渤海中、南部大型底栖动物物种多样性的研究

韩洁^{1,2} 张志南¹ 于子山¹

1 (青岛海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

2 (生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生态学研究所, 北京 100875)

摘要: 以 1997 年 6 月、1998 年 9 月和 1999 年 4 月共 3 个航次, 覆盖渤海中、南部大部分海区的大型底栖动物丰度、生物量和生产力的研究为基础, 进一步对其物种多样性进行了分析。结果表明: 研究海域的大型底栖动物物种多样性没有明显的平面分布规律, 物种多样性指数与沉积物因子的相关性高于其与底层水因子的相关性; 沉积物中污染物含量的确会对大型底栖动物的多样性造成影响。通过对 3 个航次中 3 个相同站位的比较, 发现不同年份之 3 个季节的平均 Shannon-Wiener 指数无显著差异 ($P > 0.05$); 而 1998 年 9 月和 1999 年 4 月 2 个航次中 20 个相同站位的平均 Shannon-Wiener 指数同样也未表现出明显的差异 ($P > 0.05$)。此外, 渤海的物种数量要明显地高于胶州湾。

关键词: 多样性指数, 平面分布, 环境

中图分类号: S963.21*5

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2003)01-0020-08

Macrobenthic species diversity in southern and central Bohai Sea, China

HAN Jie^{1,2}, ZHANG Zhi-Nan¹, YU Zi-Shan¹

1 College of Marine Life Science, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003

2 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering & Institute of Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875

Abstract: Macrobenthic species diversity in southern and central Bohai Sea was studied on the basis of quantitative investigations of macrobenthic abundance and biomass as well as secondary production in three cruises carried out in June 1997, September 1998 and April 1999. The results show that there is no obvious trend in planar distribution of macrobenthic species diversity within the surveyed areas. Statistical analysis demonstrate that diversity indices have closer relationships to sediment factors than to bottom water factors, and sediment pollutant contents have negative effects on macrobenthic species diversity. Variation of Shannon-Wiener index in three seasons was not significant ($P > 0.05$) when comparing the averages of samples from the same three stations among the three cruises. Moreover, there is no marked difference in the average Shannon-Wiener indices from 20 common stations between cruises in September 1998 and April 1999 ($P > 0.05$). The species number in the Bohai Sea is higher than in Jiao Zhou Bay, China.

Key words: diversity index, planar distribution, environment

渤海是北太平洋温带海域的一个典型的陆架浅海, 位于 $37^{\circ}07' \sim 41^{\circ}00' \text{ N}$ 和 $117^{\circ}35' \sim 121^{\circ}10' \text{ E}$ 之间, 海区面积约 $7.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 平均水深为 18 m,

最大深度达 70 m。它三面被大陆包围, 是我国唯一的内海, 也是我国主要的海洋渔场之一。近年来的研究表明, 渤海生态系统的结构和功能的变化导致

图 1 调查站位图
Fig. 1 Map of stations surveyed in the Bohai Sea

渔业生物资源数量和质量的大幅度下降,生物多样性和初级生产力降低,浮游动、植物的生物量也明显减少(邓景耀,1988;邓景耀等,1988;金显仕,唐启升,1998;Jin,1996)。生态系统的变化一方面可能受全球气候变化的影响,但沿岸经济的快速发展可能对渤海的环境和资源产生更为直接的干扰,例如赤潮事件的频繁发生表明了渤海富营养化的进程^{①②}。作者在对渤海 3 个航次大型底栖动物的丰度和生物量(韩洁等 2001)以及生产力(于子山等,2001)研究的基础上,对渤海大型底栖动物物种多样性进行了初步分析,这将有助于进一步认识生物多样性与生态系统功能的关系,为渤海生态环境的保护提供依据,同时也为浅海生物多样性的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究的航次和站位分布

分别于 1997 年 6 月在中科院海洋所“科学 1 号”、1998 年 9 ~ 10 月和 1999 年 4 ~ 5 月在青岛海洋大学“东方红 2 号”调查船上对渤海的大型底栖动物进行了定量采样,3 个航次(以下分别简称 976、989 和 994 航次)的调查站位分布见图 1。

