

DOI: 10.3969/j.issn.2096-8248.2024.02.006

## 灌河口潮间带大型底栖动物群落结构\*

郭仁庆<sup>1,2,3</sup>, 毛成贵<sup>2,3</sup>, 魏爱泓<sup>2,3</sup>

(1. 江苏省苏力环境科技有限责任公司, 江苏 南京 210036; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019;  
3. 江苏省海洋环境监测预报中心, 江苏 南京 210019)

**摘要:** 2021年9月在灌河口设置2个潮间带断面 SEC1 和 SEC2, 开展大型底栖动物调查, 采用优势度指数法和多样性指数法对潮间带大型底栖动物群落结构特征进行评价。结果显示, 共采集鉴定潮间带大型底栖动物7大类27种, 其中环节动物12种, 节肢动物6种, 软体动物4种, 纽形动物2种, 脊索动物、棘皮动物和星虫动物各1种。SEC1优势种为双齿围沙蚕、树蛭虫、天津厚蟹和葛氏长臂虾, SEC2优势种为中华螺赢蜚、齿吻沙蚕和棘刺锚参。大型底栖动物密度和生物量均为南岸高于北岸。Bray-Curtis指数显示 SEC1 和 SEC2 的大型底栖动物群落存在较大差异; 香农威纳指数评价结果表明, SEC1 总体处于轻度污染状态, SEC2 总体处于中度污染状态。

**关键词:** 灌河口; 潮间带; 大型底栖动物; 群落结构

**中图分类号:** Q958.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-8248(2024)02-0040-06

**引用格式:** 郭仁庆, 毛成贵, 魏爱泓. 灌河口潮间带大型底栖动物群落结构[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2024, 33(2): 40-45.

## Community Structure of Macrobenthos in Intertidal Zone of Guanhe Estuary

GUO Renqing<sup>1,2,3</sup>, MAO Chengze<sup>2,3</sup>, WEI Aihong<sup>2,3</sup>

(1. Jiangsu Suli Environmental Science and Technology Co., Ltd., Nanjing 210036, China;  
2. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing 210019, China;  
3. Marine Environment Monitoring and Forecasting Center of Jiangsu Province, Nanjing 210019, China)

**Abstract:** Macrobenthos investigation was conducted in 2 sections (SEC1 and SEC2) in intertidal zone of Guanhe estuary in Sept. 2021. Dominance index, Shannon-Weiner index and Bray-Curtis index was applied to evaluate the macrobenthos community structure characteristics. The results showed that 27 species of macrobenthos in 7 phyla were collected and identified, including 12 species of annelids, 6 species of arthropoda, 4 species of mollusks, 2 species of nemertinea, and 1 species of chordata, echinodermata and sipuncula respectively. *Perinereis aibuhitensis*, *Pista cristata*, *Helice tientsinensis* and *Palaemon gravieri* was the dominant species in SEC1. *Corophium sinense*, *Nephtys* sp. and *Protankyra bidentata* was the dominant species in SEC2. Both density and biomass of the macrobenthos in SEC2 was higher than in SEC1. Bray-Curtis index showed that macrobenthos community structure of SEC1 and SEC2 showed remarked difference. Shannon-Weiner index of the macrobenthos showed that the ecological environment of SEC1 and SEC2 was in light pollution and medium pollution respectively.

**Key words:** Guanhe estuary; intertidal zone; macrobenthos; community structure

\* 收稿日期: 2023-06-28; 修订日期: 2023-11-26

基金项目: 江苏省环保科研课题(2019005); 江苏省生态环境科研课题(2021004)

作者简介: 郭仁庆(1992—), 男, 江苏南京人, 工程师, 研究方向为生态环境监测评价, (E-mail) 252946172@qq.com。

通信作者: 毛成贵(1986—), 男, 浙江诸暨人, 高级工程师, 研究方向为水生生物学, (E-mail) maocz@jshb.gov.cn。

潮间带是海洋和陆地的过渡区带,间歇性被海水浸没,地形地貌复杂多变,同时受海陆理化环境因子影响,兼具海洋、陆地和湿地生态系统特征,生物群落复杂多样,是海洋生态系统中最敏感的生态系统类型之一<sup>[1-2]</sup>。研究表明,潮间带生态系统兼具多项生态系统服务功能,其中,供给服务体现为潮间带丰富的生物资源为人类提供了优质的蛋白质;文化服务体现为健康完整的潮间带为人类提供优美的娱乐景观;支持服务体现为潮间带作为全球“蓝色碳汇”的主要贡献者,有效减缓含碳温室气体排放,降低全球温室效应<sup>[3-5]</sup>。

