

# 黄河口水下三角洲及其邻近水域 线虫群落结构的比较研究\*

张志南 周红 郭玉清 慕芳红

(青岛海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)

(香港大学生态学与生物多样性系 香港)

**提要** 采用多元统计分析法,对黄河口水下三角洲及其邻近渤海莱洲湾和渤海中部的线虫群落结构进行了比较研究。结果表明,与 10 年前相比,线虫群落的种类组成有了显著的变化。渤海中部的非选择性沉积食性者(1B 型)增加了 1 倍,莱洲湾则增加了 5 倍,表明该海域有机碎屑沉降量的显著增加。线虫群落在物种、属和科的水平上所作的多元统计图形比较表明,在物种和属水平上的图形无显著差异。这说明,就线虫而言,鉴定到属的样品分析,减少了鉴定到种的分类负担,能满足实际的工作需要。

**关键词** 小型底栖动物,海洋线虫,群落结构,黄河口水下三角洲,莱洲湾,渤海  
**中图分类号** Q178.1

小型底栖动物作为碎屑食物链的一个重要环节,并以其特有的生殖对策,在水层-底栖生态系统的能量转换和环境质量的生态监测中占有重要的位置(Warwick *et al.*, 1979; Lambshead, 1986; Montagna, 1995; 张志南, 2000; 张志南等, 2001)。关于渤、黄海自由生活海洋线虫(以下简称线虫)的生态学已有一些报道(张志南, 1991; 张志南等, 1989, 1990a, 1990b, 1993, 1994),但关于线虫群落结构的分析尚未见报道。本文对黄河口水下三角洲及邻近水域线虫群落结构的种类组成、摄食类型和多元统计图形作比较研究,以期渤海生态动力学和环境生态监测提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

样品分别由“科学 1 号”调查船 1997 年 6 月采自渤海莱州湾的 9762 站和渤海中部的 9761 站、“东方红 1 号”调查船 1986 年 7 月采自黄河口水下三角洲及其邻近渤海水域 7 个站位、“实验 5 号”调查船 1995 年 7 月采自胶州湾的 B2 站、“东方红 1 号”1988 年 8 月采自湄州湾的 A01 站。站位分布、水深及底质粒度特征见图 1 和表 1。

### 1.2 取样方法

使用内径为 2.6cm 的取芯管(用有机玻璃注射器改制),从未受扰动的 0.1m<sup>2</sup>(胶州湾使用 0.05m<sup>2</sup>) Gray-OHara 箱式取样器样品中取重复样 3 个。芯样长 5cm,取出后立即按

\* 国家自然科学基金资助项目,497901001 号,39770145 号;教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目,97042306 号。张志南,男,出生于 1937 年 11 月,教授,博士生导师, E-mail: zznhang@ouqd.edu.cn

收稿日期:2000-02-25,收修改稿日期:2000-07-17

表 1 黄河口及邻近水域部分环境因子

Tab. 1 Environmental factors in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

站位	A01	95B2	DA2	DA4	9762	DA18
经度(E)	119° 10' 03"	120° 15' 00"	119° 45' 02"	119° 29' 05"	119° 29' 97"	120° 00' 01"
纬度(N)	24° 10' 03"	36° 09' 00"	37° 59' 08"	37° 45' 07"	37° 49' 95"	38° 14' 07"
水深(m)	14	8	19.5	16	17	23
粉砂(%)	40	85	87	93	98	65
中值粒径( $\phi$ )	—	6.2	5.2	5.3	6.0	4.9
异质性指数( $h$ )	—	0.41	0.33	0.31	0.35	0.59
盐度	—	32	32	31	33	33
叶绿素 $a$ ( $\mu\text{g/g}$ )	—	—	1.97	6.95	2.80*	2.16
脱镁叶绿素( $\mu\text{g/g}$ )	—	—	6.30	23.26	3.97*	4.99
有机碳(%)	—	—	1.83	1.44	1.28*	0.87
线虫优势度(%)	91.0	93.4	66	60	98.2	62
线虫/ 桡足类(N/C)	—	30.2	3.3	3.3	132.4	3.5
线虫丰度(ind/10cm <sup>2</sup> )	599	2570	659	433	2382	783
小型底栖动物丰度(ind/10cm <sup>2</sup> )	658	2752	998	722	2426	1263
大型底栖动物丰度(ind/m <sup>2</sup> )	—	—	2923	2106	2197	2450