976 航次包括 5 个站位,即 BH1、BH2、BH3、BH4 和 BH5,其中 BH1、BH2 和 BH3 分别与 989 和 994 航次的 E5、B1 和 E1 站的位置相同,989 与 994 航次的调查站位为完全相同的 20 个站位,即 A1、A2、A4、B1、B2、C4、D2、D3、D4、D5、E1、E2、E3、E4、E5、G1、G2、G3、G4 和 G5,它们分布于渤海中、南部的大部分海区,采样基本上反映了渤海大型底栖动物的状况。

1.2 样品的采集、处理和分析

使用 0.1 m² 的箱式采泥器,每站取样 3 次,合并为一个样品。使用 0.5 mm 孔径的网筛分选样品。样品的处理、保存、计数和称量等均按《海洋调查规范》(国家技术监督局,1991)和《海洋底栖生物研究方法》(Holme & McIntyre,1984)进行。

1.3 3 个航次中所测定的环境因子

在 976 航次中所测定的环境因子有水深、沉积物砂、粉砂、粘土、粉砂-粘土含量和中值粒径以及小型底栖生物、线虫和桡足类的丰度等,989 航次有沉积物石油、Cu、Pb、Cr、As、Hg、Cd、砂、粉砂、粉砂-粘

①国家海洋局,1999. 一九九八年中国海洋灾害公报
②国家海洋局,2000. 一九九九年中国海洋灾害公报

土和粘土的含量、中值粒径、水深以及小型底栖生物、线虫和桡足类的丰度等。994 航次有沉积物 0~2 cm 和 2~5 cm 的叶绿素和脱镁叶绿素含量、砂砾、砂、粉砂、粘土、粉砂-粘土、含水量、有机质含量、中值粒径、水深以及小型底栖生物、线虫和桡足类的丰度等。另外,989 和 994 航次还利用了底层水中营养盐含量、悬浮物浓度、盐度、溶解氧和叶绿素含量以及水层的初级生产力、浮游动物丰度和生物量等因子,这些数据均来自国家自然科学基金重大项目“渤海生态动力学与生物资源可持续利用”的共享数据库。

1.4 多样性分析

1.4.1 单变量分析 本研究使用 PRIMER(Clarke & Warwick, 1994)软件计算得到以下单变量:群落的种数(S)、丰富度(d)、Shannon-Wiener 指数(H')和均匀度指数(J'),它们都是多样性测度中常用的参数,并利用 SURFER 8 软件绘制其平面分布图。

种数是大型动物群落中的动物种类的数目,是最简单的多样性测定方法。计数中应排除偶然迁入的物种,但在实践中要确定哪些是偶然迁入的物种是相当困难的(孙儒泳, 2001)。在大型底栖动物取样中,一般而言,取样量大的样品,其种数相对较多,所以更常用丰富度来表示群落物种的丰富性。

本研究所使用的丰富度是 Margalef's index (1968),它综合了样品中种类数目和密度的信息,表示一定动物密度中的种类数目。其计算式为:

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

N 为动物密度(单位:个/ m^2)。

Shannon-Wiener 指数(Shannon & Wiener, 1949)是最常用的多样性指数,它综合了群落的丰富性和均匀性两个方面的影响。其计算方法如下:

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

其中 P_i 为样品中属于 i 种的个体的比例,如样品总个体数为 N ,第 i 种的个体数为 n_i ,则 $P_i = n_i / N$ 。 H' 值的大小意味着群落多样性的高低:其值越大,多样性就越高;反之亦然。

本研究所使用的均匀度是最常用的 Pielou's evenness index (1975),它是先估计理论上的最大 Shannon-Wiener 指数($H'_{\max}$),然后以实际测得的 H' 对 $H'_{\max}$ 的比率来获得。其计算方法为:

$$J' = H' / H'_{\max}$$

在所有的种都具有相同丰度时, H' 即达到最大值,此时的 $H'_{\max} = \log_2 S$, 所以,

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

本研究还采用 SPSS 8.0 软件包中的 Correlate 分析(Pearson)来检验上述多样性指标与环境因子的相关关系,使用 One-Way ANOVA 和配对样本 t 检验来检验航次间多样性指数的差异显著性(卢纹岱, 2000)。