江苏省河网密布,沿海河口众多。灌河口是江苏省的第二大开放型河口,河口及邻近海域海洋生物资源丰富,伪虎鲸(*Pseudorca crassidens*)、松江鲈(*Trachidermus fasciatus*) (又名四鳃鲈)等是该水域典型的代表物种<sup>[6-7]</sup>。近年来,随着沿海经济的快速发展,灌河口污染负荷不断加大,灌河口邻近海域水质长期处于四类至劣四类水平<sup>[8]</sup>。化工、养殖等污染排放和海岸工程建设等人类活动严重破坏了潮间带生境和景观的完整性,河口及近岸海洋生态系统面临退化风险,给海洋经济可持续发展带来了不利影响<sup>[9-10]</sup>。

潮间带大型底栖动物是潮间带生态系统食物链中的初级和次级消费者,其运动能力相对较弱,群落结构受环境因子影响较大,对潮间带生态环境具有较好的指示作用<sup>[11]</sup>。近年来,相关学者研究了江苏中南部及北部海州湾潮间带大型底栖动物的群落结构、多样性状况及次级生产力等<sup>[12-15]</sup>,但对于江苏河口沿岸潮间带大型底栖动物群落的研究较少。本研究对灌河口南、北岸潮间带大型底栖动物进行定量调查,分析其种类组成及群落结构特征,利用多样性指数评价潮间带生态环境状况,以期为灌河口生态保护修复提供科学依据,为河口生态学研究积累基础资料。

## 1 研究方法

### 1.1 站位设置

本研究采样断面位置如图 1 所示。灌河口位于江苏省灌云县南侧与响水县北侧交接处,根据灌河口南、北岸生境条件的差异,在灌河口设置了 SEC1 和 SEC2 潮间带调查断面。北岸 SEC1 为开放型生境,泥沙质底质,南岸 SEC2 为内湾型生境,淤泥质底质。

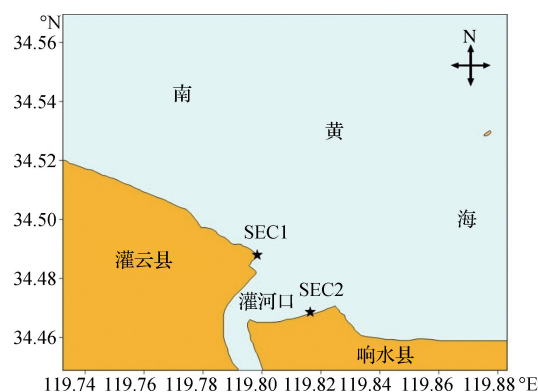


图 1 采样断面

Fig. 1 Sampling section

### 1.2 调查时间和采样方法

2021 年 9 月,参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007),在 SEC1 和 SEC2 各设置高、中、低潮带 3 个站位(见表 1)。在高、中、低潮带分别取 8 个、12 个和 8 个面积为 25 cm × 25 cm 的样方,用潮间带生物定量框进行定量取样,取得的泥样过 0.5 mm 孔径套筛淘洗后拣取筛网上的生物,分类装瓶,用体积分数为 5% 的海水福尔马林固定,带回实验室分析<sup>[15]</sup>。

表 1 采样站位经纬度

Table 1 Longitude and latitude of sampling stations

站位名称	经度/(°)	纬度/(°)
SEC1 高	119.790 272	34.490 606
SEC1 中	119.792 298	34.490 612
SEC1 低	119.794 312	34.490 617
SEC2 高	119.802 636	34.467 281
SEC2 中	119.805 756	34.468 349
SEC2 低	119.808 968	34.469 634

