

芝罘湾底质环境因子对底栖动物群落结构的影响^{*}

张波 高兴梅 宋秀贤 马锡年 孙德会[†]

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

[†](烟台港务局环境监测站 烟台 264000)

提要 根据1993年8月所做的芝罘湾环境调查资料,选取底栖生物中的甲壳类、软体动物、棘皮动物、多毛类及其中10个代表种与12项环境因子进行了典型生物种类与环境因子间的多元回归分析,对重金属和石油在生物体的累积以及一些环境污染的指示生物进行讨论,并与该海域历史资料作了对比分析。结果表明,该海域环境因子的变化导致底栖动物群落组成的变化。

关键词 芝罘湾 底质环境 底栖动物 回归分析

学科分类号 Q178.1

水体中的各类污染物以不同的方式进入到沉积物中(吴喻端,1978),引起底质环境变化,进而影响底栖生物的结构和组成。底栖动物通过摄食、排泄、掘穴等生命活动影响沉积物中污染物的分布(Fowler, 1982)。污染物的生物累积、转移、毒性效应等因生物的种类、群落而异,且受各种环境因子的综合影响,导致生物群落结构的改变(Sanders *et al.*, 1980)。因此,底栖生物群落的结构和组成能反映底质的环境质量。

芝罘湾水质和底质主要受烟台市工业废水和城市生活污水以及港口作业等的影响,本文根据1986年和1993年两次环境调查资料的比较研究发现,其底质环境已发生较明显的改变,相应的底栖生物群落的组成和结构也发生了较大的改变。本文讨论了芝罘湾底栖动物和底质环境质量的关系。

1 材料和方法

1.1 样品采集和分析

1993年8月在芝罘湾海域设站20个,从芝罘岛东角至崆峒岛东角、鱼台咀至崆峒岛东角以内方圆约10平方海里,实测站位19个,站位密度约1.9站/平方海里(图1)。用HNM采泥器采集底栖生物及底泥样品,生物样品、环境因子分析是按《海洋监测规范》的规定进行的,各项的分析方法及其检出限如表1所示。

1.2 数据分析

* 中国科学院院长基金支持项目, A64951121号。张波,男,出生于1965年10月,实验师, Fax: 0086-0532-2870882

收稿日期: 1996-01-05, 收修改稿日期: 1997-09-12

表1 沉积物各分析项目的分析方法及其检出限

Tab.1 Approaches to determine the various contents in sediment and their detection limit

项目	分析方法	检出限
Eh	电位计法	
Hg	冷原子吸收光度法	5.0×10^{-9}
Cu	火焰原子吸收分光光度法	1.4×10^{-6}
Pb	火焰原子吸收分光光度法	3.0×10^{-6}
Zn	火焰原子吸收分光光度法	5.8×10^{-6}
Fe	火焰原子吸收分光光度法	
Mn	火焰原子吸收分光光度法	
Cr	无火焰原子吸收分光光度法	1.7×10^{-6}
Cd	无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}
油	荧光分光光度法	2.0×10^{-6}
有机质	重铬酸钾氧化-还原容量法	
硫化物	碘量法	4.0×10^{-6}

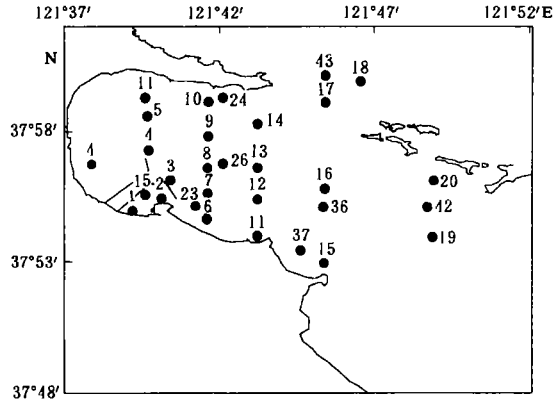


图1 芝罘湾调查站位

Fig.1 Sampling stations in Zhifu Bay, Yellow Sea

该海域实测站位 19 个(5 号站因处于养殖区,未测),共获底栖生物 87 种,其中多毛类 40 种,软体动物 27 种,棘皮动物 6 种,甲壳类 11 种,其它 3 种,以多毛类密度和出现频率高而居优势(吴耀泉,1994)。以上述四类底栖动物及从中选取具代表性的 10 个种的密度值对 12 项环境因子进行回归分析,结果如表 2 所示。