站位	DA19	DA20	9761	E9	E11
经度(E)	120° 14' 06"	120° 25' 00"	120° 29' 92"	119° 16' 07"	119° 07' 30"
纬度(N)	38° 29' 08"	38° 44' 07"	38° 29' 98"	37° 51' 00"	37° 38' 03"
水深(m)	28	28	30	14	10
粉砂(%)	59	62	28	98	96
中值粒径( $\phi$ )	4.7	4.8	3.2	6.4	6.5
异质性指数( $h$ )	0.61	0.59	1.07	0.27	0.26
盐度	33	33	33	29	28
叶绿素 $a$ ( $\mu\text{g/g}$ )	2.20	1.54	4.80 <sup>f</sup>	2.20	2.74
脱镁叶绿素( $\mu\text{g/g}$ )	6.73	4.13	2.98 <sup>e</sup>	7.04	4.32
有机碳(%)	1.82	0.84	4.75 <sup>e</sup>	1.59	1.06
线虫优势度(%)	42	47	91.5	92	90
线虫/ 桡足类(N/C)	4.0	3.6	15.6	9.2	18.2
线虫丰度(ind/10cm <sup>2</sup> )	293	255	2595	924	478
小型底栖动物丰度(ind/10cm <sup>2</sup> )	697	543	2836	1004	531
大型底栖动物丰度(ind/m <sup>2</sup> )	1254	2054	1860	314	124

注: \* 为 1999 年 4 月数据

0—2cm 和 2—5cm 分层装瓶。5% 甲醛固定, 虎红染色, Ludox- TM 悬浮离心, 0.050mm 孔径的网筛过滤, 按类群分别挑选计数(Higgins *et al*, 1988)。海洋线虫的制片和鉴定参照 Warwick(1988a)和张志南等(1989, 1990a, b)。

### 1.3 数据处理和统计检验

线虫群落结构的分析, 包括 Cluster、Ordination(MDS)和PCA, 使用多元统计分析软件PRIMER(Clarke *et al*, 1994)对不同分类阶元线虫的多元统计图形差异性进行比较, 并采用上述软件的GLOBAL检验。线虫丰度与环境因子的相关性检验采用Spearman非参数双尾检验(SPSS 8.0)。

