

胶州湾大型底栖动物生物多样性现状

于海燕, 李新正, 李宝泉, 王金宝, 王洪法

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要:根据自1998年2月至2001年11月对胶州湾的10个站15个航次(每季度月一次)的大型底栖动物分布状况调查资料,报道了胶州湾大型底栖动物生物多样性现状,采用了香农-威纳指数、物种丰富度指数以及物种均匀度指数对胶州湾大型底栖动物的群落结构、种类组成、优势种以及数量动态趋势进行了分析。本次调查共采到底栖动物322种,其中多毛类44科133种,甲壳动物42科92种,棘皮动物仅有14种。各站获得平均种类数在8~26种之间,种类最少的出现在7号站,最多的出现在3号站。各站位香农-威纳指数也有很大差异,最大的是2001年11月的8号站,最小的则出现在2001年8月的9号站。7号站和9号站种类数、物种多样性指数及物种丰度指数均较低,这是因为它们位于水流较大的区域,且底质为粗砂。3号站虽然种类数较多,并具有较大的香农-威纳指数,但它的物种均匀度指数却非常低,这是因为3号站靠近菲律宾蛤仔养殖区域,蛤仔的高密度降低了均匀度指数。生物多样性除了受种的数量及其个体密度的影响外,还与多种环境因素有关,如水温、盐度、初级生产力等,人为因素(如污染、过度利用)对底栖生物影响非常大。目的在于为进一步研究胶州湾生物多样性变化及底栖生物资源的合理开发和持续利用提供科学依据和积累资料。

关键词:胶州湾; 大型底栖动物; 生物多样性

文章编号:1000-0933(2006)02-0416-07 **中图分类号:**Q178.1, Q958.1 **文献标识码:**A

The species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

YU Hai-Yan, LI Xin-Zheng, LI Bao-Quan, WANG Jin-Bao, WANG Hong-Fa (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 416 ~ 422.

Abstract: Jiaozhou Bay, situated at latitude 35°38'N ~ 36°18'N, longitude 120°04'E ~ 120°23'E, is a typical semi-enclosed shallow bay. The number of species in Jiaozhou Bay is very rich, and some species such as *Ruditapes philippinarum*, *Terebellides stroemii*, *Sternospis scutata*, are especially abundant.

This paper reports the current condition of species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay (Qingdao, China). Study materials were collected once every three months from 15 cruises of investigation carried out in February, 1998 to November, 2001.

In analyzing the data, the Shannon-Wiener index, species evenness and richness indices are used to study the distributional trends of community structure, the distributional trends of species assemblages, dominant species and abundance of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay.

A total of 322 species macrobenthic animals were obtained from Jiaozhou Bay, of which 133 species belong to 44 families in Polychaeta, while 92 species belong to 42 families in Crustacea. Only 14 species of Echinodermata were found. Forty-seven

基金项目:中国科学院知识创新资助项目(KZCX3-SW-214); 山东省优秀中青年科学家科研奖励资助项目(03BS111)

收稿日期:2004-10-31; **修订日期:**2005-04-26

作者简介:于海燕(1974-),女,山东人,博士,主要从事海洋无脊椎动物分类学,海洋底栖生态学研究. E-mail: yhy@ms.qdio.ac.cn

致谢:标本由任先秋、徐凤山、廖玉麟等研究员做种类鉴定,刘瑞玉院士、徐凤山研究员对本文给予了悉心指教,在此一并致谢

Foundation item: The project was supported by Chinese Academy of Sciences Knowledge Innovation Program (No. KZCX3-SW-214) and Research Project of the Shandong Province Foundation for outstanding Young Scientist (03BS111)

Received date: 2004-10-31; **Accepted date:** 2005-04-26

Biography: YU Hai-Yan, Ph.D., mainly engaged in systematics of marine isopods and marine ecology. E-mail, yhy@ms.qdio.ac.cn

Acknowledgements: We thank Prof. Ren Xianqiu, Xu Fengshan and Liao Yulin for species identification; and many thanks to Academician Liu Ruiyu and Prof. Xu Fengshan for correcting this paper

species were ranked as dominant species of which *Ruditapes philippinarum*, *Sthenolepis japonica*, *Natatolana japonensis* are among the most dominant of each group. The average number of species was about 8 ~ 26 per sample station, the lowest number, 8 species, was found in Station No. 7, the maximum number, 26 species, was found in Station No. 3. The total number of individuals in samples taken in different months showed great variation because of great variation in the number of short life span species.

