

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

贺心然^{1,2}, 陈斌林², 高文婕³, 曹广林², 方涛⁴, 晁崧然², 季相星²

(1. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 连云港市环境保护局 连云港市环境监测中心站 连云港市环境保护科学研究所, 江苏 连云港 222001; 3. 山东大学 生命科学学院 山东 济南 250100; 4. 淮海工学院, 江苏 连云港 222005)

摘要: 2011年10月对灌河口及其入海河段中潮带进行了11个站位的大型底栖动物调查, 共发现大型底栖动物10种, 均为软体动物。潮间带优势种为光滑河篮蛤(*Potamocorbula laevis*), 总平均丰度为92个/m², 总平均生物量为20.9 g/m²; 入海河段优势种为中华拟蟹守螺(*Cerithidea sinensis*), 总平均丰度为180个/m², 总平均生物量为52.5 g/m²。与邻近海域相比, 大型底栖动物物种数、丰度、*H'*等都较低。相关性分析表明有机污染物敌敌畏、OCPs、SVOCs和重金属镉、汞、锌和总铬的浓度对生物量、丰度和*H'*有着显著或较大影响。研究表明, 灌河沿岸4个化学工业园的排污及沿岸码头建设等对该海域产生了较大的人为扰动, 已不适宜部分大型底栖动物的生存, 需进行跟踪调查监测及时制定该海域生态保护、修复规划。

关键词: 灌河口; 潮间带; 入海河段; 大型底栖动物; 生态学

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)05-0028-08
doi: 10.11759/hyhx20140719001

大型底栖动物是水生态系统的一个重要组成部分^[1-2], 组成复杂, 种类丰富。由于在水域生态系统的能量流动和物质循环中占有十分重要的地位, 因而对渔业资源补充、污染监测和水生态研究具有非常重要的意义^[3]。但由于移动性较差, 易受到水体污染的影响, 更容易富集污染物, 因而其污染效应具有指示性、综合性和持续性^[4]。

灌河是江苏地区唯一在干流上未建闸、最大的天然入海河道, 在其入海处有五灌河、新沂河等河流汇入形成一个纵横交错的河网体系。关于灌河口海域水质、沉积物中半挥发性有机物(SVOCs)、重金属污染及浮游植物等研究已有报道^[5-10], 但关于大型底栖动物的报道则稍显欠缺。目前灌河口及上游地区形成了较为发达的4个化学工业园, 大量工业废水排放对该海域产生较大的生态环境压力, 因此开展生态环境调查监测, 尤其是大型底栖动物的生态学研究就显得十分有意义。

1 站位与方法

1.1 站位设置

2011年10月对灌河入海口沿岸及其入海河段的中潮带布设了11个大型底栖动物样品采集站位(见

图1)。H08至H13站位为灌河口潮间带, R01至R05站位为灌河入海河段。

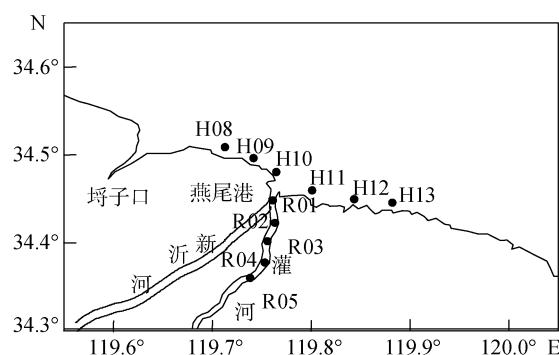


图1 灌河口潮间带及其入海河段大型底栖动物调查站位图
Fig. 1 Sampling stations in the intertidal zone and near sea section of Guan River

1.2 样品的采集、处理及分析

使用GPS精确定位, 在大潮期间进行样品采集。

收稿日期: 2014-07-19; 修回日期: 2014-11-05

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(40906054); 河口海岸学国家重点实验室开放基金资助项目(SKLEC-KF201208); 连云港市科技发展计划项目(SH1113)

作者简介: 贺心然(1974-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事环境监测和海洋环境研究, Email: xinranhejs@163.com; 季相星, 通信作者, 电话: 0518-85521740, E-mail: 305782670@qq.com