f_1 和 f_2 的计算式如下: $f_1 = k; f_2 = n - k - 1$ 。其中 k 为变量的个数, n 为调查的站位数。

表2 底栖动物与环境因子回归分析结果

Tab. 2 Results of regression relationships between the benthos and environmental factors in Zhifu Bay, Yellow Sea

种 类	Eh	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Fe
长叶索沙蚕			-9.23				50.45	-1311.3
索沙蚕	-1.26		-18.56	-38.61	36.41	-4893.06	-37.42	
多丝独颚虫			35.344					-951.52
须颚虫	1.15		8.126					
纓颚虫科	0.09	816.54	-2.716	2.03	-0.49		1.836	
金氏蛇尾	2.04	6318.5	-17.26			-4053.57	16.31	
薄壳滑顶鸟蛤					-1.048	-456.42		
明细白纓蛤	-0.159	-655.61		0.995	0.46		-2.511	
砂海螂				0.488	-0.24	214.00	-0.843	13.432
螺赢蛭			-1.47	4.022		384.37	-1.454	
多毛类		-13902.7			43.2			-3433.6
软体动物							-3.037	
甲壳类		1040.80	-7.804	12.704		1161.14		-129.24
棘皮动物	1.88	7703.23	-22.49			-3890.4	18.62	

续表2

种 类	Mn	油	有机质	S ²⁻	B	K	F
长叶索沙蚕					1659.17	0.574	2.46
索沙蚕					-84.07	0.972	34.22
多丝独鳃虫	3.828	-78.91	1516.4		-892.57	0.962	32.33
须鳃虫	0.206	-3.814	-200.43	1.328	-98.782	0.990	95.48
缨鳃虫科	-0.152				27.088	0.896	4.856
金氏蛇尾	-1.19				615.58	0.665	1.58
薄壳滑顶鸟蛤		0.966	45.983	0.048	89.122	0.643	1.836
明细白缨蛤	0.04	1.403	62.515	-0.012	-37.993	0.989	45.91
砂海螂				0.037	-0.215	0.944	16.4
螺赢蜚	0.05	1.987	29.05		-60.492	0.944	130.3
多毛类	8.7	-68.5	3378.0		-594	0.921	11.1
软体动物	0.191		59.39		57.204	0.583	2.40
甲壳类			161.41		-1.046	0.924	10.76
棘皮动物	-1.47				713.21	0.619	1.14

从表 3 可以看出与各底栖生物的种或类有关的变量数是不同的。因此,其相应的 f_1 和 f_2 也不相同。根据 (值和 f_1, f_2 值,可以从“ F 检验的临界值表”中查出该方程的关系是否显著。 F 值大于 $F_{f_1, f_2}(\alpha)$ 者,就是在 α 置信度时,其关系是显著的;反之则不显著。表 3 列出了与各种类底栖生物有关的变量数、 f_1, f_2 值及其相应的 $F(\alpha)$ 临界值。

表3 各种类底栖生物的 k, f_1, f_2 及其相应的 $F(\alpha)$ 值Tab.3 Values of k, f_1, f_2 and $F(\alpha)$ for the various type of benthos in Zhifu Bay, Yellow Sea

底栖生物种类	k	f_1	f_2	$F(0.05)$	$F(0.01)$	F
长叶索沙蚕	3	3	15	3.29	5.42	2.64
索沙蚕	6	6	12	3.00	4.82	34.22
多丝独鳃虫	5	5	13	3.03	4.68	32.33
须鳃虫	6	6	12	3.00	4.82	95.48
缨鳃虫科	7	7	11	3.01	4.89	4.86
金氏蛇尾	6	6	12	3.00	4.82	1.58
薄壳滑顶鸟蛤	5	5	13	3.03	4.86	1.84
明细白缨蛤	9	9	9	3.18	5.35	45.91
砂海螂	6	6	12	3.00	4.82	16.4
螺赢蜚	7	7	11	3.01	4.89	137.27
多毛类	6	6	12	3.00	4.82	11.1
软体动物	3	3	15	3.29	5.42	2.40
甲壳类	6	6	12	3.00	4.82	10.76
棘皮动物	6	6	12	3.00	4.82	1.14