1.4.2 分布/图形分析 PRIMER 软件中的 k -优势度曲线可用于多样性的评价(图 3)。此时图中的 x 轴是种类依密度重要性的相对种数(对数)排序, y 轴是丰度优势度的累积百分比。显然,在该图中位于最下方的曲线代表多样性最高的群落;反之,最上方的曲线则代表多样性最低的群落。

2 结果

表 1 为 3 个航次中在各站位得到的群落的种数、丰富度、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数;图 2 为利用 898 和 994 航次的 20 个调查站位的这 4 个多样性参数的平均值所绘制的平面分布图;表 2 为各航次大型底栖动物多样性指数与环境因子的相关性分析结果。现将各航次的结果分述如下。

2.1 976 航次

在 976 航次中采样站位相对较少,共采集到大型底栖动物 159 种,其中环节动物多毛类 63 种,甲壳类动物 51 种,软体动物 34 种,棘皮动物 4 种,其他类动物 7 种。

综合了丰富度和均匀度的 Shannon-Wiener 指数所显示的 5 个站位多样性的排列顺序依次为: BH5 > BH1 > BH2 > BH3 > BH4,但后 4 个站位的差别并不太大(表 1)。从 k -优势度曲线(图 3)也可以看出,代表 BH5 站的曲线位于最下方,表明其多样性高于其他站位;而其他 4 个站位虽然在排列上也有差别,但却出现了许多的交叉和重叠。

相关分析表明,大型底栖动物的丰富度与小型底栖生物及线虫的丰度呈显著的正相关($P < 0.05$);其 Shannon-Wiener 指数与小型底栖生物及线虫的丰度也呈极显著的正相关($P < 0.01$);但其他的多样性指数与所有环境因子的相关性则均未达到显著水平($P > 0.05$)(表 2)。

2.2 989 航次

在 989 航次中共采到大型底栖动物 253 种,其

表 1 976、989 和 994 航次大型底栖动物的多样性 (LOG Base e)
Table 1 Diversity indices of macrobenthos in cruises 976 , 989 and 994 (LOG Base e)

站位 Station	种数 <i>S</i> No. of species (<i>S</i>)			丰富度 <i>d</i> Richness (<i>d</i>)			Shannon-Wiener 指数 <i>H'</i> Shannon-Wiener index (<i>H'</i>)			均匀度 <i>J'</i> Evenness (<i>J'</i>)		
	976	989	994	976	989	994	976	989	994	976	989	994
A1		63	68		7.72	7.76		3.17	2.51		0.764	0.594
A2		37	63		4.26	7.25		2.28	2.52		0.631	0.607
A4		63	65		7.96	8.36		3.00	3.38		0.725	0.810
B1(BH2)	58	21	44	7.31	3.94	5.60	3.20	2.83	2.48	0.788	0.928	0.655
B2		43	70		5.97	8.50		2.75	3.20		0.731	0.753
C4		74	71		8.64	9.26		3.08	3.58		0.716	0.839
D2		48	42		6.94	6.39		3.21	3.33		0.830	0.891
D3		44	60		6.22	7.88		3.04	3.02		0.802	0.737
D4		43	66		6.05	7.77		2.88	2.89		0.765	0.690
D5		58	70		6.79	7.99		2.67	3.04		0.657	0.714
E1(BH3)	42	39	47	5.48	5.32	6.19	3.02	2.42	2.93	0.807	0.661	0.761
E2		47	51		6.25	6.51		2.54	2.57		0.659	0.653
E3		38	45		5.22	6.05		2.61	2.62		0.717	0.689
E4		49	39		6.83	5.85		2.96	3.31		0.761	0.903
E5(BH1)	57	52	45	7.47	7.05	6.20	3.29	3.23	3.04	0.814	0.818	0.799
G1		62	82		6.46	9.79		1.28	3.37		0.311	0.766
G2		36	37		5.17	5.25		2.82	3.05		0.788	0.844
G3		57	58		7.65	7.37		3.36	3.31		0.832	0.816
G4		76	66		9.03	8.68		3.09	3.45		0.714	0.823
G5		53	53		7.44	7.48		2.90	3.41		0.730	0.858
BH4	54			6.31			2.94			0.736		
BH5	95			10.90			3.63			0.796