采用 20 cm²×20 cm² 取样框随机取样, 每站取样 2 次, 取样后当场用 40 目的网筛进行筛选, 将筛选后滤出的生物及余留的泥沙全部装瓶, 用 5% 的甲醛固定, 带回实验室分类、鉴定、计数及称重。样品的采集、处理、保存、计数和称量等均按《海洋监测规范》^[11] 及《海洋调查规范》^[12] 进行。

同时用抓斗采集沉积物样品密封运至实验室, 样品经冷冻干燥后研磨, 过 80 目筛放入玻璃磨口瓶中, 一份 -20 °C 冷冻保存用于 SVOCs 分析, 另一份样品常温保存用于重金属分析。

1.3 数据处理

1.3.1 优势种的确定

优势种采用相对重要性指数 *IRI*(Index of Relative Importance)^[13] 进行确定, 该指数通过丰度、生物量及出现频率三个因素来综合判断优势种, 其计算公式如下:

$$IRI = (W + N)F$$

其中: *W* 为每种的生物量占总生物量的百分比, *N* 为每种的丰度占总丰度的百分比, *F* 为该种出现的频率。

1.3.2 多样性指数的计算

生物多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (*H'*)^[14]、Margalef 丰富度指数(*d*)^[15]、Pielou's 均匀度指数(*J'*)^[16]及优势度指数(*D*₂)进行分析。公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

$$D_2 = (N_1 + N_2) / NT$$

其中, *P*_{*i*} 为第 *i* 种的个体数与总个体数的比值, *N* 为总个体数, *S* 为总种数, *N*₁ 为样品中第一优势种的个体数, *N*₂ 为样品中第二优势种的个体数, *NT* 为样品中的总个体数。

2 结果

2.1 沉积物中重金属、SVOCs 浓度分析

总铬、砷等 7 种重金属在 11 个站位表层沉积物中均检出(表 1), 由于 7 种重金属的毒性响应系数不同, 本研究采用 Hakanson 潜在生态危害指数法^[17] 计算得出各站位的 7 种重金属的潜在生态危害指数 (*R*_{*i*}) 均小于 150, 表明 11 个站位表层沉积物中的重金属均处于“轻微”生态危害水平; 56 种 SVOCs^[10] 中甲基对硫磷、对硝基苯、间二硝基苯等 16 种 SVOCs 均未检出; 硝基苯、间硝基氯苯、邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯等 7 种 SVOCs 仅个别站位检出, 而且浓度极低; 2, 4-二硝基氯苯浓度在 ND~35 ng/kg(以干重计, 下同), 检出率为 45.4%; 2, 4-二硝基甲苯浓度在 ND~22.5 ng/kg, 检出率高达 81.9%。2, 4, 6-三硝基甲苯浓度在 ND~13 ng/kg, 检出率为 63.6%。有机氯农药总含量在 ND~58.3 ng/kg, 21 种多环芳烃(PAHs)总浓度在 75~186 ng/kg 之间, 56 种 SVOCs 总浓度在 122.9~257.6 ng/kg 之间。

表 1 各站位表层沉积物中重金属及 SVOCs 的浓度

Tab. 1 The concentrations of heavy metals and SVOCs in surface sediments of different sampling stations

站位	污染因子 (重金属: mg/kg; 有机污染物: ng/kg)															
	汞	总铬	铜	锌	铅	镉	砷	RI	芴	2, 4-二硝基 甲苯	2, 4, 6-三硝 基甲苯	敌敌畏	PAHs	OCPs	SVOCs	
R01	0.10	68.7	27.8	140	24.1	0.17	11.4	35.53	27	22.5	ND	0.4	186	3.97	242.8	
R02	0.08	82.9	33.4	129	30.1	0.18	14.4	35.87	30	6.9	5.6	0.6	152	5.3	180.4	
R03	0.11	75.8	32.3	127	28.2	0.20	17.8	43.12	20	1.0	ND	1.09	112	4.4	122.9	
R04	0.10	74.6	31.0	112	26.5	0.18	18.4	40.96	15	5.7	ND	0.892	87	3.1	149.8	
R05	0.08	77.7	31.1	114	27.0	0.19	14.1	35.32	10	18.8	ND	0.633	75	3.1	136.0	
H08	0.12	85.0	35.7	165	27.7	0.16	15.2	42.51	3	12	5.0	ND	90	13.9	145.8	
H09	0.11	89.0	46.0	161	29.6	0.18	20.2	46.08	23	7.0	9.0	ND	135	9.9	174.8	
H10	0.12	79.1	30.1	131	26.8	0.17	15.6	42.13	22	17	11	ND	150	5.3	188.6	
H11	0.12	76.1	32.6	110	25.5	0.18	16.6	43.07	33	ND	8.0	ND	163	3.6	183.2	
H12	0.11	82.5	35.0	134	28.1	0.16	13.9	39.77	19	ND	13	ND	125	58.3	257.6	
H13	0.12	51.8	18.5	76.2	17.5	0.12	17.0	38.82	22	9.0	13	ND	127	ND	149	

