

Advance of the Study on the Macrobenthos from the Yellow Sea and East China Sea*

Xinzheng Li¹, Hongfa Wang¹, Baolin Zhang¹, Lin Ma¹, Li Zhang²

¹Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao

²Qingdao Jierui Huanbao Jishu Fuwu Co., LTD. (Qingdao Jierui Limited Company of Technical Service on Environmental Conservation), Qingdao

Email: lixzh@qdio.ac.cn

Received: Dec. 5th, 2011; revised: Dec. 28th, 2011; accepted: Jan. 8th, 2012

Abstract: Based on the collection and analysis of the references concerning the ecological study on the macrobenthos from the Yellow Sea and the East China Sea, the advances of the study on the species composition, dominant species, biomass, abundance, structure of community, biodiversity (indices of Shannon-Wiener, species richness, species evenness and dominance) and secondary productivity of the macrobenthos from these areas were summarized, the concerning research achievements were appraised. The Jiaozhou Bay, the Changjiang River Estuary, the Taiwan Strait, and the coastal areas are the areas in where there have been more researches on the macrobenthic ecology than other areas. The researches show that the quantities of macrobenthos in these seas varied wavily during the passed 50 years, the dominant species in these areas have changed very much. The human activities, particularly the coastal developments, should be the most important impact factors to the changes of macrobenthos. The present paper can provide basic and background information for the further research on the macrobenthos from the Yellow Sea and the East China Sea and on the ecological study of the ecosystem from these seas.

Keywords: Yellow Sea; East China Sea; Macrobenthos; Advance; Summarization

黄海和东海大型底栖生物生态学研究进展*

李新正¹, 王洪法¹, 张宝琳¹, 马林¹, 张立²

¹中国科学院海洋研究所, 青岛

²青岛洁瑞环保技术服务有限公司, 青岛

Email: lixzh@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011年12月5日; 修回日期: 2011年12月28日; 录用日期: 2012年1月8日

摘要: 本文在收集、研究近 50 年来有关黄海和东海大型底栖生物生态学和生物多样性研究相关文献的基础上, 对黄海和东海大型底栖生物的物种组成、优势种、生物量、丰度、群落结构、物种多样性(香农-威纳多样性指数、物种丰富度指数、均匀度指数、优势度指数)以及次级生产力进行了全面系统的概括, 对已有研究成果和研究进展进行了评述和总结。本文将为黄海和东海海域进一步的大型底栖生物生态学及其变化研究和全面系统的生态系统生态学研究提供背景资料。

关键词: 黄海; 东海; 大型底栖生物; 进展; 综述

1. 引言

海洋底栖生物(benthos)又称水底生物, 是指生活

*资助信息: 国家重点基础研究发展计划(课题号: 2011CB403605)和国家自然科学基金项目(资助号: 41176133)。

在自潮间带至海底的表面和沉积物中营底栖生活的所有生物, 是海洋生物中种类最多的类群, 并且具有重要的生态学功能。大型底栖生物作为海洋生态系统

食物链的重要环节,通过底栖动物的营养关系,水层沉降的有机碎屑得以充分利用,促进了营养物质的分解,在海洋生态系统的能量流动和物质循环中起着重要的作用。大型底栖动物也可以通过滤食或将污染物结合在体表来降低水体和沉积物中污染物的浓度。底栖动物的潜穴、爬行、觅食、避敌等活动都能改变沉积物结构,严重的可以使层理变形或断裂以致移位。底栖生物的生物扰动作用和底质再沉降已是底栖生态学和沉积动力学研究的主要与基本内容。

国际上对海洋底栖生物的研究开展较早,早在十九世纪七十年代,英国就对世界三大洋的底栖生物进行过调查。目前国际上对底栖生物的研究已经进入定量研究^[1-6]、生物群落研究^[7-13]及生物多样性研究^[14-16]阶段,并通过对底栖生物群落进行长期调查以进行环境监测。

与欧美等发达国家相比,中国对底栖生物生态学的研究起步相对较晚。新中国成立之前对大型底栖动物的研究较少,建国后才开始有系统的调查和研究,较为大型的海洋科学综合调查如1958~1959年的中国近海海洋科学综合调查(即全国海洋普查)、1959~1962年的中越北部湾海洋科学联合调查、1975~1976年的东海大陆架海洋综合调查、1980~1985年的全国海岸带和海涂综合资源调查、1989~1993年的全国海岛调查、1999~2004年的国家重点基础研究发展计划东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用、2004~2009年的中国近海海洋综合调查与评价(即908专项调查,第二次全国海洋普查)和正在进行中的国家重点基础研究发展计划中国近海水母暴发的关键过程、机理及生态环境效应等,均将大型底栖生物生态学调查研究作为重要内容,而地区性或者局部海域的海洋生态学调查和环境质量调查与评价中,大面站和潮间带大型底栖生物生态学均为必须的重点内容之一。早期的海洋大型底栖生物生态学工作主要集中在潮间带生物区系、种类组成及分布的研究^[17,18],从1957年的金星号渤海和北黄海海洋科学考查开始了海域的大面站大型底栖生物区系和生态学特点的调查。发展到今天,中国的大型底栖生物生态学调查已在全国各个海域展开,从潮间带、潮下带、开放水域、大陆架、大陆坡、南海海盆等区域环境,区系、物种组成、群落结构、生物多样性、次级生产力、营养级、与生物非生物环境因子的耦合等各个方面,对大型底

栖生物的生态学特点进行了全面调查和系统研究。在全国海洋科学工作者的积极努力下,已基本掌握了我国海域和河口主要大型底栖动物类群的种类、分布、资源利用情况以及主要的生态学和生物多样性特点。进入1980年代后期,在国际有关研究计划的影响下,我国大型底栖动物生态学研究在设计方法、研究手段、信息交流上都开始发生质的变化,大型底栖动物在水层——底栖耦合及生物地化循环中的作用也被纳入了海洋生态动力学(Chinese GLOBEC)的研究范围,生物扰动实验系统的建立,使水层——底栖界面过程的实验研究成为可能^[19,20]。

李新正等(2010)和李新正(2011)对中国海洋大型底栖生物生态学和生物多样性研究作了一般概括性综述^[21,22]。本文主要对中国黄海和东海海域大型底栖生物生态学的已有工作进行较为系统详细的阐述。

渤海三面环陆,东面经渤海海峡与黄海相通,是一个近封闭的内海。习惯上人们将渤海作为独立的一个海域,但从地质构造和水文特征上,渤海是黄海伸入内陆的一个湾,是北黄海的一部分。本文将渤海作为黄海的一部分进行讨论。受大陆沿岸水、黄海冷水团及黑潮水的共同影响,渤海水温季节变化明显,各种水文、底质条件复杂,大型底栖生物群落组成多样。同时由于其三面环陆,极易受到陆源污染物及人类活动的影响。

黄海是太平洋西北部的一个边缘海,位于中国大陆与朝鲜半岛之间。由于受到黄海沿岸流、黄海混合水团,黄海冷水团和黄海暖流水团的影响,黄海大型底栖生物成分更加复杂。鸭绿江、大同江、汉江、淮河等每年带来的巨大的入海水量、泥沙、营养物质、有机污染物等对黄海河口生态环境及近海海洋生态系统产生重要的影响。

东海是西北太平洋一个较开阔的陆缘海,北与黄海相连,东北与日本海相通,东与太平洋相连,南与南海相连。东海大陆架在我国各海区中最宽阔,略呈扇形。海域西部受长江、钱塘江等江河入海径流的影响,东南部外海有高温高盐的黑潮暖流流过,为东海提供了丰富的生源要素,造就了其大型底栖动物物种丰富、数量较多、成分复杂的特点。但近年来沿岸海域受排污、工程建设及渔船停靠等影响,底栖生态环境破坏严重,东海生态环境日益面临严峻的挑战。

由于人类活动对海洋生境的扰动不断加强,因此

了解我国近海大型底栖动物群落的现状,就显得至为重要。因而,本文将依据已有文献,对我国黄、东海海域大型底栖生物的生态学特点进行总结,以期为了保护、开发和可持续利用我国近海的海洋生物资源提供基础和背景科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究海域及取样方法

研究海域包括渤海、黄海和东海,其中渤海为黄海的一部分海域。

文献主要为 1950 年以来对上述海域大型底栖生物生态学和生物多样性调查的成果报道著作和研究论文。根据这些文献,站位的设置一般根据当时的调查目的、海区的水文、水质、沉积物底质的环境资料进行综合考虑,调查次数因调查目的不同而不同。定量采泥取样一般使用 0.1 m² 的采泥器(箱式采泥器、曙光采泥器、弹簧采泥器或“大洋-50”型采泥器等),在港湾中或无动力设备的小船上则用 0.05 m² 采泥器,每站取 2~5 次,并经过底层筛孔径为 0.05 mm 的套筛冲洗(1990 年代之前多用 0.1 mm 孔径)。拖网采样多使用 1.5~2 m 宽阿氏网进行定性拖网取样。所得样品一般使用 75% 的酒精现场固定(1990 年代之前多采用 10% 福尔马林固定),然后带回实验室分类鉴定、个体计数及称量。具体方法根据《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)和《海洋监测规范》(GB17378-2007)。

2.2. 数据处理

所依据的文献中,除计算物种种数、优势种、栖息密度和生物量外,还采用 Primer, SPSS 等计算物种多样性指数(H')、物种丰富度指数(D)及物种均匀度指数(J'),并进行群落结构分析等。数据处理一般采用如下公式:

大型底栖动物的优势种类计算公式:

$$Y = (n_i/N) f_i$$

式中 N 为采泥样品中所有种类的总个体数目, n_i 为第 i 种的个体数; f_i 为该种在各站位出现的频率;当物种优势度 $Y > 0.02$ 时,该种即为优势种。

物种多样性指数(H')的计算采用计算公式^[23]:

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

物种丰富度指数(D)采用计算公式^[24]:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

物种均匀度指数(J')采用计算公式^[25]:

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

其中 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)。

次级生产力的计算根据计算公式^[4]:

$$\lg P = -0.4 + 1.007 * \lg B - 0.27 * \lg W \quad (1)$$

其中, P 为每站大型底栖动物次级生产力[单位: g(AFDW)/(m²·a)], B 为每站大型底栖动物年平均去灰干重生物量[单位: g(AFDW)/m²], W 为每站大型底栖动物个体年平均去灰干重[单位: g(AFDW)/ind]。

由于

$$W = B/A \quad (2)$$

其中, A 为每站大型底栖动物年平均栖息丰度(单位: ind/m²)。将公式(2)代入公式(1),转换后得^[26]:

$$P = A^{0.27} * B^{0.737} / 10^{0.4}$$

2.3. 物种名称

随着分类学的发展,一些物种的名称因为订正而发生了变化。为使用物种正确的拉丁名称和中文名称,本文在提到引用文献中的物种名称时,根据国际上权威组织公布的该物种名称使用有效的拉丁名称,参考国内近年出版的海洋生物类文献使用较可靠的中文名称,而原文献中使用的名称如与上述名称不符时则采用在正确名称后加“(=XXX XXX)”的形式,“XXX XXX”即原文献中使用的名称。

3. 研究成果综述与讨论

3.1. 物种组成及优势种

3.1.1. 黄海

根据 1991 年文献报道^[27],渤海调查大型底栖动物 276 种,其中腔肠动物 9 种,多毛类 115 种,软体动物 75 种,甲壳类 59 种,棘皮动物 12 种。脊索动物 6 种。主要种类包括沙簪海鳃(*Virgularia* sp.)(=沙簪)、毛蚶(*Scapharca Kagoshimensis*, =*S. suberenata*)、泥螺(*Bullacta exarata*)、扁玉螺(*Neverita didyma*)、红

带织纹螺(*Nassarius succinctus*, =*Nassarus succinctus*)、菲律宾蛤仔(*Venerupis philippinarum*, =*Ruditapes philippinarum*)、鼓虾(*Alpheus* sp.)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、隆线强蟹(*Eucrate crenata*)、棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)等。根据 1997 年和 1998 年对渤海近岸海域的调查结果发现:渤海海域以广温、广盐性种类为主,基本属印度-西太平洋区系的暖水性种类^[28]。渤海大型底栖动物种类组成简单,至少有大型底栖动物 306 种,其中包括甲壳动物 97 种,环节动物 95 种,软体动物 88 种,棘皮动物 11 种,其它动物 15 种^[29,30]。渤海夏季发现大型底栖生物 119 种,其中多毛类 58 种,软体动物 14 种,甲壳动物 32 种,棘皮动物 8 种和其他动物 7 种;优势种是不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、拟特须虫(*Paralacydonia paradoxa*)、独指虫(*Aricidea fragilis*)、花冈钩毛虫(*Sigambra hanaokai*)、理蛤(*Theora fragilis*)等(=脆壳理蛤(*Theora lata*)^[31])。渤海大型底栖生物数量呈上升趋势,可能是调查站位和调查时间不同造成。

根据 2007 年 7 月下旬对辽东湾北部海域进行的大型底栖动物调查结果,共发现大型底栖生物 79 种,其中包括多毛类 18 科 24 种,甲壳动物 15 科 19 种,软体动物 13 科 24 种,棘皮动物 4 科 6 种,其它类群 5 种。其中有 25 种大型底栖生物的出现频率大于 10%,包括多毛类 10 种,分别为不倒翁虫、拟节虫(*Praxillella praetermissa*)、扁蛰虫(*Loimia medusa*)、强磷虫(*Sthenolepis japonica*) (=日本强磷虫)等;软体动物 7 种,分别为扁玉螺、西格织纹螺(*Nassarius siquijorensis*)、津知圆蛤(*Cycladicama tsuchii*)、光滑篮蛤(*Potamocorbula laevis*)等;甲壳动物 3 种,分别为日本游泳水虱(*Natatolana japonensis*) [=日本浪漂水虱(*Cirolana japonensis*)]、仿盲蟹(*Typhlocarcinops* sp.)、细螯虾(*Leptochela gracilis*)等;棘皮动物 3 种,分别为日本倍棘蛇尾(*Amphioplus japonicus*)、棘刺锚参、中华倍棘蛇尾(*Amphioplus sinicus*)等,以及中华栉孔虾虎鱼(*Ctenotrypauchen chinensis*)与纽虫(Nemertinea)。整个调查区内大型底栖动物的优势现象不明显,优势度指数大于 1%的物种仅有 5 种,分别为光滑篮蛤(俗称“海砂子”)、日本倍棘蛇尾、日本游泳水虱、纽虫、西格织纹螺,其优势度指数分别为 3.63%、1.67%、

1.59%、1.27%与 1.06%^[32]。

一般来说,生物群落的物种优势度越高,说明群落内各物种的生态地位越不平衡,生物群落也就更加脆弱;反之,生物群落的物种优势度越低,则群落内各物种的生态地位更加趋于平衡,生物群落就越稳定。根据该理论,认为辽东湾北部海域的大型底栖生物群落在总体上似乎处于较为稳定状态^[32]。但实际上,由于河口的生态环境条件复杂多变,大型底栖生物种类分布的空间异质性较高,大多优势种仅在局部区域大量发展,从而导致整个调查区大型底栖生物的优势度偏低。总体来看,辽东湾北部海域的大型底栖动物种类数相对较低,种类数的低值区集中于北侧浅水区,高值区则呈斑块状分布于调查区的不同水域。之所以在调查区北侧浅水区的大型底栖动物种类数较少,可能主要由如下原因触发:首先,辽河、双台子河等河流携带大量的陆源污染物在此入海,过量的污染负荷将抑制某些大型底栖生物种类在此生存与繁衍^[33];其次,这里是主要的渔业养殖聚集区,频繁的渔业活动会对底栖生态环境造成极大破坏,使得大型底栖生物难以持续稳定发展;再次,河口附近周期性的航道疏浚以及大型船只的剧烈搅动,都会给大型底栖生物造成毁灭性的冲击。

2008 年 4 月渤海湾共发现大型底栖动物 99 种,其中包括多毛类 24 科 45 种,软体动物 15 科 19 种,棘皮动物 3 科 3 种,甲壳动物 18 科 25 种,其他类群 7 种。调查区内大型底栖动物的优势现象不明显,优势度指数大于 1%的物种仅有 7 种,分别为黄海埃刺梳鳞虫(*Ehlersleanira incisa hwanghaiensis*)、巴氏钩毛虫(*Sigambra bassi*) (=深钩毛虫)、不倒翁虫、豆形胡桃蛤(*Nucula faba*)、长尾虫(*Aspeudes* sp.)、绒毛细足蟹(*Raphidopus ciliatus*)和纽虫^[34]。