图 2 989 和 994 航次种数、丰富度、Shannon-Wiener 指数和均匀性指数在渤海中、南部的平均平面分布
Fig. 2 The average planar distribution of number of species , richness , Shannon-Wiener index and evenness in southern and central Bohai Sea between cruises 989 and 994
a , 物种数量分布 ; b , 丰富度分布 ; c , Shannon-Wiener 指数分布 ; d , 均匀度指数分布
a , No. of species distribution ; b , Richness distribution ; c , Shannon-Wiener index distribution ; d , Evenness distribution

表 2 976、989 和 994 航次大型底栖动物多样性指数与环境因子的相关性 (Pearson 相关)
Table 2 Pearson correlations between diversity indices of macrobenthos and environmental factors in cruises 976 , 989 and 994

环境因子 Environmental factor	种数 <i>S</i> No. of species (<i>S</i>)			丰富度 <i>d</i> Richness (<i>d</i>)			Shannon-Wiener 指数 <i>H'</i> Shannon-Wiener index (<i>H'</i>)			均匀度 <i>J'</i> Evenness (<i>J'</i>)		
	976	989	994	976	989	994	976	989	994	976	989	994
砂 Sand	0. 718	0. 582 **	0. 393	0. 612	0. 476 *	0. 442	0. 379	-0. 077	0. 526 *	-0. 528	-0. 334	0. 322
粉砂 Silt	-0. 782	-0. 447 *	-0. 199	-0. 702	-0. 372	-0. 260	-0. 468	0. 108	-0. 534 *	0. 535	0. 309	-0. 429
粘土 Clay	-0. 476	-0. 462 *	-0. 566 **	-0. 357	-0. 365	-0. 581 **	-0. 177	-0. 022	-0. 335	0. 404	0. 174	-0. 044
粉砂-粘土 Silt-Clay	-0. 718	-0. 582 **	-0. 393	-0. 612	-0. 475 *	-0. 442	-0. 379	0. 078	-0. 526 *	0. 528	0. 334	-0. 322
中值粒径 MDΦ	-0. 535	-0. 598 **	-0. 578 **	-0. 412	-0. 474 *	-0. 606 **	-0. 203	0. 054	-0. 420	0. 494	0. 313	-0. 122
水深 Depth	0. 447	0. 220	0. 116	0. 442	0. 164	0. 130	0. 374	-0. 007	0. 144	-0. 090	-0. 153	0. 076
小型底栖生物丰度 Meiofauna abundance	0. 869	0. 178	0. 192	0. 934 *	-0. 021	0. 071	0. 986 **	-0. 244	-0. 173	0. 479	-0. 331	-0. 284
线虫丰度 Nematode abundance	0. 861	0. 089	0. 153	0. 927 *	-0. 109	0. 015	0. 984 **	-0. 251	-0. 249	0. 492	-0. 297	-0. 339
桡足类丰度 Copepod abundance	0. 436	0. 559 *	0. 252	0. 460	0. 518 *	0. 228	0. 447	0. 068	0. 160	0. 092	-0. 194	0. 019
活性磷酸盐 Phosphate		0. 399	-0. 319		0. 372	-0. 245		0. 057	0. 109		-0. 164	0. 275
活性硅酸盐 Silicate		-0. 423	-0. 329		-0. 542 *	-0. 341		-0. 230	-0. 099		-0. 024	0. 075
亚硝酸盐 Nitrite		-0. 293	-0. 541 *		-0. 152	-0. 486 *		0. 209	-0. 070		0. 416	0. 208
硝酸盐 Nitrate		-0. 352	-0. 114		-0. 303	-0. 103		0. 056	0. 000		0. 327	0. 066
氨氮 Ammonia		-0. 232	0. 003		-0. 345	0. 000		-0. 063	0. 067		0. 103	0. 092
初级生产力 Primary production		0. 267	0. 222		0. 117	0. 153		-0. 009	0. 118		-0. 150	0. 019
悬浮物 Suspended particle		-0. 436	-0. 465 *		-0. 296	-0. 394		-0. 041	-0. 050		0. 185	0. 174
盐度 Salinity		0. 437	0. 239		0. 430	0. 214		0. 104	0. 104		-0. 214	-0. 110
底层水叶绿素 a Chl-a		-0. 384	-0. 362		-0. 339	-0. 308		-0. 016	0. 080		0. 170	0. 260
浮游动物生物量 Zooplankton biomass		-0. 337	0. 266		-0. 304	0. 179		-0. 209	-0. 086		-0. 047	-0. 200
浮游动物丰度 Zooplankton abundance		-0. 149			-0. 219			-0. 015			0. 111	
石油总量 Oil content		-0. 237			-0. 253			-0. 108			-0. 018	
铜 Cu		-0. 573 **			-0. 475 *			-0. 042			0. 195	
铅 Pb		-0. 699 **			-0. 601 **			0. 019			0. 315	
铬 Cr		-0. 476 *			-0. 372			0. 281			0. 460 *	
砷 As		-0. 313			-0. 300			-0. 176			0. 036	
汞 Hg		-0. 577 **			-0. 528 *			0. 053			0. 305	
镉 Cd		-0. 501 *			-0. 426			-0. 025			0. 160	
叶绿素 a (0 ~ 2 cm) Chl-a (0 ~ 2 cm)			-0. 268			-0. 320			-0. 111			0. 040
叶绿素 a (2 ~ 5 cm) Chl-a (2 ~ 5 cm)			-0. 125			-0. 227			-0. 310			-0. 240
沉积物叶绿素 a (0 ~ 5 cm) Chl-a (0 ~ 5 cm)			-0. 257			-0. 338			-0. 211			-0. 066
脱镁叶绿素 a (0 ~ 2 cm) Ph-a (0 ~ 2 cm)			-0. 369			-0. 408			-0. 203			-0. 009
脱镁叶绿素 a (2 ~ 5 cm) Ph-a (2 ~ 5 cm)			-0. 502 *			-0. 482 *			-0. 054			0. 202
脱镁叶绿素 a (0 ~ 5 cm) Ph-a (0 ~ 5 cm)			-0. 461 *			-0. 478 *			-0. 156			0. 083
沉积物含水量 Sediment water content			-0. 592 **			-0. 639 **			-0. 355			-0. 043
有机质 Organic matter			-0. 480 *			-0. 486 *			-0. 120			0. 133
砂砾 Gravel			0. 188			0. 276			0. 266			0. 152
溶解氧 Oxygen			-0. 044			0. 005			0. 262			0. 282

