米草分布区的大型底栖动物以肉食性的和杂食性的功能群为主,米草入侵改变了胶州湾湿地大型底栖动物的功能群组成与分布。典范对应分析(CCA)结果表明,全盐含量对胶州湾盐沼植被的群落结构影响较大。综合分析发现,胶州湾盐沼植被能够影响大型底栖动物功能群结构,表层土壤全盐含量是植被群落结构的主要环境驱动因子。

关键词: 盐沼湿地;大型底栖动物;功能群;环境要素;全盐含量;胶州湾湿地

中图法分类号: Q145+.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2023)12-050-11

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20220093

引用格式: 刘欣禹,徐子钧,魏计房,等. 胶州湾盐沼湿地植被、大型底栖动物群落与环境要素生态特征研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2023, 53(12): 50-60.

Liu Xinyu, Xu Zijun, Wei Jifang, et al. Ecological characteristics of wetland vegetation, macrobenthos community and environmental factors in salt marsh wetland of Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2023, 53(12): 50-60.

盐沼一般是指生长在海岸带或河口附近且受周期性潮水或咸淡水淹没的植被,是全球范围内生产力较高的生物群落之一,还是推动湿地生态系统物质循环和能量流动的基础要素^[1]。大量研究表明,盐沼植被对于海湾河口生态系统中的其他成分具有重要的作用^[2],盐沼植被为湿地的消费者提供食物来源并对生物地化循环的重要成分进行调节^[3],还具有净化海水、改良土壤和防风抗浪等作用^[4]。大型底栖动物作为盐沼湿地生态结构的重要组成部分,处于食物链中间环节,对区域生态系统的物质循环和能量流动都起关键性作用^[5-6],盐沼植被底栖动物提供了大量生活空间,同时也影响了底栖动物群落的组成和结构^[2,5,7]。

受到海陆交替作用,盐沼湿地的植被动态变化活跃^[8],有研究认为高程较高是导致盐沼植物在较大尺度上呈带状分布的综合因素^[9],但是在高程相近的潮滩,植被空间分布格局首先取决于生境内环境因子,盐沼植被的成带分布主要是由淹水周期和盐度环境的影响^[8-11]。然而,全球盐沼湿地面临着外来物种入侵的挑战^[7,12],基于消减波浪、改良土壤和改善海滩生态环境等目的,中国自 1963 年陆续引进互花米草、小米草^[12],但是由于米草属破坏近海生物栖息地、阻塞航道、威胁本地海岸生态系统^[13-14],故在 2003 年被列为入侵种^[14]。同时,由于各地沿海地区的经济高速发展,导致了大量盐沼湿地被利用开发,盐沼湿地生态系统结构

* 基金项目:联合国开发计划署-全球环境基金项目(YSLME II)资助

Supported by the United Nations Development Programme-Global Environment Facility(YSLME II)

收稿日期:2022-02-18;修订日期:2022-04-16

作者简介:刘欣禹(1988—),女,讲师,主要研究方向为海洋生态学。E-mail: liuliu_xinyu@163.com

** 通信作者: E-mail: qianping@ncs. mnr. gov. cn

不断退化^[15], 湿地面积缩小, 生物多样性减少, 生物群落或系统结构的改变等^[16], 湿地退化已成为中国突出的生态环境问题^[15]。

胶州湾湿地位于山东半岛南岸, 湿地面积约为 43 800 hm², 主要分布在胶州湾的北部和西北部沿岸^[17], 湿地植被的建群种包括河口和三角洲湿地的芦苇、咸水沼泽的碱蓬及微咸水沼泽的大米草等^[17-18]。胶州湾湿地大型底栖动物种类自 1980 年以来以温带种和广温广布种为主^[19], 以往研究大部分集中在胶州湾大型底栖动物群落的种类组成及时空分布特征^[20-21]。胶州湾的互花米草在 1989 年的生长覆盖面积达 7.82 hm², 且自 2013 年以来增长迅速, 2019 年其面积已增加到 515.29 hm², 并占山东省互花米草面积的 8.01%^[22]。互花米草在胶州湾内扩张迅速, 会对被入侵地的自然环境、生物多样性、生态系统带来一系列影响^[14]。近 50 年来, 胶州湾海岸带分布的自然湿地面积显著减小, 生物多样性水平下降^[22], 然而, 以往胶州湾湿地主要针对湿地面积^[17, 23]、植被类型及生态特征^[18]、大型底栖动物分类^[20-21], 胶州湾湿地生境及互花米草入侵的研究主要集中在土壤碳、氮和硫等土壤理化特性的研究^[24], 缺乏针对胶州湾湿地的综合调查分析。因此在胶州湾湿地开展盐沼植被、大型底栖动物、土壤环境要素的现状调查, 旨在探究胶州湾盐沼湿地中植被群落对大型底栖动物的影响以及群落植被同土壤环境要素之间的关系, 为今后胶州湾盐沼湿地植被的保护修复工作提供重要的参考资料。

1 材料与方 法

1.1 研究区域及 站 位 设 置

调查站位与时间: 2020 年 8 月和 2021 年 8 月对胶州湾北部洋河口、大沽河口和墨水河口进行监测, 共布设 15 个站位, 调查湿地植被、大型底栖动物和土壤环境要素。站位设置见图 1(由 ArcGIS10.6 软件绘图), 站位详细信息见表 1。

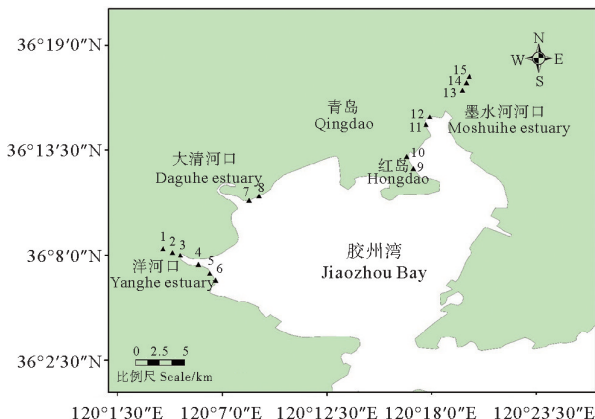


图 1 胶州湾盐沼湿地调查站位示意图

Fig. 1 Survey map of salt marsh wetland in Jiaozhou Bay

表 1 胶州湾盐沼湿地调查站位信息
Table 1 Survey site information of salt marsh wetland in Jiaozhou Bay