### 1.3 样品分析

在体视显微镜(Olympus SZ51)下根据底栖动物鉴定文献<sup>[16-19]</sup>将所有样品尽量鉴定到种并计数、称质量(湿质量),计算各站位大型底栖动物密度(单位:ind./m<sup>2</sup>)和生物量(单位:g/m<sup>2</sup>)。

### 1.4 数据处理

1.4.1 优势度及优势种 优势度计算公式为

$$Y = n_i / N f_i$$

式中, $n_i$  为样品中  $i$  种的密度, $N$  为样品密度总和, $f_i$  为  $i$  种在所有站位中的出现频率<sup>[20]</sup>。

1.4.2 生物多样性指数 运用  $\alpha$  和  $\beta$  多样性指数评价潮间带大型底栖动物的多样性状况和群落相似度。

$\alpha$ 多样性指数选择香农威纳指数(Shannon-Weiner index,  $H'$ ), 计算公式为

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i。$$

式中,  $P_i$  为  $i$  种所占站位密度百分比<sup>[6]</sup>。  $H'$  的区间为  $[0, \infty)$ ,  $H'$  值可划分为 4 个等级:  $[3, \infty)$  为清洁,  $[2, 3)$  为轻度污染,  $[1, 2)$  为中度污染,  $[0, 1)$  为重度污染<sup>[21]</sup>。

$\beta$ 多样性指数选择 Bray-Curtis 指数( $C_N$ ), 计算公式为

$$C_N = 2jN / (N_A + N_B)。$$

式中,  $N_A$  为站位 A 的总密度,  $N_B$  为站位 B 的总密度,  $jN$  为站位 A 和 B 共有种中密度较小者之和  $[jN = \sum \min(jN_A, jN_B)]$ ;  $C_N$  的区间为  $[0, 1]$ , 值越大表明群落相似度越高<sup>[22]</sup>。

多样性指数计算用 Primer 5.0 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成

调查共鉴定出大型底栖动物 7 大类 27 种(表 3), 其中环节动物 12 种, 占总种数的 44.45%, 为优势类群, 节肢动物 6 种(22.22%), 软体动物 4 种(14.82%), 纽形动物 2 种(7.41%), 脊索动物、棘皮动物和星虫动物各 1 种, 分别占总种数的 3.70% (见图 2)。

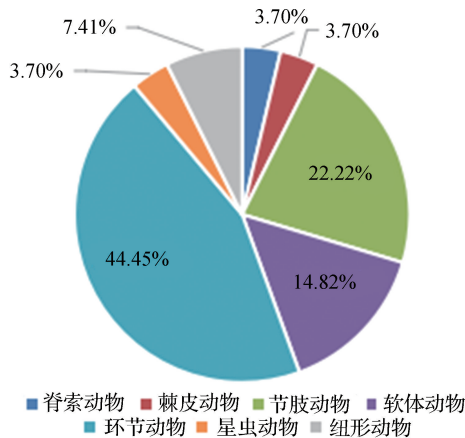


图 2 种类组成

Fig. 2 Species composition

优势种的空间分布显示, SEC1 优势种为双齿围沙蚕( $Y=0.494$ )、树蛭虫( $Y=0.043$ )、天津厚蟹( $Y=0.041$ )和葛氏长臂虾( $Y=0.029$ ), SEC2 优势种为中华螺赢蜚( $Y=0.346$ )、齿吻沙蚕( $Y=0.121$ )

和棘刺锚参( $Y=0.022$ ), 2 个断面无共同优势种(见表 2)。

表 2 断面优势种和优势度

Table 2 Dominant species and the dominance degree

优势种	优势度(Y)	
	SEC1	SEC2
双齿围沙蚕	0.494	
树蛭虫	0.043	
天津厚蟹	0.041	
葛氏长臂虾	0.029	
中华螺赢蜚		0.346
齿吻沙蚕		0.121
棘刺锚参		0.022