备注: ND 表示未检出, 未检出的有机污染因子浓度按“0”代入统计计算

2.2 大型底栖动物种类组成及优势种

本次调查, 在 11 个站位共发现大型底栖动物 10 种, 其中 H08、H10 及 R01 三个站位未发现大型底栖动物, 灌河口潮间带发现 4 种, 入海河段发现 6 种(表 2)。大型底栖动物种类较少, 而且组成单一, 全部为软体动物, 其中腹足类 8 种, 占 80%, 双壳类 2 种, 占 20%。

由各物种 *IRI*(表 2)可见, 灌河口潮间带以光滑河篮蛤(*Potamocorbula laevis*)的优势度最高, 其 *IRI*=15.71, 远高于其他种, 这主要是由于 H09、H13 站位, 特别是 H11 站位发现了较多的光滑河篮蛤, 且其丰度及生物量均为各物种中最高。入海河段优势种

为中华拟蟹守螺(*Cerithidea sinensis*), 其 *IRI*=7.30。

2.3 大型底栖动物的丰度及生物量

灌河口潮间带大型底栖动物丰度范围为 0~300 个/m², 平均值为 92 个/m²; 丰度最高值出现在 H11 站位, H08、H10 站位丰度为 0; 生物量范围为 0~94.7 g/m², 平均值为 20.9 g/m²; 生物量最高的为 H11 站位(表 3)。灌河入海河段大型底栖动物丰度范围为 0~375 个/m², 平均值为 180 个/m², 丰度最高值出现于 R03 站位, 而 R01 站位丰度为 0。大型底栖动物生物量范围为 0~112.3 g/m², 平均值为 52.5 g/m²; 生物量最高值出现于 R02 站位。

表 2 灌河口潮间带及其入海河段大型底栖动物种类组成及其 *IRI*

Tab.2 The species and *IRI* of macrobenthos in the intertidal zone and near sea section of Guan River

门	纲	科	种	站位	<i>IRI</i>	
软体动物门 Mollusca	Gastropoda	田螺科 Viviparidae	铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	R02、R05	6.00	
			梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>	R02、R03、R05	6.66	
			环棱螺 <i>Bellamya</i> sp.	R04	0.18	
		腹足纲	椎实螺科 Lymnaeidae	静水椎实螺 <i>Lymnaea stagnalis</i>	R03	0.18
				汇螺科 Potam ididae	中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>	R03、R05
		拟沼螺科 Assmineidae	拟沼螺 <i>Assiminea latericea</i>	R02、R03	5.13	
			拟沼螺 <i>Assiminea</i> sp.	H12	0.18	
			马蹄螺科 Trochidae	托氏瑁螺 <i>Umbonium thomasi</i>	H13	0.70
		双壳纲	绿螂科 Lauconomitidae	中国绿螂 <i>Glaucanome chinensis</i>	H09	0.27
				Bivalvia 篮蛤科 Corbulidae	光滑河篮蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>	H09、H13、H11

表 3 各站位大型底栖动物丰度、生物量

Tab.3 The abundance and biomass of macrobenthos in different sampling stations

站位	R01	R02	R03	R04	R05	河段均值	H08	H09	H10	H11	H12	H13	潮间带均值
丰度(个/m ²)	0	250	375	25	250	180	0	100	0	300	25	125	92
生物量(g/m ²)	0	112.3	46	0.8	103.3	52.5	0	16.1	0	94.7	1.2	13.7	20.9

