

渤海海洋线虫与底栖桡足类数量之比的应用研究*

郭玉清^{1,2} 张志南¹ 慕芳红¹⁽¹⁾ 青岛海洋大学生命学院 266003)⁽²⁾ 集美大学水产学院 厦门 361021)

提要 在渤海的 22 个站位,分 3 个航次采集未受扰动的沉积物样品,进行了小型底栖动物中两个主要类群自由生活海洋线虫和底栖桡足类数量变动和两者数量之比评价沉积物有机污染环境的研究。结果表明:对于同一航次的不同重复,数量变动差异显著或极显著;在同一个站位 24 h 6 次重复取样,两者数量的变异系数较大;在应用该比值进行沉积物有机污染评价时,在同一站位该比值波动较大。

关键词 自由生活海洋线虫,底栖桡足类,有机污染,渤海

小型底栖动物是底栖生态系统中的重要组成部分,是构成底栖小食物网的基本环节,了解小型底栖动物的数量变动是研究海洋底栖生态系统生物学过程的基础。无论在数量方面,还是在多样性、生物量方面,自由生活海洋线虫和底栖桡足类都是小型底栖动物中最主要的两个类群,目前我国关于小型底栖动物分类学和生态学的研究已日趋活跃^[3-5]。由于小型底栖动物在环境中数量巨大、分布广泛和底栖生活等特性,有关小型底栖动物环境污染生物学的问题一直引人关注,在 20 世纪 80 年代,曾就这两个类群的数量之比在检测环境污染中的作用有过较为深入的研究^[6-9]。本文主要对渤海小型底栖动物数量的季节变动、自由生活海洋线虫与底栖桡足类数量之比的变动以及它在评价渤海潮下带软泥底沉积环境污染状况中的有效性等问题进行初步的探讨。

1 研究方法

本研究采样在青岛海洋大学“东方红”2号调查船上进行,共进行了 3 个航次。1997 年 6 月航次,5 个站位 (B1, E1, E5, BH4 和 BH5); 1998 年 9~10 月和 1999 年 4~5 月航次,为 20 个相同的站位(见图 1)。在每个站位,利用采样面积为 0.1 m² 的 Gray-O'Hara 箱式采泥器,采集未受扰动的沉积物样品一箱,在甲板上,用由注射器改造的内径 2.6 cm 的小采样管取厚度为 0~5 cm 的分样作为小型底栖动物样品。同时,刮取一定量的表层沉积物,用于沉积物粒度、有机质和石油含量等环境因子的分析。沉积物中有机质含量的测定采用《海洋调查规范》中介绍的重铬酸钾-硫

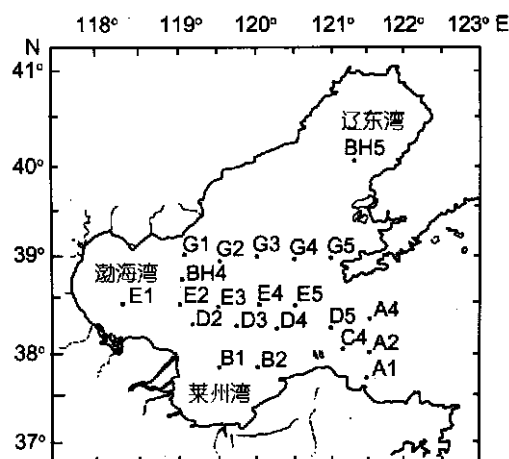


图 1 渤海采样站位

Fig.1 Map of the sampling stations in the Bohai Sea

* 国家自然科学基金 497901001 号和 39770145 号;教育部博士点基金 97042306 号;中英国际合作“Darwin initiative”项目以及福建省青年创新基金项目联合资助。

第一作者:郭玉清,出生于 1965 年,博士,副教授,研究方向:海洋生态学和环 境生物学。E-mail: yuqingg@public.xm.fj.cn
致谢:本研究在资料收集、数据分析和野外采样等诸多方面得到了英国普利茅斯海洋研究所的 R. M. Warwick 博士、M. C. Austen 博士、P. J. Somerfield 博士、J. M. Gee 博士和青岛海洋大学生命学院于子山副教授的无私帮助,在此一并表示衷心谢忱。