站号 Site	经度 Longitude/°E	纬度 Latitude/°N	区域 Area
1	120.064 8	36.139 13	洋河口
2	120.073 1	36.135 71	洋河口
3	120.080 0	36.133 42	洋河口
4	120.095 9	36.125 37	洋河口
5	120.105 6	36.117 63	洋河口
6	120.110 8	36.111 58	洋河口
7	120.140 1	36.181 44	大沽河口
8	120.149 0	36.185 18	大沽河口
9	120.284 1	36.209 08	红岛
10	120.278 0	36.219 69	红岛
11	120.295 0	36.247 65	墨水河口
12	120.298 5	36.254 35	墨水河口
13	120.327 0	36.277 37	墨水河口
14	120.330 3	36.284 23	墨水河口
15	120.332 9	36.289 54	墨水河口

1.2 样品采集、处理和 环境因子的测定

湿地植被调查: 各站设置 10 m×10 m 的样方一个, 每个样方布设 3 个 0.5 m×0.5 m 样格, 记录样格中植物种类、株高(株高测量 3 次, 计算株高平均值)及植被密度。

大型底栖动物调查: 使用 0.25 m×0.25 m×0.30 m 取样框, 每站取样 4 次, 采集的样品置入 0.5 mm 筛网进行淘洗, 所得大型底栖动物样品用 5% 的福尔马林溶液固定, 带回实验室对种类进行鉴定、计数和湿重生物量称量。

土壤要素调查包括粒度、pH、全盐含量和总有机碳。在植物样格内使用 100 cm³ 的土壤环刀, 取 0~10 cm 的表层土壤。使用激光粒度法测粒度; 先将土壤过筛(2 mm)并加入无二氧化碳蒸馏水制备实验溶液, 再使用酸度计测定土壤溶液 pH, 并使用重量法测定土壤水溶性盐总量以作用全盐含量; 使用重铬酸钾氧化-还原容量法测总有机碳。

高程: 使用 GPS-RTK 测量各站高程, 并采用大地高高程系统将数据对应黄海零点进行控制点转化。

1.3 数据分析

1.3.1 优势种计算 采用 Pinkas(1971 年)提出的相对重要性指数(IRI)来衡量大型底栖动物的优势度^[25]。计算公式为:

$$I_{RI} = (N+W)F. \quad (1)$$

式中： N 为某种类个体数占总个体数的百分比； W 为某种类质量占总质量的百分比； F 为某一种类出现的站次数占调查总站次数的百分比。将 I_{RI} 值大于 1 000 者为优势种，100~1 000 者为常见种^[26]。

1.3.2 环境要素相关分析 土壤要素分析使用 SPSS18.0 软件的单因素方差分析(One-Way ANOVA)^[5]。采用 Canoco 5.0 软件对湿地植被密度和环境因子进行典范对应分析(CCA)^[27]，物种矩阵经 $\log(x+1)$ 转换^[28]。采用 SPSS18.0 软件进行 Pearson 相关性分析，以研究各功能群大型底栖动物的丰度、生

物量与环境变量的关系。

2 结果

2.1 湿地植被与环境要素调查结果

现场调查发现胶州湾盐沼植被主要包括互花米草(*Spartina alterniflora*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、芦苇(*Phragmites australis*)、大米草(*Spartina anglica*) 4 种。如表 2 所示，盐地碱蓬平均密度最高，其次为大米草，第三位为芦苇，互花米草平均密度最低；芦苇平均株高最高，其次为互花米草，大米草第三，盐地碱蓬平均株高最低。

表 2 胶州湾盐沼植被株高和密度

Table 2 Statistical of growth status of salt marsh vegetation in Jiaozhou Bay

植被类型 Vegetation	站位 Station	调查时间 Survey time			
		2020 年 8 月 Aug. 2020		2021 年 8 月 Aug. 2021	
		平均株高 Average plant height/m	平均密度 Average density /(ind · m ⁻²)	平均株高 Average plant height/m	平均密度 Average density /(ind · m ⁻²)
互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	9	1.5	90	1.6	95
	10	1.7	105	1.8	223
	11	1.7	159	1.5	167
	13	1.8	160	1.7	112
	4	1.6	93	2.1	144
	5	1.2	158	1.5	167
	6	1.5	129	1.9	109
总平均值 Overall mean		1.57	127.7	1.73	145.3
盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	12	0.2	170	0.4	453
	1	0.3	1 170	0.3	1 673
	2	0.4	626	0.3	1 149
	3	0.3	1 300	0.3	1 150
总平均值 Overall mean		0.30	816.50	0.32	1 106.25
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	14	2.1	164	2.4	233
	15	2.2	156	2.8	228
	总平均值 Overall mean		2.15	160.0	2.60
大米草 <i>Spartina anglica</i>	7	0.3	693	0.2	871
	8	0.4	714	0.2	883
	总平均值 Overall mean		0.35	703.5	0.20

胶州湾盐沼湿地各植被分布区的高程、表层土壤各项指标如表 3 所示，芦苇主要分布在滩涂上游河口，处于高潮带，平均高程最高(2.20 m)；盐地碱蓬分布在滩涂中潮带，平均高程为 1.90 m；大米草分布在中潮

带，平均高程为 1.80 m；互花米草分布在中潮带，平均高程 1.73 m，但高程范围最大。依据高程结果，胶州湾湿地植被群落各种群明显呈带状分布，且植被带的高程情况从低到高分别为互花米草、大米草、盐地碱蓬及芦苇。

胶州湾盐沼湿地分布区域土壤类型为粉砂, 各植被分布区内土壤平均中值粒径相近, 互花米草分布区平均中值粒径变化范围最大, 大米草分布区的平均中值粒径最高。所有植被的表层土壤 pH 全部高于 7.67, 总体呈现出中性或弱碱性特征, 盐地碱蓬的平均土壤 pH 最高, 其次为互花米草, 第三为大米草, 芦苇最

低; 芦苇区的有机碳平均含量最高, 盐地碱蓬区有机碳平均含量最低。

各植被分布带间的土壤全盐含量存在极显著的差异 ($P < 0.01$), 大米草区的土壤全盐含量最高; 互花米草区的土壤全盐含量第二, 且变化范围最广; 盐地碱蓬第三, 芦苇区的全盐含量最低。