There was great difference of Shannon-Wiener index between each sample, the highest was 4.77, recorded in Nov. 2001 from Station No. 8, the lowest was 0.95, recorded in Aug. 2001 from Station No. 9. Stations No. 4, 6 had higher Shannon-Wiener indices and species richness indices than other stations. Both the number of species, the Shannon-Wiener indices and species richness indices were lower in Stations No. 7 and 9 than in other stations, because they were situated at the areas with rapid current and with coarse sandy bottom. Although Station No. 3 has high species richness and high Shannon-Wiener index, it has the lowest Pielou evenness index because it is located near the *Ruditapes philippinarum* culture area, where high abundance of clam caused lowering of the evenness index. Most stations had higher Pielou evenness indices in winter than in spring, because spring is the season when some species grow fast, mature, reproduce and thus increase in abundance.

Based on analysis of data, it is revealed that the number of species and its abundance have great effect on biodiversity, some environmental factors such as temperature, salinity and primary productivity are closely interrelated with biodiversity. Anthropogenic factors causing pollution and over-exploitation have adverse effect on biodiversity. In order to find out the best way to enhance and protect marine living resources, the impact of human activities relationship on biodiversity of macrobenthos in Jiaozhou Bay should be studied further.

Key words: Jiaozhou Bay; macrobenthic fauna; biodiversity

胶州湾位于 $35^{\circ}38' \sim 36^{\circ}18'N$, $120^{\circ}04' \sim 120^{\circ}23'E$, 在山东半岛南岸的西部, 是典型的半封闭的浅海湾。早在 20 世纪 50 年代, 中国科学院海洋研究所就与苏联科学院动物研究所合作对胶州湾潮间带底栖动物做了较详细的研究, 此后陆续开展了湾内生态学的研究。1980 ~ 1990 年, 刘瑞玉的底栖生物组对胶州湾进行了连续 10a 调查^[1-4]。1991 ~ 1995 年, 孙道元等人在胶州湾设立了 10 个底栖生物监测取样站, 进行了大型底栖生物的调查^[5-8]。李新正等在原有工作的基础上, 从 1998 年 2 月开始对胶州湾大型底栖生物的生物量、栖息密度和季节变化进行研究^[9,10]。本文根据 1998 年 2 月到 2001 年 11 月共 15 个季度月(2000 年 11 月未采样)所获的底栖动物表层采泥资料完成。

1 材料与方法

湾内共设 9 个取样站, 湾外设 1 个取样站作为对照, 各站的底质和水文理化特点参见刘瑞玉主编的《胶州湾生态学和生物资源》及董金海、焦念志^[11]主编的《胶州湾生态学研究》, 各站的站位分布见图 1。每季度调查 1 次(按 2、5、8、11 月份进行), 取样用面积为 $0.1m^2$ 的表层采泥器重复取样两次, 合并为一个样品。具体操作按《全国海岸带和海涂资源综合调查规程》实施。将样品带回实验室后经种类鉴定、个体计数、生物量计算, 再与同时获得的温度、盐度、初级生产力等环境参数*进行对比分析。