收稿日期:2001-08-27;修回日期:2002-07-18

酸氧化法;石油含量的测定采用《海洋检测规范》中介绍的荧光分光光度法。

本文所研究的小型底栖动物是指通过上层孔径为 0.5 mm, 下层孔径为 0.048 mm 双层网筛后的后生动物。动物样品的分选和提取采用比重为 1.15 的 Ludox 提取液。小型底栖动物的记数、鉴定及自由生活海洋线虫(以下简称线虫)的透明封片和鉴定等研究方法见文献[10]。本文就 3 个航次小型底栖动物中两个主要类群线虫和底栖桡足类的丰度数量进行分析研究。

2 结果

2.1 渤海线虫与底栖桡足类数量的变动

从表 1 可以看出, 3 个航次不同季节渤海线虫与底栖桡足类数量变化较大, 对 1998 年航次 4 个站位 24 h 6 个重复样品的小型底栖动物、线虫和桡足类的数量分析表明(图 2), 同一个站位, 三者的变异系数较大, 特别是在海峡口的 A2 和 A4 站。对它们进行的方差分析表明, 4 个站位的数量差异均为极显著 $P < 0.01$ 。利用 1998 年 20 个站位两个重复的小型底

表 1 不同季节渤海线虫与底栖桡足类的数量变动

Tab.1 Change in the abundance of meiofauna from different seasons

类群	采样时间 (年.月)	样品数 (个)	最高值(及站位) (个/ m ²)	最低值(及站位) (个/ m ²)	平均数±标准差 (个/ m ²)
线虫	1997.6	5	374.0(BH)	89.6(BH)	215.1±103.6
	1998.9~10	20	198.9(A2)	11.0(G3)	75.8±47.4
	1999.4~5	20	146.4(B1)	10.7(D2)	55.8±34.0
桡足类	1997.6	5	16.7(E5)	1.8(B1)	7.4±5.5
	1998.9~10	20	22.0(A4)	0.6(D2)	6.6±5.7
	1999.4~5	20	26.2(A4)	0.2(D2)	5.1±6.1

表 2 典型站位渤海线虫与底栖桡足类数量的变动

Tab.2 Variability of free-living marine nematodes and benthic copepods in the Bohai Sea

类群	站位	平均数 (个/ m ²)	标准差 (个/ m ²)	变异系数
小型底栖动物	A2	211.1	61.9	0.293
	A4	175.1	59.9	0.342
	E1	101.7	12.5	0.122
	E3	78.8	19.8	0.251
线虫	A2	198.9	63.8	0.321
	A4	146.2	59.9	0.41
	E1	97.3	11.9	0.123
	E3	74.8	19	0.254
桡足类	A2	6.5	3.5	0.533
	A4	22	6.7	0.302
	E1	2.7	0.8	0.31
	E3	1.8	1	0.57

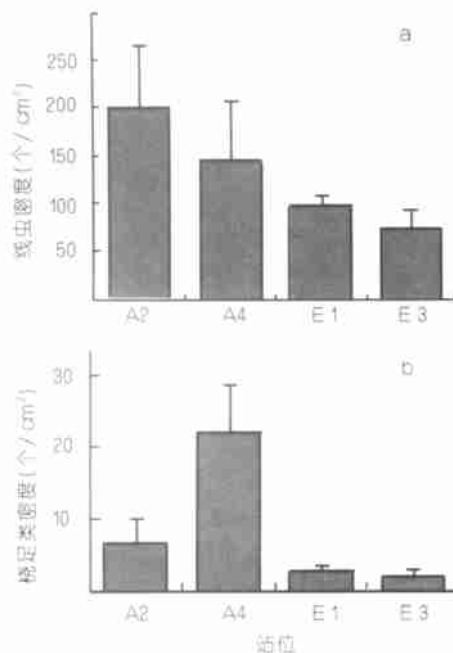


图 2 渤海 4 个连续站位线虫和桡足类的数量变化
Fig.2 Change in the abundance of nematodes and copepods

栖动物、线虫和桡足类数量进行 *t* 检验也表明,两个重复之间小型底栖动物和线虫数量的差异是显著的 $P < 0.05$,桡足类数量的差异为极显著 $P < 0.01$ 。以上结果均表明小型底栖动物自身分布的不均匀性(斑块分布),在秦皇岛潮间带和黄河口水下三角洲的研究也都证实了线虫的集合分布^[1,2]。