表 3 不同植被分布区各环境因子值

Table 3 Characteristics of environmental factors of salt marsh wetland in different vegetation areas

环境因子 Environmental factors	互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	大米草 <i>Spartina anglica</i>	P 值 P value
高程 Height/m	1.73±0.51	1.90±0.42	2.20±0.04	1.80±0.02	0.572
中值粒径 Median particle diameter/mm	0.024 0±0.018 0	0.025 0±0.013 0	0.021 0±0.000 1	0.010 0±0.000 1	0.402
pH	8.11±0.24	8.31±0.04	7.67±0.02	7.87±0.01	0.344
全盐含量 Salinity/(g · kg ⁻¹)	12.54±5.67	8.08±2.00	6.04±0.10	23.25±0.12	0.001
有机碳 Total organic carbon/%	0.58±0.20	0.55±0.27	1.17±0.04	1.08±0.08	0.056

2.2 大型底栖动物群落特征

不同植被带大型底栖动物种类差异较大, 互花米草分布区所采集到的大型底栖动物种类最多, 共计 17 种; 盐地碱蓬分布区的大型底栖动物种类数次之, 共 8 种; 大米草分布区的大型底栖动物种类数排第三, 共 4 种; 芦苇分布区大型底栖动物种类最少, 仅 2 种。

不同植被分布区大型底栖动物优势种不同(见表 4), 互花米草分布区优势种为秉氏泥蟹、日本大眼蟹、天津厚蟹及双齿围沙蚕; 盐地碱蓬分布区优势种为日

本大眼蟹、双齿围沙蚕、弧边招潮蟹、泥虾属、丝异须虫; 大米草分布区优势种为秉氏泥蟹、泥虾属、日本大眼蟹及双齿围沙蚕; 芦苇分布区优势种为秉氏泥蟹。在丰度、生物量方面最占优势的大型底栖动物类群为节肢动物和环节动物。不同分布区间大型底栖动物丰度由高到低分别为: 芦苇分布区 > 大米草分布区 > 互花米草分布区 > 盐地碱蓬分布区(见表 5); 生物量变化趋势不同于丰度, 由高到低分别为: 互花米草分布区 > 大米草区 > 盐地碱蓬区 > 芦苇分布区(见表 5)。

表 4 胶州湾不同植被分布区内大型底栖动物相对重要性指数及功能群

Table 4 The IRI and functional groups of macrobenthos in different vegetation habitats of Jiaozhou Bay

种类 Species	功能群 Function group	重要性指标 IRI				总合 Total
		互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	大米草 <i>Spartina anglica</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	
双齿围沙蚕 <i>Perinereis aibuhitensis</i>	C	3 954.19	2 048.30	3 802.72	0.00	2 949.91
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	D	120.71	1 134.96	0.00	251.46	172.77
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	C	12.53	730.97	0.00	0.00	36.95
短吻铲荚蛭 <i>Listriolobus brevirostris</i>	D	38.45	0.00	0.00	0.00	16.90
橄榄蚶 <i>Estellarca olivacea</i>	Pl	227.72	0.00	0.00	0.00	92.61
灰双齿蛤 <i>Felaniella usta</i>	Pl	62.76	0.00	0.00	0.00	22.62
秉氏泥蟹 <i>Ilyoplax pingi</i>	Ph	1 126.78	0.00	7 750.70	19 748.54	2 711.22
刺螯鼓虾 <i>Alpheus hoplocheles</i>	C	12.79	0.00	0.00	0.00	4.64

续表 4

种类 Species	功能群 Function group	重要性指标 IRI				总合 Total
		互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	大米草 <i>Spartina anglica</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	
豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	O	13.19	0.00	0.00	0.00	4.83
弧边招潮蟹 <i>Uca arcuata</i>	Ph	383.62	1 977.24	0.00	0.00	383.78
隆线拟闭口蟹 <i>Paracleistostoma cristatum</i>	Ph	13.86	0.00	0.00	0.00	5.15
泥虾属 <i>Laomedea</i> sp.	—	14.13	1 325.78	2 876.44	0.00	173.93
日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	O	6 776.21	8 885.91	5 570.13	0.00	5 606.30
绒螯近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>	C	30.57	0.00	0.00	0.00	13.14
天津厚蟹 <i>Helice tientsinensis</i>	O	1 322.88	0.00	0.00	0.00	605.76
纽虫 <i>Nemertea</i>	C	222.85	286.72	0.00	0.00	125.87
弹涂鱼 <i>Periophthalmus modestus</i>	O	12.93	307.59	0.00	0.00	19.19

注:C:肉食者;D:碎屑食者^[29-30];Pl:浮游生物食者;Ph:植食者;O:杂食者。C: Carnivorous;D: Detritivorous^[29-30];Pl: Planktophagous;Ph: Phytophagous;O: Omnivorous.

