

北黄海獐子岛附近海域大型底栖动物 数量分布和季节变化*

王金宝 李新正^① 王洪法

(中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室, 青岛 266071)

摘要 根据 2009 年 8 月~2010 年 6 月 4 个季度月对位于北黄海獐子岛附近海域所设的 13 个站进行大型底栖动物生态调查所获得的资料, 对该海域大型底栖动物的种数、密度和生物量的组成及季节变化进行分析研究, 采用 Shannon-Wiener 指数(H')、物种丰富度指数(D)和物种均匀度指数(J)分析该海域大型底栖动物的物种多样性, 并研究该海域的次级生产力、 P/B 值的空间分布和季节变化。结果表明, 北黄海獐子岛附近海域大型底栖动物全年总种数有 211 种、年平均栖息密度为 699.415 个/m^2 , 年平均生物量为 98.927 g/m^2 。各季度的种数(S)、平均密度 $D(\text{个/m}^2)$ 和平均生物量 $B(\text{g/m}^2)$ 的季节变化分别为 $S_{\text{春季}(121)} > S_{\text{秋季}(118)} > S_{\text{冬季}(89)} > S_{\text{夏季}(87)}$, $D_{\text{春季}(794.58)} > D_{\text{秋季}(766.92)} > D_{\text{夏季}(674.62)} > D_{\text{冬季}(561.54)}$, $B_{\text{春季}(180.271)} > B_{\text{夏季}(107.121)} > B_{\text{秋季}(70.824)} > B_{\text{冬季}(37.493)}$ 。全年物种多样性指数 H' 值、物种丰富度指数 D 值和物种均匀度指数 J 值分别为 2.976、4.135 和 0.707。该海域大型底栖动物夏季、秋季和春季的平均密度变化不明显, 但冬季明显较少, 而平均生物量和种数的季节变化比较明显, 春季较高, 冬季较低。该海域的平均次级生产力为 $15.335 \text{ g(AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)}$, 相对较高。 P/B 值的平均值为 1.239。

关键词 獐子岛; 大型底栖动物; 密度; 生物量; 次级生产力

中图分类号 P717

doi: 10.12036/hyxxjk20160708001

北黄海是位于山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的一个半封闭海域, 海域面积约为 7.1 万 km^2 , 平均水深为 40m。北黄海水流系统和水团结构复杂, 季节性变化明显, 夏季有冷水团存在, 而冬季会受到黄海暖流的影响。

獐子岛海域位于北黄海北部, 属北温带亚湿润季风气候区, 四季分明。周边海域水产

资源极其丰富, 是我国重要的海洋牧场和主要的海产品生产地之一。獐子岛周边海域已建成的现代海洋牧场面积约 2000 km^2 , 包括我国最大的海珍品增殖养殖基地、国家级虾夷扇贝良种场, 以及国内一流的海参、鲍鱼育苗基地, 海洋牧场的生态价值和实践成果受到广泛关注。

* 资助项目: 国家自然科学基金(41176133); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA11020303)。王金宝, 男, 助理研究员, E-mail: wjb@qdio.ac.cn

^① 通讯作者: 李新正, 男, 研究员, 从事海洋底栖生物生态学研究, E-mail: lixzh@qdio.ac.cn

收稿日期: 2016-07-08, 收修改稿日期: 2016-08-01

多年来, 对南黄海和东海大型底栖动物生态学的研究较多(刘瑞玉和徐凤山, 1963; 刘录三和李新正, 2002, 2003; 王金宝等, 2007), 对渤海海域的研究也有较好进展(于子山等, 2001; 韩洁等, 2003), 对北黄海的研究主要集中于分析大面站季度月调查结果(刘卫霞等, 2009; 曲方圆等, 2009), 而对獐子岛海域, 仅有王全超等(2013)对潮间带和近岸的大型底栖动物进行了分析。为了更好地揭示獐子岛海域底栖生态系统的现状和季节变化, 为现代开放式海洋牧场养殖服务, 于2009年8月~2010年6月4个季度月, 针对北黄海獐子岛附近海域的13个站位进行了大型底栖动物生态调查, 根据调查所获资料, 分析了该海域大型底栖动物的种类、数量分布、生物多样性和次级生产力及其季节变化, 为该海域的海水养殖业提供了基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查站位设计