2.4 大型底栖动物多样性

本次调查各站位发现的大型底栖动物种类都较少, R01、H08、H10 站位未发现, R04、H11、H12 也仅发现一种, 最多的站位 R03 也仅发现了 4 种。各站位大型底栖动物的 *H'*、*J'* 及 *d* 都较低, 而 *D*₂ 较高(表 4)。灌河口潮间带种数平均值为 1 种, 波动范围 0~2 种; *H'* 平均值 0.30, 波动范围 0~0.97; *J'* 平均值 0.17, 波动范围 0~0.56; *d* 平均值 0.05, 波动范围 0~0.15; *D*₂ 平均值 0.67, 波动范围 0~1.00。灌河入海河段种数平均值为 2.2 种, 波动范围为 0~4 种; *H'* 平均值 0.89, 波动范围 0~1.75; *J'* 平均值 0.51, 波动范围 0~1.00; *d* 平均值 0.17, 波动范围 0~0.35; *D*₂ 平均

值 0.69, 波动范围 0~1.00。

3 讨论

本次调查发现的物种数、丰度较低, 导致了 *H'*、*J'* 及 *d* 等多样性指数也都较低, *D*₂ 较高。特别是生物量并不低, 这是因为发现的物种均为软体动物, 是典型的低丰度、高生物量物种。*H'* 能够较好的指示沉积物环境有机质污染状况, 一般污染评价划分为 5 类, 即 *H'*=0 为严重污染; 0<*H'*≤1, 重度有机质污染; 1<*H'* 2, 中等有机质污染; 2<*H'* 3, 轻度有机质污染; *H'*>3, 清洁^[18]。可见灌河口及其入海河段有 6 个站位为严重污染, 2 个站位为重度有机质污染, 3 个站位为中度有机质污染。表明该海域潮间

表 4 灌河口潮间带及其入海段大型底栖动物的主要生态学参数

Tab. 4 The main ecological parameters of macrobenthos in the intertidal zone and near sea section of Guan River

站位	种数 S	Shannon-Wiener 指数 H'	均匀度 J'	丰富度 d	优势度 D_2
H08	0	0	0	0	0
H09	2	0.81	0.46	0.15	1.00
H10	0	0	0	0	0
H11	1	0	0	0	1.00
H12	1	0	0	0	1.00
H13	2	0.97	0.56	0.14	1.00
潮间带均值	1	0.30	0.17	0.05	0.67
R01	0	0	0	0	0
R02	3	1.52	0.87	0.25	0.80
R03	4	1.75	1.00	0.35	0.73
R04	1	0	0	0	1.00
R05	3	1.16	0.66	0.25	0.90
河段均值	2.2	0.89	0.51	0.17	0.69

带呈重度有机质污染的生境状况，已导致底栖生物群落结构单一，生态系统脆弱，大型底栖动物的沙漠化程度较重。

3.1 大型底栖动物与沉积物中重金属、SVOCs 的相关性

杨丽等^[19]研究认为，沉积物中重金属含量在一定程度上对不同类群的底栖动物有着不同的影响。由于本次调查发现的物种以腹足纲为主，故本研究仅将大型底栖动物的生物量、丰度、 H' 与表层沉积物中铅、汞等 7 种重金属以及 2, 4, 6-三硝基甲苯、SVOCs 等有机污染物的浓度进行相关性(R , $n=11$, $P<0.01$)分析(表 5)。结果发现：大型底栖动物丰度与表层沉积物中敌敌畏浓度呈显著正相关，与镉、芬浓度呈低度正相关，与总 SVOCs、2, 4-二硝基甲苯、锌、总 OCPs、总铬等浓度呈低度负相关，与其它污染因子浓度均为弱相关。构成影响

其生物丰度的主要污染因子由强到弱依次是：敌敌畏>镉>总 SVOCs>2, 4-二硝基甲苯>锌>总 OCPs>总铬>芬。

大型底栖动物生物量与表层沉积物中镉、敌敌畏、芬浓度呈低度正相关，与汞浓度显著负相关，与总 OCPs 浓度为低度负相关，与其他污染因子浓度均为弱相关。构成影响其生物量的污染因子由强到弱依次是：汞>镉>敌敌畏>芬>总 OCPs。

大型底栖动物的 H' 与表层沉积物中镉浓度呈显著正相关，与总 SVOCs 浓度呈显著负相关，与汞、总 OCPs 呈低度负相关，与其他污染因子均为弱相关。构成影响 H' 的污染因子由强到弱依次是：敌敌畏>总 SVOCs>汞>总 OCPs。与部分污染因子相关性见图 2。