运用物种多样性指数、物种均匀度指数和物种丰度指数对底栖动物的群落结构、组成特点、优势种及数量

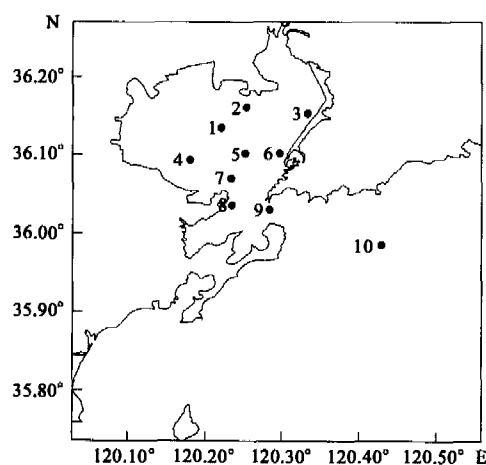


图 1 胶州湾取样站位示意图

Fig. 1 The distribution of sampling stations during monitoring period

* 温度、盐度、初级生产力数据由中国科学院胶州湾生态站提供

动态特点进行分析。

物种多样性的计算采用 Shannon-Wiener 指数 (H') 其计算公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \text{Log}_2 P_i$$

物种丰富度指数 (D) 采用 Margalef^[12] 的计算公式:

$$D = (S - 1) / \text{log}_2 N$$

物种均匀度指数 (J) 采用 Pielou^[13] 的计算公式:

$$J = H' / \text{log}_2 S$$

式中 N 为采泥样品中所有种类的总个体数; S 为采泥样品中的种类总数; P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值 (N_i/N)。

2 结果与讨论

2.1 种类组成

采泥样品经分析鉴定,共采到底栖动物 322 种,其中多毛类 44 科 133 种(占 41.3%),甲壳动物 42 科 92 种(占 28.6%),软体动物 37 科 59 种(占 18.3%),棘皮动物 14 种(占 4.3%),鱼类 9 种(占 2.8%),其它类群 15 种(占 4.7%)。调查中的优势种有 47 种(表 1),其中多毛类最多有 23 种,甲壳动物 13 种,软体动物 13 种,头索动物 1 种。

表 1 胶州湾大型底栖动物优势种名录

Table 1 Dominant species of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

强鳞虫	<i>Sthenolepis japonica</i> (McIntosh)	函馆雪锉蛤	<i>Limaria hakodatensis</i> (Tokunaga)
乳突半突虫	<i>Anaiides papillosa</i> Uschakov et Wu	菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams et Reeve)
拟特须虫	<i>Paralacydonia paradoxa</i> Fauvel	光滴形蛤	<i>Theora lubrica</i> (A. Adams)
花冈钩毛虫	<i>Sigambra hanaokai</i> Kitamoni	秀丽波纹蛤	<i>Raetellops pulchella</i> (Adams et Reeve)
寡鳃齿吻沙蚕	<i>Nephtys oligobranchia</i> Southern	秀丽织纹螺	<i>Nassarius festivus</i> (Powys)
长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i> Izuka	壳蛞蝓	<i>Yoloyamaia argentata</i> (Gould)
异足索沙蚕	<i>Lumbrineris heteropoda</i> Marenzeller	圆楔樱蛤	<i>Cadella narutoensis</i> Habe
短叶索沙蚕	<i>L. latreillei</i> Audouin et M. Edwards	江户明樱蛤	<i>Moerella jodoensis</i> (Lischke)
长叶索沙蚕	<i>L. longifolia</i> Imajima et Higuchi	津知圆蛤	<i>Cycladicama tsuchii</i> Yamamoto et Habe
椎稚虫	<i>Aonides oxycephala</i> (Sars)	日本游泳水虱	<i>Naisiolana japonensis</i> (Richardson)
尖叶长手沙蚕	<i>Magelona cineta</i> Ehlers	日本拟花尾水虱	<i>Paranthura japonica</i> Richardson
蛇形杂毛虫	<i>Poecilochaetus serpens</i> Allen	博氏双眼钩虾	<i>Ampelisca bocki</i> Dahl
多丝独鳃虫	<i>Tharyx multifilis</i> Moore	轮双眼钩虾	<i>Ampelisca cyclops</i> Walker
方格独鳃虫	<i>Tharyx tessellata</i> Hartman	弯指伊氏钩虾	<i>Idunella curvidactyla</i> Nagata
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i> (Ranzani)	塞切尔泥钩虾	<i>Eriopisella sechellensis</i> (Chevreux)
丝异须虫	<i>Heueromasius filiformis</i> (Claparède)	头角泥钩虾	<i>Eriopisella propagation</i> Imbach
中蚓虫	<i>Mediomasius californiensis</i> Hartman	细螯虾	<i>Leptochela gracilis</i> Stimpson
双扇栉虫	<i>Ampharete arctica</i> Malmgren	日本鼓虾	<i>Alpheus japonicus</i> Miers
单足似蜚虫	<i>Amaeana antipoda</i> (Augener)	绒毛细足蟹	<i>Raphidopus ciliatus</i> Stimpson
西方似蜚虫	<i>Amaeana occidentalis</i> (Hartman)	豆形短眼蟹	<i>Xenophthalmus pinnotheroides</i> White
梳鳃虫	<i>Terebellides stroemii</i> Sars	异足倒颚蟹	<i>Asthenognathus inaequipes</i> Stimpson
光滑管纓	虫 <i>Chone teres</i> Bush	拟盲蟹	<i>Typhlocarcinops</i> sp.
角海蛸	<i>Ophelina acuminata</i> Oerster	青岛文昌鱼	<i>Branchiostoma belcheri</i> Tchang et Koo
圆筒原盒螺	<i>Eocylichna cylindrella</i> (Yokoyama)		