1997 年 10 月至 2000 年,我国专属经济区生物资源与栖息环境调查项目对黄海大型底栖生物进行了大规模的调查^[35],共获得大型底栖动物 414 种,多毛类 194 种,软体动物 86 种,甲壳动物 90 种,这三种占总种数的 89.37%,构成大型底栖动物的主要类群,棘皮动物 21 种,其他动物 23 种。种类季节变化表现为春季(247 种) > 夏季(206 种) > 秋季(181 种) > 冬季(178 种)。春季种数较大的站位主要分布在黄海的南部和北部,中部相对较小;夏季种数较大的站位主要分布在西南和北部顶端,中部相对较小;秋季种数较大

的站位主要分布在西南和东北部,中部和东部相对较小;冬季种数较大的站位主要分布在南部^[35]。与历史资料比较,软体动物曾有 118 种,本次调查仅 86 种;甲壳动物曾有 112 种,本次仅 90 种,结果显示黄海大型底栖动物主要类群的种数呈下降趋势。黄海的优势种为狭盐性北温带种,主要有花冈钩毛虫、长须沙蚕(*Nereis longior*)、斑角吻沙蚕(*Goniada maculata*)、独指虫、角海蛹(*Ophelina acuminata*, =*Ophelia acuminata*)、掌鳃索沙蚕(*Ninoe palmata*)、梳鳃虫(*Terebellides stroemii*)、索沙蚕(*Lumbrineris* sp.)、薄索足蛤(*Thyasira tokunagaii*)、秀丽波纹蛤(*Raeta pulchella*, =*Raetelops pulchella*)、蕃红花丽角贝(*Calliodentalium crocinum*)、胶州湾角贝(*Episiphon kiaochoowanensis*)、拟紫口玉螺(*Cryptonatica andoi*, =*Natica janthostomoides*)、东方壳蛞蝓(*Philine orientalis*) (=日本壳蛞蝓(*Philine japonica*))、太平洋方甲涟虫(*Eudorella pacifica*)、拟猛钩虾(*Harpinopsis* sp.)、短角双眼钩虾(*Ampelisca brevicornis*)、美原双眼钩虾(*Ampelisca miharaensis*)、日本沙钩虾(*Byblis japonicus*)、塞舌尔泥钩虾(*Eriopisella sechellensis*)、夏威夷亮钩虾(*Photis hawaiiensis*)、长颈麦杆虫(*Caprella equilibra*)、日本美人虾(*Callianassa japonica*)、浅水萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii vadicola*) (=萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii*))等。其中,斑角吻沙蚕分布较广,几乎遍布整个海区;独指虫春季主要分布在黄海外侧远海,夏季和秋季出现频率不高,分布在海区南北部,冬季主要出现在海区南部;掌鳃索沙蚕春季主要分布在近海和南部,夏季和秋季以海区南北部为主,冬季主要出现在南部;梳鳃虫春季分布在海区内侧,夏、秋、冬季出现频率不高,主要在南部;薄索足蛤春夏季出现频率高,分布较广,秋季出现频率较低;太平洋方甲涟虫春夏季出现频率较高,分布较广,秋冬季主要分布在海区南部;日本美人虾主要分布在海区南部;浅水萨氏真蛇尾出现频率较高,分布较广。

对黄海近岸海域大型底栖生物生态进行了调查研究,发现南北海域大型底栖生物分布有明显差异。北黄海近岸海域,夏季由于受黄海冷水团的影响,底层水温较低,冷水种明显增多,如:日本褐虾(*Crangon hakodatei*) [=脊腹褐虾(*Crangon affinis*)]、屈腹七腕虾(*Heptacarpus geniculatus*)、敖氏长臂虾(*Palaemon ortmanni*)、北方真蛇尾(*Ophiura saris*)、柯氏双鳞蛇尾

(*Amphipholis kochii*)、索足蛤(*Tpyasira* sp.)、皮氏峨螺(*Volutharpa ampullacea perryi*)、醒目云母蛤(*Yoldia notabilis*)等。北太平洋温带种在种类和数量上占有一定的优势。如:紫蛇尾(*Ophiopholis mirabilis*)、奇异指纹蛤(*Acila mirabilis*)等。南黄海近岸海域环境条件的主要特点是底质复杂、温度较低,因此该海域大型底栖生物的种类组成以广温、低盐性近岸种占优势。夏季受暖流影响,少数东海和南海的种类进入该海区,如多毛类的毛齿吻沙蚕(*Nephtys ciliate*)、棘皮动物的哈氏刻肋海胆(*Temnopleurus hardwickii*)^[28]。

对黄海特定断面研究时发现大型底栖动物 182 种,其中多毛类环节动物 54 种(占 29.67%),软体动物 29 种(占 15.93%),甲壳动物 66 种(占 36.26%),棘皮动物 17 种(占 9.34%),其它类群 16 种(包括腔肠动物、纽虫、海绵动物等)(占 8.79%)^[36]。

调查发现北黄海春季大型底栖生物 332 种,其中环节动物种类最多为 141 种(占 42.60%),节肢动物 112 种(占 33.84%),软体动物 54 种(占 16.31%),棘皮动物 11 种(占 3.32%),其他门类 13 种(占 3.93%)。优势种为薄索足蛤、太平洋方甲涟虫、不倒翁虫、长尾亮钩虾(*Photis longicaudata*)、双唇索沙蚕(*Lumbrineris cruzensis*)、长须沙蚕(*Nereis longior*)、双栉虫(*Ampharete acutifrons*)、浅水萨氏真蛇尾、心形海胆(*Echinocardium cordatum*)与米列虫(*Melinna cristata*)等^[37]。

对南黄海^[26]、南黄海鲢鱼产卵场^[38]的调查分别发现大型底栖生物 298 种和 223 种。南黄海乳山海域发现大型底栖生物 236 种,其中多毛类 76 种(32.2%),软体动物 75 种(31.8%),甲壳动物 60 种(25.4%),硬骨鱼纲 8 种(3.39%),棘皮动物 7 种(占 2.97%),其他动物 10 种(4.24%);优势种为寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)和不倒翁虫^[39]。宁津海域发现大型底栖生物 260 种,其中多毛类 94 种,占 36.2%;甲壳 75 种,占 28.8%;软体动物 56 种,占 21.5%;棘皮动物 12 种,占 4.62%;其他 23 种,占 8.85%。全年优势种为拟特须虫和日本倍棘蛇尾^[40]。乳山海域和宁津海域数量差别不大,但比南黄海数量少,两个海域的调查时间基本一致。

南黄海夏季共鉴定出大型底栖动物 192 种,其中多毛类环节动物种类最多,共 122 种,占总种数的 64%,其它依次为软体动物 33 种,占 17%;甲壳动物 22 种,占 11%;棘皮动物 8 种,占 4%;其它门类(扁

形动物、腔肠动物、线形动物、星虫动物、蠕虫动物、腕足动物和鱼类)共 7 种。优势种为多毛类的背蚓虫(*Notomastus latericeus*)、短叶索沙蚕(*Lumbrineris latreilli*)、角海蛹、曲强真节虫(*Euclymene lombricoides*)、太平洋拟节虫(*Praxillella pacifica*)、掌鳃索沙蚕、锥唇吻沙蚕(*Glycera onomichiensis*)等; 软体动物的圆楔樱蛤(*Cadella narutoensis*)、理蛤等; 甲壳动物的日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)、塞舌尔泥钩虾等; 棘皮动物的紫蛇尾和星虫动物门的安岛反体星虫(*Phascolosoma onomichianum*)等^[41]。

2007 年 10 月调查发现苏北浅滩邻近海域大型底栖动物 146 种, 其中甲壳动物 30 种, 占总种数的 20.5%; 多毛类 68 种, 占 46.6%; 软体动物 31 种, 占 21.2%; 棘皮动物 8 种, 占 5.5%; 其它动物共 8 种, 占 5.5%。优势种为滩栖阳遂足(*Amphiura vadicola*)、不倒翁虫、梳鳃虫、背蚓虫、矮小稚齿虫(*Prionospio pygmaus*)、昆士兰稚齿虫(*Prionospio queenslandica*)、锥唇吻沙蚕、日本倍棘蛇尾、豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*)等, 其中以棘皮动物的滩栖阳遂足和多毛类的不倒翁虫、梳鳃虫贡献率最高, 累计贡献率为 39.23%^[42]。

对青岛近海的调查研究共发现大型底栖生物 226 种, 其中春季 89 种, 秋季 160 种。春季多毛类 41 种, 占 46.07%; 甲壳动物 32 种, 占 35.96%; 软体动物 5 种, 占 5.62%; 棘皮动物 6 种, 占 6.74%; 其它类群 5 种, 占 5.61%。优势种为日本美人虾、日本倍棘蛇尾、细螯虾、日本浪飘水虱、锥唇吻沙蚕、日本鼓虾、持真节虫(*Euclymene annandalei*)、棘刺锚参、长吻沙蚕、树螯虫属、掌鳃索沙蚕、紫臭海蛹、白氏文昌鱼(=青岛文昌鱼(*Branchiostoma belcheri*))、美原双眼钩虾、曲强真节虫和短叶索沙蚕。秋季多毛类 93 种, 占 59%; 甲壳动物 37 种, 占 23%; 软体动物 16 种, 占 10%; 棘皮动物 7 种, 占 4%; 其它类群 7 种, 占 4%。优势种为巴氏钩毛虫、长须沙蚕、日本美人虾和日本倍棘蛇尾。青岛近海比苏北浅滩的大型底栖生物数量多, 可能是因为苏北浅滩仅是对 10 月份的调查, 调查航次较少^[43-45]。

历史上对胶州湾海域大型底栖生物的研究较多, 1980~1981 年^[46], 1991~1995 年^[47], 1998~1999 年^[48,49], 1998~2001 年^[50], 2002 年^[51], 2003 年^[52]大型底栖生物总种数变化见表 1。总体上胶州湾的种数呈现先下降

Table 1. Species numbers of macrobenthos from the Jiaozhou Bay in different years (species)

表1. 不同年份胶州湾大型底栖生物物种数(种)

年份	总数	多毛类	甲壳动物	软体动物	棘皮动物	其他动物
1980~1981	330	156	66	94	14	/
1991~1995	208	86	57	40	11	14
1998~1999	195	79	52	39	8	17
1998~2001	322	133	92	59	14	24
2002	138	37	49	47	2	3
2003	124	/	/	/	/	/

后上升的趋势, 这与对胶州湾采取保护有关^[52,53], 2002 年、2003 年数量较少是因为调查航次较少造成的。

组成胶州湾底栖生物生物量和栖息密度的主要种类有软体动物的菲律宾蛤仔、胡桃蛤(*Nucula* sp.)、秀丽波纹蛤、滑理蛤(=光滴形蛤(*Theora lubrica*))、灰双齿蛤(*Felaniella usta*)、多毛类的不倒翁虫、寡鳃齿吻沙蚕、异足索沙蚕(*Lumbrineris heteropoda*)、拟特须虫、甲壳类的豆形短眼蟹、异足倒颚蟹(*Asthenognathus inaequipes*)、绒毛细足蟹、日本游泳水虱(=日本浪飘水虱(*Cirolana japonica*))、塞舌尔泥钩虾、棘皮动物的棘刺锚参、日本倍棘蛇尾和脊索动物的文昌鱼^[119]。多毛类优势种为不倒翁虫、寡鳃齿吻沙蚕和中蚓虫^[54]。

胶州湾优势种菲律宾蛤仔的出现率在 1998~2003 年非常低^[55]。1998~2002 年在胶州湾共采到多毛类 119 种^[56], 软体动物 51 种^[57], 棘皮动物 13 种^[58]; 2000~2002 年采到甲壳动物 75 种^[59]。肠鳃类的分布范围明显缩小, 5 年胶州湾 10 个常年观测站的柱头虫总平均栖息密度约为 0.4 个/m²^[60]。

对胶州湾北部软底大型底栖动物调查发现 105 种, 其中多毛类 47 种, 占总数的, 44.8%; 甲壳动物 29 种, 占总数的 27.6%; 软体动物 24 种, 占总数的 22.9%; 棘皮动物 2 种, 占总数的 1.9%; 其他类群 3 种, 占总数的 2.8%^[61]。胶州湾西部海域共发现大型底栖动物 191 种, 其中多毛类 61 种, 占总数的 31.94%; 甲壳类 63 种, 占总数的 32.98%; 软体动物 46 种, 占总数的 24.08%; 棘皮动物 5 种, 占总数的 2.62%; 其他类动物 16 种, 占总数的 8.38%。在组成上以温带种和广温性广布种为主。优势种为中蚓虫(*Mediomastus* sp.)、不倒翁虫、萨氏异涟虫(*Heterocuma sarsi*)、菲律宾蛤仔和滑理蛤(*Theora lubrica*)^[62]。胶州湾中部海域大型底栖生物 206 种, 其中多毛类 98 种, 占总数的 47.57%; 甲壳动物 53 种, 占总数的 25.73%; 软体动

物 31 种, 占总数的 15.05%; 棘皮动物 7 种, 占总数的 3.4%; 其他类群 17 种, 占总数的 8.25%^[63]。胶州湾中部和西部海域大型底栖动物数目稍高于胶州湾内物种数, 而北部软底海域稍低于胶州湾近年来平均物种数。

对黄海海域潮间带的研究很多, 胶州湾女姑口^[64]、红石崖^[65]和辛岛^[66], 海州湾^[67], 长岛^[68], 乳山口西村^[69], 黄河口^[70]潮间带的物种数见表 2。其中乳山口西村潮间带优势种为有鳞腹钩虫(*Scolelepis squamata*)(优势度 0.324)、沙枝软鳃蛹(*Euzonus dillonensis*)(优势度 0.101)、四索沙蚕(*Lumbrineris tetraura*)(优势度 0.029)、白脊藤壶(*Balanus albicostatus*)(优势度 0.097)、九州斧蛤(*Tentidonax kiusiuensis*)(优势度 0.021)、中国蛤蜊(*Mactra chinensis*)(优势度 0.0027)、双扇股窗蟹(*Scopimera bitympana*)(优势度 0.043)^[69]。胶州湾女姑口潮间带优势种为: 缢蛭(*Sinonovacula constricta*)、菲律宾蛤仔、秀丽织纹螺(*Nassarius festivus*)、异白樱蛤(*Macoma incongrua*)、青蛤(*Cyclina sinensis*)、日本大眼蟹(*Macrophthalmus (Mareolis) japonicus*)、日本刺沙蚕(*Neanthesangulata, =G. japonica*); 红石崖潮间带优势种为: 寡毛齿吻沙蚕、丝异须虫、寡节甘吻沙蚕(*Glycinde gurjanovae*)、日本刺沙蚕、秀丽织纹螺、薄壳绿螂(*Glaucanome primeana*)、彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens, =M. tridescens*)、日本大眼蟹、秉氏泥蟹(*Ilyoplax pingi*); 辛岛潮间带的优势种: 长吻沙蚕(*Glysera chirori*)、四索沙蚕、无疣齿吻沙蚕(*Inermonephtys inermis*)、秀丽织纹螺、托氏昌螺(*Umbonium thomasi*)、四角蛤蜊(*Mactra veneriformis*)和日本大眼蟹^[71]。不同底质的栖息环境, 生物分布不同。

Table 2. Species numbers of macrobenthos from different intertidal spots of the Yellow Sea (species)
表 2. 黄海周边潮间带大型底栖生物物种数(种)

调查地点	调查时间	总种数	多毛类	甲壳动物	软体动物	棘皮动物	其他动物
海州湾	2002 年 6 月	98	13	25	53	2	5
长岛	2007 年 6 月	68	14	19	32	-	3
乳山口西村	2006 年~2007 年	41	6	14	19	-	2
女姑口	2003 年~2004 年	57	15	15	24	-	3
红石崖	2003 年~2004 年	62	25	12	19	2	4
辛岛	2003 年~2004 年	43	15	11	15	1	1
岔尖岛	2005 年 11 月	13	不详	不详	不详	不详	不详
大口河岛	2005 年 11 月	18	不详	不详	不详	不详	不详
望子岛	2005 年 11 月	16	不详	不详	不详	不详	不详