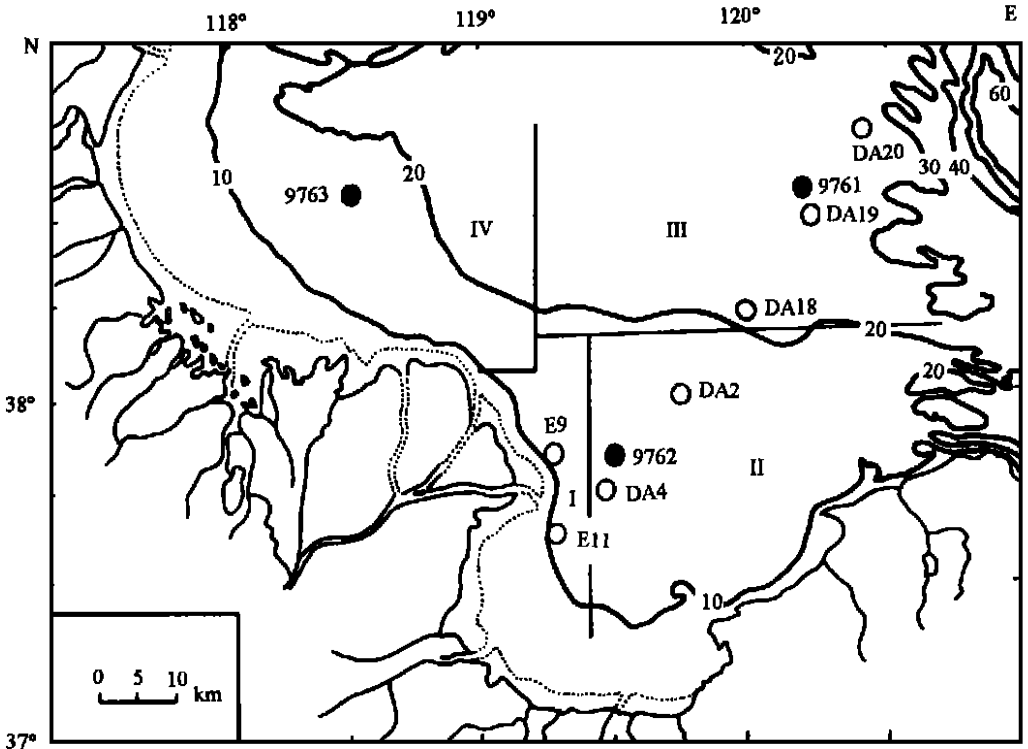


图 1 渤海小型底栖动物调查站位

Fig. 1 Sampling stations for meiofauna in the Bohai Sea

- I. 黄河口水下三角洲; II. 莱州湾; III. 渤海中部; IV. 渤海湾
- 示1986年7月取样站位; ●示1997年6月取样站位

## 2 结果

### 2.1 环境因子分析

本调查海域水深 10—30m, 盐度为 28—33, 随远离河口水下三角洲沉积物粉砂—软泥含量逐渐减少, 颗粒逐渐变粗, 由  $\Phi$  值表示的中值粒径逐渐减小, 异质性指数 ( $h$ ) 逐渐大 (表 1)。小型底栖动物的平均丰度为  $(1224 \pm 790) \text{ ind}/10\text{cm}^2$ , 黄河口水下三角洲、莱州湾和渤海中部三个生境的小型底栖动物丰度无显著差别, 但线虫的优势度分别为 91%、75% 和 61%, 随远离河口水下三角洲, 线虫的优势度逐渐减少。大型底栖动物的丰度为  $[(1698 \pm 896) \text{ ind}/\text{m}^2]$ , 但河口水下三角洲的丰度  $[(219 \pm 95) \text{ ind}/\text{m}^2]$  要比莱州湾低一个数量级  $[(2409 \pm 366) \text{ ind}/\text{m}^2]$ , 也显著低于渤海中部  $[(1905 \pm 432) \text{ ind}/\text{m}^2]$ ; 同样, 水下三角洲的大型底栖动物种数 (平均 12 种) 也要比莱州湾 (21—35 种) 和渤海中部 (31—48 种) 少得多, 线虫丰度与环境因子的相关系数为 0.729 (BIOENV 分析), 控制线虫丰度的 5 个因子是盐度、沉积物的粉砂—粘土含量 (%)、中值粒径、大型底栖动物的丰度和种数。Spearman 的相关系数非参数双尾检验表明, 线虫丰度与沉积物的  $QD\phi$  (分选度) 呈显著的负相关 (相关系数为  $-0.900, p \leq 0.05$ )。

### 2.2 线虫群落结构的划分

对黄河口水下三角洲及邻近莱州湾和渤海中部的 9 个站位 (图 1 和表 1), 连同胶州

湾的 95B2 站和湄洲湾的 A01 站一同进行了群落结构分析。以上 11 个站位共鉴定出海洋线虫 154 种, 分别属于 107 个属 29 个科(表 2), 在种类分析的基础上分别在种、属和科的水平上进行了聚类和标序(图 2、图 3), 聚类结果显示, 渤海的 9 个站位与相比较的胶州湾和湄洲湾各 1 个站位在线虫区系的基础上共划分为 5 个组合:

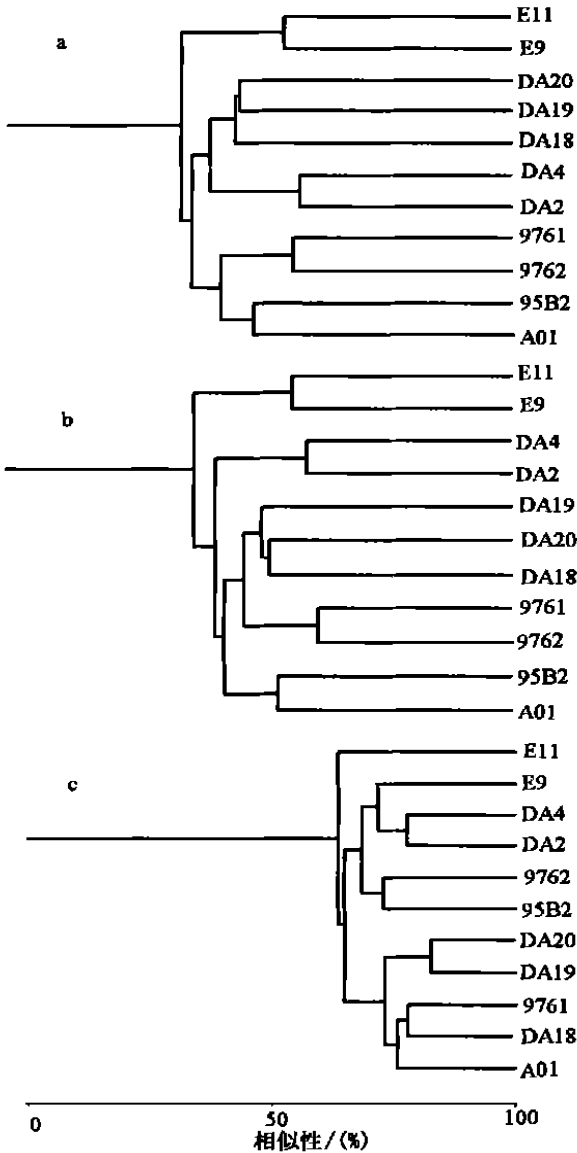


图 2 聚类分析结果

Fig. 2 Cluster results

a. 种的水平(species level); b. 属的水平(genus level); c. 科的水平(family levels)应用 Bray-Curtis 相似性系数, 4th 平方根转换, 组平均连接(based on Bray-Curtis similarity, 4th square root transformation, group average linkage)