在北黄海獐子岛附近海域设置13个站位(图1)。分别于2009年8月、2009年11月、2010年2月和2010年6月共4个季度月(夏、

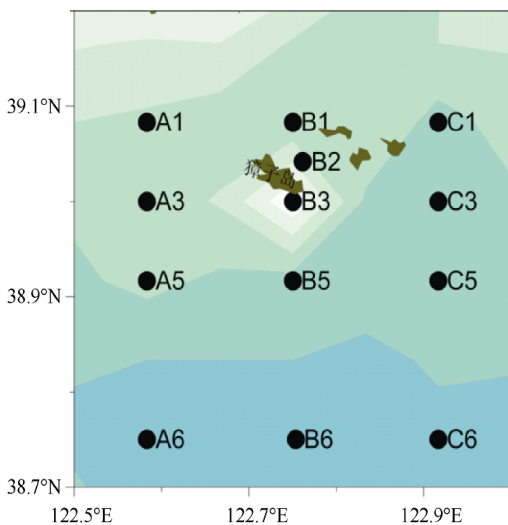


图1 调查站位图

Fig.1 The sampling stations

秋、冬、春)进行大型底栖动物定量采集, 共获得51份调查样品(2010年6月B2站未调查)。调查船为“辽长渔科研19”号。

1.2 样品采集及处理

用0.1m²的静力式采泥器成功采集两次, 合为1份样品, 所获泥样用底层为0.5mm孔径的套筛冲洗获得大型底栖动物, 将获得的生物样品用75%的酒精固定后带回实验室。在实验室对所获样品进行挑选、种类鉴定、个体计数和称重(精度为0.001g的电子天平), 统计并计算种数、栖息密度、生物量和次级生产力。调查中在A1、A3、B1、B2和B3站多次采集到虾夷盘扇贝(*Patinopecten yessoensis*), 因该种为人工底播养殖种, 且个体重量大, 因此本文中的数据不包括此种的调查数据。

1.3 数据处理

1.3.1 底栖动物数量动态参数

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数量动态特点进行分析。

Margalef物种丰富度指数(D)计算公式为

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

物种多样性指数采用Shannon和Wiener(1949)指数(H'):

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

物种均匀度指数(J): $J = H' / \log_2 S$

式中, S 为采泥样品中的种类总数; P_i 为第 i 种底栖动物的个体数与样品中底栖动物总个体数的比值(n_i/N)。

1.3.2 次级生产力

次级生产力的计算根据Brey(1990)的经验公式:

$$\lg P = -0.4 + 0.007 \times \lg B - 0.27 \times \lg W$$

式中, 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 $W = B/A$, A 为每站

大型底栖动物年平均栖息丰度(单位: ind./m²), 转换后, $P=A^{0.27} \times B^{0.737} / 10^{0.4}$ (李新正等, 2005a)

P/B 值是生产力与去灰干重生物量的比值, 被认为是种群最大可生产量的指示值。该值指示了生物量的年度轮回次数。

1.3.3 数据处理

运用 Excel、Primer 5.0、Surfer12 等软件分析处理数据。

2 结果

2.1 种数及季节变化

2.1.1 种类组成

本调查研究在獐子岛附近海域 4 个季度月完成了 51 个站次调查(2010 年 6 月 B2 站未调查), 采集到大型底栖动物标本 1109 号, 共 7116 个标本, 经鉴定, 其大型底栖动物隶属于 11 个门类, 共有 211 种。其中, 环节动物门(Annelida)的多毛类动物(Polychaeta)92 种, 软体动物门(Mollusca)41 种, 节肢动物门(Arthropoda)47 种, 棘皮动物门(Echinodermata)19 种, 其他类群共 12 种。