海州湾潮间带物种数最多, 是因为海州湾潮间带是岩滩、沙滩和泥沙滩 3 种底质, 生物多样性较高, 数量较多。黄河口潮间带断面岔尖岛、大口河岛和望子岛主要是泥滩, 物种数较少; 另外, 黄河口 3 条断面仅是一个季度的调查, 调查时间较少。

3.1.2. 东海

对 2000 年和 2001 年东海拖网和采泥样品鉴定得到大型底栖动物 392 种, 其中多毛类 95 种, 占 24.2%, 软体动物 131 种, 占 33.4%, 甲壳动物 118 种, 占 30.1%, 棘皮动物 48 种, 占 12.2%^[72]。东海海域大型底栖动物已鉴定种类 855 种, 其中多毛类环节动物 268 种, 软体动物 283 种, 甲壳动物 171 种, 棘皮动物 68 种, 其他动物 65 种。多毛类环节动物、软体动物和甲壳动物三大类群占该海域大型底栖动物总种数的 85.94%, 构成大型底栖动物的主要类群^[35]。与我国黄渤海物种组成相比, 东海海域大型底栖动物物种数量较多, 与黄海共有种为 209 种, 其中多毛类 139 种, 软体动物 31 种, 甲壳动物 18 种, 棘皮动物 16 种和其他动物 5 种。

长江口 1985~1986 年大型底栖生物约为 400 种^[73], 1988 年为 166 种^[74], 1985~1986 年在本调查区大量出现的多毛类拟特须虫、丝异须虫(*Heteromastus filiformis*)和滑理蛤、秀丽波纹蛤等在 1988 年较少出现。1999~2001 大型底栖生物种数为 181 种, 其中, 多毛类 92 种(占 50.83%), 软体动物 48 种(占 26.52%), 甲壳类 22 种(占 12.15%), 棘皮动物 8 种(占 4.42%), 其他动物 11 种(占 6.07%)^[75]。2002 年对长江口附近海域调查发现大型底栖动物 154 种, 其中多毛类环节动物 60 种, 占 38.96%; 甲壳动物 30 种, 占 19.48%; 软体动物 28 种, 占 18.18%; 棘皮动物 25 种, 占 16.23%; 其他类群动物 11 种(包括鱼类 4 种, 腔肠动物 2 种, 纽虫 1 种, 星虫 1 种, 蠕虫 1 种, 星虫 1 种), 占 7.14%^[76]。而 2004 年长江口大型底栖动物为 202 种, 其中多毛类 102 种, 软体动物 51 种, 甲壳类 27 种, 棘皮动物 7 种, 其它动物 15 种(包括腔肠动物 2 种, 纽形动物 4 种, 蠕虫 3 种, 星虫 2 种, 鱼类 4 种)^[77]。2005 年~2006 年长江口及其毗邻海域大型底栖动物 330 种, 包括软体动物 122 种, 多毛动物 83 种, 甲壳动物 67 种, 棘皮动物 23 种, 底栖鱼类 28 种以及其它类群 7 种^[78-80], 其中 2006 年 6 月采到大型底栖生物 253 种, 包括软体

动物 107 种(占 42.3%), 多毛类 72 种(28.5%), 甲壳动物 37 种(14.6%), 棘皮动物 22 种(8.7%), 其他动物 15 种(5.9%)^[81], 河口段共获得大型底栖动物 15 种, 其中甲壳动物 6 种, 软体动物 2 种, 多毛类 3 种, 底栖鱼类 3 种, 纽虫 1 种^[78]。有研究表明沿着长江口南岸的纵向空间梯度, 大型底栖动物的密度变化较大^[82], 而盐度是决定长江口潮下带大型底栖动物种类分布的主要影响因子^[83]。长江口物种数呈现先下降后增长的趋势, 这可能是因为各个航次调查时间和站位不同造成的, 长江口内和河口处受冲淡水影响, 物种数较少。

浙江省北部发现潮下带(0~5 m)大型底栖动物 222 种, 主要由三种类型的生物组成: 1) 近岸广温广布种, 共计 170 种; 2) 洄游类种类, 共计 40 余种; 3) 河口半咸水特有种, 10 种左右^[84]。近岸海域大型底栖动物 126 种, 其中甲壳类 36 种; 软体动物 29 种; 鱼类 24 种; 多毛类 22 种, 棘皮动物 9 种, 腔肠动物 5 种, 大型藻类 1 种^[85]。东海海域大型底栖动物各类群种数和总种数在不同季节有明显变化, 依次为春季 > 秋季 > 夏季 > 冬季^[35]。象山港鉴定出 43 种大型底栖生物, 多毛类的种类最多, 达 19 种, 占总种数的 44%; 其次是软体动物(11 种)和棘皮动物(9 种), 分别占总种数的 26%和 21%; 节肢动物和其它类动物种类最少(各 2 种), 两者合计仅占总种数的 9%, 种类则以沿岸广温低盐种和近岸广温广盐种分布为主, 优势种为奇异稚齿虫(*Paraprionospio pinnata*)、寡鳃齿吻沙蚕、翅状索沙蚕(*Lumbrineris pterignatha*)、缩头竹节虫(*Maldane sarsi*)、菲律宾蛤仔、凸镜蛤(*Pelecypora nana*, =*Dosinia* (*Sinodia*) *derupta*)、高骨片沙鸡子(*Phyllophorus hypsipyrigus*)、纵肋织纹螺(*Nassarius variciferus*)、棘刺锚参和洼颚倍棘蛇尾(*Amphioplus depressus*)等^[123]。杭州湾洋山岛 2003~2005 年研究海域大型底栖动物出现种类数依次为 2003 年(21 种) > 2004 年(17 种) > 2005 年(16 种)^[86]。瓯江口发现大型底栖生物 65 种, 其中多毛类和软体动物各 13 种^[87]。

福建东山岛潮下带大型底栖生物为 349 种, 隶属 142 科 249 属。其中, 软体动物 105 种, 甲壳动物 83 种, 多毛类 80 种, 棘皮动物 50 种, 鱼类 23 种, 其他动物 8 种^[88]。厦门海域大型底栖动物为 165 种, 其中环节动物 81 种, 占 49.1%, 软体动物 29 种, 占 17.6%, 节肢动物 30 种, 占 18.2%, 棘皮动物 9 种, 占 5.5%, 其他动物 16 种, 占 9.7%^[89]。福清湾大型底栖生物为

162 种, 其中多毛类动物 41 种, 软体动物 49 种, 甲壳动物 42 种, 棘皮动物 11 种和其他动物 19 种。软体动物、甲壳动物和多毛类动物占总种数的 81.48%; 优势种为滑指矾沙蚕(*Eunice indica*)、凸壳肌蛤(*Musculus senhousia*)、肋昌螺(*Umbonium costatum*)、模糊新短眼蟹(*Neoxenophthalmus obscurus*)、扁平蛛网海胆(*Arachnoides placenta*)^[90]。兴化湾大型底栖生物为 314 种, 其中多毛类 109 种, 软体动物 73 种, 甲壳动物 77 种, 棘皮动物 29 种, 其他动物 26 种, 多毛类、软体动物和甲壳动物占总种数的 82.48%; 优势种有特矾沙蚕(*Euniphysa*)、双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*)、滑指矾沙蚕、波纹巴非蛤(*Paphia* (*Notapes*) *undulate*)、棒锥螺、弯六足蟹(*Hexapus anfractus*)、幽辟新短眼蟹、棘刺锚参等^[91]。泉州湾大型底栖生物已鉴定有 257 种, 其中多毛类 68 种, 软体动物 74 种, 甲壳动物 77 种, 棘皮动物 12 种和其他动物 27 种, 优势种主要有: 丝鳃稚齿虫(*Prionospio malmgreni*)、日本强鳞虫(*Sthenolepis japonica*)、索沙蚕(*Lumbrineris* sp.)、光滑河篮蛤和模糊新短眼蟹等^[92,93]。同安湾大型底栖生物 163 种, 隶属 11 个生物门类, 其中海绵动物 1 种、腔肠动物 4 种、纽形动物 1 种、环节动物 84 种、星虫动物 1 种、软体动物 23 种、甲壳动物 37 种、苔藓动物 1 种、棘皮动物 6 种、脊索动物 3 种, 另有藻类 2 种; 优势种有多毛类的似蛭虫(*Amaeana trilobata*)、丝鳃稚齿虫、梳鳃虫、越南锥头虫(*Orbinia vietnamensis*)、寡鳃齿吻沙蚕、刚鳃虫(*Chaetozone sefosa*)和不倒翁虫, 软体动物的菲律宾蛤仔、金星蝶铰蛤(*Trigonothracia jinxiangae*)和豆形胡桃蛤(*Nucula* (*Leionucula*) *faba*), 以及甲壳动物的亚洲异针尾涟虫和大螺赢蜚(*Corophium major*)^[94]。福建沿海较浙江沿海物种数多, 东海物种数呈现从北部向南部逐渐增长的趋势, 这是因为越向南延伸, 气温和水深都呈上升趋势。

东海大型底栖动物种数春季分布种数较多的海域为东海的南部、北部和台湾海峡北部, 而中部海域则相对较少; 夏季以中部、北部和台湾海峡北部分布种数较多; 秋季分布种数较多的海域为中部和东北部, 南部相对较少; 冬季则分布种数整个东海海域相对较均匀。总体来说, 东海海域以中部分布种数较大^[31]。

东海海域大型底栖动物优势种和常见种有以下 45 种。其中多毛类动物 16 种, 包括拟特须虫、花冈

钩毛虫、斑角吻沙蚕、吻沙蚕(*Glysera* sp.)、长吻沙蚕、丝鳃稚齿虫、矮小稚齿虫、奇异稚齿虫、稚齿虫(*Prionospio* sp.)、斑角吻沙蚕、索沙蚕(*Lumbrineris latreilli*)、长手沙蚕(*Magelona* sp.)、背毛背蚓虫(*Notomastus aberans*)、欧努菲虫(*Onuphis eremita*)、双鳃内卷齿蚕和独指虫; 软体动物 13 种, 包括矛角樱蛤(*Angulus lanceolatus*)、刺襃蛤(*Spiniplicatula muricata*)、胶州湾角贝、喇叭角贝(*Graptacme buccinulim*)、蕃红花丽角贝、沟竹蛭(*Solen canaliculatus*)、*Olivella* sp.、肋变角贝(*Dentalium octangulatum*)、习见蛙螺(*Bursa rana*)、布尔小核螺(*Mitrella burchardi*)、西格织纹螺、*Zeuxis* sp.、黄短口螺(*Inquisitor flavidula*)、白龙骨乐飞螺(*Lophiotoma leucotropis*); 甲壳动物 9 种, 包括轮双眼钩虾(*Ampelisca cyclops*)、美原双眼钩虾、塞舌尔泥钩虾(*Eriopisella sechellensis*)、尖尾细螯虾(*Leptochela acculeocaudata*)、鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、日本美人虾、廉形叶钩虾(*Jassa falacata*)、日本沙钩虾、日本大螯蜚(*Grandidierella japonica*); 棘皮动物 6 种, 包括光滑倍棘蛇尾(*Amphioplus laevis*)、洼鄂倍棘蛇尾(*Amphioplus depressus*)、钩倍棘蛇尾(*Amphioplus ancistrotus*)、滩栖阳遂足、指棘阳遂足(*Amphiura digitula*)、金氏真蛇尾(*Ophiura kinbergi*), 优势种在东海的平面分布也不相同^[92]。研究认为东海优势种为优势种为豆形短眼蟹、拟单指虫(*Cossurella* sp.)、不倒翁虫、日本倍棘蛇尾、背蚓虫、日本美人虾、掌鳃索沙蚕、缩头竹节虫^[76]。

过去对东海周边潮间带进行了大量的研究, 发现福建海岛潮间带大型底栖生物 862 种, 其中藻类为 128 种, 多毛类为 163 种, 软体动物为 248 种, 甲壳动物为 181 种, 棘皮动物为 40 种, 其他动物为 102 种^[95]; 发现崇明岛大型底栖生物 22 种^[96]; 温州湾天河潮间带 38 种, 包括软体动物 11 种, 节肢动物 15 种, 环节动物 6 种, 硬骨鱼纲 3 种, 其他动物 3 种^[97]; 杭州湾潮间带 32 种, 节肢动物、软体动物和环节动物为主, 分别为 16、7、5 种^[98]; 嵊泗海岛潮间带大型底栖动物 130 种, 其中多毛类 31 种, 软体动物 57 种, 节肢动物 32 种, 棘皮动物 4 种, 其他类 6 种^[99]; 乐清湾潮间带大型底栖动物 65 种, 其中软体动物 34 种, 甲壳类 21 种, 多毛类 5 种, 其他 5 种^[100]; 兴化湾潮间带 146 种, 软体动物、甲壳动物和多毛类分别为 59、36 和 30 种^[101]; 湄洲湾潮间带大型底栖生物 225 种,

其中多毛类 105 种, 软体动物 41 种, 甲壳动物 52 种, 棘皮动物 5 种, 其他生物 10 种和藻类 12 种^[102]; 渔山岛大型底栖动物 100 种, 其中软体动物 51 种, 甲壳类 22 种, 多毛类 13 种, 腔肠动物 4 种, 其他 10 种^[103]。底质类型、调查时间和各种环境因子造成了各个潮间带物种分布的不均匀性。

对滩涂湿地的研究主要集中在椒江口、长江口和灵昆岛围垦湿地。对椒江口滩涂研究发现大型底栖生物 78 种, 其中软体类、甲壳类、多毛类和其他类(包括脊索动物门、纽形动物门、星虫动物门和腔肠动物门各物种)物种数分别为 23 种(29.49%)、25 种(32.05%)、21 种(26.93%)和 9 种(11.53%)^[104-106]。对长江口滩涂湿地的研究分别发现大型底栖生物 68 种、35 种、42 种、73 种^[107-110]。长江口九段沙潮间带优势种为谭氏泥蟹(*Ilyrplax descham psi*)、丝异须虫、梨形环棱螺(*Bellam yapurificata*)、堇拟沼螺(*Assimineea violacea*)、绯拟沼螺(*Assimineea latericea*)、琵琶拟沼螺(*Assimineea lutea*)、河蚬(*Corbicula fluminea*)、中国绿螂(*Glauconom echinensis*)、焦河篮蛤(*Potam ocorbula ustulata*)^[110]。灵昆岛围垦滩涂 1987 年~1997 年, 2003 年~2004 年, 2004 年~2005 年以及 2006 年发现大型底栖生物分别为 31 种^[111]、33 种^[112]、33 种^[97]、36 种^[113,114]。灵昆岛围垦滩涂物种数基本持平, 变化不大; 椒江口滩涂物种数相对于长江口滩涂和灵昆岛围垦滩涂物种数较多。

3.2. 生物量和栖息丰度

3.2.1. 黄海

研究发现黄河口及其邻近海域平均生物量为 35.28 g/m², 最低值为 1.15 g/m², 最高值为 395.12 g/m²^[115]。棘皮动物生物量为 16.68 g/m², 软体动物为 12.13 g/m², 多毛类为 2.63 g/m², 甲壳动物为 2.20 g/m²。平均密度为 557 个/m², 最低值为 24 个/m², 最高值为 5037 个/m²。软体动物平均密度为 238 个/m², 甲壳动物平均密度为 188 个/m², 多毛类为 122 个/m², 棘皮动物为 9 个/m²。黄河口平均生物量高于整个渤海平均生物量, 也高于秦皇岛海域, 南黄海和东海, 但低于北黄海。根据大型底栖动物的生物量、密度和多毛类的生物量、密度和种的丰富度, 将黄河口及其邻近海域分为四个区: 1) 黄河口水下三角洲区, 总密度为 480 个/m², 总生物量为 17.38 g/m²; 2) 莱州湾区, 总密度为 1542 个/m², 总生物量为 108.3 g/m²; 3) 渤海湾东部区,