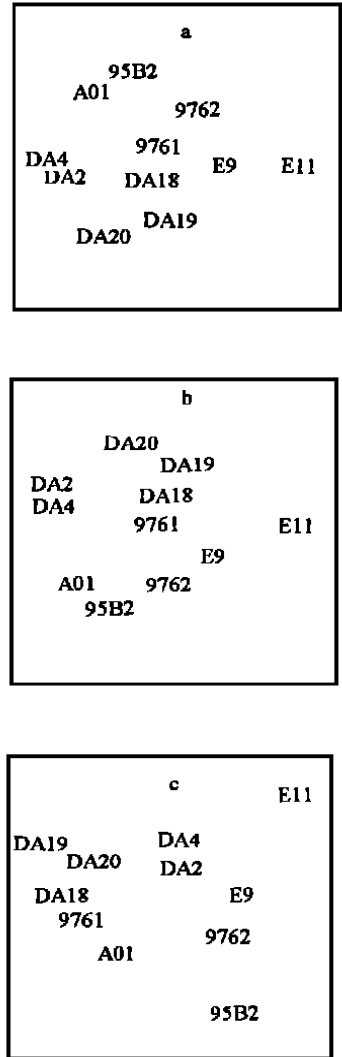


图 3 标序(MDS)分析结果

Fig. 3 Ordination (MDS) analysis results

a. 种的水平(species level); b. 属的水平(genus level); c. 科的水平(family levels)

表 2 自由生活海洋线虫科及其优势度(%)

Tab. 2. Families of free-living marine nematodes and their dominances(%)

