

青岛湾有机质污染潮间带底栖生物研究

II. 小型底栖动物生态特点*

党宏月 黄勃

(中国科学院海洋研究所)

张志南

(青岛海洋大学)

用大型底栖动物为指标来指示、监测和评价海洋有机质污染,国内外已有许多研究报道。但是,由于大型底栖动物世代时间较长,对中低度及非急性致死污染的反应迟缓,不够灵敏迅速,因此这方面的工作至今还未见令人满意的结果。随着小型底栖生物学,尤其是生态学在最近几十年的发展,给人们应用底栖生物来指示和监测海洋污染提供了新的科学依据。小型底栖生物的分布广,野外取样方便,世代周期短,保守的生殖策略,对环境的变化反应更灵敏迅速,因此使其在污染监测研究中有着更大的潜力 (Moore & Bett, 1989)。作为小型底栖生物的最优势类群——自由生活海洋线虫,因其具有极高的丰度和多样性,以及身体较坚硬不易破碎等优点,而成为污染监测的研究重点 (Ferris *et al.*, 1979; Heip *et al.*, 1985)。有关污染环境中小型底栖生物的研究,国外已有许多报道,迄今为止,国内还研究甚少。

青岛湾东侧海滩主要接纳青岛市市南区排放的生活污水和混合废水,近年来大规模截污后,张志南等 (1993) 曾在此做过小型底栖动物群落的研究,发现线虫密度与小头虫 (*Capitella Capitata*) 有着相似的分布特点,并根据线虫群落多样性指数、线虫的取食特性及桡足类的相对丰度,对比 Wu Boling *et al.* (1988) 和孙道元等 (1978) 的研究,得出该湾有机质污染程度正在减轻的结论。但到目前为止,尚缺乏对该海区有机质污染状况及其变化的综合的系统研究。

作者于 1991 年 4 月—1992 年 3 月在青岛湾东侧进行了底栖生物调查,本文试图通过对该有机质污染环境中小型底栖生物生态特点的研究,探讨污染指示种、主要类群的丰度、线虫与桡足类的比值 (N/C)、线虫群落的多样性指数和种类组成等诸项生态学参数在有机质污染监测中的适用性和优缺点,为海洋污染监测及环境质量评价提供依据和最优选择。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2687 号。

丁志虎、杨小龙同志提供现场溶解氧分析仪,姜冬火同志协助测定 pH, Eh 和硫化物等环境因子,于子山、程继军、王诗红、季如宝、杨俊毅等同志协助野外取样,在此一并致谢。

收稿日期: 1995 年 5 月 10 日。

一、材料与方 法

在青岛湾 ($120^{\circ}19'E$, $36^{\circ}04'N$) 东侧潮间带沿污水排放方向,在污水沟附近设置一

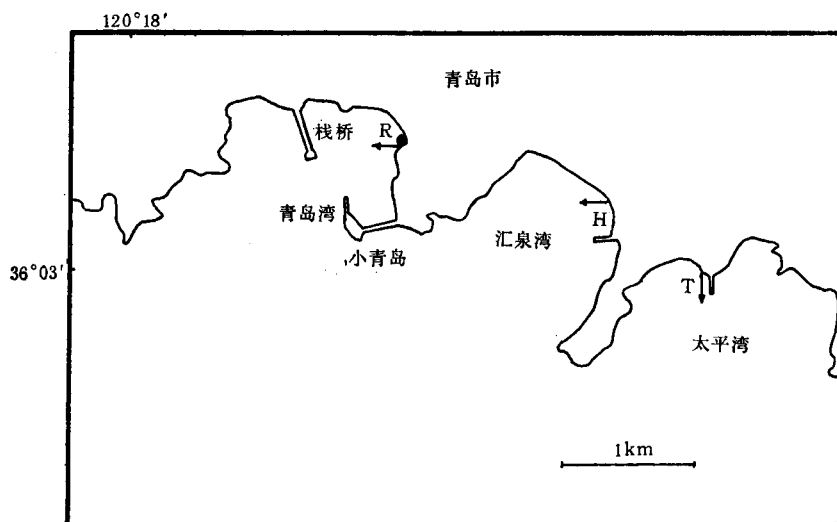


图 1 小型底栖生物取样断面示意图

● 污水排放口; → 取样断面

断面 R, 并在该断面上从排污口开始,由高潮区向低潮区设置 4 个取样站点: RS_1 , RS_2 , RS_3 , RS_4 , 各站点距排污口分别为 5m, 65m, 135m 和 215m。在汇泉湾东侧及太平湾内第二海水浴场东侧潮间带上分别设置一参考断面 H 及 T, 并由高潮区向低潮区分别设置 3 个取样站: HS_1 , HS_2 , HS_3 和 TS_1 , TS_2 , TS_3 。