表 5 各植被分布区大型底栖动物各类群丰度和生物量

Table 5 Abundance and biomass of macrobenthos in different vegetation habitats

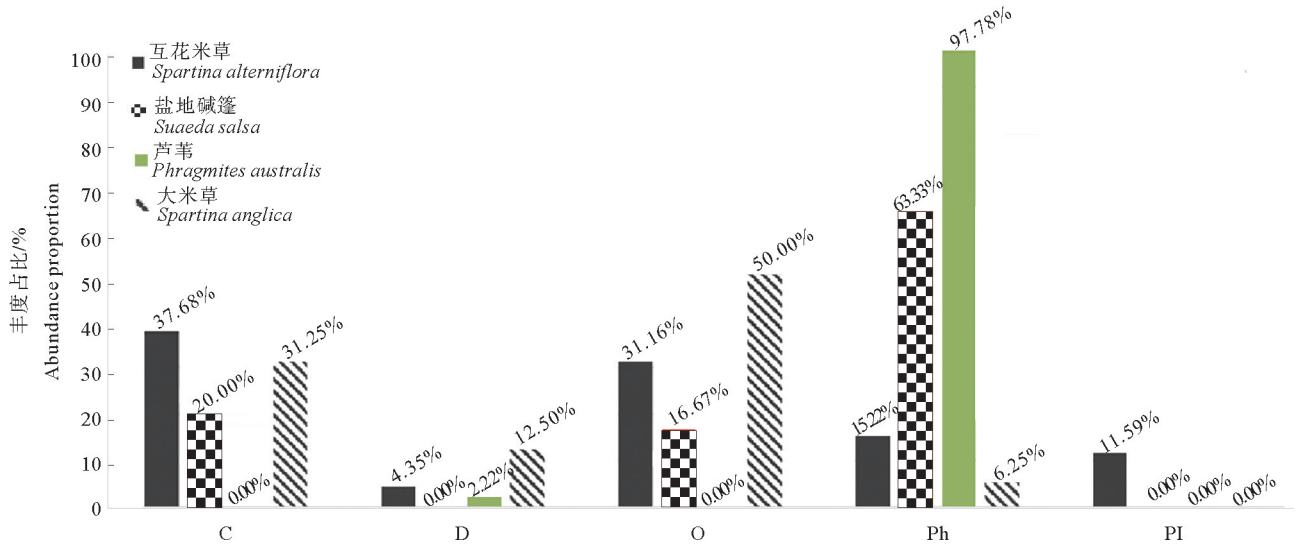
门类 Phylum	丰度 Abundance/(ind · m ⁻²)				生物量 Biomass/(g · m ⁻²)			
	互花米草 ^①	盐地碱蓬 ^②	芦苇 ^③	大米草 ^④	互花米草 ^①	盐地碱蓬 ^②	芦苇 ^③	大米草 ^④
环节动物门 Annelida	34.0	12.0	4.0	24.0	12.58	4.40	0.04	9.24
缢虫动物门 Echiura	0.7	0.0	0.0	0.0	1.32	0.00	0.00	0.00
软体动物门 Mollusca	10.7	0.0	0.0	0.0	4.92	0.00	0.00	0.00
节肢动物门 Arthropoda	44.0	20.0	176.0	108.0	63.88	28.88	13.64	37.32
纽形动物门 Nemertea	2.7	2.0	0.0	0.0	0.57	0.06	0.00	0.00
脊索动物门 Chordata	0.7	2.0	0.0	0.0	0.10	0.20	0.00	0.00
合计 Total	92.7	36.0	180.0	132.0	83.40	33.50	13.70	46.60

Note: ①*Spartina alterniflora*; ②*Suaeda salsa*; ③*Phragmites australis*; ④*Spartina anglica*.

通过调查发现,采集的大型底栖动物中有肉食者 5 种、碎屑食者 2 种、杂食者 4 种、植食者 3 种、浮游生物食者 2 种(见表 4)。从各植被分布区大型底栖动物功能群的丰度来看(见图 2):芦苇和盐地碱蓬这两种本土植被区内,优势功能群为植食性,芦苇植被区植食性大型底栖动物丰度高达 176.0 ind · m⁻²,占该分布区内大型底栖动物总丰度的 97.78%;盐地碱蓬植被分布区植食性大型底栖动物丰度为 76.0 ind · m⁻²,占总丰度的 63.33%;互花米草植被区内的大型底栖动物以肉食

性(占总丰度的 37.68%)和杂食性(占总丰度的 31.16%)功能群为主;大米草植被分布区内的大型底栖动物以杂食性(占总丰度的 50.00%)功能群为主,外来入侵物种米草属分布区,优势功能群为肉食性和杂食性大型底栖动物。

Pearson 统计分析表明,大型底栖动物各功能群的丰度、生物量与植被密度无显著相关性,同所处高程(H)、各土壤要素(中值粒径、pH、全盐含量及总有机碳)均不存在显著相关性,相关性结果详见表 6。



(C:肉食者;D:碎屑食者;O:杂食者;Ph:植食者;PI:浮游生物食者。C: Carnivorous; D: Detritivorous; O: Omnivorous; Ph: Phytophagous; PI: Planktophagous.)

图 2 各植物分布区内大型底栖动物功能群丰度占比

Fig. 2 Densityproportion of functional groups of macrobenthos in different vegetation areas

表 6 大型底栖动物各功能群与植被密度、环境要素相关性

Table 6 Correlation between functional groups of macrobenthos and vegetation density and environmental factors

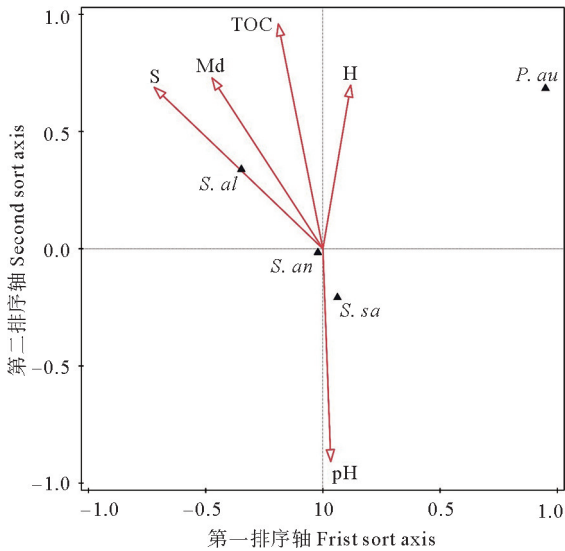
因子 Factor	功能群 Function group	植被密度 Density	高程 Height	中值粒径 Median particle diamter	pH	土壤中全盐含量 Total salt content in soil	总有机碳含量 Total organic carbon content
丰度 Abundance	C	-0.03	0.08	0.41	-0.10	0.54	0.00
	D	-0.12	0.05	-0.43	-0.17	-0.31	-0.53
	O	0.22	-0.28	-0.36	-0.05	0.07	-0.45
	Ph	0.17	0.37	0.19	-0.56	-0.07	0.66
	PI	-0.04	-0.08	-0.45	-0.20	-0.10	-0.50
生物量 Biomass	C	-0.05	0.21	0.42	0.05	0.56	0.06
	D	-0.04	-0.08	-0.46	-0.20	-0.10	-0.50
	O	-0.14	-0.21	-0.09	0.38	0.27	-0.14
	Ph	-0.07	0.09	0.07	0.17	0.02	-0.07
	PI	-0.04	-0.08	-0.45	-0.20	-0.10	-0.50

注:C:肉食者;D:碎屑食者;O:杂食者;Ph:植食者;PI:浮游生物食者。C: Carnivorous; D: Detritivorous; O: Omnivorous; Ph: Phytophagous; PI: Planktophagous.