本次调查的大型底栖动物的生物量、丰度、 H' 与金属镉浓度呈显著或低度正相关，而与汞、锌、

表 5 沉积物中污染物与底栖动物特征的相关性(R)分析

Tab. 5 The analysis of relevance between characteristics of macrobenthos and pollution factors in sediment

污染物	汞	总铬	铜	锌	铅	镉	砷	R_f
丰度	-0.2757	-0.316	-0.010	-0.3304	+0.1349	+0.4798	-0.2110	-0.01
生物量	-0.5769	+0.1273	+0.0412	-0.2606	+0.2425	+0.4461	-0.0938	-0.3311
H'	-0.4621	-0.0707	-0.0224	-0.2044	+0.1277	+0.2707	-0.2159	-0.1721
污染物	芬	2, 4-二硝基甲苯	2, 4, 6-三硝基甲苯	敌敌畏	PAHs	OCPs	SVOCs	
丰度	+0.3153	-0.4119	-0.2543	+0.5638	-0.0164	-0.3195	-0.4773	
生物量	+0.3145	-0.1470	-0.2274	+0.3594	+0.0045	-0.300	-0.2828	
H'	+0.0954	-0.1483	-0.2191	+0.5902	-0.1879	-0.3094	-0.5319	

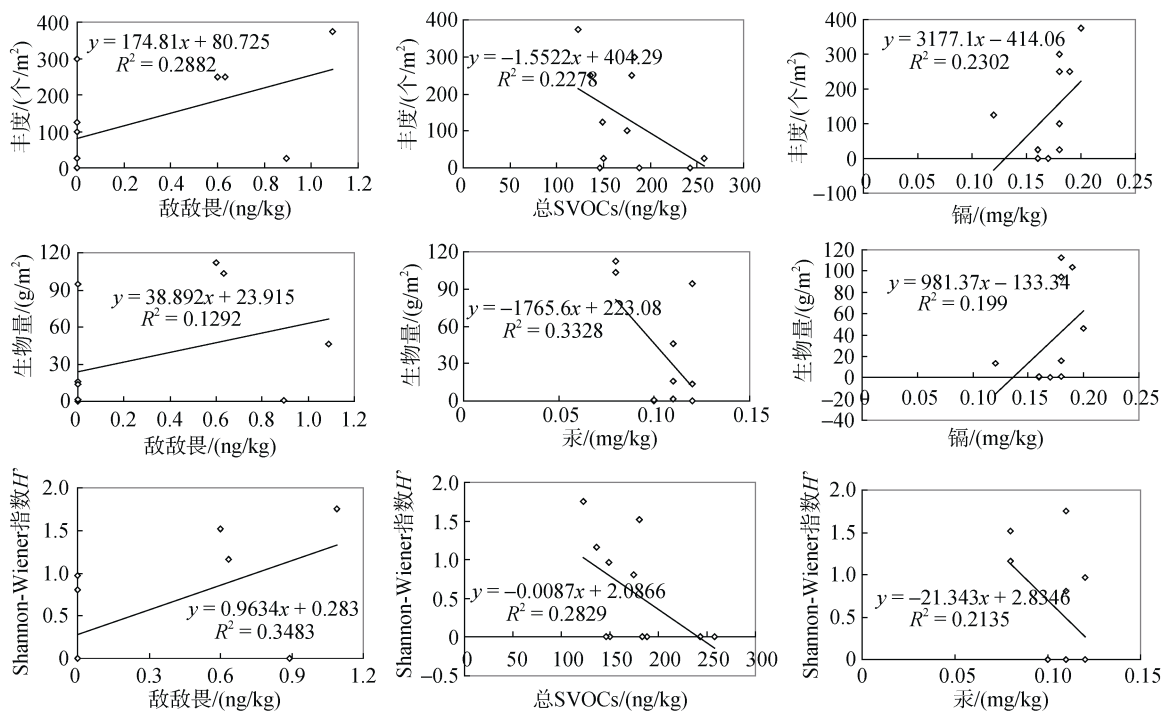


图2 大型底栖动物生物量、丰度及 *H'* 与沉积物中部分污染因子的相关性

Fig. 2 The relevance between the partial pollution factors and abundance, biomass and *H'*