### 2.2 种数、密度的空间分布

种类及密度的空间分布如表 3 所示。其中, 种数的空间分布显示, 除 SEC2 低潮带种类较多, 为 13 种, 其余站位种数在 5~7 种之间, 差异不大, SEC2 总种数较多, 为 18 种, SEC1 较少, 为 14 种。环节动物种数在各站位的种数占比均超过了 50%。密度的空间分布显示, SEC2 各潮带密度均明显大于 SEC1, SEC2 中密度最高, 为 587 ind./m<sup>2</sup>, SEC1 中密度最低, 为 64 ind./m<sup>2</sup>。

SEC1 优势种密度空间分布显示, 双齿围沙蚕 SEC1 高 > SEC1 低 > SEC1 中, 密度分别为 160, 32, 21 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 57.14%, 36.36%, 32.81%; 树蛭虫仅在 SEC1 高出现, 为 56 ind./m<sup>2</sup>, 占比 20.00%。天津厚蟹 SEC1 高 > SEC1 中, 密度分别为 16 和 11 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 5.71% 和 17.19%; 葛氏长臂虾 SEC1 中 > SEC1 低, 分别为 11 和 8 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 17.19% 和 9.09% (见表 3)。

SEC2 优势种密度空间分布显示, 中华螺赢蜚 SEC2 中 > SEC2 低, 密度分别为 544 和 72 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 92.67% 和 24.32%; 齿吻沙蚕 SEC2 高 > SEC2 低, 密度分别为 200 和 16 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 65.79% 和 5.41%; 棘刺锚参 SEC2 高 > SEC2 低, 密度分别为 32 和 8 ind./m<sup>2</sup>, 分别占比 10.53% 和 2.70% (见表 3)。

### 2.3 各类群密度及生物量的空间分布

各类群密度的空间分布显示, 除 SEC2 中外, 环节动物在各站位密度均为最高, 其中 SEC1 高环节动物密度为 240 ind./m<sup>2</sup>, 占比 85.71%; 而 SEC2 中节肢动物密度最大, 为 555 ind./m<sup>2</sup>, 占比 94.55%; 2 个断面密度前 3 的类群依次均为环节动物、节肢动物和软体动物(见表 4)。

表 3 种类及密度的空间分布  
Table 3 Spatial distribution of the species and density

类群	种名	密度/(ind. · m <sup>-2</sup> )					
		SEC1 高	SEC1 中	SEC1 低	SEC2 高	SEC2 中	SEC2 低
脊索动物	爪哇拟虾虎鱼 <i>Pseudogobius javanicus</i>		5				
棘皮动物	棘刺锚参* <i>Protankyra bidentata</i>				32		8
节肢动物	葛氏长臂虾* <i>Palaemon gravieri</i>		11	8		5	8
节肢动物	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>			8			
节肢动物	日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	8					
节肢动物	日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>				8	6	
节肢动物	天津厚蟹* <i>Helice tientsinensis</i>	16	11				
节肢动物	中华螺赢蚱* <i>Corophium sinense</i>					544	72
软体动物	缙拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>		16				
软体动物	四角蛤蜊 <i>Mactra veneriformis</i>						24
软体动物	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousei</i>				8		16
软体动物	圆筒原盒螺 <i>Eoclychna braunsi</i>	16					
环节动物	巢沙蚕 <i>Diopatra</i> sp.	8					
环节动物	齿吻沙蚕* <i>Nephtys</i> sp.				200		16
环节动物	沙蚕 <i>Nereis</i> sp.					11	24
环节动物	树蚕虫* <i>Pista cristata</i>	56					16
环节动物	双齿围沙蚕* <i>Perinereis aibuhitensis</i>	160	21	32			
环节动物	水丝蚓 <i>Limnodrilus</i> sp.			8			64
环节动物	缨鳃虫 <i>Sabella spallanzanii</i>				8		
环节动物	原管虫 <i>Protula</i> sp.					16	
环节动物	长手沙蚕 <i>Magelona</i> sp.						8
环节动物	长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	16				5	16
环节动物	竹节虫 <i>Maldane</i> sp.						16
环节动物	锥头虫 <i>Orbinia</i> sp.			24			
星虫动物	小土钉 <i>Physcosoma similis</i>				8		
纽形动物	两用孔纽虫 <i>Amphiporus punctatulus</i>			8	40		
纽形动物	纽虫 <i>Nemertinea</i> sp.						8
种数合计		7	5	6	7	6	13
密度合计		280	64	88	304	587	296