2.3 植被群落与土壤环境因子的关系

采用第二、二排序轴绘制植物种类和土壤环境因子的 CCA 排序图(见图 3)。两排序轴的特征值分别为 0.972 和 0.933,种类同环境因子排序轴的相关系数为 0.986 和 0.966,说明排序可以较好地反映植被群落与环境因子间的关系。由 CCA 排序图可以看出,土壤全盐含量(S)与第一排序轴夹角很小,其相关系数为

-0.709,表明土壤全盐含量与第一排序轴呈现最大负相关;高程(H)与第 1 排序轴呈最大正相关,相关系数为 0.117;有机碳(TOC)与第二排序轴呈最大正相关,相关系数为 0.927;pH 与第二排序轴呈最大负相关,相关系数为 -0.877。第一排序轴明确反映了全盐含量对夏季胶州湾北部盐沼植被的群落结构具有较大的影响。



(S. al:互花米草; S. an:大米草; S. sa:盐地碱蓬; P. au:芦苇; H:高程; Md:中值粒径; S:全盐含量; TOC:有机碳含量。S. al: *Spartina alterniflora*; S. an: *Spartina anglica*; S. sa: *Suaeda salsa*; P. au: *Phragmites australis*; H: Height; Md: Median particle diameter; S: Salinity; TOC: Total organic carbon content.)

图3 植被与环境因子的CCA排序

Fig. 3 CCA ordination of vegetation and environmental factors

4 讨论

4.1 植被群落对大型底栖动物类群的影响

不同植被分布区的大型底栖动物的种类组成、丰度及功能群均有一定差异,说明植被类型的差异可能导致底栖动物组成的不同^[2,5,7]。本调查各植被分布区中节肢动物的生物量及丰度均为最高;盐地碱蓬、互花米草和大米草植被分布区内,大型底栖动物优势类群包括节肢动物与环节动物;芦苇植被分布区内,大型底栖动物优势类群为节肢动物。这说明节肢动物和环节动物是胶州湾北部盐沼区域的主要类群,这同周晓等^[32]长江口湿地大型底栖动物的研究结果相同。

本调查各植被分布区内大型底栖动物功能群呈现不同的组成特征,在芦苇和盐地碱蓬分布区内,大型底栖动物均以植食性功能群为主,丰度占比分别为97.78%和63.33%;互花米草植被分布区内,大型底栖动物以肉食性功能群(37.68%)和杂食性功能群(31.16%)为主,大米草植被分布区的大型底栖动物以杂食性(50.00%)功能群为主。有资料表明盐沼植被类型的差异直接改变了底栖动物的营养来源与食物结构^[32],同时也改变了底栖动物的生存环境^[33],最终导致了底栖动物功能群分布模式的差异^[5]。

胶州湾湿地历史资源动态调查及本次调查结果显示,胶州湾湿地有芦苇及盐生植物盐地碱蓬分布^[17-18],

长江口调查中发现芦苇分布区内主要是植食性大型底栖动物^[31],黄河三角洲沼泽调查发现大型底栖动物的丰度优势种为植食性的^[34],本次胶州湾调查结果与其他地区研究结果相近,说明芦苇和盐地碱蓬为植食性大型底栖动物提供了丰富的食物来源。

然而互花米草的入侵,改变了湿地大型底栖动物分布,同时改变底栖动物的营养类群^[35]。互花米草生长期长、根系发达、盖度大且地上和地下生物量大^[14],当其取代本地植被后,导致盐沼水文、底泥沉降和土壤理化性质等的改变^[36-37],从而影响大型底栖动物分布的差异^[37]。另外,互花米草群落是具有最高净初级生产力的群落之一^[38],其衰老的叶和秆被分解后,能够给底栖动物提供大量的碎屑食物来源,从而导致大型底栖无脊椎动物群落的营养群结构发生变化,产生的大量有机碎屑也会增加杂食性及肉食性功能群的比重^[5,36,39]。同土著植被芦苇分布区相比,杂食性功能群丰度的占比大大增加^[5],本次调查胶州湾湿地大型底栖动物的功能群特征同以往的研究结果相同^[5]。

本研究中未发现环境因子对大型底栖动物功能群存在显著影响。但以往有研究发现崇明东滩大型底栖植食性动物功能群在芦苇分布区受到总氮含量和盐度影响,而且杂食性功能群分布同氮盐含量存在相关性^[5];九段沙湿地沉积物的中值粒径、氧化还原电位和植株密度对大型底栖动物分布特征有影响^[25]。因此本研究中环境因子对大型底栖动物功能群影响不显著的原因有待进一步分析。

胶州湾不同植被分布区内大型底栖动物种类密度丰度和功能群存在差异,米草属的入侵对大型底栖动物功能群组成与分布造成一定影响。

4.2 影响植被群落的环境要素的分析

CCA第一排序轴明确反映了表层土壤的全盐含量,对2020年夏季和2021年夏季胶州湾盐沼植被的群落结构具有较大的影响,同时不同植被分布区表层土壤全盐含量差异性极显著($P < 0.01$)。胶州湾湿地米草植物分布区的表层土壤全盐含量平均值最高($14.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),大米草分布区土壤全盐含量平均值最高($23.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),互花米草分布区土壤全盐含量平均值其次($12.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),芦苇植被分布区土壤全盐含量($6.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)明显低于盐地碱蓬植被分布区($8.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。查阅崇明东滩、黄河口及辽河口典型湿地资料发现,湿地植被分布与土壤盐度有显著相关性^[8,10-11],盐度较低的区域以拒盐植物芦苇为主^[11],盐度较高的区域以盐生植物盐地碱蓬^[11,40]或者互花米草^[1,8]为优势种,本调查结果与以往规律相近,其他调查结果详见表7。上述结果说明土壤盐度影响了各植被间的分布,是盐沼植被生长过程中的重要环境因子^[1,30,32,37]。

表 7 不同地区湿地植被分布特征与盐度关系

Table 7 Relationship between distribution characteristics of wetland vegetation and salinity in different areas