2 结果和讨论

2.1 底栖生物与栖息环境的关系

由表 3 可以看出,多毛类、甲壳类回归方程显著,而软体和棘皮类不显著;其置信度 α

值为 0.01, 以种来看, 索沙蚕 (*L. latreilli*), 多丝独鳃虫 (*Tharyx multifilis* Moore)、须鳃虫 (*Cirriiformia tentaculata*)、纓鳃虫科 (Sabellidae)、明細白纓蛤 (*Macoma praetexta*)、砂海螂 (*Mya arenaria*)、螺贏蜚 (*Corophium* sp.) 的回归方程显著, 除纓鳃虫科的 F 值仅大于 $F(0.05)$ 外, 其余均大于 $F(0.01)$ 。而长叶索沙蚕 (*Lumbrineris longifolia* Imajima et Higuchi)、金氏蛇尾 (*Ophiura kinbergi*)、薄壳滑顶鸟蛤 (*Fulvia mutica*) 的回归方程不显著。

根据方程的显著性, 得出对底栖生物影响有显著性作用的环境因子, 底质中锌、锰、汞、有机质的含量制约着多毛类的密度, 汞、铜、铅、镉、有机质的含量对甲壳类密度大小起显著作用。方程显著的代表种的主要栖息环境因子列于表 4。

表4 回归方程显著种的主要栖息环境因子

Tab.4 Characteristics of the dominant environmental factors affecting the significantly related species in Zhifu Bay, Yellow Sea

种 名	Hg($\times 10^{-6}$)	Cu($\times 10^{-6}$)	Pb($\times 10^{-6}$)	Zn($\times 10^{-6}$)	Cd($\times 10^{-6}$)	Cr($\times 10^{-6}$)
须鳃虫		35.56—228				
多丝独鳃虫		15.73—93.06				
索沙蚕		15.73—93.06	33.79—49.75	79.62—203.1	0.007—0.108	31.15—97.63
明細白纓蛤	0.014—0.645		33.91—68.51	82.22—306.9		34.13—87.03
砂海螂			30.98—38.55	79.62—131.4	0.01—0.095	31.35—55.31
螺贏蜚		18.53—228.3	33.91—68.51		0.007—0.273	34.13—87.03
纓鳃虫	0.014—0.256	16.52—93.06	33.79—48.97	82.22—168.9		34.13—59.36
种 名	Fe(%)	Mn($\times 10^{-6}$)	油($\times 10^{-6}$)	有机质(%)	$S^2(\times 10^{-6})$	Eh/(mV)
须鳃虫		354—623.8	6.83—157	1.073—4.473	164.1—914.1	-320—-155
多丝独鳃虫	1.857—4.47	342.4—707.7	0—23.7	0.313—2.524		-279—-108
索沙蚕						
明細白纓蛤		345.2—494.8	1.50—157	0.341—4.473		
砂海螂	2.412—2.668				2.72—914.1	
螺贏蜚		342.4—494.8	2.10—157	0.341—4.473		
纓鳃虫		342.4—557.6				-240—-108

2.2 环境变化对底栖动物群落结构的影响

2.2.1 底质环境因子的变化 参考 1986 年所做的底质环境调查 (该次调查分析方法也是按海洋监测规范进行的, 与表 1 所列的方法相同), 选取相同区域的相同因子进行对比分析, 结果列于表 5。