序号	科名	莱州湾										渤海中部										黄河口水下三角洲										温州湾		胶州湾	
		DA2 度(%)	优势度(%)	DA4 度(%)	优势度(%)	9762 度(%)	优势度(%)	DA18 度(%)	优势度(%)	DA19 度(%)	优势度(%)	DA20 度(%)	优势度(%)	9761 度(%)	优势度(%)	E9 度(%)	优势度(%)	E11 度(%)	优势度(%)	A01 度(%)	优势度(%)	95B2 度(%)	优势度(%)												
1	腐屑线虫科 Xyalidae	0.3	18	5.2	228	32.8	50	8.0	7	3.9	10	4.7	82	13.8	89	19.3	256	58.3	30	8.5	98	15.9													
2	轴线虫科 Aconolaimidae	143	38.9	175	50.7	196	28.2	24	3.8	9	5.0	9	4.2	37	6.2	66	14.3	16	3.6	9	2.5	106	17.2												
3	丽体线虫科 Comesomatidae	77	20.9	34	9.9	35	5.0	126	20.2	23	12.7	55	25.7	35	5.9	110	23.8	1	0.2	87	24.6	173	28.0												
4	色矛线虫科 Chromadoridae	11	3.0	26	7.5	22	3.2	177	28.4	36	19.9	32	15.0	42	7.0	87	18.8	37	8.4	11	3.1	0	0.0												
5	条线虫科 Linhnoecidae	46	12.5	48	13.9	59	8.5	8	1.3	4	2.2	12	5.6	51	8.6	30	6.5	57	13.0	43	12.1	72	11.7												
6	囊咽线虫科 Sphaerolaimidae	33	9.0	4	1.2	19	2.7	24	3.8	30	16.6	4	1.9	39	6.5	44	9.5	39	8.9	28	7.9	8	1.3												
7	单官线虫科 Monhysterae	16	4.3	1	0.3	107	15.4	3	0.5	4	2.2	2	0.9	13	2.2	0	0.0	2	0.5	49	13.8	44	7.1												
8	尖口线虫科 Oxytomidae	4	1.1	10	2.9	8	1.2	26	4.2	4	2.2	7	3.3	58	9.7	5	1.1	0	0.0	18	5.1	38	6.1												
9	杯咽线虫科 Cyatholaimidae	12	3.3	9	2.6	1	0.1	33	5.3	0	0.0	12	5.6	20	3.4	7	1.5	1	0.2	1	0.3	0	0.0												
10	链环线虫科 Desmodoridae	2	0.5	3	0.9	0	0.0	35	5.6	10	5.5	12	5.6	21	3.5	0	0.0	3	0.7	10	2.8	0	0.0												
11	腹口线虫科 Thoracostomopsidae	9	2.4	0	0.0	1	0.1	14	2.2	11	6.1	5	2.3	9	1.5	8	1.7	26	5.9	4	1.1	0	0.0												
12	前感线虫科 Anticomidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	31	5.0	8	4.4	9	4.2	24	4.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
13	双唇线虫科 Diplopelidae	4	1.1	2	0.6	6	0.9	14	2.2	1	0.6	4	1.9	25	4.2	1	0.2	0	0.0	8	2.3	20	3.2												
14	微线虫科 Microloaimidae	2	0.5	0	0.0	0	0.0	1	0.2	1	0.6	1	0.5	49	8.2	3	0.6	0	0.0	16	4.5	0	0.0												
15	牙咽线虫科 Enchelidiidae	4	1.1	3	0.9	0	0.0	15	2.4	2	1.1	4	1.9	9	1.5	7	1.5	1	0.2	2	0.6	2	0.3												
16	焰线虫科 Ironidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	22	3.5	12	6.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	5	1.4	0	0.0												
17	纤咽线虫科 Leptolaimidae	0	0.0	0	0.0	6	0.9	4	0.6	0	0.0	0	0.0	18	3.0	5	1.1	0	0.0	17	4.8	47	7.6												
18	波咽线虫科 Aegialolaimidae	1	0.3	8	2.3	5	0.7	0	0.0	1	0.6	4	1.9	9	1.5	0	0.0	0	0.0	4	1.1	3	0.5												
19	德曼棒线虫科 Rhabdonematidae	0	0.0	0	0.0	1	0.1	1	0.2	3	1.7	0	0.0	22	3.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
20	项线虫科 Desmoscolecidae	0	0.0	1	0.3	0	0.0	3	0.5	2	1.1	1	0.5	18	3.0	0	0.0	0	0.0	5	1.4	0	0.0												
21	钩线虫科 Oncholaimidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	0.6	3	1.7	11	5.1	2	0.3	0	0.0	0	0.0	2	0.6	2	0.3												
22	色拉支线虫科 Selachnematidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	6	3.3	9	4.2	4	0.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
23	覆瓦线虫科 Ceramonematidae	1	0.3	1	0.3	0	0.0	9	1.4	0	0.0	6	2.8	1	0.2	0	0.0	0	0.0	1	0.3	0	0.0												
24	长尾线虫科 Trefusiidae	1	0.3	0	0.0	1	0.1	0	0.0	4	2.2	5	2.3	5	0.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
25	箭咽线虫科 Eihmolaimidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.3	0	0.0	0	0.0	1	0.3	0	0.0												
26	管咽线虫科 Siphonolaimidae	0	0.0	2	0.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.3	5	0.8												
27	巨感线虫科 Tarvauidae	1	0.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
28	拟管咽线虫科 Tubolaimoidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0												
29	裸口线虫科 Anoplostomatidae	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.6	0	0.0												
368	总计	345	695	624	181	214	596	462	439	354	618																								

A 组合: 包括 E9 和 E11 两个站位, 位于黄河口水下三角洲, 受河口高沉积速率的影响和控制, 沉积层不稳定, 大型动物种类贫乏, 生物量低, 生物多样性低。

B 组合: 包括莱州湾的 DA4 和邻近 20m 等深线以内的 DA2 站, 沉积环境稳定, 生物扰动起控制作用, 由于河口物质的输入, 有机质丰富, 属于高生产力区。

C 组合: 包括渤海中部的 DA18、DA19 和 DA20 共 3 个站位, 粉砂、粘土含量减少, 细砂含量显著增加, 异质性增大, 物理因素(主要是渤海环流)起控制作用。