区域 Area	调查年份 Survey year	植被分布特点 Vegetation distribution characteristics	参考文献 Reference
崇明东滩 Chongming east headland	2010 年	土壤盐度为光滩带 < 海三棱蔗草带 < 互花米草带; 各植被带间土壤盐分差异极显著 ($P < 0.001$)	[8]
辽河口湿地 Liaohe wetland	2014 年	盐地碱蓬群落易溶盐含量明显高于芦苇群落 ($F = 63.673, P < 0.05$)	[11]
辽河口湿地 Liaohe wetland	2014 年	潮上带以中性植物芦苇为主 (盐度 $3.33 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$), 潮间带以盐生植物盐地碱蓬为优势物种的植物群落 (盐度 $30.5 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)	[40-41]
崇明东滩南侧 Southern Chongming east headland	2015 年	海三棱蔗草 ($(2.86 \pm 0.64) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 芦苇 ($(2.12 \pm 0.57) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 互花米草 ($(3.21 \pm 0.51) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 各植物土壤盐度差异显著 ($P < 0.01$)	[1]

盐度很大程度上影响植物的生理特性, 进而影响到物种的分布^[33,42]。芦苇属于拒盐植物, 高盐度对芦苇生长具有明显抑制作用^[43], 研究发现盐度在 20 以上对于芦苇种子发芽、成株、幼苗和萌发苗生长的抑制作用显著^[14]。盐地碱蓬是典型的盐生植物, 叶片可积累大量的 Na^+ 和 Cl^- , 具有抗盐性, 但无泌盐结构, 而且高盐环境 (盐度为 30~35) 下, 植株生长受到了不同程度的抑制作用^[45]。互花米草和大米草属于米草均属植物, 具有从淡水到海水的广适盐性^[14], 研究发现盐度高于 32 时, 互花米草都能正常生长和繁殖^[32], 土壤盐度适应范围较广, 具有高耐盐性^[46], 同时互花米草也是泌盐植物^[9-47], 本研究发现, 互花米草分布区土壤全盐含量仅次于大米草, 并且变化范围最广, 说明互花米草有很宽的生态幅, 其对土壤盐度的适应能力很强^[8-9,47]。由此推测, 当胶州湾湿地土壤盐度相对增加时, 盐地碱蓬及芦苇生长受到抑制。

综上所述, 本研究认为夏季胶州湾盐沼湿地植被群落结构的驱动因子是表层土壤全盐含量。

5 结论

(1) 胶州湾植被呈带状分布, 所处高程由低到高依次为互花米草、大米草、盐地碱蓬及芦苇; 各植被分布区土壤类型均为粉砂, 呈中性或弱碱性特征, 不同植被带平均土壤全盐含量由低到高分别为: 芦苇植被分布区 ($(6.04 \pm 0.10) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) < 盐地碱蓬植被分布区 ($(8.08 \pm 2.00) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) < 米草属植被互花米草 ($(12.54 \pm 5.67) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) < 大米草 ($(23.25 \pm 0.12) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 分布区。

(2) 胶州湾湿地植被类型影响大型底栖动物的分布, 本地植被芦苇和盐地碱蓬分布区内的大型底栖动物优势功能群为植食性类群, 植食性占比分别为

97.78% 和 63.33%, 互花米草分布区以肉食性功能群和杂食性功能群为主, 大米草分布区以杂食性功能群为主, 米草属的入侵对大型底栖动物功能群组成与分布造成一定影响。

(3) 不同植被分布区表层土壤全盐含量存在极显著差异 ($P < 0.01$), 结合 CCA 分析结果推测, 表层土壤的全盐含量对夏季胶州湾盐沼植被的群落结构具有较大的影响。

参考文献:

- [1] 丁文慧, 姜俊彦, 李秀珍, 等. 崇明东滩南部盐沼植被空间分布及影响因素分析[J]. 植物生态学报, 2015, 39(7): 704-716.
Ding W H, Jiang J Y, Li X Z, et al. Spatial distribution of species and influencing factors across salt marsh in southern Chongming Dongtan[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2015, 39(7): 704-716.
- [2] 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[J]. 生态学报, 2002(3): 326-333.
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[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002(3): 326-333.
- [3] Pomeroy L R, Wiegert R G. The ecology of a salt marsh[J]. Journal of Ecology, 1984, 72(1): 361-362.
- [4] 李加林, 杨晓平, 童亿勤, 等. 互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理[J]. 海洋通报, 2005, 24(5): 33-38.
Li J L, Yang X P, Tong Y Q, et al. Influences of *Spartina alterniflora* invasion on ecosystem services of coastal wetland and its countermeasures[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(5): 33-38.
- [5] 王琰, 童春富, 汤琳, 等. 崇明东滩盐沼湿地大型底栖动物功能群分布特征及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2020, 39(3): 880-892.
Wang Y, Tong C F, Tang L, et al. Distribution characteristics and influencing factors of the benthic macroinvertebrate functional groups in the salt marshes of Chongming Dongtan[J]. Chinese