在 1991 ~ 1995 年的采泥样品中,共获得了 208 种底栖生物,其中多毛类 86 种,甲壳动物 57 种,软体动物 40 种,棘皮动物 11 种,本次调查各类群种数均显著高于前次调查,甲壳动物明显多于前次调查的原因还在于本次调查对全部端足类做了细致的分类工作,共 7 科 32 种,以往调查的钩虾没有完全鉴定。本次调查出现了一些新的种如双叉索沙蚕 *Lumbrineris bifurcata*,褐色金扇毛鳞虫 *Sthenelais fusca*,苏维埃豆维虫 *Schitocomus sovieticus*,软疣沙蚕 *Tylonereis longoyawleskyi* 等。另外一些个体小的泥食性种类数量非常大。Beukema^[14] 报道

Dutch Wadden 海在富营养化期间,小个体的泥食性种类占优势,本次调查也发现相似的现象,可能与胶州湾内人类活动影响导致水体营养化程度较高有关。

细雕刻肋海胆 *Temnopleurus toreumaticus* 在 20 世纪 80 年代是湾内优势种,最高记录在 1981 年 5 月航次 5 号站密度为 78 个/m²,但在 1991 ~ 1995 年调查中仅出现 3 次,且每次均为 1 个个体,本次调查出现了 13 次,反映出其数量有所回升。

从表 2 可以看出,出现种数最多的是 2000 年 5 月的 3 号站,高达 39 种,其次为 1998 年 8 月的 4 号站,种数为 38 种。获得种数最少的站次在 7 号站,1999 年 5 月与 2001 年 5 月,均只采到 3 种。总体来看,2、3、6 号站出现种数较多,7 号站与 9 号站出现种数较少。3 号站位于沧口区附近,是李村河、弯头河、北沙河等河流入海处,具有丰富的陆源生源元素,使得此处初级生产力较高,从而使底栖生物具有大量的食物来源。同时该区域底质为软泥粉砂,并掺杂许多贝壳碎屑,比较适合生物生存。7 号站位于黄岛附近,此处海流流速大,底质为黄色粗砂,该区域文昌鱼大量繁殖,其它类群的种类和数量均很少;9 号站位于湾口,为海湾进出海水的通道,水流湍急,底质为粗砂,记录的种数也较少。

2.2 物种多样性的空间分布

各站物种多样性指数差别较大,最大的为 2001 年 11 月的 8 号站,物种多样性指数为 4.77,该站共采到 33 种动物,并无数量特别大的种,该站物种丰富度指数和均匀度指数数值也较大,最小的为 2001 年 8 月 9 号站,仅为 0.95,主要因为该站只采到 4 种动物,其中文昌鱼数量较大,栖息密度为 70 个/m²,使得物种多样性指数偏低,物种丰富度指数和均匀度指数也很低。