D 组合: 包括莱州湾的 9762 站和渤海中部的 9761 站。

E 组合: 胶州湾的 95B2 和湄州湾的 A01 站。

用 PCA 的 MDS 作图表明, 用环境因子对河口水下三角洲, 莱州湾和渤海中部的划分, 与图 3 基于线虫种类组成的作图是完全一致的(图 4)。

## 3 讨论

### 3.1 群落结构分析

聚类 and 标序所划分的 A、B 和 C 三个线虫组合是预料之中的, 它们反映了由黄河口水下三角洲高沉积速率的环境, 通过生物扰动占优势的莱州湾, 向物理因素(主要是渤海环流)控制的渤海中部过度的环境梯度(张志南等, 1989)。渤海中部的 9761 站和莱州湾的 9762 站各自与渤海中部和莱州湾的组合相分离, 构成一新的组合 D, 似乎有些意外, 但从种类组成不难看出, 莱州湾的 9762 站占据前三位的优势科分别是隆唇线虫科(32.8%)、轴线虫科(28.2%)和单宫线虫科(15.4%), 优势种有拟棘尾线虫 *Paramesacanthion* sp.、小拟轴齿线虫 *Odontophorapaxxonolaimoides*、皮咽线虫 *Molgalaimus* sp. 和达格大线虫 *Dagda* sp.。而在 DA2 和 DA4 位居前三位的科是轴线虫科(优势度分别为 38.9% 和 50.7%)、丽体线虫科(分别是 20.9% 和 9.9%)和条线虫科(分别是 12.5% 和 13.9%)。DA2 和 DA4 共有的优势种有拟线形线虫 *Paralinhomoeus* sp.、里奥咽线虫 *Diliolaimus* sp.、后合咽线虫 *Metadesmolaimus* sp. 和拟棘尾线虫 *Paramesacanthion* sp.。9761 站具有很高的线虫多样性, 这除了隆唇线虫科占 13.8% 以外, 其他线虫科的优势均不超过 10%, 按种分析, 占优势的前 10 个种仅占数量的 46%, 列在前三位的优势种是角棘线虫 *Gonionchus* sp.、管状吞咽线虫 *Daptonemafistulatum* 和冰岛球咽线虫 *Sphaerolaimus islandicus*。而渤海中部的 DA18、DA19、DA20 则具有两个共同的优势科, 即丽体线虫科和色矛线虫科, 优势度分别在 15% 至 28% 之间(表 2)。以上三站共同的优势种有厚皮光线虫 *Actinonema pachydermatum*、长尾微口线虫 *Terschellingia longicaudata* 和色矛线虫 *Prochromadorella* sp.。湄州湾与胶州湾划分为一个组合并非偶然, 两个站位线虫的丰度

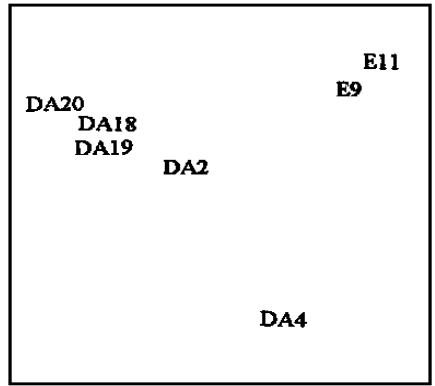


图 4 11 个环境因子的主成分分析标序

Fig. 4 Ordination of PCA for the 11 environmental factors

11 个环境因子为: 水深、盐度、沉积物粉砂含量、中值粒径、异质性系数、叶绿素  $a$ 、脱镁叶绿素、有机碳含量、大型动物丰度、生物量、种数

优势均在 90% 以上, 并有大量共有的种和属。丽体线虫科构成了这两个生境的最优势的科, 优势度分别为 24. 6%(A01 站) 和 28. 0%(95B2) 站, 但两者的优势科组成有较大的差异, 在 95B2 站占总丰度 80% 的优势科有 5 个, 而在 A01 站占据同样丰度优势的科则有 9 个(表 2), 这说明湄州湾的 A01 站比胶州湾的 95B2 站有更高的线虫物种多样性。