总密度为 101 个/m², 总生物量为 14.47 g/m²; 4) 渤海中部区, 总密度为 154 个/m², 总生物量为 11.39 g/m²[116]。

生物量在全渤海的分布趋势基本相同, 生物量高值区出现在渤海湾、辽东湾这两个地方, 它们的生物量和丰度较渤海其它地区为高[28]。软体动物中, 生物量占前三位的是加州扁鸟蛤(*Clinocardium nuttallii*, = *C. californiense*), 江户明樱蛤(*Moerella jedoensis*)和薄索足蛤, 分别为 1.06, 0.49 和 0.41 g(w·w)/m², 多毛类中, 不倒翁虫的生物量占第一位, 为 0.83 g(w·w)/m², 扁蛭虫和紫臭海蛹(*Travisia pupa*)的生物量均居第 2 位, 无为 0.48 g(w·w)/m², 甲壳类中, 鲜明鼓虾、厚蟹一种(*Helice* sp.)、和口虾蛄的生物量则占前 3 位, 分别为 2.18, 1.84 和 0.83 g(w·w)/m², 棘皮动物中, 心形海胆占绝对优势, 为 12.76 g(w·w)/m², 它甚至是整个海区生物量的最大贡献者, 柯氏双鳞蛇尾和棘刺锚参的生物量位居第 2 和第 3 位, 分别为 3.10 和 3.02 g(w·w)/m²; 其它动物的生物量以海豆芽(*Lingula* sp.)占优势[29]。渤海大型底栖动物生物量组成中主要种是多毛类的日本强鳞虫、不倒翁虫、持真节虫; 软体动物的毛蚶、滑理蛤、凸壳肌蛤、秀丽波纹蛤、江户明樱蛤; 甲壳类的绒毛细足蟹、日本鼓虾; 棘皮动物的光亮倍棘蛇尾(*Amphioplus lucidus*)、心形海胆等; 毛蚶在辽东湾和渤海湾的部分海区占了生物量的大部分; 凸壳肌蛤在黄河口以南莱州湾近岸水域数量很大; 棘皮动物的心形海胆在莱州湾的部分海区, 也有较高的生物量[27]。

渤海总平均生物量为 44.47 g/m², 总平均丰度为 2576 个/m², 大型底栖动物丰度与生物量的分布趋势基本相同, 高值区均在三大湾。软体动物、多毛类、甲壳动物、和棘皮动物几乎在所有的站位都有出现。其中软体动物占绝对优势, 达 1341 个/m², 占总平均丰度的 52.1%; 多毛类为 739 个/m², 占 28.7%; 甲壳动物为 313 个/m², 占 12.1%; 棘皮动物为 136 个/m², 占 5.3%; 其它类的丰度为 46 个/m², 占 1.8%[29,30](表 3)。研究发现渤海夏季大型底栖生物生物量为 15.88 g/m², 栖息密度为 177 个/m²。生物量以其他动物居首位, 多毛类居第 2 位, 棘皮动物居第 3 位; 栖息密度以多毛类占第 1 位, 甲壳动物占第 2 位, 软体动物占第 3 位[31]。低于整个渤海的生物量和栖息密度。

根据 2007 年 7 月下旬对辽东湾北部海域的调查结果发现, 大型底栖动物的总栖息密度介于 0~535 个

Table 3. Macrobenthic abundances from the Bohai Gulf in different cruises (ind./m²)

表 3. 不同调查渤海大型底栖动物各类群丰度(个/m²)

	丰度及其所占比例	孙道元和刘银城, 1991 ^[27]	胡颖琰等, 2000 ^[28]	韩洁等, 2001 ^[29]
多毛类	丰度	96	99.3	739
	所占比例(%)	28.1	41.3	28.7
软体动物	丰度	43	48.2	1341
	所占比例(%)	12.6	20.3	52.1
甲壳动物	丰度	132	16.0	313
	所占比例(%)	38.6	5.8	12.1
棘皮动物	丰度	63	68.7	136
	所占比例(%)	18.4	29.0	5.3
其他	丰度	8	4.7	46
	所占比例(%)	0.02	2.0	1.8
总计	丰度	342	236.9	2575

/m²之间, 平均值为 68.28 ± 17.19 个/m²; 总生物量介于 0~149.50 g/m²之间, 平均值为 22.75 ± 7.55 g/m²。其中软体动物的平均栖息密度为 30.52 个/m², 生物量为 6.92 g/m²; 多毛类的平均栖息密度为 14.48 个/m², 生物量为 4.15 g/m²; 甲壳类的平均栖息密度为 12.76 个/m², 生物量为 1.86 g/m²; 棘皮动物平均栖息密度为 6.38 个/m², 生物量为 8.64 g/m²。表 3 为各类群栖息密度、生物量的组成比例, 可以看出, 调查区内软体动物的平均栖息密度在四大类群中最高, 棘皮动物的平均栖息密度最低, 但由于棘皮动物的个体较大, 使其成为调查区内总生物量的最主要贡献者[32]。

渤海湾内大型底栖动物的总栖息密度 5~695 个/m², 平均值为 228.81 个/m²。总生物量为 0.87~108.03 g/m², 平均值为 36,103 g/m²。其中多毛类的平均栖息密度为 71.43 个/m², 生物量为 21.95 g/m²; 软体动物的平均栖息密度为 76.19 个/m², 生物量为 8128 g/m²; 棘皮动物的平均栖息密度为 61.90 个/m², 生物量为 16.69 g/m²; 甲壳动物的平均栖息密度为 53.10 个/m², 生物量为 41.53 g/m²[34]。

黄海大型底栖动物四季平均生物量为 37.17 g/m², 以棘皮动物最多, 多毛类次之, 生物量季节变化表现为春季(50.75 g/m²) > 秋季(35.35 g/m²) > 夏季(32.64 g/m²) > 冬季(29.94 g/m²); 平均栖息密度为 250 个/m², 多毛类最高, 其次为甲壳动物、软体动物, 栖息密度季节变化表现为春季(359 个/m²) > 冬季(290 个/m²) > 夏季(186 个/m²) > 秋季(165 个/m²) [35]。

北黄海生物量为 106.1 g/m²[28], 以棘皮动物占绝对优势, 为 55.0%; 南黄海生物量为 13.36 g/m², 以多毛类占优势, 为 44.3%。大型底栖生物栖息密度北

黄海为 511.0 ind./m², 南黄海为 129.4 ind./m², 生物量和栖息密度均是北黄海最高, 自南向北呈现递减趋势, 这与底质的有机物含量分布相一致。

调查发现南黄海 2000 年秋季平均丰度为 154.2 个/m², 最高为 385 个/m², 最低为 5.0 个/m²; 2001 年春季平均丰度为 147.8 个/m², 最高为 585 个/m², 最低为 40 个/m²。2000 年秋季去灰平均生物量为 6.92 g/m², 最高为 31.93 g/m², 最低为 0.04 g/m²; 2001 年春季去灰平均生物量为 2.81 g/m², 最高为 8.70 g/m², 最低为 0.23 g/m²[26]。南黄海鳀鱼产卵场 2001~2003 年平均丰度为 194.3 个/m², 平均生物量(去灰干重)为 4.08 g/m²[38]。南黄海 2001 年 8 月和 2002 年 8~10 月这两个期间内, 平均栖息密度分别为 379.44 个/m²和 156.67 个/m², 平均生物量[以去灰干重(AFDW)计]分别为 9.44 g(AFDW)/m²和 7.36 g(AFDW)/m²[17]。

南黄海乳山海域 2006~2007 年冬季平均丰度为 257.3 个/m², 春季为 324.5 个/m², 夏季为 204.1 个/m², 秋季为 208.4 个/m²; 冬季平均生物量为 39.9 g/m²(范围 1.1~140.4 g/m²), 春季为 86.1 g/m²(范围 1.8~886.6 g/m²), 夏季为 214.4 g/m²(范围 0.6~2975.0 g/m²), 秋季为 60.4 g/m²(范围 0.9~366.5 g/m²) [39]。宁津海域 2006~2007 年的平均丰度为 219.6 个/m², 冬季最高, 平均丰度为 268.10 ± 166.74 个/m²; 其次为春季, 平均丰度为 238.89 ± 120.74 个/m²; 夏季为 205.37 ± 121.37 个/m²; 秋季最低, 为 166.19 ± 85.13 个/m²; 全年平均生物量为 9.58 ± 2.56 g/m², 春季最高, 为 13.22 ± 28.42 g/m²; 其次为夏季, 为 10.47 ± 19.75 g/m²; 秋季为 8.3 ± 12.44 g/m²; 冬季最低为 6.33 ± 6.68[40]。宁津海域相对于乳山海域, 生物量和栖息密度均偏低。

南黄海 2006 年夏季大型底栖动物栖息密度平均为 102 个/m²; 生物量平均 29.30 g/m², 变化范围为 0~208.8 g/m², 其中多毛类的生物量居各类群之首, 为 11.98 g/m²[41]。与 2000 年夏季调查结果[31]相比, 大型底栖动物总生物量相似, 但总栖息密度较低。多毛类生物量高于 1975~1976 年的 8.11 g/m²[118], 原因可能是调查海域以及时间不同造成的。

苏北浅滩邻近海域 2007 年 10 月总平均丰度为 273.57 个/m², 其中多毛类的平均丰度最高, 为 117.22 个/m², 占总平均丰度的 42.8%; 甲壳动物的平均丰度为 68.35 个/m², 占 25.1%; 软体动物的平均丰度为 41.57 个/m², 占 15.2%; 棘皮动物的的平均丰度为 41.04

个/m², 占 14.9%; 其他动物为 5.39 个/m², 仅占 2.0%[42]。总平均生物量分别为 44.50 g/m²。其中棘皮动物的平均生物量最高, 为 19.50 g/m², 占总平均生物量的 43.8%; 多毛类的平均生物量为 8.83 g/m², 占 19.8%; 软体动物的平均生物量为 8.66 g/m², 占 19.5%; 甲壳动物的平均生物量为 4.37 个/m², 占 9.8%; 其他动物为 3.15 g/m², 仅占 7.1%。生物量和丰度自苏北浅滩向外海大型底栖动物丰度呈增加的趋势。

青岛近海春季大型底栖动物平均生物量为 18.11 g/m², 春季大型底栖动物丰度为 119.07 个/m²[44]; 秋季大型底栖动物平均生物量为 22.30 g/m², 春季大型底栖动物丰度为 431.73 个/m²[45], 平均栖息密度为 215.87 个/m², 低于胶州湾大型底栖生物栖息密度[43]。青岛近海相对于苏北浅滩邻近海域, 生物量和栖息密度均偏低。

胶州湾 1980~1981 年[46], 1991~1994 年[119], 1998~1999 年[48,49], 2002 年[51], 2003 年[52]大型底栖生物生物量和栖息密度的变化见表 4。生物量和密度先下降后上升, 生物量在 1998~1999 年最高; 而密度却是 2002 年最高, 原因是 2002 年有几个站点在养殖区内造成的。

胶州湾 1981~1993 年 5 月和 8 月拖网所获大型底栖生物的数量。表明无论 5 月还是 8 月, 数量呈下降趋势[120]。

胶州湾北部软底海域总平均丰度为 1891.3 个/m², 3~11 月呈逐渐上升趋势; 总平均生物量为 41.9 g/m², 季节变化不明显[61]。中部海域总平均丰度为 1507 个/m², 结果远大于 1992 年[46](平均丰度为 203 个/m²)和 1998~1999 年[48](平均丰度为 386 个/m²)得出的报道, 而小于 200 年的报道[121](平均丰度为 2183 个/m²)的报道; 总平均生物量为 35.88 g/m², 结果远小于 1998~1999 年[48](平均生物量为 151.18 g/m²)和 2007 年[121](平均生物量为 469.90 g/m²)的报道, 而与 2000 年[61](平均生物量为 41.90 g/m²)得出的结果相差不大[63]。

生物量和密度与邻近海域有一定差别是因为调查

Table 4. Macrobenthic biomasses and abundances from the Jiaozhou Bay in different years
表 4. 不同年份胶州湾大型底栖生物生物量和栖息密度

调查年份	1980~1981 ^[46]	1991~1994 ^[119]	1998~1999 ^[48,49]	2002 ^[51]	2003 ^[52]
生物量(g/m ²)	73.5	71.9	151.18	30	19.59
密度(ind./m ²)	203.6	132.0	386.3	1550	256.5

海域受到的污染程度不同, 以及影响海域的各种参数不同, 调查时间等造成。

对黄海海域潮间带的研究很多, 胶州湾女姑口^[64]、红石崖^[65]和辛岛^[66], 海州湾^[67], 长岛^[68], 乳山口西村^[69], 黄河口^[70]潮间带的物种数见表 5。长岛潮间带的生物量和栖息密度均居首位, 这与长岛作为旅游海岛, 资源破坏少有关。

3.2.2. 东海

调查发现东海 2000 年 11 月大型底栖动物的平均生物量为 8.79 g/m², 其中多毛类 4.09 g/m²(占 46.53%), 软体动物 0.76 g/m²(占 8.65%), 甲壳类 1.98 g/m²(占 22.53%), 棘皮动物 1.49 g/m²(占 16.95%); 大型底栖动物的平均栖息密度为 101.45 个/m², 其中多毛类 52.55 个/m²(占 51.8%), 软体动物 19.96 个/m²(占 19.67%), 甲壳类 22.14 个/m²(占 21.82%), 棘皮动物 4.77 个/m²(占 4.7%); 2001 年 4 月大型底栖动物平均生物量为 7.21 g/m², 其中多毛类 3.09 g/m²(占 42.86%), 软体动物 0.46 g/m²(占 6.38%), 甲壳类 0.46 g/m²(占 6.38%), 棘皮动物 3.05 g/m²(占 42.3%); 大型底栖动物平均栖息密度为 132.95 个/m², 其中多毛类 74.32 个/m²(占 55.9%), 软体动物 6.59 个/m²(占 4.96%), 甲壳类 30.23 个/m²(占 22.74%), 棘皮动物 8.86 个/m²(占 6.66%)^[72]。

东海海域大型底栖动物四季平均生物量为 21.36 g/m², 其中软体动物居首位, 其次为棘皮动物和其他动物。生物量也存在明显的季节性变化, 依次为春季 > 秋季 > 夏季 > 冬季。平均栖息密度为 283 个/m², 其中多毛类较大, 其次为甲壳动物, 软体动物动物占第三位。平均栖息密度的季节性变化与平均生物量基本略有不同, 表现为秋季 > 春季 > 夏季 > 冬季^[35]。

1985~1986 年长江口大型底栖动物平均生物量为 21.75 g/m²^[46], 1988 年枯水期后大型底栖动物平均生物量为 13.87 g/m², 丰水期后大型底栖动物平均生物量为 9.89 g/m²^[74]。1999 年 5 月总平均生物量偏低为 14.04

g/m², 而 2000 年 11 月和 5 月的平均生物量偏高, 分别为 25.65 g/m² 和 28.14 g/m²; 1999 年 5 月和 2001 年 5 月的平均栖息密度较高, 分别为 333.24 个/m² 和 411.91 个/m², 2000 年 11 月的平均栖息密度较低, 为 213.08 个/m²^[75]。2002 年长江口平均栖息密度为 231.5 个/m², 最高为 665 个/m², 最低为 35 个/m²; 平均生物量为 27.66 g/m², 最高为 98.6 g/m², 最低为 0.55 g/m²^[76]。2004 年长江口大型底栖动物年平均丰度为 394.7 个/m², 丰度范围为 2.5~3470 个/m²。年平均生物量(湿重)为 19.1 g/m², 年平均生物量以去灰分干重计, 2.58 g(AFDW)/m²^[77]。2005 年~2006 年 6 月长江口及其毗邻海域大型底栖动物的平均栖息密度为 146.4 ± 22.3 个/m², 平均生物量为 12.8 ± 2.3 g/m²^[79], 平均去灰生物量为 2.31 ± 0.41 g/m²(Liu and Zheng, 2010)。长江口栖息密度变化不大, 但生物量分布不均匀, 2002 年的调查生物量较高, 可能是因为调查时间在 9 月, 许多个体经过春夏季的增长, 个体增大造成的。

浙江省近岸海域平均生物量为 18.74 g/m²^[85], 2003 年夏季大型底栖生物总平均生物量为 11.04 g/m², 总平均栖息密度为 230 个/m²^[122]。调查发现象山港大型底栖生物总平均生物量为 103.32 g/m², 总平均栖息密度为 123 个/m²^[123]。杭州湾洋山岛在 2003~2005 年大型底栖动物的生物量, 2003 年最高, 为 4.26 g/m²; 2005 年次之, 为 2.18 g/m²; 2004 年的生物量最低, 为 0.62 g/m²^[86]。瓯江口大型底栖动物的平均生物量为 19.66 g/m², 平均密度为 131 个/m²^[87]。各海区间的大型底栖生物生物量分布甚不均匀, 这与沉积物类别、底质环境质量等因素密切相关。