注 : * *P* < 0. 05 ; * * *P* < 0. 01

中环节动物多毛类 81 种,甲壳类 76 种,软体动物 71 种,棘皮动物 10 种,其他类动物 15 种。从 Shannon-Wiener 指数来看,本航次各站位的多样性变化没有明显的平面分布规律(表 1)。其中 G1 站的多样性相对较低,这是由于在该站采到了密集成团的紫壳阿文蛤(*Alvegnus ojanus*),其丰度高达 9200 个/ m^2 ,另外还采到了相对较多的长偏顶蛤(*Modiolus elongatus*) 920 个/ m^2 、江户明樱蛤(507 个/ m^2)和小类鹿眼螺(*Rissoina bureri*) 500 个/ m^2),从而使该站成为本航次均匀度最低的一个站点。位于海峡口的 A1 和 D5 站的多样性之所以低于相邻站点,也是由于在这两个站所采到的大型动物种类相对较少,而优势种所占比例又十分明显的缘故。如在 A1 站采到了大量的紫壳阿文蛤(1507 个/ m^2)和薄云母蛤(*Yoldia similis*) 1003 个/ m^2),此外还有相对较多的微型小海螂(*Leptomya minuta*) 533 个/ m^2 、异足索沙蚕(*Lumbrineris heteropoda*) 330 个/ m^2)和中华侧滑虫(*Paraliochrides sinica*) 280 个/ m^2);在 D5 站则采到了较多的薄索足蛤(*Thyasira tokunagai*) (1277 个/ m^2)、司氏盖蛇尾(*Stegophiura sladeni*) (840 个/ m^2)、微型小海螂(300 个/ m^2)、紫壳阿文蛤(267 个/ m^2)和江户明樱蛤(243 个/ m^2)。