1991 年 4 月—1992 年 3 月,每季度在断面 R 取生物定量样品一次,考虑到小型底栖动物生活史较短的特点,在季节样品间加采一次(仅做数量分析)(1991 年 5 月 RS_3 , RS_4 站及 1991 年 7 月 RS_4 站,由于海水潮位较高没能露出水面,故这些样品空缺)。并于 1992 年 1 月在两参考断面进行了小型底栖生物的定量取样。用塑料注射器改装的内径为 2.6cm 的取样管,每站取两重复样,取样深度为 5cm,分选用 $45\mu m$ 的网筛。样品的固定、染色、分选、计数、透明、制片、鉴定等过程参考 Higgins & Thiel (1988) 的方法。

每次取生物样品的同时,测水温、气温、底温、海水盐度、底盐及海水和底质间隙水的溶解氧含量 (DO) 等理化因子,1992 年 1 月对各站点进行了沉积物的 pH, Eh 及硫化物的测定和粒度分析。盐度测定用美国 AO 公司生产的袖珍折射式盐度计,溶解氧测定用溶解氧分析仪 YS1 MODEL 58, pH, Eh 和硫化物的测定参考《海洋调查规范》(1975)和《海洋污染调查暂行规范》(1979)的电极法,沉积物粒度分析采用筛析法和沉析法。

本文应用聚类分析方法对自由生活海洋线虫进行了群落分析研究。具体步骤是:(1)以每种动物的密度为原始数据建立原始资料阵;(2)对原始数据取 $\lg(x+1)$ 进行转换;

(3) 取 Bray-Curtis 相异系数建立转换矩阵; (4) 定义类与类之间的距离为离差平方和距离; (5) 逐步归类, 直至最后所有的样品归为一类。

二、结 果

1. 环境因子 以环境因子(表 1, 2) 为标准可将青岛湾东侧潮间带划分为 4 个污化

表 1 青岛湾东侧潮间带环境因子观测值

取样时间	4 月				7 月			10 月				1 月			
取样站号	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₄	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₄	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₄
底温(°C)	21.5	19.0	16.0	15.0	31.0	29.5	27.0	25.0	25.0	25.0	24.5	7.5	7.3	7.3	6.5
底盐	25	28	29	30	20	26	30	23	26	27	29	16	24	25	27
间隙水 DO(mg/L)	0.67	1.93	3.58	4.14	1.13	2.53	3.38	2.68	2.25	3.69	4.06	1.30	2.40	3.40	4.40
氧化层深度 (cm)	0	0	0.1	3.5	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	3.5
底质表面颜色*	B	GB	GY	Y	B	B	GB	B	GB	GY	Y	B	GB	GY	Y
底质 H ₂ S 气味**	+++	++	+	-	+++	++	+	+++	++	+	-	+++	++	+	-
气温(°C)		12.9				28.0			19.0				8.0		
海水温度(°C)		12.8				27.0			24.0				6.2		
海水盐度		30				30			29				29		
海水 DO(mg/L)		8.3				7.6			7.85				8.9		

* B: 黑色; GB: 灰黑色; GY: 灰黄色; Y: 黄色

** +++: H₂S 气味极强; ++: 气味强; +: 气味可感觉到; -: 感觉不到 H₂S 气味

表 2 1992 年 1 月 3 断面各测站底质沉积物理化因子观测值

站 号	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₄	HS ₁	HS ₂	HS ₃	TS ₁	TS ₂	TS ₃
温度(°C)	7.5	7.3	7.3	6.5	6.5	6.2	6.2	7.0	7.0	6.8
盐度	16	24	25	27	26	28	28	28	28	28
间隙水 DO(mg/L)	1.30	2.40	3.40	4.40	8.40	4.70	4.10	4.30	4.30	3.50
pH	7.60	7.73	7.90	8.05	8.10	7.93	7.81	8.11	7.90	7.75
Eh(mv)	-197	-207	-112	127	132	-31	-62	141	-39	-74
硫化物 (mg/kg)	58.3	167.0	153.1	0	0	6.9	33.8	0	11.0	38.7
氧化层深度 (cm)	0	0	0	3.5	>10.0	3.0	2.0	>10.0	3.0	2.5
沉积物中值粒径 (M ϕ)	0.90	2.40	3.80	2.56	0.90	2.82	2.84	2.05	2.81	2.72
四分位离差 (QD ϕ)	1.10	1.53	0.89	0.33	1.50	0.49	0.53	1.69	0.58	0.74
四分位偏态 (SK ϕ)	0.15	-0.08	-0.10	0.00	0.30	0.05	0.04	-0.69	0.04	-0.25
粉沙与粘土含量(%)	0.34	21.44	73.38	0.46	0	0	2.18	2.98	4.62	4.04
沉积物名称及代号	粗沙 CS	细沙 FS	沙质粉沙 ST	细沙 FS	细沙 FS	细沙 FS	细沙 FS	极细沙 VFS	细沙 FS	极细沙 VFS