由表 5 可知, 除汞和镉外, 其余各项的含量无论绝对值还是平均值, 1993 年比 1986 年均大幅度提高, 以平均值之比看, 铜高达 29 倍、铅达 14 倍、锌达 13 倍、硫化物约达 8 倍、铬达 2 倍, 其相应站位超标率为 35%, 100%, 95%, 15%, 10%。本次检测结果与海岸带底质环境标准 (汞、铜、铅、锌、镉、铬、油、硫化物、有机质计九项) 相比, 1, 2, 3, 4 号站超标项目依次为 7, 4, 5, 4 项, 表明港池附近底质污染较重。综观整个海域, 污染物质的分布呈由港池及沿岸向湾中心扩散的趋势, 受控于该海域潮流场的作用。

2.2.2 底栖生物群落的改变 在 1986 年春、夏二季进行的底栖生物调查中共获棘皮动物 7 种、软体动物 7 种、节肢动物 5 种, 以罗氏海盘车 (*Asterias rollestoni*)、海燕 (*Asterina*

表5 底质环境因子的统计分析($\times 10^{-6}$)

Tab.5 Statistics of the benthic environmental factors in Zhifu Bay, Yellow Sea

年份	统计	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	硫化物
1986 ¹⁾	最小值	0.03	0	0	0	0	9.64	0.59
	最大值	0.37	7	13	37.5	0.4	64.4	86.99
	平均值	0.096	1.45	2.90	9.23	0.16	23.86	21.66
	超标率 ²⁾	10	10	0	0	0	0	0
1993	最小值	0.01	15.7	31.0	79.6	0.007	31.2	1.65
	最大值	0.645	228	68.5	307	0.273	96.7	914
	平均值	0.084	42.1	40.4	120	0.049	48.3	169
	超标率 ²⁾	10	35	100	95	0	10	15

1) 烟台市环境保护科学研究所, 1986. 烟台港西港池工程环境影响报告书. 1—200

2) 全国海岸带和海洋资源综合调查简明规程编写组, 1985. 全国海岸带和海洋资源综合调查简明规程. 北京: 海洋出版社, IX: 94

pectinifera)、砂海星 (*Luidia quinaris*) 及清洁水质指示种细雕刻肋海胆 (*Temnopleurus toreumaticus*) 等棘皮动物为优势种, 只在个别站位出现中度污染指示种寻氏肌蛤 (*Musculus senhousei*)。本次调查的结果以多毛类为主, 主要有多丝独鳃虫、须鳃虫、索沙蚕、长叶索沙蚕。其次为棘皮类的金氏蛇尾及甲壳类的螺赢蜚, 它们出现在污染较重的 1—4, 7—9 号站, 而须鳃虫只在 1—4 号站出现。以两次调查相邻站位 (15 与 2 号) 为例, 1986 年未出现须鳃虫这样耐污强的种, 1993 年未曾出现清洁种细雕刻肋海胆, 罗氏海盘车。海燕出现在 17, 19 号站, 砂海螂出现在 7 号站, 已不再是优势种, 而金氏蛇尾成为优势种。软体动物以明细白樱蛤和薄壳滑顶鸟蛤为优势种。白樱蛤 (*Macoma balthica*) 在沉积物中油浓度达 $1\ 000 \times 10^{-6}$ 时, 其生长率试验组才低于对照组 (Roesijadi, 1979), 与本文所做的明细白樱蛤与油含量正相关的结论相符。反映出环境因子对种群结构的影响。综上所述, 芝罘湾内无论多毛类、棘皮类还是软体动物和甲壳动物, 都是以 1993 年的耐污性强的种取代 1986 年的适应清洁环境的种而居优势。整个海域底栖动物群落结构 1993 较 1986 年时已发生较大改变, 说明芝罘湾的环境质量在这段时间里有较明显的下降。

2.3 生物累积和指示生物

2.3.1 生物累积

本次调查选取了栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、砂海螂 (*Mya arenaria*)、贻贝 (*Mytilus edulis*) 三种生物做生物体内重金属和石油含量分析, 如表 6 所示。由表 6 可知, 栉孔扇贝和砂海螂对镉浓缩系数最大, 对油浓缩系数最小。紫贻贝所处水域油含量为 4.4×10^{-9} , 低于 Widdows 等 (1982) 所做的使紫贻贝生长率明显降低的北海原油浓度值 ($7—68 \times 10^{-9}$)。砂海螂所处水域油含量为 37.8×10^{-9} , 远低于 Fong (1976) 试验中油的浓度值 $220—370 \times 10^{-9}$, 故该海域油污染尚未对其构成危害, 这与回归分析结果相符。