相关分析表明,沉积物的各种环境因子对大型底栖动物多样性指数的影响要高于底层水的影响。在底层水中,除活性硅酸盐与丰富度呈显著的负相关外($P < 0.05$),其他因子包括整个水层的浮游动物丰度和生物量以及初级生产力与多样性指数的相关关系均未达到显著水平($P > 0.05$);而在沉积物中,除含砂量与种数和丰富度呈正相关外,其他粒级的沉积颗粒含量以及石油、重金属含量和中值粒径与种数和丰富度均呈负相关关系,并且许多都达到了显著或极显著相关的水平,表明这些物质在沉积物中的增加,可使这 2 个多样性指标降低。但 Shannon-Wiener 指数和均匀度与环境因子的关系表现得并不密切(表 2)。

2.3 994 航次

在 994 航次中共采到大型底栖动物 247 种,其中环节动物多毛类 81 种,甲壳类 75 种,软体动物 70 种,棘皮动物 9 种,其他类动物 12 种。从表 1 中 994 航次的多样性分析可以看出,整个研究海域多样性的平面分布也未显示明显的差异。

从相关分析的结果可以看出,各站位的物种数和丰富度与沉积物的含水量和粘土含量以及中值粒径呈极显著的负相关关系($P < 0.01$);与沉积物 2 ~

图 3 976 航次 5 个站点大型底栖动物的 k 优势度曲线
Fig. 3 The k -dominant curves of macrobenthos from five stations in 1976 cruise

图4 976、989 和 994 航次 B1(BH2),E1(BH3)和 E5 (BH1)站位的平均多样性比较
Fig. 4 Comparison of average diversity of macrobenthos from B1 (BH2),E1(BH3) and E5(BH1) stations among cruises 976 , 989 and 994

5 cm 的脱镁叶绿素和总的脱镁叶绿素、有机质含量、底层水中的亚硝酸盐含量也呈显著的负相关关系($P < 0.05$)。另外 ,本航次的物种数还与底层水的悬浮物含量呈显著的负相关关系($P < 0.05$) ; Shannon-Wiener 指数与沉积物的含砂量呈显著的正相关关系($P < 0.05$) ,而与粉砂和粉砂-粘土的含量呈显著的负相关关系($P < 0.05$) ;但均匀度与所有的环境因子的关系却均未达到显著水平($P > 0.05$)。总的趋势也是 :多样性指数与沉积物因子的相关关系大于与底层水中各因子的相关关系(表 2)。

3 讨论

通过 One-Way ANOVA 分析发现 3 个航次 3 个相同站位的 Shannon-Wiener 指数的平均值之差异均未达到显著水平($P > 0.05$)(图 4)。

配对样本 t 检验表明 ,989 和 994 航次的 Shannon-Wiener 指数也没有显著差异($P > 0.05$)。各环境因子对均匀度的影响似乎不大 ,只有在 989 航次沉积物中的 Cr 含量与均匀度达到了显著的相关关系($P < 0.05$)。看来 ,环境因子主要是通过影响物种数和物种丰富度来影响大型底栖动物群落多样性的 ,而且沉积物因子对多样性的影响要高于底层水的影响 ,尤其是沉积物中值粒径对各站位的物种数和丰富度的影响在 989 和 994 两个航次中均表现出极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)的负相关性。从多样性与环境因子的关系可以看出 ,标志污染程度的沉积物重金属和有机质含量等因子的确会对大型底栖动物的多样性造成影响 ,其中与物种数和