总铬等浓度显著或低度负相关, 说明大型底栖动物对重金属汞、锌、铬和镉浓度敏感, 镉浓度对生物量、丰度、*H'*有着较大的正面影响, 重金属汞、锌和总铬浓度对大型底栖动物种类数等都有一定程度的负影响, 易导致物种单一化。杨丽等^[19]对深圳湾福田潮滩重金属含量及对大型底栖动物的影响研究表明, 除铬外, 寡毛类丰度与锌、铜浓度、镉、*R_f* 污染指数呈显著正相关关系, *H'*、Margalef 指数(*d*) 与铅、镍浓度呈显著负相关关系。可见金属镉的对生物丰度的影响研究结论和本研究是一致的, 而锌、铬的浓度对生物量、丰度、*H'*的影响结论正好相反。

从生物量、丰度、*H'*与有机污染因子总 OCPs、总 SVOCs、2, 4-二硝基甲苯、2, 4, 6-三硝基甲苯浓度都呈负相关, 特别是总 OCPs、总 SVOCs 浓度对种类数、生物量、丰度和 *H'*有着较大的负面影响, 说明总 OCPs、总 SVOCs 等有机污染物更易导致生物量减少、物种单一化。但与敌敌畏、芬浓度呈正相关, 特别是敌敌畏浓度对生物量、丰度、*H'*有着较大正面影响, 可能是一定浓度的敌敌畏对其大型底栖动物生长环境起着促进作用, 但这方面的研究非常少, 可在不受外界环境因子影响的条件下, 通过实验室生态毒理实验来深入研究其对各类(种)大型底栖动物的影响。

3.2 大型底栖动物与周边海域的比较

为了解灌河口潮间带大型底栖动物生态变化状况, 本研究将调查结果同周边海域的潮间带历史调查资料^[20-25]进行比较(表 6)。由于目前在各个海域进行的大型底栖动物的研究较为零散, 特别是研究的目的不同, 研究者的野外调查范围也各不相同, 站位设置也疏密不一, 造成了数据可比性较差。但通过比较仍发现, 虽然调查都以秋季为主, 本次调查的种数、丰度、生物量及 *H'*等基本都低于附近海域的潮间带, 仅丰度高于 2008 年 11 月非常邻近的海州湾田湾核电站海域的潮间带^[21]。造成这种现象的原因可能有: 一是灌河沿岸 4 个化学工业园排放的大量化工废水, 导致了该区域生态环境恶化。灌河口海域沉积物^[9-10]、水质调查监测数据也表明该海域 2, 4-二硝基甲苯、2, 4, 6-三硝基甲苯等多种有毒有害的 SVOCs 均有检出, 无机氮、活性磷、重金属等污染较重也表明该海域生态环境质量下降, 已不适宜部分大型底栖动物的生存。二是灌河口海域沿岸码头建设、航道疏浚工程等产生了较大的人为扰动。赵永强等^[26]研究也认为入海河口是海陆作用最为剧烈、生态结构最为复杂的区域之一, 同时也是人类干扰最为频繁, 污染最为严重的区域之一。三是 R01、

表 6 潮间带大型底栖动物种数与周边海域的对比

Tab. 6 The comparison of Macrobenthos between intertidal zone and around sea area

海域	调查时间(年-月)	站位数	种数	丰度(个/m ²)	生物量(g/m ²)	H'	文献来源
海州湾灌河口潮间带	2011-10	6	4	0~300(92)	0~94.7(20.9)	0~0.97(0.30)	本研究
海州湾灌河口入海口	2011-10	5	6	0~375(180)	0~112.3(52.5)	0~1.75(0.89)	本研究
海州湾射阳河口潮间带	2009-10	4	12	30~1700	25~2550	0.303~0.852	[20]
海州湾田湾核电站南侧潮间带	2008-11	3	19	32.0~66.0(46.0)	24.14~55.24(36.7)	1.11~1.65	[21]
海州湾田湾核电站北侧潮间带				36.0~54.0(43.8)	13.28~34.88(27.3)	1.53~2.28	
黄河入海口潮间带	2008-08	5	65*	698.67±195.73	232.78±127.51	1.76±0.73	[22]
	2009-08			1473.87±588.69	174.53±58.53	0.86±0.50	
胶州湾红石崖潮间带	2003-11	3	24	618.67	108.10	—	[23]
海州湾潮间带	2002-06	5	98	953	257.30	1.186~3.932	[24]
胶州湾大沽河潮间带	2009-11	35	49	139.6	254.9	—	[25]