注:带“\*”的为优势种。

表 4 各类群密度的空间分布  
Table 4 Spatial distribution of the density of each macrobenthos group

类群	密度/(ind. · m <sup>-2</sup> )								
	SEC1 高	SEC1 中	SEC1 低	SEC1 合计	SEC2 高	SEC2 中	SEC2 低	SEC2 合计	总计
环节动物	240	21	64	325	208	32	160	400	725
节肢动物	24	22	16	62	8	555	80	643	705
软体动物	16	16	—	32	8	—	40	48	80
纽形动物	—	—	8	8	40	—	8	48	56
棘皮动物	—	—	—	—	32	—	8	40	40
脊索动物	—	5	—	5	—	—	—	—	5
星虫动物	—	—	—	—	8	—	—	8	8
合计	280	64	88	432	304	587	296	1 187	1 619

各类群生物量的空间分布显示,SEC1 高、SEC1 低、SEC2 高的环节动物生物量最大,分别为 52.46, 4.54, 55.16 g/m<sup>2</sup>, 分别占比 71.45%, 57.98%, 64.88%;SEC1 中和 SEC2 中的节肢动物生物量最大,分别为 101.16 和 3.04 g/m<sup>2</sup>, 分别占比 95.46%

和 86.86%;SEC2 低的软体动物生物量最大,为 272.05 g/m<sup>2</sup>, 占比 97.13%。SEC1 生物量前 3 的类群依次为节肢动物、环节动物和软体动物,SEC2 生物量前 3 的类群依次为软体动物、环节动物和节肢动物(见表 5)。

表5 各类群生物量的空间分布

Table 5 Spatial distribution of the biomass of each macrobenthos group

类群	生物量/(g·m <sup>-2</sup> )								
	SEC1 高	SEC1 中	SEC1 低	SEC1 合计	SEC2 高	SEC2 中	SEC2 低	SEC2 合计	总计
软体动物	1.39	0.96	—	2.35	1.07	—	272.05	273.12	275.47
节肢动物	19.57	101.16	3.17	123.91	1.18	3.04	0.25	4.47	128.38
环节动物	52.46	3.40	4.54	60.39	55.16	0.46	2.61	58.23	118.62
棘皮动物	—	—	—	—	27.14	—	5.02	32.16	32.16
纽形动物	—	—	0.12	0.12	0.37	—	0.15	0.52	0.64
脊索动物	—	0.45	—	0.45	—	—	—	—	0.45
星虫动物	—	—	—	—	0.10	—	—	0.10	0.10
合计	73.42	105.97	7.83	187.22	85.02	3.50	280.08	368.60	555.82

### 2.4 多样性指数的空间变化

香农威纳指数 SEC2 低最高,为 3.26,SEC2 中最低,为 0.53,2 个断面均值为 SEC1>SEC2,潮带变化显示,低潮带多样性较高(见表 6)。SEC1 与 SEC2 的 Bray-Curtis 指数为 0.31,表明 2 个断面群落结构差异较大。

表6 香农威纳指数( $H'$ )的空间变化Table 6 Spatial variation of the Shannon-Weiner index( $H'$ )

站位	$H'$	站位	$H'$
SEC1 低	2.30	SEC2 低	3.26
SEC1 高	1.93	SEC2 高	1.68
SEC1 中	2.19	SEC2 中	0.53
SEC1 断面均值	2.14	SEC2 断面均值	1.82

## 3 讨论

### 3.1 群落结构差异

Bray-Curtis 指数计算结果显示,SEC1 和 SEC2 断面大型底栖动物的群落结构存在较大差异。

优势种组成方面,2 个断面无共同优势种,且体型差异较大。SEC1 优势种以大型环节动物(双齿围沙蚕、树蛭虫)和大型节肢动物(天津厚蟹、葛氏长臂虾)为主;SEC2 优势种以小型节肢动物中华螺赢蜚和小型环节动物齿吻沙蚕为主。这主要与 2 个断面地形特点有关,SEC1 位于河口口门外缘,海岸线平直,为适应风浪扰动较大的生境,底栖动物以体型较大的种类为主;SEC2 位于河口内湾,风浪扰动较小,生境相对稳定,适宜体型较小的物种栖息生长<sup>[23-24]</sup>。