带: (1) 严重污染带为以位于高潮区 RS₁ 站为中心的一个相对较小的区域; (2) 污染带为以上中潮区 RS₂ 站为中心较大面积的区域; (3) 半污染带为以下中潮区 RS₃ 站为中心的大面积区域, 其环境特点较接近污染带, 但相对污染带已有所改善; (4) 污染边缘带为以低潮区 RS₄ 站为中心的较窄区域, 环境质量已相当接近正常海滨沙质滩水平。与孙道元、陈木 (1978) 的研究相比, 该湾污染程度已有较大的缓解, 现在有机质污染的影响范围仅限于潮间带。

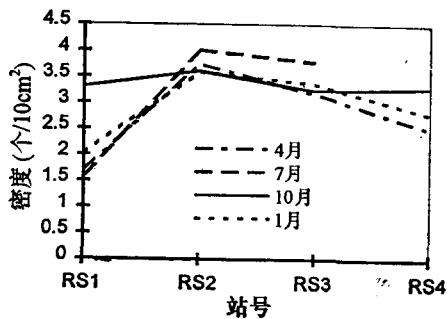


图2 线虫在断面R的总密度分布图(个/10cm²)
密度经 $\lg(x+1)$ 转换(下同)

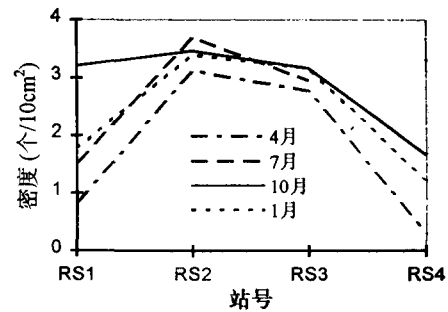


图3 栈桥后瘤线虫 *M. moles* 在断面R的密度分布图(个/10cm²)

从表2可看出,参考断面H和T的环境质量虽明显比断面R好得多,但却比预期值稍差。原因在于汇泉湾东侧曾有一排污口,断面H就设在离原排污口西侧20m的地方,虽已截污多年,但仍可能存在着有机质污染效应的长期影响。而太平湾附近是大片海带和扇贝养殖区,海水有机质及无机营养盐含量均偏高,并且在所设断面的浴场外有一圈防波筑石,使得湾内海水交换能力及海水对底质的冲刷能力均较弱,沉积物中积累了一定量的有机物。因此,不难理解在两参考断面的S₂和S₃站沉积物中均有较低的pH、Eh,并有一定浓度的硫化物。

2. 污染断面R小型底栖生物主要类群的数量及N/C比值 在断面R,全年仅采到线虫(40398条)和底栖桡足类(651只)两类小型底栖动物,线虫数量占绝对优势,其相对丰度为98.41%。不同站位线虫和桡足类的相对丰度略有差异,以线虫为例(桡足类的相对丰度=100%—线虫的相对丰度),RS₁站为89.17%,RS₂站为99.11%,RS₃站为98.95%,RS₄站为94.38%。

线虫最大密度出现在7月RS₂站,高达10298.6个/10cm²。其沿污染梯度分布特点如图2所示,RS₂站年平均密度最高,为4941.1个/10cm²;RS₃站次之,为2929.3个/10cm²;RS₁站密度最低,为556.2个/10cm²。考察4个季节,这种分布具有相当的季节稳定性。

底栖桡足类的最大密度亦出现在RS₂站,年平均为56.1个/10cm²;其次为RS₄站,为48.1个/10cm²;再次为RS₁站,为35.6个/10cm²;最低密度值出现在RS₃站,年平均为28.7个/10cm²。同一站位不同月份间桡足类的密度变化较大。

从总体看,线虫与桡足类密度的比值(N/C)RS₂站最高,其次是RS₃站,而污染最重的RS₁站却最小。并且N/C缺乏季节稳定性(表3)。

表3 污染断面R各测站线虫与桡足类的比值(N/C)

月份	4月	5月	7月	9月	10月	11月	1月	3月	周年混合样品
RS ₁	26.5	23	6.5	14	8.2	2.8	115	4.4	8.2
RS ₂	349.5	740	228.3	∞	15.4	53.76	4128	364.7	111.4
RS ₃	328	—	203.4	98.9	19.9	49	144	∞	94.2
RS ₄	56.6	—	—	1.25	132.3	35.9	110.3	38.0	16.8