从图 2、图 3 可以看出,4、6 号站底栖动物的物种多样性指数和物种丰富度指数较大,7 号站和 9 号站的物种多样性指数和物种丰富度指数均极小,这与该站的种数多少也有关。

表 2 胶州湾各站出现底栖动物的种类数(1998 ~ 2001) *
Table 2 The species number of macrobenthos in samples taken from Jiaozhou Bay

年-月 Year-Month	站 号										平均种数	总种数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1998-02	28	34	18	28	21	27	29	29	6	16	24	108
1998-04	31	29	28	24	23	35	41	9	9	28	26	112
1998-08	25	29	32	38	14	37	9	29	18	20	25	115
1998-11	24	18	26	22	18	18	12	22	8	15	18	84
1999-02	18	28	23	23	18	20	8	28	/	35	22	85
1999-05	17	24	15	20	9	25	3	14	14	23	16	81
1999-08	18	20	25	17	24	10	6	6	4	10	14	78
1999-11	14	12	26	21	21	16	7	13	/	18	16	76
2000-02	15	14	29	14	19	27	9	19	11	27	18	95
2000-05	32	33	39	22	23	37	8	22	14	26	26	121
2000-08	11	31	33	16	25	11	8	24	12	/	19	96
2001-02	11	26	21	25	16	20	4	9	13	16	16	94
2001-05	21	19	30	21	9	12	3	16	6	13	15	79
2001-08	16	25	23	14	25	29	20	22	4	/	20	102
2001-11	29	18	21	27	16	19	6	33	33	24	23	111
平均 Mean	21	24	26	22	19	23	8	20	12	21	20	

* 总种数不包括每个站重复出现的物种,斜线表示此站未采样;因 7 号站水流湍急,采样时位置极易产生偏差,1998 年 2 月与 4 月数据在计算总种数的时候计算在内,平均值时未采用 Total species excludes the repeated species appearing in each station;/: the station not sampled Station No. 7 is situated at the area with rapid current and not easy to stable, so the species at this station is included in the total species, but not included in the average number

从图 4 可以看出,5 号站均匀度指数最高,3 号站与 2 号站的均匀度指数非常低。3 号站虽然种数较多,物种多样性指数与物种丰富度指数均高,但部分种的数量非常大,使得均匀度指数低,如 1998 年 4 月梳鳃虫的

栖息密度为 500 个/m²,1999 年 2 月斑纹独毛虫的栖息密度为 1100 个/m²,2001 年 8 月菲律宾蛤仔的栖息密度为 1000 个/m²。

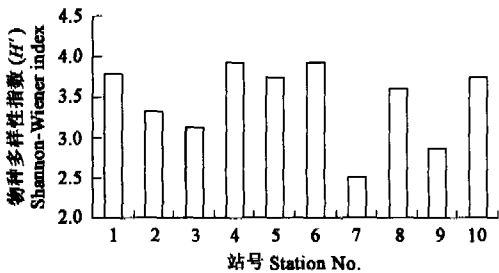


图 2 各站大型底栖动物平均物种多样性指数

Fig. 2 Average Shannon-Wiener index of macrobenthos in each station

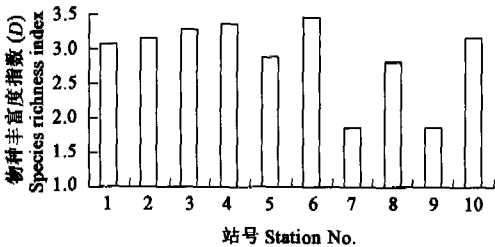


图 3 各站大型底栖动物平均物种丰富度指数

Fig. 3 Average species richness index of macrobenthos in each station

2.3 物种多样性指数的季节变化

从表 4 可以看出,2、3 号站的物种多样性在夏季最高,秋季最低,这是因为该站离菲律宾蛤仔养殖区较近,生长着大量人工养殖的蛤仔苗,每年 4~5 月份有许多渔船进行捕捞作业,使得蛤仔数目降低,从而减少了对其它生物生长的抑制。胶州湾蛤仔的产卵期从 5 月开始到 10 月结束,其中 6 月上旬为产卵盛期,秋季有大量新生蛤仔开始生长,使物种多样性降低。