福建东山岛潮下带年平均生物量为 23.84 g/m², 生物量最高值为 74.08 g/m², 最低值为 0.57 g/m²; 年平均密度为 192 个/m², 最高值为 858 个/m², 最低值为 10 个/m²^[88]。厦门海域大型底栖动物年平均栖息丰度为 732 个/m², 年平均去灰分干质量为 6.77 [g(AFDW)/m²]^[89]。福清湾大型底栖生物平均生物量为

Table 5. Macrobenthic biomasses and abundances from different intertidal spots of the Yellow Sea in different years
表5. 不同年份黄海周边潮间带大型底栖生物生物量和栖息密度

调查地点	海州湾	长岛	乳山口西村	红石崖	辛岛	望子岛	大口河岛	岔尖岛
调查时间	2002.6	2007.6	2006~2007	2003~2004	2003~2004	2005.11	2005.11	2005.11
生物量(g/m ²)	257.28	372.41	7.056	123.19	60.01	132.2	39.34	11.82
栖息密度(ind./m ²)	953	1383	103.33	718.67	102.5	127.33	339.33	25.33

14.72 g/m², 棘皮动物最高, 软体动物和甲壳动物分别居第 2、3 位, 多毛类最低; 平均栖息密度为 62 个/m², 软体动物最低, 依次为多毛类和甲壳动物^[90]。兴化湾大型底栖生物平均生物量为 36.60 g/m², 秋季最高为 55.26 g/m², 春季最低为 21.98 g/m², 生物量以棘皮动物居首位, 软体动物居第 2 位, 多毛类居第三位; 平均栖息密度为 62 个/m², 夏季最高为 206 个/m², 秋季最低为 112 个/m², 栖息密度以多毛类占第一位, 甲壳动物占第二位, 棘皮动物占第三位^[91]。泉州湾大型底栖生物大型底栖生物平均生物量为 23.13 g/m², 平均栖息密度为 144 个/m², 生物量以软体动物居首位 10.28 g/m², 棘皮动物居第二位 51.44 g/m²; 栖息密度以软体动物占第一位 78 个/m², 多毛类占第二位 37 个/m²^[124]。同安湾大型底栖生物平均总丰度为 845 个/m², 丰度最大为 2.844 个/m², 丰度最小为 212 个/m²。平均生物量为 13.81 g/m², 生物量最大为 35.20 g/m², 生物量最小为 1.76 g/m²^[93]。同安湾的生物量和栖息密度均高于厦门海域, 而其余海湾和海岛的生物量和密度偏低, 低于厦门海域。

东海内陆架平均生物量为 31.7 g/m², 低于具有温带性质的北黄海(61.8 g/m²), 但高于渤海(24.3 g/m²) 和南黄海(27.7 g/m²); 东海外陆架内侧常在 50 g/m² 以上^[125]。

大型底栖动物生物量的平面分布因季节和纬度不同而有明显差异。春季以东海近岸海域较高, 呈近岸向远岸递减的趋势, 同时在台湾西北部水域和中部也形成一高值区; 夏季生物量较春季低, 高生物量区分布在东海中部长江口和杭州湾远岸, 台湾海峡北部海域较低; 秋季高值区位于长江口和杭州湾近岸, 而台湾海峡北部海域较低; 冬季高值区位于东海中部长江口与杭州湾近岸和长江口近岸。

栖息密度同生物量具有相似的平面分布趋势, 整体分布趋势为近岸高于远岸海域, 但也因季节和海域纬度不同呈现明显的差异。春季高值区分布在东海中部长江口近岸和台湾海峡北部, 呈近岸向远岸递减趋势; 夏季, 出现两个高值区, 其一分布在长江口近岸, 其二分布范围较广, 从长江口向南至台湾海峡北部近岸; 秋季, 栖息密度近岸高于远岸, 第二高值区分布种台湾岛东北部海域; 冬季高值区分布在浙江温州沿岸和东海中线杭州湾外缘水域^[31]。

温州天河潮间带四季平均后的大型底栖动物密

度大小为: 中潮带(182.50 ± 39.38 个/m²) > 高潮带(171.00 ± 16.52 个/m²) > 潮上带(144.50 ± 14.24 个/m²) > 低潮带(94.00 ± 28.88 个/m²); 生物量则为: 潮上带(58.56 ± 13.23 g/m²) > 中潮带(50.26 ± 10.57 g/m²) > 高潮带(40.57 ± 12.60 g/m²) > 低潮带(16.55 ± 7.27 g/m²)^[97]。研究发现 2006 年 9 月嵎泗海岛各海岛岩礁生物量平均值为 3584.85 g/m², 沙滩生物量平均值为 30.925 g/m², 2007 年 4 月嵎泗各海岛岩礁生物量平均值为 3670.675 g/m², 沙滩生物量平均值为 12 g/m²; 2006 年 9 月嵎泗海岛各海岛岩礁栖息密度平均值为 3106 个/m², 沙滩栖息密度平均值为 1270 个/m², 2007 年 4 月嵎泗各海岛岩礁栖息密度平均值为 5569 个/m², 沙滩栖息密度平均值为 172 个/m²^[99]。福清核电站邻近潮间带大型底栖生物 4 季的平均生物量为 1446.11 g/m²、平均栖息密度为 972 个/m²^[101]。湄洲湾潮间带大型底栖生物平均生物量 22.91 g/m², 平均栖息密度为 388 个/m²^[102]。渔山岛岩相大型底栖动物平均丰度为 283.89 个/m², 平均生物量为 628.314 g/m²^[103]

长江口九段沙潮间带年平均丰度为 442.94 个/m², 生物量为 44.92 g/m²。春、夏、秋、冬各季的平均丰度和生物量以秋季最高(1098.40 个/m², 44.92 g/m²), 夏季(611.76 个/m², 53.11 g/m²)和春季(232.22 个/m², 37.77 g/m²)次之, 冬季最低(219.26 个/m², 35.79 g/m²)^[100]。

3.3. 生物多样性指数

根据 2007 年 7 月下旬对辽东湾北部海域的调查结果发现大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数介于 0~3.40 之间, 平均值为 2.41。调查区大型底栖动物的 Margalef 物种丰富度指数介于 0~2.40 之间, 平均值为 1.58。两种指数的空间分布趋势较为一致, 低值区主要位于调查水域北部的沿岸浅水区; 除沿岸浅水区外, 其它水域的生物多样性指数较高且无显著的空间差异。从大型底栖动物多样性指数的空间分布特征可以看出, 调查区中离岸水域由于受陆源污染等人类活动的影响较少, 生态环境相对稳定, 生物多样性指数较高, 表明底栖生态系统处于较为健康的状态; 而在靠近辽河口、双台子河口、大凌河口的近岸水域, 由于受陆源污染以及航道疏浚等人类活动的影响较为剧烈, 生态环境多变, 生物多样性指数较低, 显示底栖生态系统处于较为脆弱的状态^[126]。2008 年 4 月渤海湾内大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性

指数为 0~4.18, 平均值为 2.99; Margalef 物种丰富度为 0~2.97, 平均值为 1.71; 均匀度指数为 0.51~1.00, 平均值为 0.841^[34]。渤海湾较辽东湾, Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 物种丰富度均稍高。

黄海海区内大连 - 丹东外侧、青岛 - 乳山、如东 - 长江口附近海域 H' 大于 3, d 值在 2.07~4.36 之间, J 值在 0.71~0.97 之间, 表现出多样性及种类丰富度高, 种类分布均匀, 与所在海域种类组成丰富、有机物含量高、底质所受污染小有关; 丹东、烟台至威海、日照 - 射阳附近海域, H' 值最低, 在 0.48~1.87 之间, d 值在 0.37~1.75 之间, J 值在 0.12~0.57 之间, 表现出多样性及种类丰度低, 种类分布不均匀的特点, 与所在海域底质污染重及底质不稳定有关^[28]。

南黄海乳山海域 2006~2007 年丰富度指数(d)冬季为 4.95 ± 0.28 , 春季 3.58 ± 0.91 , 夏季 3.10 ± 0.90 , 秋季 2.90 ± 0.74 ; 均匀度指数(J)冬季为 0.88 ± 0.07 , 春季 0.88 ± 0.11 , 夏季 0.87 ± 0.10 , 秋季 0.88 ± 0.10 ; 物种多样性指数(H')冬季为 2.61 ± 0.39 , 春季 2.66 ± 0.46 , 夏季 2.44 ± 0.45 , 秋季 2.38 ± 0.32 ^[39]。宁津海域丰富度指数(d)秋季最高为 7.0; 冬季次之, 为 3.8; 春季为 3.9; 夏季最低为 3.2。均匀度指数(J)冬季为 1.0; 春季为 1.0; 秋季为 0.8。物种丰富度指数(H')冬季和春季最高, 为 2.6; 夏季为 2.4; 秋季最低, 为 2.0^[40]。

调查发现 Shannon-Wiener 指数 H' 在苏北浅滩邻近海域的中部最高, 达 2.93, 该区域 H' 的平均值为 2.56; 丰富度指数 D 从调查海域西北向东南, 从苏北浅滩南部向外逐渐增加; 均匀度指数 J 的变化趋势与 H' 和 D 大体相反, 从苏北浅滩向外海逐渐减少^[42]。

2007 年青岛近海海域 Margalef 丰富度指数(D)的变化较显著, 10 月平均值为 4.05, 而 1 月和 4 月仅为 2.13 和 2.26, 10 月水温较高, 采集到的样品种类数多, 故丰富度指数较高; Shannon-Wiener 多样性指数(H')10 月略高, 为 2.38, 1 月和 4 月差别不大, 分别为 1.89 和 1.91; Pielou 均匀度指数(J)3 个月份的差别不大^[43]。

调查发现 1998 年胶州湾各站物种多样性指数平均为 3.50, 而 1999 年各站物种多样性指数则有所下降, 平均为 3.33^[48]。春季和秋季的物种多样性指数偏低, 平均值分别为 4.59 和 4.76, 冬季和夏季的指数较高, 平均值分别为 4.87 和 5.64。1998~2001 年物种多

样性指数为 0.95~4.77^[50]。胶州湾底栖软体动物的物种多样性指数在秋季和冬季较高, 平均值分别为 3.18 和 3.07, 而春季和夏季较低, 仅为 2.763 和 2.12。物种丰富度指数(D)除夏季相对较低(为 1.82)外, 其他 3 个季节差别不大; 物种均匀度指数(J)则为秋季(0.87) > 冬季(0.85) > 春季(0.71) > 夏季(0.58)^[127]。

胶州湾西部海域多样性指数 H' 在 1.8~3.0 范围内^[62]。胶州湾中部海域香浓威纳指数(H')在冬季和夏季较高, 平均值为 2.81 和 2.8, 而在春季和秋季较低, 平均值为 2.59 和 2.50; 均匀度指数(J)在各个季节变化不大; 物种丰富度指数(D)则为夏季(4.86) > 冬季(4.47) > 春季(3.81) > 秋季(2.79)^[63]。西部海域和中部海域均低于胶州湾^[48]的多样性。

调查发现胶州湾 3 个多样性指数 Shannon-Weaver(H'), 物种丰富度指数(D), 物种均匀度指数(J)的值大小顺序为低潮区(1.63、1.26、0.53) > 中潮区(1.65、1.12、0.59) > 高潮区(2.39、1.42、0.70)。 H' 和 J 为春季最高(2.15、0.72)、冬季最低(1.35、0.43); D 为秋季最高(1.51)、春季最低(1.14)^[64]。长岛潮间带丰富度指数的平均值为 1.275, 范围为 0.245~2.316; 均匀度指数的平均值为 0.505, 范围为 0.056~0.959; 物种多样性指数(H')的平均值为 1.503, 范围为 0.213~3.207^[68]。

2000 年 11 月和 2001 年 5 月长江口的 H' 平均值分别为 2.87 和 2.88, 相差甚微, 而 1999 年 5 月的 H' 平均值为 2.41, 稍低于 2001 年 5 月; 丰富度指数 D 的平均值分别为 1.28、1.33、1.11; 均匀度指数 J 分别为 0.76、0.89、0.93, 与 H' 出现高值的测站一致^[75]。调查发现 2002 年东海 Shannon-Wiener 指数 H' 范围 1.24~3.25, 丰富度指数 D 范围为 1.13~5.63, 均匀度指数 J 范围为 0.515~1.00^[76]。东海平均香农威纳多样性指数、丰富度指数与均匀度指数分别为 1.72 ± 0.16 、 1.37 ± 0.19 、 0.64 ± 0.04 ^[79]。2006 年 6 月物种多样性指数(H')平均值为 3.38 ± 1.02 , 范围为 1.42~5.13; 丰富度指数(d)平均为 2.43 ± 1.29 , 范围 0.73~5.15^[81]。

浙江杭州湾洋山岛 2003~2005 年度底内动物平均多样性指数分别为 0.81(2003 年) > 0.36(2004 年) > 0.16(2005 年)^[86]。甌江口大型底栖动物的 Shannon-Weiner 指数表现为春季(1.41) > 冬季(1.13), 而 Simpson 优势度指数则为春季(0.30) < 冬季(0.39), 均匀度指数和种类丰富度平均值分别为 0.90 和 0.61^[87]。

对厦门西部海域研究时发现厦门筴筴湖排污口水域大型底栖生物群落严重扰动, 种类多样性和均匀性指数最低(H' 为 1.59~2.79; J 为 0.33~0.59); 接近筴筴湖排污口水域, 生物群落也受干扰, 种类多样性和均匀性指数也低(H' 为 2.52~3.72; J 为 0.59~0.89); 远离筴筴湖排污口水域, 生物群落相对稳定, 种类多样性和均匀性指数都很高(H' 为 3.02~3.92; J 为 0.76~0.96)^[128]。

温州湾天河潮间带 Margalef 物种丰富度指数表现为: 中潮带(2.44 ± 0.25) > 高潮带(1.80 ± 0.10) > 低潮带(1.39 ± 0.19) > 潮上带(1.26 ± 0.08); Shannon-Wiener(H')多样性指数表现为: 中潮带(2.31 ± 0.11) > 高潮带(1.99 ± 0.07) > 低潮带(1.77 ± 0.18) > 潮上带(1.45 ± 0.09); Simpson 优势度指数表现为: 潮上带(0.31 ± 0.02) > 低潮带(0.20 ± 0.04) > 高潮带(0.18 ± 0.01) > 中潮带(0.13 ± 0.02); Pielou 种类均匀度指数(J)表现为: 低潮带(0.92 ± 0.02) > 中潮带(0.88 ± 0.02) > 高潮带(0.85 ± 0.01) > 潮上带(0.73 ± 0.02)^[97]。而杭州湾潮间带 Margalef 丰富度指数(S)高潮带(3.05) > 中潮带(2.47) > 低潮带(0.98); Shannon-Weiner(H')高潮带(2.03) > 中潮带(1.78) > 低潮带(0.81); Pielou 均匀度指数(J)高潮带(0.71) > 中潮带(0.66) > 低潮带(0.57); Simpson 优势度指数(D)低潮带(0.58) > 中潮带(0.24) > 高潮带(0.20)^[98]。2006 年 9 月嵎泗海岛各海岛岩礁物种多样性指数平均值为 2.18, 沙滩物种多样性指数平均值为 0.88, 2007 年 4 月嵎泗各海岛岩礁物种多样性指数平均值为 2.19, 沙滩物种多样性指数平均值为 1.08^[99]。大榭岛、岙山岛、梅山岛岩礁的多样性指数分别为 1.53、1.85 和 1.97 和大榭岛、六横岛、梅山岛泥沙滩的多样性指数分别为 1.72、2.12 和 1.29^[129]。渔山岛潮间带大型底栖生物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)、Margalef 物种丰富度指数(R)和 Simpson 多样性指数(D)的平均值分别为 3.328 ± 0.109 (范围为 2.434~3.991)、 0.725 ± 0.021 (范围为 0.572~0.906)、 4.350 ± 0.216 (范围为 2.646~6.017) 和 0.823 ± 0.016 (范围为 0.677~0.908)^[103]。