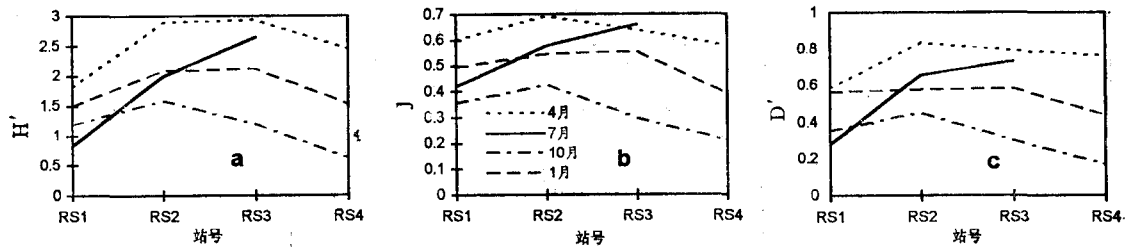


图4 断面R线虫群落的多样性指数

a. Shannon-Wiener 指数 (H'); b. 均匀性指数 (J); c. Simpson 指数 (D')

3. 污染断面R线虫第一优势种栈桥后瘤线虫的数量分布 栈桥后瘤线虫 *Metoncholaimus moles* 的最高密度值出现在7月的RS₂站,达5102.1个/10cm²。其种群的空间分布特点如图3所示,最高密度出现在RS₂站,年平均达2940.1个/10cm²;次高值出现在RS₃站,年平均为1103.8个/10cm²;密度最低值出现在RS₄站,年平均只有20.3个/10cm²。考察周年样品,可以发现 *M. moles* 种群的这种空间分布特点具有相当的季节稳定性。

4. 污染断面R线虫群落多样性指数 线虫群落的 Shannon-Wiener 信息指数 (H')、均匀性指数 (J) 和 Simpson 指数 (D') 沿污染梯度的分布如图4所示。

5. 污染断面R线虫群落种类组成 断面R污染程度不同的4个站线虫种类组成有着较大差异。在污染最重的RS₁站,全年共采到14种线虫,主要优势种是 *Metoncholaimus moles*, *Theristus metaflevensts*, *Chromadorina minor*, *Sabatieria pulchra* 和 *Leptolaimus cf. venustus*。在污染带RS₂站共采到19种线虫,主要优势种是 *M. moles*, *Innocunema* sp. 1, *Paracanthonchus monodons*, *Paramonhystera pellucida* 和 *Desmolaimus zealandicus*。在半污染带RS₃站共采到28种线虫,主要优势种是 *M. moles*, *Marylynnia* sp., *P. monodons*, *Innocunema* sp. 1 和 *S. pulchra*。在污染边缘带RS₄站全年共采到26种线虫,主要优势种是 *Cobbia* sp. 1, *Eleutherolaimus* sp., *Daptonema* sp. 1, *Trichotheristus* sp. 1 和 *Chromadorita* sp. 1。从主要优势种在各站出现的频率可看出,RS₂和RS₃站较为相似,而其余的站间相差较大。因此,可把该潮间带上的4个站划分为3个代表性亚群落:以RS₁站为中心的严重污染带亚群落,以RS₂站为中心,并包括RS₃站的污染带亚群落和以RS₄站为中心的污染边缘带亚群落。

在青岛湾整条断面上,全年共采到45种线虫,除去仅在一个站,且仅在一个采样月出现的14种外,对余下的31种进行聚类分析。结果表明(图5),该污染断面线虫群落的种类组成具有如下特征:(1)较好的季节稳定性(同一站不同季节的样品较早的聚在一起,10月RS₁站除外,留待以后讨论);(2)显著的空间差异性(不同的站间样品只在较大的距离下才能聚在一起)。据此,可将整个断面划分成4个种集合,分别对应着青岛湾4个不同的污化带:(1)种集合I由RS₁站的4个季节样品组成,对应着严重污染带;(2)种集合II由RS₂站的4个季节样品组成,对应着污染带;(3)种集合III由RS₃站的4个季节样品组成,对应着半污染带;(4)种集合IV由RS₄站的样品组成,对应污染边缘