- Journal of Ecology, 2020, 39(3): 880-892.
- [6] Tong C, Baustian J J, Graham S A, et al. Salt marsh restoration with sediment-slurry application: Effects on benthic macroinvertebrates and associated soil-plant variables[J]. Ecological Engineering, 2013, 51: 151-160.
- [7] 江旷, 陈小南, 鲍毅新, 等. 互花米草入侵对大型底栖动物群落垂直结构的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(2): 535-544.
Jiang K, Chen X N, Bao Y X, et al. Effect of *Spartina alterniflora* invasion on the vertical structure of macrobenthic community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(2): 535-544.
- [8] 何彦龙, 李秀珍, 马志刚, 等. 崇明东滩盐沼植被成带性对土壤因子的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4919-4927.
He Y L, Li X Z, Ma Z G, et al. Vegetation zonation related to the edaphic factors in the East headland of Chongming Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(18): 4919-4927.
- [9] 何彦龙. 中低潮滩盐沼植被分异的形成机制研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
He Y L. The Mechanism of Vegetation Differentiation in the Lower Salt Marsh of Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: East China Normal University, 2014.
- [10] 安乐生, 周葆华, 赵全升, 等. 黄河三角洲植被空间分布特征及其环境解释[J]. 生态学报, 2017, 37(20): 6809-6817.
An L S, Zhou B H, Zhao Q S, et al. Spatial distribution of vegetation and environmental interpretation in the Yellow River Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(20): 6809-6817.
- [11] 郑云云. 辽河口退化湿地土壤理化性质及其对芦苇生长影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Zheng Y Y. Soil Physicochemical Properties and Its Effect on the Growth of *Phragmites australis* in Liaohe Degraded Wetland[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004.
- [12] Chung C H. Forty years of ecological engineering with *Spartina plantations* in China[J]. Ecological Engineering, 2006, 27(1): 49-57.
- [13] 关道明. 中国滨海湿地米草盐沼生态系统与管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
Guan D M. Ecosystem and Management of *Spartina* Salt Marshes in Coastal Wetland of China[M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [14] 王卿, 安树青, 马志军, 等. 入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理[J]. 植物分类学报, 2006, 44(5): 559-588.
Wang Q, An S Q, Ma Z J, et al. Invasive *Spartina alterniflora*: Biology, ecology and management[J]. Journal of Systematics & Evolution, 2006, 44(5): 559-588.
- [15] 谢文霞, 李晓燕, 于蓉蓉, 等. 胶州湾湿地的退化影响因素与生态修复建议[J]. 海洋科学, 2012, 36(10): 99-106.
Xie W X, Li X Y, Yu R R, et al. Degradation factors and ideas on ecological restoration of the Jiaozhou Bay wetland[J]. Marine Sciences, 2012, 36(10): 99-106.
- [16] Daily G C. Restoring value to the worlds degraded lands[J]. Science, 1995, 269(5222): 350-354.
- [17] 马妍妍. 基于遥感的胶州湾湿地动态变化及质量评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
Ma Y Y. Monitoring Dynamic Changes of Wetlands of Jiaozhou Bay and Quality Evaluation Based on Remote Sensing[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [18] 刘明磊. 青岛市湿地资源及动态评估[D]. 济南: 山东大学, 2019.
Liu M L. Study on Wetland Resources and Dynamics in Qingdao[D]. Jinan: Shandong University, 2019.
- [19] 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等. 胶州湾海岸湿地的生物多样性特征[J]. 科技导报, 2009(13): 6.
Zhang X L, Zhang Z H, Xu Z J, et al. Biodiversity Characters of Coastal Wetlands in Jiaozhou Bay[J]. Science & Technology Review, 2009(13): 6.
- [20] 辛俊宏, 任一平, 徐宾铎, 等. 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物功能群[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 8.
Xin J H, Ren Y P, Xu B D, et al. Macrozoobenthos functional groups in intertidal flat of northwest Jiaozhou Bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(7): 8.
- [21] 李宝泉, 张宝琳, 刘丹运, 等. 胶州湾女姑口潮间带大型底栖动物群落生态学[J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 5.
Li B Q, Zhang B L, Liu D Y, et al. The ecological study of the macrobenthic community in intertidal zone of Nugukou, Jiaozhou Bay[J]. Marine Sciences, 2006, 30(10): 5.
- [22] 张绪良, 夏东兴. 海岸湿地退化对胶州湾渔业和生物多样性保护的影响[J]. 海洋技术, 2004, 23(2): 4.
Zhang X L, Xia D X. Degradation of coastal wetlands in jiaozhou bay and its influence on fishery and protection of biodiversity[J]. Ocean Technology, 2004, 23(2): 4.
- [23] 朱玉玲. 基于深度学习分类方法的山东省外来入侵物种互花米草遥感监测与分析[D]. 青岛: 自然资源部第一海洋研究所, 2020.
Zhu Y L. Remote-sensed Monitoring and Analysis of Invasive Alien Species *Spartina alterniflora* in Shandong Province Based on Deep Learning Classification Method[D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, 2020.
- [24] 李萍, 谢文霞, 王志强, 等. 互花米草入侵对胶州湾潮滩湿地硫素时空分布的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 870-879.
Li P, Xie W X, Wang Z Q, et al. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on sulfur content temporal and spatial variation in tidal flat wetland of Jiaozhou Bay[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(3): 870-879.
- [25] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fishery Bulletin, 1971, 152(1): 1-105.
- [26] 俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海蟹类群落结构特征的研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 213-220.
Yu C G, Song H T, Yao G Z. Crab community structure in the east China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(3): 213-220.
- [27] Braak C J F T. Canonical correspondence analysis: A new eigen-vector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [28] 潘玉龙, 刘潇, 沙婧婧, 等. 荣成近岸养殖海域浮游植物群落结构及与环境因子的关系[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 26-33.
Pan Y L, Liu X, Sha J J, et al. Influence of environmental factors on phytoplankton community structure and its relationship with coastal aquaculture in the waters adjacent to Rongcheng[J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 26-33.
- [29] 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[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2054-2062.
Yuan X Z, Lu J J, Liu H. Distribution pattern and variation in