2.2 渤海线虫和桡足类数量之比的变动

线虫和桡足类是小型底栖动物中两个大的类群,它们与小型底栖动物总数量的相关性为极显著 $P < 0.01$,前者 *R* 为 0.989 ($n = 40$),后者 *R* 为 0.628

($n = 40$)。且它们两者之间数量变动的相关性也是极显著($R = 0.523, n = 40$)。

小型底栖动物中主要类群(线虫和底栖桡足类)丰度的测定是生物监测研究中最基本的问题,而线虫和桡足类各自密度的变化与沉积环境中有机物含量多寡的关系不明显,因此有人提出,可以使用相同样品中,线虫与桡足类数量之比作为沉积环境有机污染的一种监测方法。

渤海 3 个航次小型底栖动物群落中,线虫和桡足类的数量之比(*N/C*)及线虫底上刮食者种类数量与桡足类数量之比(*2A/C*)见表 3。

表 3 渤海线虫和桡足类数量之比

Tab. 3 Ratios of abundance of nematodes to copepods in the Bohai Sea

采样时间	比率	A1	A2	A4	B1	B2	C4	D2	D3	D4	D5	E1	E2	E3	E4	E5	G1	G2	G3	G4	G5
1997	<i>N/C</i>	/	/	/	139	/	/	/	/	/	/	29	/	/	/	15	/	/	/	/	/
	<i>2A/C</i>	/	/	/	14	/	/	/	/	/	/	2	/	/	/	1	/	/	/	/	/
1998	<i>N/C</i>	13	31	7	28	10	17	75	11	21	7	36	9	41	10	17	11	31	1	4	4
	<i>2A/C</i>	4	5	2	22	7	6	44	7	5	2	7	8	6	4	7	5	12	2	2	1
1999	<i>N/C</i>	18	73	4	16	10	12	57	50	18	5	9	18	40	23	12	10	11	73	33	9
	<i>2A/C</i>	5	18	2	6	2	4	27	29	7	2	4	4	4	6	4	4	4	22	16	3

注: / 代表该站点没有数据

2.3 线虫和桡足类数量比与沉积物中石油、有机质含量的分析

表 4 为 1998 年航次中各站位沉积物中石油的含量和 1999 年航次中有机质的含量。*N/C*、*2A/C* 与沉积物中石油含量的相关分析显示,它们之间未呈现相关性(由于 E3 的石油含量异常的高,分析时将该站位除去)。*N/C* 和 *2A/C* 与沉积物中有机质含量所作的相关分析表明虽然呈现一定的负相关,但相关不显著,*R* 值分别为 0.21 和 0.29($n = 20$)。

3 线虫与桡足类数量之比用于监测沉积环境有机污染的讨论

小型底栖动物中主要类群(线虫和底栖桡足类)丰度的测定是生物监测研究中最基本的问题。在自然情况下,两者的密度与沉积物的粒径、有机质含量、食物来源、季节、温度和自身繁殖等因素有关。因而,它们各自数值的多少随着时间和空间变化而波动,呈现不均匀的斑状分布^[1,2]。本研究对同一航次两次重复样品中这两个类群数量的 *t* 检验以及同一站位 24 h

表 4 渤海采样站位的石油含量和有机质

Tab.4 Oil and organic matter content in the sampling sites in the Bohai Sea

站位	石油含量 ($\times 10^3$)	有机质 (%)
A1	1.3	0.9
A2	3.5	1.5
A4	1.5	1.7
B1	1.9	1.3
B2	2.1	2.8
C4	1	1.3
D2	2.3	3
D3	5.5	1.6
D4	2.8	1.4
D5	2.4	2.7
E1	5.2	3.9
E2	5.2	3.7
E3	103	3.4
E4	3.9	2.3
E5	1.9	2.8
G1	1.3	2.4
G2	3.9	3.6
G3	1.1	1.6
G4	2.9	0.6
G5	4.6	2.1