研究发现芦苇带香农威纳指数为 0.93; 海三棱藨草带香农威纳指数为 1.65; 光滩香农威纳指数为 0.48^[108]。灵昆岛湿地 Margalef 物种丰富度指数在围垦区内的平均值为 2.023, 范围为 1.406~2.427; 围垦区外的平均值为 2.390, 范围为 1.100~3.469; Shannon-Wiener(H')多样性指数在围垦区内的平均值为 1.927,

范围为 1.506~2.207; 围垦区外平均值为 2.212, 范围为 1.540~2.737; Pielou 种类均匀度指数(J)围垦区内的平均值为 0.846, 范围为 0.806~0.878; 围垦区外的平均值为 0.926, 范围为 0.888~0.964; Simpson 优势度指数围垦区内的平均值为 0.208, 范围为 0.143~0.291; 围垦区外平均值为 0.139, 范围为 0.100~0.225^[113,114]。灵昆岛湿地 Shannon-Wiener 多样性指数: 边滩 > 潮沟底 > 草滩; Pielou 均匀度指数: 潮沟底 > 边滩 > 草滩^[111,130]; Margalef 物种多样性指数: 边滩 > 潮沟底 > 草滩^[111]; 边滩 > 草滩 > 潮沟底^[130]; Simpson 优势度指数: 草滩 > 边滩 > 潮沟底^[111]; 草滩 > 潮沟底 > 边滩^[130]。

围垦使大型底栖动物结构及多样性发生变化, 因而其变化可以作为潮滩湿地生境改变的指标, 也能反映围垦干扰破坏的程度。围垦时间长, 且没有潮水影响的围垦方式使底质明显陆生化, 大型底栖动物种类丰度及多样性降低, 反映了潮滩湿地生境的破坏。而还能受到潮水周期性作用的围垦潮滩, 大型底栖动物物种丰度有所降低, 但多样性降低不明显^[131]。

3.4. 群落结构分析

3.4.1. 黄海

渤海的动、植物区系贫乏、单调, 多样性很低, 受大陆沿岸水、黄海冷水及黑潮水的共同影响, 水温季节变化明显, 各种水文、底质条件复杂, 大型底栖生物群落组成也较复杂。研究认为可以包括以下三个群落^[28]:

1) 颗粒拟关公蟹(*Paradorippe granulata*) - 细雕刻肋海胆(*Temnopleurus toreumaticus*)群落, 此群落位于辽东湾海域。代表种有颗粒拟关公蟹、日本诺关公蟹 *Nobilum japonicus*、细雕刻肋海胆、日本长腕海盘车(*Distolasterius nipon*)、口虾蛄、日本鼓虾、毛蚶、扁玉螺等。

2) 隆线强蟹 - 彩虹明樱蛤群落, 此群落分布于渤海中部及渤海湾, 代表种有隆线强蟹、哈氏刻肋海胆、彩虹明樱蛤、假主厚旋螺 *Carssispira pseudopriciplis*、海仙人掌 *Cavemularia* sp.、泥脚隆背蟹 *Carcinoplax vestita*、仿盲蟹、艾氏活额寄居蟹 (*Diogenes edwardsii*)、日本倍棘蛇尾、锯额豆瓷蟹 (*Pisidia serratifrons*) (= 锯额瓷蟹 *Porcellana serratifrons*)、泥螺等。

3) 叫姑鱼(*Johnius* sp.) - 颗粒拟关公蟹群落, 此群落分布于莱州湾, 代表种有叫姑鱼、颗粒拟关公蟹、涟虫 *Bodotriidae*、脊尾白虾、中国毛虾 *Acetes chinensis*、绒毛细足蟹、端正拟关公蟹 *Paradorippe polita* 等。

有研究分析了渤海海域的大型底栖动物群落, 将其分为四个群落^[31]:

1) 拟特须虫 - 短竹蛭(*Solen brevissimus*, =*S. dunkerianus*) - 赛舌尔泥钩虾群落, 位于渤海中南部的东西两侧和北部, 水深 23~32 m, 底质主要为砂质粘土、粉砂粘土。

2) 花岗钩毛虫 - 凯利蛤(*Kellia*) - 长鳃麦秆虫 - 变化柄锚参(*Oestergrenia variabilis*)群落, 位于渤海中部和中部北侧, 水深 24~38 m, 底质主要为砂质粘土。

3) 不倒翁虫 - 理蛤 - 日本美人虾 - 倍棘蛇尾群落, 位于渤海北部西侧, 水深 27~30 m, 底质主要为砂质粘土。

4) 梳鳃虫 - 小亮樱蛤(*Nitidotellina minuta*) - 葛氏胖钩虾 - 洼鄂倍棘蛇尾群落, 位于渤海北部东侧、中部和南部, 水深 16~31 m, 底质为砂质粘土、粘土粉砂。

有研究将南黄海分为四个群落^[132]: 1) 索足蛤 - 蜈蚣欧努菲虫(*Onuphis geophiliformis*) - 北方真蛇尾群落, 分布于 50 米深度以上的南黄海深水水域。2) 北方真蛇尾 - 索足蛤群落, 分部在 50 米深度以上的北黄海中央水域。以上两环境夏季均为冷水团所控制, 温、盐度条件较稳定。3) 泥足隆背蟹 - 内褶蚶群落。分布在山东半岛南岸和北岸的沿岸水域, 一般在 40 米等深线范围以内。4) 角管虫(*Ditrupa arietina*) - 海蛹群落, 位于沿岸水和中央水交汇区, 水深大约在 40~50 米之间。

黄海近岸调查海域的大型底栖生物分为 4 个群落^[28]:

1) 日本褐虾 - 蛇尾群落, 分布于北黄海北部, 具明显的冷水种成分, 代表种有日本褐虾、日本倍棘蛇尾、司氏盖蛇尾(*Stegophiura sladeni*)、紫蛇尾、萨氏真蛇尾等;

2) 心形海胆 - 蛇尾群落, 分布于山东以北海域及北黄海南部, 代表种有心形海胆、哈氏刻肋海胆、日本长腕海盘车、泥螺、司氏盖蛇尾等;

3) 日本鼓虾 - 织纹螺群落, 分布于江苏北部的连云港 - 威海一带近岸海域, 亚热带种类明显增加, 代表种有日本鼓虾、红狼牙鰕虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)、红带织纹螺、纵肋织纹螺等;

4) 葛氏长臂虾 - 梅童鱼(*Collichthys*)群落, 分布于江苏北部射阳 - 长江口近岸海域, 代表种有棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、葛氏长臂虾、不倒翁虫、戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)等, 具明显的亚热带区系成分。

其他研究则把黄海按区域划分为黄海北部群落、黄海中部群落和黄海南部群落, 共包括 7 个群落^[31]。其中黄海北部群落包括两个群落: 蚕光稚虫(*Spiophanes bombyx*) - 中国蛤蜊 - 短角双眼钩虾 - 心形海胆群落和色斑角吻沙蚕(*Goniada maculata*) - 薄索足蛤 - 萨氏真蛇尾群落; 黄海中部群落包括四个群落, 依次为: 加州中蚓虫(*Neomediomastus californiensis*) - 薄索足蛤 - 细指海葵群落、拟节虫 - 薄索足蛤 - 尖尾细螯虾群落、蜈蚣欧努菲虫 - 鸟啄小脆蛤(*Raetellopes pulchella*) - 蕨形角海葵(*Cerianthus filiformis*)群落和日本索沙蚕(*Lumbrineris japonica*) - 薄索足蛤 - 皮海鞘(*Molgula manhattensis*)群落; 黄海南部主要为梳鳃虫 - 鸟啄小脆蛤 - 太平洋方甲涟虫 - 洼鄂倍棘蛇尾 - 短吻铲荚蛭(*Listriolobus brevirostris*)群落。

还有研究将北黄海划分出 3 个大型底栖生物群落^[37]。其中群落 I 位于山东半岛近岸以及辽东半岛长山群岛以北。种类组成以广温低盐种为主, 不倒翁虫、双唇索沙蚕等为优势种。群落 II 位于中央冷水团区, 种类组成多为冷水性种, 优势种为薄索足蛤、浅水萨氏真蛇尾等。群落 III 位于北黄海东部砂底区, 种类少, 蚕光稚虫、心形海胆等为优势种。与 1958 年的全国海洋综合调查等历史资料^[125]对比发现, 沿岸性群落的优势类群发生了变化, 多毛类动物取代了棘皮动物; 冷水性群落的范围大约缩减了 1 个经度。

苏北浅滩邻近海域可以划分为 3 个群落^[42]: 群落 I 为滩晒阳遂足群落, 位于苏北浅滩北面, 底质为粉砂质粘土, 水深约 17 m; 贡献率为 69.49%。群落 II 为不倒翁虫 - 梳鳃虫 - 樱蛤群落, 位于苏北浅滩东侧, 调查海域中部, 底质为粘土质粉砂或砂, 平均水深 21~31 m, 3 个优势种的贡献率分别是 22.05%、17.94%和 11.52%, 平均丰度分别为 8、15.33 和 4.67 个/m²。群落 III 为稚齿虫 - 背蚓虫 - 樱蛤 - 织纹螺群

落, 位于苏北浅滩南面, 靠近长江口, 底质以粘土质粉砂为主, 水深 9~50 m, 主要优势种为稚齿虫(52 个/m²)、背蚓虫(29.78 个/m²)、樱蛤(18.67 个/m²)、纵肋织纹螺(25.33 个/m²), 4 个优势种的贡献率总计为 67.26%, 仅稚齿虫达 45.82%。

有研究将胶州湾划分为五个群落^[47]: 1) 文昌鱼群落, 底质为粗砂; 2) 海蛹 - 扇栉虫(*Amphicteis gunneri*) 群落, 底质为粉砂 - 粘土; 3) 细雕刻肋海胆 - 日本倍棘蛇尾, 底质为砂底质; 4) 菲律宾蛤仔群落, 底质为粘土 - 粉砂; 5) 棘刺锚参 - 胡桃蛤群落。

3.4.2. 东海

东海不同区域大型底栖动物群落的 Bray-Curtis 相似性系数存在一定差异, 最大为 40%~50%, 多数为 10%~40%。根据不同区域, 把东海海域大型底栖动物划分为东海北部近海群落、东海南部近海群落、东海北部外海群落、东海南部外海群落和台湾海峡群落^[31], 依次为:

1) 东海北部近海群落 2 个: 群落 I, 独指虫 - 蕃红花丽角贝 - 鸟喙小脆蛤 - 日本美人虾 - 洼鄂倍棘蛇尾群落; 群落 II, 球须微齿吻沙蚕(=球小卷吻沙蚕)(*Micronephthys sphaerocirrata*) - 双带瓷光螺(*Eulima bifascialis*) - 不等壳毛蚶(*Anadara inaequalvis*, = *Scapharca inaequalvis*) - 东方长眼虾(*Ogyrides orientalis*)群落。

2) 东海南部近海群落 2 个: 群落 I, 欧努菲虫(*Onuphis eremite*) - 蕃红花丽角贝 - 日本美人虾 - 钩倍棘蛇尾群落; 群落 II, 独指虫 - 蕃红花丽角贝 - 日本大螯蜚 - 钩倍棘蛇尾群落;

3) 东海北部外海群落 4 个: 群落 I, 加州中蚓虫 - 日本沙钩虾 - 戈芬星虫(*Golfingia* sp.)群落; 群落 II, 双边帽虫(*Amphictene* sp.) - 蕃红花丽角贝 - 原足虫(*Leptocheilia aculeocaclata*) - 条纹板刺蛇尾(*Macrophiothrix striolata*, = *Placophiothrix striolata*)群落; 群落 III, 花冈钩毛虫 - 蕃红花丽角贝 - 日本美人虾 - 指棘阳遂足群落; 群落 IV, 独指虫 - 蕃红花丽角贝 - 日本美人虾 - 倍棘蛇尾群落。

4) 东海南部外海群落 2 个: 群落 I, 双须内卷齿蚕(*Aglaophamus dicirris*) - 带锥螺(*Turritella fascialis*) - 日本美人虾 - 条纹板刺蛇尾群落; 群落 II, 奇异稚齿虫 - 刺鬃蛤 - 拟栉管鞭虾(*Solenocera pectinulata*)

- 女神蛇尾(*Ophionephthy difficilis*)群落。

5) 台湾海峡群落 2 个: 群落 I, 独毛虫(*Tharyx acutus*) - 蕃红花丽角贝 - 轮双眼钩虾 - 洼鄂倍棘蛇尾群落; 群落 II, 长锥虫(*Haploscoloplos elongates*) - 宽壳胡桃蛤(*Ennucula aegeensis* = *Nucula convexa*) - 短角双眼钩虾群落。

有研究将长江口划分为 4 个群落^[133]: 群落 I: 圆筒原盒螺 - 滩栖阳遂足 - 棘刺锚参 - 背蚓虫群落, 该群落位于长江口东南面, 靠近嵎泗岛, 底质为粘土质粉砂, 水深 17 m; 群落 II: 圆筒原盒螺 - 钩虾群落, 该群落位于长江口咸淡水混合区, 靠近上海市南汇区, 底质为粘土质粉砂, 水深 7 m; 群落 III: 背蚓虫 - 奇异稚齿虫 - 不倒翁 - 尖叶长手沙蚕 - 近辐蛇尾群落, 该群落包括了调查站位的绝大部分, 底质为粘土质粉砂和砂质粉砂, 水深 9~50 m; 群落 IV: 短叶索沙蚕 - 长吻沙蚕 - 纽虫群落该群落位于长江口咸淡水混合区, 底质为砂质粉砂, 水深 7 m。

将东海大陆架大型底栖生物分为七个群落^[134]: I. 豆形短眼蟹 - 绵真蛇尾群落; II. 凹裂星海胆 - 锡基赛尔钆螺群落; III. 绵真蛇尾 - 凸镜蛤群落; IV. 长手隆背蟹 - 海地瓜 - 白帘蛤群落; V. 玉虾 - 单列羽鳃 - 骑士章海星群落; VI. 尖刺鬃蛤 - 骑士章海星群落; VII. 偕老同穴 - 扇形珊瑚群落。

浙北潮下带大型底栖生物分为五个群落结构: 1) 小荚蛭 - 焦河篮蛤 - 安氏白虾群落(底质为粉砂); 2) 凸镜蛤 - 薄云母蛤 - 棘刺锚参群落(底质为泥); 3) 菲律宾蛤仔 - 毛蚶 - 细雕刻肋海胆群落(底质为贝壳砂); 4) 纵肋织纹螺 - 芋参(*Molpadia* spp.)群落(底质为泥 - 细粉砂); 5) 白龙骨乐飞螺 - 背尾白虾群落(底质为泥砂)^[84]。根据 2003 年夏季浙江沿岸大型底栖生物调查将其分为四个群落^[122]: I 为背蚓虫 - 变化柄锚参群落; II 为不倒翁虫 - 西方拟蛭虫群落; III 为薄云母蛤 - 变化柄锚参 - 双鳃内卷齿蚕群落; IV 为西格织纹螺 - 背蚓虫 - 不倒翁虫 - 双鳃内卷齿蚕群落。

将象山港大型底栖生物划分为五个群落结构^[123]: I 为翅状索沙蚕 - 寡鳃齿吻沙蚕 2 - 奇异稚齿虫群落, 位于湾口, 底质为软泥; II 为纵肋织纹螺 - 缩头竹节虫群落, 位于湾中部, 底质为软泥, 但比湾口硬; III 为高骨片沙鸡头 - 菲律宾蛤子 - 凸镜蛤群落, 位于湾顶部, 底质上层为贝壳砂, 下层为软泥; IV 为棘刺锚

参群落位于湾顶部,底质上层为贝壳砂,下层为软泥;V为洼颚倍棘蛇尾-纵肋织纹螺-黄短口螺群落,位于湾顶部,底质为砂。

福建福清湾大型底栖生物分为三个群落^[90]:群落I为模糊新短眼蟹-凸壳肌蛤-光滑倍棘蛇尾群落,位于湾北部,底质为细砂、粘土质粉砂;群落II为凸壳肌蛤-白龙骨乐飞螺-模糊新短眼蟹-扁平蛛网海胆,位于海湾中部和近南部湾口,底质为中细砂、砂-粉砂-粘土;群落III为滑指矾沙蚕-肋昌螺,位于海湾南部近湾口一带,底质为砾砂、砂质粉砂。