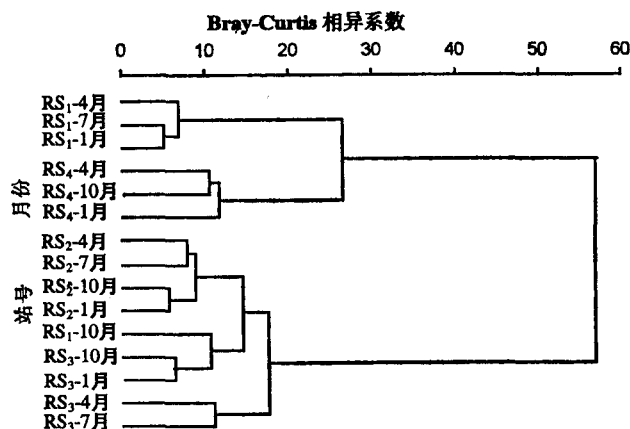


图5 断面R线虫群落聚类分析树状图

带。并且,种集合 II 和种集合 III 在聚类分析中较早地聚在一起,说明两者间具有较大的相似性,这与根据主要优势种对该污染群落的划分非常吻合。

6. 1992 年 1 月三断面小型底栖生物的比较 (1) 在青岛湾断面 R 仅采到线虫和桡足类两类小型底栖生物,线虫数量占绝对优势,其相对丰度高于 99%;(2) 在汇泉湾断面 H 共采到 5 类小型底栖生物,为线虫、桡足类、涡虫、腹毛虫和缓步动物,线虫相对丰度为 97.82%;(3) 在太平湾断面 T 共采到线虫、桡足类和涡虫 3 类小型底栖生物,线虫相对丰度为 97.32%。断面 R 的线虫平均密度高于断面 H 和 T,但相应各站密度关系变化较大,断面 R 的 RS₁ 站密度远低于断面 H 和 T 相应的 HS₁ 和 TS₁ 站,RS₂ 和 RS₃ 站密度则高于相应站 HS₂ 和 TS₂,而 3 断面各最后一站 (RS₄, HS₃, TS₃) 的密度较接近(表 4)。

表4 1 月份三断面各站小型底栖生物的调查结果

站号	RS ₁	RS ₂	RS ₃	RS ₄	HS ₁	HS ₂	HS ₃	TS ₁	TS ₂	TS ₃
类群丰度(个/10cm ²)										
线虫	108.1	3880.3	2301.1	622.3	1216.4	1231.4	695.6	1486.1	1172.2	633.6
桡足类	0.9	0.9	16.0	5.6	1.9	11.3	3.8	0	37.6	31.0
涡虫	0	0	0	0	12.2	0	0	0	0	1.9
腹毛虫	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0
缓步动物	0	0	0	0	35.7	8.5	0.9	0	0	0
总计	109.0	3881.2	2317.1	627.9	1270.6	1251.2	700.3	1486.1	1208.8	666.5
线虫群落多样性										
H'	1.483	2.080	2.112	1.518	2.779	3.007	3.307	2.057	3.867	4.088
J	0.494	0.546	0.555	0.389	0.578	0.685	0.712	0.419	0.781	0.841
D'	0.564	0.576	0.582	0.438	0.749	0.793	0.840	0.514	0.914	0.929

线虫群落 Shannon-Wiener 指数 (H') 在 H, T 断面各站均高于断面 R 上的相应站,而均匀性指数 (J) 和 Simpson 指数 (D') 在 S₁ 站断面 R 比断面 T 略高(表 4)。

1 月份,在断面 R 共采到 26 种线虫,主要优势种是 *M. moles*, *Terschellingia*

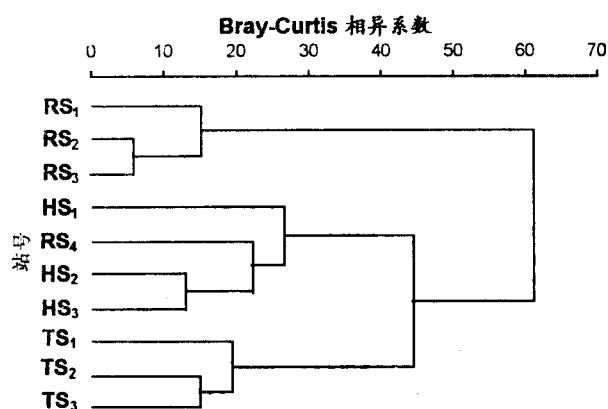


图6 1992年1月三断面线虫群落聚类分析树状图

supplementata, *Innocunema* sp. 1, *Sabatieria pulchra* 和 *Eleutherolaimus* sp.。在汇泉湾断面H共采到44种线虫,主要优势种是 *Daptonema* sp. 1, *Theristus* sp. 3, *Microsaimus* sp., *Cobbia* sp. 1 和 *Theristus* sp. 2。在太平湾断面T共采到49种线虫,主要优势种是 *Eurystomina* sp., *Axonolaimus* sp., *Daptonema* sp. 2, *Oncholaimus sinensis*, *Trichotheristus* sp. 和 *Metadesmolaimus* sp.。取群落的相似性系数为 $2A/(2A+B+C)$, 则断面R和H, R和T以及H和T的相似度分别为28.75%, 40%和49.46%。相对而言,断面H和T的线虫群落相似性较高,这与环境特点有许多相似之处有关,而断面T和R, H都有较高的相似性,可推断断面T是断面H向断面R的过渡类型。把1月份在3断面采到的线虫除去仅在一个站出现的种类,对余下的49种线虫进行聚类分析,结果如图6。在类间距取45时,可划分成两个群落:(1)为青岛湾有机质污染带线虫群落,由断面R的RS₁, RS₂, RS₃站组成;(2)为参考断面线虫群落,由断面H, T的6个站及断面R的RS₄站组成,代表清洁带线虫群落。如果取类间距为30,则可把两参考断面线虫群落区分开来。