丰富度的负相关关系尤为突出(表 2)。

孙道元和刘银城(1991)在对 1982 年渤海底栖动物种类组成研究时认为 ,渤海的动、植物区系贫乏、单调 ,多样性很低 ,占优势的物种主要是低盐、广温性暖水种。最南端和最北端有不少物种同时出现 ,区系成份没有明显的差异 ,仅在湾口深水区沉积物颗粒组成显著不同的底质区才表现出种类组成方面的某些区别。本研究与上述结论是一致的 ,但对大型底栖动物群落结构的研究发现 ,现在渤海的大型底栖动物种类组成与当时已有了一定的差别(韩洁等 ,待发表)。由于海上取样和室内分选方法的差异 ,使得大型底栖动物的调查资料间的比较异常困难。与同期胶州湾大型底栖动物物种多样性的研究(李新正等 ,2001)比较来看 ,渤海的大型底栖动物种类数目(韩洁等 ,2001)明显要多于胶州湾 ,但其他的多样性指数差别并不明显。

大型底栖动物一般栖息于海底 ,其分布变化显然要比水层的动物(浮游动物和游泳动物)稳定得多。然而渤海是典型的北方温带海 ,加之其水位相对较浅 ,受大陆性气候影响较大 ,所以在对大型底栖动物丰度和生物量的研究中发现 ,既使活动能力较弱的大型底栖动物似乎也有季节性迁移的现象(韩洁等 ,2001)。不过由于本研究未能做到逐月连续取样 ,特别是缺乏有关动物移动范围较大时期的连续资料 ,而且各航次的环境因子也不尽相同 ,因此 ,只能仅就各种环境因子对底栖动物分布及多样性产生的影响作一初步分析 ,目前尚难以详细地阐述其季节性变化的一般规律。

参考文献

Clarke K R and R M Warwick, 1994. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Natural Environment Research Council, Plymouth, UK, 144

Den J Y (邓景耀), 1988. Ecological basis of marine ranching and management in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 9: 1 ~ 10 (in Chinese)

Den J Y (邓景耀), T X Meng (孟田湘), S M Ren (任胜民), X Y Qiu (邱显寅) and J Y Zhu (朱建元), 1988. Species composition, abundance and distribution of fishes in the Bohai Sea. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 9: 11 ~ 89 (in Chinese)

Han J (韩洁), Z N Zhang (张志南) and Z S Yu (于子山),

2001. Study on the abundance and biomass of macrobenthos in Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao* (青岛海洋大学学报), **31**: 889 ~ 896 (in Chinese)

Holme N A and A D McIntyre, 1984. *Methods for the Study of Marine Benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 387

Jin X S (金显仕), 1996. Variations of community structure, diversity and biomass of demersal fish assemblage in the Bohai Sea between 1982/1983 and 1992/1993. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **3** (3): 31 ~ 47 (in Chinese)

Jin X S (金显仕) and Q S Tang (唐启升), 1998. Fishery resources structure, biomass distribution and their changes. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **5** (3): 18 ~ 24 (in Chinese)

Li X Z (李新正), H Y Yu (于海燕), Y Q Wang (王永强), L M Shuai (帅莲梅), B L Zhang (张宝琳) and R Y Liu (刘瑞玉), 2001. Study on species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(1) : 80 ~ 84 (in Chinese)

Lu W D (卢纹岱), 2000. *Statistic Analysis by SPSS for Windows*. Electronic Industry Press, Beijing (in Chinese)

Margalef R, 1968. *Perspective in Ecological Theory*. University of Chicago Press, 111

Pielou E C, 1975. *Ecological Diversity*. Wiley-Inters, New York, 163

Shannon C E and W Wiener, 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois, Urbanna, 117

Sun D Y (孙道元) and Y C Liu (刘银城), 1991. Species composition and quantitative distributions of biomass and density of the macrobenthic fauna in the Bohai Sea. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas* (黄渤海海洋), **9**(1): 42 ~ 49 (in Chinese)

Sun R Y (孙儒泳), 2001. *Principle in Animal Ecology* (3rd edn.). Beijing Normal University Press, Beijing, 394 ~ 401 (in Chinese)

State Administration of Technical Supervision (国家技术监督局), 1991. *Standardization of Ocean Survey: Marine Biology. National Standard of People's Republic of China (GB)*. China Standardization Press, Beijing (in Chinese)

Yu Z S (于子山), Z N Zhang (张志南) and J Han (韩洁), 2001. Study on the primary production of macrobenthos in Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao* (青岛海洋大学学报), **31**(6): 867 ~ 871 (in Chinese)

(责任编辑：时意专)