将福建兴化湾大型底栖生物分为四个群落^[91]:群落I,短叶索沙蚕-特矾沙蚕-幽辟新短眼蟹-洼颚倍棘蛇尾,位于湾中西部,底质主要为粘土质粉砂、中粗砂;群落II,大海蛹-不倒翁虫-变态蠕-钩倍棘蛇尾,位于湾口,底质为砾石-砂-粉砂和中粗砂;群落III,滑指矾沙蚕-幽辟新短眼蟹-光滑倍棘蛇尾,位于近湾口北侧,底质为砂-粉砂-粘土;群落IV,日本刺梳鳞虫-波纹巴非蛤-棒锥螺(*Turritella bacillum*)-中华豆蟹-棘刺锚参,位于湾顶、南、北周边,底质主要为粘土质粉砂、砂-粉砂-粘土。

福建泉州湾大型底栖生物分为两个群落:群落I,丝鳃稚齿虫-光滑篮蛤-纹尾长眼虾群落。该群落位于泉州湾西北部和南部湾口,水深114~22m,底质主要泥、泥砂和砂泥;群落II,中蚓虫-光滑篮蛤-模糊新短眼蟹群落,该群落位于泉州湾中部和北部湾口,水深7~18m,底质主要为泥^[92]。

将同安湾大型底栖生物分为三个群落^[93]:群落I,似蛭虫-刚鳃虫-梳鳃虫-寡鳃齿吻沙蚕群落;群落II,豆形胡桃蛤-金星蝶铰蛤-似蛭虫-中蚓虫群落;群落III,丝鳃稚齿虫-大螺赢蜚-似蛭虫-菲律宾蛤仔群落。

将海岛潮间带生物群落可分为3个类型^[95]:1)开敞海域群落,宏观上分布于地处远岸或近岸凸出部、开阔水域的海岛;2)近岸港湾群落,分布于近岸或港湾水域的海岛;3)河口群落,分布于河口区水域的海岛。

将黄东海划分为4个群落类型,发现除黄海冷水性群落相对稳定外,其他群落物种组成在春季和秋季变化较大。不同海域的群落结构不同,相差较大,群落结构不同主要是栖息环境不同造成的,在相似的

栖息环境,群落组成相似^[135]。

3.5. 次级生产力

次级生产力的研究是研究大型底栖生物量化的重要途径,对研究大型底栖生物在海洋生物食物链中的地位以及海洋的能量流动物质交换有重要意义,P/B(次级生产力/生物量)值是种群最大可生产量的指示值,反映一个生态群落内物种新陈代谢率的高低和世代更替速度。

采用Brey(1990)的经验公式^[4]得出渤海大型底栖动物年次级生产力平均值为6.49(AFDW)/(m²/a),其中渤海海峡海域较高,为12.59(AFDW)/(m²/a);渤海中部为4.46(AFDW)/(m²/a),渤海大型底栖动物年平均P/B为0.82。整个渤海以78,000km²计算,得到的整个渤海大型底栖动物年生产力为50.622万t去灰干重,或是56.247万t干重,或是281.233万t湿重。渤海海峡海域的次级生产力较高,是由于本区出现了生物量较大的海豆芽及多种个体较大的棘皮动物如:浅水萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii*)、紫蛇尾、司氏盖蛇尾、柯氏双鳞蛇尾、日本鳞缘蛇尾(*Ophiophragmus japonicus*)、心形海胆和棘刺锚参等。而渤海中部大型底栖动物的生物量相对渤海海峡较低,主要原因是本区的站位极少出现个体生物量较大的种类,种类组成中,以个体较小的多毛类、甲壳类和软体动物幼体为主^[136]。

南黄海大型底栖生物次级生产力进行调查,得到2001年~2002年该海域年平均次级生产力为4.98g m⁻² a⁻¹,最高为14.26g(AFDW) m⁻²·a⁻¹,最低为0.31g(AFDW) m⁻²·a⁻¹,与生物量分布格局相似,两个高生产力分布区域位于黄海冷水团的两侧;平均P/B值为1.10 a⁻¹,最高值为1.62 a⁻¹,最低值为0.82 a⁻¹。证明了大型底栖生物的生物量和次级生产里受海水温度影响较大,生产力随水深的加大而降低,P/B值随水温升高而升高^[26]。南黄海鳀鱼产卵场大型底栖生物次级生产力平均值为4.09g m⁻²·a⁻¹,低于南黄海大型底栖生物次级生产力,最高为22.74g(AFDW) m⁻²·a⁻¹,最低为0.27(AFDW) m⁻²·a⁻¹;平均P/B值为1.32 a⁻¹,高于南黄海,最高为2.65 a⁻¹,最低为0.67 a⁻¹^[38]。黄海2001年和2002年大型底栖动物的次级生产力(以去灰干重计)分别为9.64g(AFDW)

$/(m^2 \cdot a)$ 和 $6.42 \text{ g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)}$, P/B 值分别为 1.20 和 0.98^[117]。黄海次级生产力除 2001 年^[117]大于渤海^[135]外, 2005 年和 2002 年均小于渤海, 但平均 P/B 值均大于渤海。

胶州湾 1998~1999 年和 2000~2004 年两个时间段的次级生产力进行比较时发现, 该值由湾口 - 湾北部的湾顶呈梯度升高, 这种分布模式与湾顶底质有机物丰富, 受人类干扰小等因素密切相关^[137]; 1998~1999 年次级生产力为 $18.65 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 2000~2004 年有所下降, 为 $3.41 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, P/B 值两个时间段均为 1.05 a^{-1} , 湾顶高分布区下降明显, 且各分布中心向西偏移, 造成这种变化的主要原因是陆源环境恶化和近岸的人为改造, 并分析说明了菲律宾蛤仔及其养殖环境中的其他大型底栖动物是胶州湾次级生产力主要贡献者。胶州湾西部海域 2003~2004 年大型底栖动物年次级生产力^[121]为 $47.34 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均 P/B 值为 0.58 a^{-1} , 对次级生产力与环境因子相关分析表明叶绿素 a 是最重要的影响因子, 而物种多样性指数与水深、有机质、叶绿素含量等相关不显著^[62], 与次级生产力表现为显著的负相关, 表示一定条件下, 被调查群落的生产力越高群落物种多样性越低。

对东海次级生产力调查发现 2000 年~2001 年全年平均次级生产力为 $1.62 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 最高为 $3.69 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 最低为 $0.33 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 平均 P/B 值为 1.41 a^{-1} , 最高值为 1.87 a^{-1} , 最低值为 1.01 a^{-1} ^[138]。2005 年~2006 年平均次级生产力为 $2.48 \pm 0.38 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 最高为 $3.86 \pm 1.27 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 最低为 $0.51 \pm 0.35 \text{ g(AFDW) m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 平均 P/B 值为 $1.48 \pm 0.06 \text{ a}^{-1}$, 最高值为 $1.95 \pm 0.18 \text{ a}^{-1}$, 最低值为 $1.29 \pm 0.08 \text{ a}^{-1}$ ^[80]。2005 年~2006 年东海次级生产力和 P/B 值均大于 2000 年~2001 年, 次级生产力随年份增长呈上升趋势。

调查认为 2004 年长江口年平均次级生产力以去灰分干重计, 在 $0.01 \sim 11.62 \text{ g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)}$ 之间, 平均为 $3.52 \text{ g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)}$; P/B 值范围为 0.97~4.22, 平均值为 1.53, 长江口大型底栖动物次级生产力自长江入海口向东呈递增趋势, 次级生产力高于东海而低于渤海和胶州湾; P/B 值高于南黄海、胶州湾和渤海, 也说明了长江口大型底栖动物群落中个体小、生活史短, 代谢快的种类所占的比例高于以上海域。各调查海域平均水深依次为胶州湾 < 渤海 < 长江口 < 东

海, 而大型底栖动物次级生产力依次为胶州湾 > 渤海 > 长江口 > 东海^[77]。

福建厦门海域型底栖动物年次级生产力为 $9.68 \text{ [g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)]}$, P/B 值为 1.43; 从地理位置上看, 位于鼓浪屿附近海域的年平均次级生产力最高, 为 $25.42 \text{ [g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)]}$; 位于九龙江口海域的年平均次级生产力最低, 为 $0.31 \text{ [g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)]}$; P/B 值最高的出现在九龙江口海域, 为 2.50; P/B 值最低出现在西海域, 为 1.26^[89]。

4. 研究展望

黄海和东海是我国海域的重要组成部分, 也是我国渔业资源开发利用最早、最重要的海域, 是我国东部地区经济和社会发展、我国海洋经济战略的重要支撑海域。黄海和东海的大型底栖生物生态学和生物多样性调查研究不但起步早, 从 1958 年即开始有系统的调查, 而且成果丰富, 为了解我国近海的海洋生物资源和海洋生态特点提供了大量资料和数据。1999 年以来, 国家对黄海和东海生态系统的调查、环境保护和可持续利用研究加大了投入, 与沿岸经济建设和社会发展相关的生态环境调查和评价也加强了相关海域的海洋大型底栖生物生态学调查研究, 使人们对黄海和东海大型底栖生物的生态学和生物多样性特点以及变化规律有了更充分更清晰的了解和掌握。

随着东部沿海地区经济和社会的快速发展, 对环境造成的压力越来越大。获知海洋环境容量, 合理开发利用海洋资源, 使我国海洋经济保持可持续发展, 是生态环境调查研究的重要任务。努力将先进的科学研究成果应用于海洋经济发展建设也是实现海洋生物资源可持续利用的需要。海洋生物资源可持续利用追求的是自然环境、经济、社会的协调发展, 只有这样才能解决人类无限发展的需求与海洋生物资源有限性的矛盾。

准确了解海洋生态环境容量, 必须准确了解海洋生态系统的动力学运行机制, 必须充分了解生态系统各要素与环境各要素之间的关系。大型底栖生物作为海洋生态系统的重要组成部分, 在海洋生态系统物质和能量循环中起着重要作用。从细节上深入研究大型底栖生物的生态学运行机理, 对于全面理解海洋生态系统动力学运行机制是十分重要的。这就要求大型

底栖生物生态学研究必须由以往的现象描述转向机理探究,由物种数、生物量、栖息密度、生物多样性指数、次级生产力数据等宏观数据的描述,转向物种组成、优势种变迁,特别是哪些物种在什么时间对生物量、栖息密度、生物多样性指数、次级生产力做出了怎样的贡献,环境因素通过什么途径影响着大型底栖生物的数量变化和成分变化,哪些物种在什么数量上或者哪些物种组合可以代表怎样的海洋环境质量水平,等等细微机理的研究。通过机理的研究,可以使合理开发和可持续利用海洋生物资源成为可能,使准确预测海洋环境质量变化和预报并避免海洋灾害成为可能。

新理论、新方法、新手段、新工具的创新、探索、引入将是今后海洋大型底栖生物生态学研究的必然趋势。因此,要根据国家需求,跟踪国际前沿,注意科学问题的发掘。未来海洋大型底栖生物生态学和生物多样性研究发展应关注以下问题(不分先后): 1) 海洋大型底栖生物多样性的调查、编目、监测及信息系统建设,建立地理信息系统; 2) 生态系统结构功能与生态系统管理研究; 3) 全球气候变化及人类活动对大型底栖生物多样性的影响研究,即全球气候变化和人类活动什么时候、在什么情况下、如何影响大型底栖生物? 海洋生态系统从受到第一次人类活动影响以来是如何变化的? 人类活动在不同种群、物种、群落和生态系统产生影响的机理是什么? 4) 生物多样性和生态环境保护、恢复和持续利用技术和对策研究; 5) 濒危物种的濒危机制,重要经济种类的遗传多样性、系统进化及病害防治研究; 6) 外来物种入侵和转基因生物释放对生物多样性的影响研究; 7) 稀有物种在生态系统中的功能,一个物种在其生活史过程中其功能如何转变; 8) 大型底栖生物在海洋生态系统中的生态服务功能; 9) 各种海洋生境在全球经济或者无形资源中的价值,这些价值在多大程度上依赖于海洋大型底栖生物多样性; 10) 深海底栖生态系统在海洋生物基因流动和海洋生物多样性维持方面的作用。

5. 致谢

甘志彬、黄慧、王金宝、董栋、寇琦、隋吉星、彭松耀、许鹏等在文献整理和分析过程中给予大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献 (References)

- [1] H. L. Sanders. Oceanography of Long Island Sound, 195-4. X. The biology of marine bottom communities. Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection, 1956, 15: 345-414.
- [2] L. A. Zenkevich. Biology of the seas of the U. S. S. R. (Translation by S. Notcharkaya). London: George Allen & Unwin Ltd., 1963: 1-955.
- [3] D. J. Crisp. Energy flow measurements. In: N. A. Holme, A. D. Melnyter, Eds., Methods for the study of marine benthos (2nd Edition). Oxford: Blackwell, 1984: 284-372.
- [4] T. Brey. Estimation productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual weight. Meeresforsch, 1990, 32: 329-343.
- [5] R. T. Paine. In: Marine rocky shore and community ecology: An experimentalist's perspective. Excellence in Ecology, Ecology Institute, Germany, 1994, 4: 152.
- [6] R. M. Warwick. Biodiversity and production on the sea floor. In: G. Hempel, Ed., The ocean and the poles, grand challenges for European cooperation. Stuttgart: Fischer, 1997: 217-226.
- [7] T. H. Pearson, A. B. Josefson and R. Rosenberg. Petersen's benthic stations revisited. Is the Kattegat becoming eutrophic? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1985, 92 (2-3): 157-206.
- [8] R. Rosenberg, J. S. Gray, A. B. Josefson and T. H. Pearson. Petersen's benthic stations revisited. Is the Oslofjord and eastern Skagerrak enriched? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1987, 105(2-3): 219-251.
- [9] K. Reise, A. Schubert. Macrobenthos turnover in the subtidal Wadden Sea: The Norderaue revisited after 60 years. Helgolander Meeresunters, 1987, 41(1): 69-82.
- [10] K. T. Jensen. Macrozoobenthos on an intertidal mudflat in the Danish Wadden Sea: Comparisons of surveys made in the 1930s, 1940s and 1980s. Helgoländer Meeresunters, 1992, 46(4): 363-376.
- [11] R. Sarda, K. Foreman and I. Valiela. Long-term changes of macroinfaunal assemblages in experimentally enriched salt marsh tidal creeks. The Biological Bulletin, 1994, 187: 280-283.
- [12] J. E. Lopez, O. Francesch, A. V. Dorrio, et al. Long term variation of the infaunal benthos of La Coruna Bay (NW Spain); results from a 12-year study (1982-1993). Scientia Marina, 1995, 59(Suppl. 1): 49-61.
- [13] C. L. J. Frid, J. B. Buchanan and P. R. Garwood. Short communication: Variability and stability; twenty-two years of monitoring of Northumberland. ICES Journal of Marine Science, 1996, 53(6): 978-980.
- [14] P. R. Ehrlich, E. O. Wilson. Biodiversity studies: Science and policy. Science, 1991, 253(5021): 758-762.
- [15] B. H. Walker. Biodiversity and ecological redundancy. Conservation Biodiversity, 1992, 6: 18-23.
- [16] J. B. C. Jackson. Community unity? Science, 1994, 264(5164): 1412-1413.
- [17] 古丽亚诺娃, 刘瑞玉, 斯卡拉脱等. 黄海南带生态学研究[J]. 中国科学院海洋生物研究所丛刊, 1958, 2(2): 1-43.
- [18] 刘瑞玉, 徐凤山. 黄东海底栖生物区系的特点[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(4): 306-321.
- [19] 张志南, 周宇, 韩洁等. 生物扰动实验系统(AFS)的基本结构和工作原理[J]. 海洋科学, 1999, 6: 28-30.
- [20] 张志南, 周宇, 韩洁等. 应用生物扰动试验系统(Annular Flux System)研究大型滤食性双壳类的生物沉降作用[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(2): 270-276.
- [21] 李新正, 刘录三, 李宝泉. 中国海洋大型底栖生物——研究与实践[M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 1-378.
- [22] 李新正. 我国海洋大型底栖生物多样性研究及展望: 以黄海为例[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 676-684.
- [23] C. E. Shannon, W. Wiener. The mathematical theory of communication. Urbanna: University of Illinois Press, 1949: 1-117.
- [24] R. Margalef. Perspective in ecological theory. Chicago: University