三、讨 论

1. 线虫密度及 N/C 比值 已有研究报道,在有机质污染较重的环境中,当小型底栖生物的其他类群已然消失时,线虫仍可保持正常或升高的密度水平 (Bouwman *et al.*, 1984; Heip *et al.*, 1984), 本研究结果很好地证实了上述发现。在青岛湾有机质污染潮间带,线虫密度始终维持在一个很高的水平上(只有严重污染带密度偏低),而且线虫密度沿污染梯度有着一个明显且季节稳定的特征分布图形,同大型底栖动物及污染指示生物小头虫 *Capitella capitata* 沿该污染断面的分布有着较好的一致性 (党宏月等, 1996)。线虫密度对污染程度的变化亦有很好的指示, RS₁站密度的最高值和最低值分别与该站10月份污染压力有所缓解和4月份环境进一步恶化的变化相对应,所以,线虫密度可作为一种简单可行的有机质污染监测指标。

Raffaelli & Mason (1981) 首次提出了用小型底栖生物线虫与桡足类的比值 (N/C)

来监测海洋有机质污染,这一方法引起了生物学界的普遍兴趣,其理论依据是底栖桡足类对低氧、高硫等环境的耐受力差,对有机质污染比线虫更敏感,随着污染程度的加剧,两者的 N/C 值会越来越大。对以上方法褒贬不一 (Coull *et al.*, 1981; Warwick, 1981), 其优点是不需进行大量繁琐的种类鉴定,方便快捷,但也存在着显著的不足,具体表现为桡足类和线虫的数量随沉积物类型的不同变化较大,并且存在着较强烈的季节变化(尤其是桡足类) (McIntyre, 1969; Coull, 1988)。以上两点不足限制了 N/C 值的应用,具体表现在用 N/C 值监测有机质污染,在部分海区得到了令人满意的结果 (Amjad & Gray, 1983),而在另一些海区结果却不尽人意 (Lambhead, 1984; Shiells & Anderson, 1985)。从本调查结果看, N/C 值的不足之处是显而易见的,同一站不同季节的 N/C 值相差很悬殊,并且在污染最重的 RS_1 站 N/C 值却最小,这显然是由于污染压力过大使得线虫的密度受到压制,以及桡足类对较粗的沉积物粒径的偏爱所致。

2. 线虫污染指示种 线虫类的一些种在有机质污染环境会大量出现,而在清洁的沉积环境中则数量稀少或完全消失,典型的代表种是个体较大的钩线虫科 (Oncholaimidae) 线虫,如 *Pontonema* spp. (Lorenzen & Valentin, 1987; Bett & Moore, 1988)。在青岛湾的小型底栖生物调查中,发现钩线虫科的栈桥后瘤线虫是线虫群落的第一优势种,其密度沿污染梯度有着一个明显且季节稳定的特征分布图形,这与小头虫在该污染断面的分布非常相似,因此可把它作为该有机质污染带的指示生物种。当 10 月份 RS_1 站污染压力有所缓解时,该种线虫的密度也发生显著的变化,说明其作为污染指示种的灵敏性。但小型底栖生物多数种的分布区域性较强,到目前为止尚没有找到一个小头虫一样用于指示污染的世界广布种,这就限制了线虫指示种在污染监测中的应用 (Platt *et al.*, 1984)。“平行群落”的概念 (Thorson, 1960) 为这一问题找到了答案,即在不同地理区域的相似环境中,群落的特征种可以是一些功能相似的同属或相关属的种,而并不一定是完全相同的种。因此,可以把钩线虫科的线虫作为有机质污染指示生物,当其在某一环境中大量出现时,就可考虑环境质量是否发生了改变。

3. 线虫群落多样性指数 多样性指数在污染监测中被广泛使用,但正如 Coull (1988) 所指出的,由于大量信息的丢失,其不宜单独使用,而应与能够定性反应群落结构的种群分析或多元统计分析配合使用。线虫多样性指数通常随污染程度升高而降低 (Heip & Vranken, 1985),但也有例外 (Tietjen, 1977)。

在青岛湾断面 R, 线虫群落多样性指数值在同一站不同季节间变化较大,并且沿污染梯度的分布图形同大型底栖动物有明显不同 (党宏月等, 1996),具体表现为在污染带 RS_2 站指数值较高,而在污染边缘带 RS_4 站指数值却有下降的趋势。这说明线虫群落结构除受到污染的影响,同时还受到沉积物粒度特性(如 RS_2 站,由于较多有机物的积累及沉积物分选差,空间异质性高,为线虫提供了更丰富的食物及小生境,而 RS_4 站则恰好相反)及季节变化(在污染带有多种线虫表现出相仿的适应性,而不同种线虫的繁殖期存在着差异,当有一种或几种除 *M. moles* 以外的线虫大量繁殖时,就会降低该种线虫的优势)较强烈的影响。但从污染断面的多样性指数值比两参考断面相应站略低这一意义出发,多样性指数仍有一定的应用价值。