种类数量方面,SEC2 种类数量明显高于 SEC1。根据生态位理论,在调查站位相同的前提下,物种数量的差异主要受生境的空间异质性影响,调查区域生境类型越复杂,其能容纳的生物种类就越多。SEC1 位于口门,主要受海洋潮汐影响,生境类型相

对单一,栖息种类以海洋性种类为主;SEC2 受海水与淡水影响,盐度等环境因子复杂多变,该生境类型为更多生物物种提供了适宜的栖息地<sup>[22,25]</sup>。

### 3.2 密度和生物量的空间分布

密度的空间分布主要受优势种分布影响。SEC1 断面优势种以环节动物优势度最高,故各断面类群密度均以环节动物最高,SEC2 断面节肢动物和环节动物的优势度均较高,其中,SEC2 中受大量出现的中华螺赢蜚影响,节肢动物密度最高,其余 2 个潮带均为环节动物密度最高。2 个断面优势种生活史对策存在差异,SEC1 优势种均为 K 对策者,个体较大,存活率较高,生命周期长且繁殖率较低;SEC2 优势种以 r 对策者为主,个体较小,存活率低,生命周期短且繁殖率高。故 SEC2 密度明显高于 SEC1<sup>[21]</sup>。生物量的贡献主要来自大型个体种类,大量出现的棘刺锚参和四角蛤蜊为 SEC2 贡献了较高的生物量,故 SEC2 生物量亦高于 SEC1。

### 3.3 潮间带底栖生态环境状况

香农威纳指数均值显示,SEC1 断面呈轻度污染,SEC2 断面呈中度污染。各潮带香农威纳指数显示 2 个断面的低潮带均高于高潮带和中潮带,这主要受不同潮带的生境特点影响,高潮带长期干燥裸露并受强光照射,中潮带受涨退潮的干湿变化影响显著,生境稳定性较低,故高潮带和中潮带多样性较低<sup>[26]</sup>。

除光照和水文等物理因子外,人类活动干扰也是影响潮间带底栖动物群落的重要因子。SEC2 位于灌河口缓流区,上游新沂河、塔白河及化工园区污染物容易在此汇聚,加之沿岸造船厂、装卸码头及堆场等密集的人类活动区给潮间带底栖动物群落带来较为严重的干扰,其中,中潮带受影响最大,香农威纳指数显示其处于重度污染状态,机会主义的 r 对策者大量出现,说明其底栖动物群落受到较为严重的干扰<sup>[21,27-29]</sup>。

## 4 结论

本研究在灌河口潮间带共采集鉴定大型底栖动物7大类27种,其中环节动物为主要优势类群。受潮间带所在区域地形影响,SEC2种数、密度和生物量均高于SEC1,两者群落结构存在较大差异,SEC1优势种以大型个体的K对策者为主,SEC2优势种中r对策者优势度较高。香农威纳指数均值指示SEC1总体处于轻度污染状态,SEC2总体处于中度污染状态;同一断面的不同潮带中,高潮带和中潮带受强光照射及干湿变化等因素影响,香农威纳指数低于低潮带。