2.1.2 季节变化

采集到底栖动物种数较多的是春季(2010 年 6 月, 121 种)和秋季(2009 年 11 月, 118 种), 较少的是夏季(2009 年 8 月, 87 种)和冬季(2010 年 2 月, 89 种)。春、秋季明显大于冬、夏季(图 2)。

各季度月种数分布如图 3(见文后彩图)所示。夏季种数较多的站位出现在调查区的东南部; 秋季高种数分布区分散, 在调查区的南部、东北部和西北部均有高值区; 冬季主要分布在东北部; 春季主要分布在西部和东北角海域。不同季节, 高种数区域比较杂乱, 没有一定规律, 但在獐子岛周边种数相对较少。

2.1.3 各站位的种数组成

如图 4 所示, 反映了 13 个调查站的种数和组成。不同站位不同动物类群的种数存在较大差异。种数最多的站是 C1 站, 为 67 种, 其次是 A3 站, 为 66 种, 超过 50 种的站达到了 6

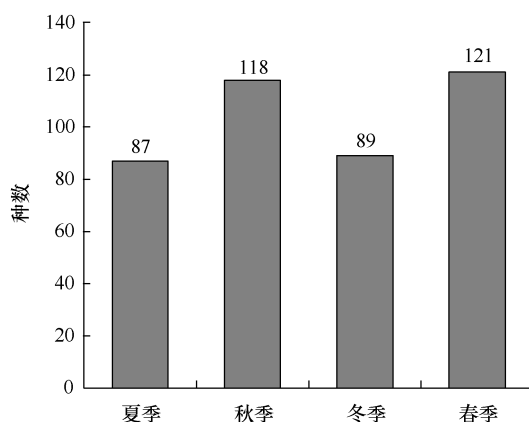


图 2 各季度月的物种数

Fig.2 Species numbers of macrobenthos in different seasons

站。种数最少的为 B1、B2 站, 均为 25 种。

2.2 物种多样性

各站位不同季节的物种丰富度指数(D)、均匀度指数(J)和多样性指数(H')见表 1。物种丰富度指数平均值为 4.135, 物种均匀度指数平均值为 0.707, 物种多样性指数平均值为 2.976。

分季节看, 物种丰富度指数秋季(4.766)>春季(4.659)>夏季(3.898)>冬季(3.312); 物种均匀度指数夏季(0.735)>秋季(0.729)>春季(0.706)>冬季(0.654); 物种多样性指数春季(3.202)>秋季(3.164)>夏季(3.034)>冬季(2.520)。物种丰富度指数最高值出现在春季的 C1 站(7.505), 最低值出现在冬季的 B1 站(1.082); 物种均匀度指数最高值出现在秋季的 B3 站(1.000), 最低值出现在冬季的 B6 站(0.354); 物种多样性指数最高值出现在春季的 A3(4.498), 最低值出现在冬季的 B6 站(1.346)。

2.3 密度

2.3.1 密度组成

该海域大型底栖动物年平均密度为 699.42 个/m²(表 2), 其中软体动物平均密度为 350.21 个/m², 占 50.07%; 其次为多毛类动物 168.61 个/m², 占 24.21%; 甲壳动物 110.88 个/m²,