种类组成优势度的改变, 与口腔类型所对应的食物选择性有关。Wieser(1960) 将线虫按摄食类型划分为 4 个功能群的方法获得了广泛的应用。其中第二个功能群非选择性沉积食性(1B) 与第三个功能群附生生物食性(2A) 的数量之比(1B/2A), 常用来指示线虫食性的转换及底质中有机碎屑的多少(Lambshead, 1986)。渤海中部 9761 站的 1B/2A 比值为 0. 82, 相当于 DA18、DA19 和 DA20 三个站平均值 0. 43 的几乎 1 倍, 而相应地线虫的优势度由 50% 增至 92%; 莱州湾的 9762 站 1B/2A 比值为 1. 72, 则相当于 DA2 和 DA4 两站均值约 0. 35 的 5 倍。相应地线虫优势度由 63% 增加到 98. 2%(表 3)。这表明群落的种类组成在相隔 10 年之后发生了明显的改变, 即非选择性沉积食性种类(1B) 明显地增加, 而附生生物食性种类(2A) 明显地减少, 这一变化可能与指示有机碎屑量的沉积物活性叶绿素 *a* 和脱镁叶绿素 *a* 的含量, 以及沉积物中的有机碳含量(%) 有关。1986 年 7 月调查海域(海域范围与 1997—1999 年调查范围基本相同) 沉积物活性叶绿素 *a* 值为 0. 18—2. 83 $\mu\text{g/g}$  砂, 平均为 0. 78 $\mu\text{g/g}$  砂; 脱镁叶绿素 *a* 值为 0. 43—11. 36 $\mu\text{g/g}$ , 平均为 2. 80 $\mu\text{g/g}$ ; 有机碳含量为 0. 26%—2. 2%(远克芬, 1990), 而 1999 年 4 月同一海域测得的相应值分别为: 0. 58—12. 68 $\mu\text{g/g}$ , 平均为 3. 00 $\mu\text{g/g}$ (活性叶绿素 *a*), 0. 54—11. 10 $\mu\text{g/g}$ , 平均为 3. 77 $\mu\text{g/g}$ (脱镁叶绿素 *a*), 0. 59%—3. 94%(有机碳值)<sup>1)</sup>, 显然后者要比前者高得多。应当指出的是, 1999 年 4 月是水体有机碎屑开始沉降阶段, 显然所测得的值要比沉积物中有机质大量累积的 7 月和 8 月要低一些。有机碎屑量增加的原因可能与调查海域沉积物中粉砂含量的增加有关<sup>1)</sup>。是否还有其他因子影响线虫种类组成的改变, 尚需进一步研究。

表 3 不同生境线虫摄食类型的比较

Fig. 3 Comparison of feeding types for different habitats

站位	摄食类型				1B/2A
	选择性沉积食性 1A	非选择性沉积食性 1B	附植食性 2A	捕食性/杂食性 2B	
E11	* 0* *(0)	72(44)	13(35)	15(22)	5. 54(1. 26)
E9	2(10)	32(43)	54(27)	13	0. 59(1. 59)
DA2	5(19)	24(41)	61(30)	10(11)	0. 39(1. 37)
DA4	7(26)	21(37)	70(32)	2(5)	0. 30(1. 16)
9762	10(19)	55(53)	32(19)	3(9)	1. 72(2. 79)
DA18	7(14)	31(32)	53(38)	9(16)	0. 59(0. 84)
DA19	6(13)	14(26)	50(33)	29(28)	0. 28(0. 79)
DA20	11(18)	22(31)	53(36)	15(16)	0. 42(0. 86)
9761	22(28)	31(31)	38(28)	10(14)	0. 82(1. 11)
95B2	26(30)	31(48)	41(14)	2(9)	0. 76(3. 43)
A01	23(25)	33(34)	34(33)	10(9)	0. 97(1. 03)

\* 按丰度计算的百分比; \*\* 括号内为按种数计算的百分比

1) 张志南, 沈渭铨. 渤海沉积物环境特征的比较研究. 青岛海洋大学学报(待刊)

### 3.2 在种、属和科水平上群落图形的比较

图 2 和图 3 分别给出了用聚类 (Cluster) 和标序 (Ordination MDS) 法对所研究样品分别在种 (154 种) 属 (107 属) 和科 (29 科) 水平上的作图。聚类图清楚地显示, 在种和属水平上的图形无显著差异, 甚至在属的水平上所作图形更加清晰。图 3 的标序作图结果与聚类作图是一致的。相关系数的 Global 检验显示了种和属之间的显著相关, 其相关系数为 0.958, 而在科水平的图形与种和属的图形有显著的差异 ( $P < 0.05$ ) 相关系数分别为 0.573 和 0.618。Warwick (1988a, b) 和 Heip 等 (1988) 认为, 利用多元统计分析, 可以在较高分类阶元上辨认底栖群落对污染引起的环境变化的响应, 小型底栖动物 (线虫、挠足类等) 只需鉴定到科、大型底栖动物鉴定到门, 即可获得令人满意的结果 (只限于多元统计分析)。这是因为, 人类活动 (某一类污染) 可引起底栖生物较高分类阶元的改变, 而自然条件的变化会导致群落种类组成的改变 (Warwick, 1988a)。本研究侧重于线虫群落对自然因子 (如水深、沉积速率、沉积物粒度特征等) 的反应, 证明鉴定到属的线虫群落分析, 可以满足环境质量生态监测的需要, 可极大地减轻分类工作的负担, 为线虫用于环境质量监测提供了便利。