4. 线虫群落种类组成 Moore 等(1989)指出,用群落的种类组成能够更加清晰灵

敏地指示污染的扰动,他用多元统计方法对 Lambshead (1986) 的线虫资料进行分析,得出了非常好的结果。然而线虫的种类组成不但受到污染程度的影响,同时也受到沉积物特性的较强影响 (Coull, 1988), 有时两者的作用是很难严加区分的。本研究结果是相当令人乐观的, 尽管 RS_1 站与 RS_3 站沉积物粒度特性有着显著的差异, 但当 RS_1 站污染压力有所缓解时, RS_1 站和 RS_3 站的线虫群落出现了极为相似的种类组成。这表现在聚类分析中 10 月 RS_1 站被划入 RS_3 站各月样品聚成的一类中, 而与该站其他 3 个月份样品截然分开。而大型底栖动物的聚类结果, 10 月 RS_1 站仍划入该站其他月份样品聚成的一类中, 由此亦说明了小型底栖动物对污染程度及其变化更敏感。由 3 断面线虫群落的聚类分析结果也可证实, 线虫种类组成是一种非常有效的污染监测手段。由环境因子分析, 断面 H, T 有着较大的相似性, 在线虫聚类分析中, 这两断面就较早的聚在一起。另外, 青岛湾断面 R 的 RS_4 站环境质量较其他 3 站明显好得多, 在聚类时, 就被划入断面 H 一类, 而同其他 3 站分开。由以上分析说明, 用小型底栖动物的种类组成来指示和监测海洋有机质污染有着比大型底栖动物及其他方法更突出的优点, 即更准确和灵敏, 这一方法在今后的污染监测中应得到全面推广。

四、结 论

根据青岛湾东侧潮间带理化因子和小型底栖生物生态特点, 可以把整个潮间带划分为 4 个污化带, 从高潮区排污口至低潮区分别为严重污染带、污染带、半污染带和污染边缘带。大规模截污后, 该湾环境质量明显好转。

线虫密度沿污染梯度有着明显且季节稳定的特征分布图形, 并对污染程度的变化较敏感。在污染带和半污染带有着较大的 N/C 值, 但由于受到季节变化及沉积物粒度特性的较强影响, 使 N/C 值沿污染梯度的变化规律不很稳定, 限制了它的应用。

线虫 *M. moles* 沿污染梯度有着同污染指示生物小头虫相似的明显且季节稳定的特征分布图形, 并对污染程度的变化较敏感, 可作为青岛湾有机质污染带的指示生物, 它是否可以象小头虫一样成为世界性污染指示种, 有待进一步研究。

线虫群落的多样性指数受到群落结构季节变化和沉积物粒度特性较强的影响, 使其沿污染梯度的变化规律与大型底栖动物有较大差异。但污染断面指数值低于环境质量较好的参考断面指数值, 在此意义上, 仍有一定的应用价值。

沿污染梯度, 线虫群落种类组成表现出明显且季节稳定的变化规律, 借助聚类分析等多元统计方法, 可以十分准确迅速地判断污染状况及其变化。这是本研究中所有指示和监测手段中最好的方法, 在今后的污染调查中应得到全面推广和普及。

参 考 文 献

- 孙道元、陈木, 1978, 小头虫作为有机质污染指示生物的调查研究, 环境科学, 1:17—19。
张志南、党宏月、于子山, 1993, 青岛湾有机质污染带小型底栖生物群落的研究, 青岛海洋大学学报, 23(1): 83—91。
党宏月、张志南、黄勃, 1996, 青岛湾有机质污染潮间带底栖生物研究 I. 大型底栖生物生态特点, 海洋学报。
Amjad, S. & J. S. Gray, 1983, Use of nematodes/copepod ratio as an index of organic pollution, *Marine Pollution Bulletin*, 14(5):178—181。