从表 4 也可以看出均匀度的变化趋势,多数站在冬季均匀度较高,而在春季较低,这主要是因为春季特定的种得到发展,使均匀度降低。如 1998 年 4 月 2 号站菲律宾蛤仔栖息密度为 2475 个/m²,使该航次该站的物种均匀度指数仅为 0.25,该站采到的蛤仔绝大多数为 2~4mm 的幼蛤,可能是 1997 年秋季繁生的蛤仔;1998 年 8 月 8 号站光滴形蛤的栖息密度为 365 个/m²,该航次该站的物种均匀度指数为 0.67。

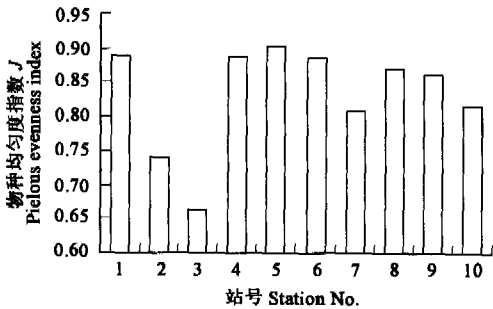


图 4 各站大型底栖动物平均物种均匀度指数

Fig. 4 Average Pielous evenness index of macrobenthos in each station

表 3 底栖生物群落平均物种多样性指数(H')、种类丰富度(D)及均匀度指数(J)

Table 3 The distribution of Shannon-Wiener(H'), Species Richness(D) and Pielou evenness(J) indices of macrobenthos		站号 Station No.									
季节 Season		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
春 Spring	H'	4.08	3.23	2.98	3.81	3.38	3.84	2.24	3.50	3.00	3.91
	D	3.49	3.28	3.22	3.11	2.44	3.67	2.10	2.30	1.76	3.24
	J	0.89	0.70	0.61	0.86	0.89	0.84	0.85	0.91	0.91	0.72
夏 Summer	H'	3.75	3.67	3.73	3.96	3.70	3.94	2.90	3.14	2.30	3.61
	D	2.82	3.45	3.75	3.35	3.10	3.46	1.73	2.55	1.80	2.91
	J	0.92	0.78	0.78	0.92	0.84	0.90	0.88	0.78	0.74	0.95
秋 Autumn	H'	3.54	2.98	2.27	3.94	3.99	3.86	2.12	4.12	3.45	3.63
	D	3.10	2.37	3.32	3.60	3.11	3.11	1.42	3.35	2.62	3.00
	J	0.81	0.76	0.49	0.87	0.95	0.93	0.69	0.94	0.87	0.86
冬 Winter	H'	3.72	3.31	3.28	3.98	3.94	4.00	2.68	3.76	3.00	3.64
	D	2.83	3.31	2.79	3.38	2.93	3.41	2.01	3.18	1.59	3.28
	J	0.91	0.73	0.73	0.90	0.94	0.88	0.78	0.87	0.95	0.82

物种多样性的季节变化与优势种的季节变化密不可分,其中影响最大的就是菲律宾蛤仔占绝对优势地位的 2 号站与 3 号站。另外中蛭虫在夏季数量多,2000 年 8 月在 2 号站的栖息密度为 70 个/m²,2001 年 8 月在 2 号站的栖息密度为 110 个/m²。秀丽波纹蛤为一种壳较薄的双壳类,在冬春季节数量很大,春季后数量逐渐减小,壳蛭蚶等也是在春季出现较多,异足索沙蚕在春末夏初数量较多,而甲壳动物中的异足类,秋季抱卵生殖,

在秋冬季数量比较大。它们的数量变动也影响到物种多样性的变化。在优势种中,还有一类季节变化不太明显的种,如不倒翁虫、多丝独鳃虫等在各个季节出现量都比较大。

3 小结

本调查发现胶州湾大型底栖动物的总种数比 1991 年调查显著增加,与 1980 年调查结果基本持平。表明了经过一段时间的恢复,胶州湾底栖环境开始趋于平稳。但是本次调查胶州湾大型底栖生物的种类组成及数量分布与前几次调查相比已经有了一定的差别。许多对海洋生态系统的长期研究都发现大型底栖生物的组成与结构发生了显著变化^[15,16]。