- of Chicago Press, 1968: 1-111.
- [25] E. C. Pielou. *Ecological Diversity*. New York: Wiley-Inters, 1975: 1-163.
- [26] X. Z. Li, Z. S. Yu, J. B. Wang, et al. Secondary production of macrobenthos in Southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(6): 702-705.
- [27] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布[J]. *黄渤海海洋*, 1991, 9(1): 42-50.
- [28] 胡颖琰, 黄备, 唐静亮等. 渤、黄海近岸海域底栖生物生态研究[J]. *东海海洋*, 2000, 18(4): 39-46.
- [29] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海大型底栖动物丰度和生物量的研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(6): 889-896.
- [30] 张志南, 于子山, 慕芳红等. 底栖生物与底栖生物生产力[A]. 苏纪兰, 唐启升. *中国海洋生态系统动力学研究 II——渤海生态系统动力学过程*[C]. 北京: 科学出版社, 2002: 165-211.
- [31] 李荣冠. *中国海陆架及邻近海域大型底栖生物*[M]. 北京: 海洋出版社, 2003: 1-164.
- [32] 刘录三, 孟伟, 郑丙辉等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: I. 种类组成与数量分布[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(6): 118-123.
- [33] 孟伟, 刘征涛, 范薇. 渤海主要河口污染特征研究[J]. *环境科学研究*, 2004, 17(6): 66-69.
- [34] 王瑜, 刘录三, 刘存岐等. 渤海湾近岸海域春季大型底栖动物群落特征[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(4): 430-436.
- [35] 唐启升. *中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境*[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-1237.
- [36] 王金宝, 李新正, 王洪法等. 黄海特定断面夏秋季大型底栖动物生态学特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(10): 4349-4358.
- [37] 曲方圆, 于子山, 刘卫霞等. 北黄海春季大型底栖生物群落结构[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(增刊): 109-114.
- [38] X. Z. Li, B. L. Zhang and H. F. Wang. Secondary production of macrobenthos from the anchovy spawning ground in the Southern Yellow Sea. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2005, 11(3): 324-327.
- [39] X. Z. Li, B. Q. Li, H. F. Wang, et al. Community structure of macrobenthos in coastal water off Rushan, southern Shandong Peninsula, and the relationships with environmental factors. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 28(5): 81-93.
- [40] B. Q. Li, X. Z. Li, H. F. Wang, et al. The relationship between soft-bottom macrobenthic communities and environmental variables off Ningjin, eastern Shandong Peninsula. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 29(6): 73-82.
- [41] 徐勤增, 李瑞香, 王宗灵等. 南黄海夏季大型底栖动物分布现状[J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(3): 393-398.
- [42] 范士亮, 王宗兴, 徐勤增等. 苏北浅滩邻近海域秋季大型底栖动物生态学特征[J]. *海洋科学进展*, 2010, 28(4): 489-497.
- [43] 王宗兴, 范士亮, 韦钦胜等. 青岛近海大型底栖动物生物多样性现状[J]. *海洋通报*, 2010, 29(1): 1-5.
- [44] 王宗兴, 范士亮, 徐勤增等. 青岛近海春季大型底栖动物群落特征[J]. *海洋科学进展*, 2010, 28(1): 50-56.
- [45] 王宗兴, 范士亮, 徐勤增等. 青岛近海秋季大型底栖动物群落特征[J]. *海洋湖沼通报*, 2010, 2010(1): 59-64.
- [46] 刘瑞玉. *胶州湾生态学和生物资源*[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-460.
- [47] 毕洪生, 孙松, 孙道元. 胶州湾大型底栖生物群落的变化[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(2): 132-138.
- [48] 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[J]. *生物多样性*, 2001, 9(1): 80-84.
- [49] 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[J]. *海洋科学集刊*, 2002, 44: 66-73.
- [50] 于海燕, 李新正, 李宝泉等. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状[J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 416-422.
- [51] 田胜艳, 张文亮, 于子山等. 胶州湾大型底栖动物的丰度、生物量和生产量研究[J]. *海洋科学*, 2010, 34(6): 80-87.
- [52] 王洪法, 李新正, 王金宝. 2000-2009 年胶州湾大型底栖动物的种类组成及变化[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(5): 738-775.
- [53] 王金宝, 李新正, 王洪法等. 2005-2009 年胶州湾大型底栖动物生态学特征[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(5): 728-737.
- [54] 王金宝, 李新正, 王洪法. 胶州湾多毛类环节动物优势种的生态特点[J]. *动物学报*, 2006, 52(1): 63-69.
- [55] 韩庆喜, 高雯芳, 李宝泉等. 胶州湾菲律宾蛤仔生物量与资源评估[J]. *动物学杂志*, 2004, 39(5): 60-62.
- [56] 王金宝, 李新正, 王洪法等. 胶州湾多毛类环节动物数量分布与环境因子的关系[J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(6): 798-803.
- [57] 李宝泉, 李新正, 于海燕等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(3): 193-198.
- [58] 李新正, 王洪法, 于海燕等. 胶州湾棘皮动物的数量变化及与环境因子的关系[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(5): 618-622.
- [59] 于海燕, 李新正, 李宝泉等. 胶州湾大型底栖甲壳动物数量动态变化[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(4): 289-295.
- [60] 张宝琳, 王洪法, 张文勇等. 胶州湾肠鳃类种类与分布[J]. *海洋科学*, 2007, 31(2): 65-67, 97.
- [61] 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[J]. *青岛海洋大学学报*, 2000, 30(2): 439-444.
- [62] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物多样性的研究[J]. *生物多样性*, 2007, 15(1): 53-60.
- [63] 隋吉星, 于子山, 曲方圆等. 胶州湾中部海域大型底栖生物生态学初步研究[J]. *海洋科学*, 2010, 34(5): 1-6.
- [64] 李宝泉, 张宝琳, 刘丹运等. 胶州湾女姑口潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(10): 15-19.
- [65] 王洪法, 李宝泉, 张宝琳等. 胶州湾红石崖潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(9): 52-57.
- [66] 张宝琳, 王洪法, 李宝泉等. 胶州湾辛岛潮间带大型底栖动物生态学调查[J]. *海洋科学*, 2007, 31(1): 60-64.
- [67] 高爱根, 杨俊毅, 曾江宁等. 海州湾潮间带大型底栖动物的分布特征[J]. *海洋学研究*, 2009, 27(1): 22-29.
- [68] X. C. Wang, X. Z. Li, B. Q. Li, et al. Summer community structure of intertidal macrobenthos in Changdao Archipelago, Shandong province, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2009, 27(3): 425-434.
- [69] 马林, 王洪法, 帅莲梅. 乳山口西村潮间带大型底栖动物生态学研究[J]. *海洋科学*, 2009, 33(6): 29-34.
- [70] 王晓晨, 李新正, 王洪法等. 黄河口岔尖岛、大口河岛和望子岛潮间带秋季大型底栖动物生态学调查[J]. *动物学杂志*, 2008, 43(6): 77-82.
- [71] 李新正, 李宝泉, 王洪法等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态[J]. *动物学报*, 2006, 53(2): 612-618.
- [72] 刘录三, 李新正. 东海春秋大型底栖动物分布现状[J]. *生物多样性*, 2002, 10(4): 351-358.
- [73] 刘瑞玉, 徐凤山, 孙道元等. 长江口区底栖生物及三峡工程对其影响的对策[J]. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 237-247.
- [74] 孙道元, 徐凤山, 崔玉珩等. 长江口区枯、丰水期后底栖动物分布特点[J]. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 217-235.
- [75] 吴耀泉, 李新正. 长江口区底栖生物群落多样性特征[A]. 中国甲壳动物学会. *甲壳动物学论文集, 第四辑*[C]. 北京: 科学出版社, 2003: 281-288.
- [76] 李宝泉, 李新正, 王洪法等. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征[J]. *动物学报*, 2007, 53(1): 76-82.
- [77] 刘勇, 钱微微, 孙世春等. 长江口及其邻近海域大型底栖动物生物量、丰度和次级生产力的初步研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(5): 749-756.
- [78] 刘录三, 孟伟, 李新正等. 长江河口段大型底栖动物的群落结构现状研究[J]. *海洋与湖沼*, 2006, 37(增): 124-129.
- [79] 刘录三, 孟伟, 田自强等. 长江口及毗邻海域大型底栖动物

- 的空间分布与历史演变[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3027-3034.
- [80] L. S. Liu, B. H. Zheng. Secondary production of macrobenthos in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters. 应用与环境生物学报, 2010, 16(5): 667-671.
- [81] W. Meng, L. S. Liu, B. H. Zheng, et al. Macrobenthic community structure in the Changjiang Estuary and its adjacent waters in summer. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 26(6): 62-71.
- [82] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2054-2062.
- [83] 章飞军, 童春富, 张衡等. 长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构[J]. 动物学研究, 2007, 28(1): 47-52.
- [84] 王海明, 蔡如星, 曾地刚. 浙北潮下带(0~5 m)大型底栖生物生态[J]. 东海海洋, 1996, 14(4): 67-77.
- [85] 胡颖琰, 唐静亮, 李秋里等. 浙江省近岸海域底栖生物生态研究[J]. 海洋学研究, 2006, 24(3): 76-89.
- [86] 罗民波, 陆健健, 沈新强等. 大型海洋工程对洋山岛周围海域大型底栖动物生态分布的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 97-102.
- [87] 寿鹿, 曾江宁, 廖一波等. 甌江口海域大型底栖动物分布及其与环境的关系[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1958-1964.
- [88] 蔡立哲, 郑天凌. 东山岛潮下带大型底栖生物群落及其环境影响评价[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(增): 37-42.
- [89] 周细平, 蔡立哲, 梁俊彦等. 厦门海域大型底栖动物次级生产力的初步研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(6): 902-906.
- [90] 李荣冠, 江锦祥, 蔡尔西等. 福清湾大型底栖生物生态研究[J]. 海洋学报, 1995, 17(1): 90-96.
- [91] 李荣冠, 江锦祥, 蔡尔西等. 兴化湾大型底栖生物生态研究[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 101-109.
- [92] 李荣冠. 底栖动物[A]. 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境[C]. 北京: 科学出版社, 2006: 108-430.
- [93] 林俊辉, 郑凤武. 泉州湾及其附近海域底栖多毛类生态的初步研究[J]. 台湾海峡, 2007, 26(2): 281-288.
- [94] 林俊辉, 柯才焕, 郑凤武等. 同安湾春季大型底栖生物的群落结构特征[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2007, 46(增刊 1): 155-160.
- [95] 周时强, 郭丰, 吴荔生等. 福建海岛潮间带底栖生物群落生态的研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(5): 104-109.
- [96] 章飞军, 童春富, 谢志发等. 长江口潮间带大型底栖动物群落演替[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 4945-4952.
- [97] 鲍毅新, 葛宝明, 郑祥等. 温州湾天河滩涂大型底栖动物群落分布与季节变化[J]. 动物学报, 2006, 52(1): 45-52.
- [98] 李欢欢, 鲍毅新, 胡知渊等. 杭州湾南岸大桥建设区域潮间带大型底栖动物功能群及营养等级的季节动态[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1011-1023.
- [99] 廖一波, 曾江宁, 陈全震等. 嵎泗海岛不同底质潮间带春秋大型底栖动物的群落格局[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1000-1010.
- [100] 郑荣泉, 张永普, 李灿阳等. 乐清湾滩涂大型底栖动物群落结构的时空变化[J]. 动物学报, 2007, 53(2): 390-398.
- [101] 寿鹿, 廖一波, 徐晓群等. 福清核电站邻近潮间带大型底栖生物数量分布与群落结构[J]. 海洋学研究, 2009, 27(2): 42-50.
- [102] 黄雅琴, 李荣冠, 王建军等. 湄洲湾潮间带底栖生物多样性[J]. 生物多样性, 2010, 18(2): 156-161.
- [103] 焦海峰, 彭小明, 尤仲杰等. 渔山岛岩石相潮间带大型底栖动物物种多样性[J]. 生物多样性, 2011, 19(5): 511-518.
- [104] 赵永强, 曾江宁, 陈全震等. 椒江口潮间带大型底栖动物群落 beta 多样性分析[J]. 海洋学报, 2009, 31(3): 103-112.
- [105] 赵永强, 曾江宁, 高爱根等. 椒江口滩涂大型底栖动物群落格局与多样性[J]. 生物多样性, 2009, 17(3): 303-309.
- [106] 赵永强, 曾江宁, 高爱根等. 椒江口潮间带大型底栖动物的生态位[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5): 1176-1183.
- [107] 袁兴中, 陆健健. 长江口潮滩湿地大型底栖动物群落的生态学特征[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 414-420.
- [108] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 长江口新生沙洲底栖动物群落组成及多样性特征[J]. 海洋学报, 2002, 24(2): 133-139.
- [109] 杨泽华, 童春富, 陆健健. 长江口湿地三个演替阶段大型底栖动物群落特征[J]. 动物学研究, 2006, 27(4): 411-418.
- [110] 安传光, 赵云龙, 林凌等. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究[J]. 水产学报, 2007, 31(增): 52-58.
- [111] 胡知渊, 鲍毅新, 葛宝明等. 围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析[J]. 动物学报, 2006, 52(4): 800-809.
- [112] 葛宝明, 鲍毅新, 程宏毅等. 灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物功能群及营养等级构成[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4796-4804.
- [113] 鲍毅新, 胡知渊, 李欢欢等. 灵昆东滩围垦区内外大型底栖动物季节变化和功能群的比较[J]. 动物学报, 2008, 54(3): 416-427.
- [114] 胡知渊, 李欢欢, 鲍毅新等. 灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1498-1507.
- [115] 张志南, 图立红, 于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究(一)生物量[J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(2): 37-45.
- [116] 张志南, 图立红, 于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究(二)生物与沉积环境的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(2): 45-52.
- [117] 周进, 李新正, 李宝泉. 黄海中华哲水蚤夏区大型底栖动物的次级生产力[J]. 动物学报, 2008, 54(3): 436-441.
- [118] 吴宝玲, 孙道元. 南黄海北部海域多毛类环节动物生态学的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 1979, 1: 48-51.
- [119] 董金海, 焦念志. 胶州湾生态学研究(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 1-205.
- [120] 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[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 274-279.
- [121] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物次级生产力初步研究[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 145-150.
- [122] 余方平, 王伟定, 金海卫等. 2003 年夏季浙江沿岸大型底栖生物生态分布特征[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1): 59-64.
- [123] 高爱根, 杨俊毅, 胡锡钢等. 2002 年冬季象山港大型底栖生物生态分布特征[J]. 东海海洋, 2004, 22(2): 28-34.
- [124] 李荣冠, 王建军, 郑成兴等. 泉州湾大型底栖生物群落生态[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3562-3571.
- [125] 刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山等. 黄海、东海底栖生物生态特点[J]. 海洋科学集刊, 1986, 27: 153-173.
- [126] 刘录三, 孟伟, 李新正等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: II. 生物多样性与群落结构[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 155-161.
- [127] 李宝泉, 李新正, 王洪法等. 胶州湾大型底栖软体动物物种多样性研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(2): 136-144.
- [128] 李荣冠, 江锦祥. 厦门西部海域大型底栖生物群落变化[J]. 台湾海峡, 1989, 8(2): 144-149.
- [129] 赵永强, 寿鹿, 徐晓群等. 海洋大型底栖动物对海岛开发的生态响应——以宁波大榭岛为例[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 726-733.
- [130] 葛宝明, 郑祥, 程宏毅等. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落和物种生态位分析[J]. 水生生物学报, 2007, 31(5): 675-681.
- [131] 袁兴中, 陆健健. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1642-1647.
- [132] 崔玉珩, 孙道元. 南黄海北部海域漂油区底栖生物调查[A]. 中国科学院海洋研究所. 南黄海北部石油污染调查报告[R]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1977: 193-210.

- [133] 孙亚伟, 曹恋, 秦玉涛等. 长江口邻近海域大型底栖生物群落结构分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 66-70.
- [134] 唐质灿, 徐凤山. 东海大陆架区底栖生物数量分布和群落的初步分析[A]. 中国科学院海洋研究所. 东海大陆架论文集[C]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1978: 156-164.
- [135] 王金宝, 李新正, 刘录三等. 黄海、东海大型底栖动物群落结构分析[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(增): 214-221.
- [136] 于子山, 张志南, 韩洁. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 867-871.
- [137] 李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 527-533.
- [138] X. Z. Li, J. B. Wang, H. F. Wang, et al. Secondary production of macrobenthos from the East China Sea. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2005, 11(4): 459-462.