*为 2008 年 05 月至 2009 年 08 月 4 次调查总种数

H10 等站位处于河口与海洋交汇处, 受淡水及海水的双重影响, 底质受河水水流及涨落潮潮汐流的不断冲刷^[27], 物理化学因子变化剧烈, 大型底栖生物不易在此处生存。

潮位对大型底栖动物群落物种数、生物量和丰度等影响较大。Edgar 等^[28]研究认为从高潮带向低潮带, 物种数、密度和生物量会不断增高; Boehs 等^[29]研究认为较高的潮带, 特别是中、高潮带间软体动物的密度和多样性均下降; Honkoop 等^[30]研究也认为较低潮带的物种数和密度较大; 本次调查物种数和生物量等都较低, 也可能是本次调查仅限于灌河口海域中潮带, 未能全面反映灌河口潮间带的真实生境状况。

河口海域生态环境变化是多种综合因素长期累积的表现, 灌河口海域的工业高速发展、泊位建设、航道疏浚工程、沿岸化学工业园排污等因素都对该海域的生态环境造成了较大影响。宋晓娟、贺心然等^[8-10]指出灌河口海域表层沉积物中重金属污染不断加重, 尤其是 Hg、Zn 等浓度显著上升, 同国内部分海域相比, Zn 的浓度最高、Hg 浓度较高、其它 5 种重金属处于中等以上水平。PAHs、SVOCs 污染物均有检出, 以芴(FLU)为主的负面生物毒性效应会偶尔发生。生态环境的变化应是导致本次调查的大型底栖生物较少的重要因素。为了解该海域生态环境状况的发展趋势, 需对该海域水质、沉积物、底栖生物等生态环境进行全面的跟踪调查监测, 并在此基础上制订科学合理的生态修复规划, 以促进灌河口海域经济的和谐发展。

参考文献:

[1] 田胜艳, 张文亮, 张锐. 大型底栖动物在海洋生态系

统中的作用[J]. 盐业与化工, 2009, 38(2): 50-54.

[2] Somerfield P J, Cochrane S J, Dahle S, et al. Free-living nematodes and macrobenthos in a high-latitude glacial fjord[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2006, 330(1): 284-296.

[3] 戴纪翠, 倪晋仁. 底栖动物在水生生态系统健康评价中的作用分析[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2107-2111.

[4] 茉莉 C M, 帕森斯 T R. 底栖生物. 见: 生物海洋学导论[M]. 张志南, 周红, 译. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000: 153-192.

[5] 窦长娥, 刘吉堂, 路吉坤, 等. 灌河口附近海域水质状况调查研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 32(10): 29-32.

[6] 方涛, 贺心然, 冯志华, 等. 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4567-4574.

[7] 黄家祥, 殷勇, 徐军, 等. 苏北灌河口潮间带表层沉积物重金属空间分布特征及其环境效应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 23-32.

[8] 宋晓娟, 贺心然, 陈斌林, 等. 灌河口海域表层沉积物中重金属的污染变化及潜在生态危害[J]. 海洋科学, 2013, 37(5): 25-32.

[9] He X R, Pang Y, Song X J, et al. Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Guan River Estuary, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 80(1): 52-58.

[10] He X R, Song X J, Pang Y, et al. Distribution, sources, and ecological risk assessment of SVOCs in surface sediments from Guan River Estuary, China[J]. Environmental Monitoring And Assessment, 2014,