6次重复采样的分析也表明了小型底栖动物的集中分布。一般情况,在沉积颗粒细小的有机质含量高的沉积物中,线虫的数量比在沉积颗粒粗大的有机质含量低的沉积物中的要高,而且,线虫数量的变化对于环境有机污染的影响不敏感。由于除了污染以外,许多其它的因子控制着小型底栖动物丰度的变化,线虫和桡足类各自丰度的变化与污染的关系不明显,因而,单独一个数量的变化不可能反应沉积物环境中的有机污染状况。

线虫与桡足类数量之比监测所在生境中沉积物的有机污染状况曾是小型底栖动物污染生物学的热门话题。Raffaelli 和 Mason^[6]以及 Findlay^[11]都曾提出,底栖桡足类对于环境的胁迫更为敏感,因而,可以利用样品中线虫与桡足类密度之比作为污染效应的一种监测方法,虽然,这个比值也随着沉积物粒径的减小而增大,但是,受到有机污染的潮间带中,这个比值特别高,在未受污染的潮间带,即使是泥质底,这个比值也很低,不会超过 100。对于潮下带软泥底,一般该比值均较高,而且随着深度的增加而增加。为了扩大该比值的应用范围和敏感性,Warwick^[7]依据小型底栖动物食物营养类群的研究,提出了对此指数的修正,他认为食物是限制通过线虫和桡足类群落能量流动的因素,而只有摄食类型为 2A 型即底上刮食者线虫的食物类型和桡足类的相同。如果桡足类确实受污染的影响比线虫敏感,那么,桡足类相对与 2A 型线虫的比值应该是一个很有用的指标,它应该能够区分污染的影响与沉积物类型差异所造成的变化。Warwick 同时指出当该比值在细腻的沉积环境中高于 40,在砂质沉积物中高于 10 时,即可推断此生境受到有机污染。在表 5 作者给出了渤海研究站位沉积物的类型,采用 Raffaelli & Mason^[6]和 Warwick^[7]在不同沉积物类型中给出的利用这两个比值判断沉积环境有机污染的标准,从表 3 我们可以看出,在渤海的大部分采样站位,这两个比值的数值较低,表明这些海区未受污染。但在采样站位 B1 站, G3 站和 G4 站,3 个航次中该数值波动较大。B1 站(沉积物类型为粘土质粉砂),1997 年航次时, N/C 为 139,按照 Raffaelli & Mason^[6] 给出的标准似乎表明受到有机污染;但另外两个航次,该数值仅为 28 和 16;1999 年航次时, G3 站(沉积物类型为极细砂), $2A/C$ 为 22, G4 站(沉积物类型为细砂) $2A/C$ 为 16,按照 Warwick^[7] 给出的标准似乎表明该站位受到有机污染,但 1998 年航次时, G3 站和 G4 站的 $2A/C$ 都仅为 2,表示未受污染,而且,这两个数值几乎是该航次中的最低值(G5 站位的 $2A/C$

为 1)。

对同一站位评价结果的不稳定,表明该数值在评价渤海潮下带沉积环境有机污染时的局限性。Coutt 等^[13]认为由于该比值的大小极大地受到沉积物粒度和季节变动的的影响,因而反对用这样一个单一的指数来反应非常复杂的小型底栖动物群落结构的变化。Vidaskovic^[12]甚至发现随着有机污染的加重,桡足类数量的增加超过了线虫数量的增加,结果出现了相反的变化趋势。Raffaelli^[9]也建议该指数最好用于遭受有机污染的砂质潮间带的生物学评价,而且用于计算

表 5 渤海研究站位沉积物的类型

Tab. 5 Sediment type for sampling stations in the Bohai Sea

站位	沉积物类型
B1	粘土质粉砂 YT
D2	粘土质粉砂 YT
D3	粗粉砂 CT
B2	粗粉砂 CT(粘土质粉砂 YT*)
E2	粘土质粉砂 YT
E3	粘土质粉砂 YT
E1	粉砂质粘土 TY
D4	粉砂质砂 TS
E4	粉砂质砂 TS
G1	细砂 FS
G2	粉砂质粘土 TY
E5	极细砂 VFS
G3	粘土质砂 YS(极细砂 VFS*)
C4	砂质粉砂 ST
D5	极细砂 VFS
G4	细砂 FS
A1	粗粉砂 CT
A2	砂质粉砂 ST
G5	粘土质粉砂 YT(粉砂质砂 TS*)
A4	极细砂 VFS