2.3.2 指示生物

北森良之介 (1966) 根据底栖动物与底质状况将濰户内海分成 4 个带, 须鳃虫处于半污染带、小头虫 (*Capitella capitata*) 处于污染带。表 7 是本次调查小头虫和须鳃虫栖息环境的比较, 从中可以看出, 须鳃虫较小头虫具有更强的耐污性, 其密度高达 $1\ 140$ 个 / m^2 , 小头虫为 40 个 / m^2 , 芝罘湾的结果和北森良之介的结果不一致。另外, 多丝独鳃虫、螺赢蜚也有随栖息环境污染加重其密度增大的趋势, 它们也可做污染指示生物。前已述

表6 生物体内重金属和石油含量及浓缩系数[干重(10^{-6})]

Tab.6 Contents of heavy metals and petroleum in the organisms and their concentration coefficients in Zhifu Bay, Yellow Sea

项	目	Cu	Pb	Zn	Cd	石油
含量	砂海螂	8.17	7.18	1.62	0.77	2.59
	栉孔扇贝	4.20	4.7	39.0	1.3	15.0
	紫贻贝	11.5	4.8	60.5	—	11.3
浓缩系数	砂海螂	3376.0	11770.5	72.5	20610.8	68.5
	栉孔扇贝	1735.5	7704.9	1748.9	35135.1	396.8
	紫贻贝	7278.5	7384.6	1784.7	—	2568.2

及的白樱蛤可做油污染指示生物,这几种生物所处底质环境较北森良之介提出的高许多,反映这些生物对污染环境有较强的适应性。通过生物累积和指示生物的分析可以看出,环境污染加重,生物体内含量增加,同一生物对不同污染物以及不同生物对同一污染物的浓缩系数各不相同,反映了生物对环境的适应性,并据此可将某些典型种做为环境状况的指示生物,本文建议将须鳃虫、多丝独鳃虫、螺赢蜚、白樱蛤等做为污染指示生物。

表7 小头虫与须鳃虫栖息环境的比较

Tab.7 An environmental comparison between *Capitella capitata* and *Cirriiformia tentaculata* in Zhifu Bay, Yellow Sea

		Hg	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
水质 ($\times 10^{-9}$)	小头虫	0.016	2.25	0.70	29	0.54	0.023
	须鳃虫	0.025	2.45	0.69	38.8	0.58	0.073
底质 ($\times 10^{-6}$)	小头虫	0.057—0.645	15.73—228.25	31.15—87.03	79.62—306.91	35.14—68.51	0.01—0.2732
	须鳃虫	0.044—0.645	35.56—228.25	55.31—87.03	131.35—306.9	37.45—68.51	0.095—0.2732

3 结语

通过 1986 和 1993 年二次环境现状调查结果可以看出,芝罘湾底质环境在短短的几年内已发生了较大变化,污染物含量成倍增长,其中重金属污染尤为突出,相应的海域污染面积逐步加大。生物体的浓缩系数也较高,这必将对生物体产生急性或慢性毒性,导致了不耐污生物种群数量的下降或死亡,耐污种群的数量上升,并导致群落组成上的演替,群落功能的演化,反映了环境对生物的作用以及生物对环境的适应性,关于沉积物的环境容量及生态效应等问题有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 国家海洋局, 1991. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社. 69—281
- 吴国富, 1992. 实用数据分析方法. 北京: 中国统计出版社. 28—43
- 吴瑜端, 1978. 长江口海域有害金属的转移机理. 海洋与湖沼, 9(2): 168—182
- 吴耀泉, 1994. 烟台芝罘湾水域底栖动物生态环境特征. 海洋环境科学, 13(3): 1—5
- Fong W C, 1976. Uptake and retention of kuwait crude oil and its effects on oxygen uptake by the soft-shell clam, *Mya arenaria*. J Fish Res Bd Can, 33(12): 2774—2780
- 北森良之介, 1966. 水处理技术. 东京: 东海区水产研究所. 40—43
- Fowler S W, 1982. Pollutant transfer and transport in the sea. Florida: CRC press Inc. 1—65