胶州湾大型底栖生物以菲律宾蛤仔为主要优势种^[17],近几年来人工养殖使其种群数量在胶州湾处于优势地位,在个别站点甚至是绝对优势地位,导致了生物多样性的降低。2001 年 8 月 2 号站发现了大量人工养殖的长牡蛎 *Crassostrea gigas*,栖息密度为 235 个/m²,该种与菲律宾蛤仔的食性相近,长牡蛎的增殖殖对该地区底栖生物的影响还有待于进一步观察。2001 年 2 月 2 号站与 3 号站均有大量菲律宾蛤仔死壳,原因可能是拖耙生产使底质遭到严重扰动,蛤仔受深度泥沙覆盖和混浊水作用,影响正常的生理活动,从而引起死亡^[18]。

生物多样性除了受种的数量及其个体密度的影响外,还与多种环境因素有关,如水温、盐度、初级生产力等(表 4)。胶州湾呈现出近岸浅水盐度低,中央深水盐度高的趋势,而各站种类数的分布与此相反,浅水区较多,深水区较少。底质特征是控制底栖生物分布和丰度的重要因子,泥沙等混合型沉积环境的多样性高于泥或砂等匀质的环境^[19,20],本次调查研究结果也证明了此结论。

表 4 各站的底质、平均深度、平均盐度和平均初级生产力

站号 Station No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
底质 ^[7]	粉砂-粘土	粉砂-粘土	粉砂-粘土	粉砂-粘土	砂	粉砂-粘土	砂	粉砂-粘土	砂	粉砂-粘土
平均深度(m)	6	5	5	9	14	8	13	18	34	18
平均盐度	31.32	31.33	31.31	31.72	31.95	31.77	31.96	31.87	32.00	32.11
初级生产力(mgC/(m ³ ·d))	214.20	196.04	236.16	202.61	241.22	203.78	119.89	208.79	172.79	118.83

胶州湾是许多经济种的产卵场和育幼场,而底栖生物又为这些经济种提供了丰富的食物资源,人为因素对底栖生物影响非常大,人们还将继续对胶州湾底栖生物进行监测,分析人类活动对胶州湾生态环境的长远影响,以保护生物资源。

References:

[1] Liu R Y, Ecology and living resources of Jiaozhou Bay. Beijing: Science Press, 1992. 460.

[2] Liu R Y, Xu F S and Cui Y H. Ecology of macrobenthos. In: Liu Ruiyu, Ecology and living resources of Jiaozhou Bay. Science Press, 1992. 220 ~ 229.

[3] Liu R Y, Cui Y H, Xu F S, *et al.* Benthic communities. In: Liu Ruiyu. Ecology and living resources of Jiaozhou Bay. Beijing: Science Press, 1992. 229 ~ 237.

[4] Liu R Y, Huang B, Xu F S, *et al.* Prediction of long term change of abundance of large invertebrates in the Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(3):274 ~ 279.

[5] Bi H S, Sun D Y. The ecological characteristics of polychaete in Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1):63 ~ 68.

[6] Bi H S, Feng W. The diversity of macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Marine Sciences*, 1996, 108(6): 58 ~ 62.

[7] Bi H S, Sun S, Sun D Y. Changes of macrobenthic communities in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(2):132 ~ 138.

[8] Sun D Y, Zhang B L and Wu Y Q. A study on macrobenthic infauna in Jiaozhou Bay. *Studia Marina Sinica*, 1996, 37:103 ~ 114.

[9] Li X Z, Yu H Y, Wang Y Q, *et al.* Study on biodiversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay. *Biodiversity Science*, 2001, (1): 80 ~ 84.

[10] Li X Z, Yu H Y, Wang Y Q, *et al.* Study on quantitative dynamics of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay. *Studia Marina Sinica*, 2002, 44: 66 ~ 73.