- Bett, B. J. & C. G. Moore, 1988, The taxonomy and biology of a new species *Pononema* (Nematoda, Oncholaimidae) dominant in organically polluted sublittoral sediments around Scotland, with a review of the genus, *Journal of Natural History*, **22**:1363—1377.
- Bouwman, L. A., K. Romeijn & W. Admiraal, 1984, On the ecology of meiofauna in an organically polluted estuarine mudflat, *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, **19**:633—653.
- Coull, B. C., G. R. F. Hicks & J. B. J. Well, 1981, Nematode/copepod ratios for monitoring pollution: A rebuttal, *Marine Pollution Bulletin*, **12**(11):378—381.
- Coull, B. C., 1988, In: Higgins, R. P. & H. Thiel (eds) Introduction to the study of meiofauna, Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., 18—38.
- Ferris, V. R. & J. M. Ferris, 1979, In: Pollution Ecology of Estuarine Invertebrates (C. W. Hart & L. H. Fuller, eds), Academic Press, London, 1—33.
- Heip, C., R. Herman & M. Vincx, 1984, Variability and productivity of meiobenthos in the Southern Bight of the North Sea, *Rapport et Procès-verbaux des Réunions. Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, **183**:51—56.
- Heip, C., M. Vincx & G. Vranken, 1985, The ecology of marine nematodes, *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.*, **23**:399—489.
- Higgins, R. P. & H. Thiel, 1988, Introduction to the study of meiofauna, Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.
- Lambshead, P. J. D., 1984, The nematode/copepod ratio of some anomalous results from the Frith of Clyde, *Marine Pollution Bulletin*, **15**(7):256—259.
- Lambshead, P. J. D., 1986, Sub-catastrophic sewage and industrial waste contamination as revealed by marine nematode faunal analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **29**:247—260.
- Lorenzen, S., M. Prein & C. Valentin, 1987, Mass aggregations of the free-living marine nematode *Pononema vagare* (Oncholaimidae) in organically polluted fjords, *Marine Ecol. Prog. Ser.*, **37**:27—34.
- McIntyre, A. D., 1969, Ecology of Marine meiobenthos, *Biol. Rev.*, **44**:245—290.
- Moore, F. B. & B. J. Bett, 1989, The use of meiofauna in marine pollution impact assessment, *Zoological Journal of the Linnean Society*, **96**:263—280.
- Platt, H. M., K. M. Shaw & P. J. D. Lambshead, 1984, Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environmental perturbations, *Hydrobiologia*, **118**:59—66.
- Raffaelli, D. G. & C. F. Mason, 1981, Pollution monitoring with meiofauna using the ratio of nematodes to copepods, *Marine Pollution Bulletin*, **12**(5):158—163.
- Shiells, G. M. & K. J. Anderson, 1985, Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio: A practical application, *Marine Pollution Bulletin*, **16**(2):62—68.
- Thorson, G., 1960, Parallel level bottom communities, their temperature adaptation, and their "balance" between predators and food animals. In *Perspectives in Marine Biology*. (Buzzati-Traverso, ed.) University of California Press, Berkeley, 67.
- Tietjen, J. H., 1977, Population distribution and structure of the free-living nematodes of Long Island Sound, *Mar. Biol.*, **43**:123—136.
- Warwick, R. M., 1981, The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology, *Marine Pollution Bulletin*, **12**(10):329—333.
- Wu Baoling, Qian Peiyuan & Zhang Songling, 1988, Morphology, reproduction, ecology and isoenzyme electrophoresis of *Capitella* complex in Qingdao. *Acta Oceanologica Sinica*, **7**(3):442—458.

STUDY ON MARINE BENTHOS IN AN ORGANICALLY POLLUTED INTERTIDAL BEACH OF QINGDAO BAY II. THE POLLUTION ECOLOGY OF MEIOBENTHOS*

Dang Hongyue and Huang Bo

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

Zhang Zhinan

(*Ocean University of Qingdao*)

ABSTRACT

The ecology of marine meiobenthos was studied in an organically polluted intertidal beach of the eastern part of Qingdao Bay from April 1991 to March 1992. Based on the characteristics of meiofauna and environmental factors (e.g. DO₂, pH, Eh and sulfide in pore water or sediment), the whole beach can be divided into four ecological zones: (1) grossly polluted zone, (2) polluted zone, (3) semipolluted zone, and (4) transitory zone. Compared with former studies here, it can be concluded that the polluted area has been greatly reduced after the shut-down of the main sewage outfall. Free-living marine nematode is the predominant group of meiobenthos in this polluted environment. Its density ranges from 36.7 in./10cm² to 10298.6 in./10 cm², and its relative abundance reaches 98.41% all over the transect. Of all the 45 species of nematodes, *Metoncholaimus moles* is the predominant species. Its population and the total density of nematodes show a clear and seasonally steady distribution pattern along the pollution gradient. Because of the strong influence of season and sediment type, the diversity of nematode communities and the hotly argued N/C (the ratio of nematodes to copepods) cannot serve as a sensitive pollution indicator. Cluster analysis of nematode communities shows that the species composition of nematodes exhibits a clear and seasonally steady distribution pattern along the pollution gradient and is strongly influenced by the pollution impact, and that there is an apparent species composition difference between the polluted transect and the control transects. Because of the short life span of marine nematodes, the species composition of nematode communities (compared to macrofauna) is a more sensitive indicator of the real extent of pollution impact.

* Contribution No. 2687 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.