注: * 为 1999 年测定的结果

的桡足类应该是间隙生活的类型。

总之,作者初步认为,鉴于自由生活海洋线虫和底栖桡足类数量分布的不均匀性,两者数量变动对于有机污染环境的不确定性和复杂性,能否利用两者数量之比的变化,评价渤海潮下带沉积物环境的有机污染状况有待商榷。同时,由于本文所测定的渤海有机污染物的种类有限,调查次数还少,有关这方面的最终结论还需要做进一步的研究。

参考文献

- 1 张志南, 谷峰, 于子山. 黄河口水下三角洲海洋线虫空间分布的研究, *海洋与湖沼*, 1990, **20**(1): 11 ~ 19
- 2 张志南. 秦皇岛沙滩海洋线虫的数量研究, *青岛海洋大学学报*, 1991, **21**(1): 63 ~ 75
- 3 Guo Y., Somerfield P. J., Warwick R. M. *et al.*. Large-scale patterns in the community structure and biodiversity of free-living nematodes in the Bohai Sea, China, *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 2001, **81**: 755 ~ 763
- 4 Guo Y. Q. & Warwick R. M.. Three new species of free-living nematodes from the Bohai Sea, *Journal of Natural History*, 2001, **35**(11): 1575 ~ 1586
- 5 Guo Yuqing & Zhang Zhinan. New species of *Terschellingia* (nematoda) from the Bohai Sea, China, *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2000, **30**(3): 485 ~ 492
- 6 Raffaelli D.G. & Mason C.F.. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods, *Mar. Pollut. Bull.*, 1981, **12**: 158 ~ 163
- 7 Warwick R. M.. The Nematode / copepod ratio and its use in pollution ecology, *Mar. Pollut. Bull.*, 1981, **12**: 329 ~ 333
- 8 Lamshead P. J. D., Platt, H. M. & Shaw K. M.. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity, *J. Nat. Hist.*, 1983, **17**: 859 ~ 874
- 9 Raffaelli D.. The behaviour of the Nematode / Copepod ratio in organic pollution studies, *Mar. Environ. Res.*, 1987, **23**: 135 ~ 152
- 10 Warwick R. M., Platt H. M. & Somerfield P. J.. Free-living marine nematodes. Part III. Monhysterids. Synopses of the British Fauna (New Series) No. 53. Great Britain: The Bath Press, 1998
- 11 Findlay S. E. G.. Small scale spatial distributions of meiofauna on a mud and sandflat, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 1981, **12**: 471 ~ 484
- 12 Vidaskovic J.. The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna, *Mar. Pollut. Bull.*, 1983, **14**: 84 ~ 88
- 13 Coull B. C., Hicks G. R. F. & Well J. B. J.. Nematode / Copepod ratios for monitoring pollution: a rebuttal, *Mar. Pollut. Bull.*, 1981, **12**: 378 ~ 381

THE STUDY ON THE RATIO OF ABUNDANCE OF NEMATODES TO THAT OF COPEPODS IN THE BOHAI SEA

GUO Yu-qing^{1,2} ZHANG Zhi-nan¹ MU Fang-hong¹

(¹ College of Life Sciences, Ocean University of Qingdao, 266003)

(² College of Aquaculture, Jimei University, Xiamen, 361021)

Received: Aug., 27, 2001

Key Words: Free-living marine nematodes, Benthic copepods, Organic pollution, The Bohai Sea

Abstract

A grid of 22 stations, giving a broad geographic coverage of the Bohai Sea and the Bohai Strait, was selected. Undisturbed sediments were collected from sampling stations during cruises in June 1997, in September/October 1998 and in April/May 1999. The abundance of the free-living marine nematodes and benthic copepods, which are two dominant groups in the meiofauna, and the ratio of nematodes to copepods were studied. The abundance of two groups from two replicates samples in 1998 cruise changed significantly or very significantly. The differences in the abundance of six replicates in the same sample sites were evident. The ratio of nematodes to copepods in the same sample sites in two cruises fluctuated when using it as organic pollution indicator.

(本文编辑: 刘珊珊)