[11] Dong J H, Jiao N Z. Ecology of Jiaozhou Bay. Beijing: Science Press, 1995. 205.

[12] Margalef R. Perspective In Ecological Theory. Univ. Chicago Press, 1968. 111.

[13] Pielou E C. Ecological Diversity. Wiley-Inters (New York), 1975.163.

- [14] Beukema J J. Long-term changes in macrozoobenthic abundance on the tidal parts of the western part of Dutch Wadden Sea. *Helgolander Meeresuntersuchungen*, 1989, 43:405 ~ 415.
- [15] Grémare A, Amouroux J M, Vétion G. Long term comparison of macrobenthos within the soft bottoms of the Bay of Banyuls-sur-mer (northwestern Mediterranean Sea). *Journal of Sea Research*, 1998, 40: 281 ~ 302.
- [16] Yu Z S, Zhang Z N, Wang S H. Study on the abundance and biomass of macrobenthos in muddy bottom in the northern part of Jiaozhou Bay. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2000, 30(2): 439 ~ 444.
- [17] Wu Y Q, Lu X J, Sun D Y, *et al.* Biology and resource of the short-necked clam *Ruditapes philippinarum*. In: Liu Ruiyu. *Ecology and living resources of Jiaozhou Bay*. Beijing: Science Press, 1992. 339 ~ 351.
- [18] Wu Y Q, Zhang B L, Sun D Y, *et al.* Study on the relationship of *Ruditapes philippinarum* dead shells and ecology environment in Jiaozhou Bay. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1993, 4: 61 ~ 67.
- [19] Gray J S. Animal-sediment relationships. In: H. Barnes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, London: Allen & Unwin, 1974. 12: 223 ~ 261.
- [20] Sanders H L. *Oceanography of Long Island Sound*, 1954. X. The biology of marine bottom communities. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection*, 1956, 15: 345 ~ 414.

参考文献:

- [1] 刘瑞玉, 主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992. 460.
- [2] 刘瑞玉, 徐凤山, 崔玉珩. 大型底栖生物生态学. 见: 刘瑞玉主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992. 220 ~ 229.
- [3] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山, 等. 底栖生物群落. 刘瑞玉主编, 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992. 229 ~ 237.
- [4] 刘瑞玉, 黄勃, 徐凤山, 等. 胶州湾大型无脊椎动物数量的多年变化与趋势预测. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 274 ~ 279.
- [5] 毕洪生, 孙道元. 胶州湾多毛类的生态特点. *生态学报*, 1998, 18(1): 63 ~ 68.
- [6] 毕洪生, 冯卫. 胶州湾底栖生物多样性初探. *海洋科学*, 1996, 108(6): 58 ~ 62.
- [7] 毕洪生, 孙松, 孙道元. 胶州湾大型底栖生物群落的变化. *海洋与湖沼*, 2001, 32(2): 132 ~ 138.
- [8] 孙道元, 张宝琳, 吴耀泉. 胶州湾底栖生物动态的研究. *海洋科学集刊*, 1996, 37: 103 ~ 114.
- [9] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状. *生物多样性*, 2001, 9(1): 80 ~ 84.
- [10] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物数量动态的研究. *海洋科学集刊*, 2002, 44: 66 ~ 73.
- [11] 董金海, 焦念志主编. 胶州湾生态学研究. 北京: 科学出版社, 1995. 205.
- [16] 于子山, 张志南, 王诗红. 胶州湾北部软底大型底栖动物丰度和生物量的研究. *青岛海洋大学学报*, 2000, 30(2): 439 ~ 444.
- [17] 吴耀泉, 吕锡缙, 孙道元, 等. 菲律宾蛤仔生物学与资源. 刘瑞玉主编, 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992. 339 ~ 351.
- [18] 吴耀泉, 张宝琳, 孙道元, 等. 胶州湾菲律宾蛤仔死壳分布与生态环境关系的研究. *海洋湖沼通报*, 1993, (4): 61 ~ 67.