## 4 结论

4.1 本文首次用多元统计分析、种类组成分析、食性类型分析和不同阶元群落图形比较研究了线虫群落结构, 显示了黄河口水下三角洲及其邻近莱州湾和渤海中部这一特有环境梯度下线虫群落的特征。

4.2 莱州湾和渤海中部的线虫群落与 10 年前相比, 种类组成有了显著的改变, 非选择沉积食性种类的显著增加, 及附生生物食性种类的显著减少, 表明海域有机碎屑量的显著增加是影响线虫群落结构的一个重要因子。

4.3 在物种和属水平上的多元统计图形, 显示线虫群落结构无显著的差别, 为小型生物 (特别是线虫) 用于环境质量的监测提供了有效的手段。

## 参 考 文 献

- 远克芬, 1990. 黄河口及邻近海域沉积物中的叶绿素和有机质. 青岛海洋大学学报, 20(1): 46—58
- 张志南, 1991. 秦皇岛沙滩海洋线虫的数量研究. 青岛海洋大学学报, 21(1): 63—75
- 张志南, 周红, 于子山等, 2001. 胶州湾小型底栖生物的丰度和生物量. 海洋与湖沼, 32(2): 139—147
- 张志南, 2000. 水层-底栖生态系统动力学研究的某些进展. 青岛海洋大学学报, 30(1): 115—122
- 张志南, 李永贵, 图立红等, 1989. 黄河口水下三角洲及其邻近水域大型底栖动物的初步研究. 海洋与湖沼, 21(3): 197—207
- 张志南, 谷峰, 于子山, 1990a. 黄河口水下三角洲海洋线虫空间分布的研究. 海洋与湖沼, 20(1): 11—19
- 张志南, 钱国珍, 1990b. 小型底栖生物取样方法的研究. 海洋湖沼通报, 4: 37—42
- 张志南, 林霞, 于子山, 1994. 大连石槽岩滩附植小型动物的初步研究. 青岛海洋大学学报, 24(4): 519—526
- 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
- Clarke K R, Warwick R M, 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistic Analysis and Interpretation. Boummonth, U K: Bourne Press Ltd, 148
- Heip C, Warwick R M, Cars M R *et al.*, 1988. Analysis of the community attributes of the benthic meiofauna of Frierfjord/Langesundfjord, Norway. Mar Ecol Prog Ser, 46: 171—183
- Higgins R P, Thiel H, 1988. Introduction to the Study of Meiofauna. Washington D.C: Smithsonian Institution Press, 488



- Lamshead 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
- Montagna P A, 1995. Rates of Metazoan Meiofaunal Microbivory: A Review. *Vie et Milieu*, 45(1):1—9
- Warwick R M, Price R, 1979. Ecological and metabolic studies on free- living nematodes from an estuarine mud- flat. *Estuar Coast Mar Sci*, 9: 257—271
- Warwick P M, 1988a. The Level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar Pollut Bull*, 19(6): 259—268
- Warwick R M, 1988b. Analyses of community attributes of the macrobenthos of Frierfjord/ Langesudfjord, Norway, at taxonomic levels higher than species. *Mar Ecol Prog Ser*, 46: 167—170
- Wieser W, 1960. Benthic studies in Buzzards Bay II. The meiofauna. *Limnol Oceanogr*, 5: 121—137

## COMPARATIVE STUDY ON THE NEMATODE COMMUNITY STRUCTURE IN THE SUBMARINE DELTA OF HUANGHE RIVER ESTUARY AND ITS ADJACENT WATERS

ZHANG Zhi-Nan, ZHOU Hong<sup>-</sup>, GUO Y<sup>+</sup>Qing, MU Fang-Hong

( *College of Marine Life Science, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003* )

( *Department of Ecology and Biodiversity, University of Hong Kong, Hong Kong* )

**Abstract** A comparative study on the community structure of nematodes was undertaken by using multivariate techniques in the submarine delta of the Huanghe River Estuary and its adjacent waters. The results show that significant change in the species composition of the nematode community can be detected. Non- selected deposit feeders (feeding type 1B) were double in the central part of the Bohai Sea and five times as much as ten years ago in Laizhou Bay, indicating a significant increase in sedimentary organic detritus. The community patterns of nematodes at species, genus and family levels show that there are no significant difference between species and genus levels. For nematodes sample, analysis to the genus appears to be perfectly adequate and obviates much of the time- consuming taxonomic constraints on the meiobenthic samples.

**Key words** Meiofauna, Marine nematodes, Community structure, The submarine delta in the Huanghe River Estuary, Laizhou Bay, Bohai Sea