Roesijadi G, 1979. Marine pollution functional response. New York and London: Academic press. 69—83

Sanders H L, 1980. Anatomy of and oil spill: long-term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth, Massachusetts. J Mar Res, 38:265—380

Widdows J, 1982. Responses of *mytilus edulis* on exposure to the water-accommodated fraction of north sea oil. Mar Biol. 67:15—31

THE EFFECTS OF BENTHIC ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE STRUCTURE OF BENTHOS COMMUNITY IN ZHIFU BAY, YELLOW SEA

ZHANG Bo, GAO Xing-mei, SONG Xiu-xian, MA Xi-nian, SUN De-hui[†]

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

[†](Environmental Monitoring Station of Port Office of Yantai, Yantai, 264000)

Abstract This paper introduces the work of “Environmental impact assessment (phase III) in Yantai harbour” in the sea area of Zhifu Bay, Yantai, in 1993. The samples of benthos were collected using an HNM mud dredger and analysed in laboratory. 87 benthos species were obtained and the biomass and density of these species were derived. 10 representative species (*Lumbrineris latreilli*, *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx multifilis*, *Cirriformia tentaculata*, Sabellidae spp., *Ophiura kinbergi*, *fulvia mutica*, *Macoma praetexta*, *Mya arenaria*, *Corophium* sp.) of Crustacean, Mollusca, Echinoderm, Polychaeta and 12 benthic environmental variables (*Eh*, Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Fe, Mn, oil, organic matter, sulfide) were considered in the study of the relationship between the benthos and environmental factors. The stepwise regression equation of the typical species and their habitat environment was established. Through these analysis, the principal environmental factors controlling the density of some species were identified. The contents of heavy metals and oil in the body of the three species of Mollusca were also analysed and the concentration factors were calculated. At the same time, the indicator organisms of environmental pollution were discussed. Compared to the investigation data in 1986 about the content of the pollutant and the constitution of the benthos, we have the following results:

(1) The content of the benthic environmental factors in Zhifu Bay increased dramatically in recent years with the trend of spreading from the surroundings to the centre of the bay. In particular, the bottom of the harbour pool has been polluted heavily, which is shown by the constitution of the benthos.

(2) The structure of the benthos community has been changed. In 1983, the representative organisms were some species of Echinoderm such as *Asterias vollestonei*, *Asterina pectinifera*, *Luidia quinaria* and the clean water indicator species *Temnoleurus toreumatice*. However, in 1993, the representative species changed to some pollutant-resistant species of *Polychaeta* such as *Tharyx*

multifilism, *Cirriformia tentaculata*, *L. latreilli* and *Lumbrineris Longifolia*. *Temnoleums toreumatic* disappeared, indicating that the constitution of the benthos had been changed from the non pollutant resistant species of Echinpdermata to the pollutant-resistant species of Polychaeta.

(3) A quantitative relationship between the typical species and their habitat environment and the distribution of these typical species indicate that the content of Zn, Mn, Hg, organic matter have an appearant effect on the density of Polychaeta and so do the content of Hg, Cu,Pb, Cd, organic matter on the density of Crustacean.

(4) The content of heavy metals and oil in *Mya arenaria*, *Chlamys farreri*, *Mytilus edulis* and many concentration factors have been obtained. *Tharyx multifilis* Moore, *Corophium* sp., *Macoma praetexta* appear to act as pollution indicator organisms, especially *Macoma praetexta* for oil pollution. The results show that *Cirriformia tentaculate* is more resistant to pollutants than *Capitella capitata* does, this differs from previous conclusions.

The change in environmental factors in Zhifu Bay results in an acute or chronic toxic effect on the organisms; thus, the number of non pollutant resistant species declined, (some even become extinct), while the number of pollutant-resistant species increase resulting in the succession of the community. This process reflects the adaption of the organisms to their environment. This may become an important aspect in the study of biodiversity and conservation biology.

Key words Zhifu Bay Benthic environment Benthos Regression analysis

Subject classification number Q 178.1