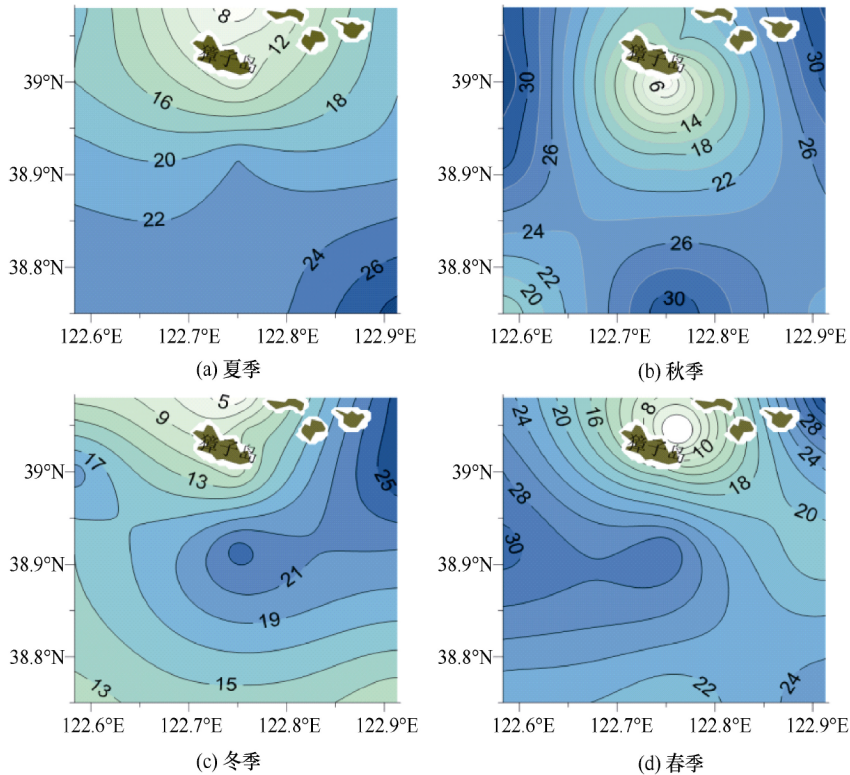


图3 各季节的种数水平分布

Fig.3 The horizontal distribution of species number in different seasons

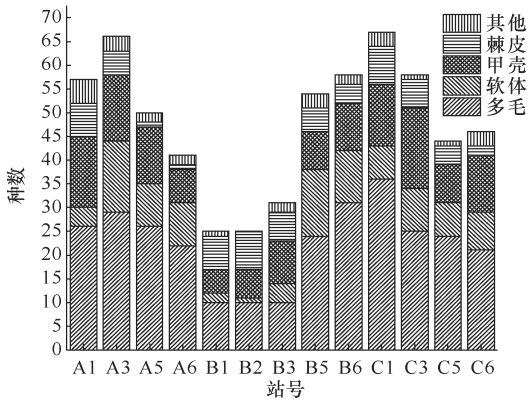


图4 大型底栖生物种类组成

Fig.4 Species numbers of macrobenthic groups in each station

占 15.85%; 棘皮动物 65.86 个/ m^2 , 占 9.42%; 其他类群的平均密度为 3.86 个/ m^2 , 占 0.55%。

2.3.2 密度的季节变化

调查海域大型底栖动物平均密度的季节变化为春季(794.58 个/ m^2)> 秋季(766.92 个/ m^2)>

夏季(674.62 个/ m^2)>冬季(561.54 个/ m^2)。4 个季度各动物类群的平均密度大小顺序均为软体动物>多毛类动物>甲壳动物>棘皮动物>其他类群动物。软体动物是该海域密度的主要贡献类群。

从各季节大型底栖生物的空间分布看(图 5 见文后彩图), 夏季密度高值区主要位于调查区的东南部; 秋季高值区主要在中南部; 冬季平均密度较小, 高值区主要分布在西南角区域; 春季高值区主要分布在南部海域。调查海域大型底栖生物的总体分布趋势表现为南部海域密度高, 北部海域及獐子岛周边密度低。

2.3.3 密度的空间变化

调查期间目标海域不同站位不同动物类群的年平均密度存在较大差异(图 6), 其中平均密度最高的是 B6, 达 1447.50 个/ m^2 ; 其次是

表 1 不同季节各站物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数
Tab.1 The indices of biodiversity(D, J, H') in different season in each station