- 186(7): 4001-4012.
- [11] 国家质量监督局, 中国国家标准化管理委员会. GB17378.7-2007 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 12-22.
- [12] 国家质量监督局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763 6-2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 41-44.
- [13] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. California Department of Fish and Game Fish Bulletin, 1971, (152): 1-105.
- [14] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [15] Margalef R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton[C]// Buzzati-Traverso A A. Perspectives in Marine Biology. University of California, Press, 1958, 323-349.
- [16] Pielou E C. Ecological Diversity [M]. New York: John Wiley, 1975. 16-51.
- [17] LARS Håkanson. An ecological risk index for aquatic pollution control-A sediment ecological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.
- [18] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646.
- [19] 杨丽, 蔡立哲, 童玉贵, 等. 深圳湾福田潮滩重金属含量及对大型底栖动物的影响[J]. 台湾海峡, 2005, 24(2): 157-164.
- [20] 侯森林, 余晓韵, 鲁长虎. 盐城自然保护区射阳河口潮间带大型底栖动物空间分布与季节变化[J]. 生态学杂志, 2011, 02: 297-303.
- [21] 唐峰华, 沈新强, 张衡, 等. 连云港田湾核电站附近潮间带底栖动物的群落生态[J]. 华南农业大学学报, 2012, 01: 96-101.
- [22] 王志忠, 张金路, 陈述江, 等. 黄河入海口潮间带大型底栖动物群落组成及次级生产力[J]. 海洋环境科学, 2012, 05: 657-661.
- [23] 王洪法, 李宝泉, 张宝琳, 等. 胶州湾红石崖潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. 海洋科学, 2006, 09: 52-57.
- [24] 高爱根, 杨俊毅, 曾江宁, 等. 海州湾潮间带大型底栖动物的分布特征[J]. 海洋学研究, 2009, 01: 22-29.
- [25] 张崇良, 徐宾铎, 任一平, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化[J]. 生态学报, 2011, 17: 5071-5080.
- [26] 赵永强, 曾江宁, 高爱根, 等. 椒江口滩涂大型底栖动物群落格局与多样性. 生物多样性, 2009, 17(3): 303-309.
- [27] 谢金赞. 灌河口外水文动力条件分析[J]. 河海大学学报, 1987, 5: 12-20.
- [28] Edgar G J, Barrett N S. Benthic macrofauna in Tasmanian estuaries: Scales of distribution and relationships with environmental variables [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 270: 1-24.
- [29] Boehs G, Absher T H, Cruz-Kaled A D. Composition and distribution of benthic molluscs on intertidal flats of Paranagua Bay (Parana, Brazil) [J]. Scientia Marina, 2004, 68: 537-543.
- [30] Honkoop P J C, Pearson G B, Lavaleye M S S, et al. Spatial variation of the intertidal sediments and macrozoobenthic assemblages along Eightymile Beach, Northwestern Australia [J]. Journal of Sea Research, 2006, 55: 278-291.

Ecological studies of macrobenthos in the intertidal zone and near sea section of Guan River in autumn

HE Xin-ran^{1, 2}, CHEN Bin-lin², GAO Wen-jie³, CAO Guang-lin², FANG Tao⁴,
CHAO Song-ran², JI Xiang-xing²

(1. College of Environment; Hohai University; Nanjing 210098, China; 2. Lianyungang Environmental Protection Bureau Lianyungang Environmental Monitoring Central Station Lianyungang Environmental Protection Scientific Research Institution; Lianyungang 222001, China; 3. College of life science, Shandong University, Jinan 250100, China; 4. Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

Received: Jul., 19, 2014

Key words: Guan River Estuary; intertidal zone; the near sea section ; macrobenthos; ecology

Abstract: The macrobenthos community at 11 sampling stations in the intertidal zone and near sea section of Guan River was investigated in October 2011. A total of 10 species were identified and all of them belong to Mollusca. In Guan River Estuary intertidal zone, the dominant species was *Potamocorbula laevis*, with an average abundance of 92 ind./m², and an average biomass of 20.9 g/m². In the near sea section, the dominant species was *Cerithidea sinensis*, with an average abundance of 180 ind./m², and an average biomass of 52.5 g/m². Compared with previous studies, the abundance, biomass and Shannon-Wiener index of macrobenthos were lower than the adjacent area. Correlation analysis showed that the concentrations of dichlorvos, OCPs, SVOCs, Cd, Hg, Zn and Total Cr had a significant impact on biomass, abundance and H' of the macrobenthic assemblages. The results showed that the construction of wharf and the sewage of four Chemical Industry Park had a great artificial disturbance on the sea. It was concluded that the surrounding environment of this area is no longer suitable for the survival of some macrobenthic species. We need to carry out further survey on this area and develop ecological protection measures and restoration plans. This paper provides basic data for ecological study of Guan River Estuary.

(本文编辑: 康亦兼)