### 参考文献:

- [1] 李蕙,袁琳,张利权,等.长江口滨海湿地潮间带生态系统的多稳态特征[J].应用生态学报,2017,28(1):327-336.
- [2] JUNGIL K O, LEE S, LEE M J. Response of macrozoobenthos community to the benthic environmental changes in Saemangeum Intertidal Area, South Korea[J]. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 2021, 33(1): 234-249.
- [3] 李营,陈云浩,陈辉,等.小尺度潮间带生态系统遥感综合评估方法构建[J].中国环境科学,2018,38(12):4661-4668.
- [4] 张长宽.江苏省近海海洋环境资源基本现状[M].北京:海洋出版社,2013.
- [5] 刘慧,唐启升.国际海洋生物碳汇研究进展[J].中国水产科学,2011,18(3):695-702.
- [6] 张瑞斌.灌河口区域开发生态承载力评价[D].南京:南京农业大学,2009.
- [7] 李杨帆,朱晓东.江苏灌河口湿地景观生态规划:可持续发展的方案[J].地理科学,2003(5):635-640.
- [8] 江苏省生态环境厅.江苏省环境质量报告书[R].南京:河海大学出版社,2021.
- [9] 于英鹏,蒋玉波.苏北灌河口多介质多环芳烃污染调查及生态风险分析[J].环境监控与预警,2022,14(4):31-37.
- [10] 周超凡,矫新明,毛成贵,等.灌河口近岸海域春季海洋环境现状调查[J].广东海洋大学学报,2018,38(5):27-34.
- [11] 赵小雨,蔡立哲,饶义勇,等.考洲洋人工种植红树林湿地大型底栖动物群落环境响应[J].生态学报,2023,43(13):5505-5516.
- [12] 袁健美,张虎,汤晓鸿,等.江苏潮间带大型底栖动物群落组成及次级生产力[J].生态学杂志,2018,37(11):3357-3363.
- [13] 张虎,汤晓鸿,郭仲仁,等.江苏中南部潮间带大型底栖动物时空分布特征[J].海洋渔业,2014,36(3):208-215.
- [14] 李军,季相星,姜玲,等.海州湾潮间带大型底栖动物多样性研究[J].环境监控与预警,2017,9(4):45-48.
- [15] 贺心然,陈斌林,高文婕,等.灌河口潮间带及其入海河段秋季大型底栖动物生态学研究[J].海洋科学,2015,39(5):28-34.
- [16] 杨德渐,孙瑞平.中国近海多毛环节动物[M].北京:农业出版社,1988.
- [17] 冷宇,张洪亮,王振钟.渤海常见底栖动物图谱[M].北京:海洋出版社,2017.
- [18] 杨德渐,王永良.中国北部海洋无脊椎动物[M].北京:高等教育出版社,1996.
- [19] 郑小东,曲学存.中国水生贝类图谱[M].青岛:青岛出版社,2013.
- [20] CENTO M, SCROCCA R, COPPOLA M, et al. Do McKinnon lists provide reliable data in bird species frequency? a comparison with transect-based data[J]. Acta Oecologica, 2018, 89(1): 27-31.
- [21] 毛成贵,魏爱泓,张咏,等.秦山岛周边海域大型底栖动物群落健康状况评价[J].环境监控与预警,2022,14(1):72-78.
- [22] 毛成贵,花卫华,钟俊生,等.泗礁沙滩碎波带仔稚鱼群落多样性分析[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2018,17(4):397-403.
- [23] 朱晓君.长江河口潮间带湿地底栖动物功能群及其生态学意义研究[D].上海:华东师范大学,2004.
- [24] 彭欣,谢起浪,陈少波,等.南麂列岛潮间带底栖生物时空分布及其对人类活动的响应[J].海洋与湖沼,2009,40(5):584-589.
- [25] 孙儒泳.动物生态学原理[M].北京:北京师范大学出版社,2006.
- [26] 仇建标,彭欣,谢起浪,等.洞头列岛潮间带大型底栖生物的时空分布及其多样性[J].水产学报,2012,36(4):608-614.
- [27] 李婧慧,吕赢,花卫华,等.江苏灌河口污染源调查[J].水产养殖,2014,35(7):25-29.
- [28] 史会剑,李玄,王海艳等.黄河三角洲潮间带大型底栖无脊椎动物群落结构与分布特征[J].海洋科学,2021,45(2):11-21.
- [29] 赵爱博,陈敏东,毛成贵,等.海涂围垦对海洋及邻近海域生态系统的影响与修复[J].淮海工学院学报(自然科学版),2016,25(2):80-85.
- [30] 王鑫,李昌文,徐加涛,等.灌河口海域水生动物群落结构及分布特征[J].江苏海洋大学学报(自然科学版),2023,32(4):29-41.

(责任编辑:李琴,秦海明 实习编辑:易圣杰)