- the functional groups of zoobenthos in the changjiang estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [30] 朱晓君, 陆健健. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群[J]. 动物学研究, 2003, 24(5): 355-361.
Zhu X J, Lu J J. Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary[J]. *Zoological Research*, 2003, 24(5): 355-361.
- [31] 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[J]. 生物多样性, 2006, 14(2): 165-171.
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[J]. *Biodiversity Science*, 2006, 14(2): 165-171.
- [32] 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[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 261: 51-61.
- [33] 杨泽华, 童春富, 陆健健. 盐沼植物对大型底栖动物群落的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4387-4393.
Yang Z H, Tong C F, Lu J J. Effects of saltmarsh on the benthic macroinvertebrate community in Yangtze Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4387-4393.
- [34] 李姗姗, 崔保山, 谢焜, 等. 黄河三角洲沼泽中大型底栖动物的分布特征[J]. 湿地科学, 2015(6): 6.
Li S Z, Cui B S, Xie T, et al. Distribution features of macrobenthic communities in marshes in the Yellow River Delta[J]. *Wetland Science*, 2015(6): 6.
- [35] 陈中义, 李博, 陈家宽. 长江口崇明东滩土壤盐度和潮间带高程对外来种互花米草生长的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2005, 2(2): 6-9.
Chen Z Y, Li B, Chen J K. Effects of salt stress and elevation of tideland on the growth of introduced *Spartina alterniflora* at Dongtan of Chongming, the Yangtze River Estuary[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2005, 2(2): 6-9.
- [36] 陈中义. 互花米草入侵国际重要湿地崇明东滩的生态后果[D]. 上海: 复旦大学, 2004.
Chen Z Y. Ecological Impacts of the Introduced *Spartina alterniflora* Invasions in the Coastal Ecosystems of Chongming Dongtan, the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Fudan University, 2004.
- [37] 赵成建, 童春富. 九段沙湿地大型底栖动物分布特征及其影响因素[J]. 海洋学报, 2020, 42(2): 65-74.
Zhao C J, Tong C F. Distribution characteristics of the benthic macroinvertebrates and corresponding influencing factors in Jiuduansha Shoals[J]. *Haiyang Xuebao*, 2020, 42(2): 65-74.
- [38] Gallagher J L, Reimold R J, Pfeiffer L W J. Aerial production, mortality, and mineral accumulation-export dynamics in *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus* plant stands in a Georgia salt marsh[J]. *Ecology*, 1980, 61(2): 303-312.
- [39] 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.
Chen Z Y, Fu C C, Wang H Y, et al. Effects of *Spartina alterniflora* Invasions on the benthic macro-invertebrates community at Dongtan of Chongming Salt Marsh, the Yangtze River Estuary[J]. *Wetland Science*, 2005, 3(1): 1-7.
- [40] 崔丽娟, 康晓明, 李伟, 等. 中国滨海湿地生态系统功能及服务评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019.
Cui L J, Kang X M, Li W, et al. Ecosystem Function and Service Evaluation on Coastal Wetlands in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2019.
- [41] 雷坤, 郑丙辉, 孟伟, 等. 大辽河口 N、P 营养盐的分布特征及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(1): 19-22, 27.
Lei K, Zheng B H, Meng W, et al. Distributions and the factors influenced of nitrogen and phosphorus nutrients in the Daliaohe Estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(1): 19-22, 27.
- [42] Zhang T T, Zeng S L, Gao Y, et al. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity[J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11: 1552-1562.
- [43] 张爽, 郭成久, 苏芳莉, 等. 不同盐度水灌溉对芦苇生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(1): 4.
Zhang S, Guo C J, Su F L, et al. Effect of salinity on the growth of reed[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2008, 39(1): 4.
- [44] 薛宇婷. 芦苇不同生长阶段的耐盐特性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
Xu Y T. Study on Characteristic of Salt-Tolerance at Different Growth Stages of *Phragmites australis* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2015.
- [45] 卢霞, 林雅丽, 赵倩, 等. 盐度对滨海湿地盐地碱蓬生理指标和反射光谱的响应分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(2): 10.
Lu X, Lin Y L, Zhao Q, et al. Effects of salinity on physiological indicators and reflectance spectra of *Suaeda salsa* in coastal wetlands[J]. *Marine Sciences*, 2019, 43(2): 10.
- [46] He Y L, Li X Z, Craft C, et al. Relationships between vegetation zonation and environmental factors in newly formed tidal marshes of the Yangtze River Estuary[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2011, 19: 341-349.
- [47] 陈中义, 李博, 陈家宽. 互花米草与海三棱藨草的生长特征和相对竞争能力[J]. 生物多样性, 2005, 13(2): 130-136.
Chen Z Y, Li B, Chen J K. Some growth characteristics and relative competitive ability of invasive *Spartina alterniflora* and native *Scirpus mariqueter*[J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13(2): 130-136.

Ecological Characteristics of Wetland Vegetation, Macroenthos Community and Environmental Factors in Salt Marsh Wetland of Jiaozhou Bay

Liu Xinyu^{1,2,3}, Xu Zijun^{1,2,3}, Wei Jifang^{1,2,3}, Zhao Yuhui^{1,2,3}, Yu Qingyun^{1,2,3},
Sha Jingjing^{1,2,3}, Zhou Ruijia^{1,2,3}, Du Xiaoyuan^{1,2,3}, Qi Yanping^{1,2,3}

(1. North China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033, China; 2. Key Laboratory of Ecological Prewarning and Protection of Bohai Sea, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266033, China; 3. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266033, China)

Abstract: In order to investigate the ecological characteristics of Macroenthos in different salt marsh vegetation distribution areas of Jiaozhou Bay Wetland and explore the relationship between vegetation community and soil environmental factors, the of Jiaozhou Bay Wetland Vegetation, Macroenthos and soil environmental factors in summer were investigated. The results showed that the main vegetation types in Jiaozhou Bay Wetland were *Phragmites australis*, *Suaeda salsa*, *Spartina alterniflora* and *Spartina anglica*. According to the analysis of beach elevation, the vegetation in the northern Jiaozhou Bay Wetland is zonal distribution. *Phragmites australis* is distributed in the high tide zone, *Suaeda salsa*, *Spartina anglica* and *Spartina alterniflora* were distributed in the middle tide zone. The median particle diameter of surface soil in different habitats is similar; pH is neutral and weakly alkaline. Salinity of surface soil in different vegetation habitats was significantly different ($P < 0.01$), The average total salt content in *Spartina anglica* distribution area ($23.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and *Spartina alterniflora* distribution area ($12.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was significantly higher than that in *Suaeda salsa* ($8.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and *Phragmites australis* ($6.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). The main group of macroenthos in this survey is arthropod and annelids, but the functional groups of macroenthos in different habitats were different. The dominant functional groups of *Phragmites australis* and *Suaeda salsa* habitats were phytophagous, with abundance accounting for 97.78% and 63.33% respectively. In the habitat of *Spartina alterniflora*, carnivorous accounted for 37.68% and omnivorous accounted for 31.16%; the omnivorous accounted for 50.00% in *Spartina anglica* habitats. Carnivorous and omnivorous functional groups dominated the habitats of *Spartina* sp. The invasion of *Spartina* sp. changed the composition and distribution of macroenthos' functional groups in Jiaozhou Bay Wetland. CCA analysis showed that salinity of topsoil had a great influence on the community structure of salt marsh vegetation in Jiaozhou Bay. The comprehensive analysis showed that the salt marsh vegetation in Jiaozhou Bay affected the functional group structure of macroenthos, and the main environmental factor driving the vegetation community structure was the salinity of surface soil.

Key words: salt marsh wetland; macroenthos; functional group; environment factor; salinity; wetland of Jiaozhou Bay

责任编辑 高 蓓