站位	夏季			秋季			冬季			春季		
	D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'
A1	4.729	0.912	3.876	6.442	0.889	4.442	2.378	0.553	1.913	5.838	0.910	4.226
A3	4.043	0.847	3.530	6.812	0.854	4.344	4.387	0.838	3.622	6.408	0.926	4.498
A5	4.297	0.708	3.111	5.802	0.689	3.413	2.956	0.651	2.544	5.876	0.757	3.751
A6	4.634	0.745	3.414	2.717	0.594	2.374	1.892	0.417	1.495	3.826	0.573	2.556
B1	2.038	0.725	2.035	4.111	0.742	3.034	1.082	0.712	1.424	1.962	0.538	1.706
B2	3.613	0.918	3.291	4.072	0.866	3.610	2.572	0.575	2.060	*	*	*
B3	3.003	0.780	2.795	1.820	1.000	1.585	3.509	0.958	3.181	2.958	0.648	2.467
B5	4.118	0.680	3.031	3.391	0.610	2.591	4.463	0.548	2.512	5.246	0.653	3.173
B6	3.443	0.571	2.510	5.724	0.534	2.670	2.517	0.354	1.346	3.139	0.538	2.323
C1	4.265	0.804	3.474	6.353	0.832	4.199	5.319	0.887	4.169	7.505	0.846	4.373
C3	4.096	0.772	3.278	5.890	0.729	3.609	5.658	0.863	4.058	5.150	0.842	3.861
C5	3.338	0.474	2.082	4.638	0.542	2.577	3.894	0.524	2.299	3.563	0.693	2.889
C6	5.053	0.622	3.022	4.189	0.592	2.678	2.433	0.619	2.141	4.440	0.553	2.598
平均值	3.898	0.735	3.034	4.766	0.729	3.164	3.312	0.654	2.520	4.659	0.706	3.202

表 2 各季节不同类群的密度组成
Tab.2 The densities of macrobenthic groups in different season

季节	季度平均 密度	多毛类动物		软体动物		甲壳动物		棘皮动物		其他类群动物	
		密度 (个/m ²)	比例(%)	密度 (个/m ²)	比例(%)	密度 (个/m ²)	比例(%)	密度 (个/m ²)	比例(%)	密度 (个/m ²)	比例(%)
夏季	674.62	144	21.32	350	51.88	93	13.80	86	12.71	2	0.29
秋季	766.92	215	28.03	335	43.63	157	20.41	55	7.17	6	0.75
冬季	561.54	123	21.92	305	54.38	93	16.58	38	6.78	2	0.34
春季	794.58	193	24.23	411	51.70	101	12.69	85	10.64	6	0.73
年平均密度	699.42	168.61	24.11	350.21	50.07	110.88	15.85	65.86	9.42	3.86	0.55

A6 和 C5 站, 分别为 1212.50 个/m² 和 1200.00 个/m², 软体动物是平均密度的主要贡献者; 平均密度最低的为 B1、B3 站, 均为 167.50 个/m²。

2.4 生物量

2.4.1 生物量组成

该海域大型底栖动物年平均生物量为 98.927g/m², 其中棘皮动物平均生物量最高, 为 74.523g/m², 占 75.33%; 其次为软体动物 13.550g/m², 占 13.70%; 多毛类动物 6.931 g/m², 占 7.01%; 其他类群动物 2.014g/m², 占 2.04%; 甲壳动物 1.909g/m², 占 1.93%(表 3)。

2.4.2 生物量的季节变化

夏季该海域大型底栖动物平均生物量为 107.121g/m², 秋季为 70.824g/m², 冬季为 37.493g/m², 春季为 180.271 g/m²。各季度平均生物量的大小顺序与各季度的平均密度大小顺序相同, 也是春季>夏季>秋季>冬季。各类群占比基本为棘皮动物>软体动物>多毛类动物>其他类群动物>甲壳动物。棘皮动物是该海域生物量的主要贡献类群。

不同季节生物量的水平分布如图 7(见文后彩图)所示。夏季生物量高值区主要分布在

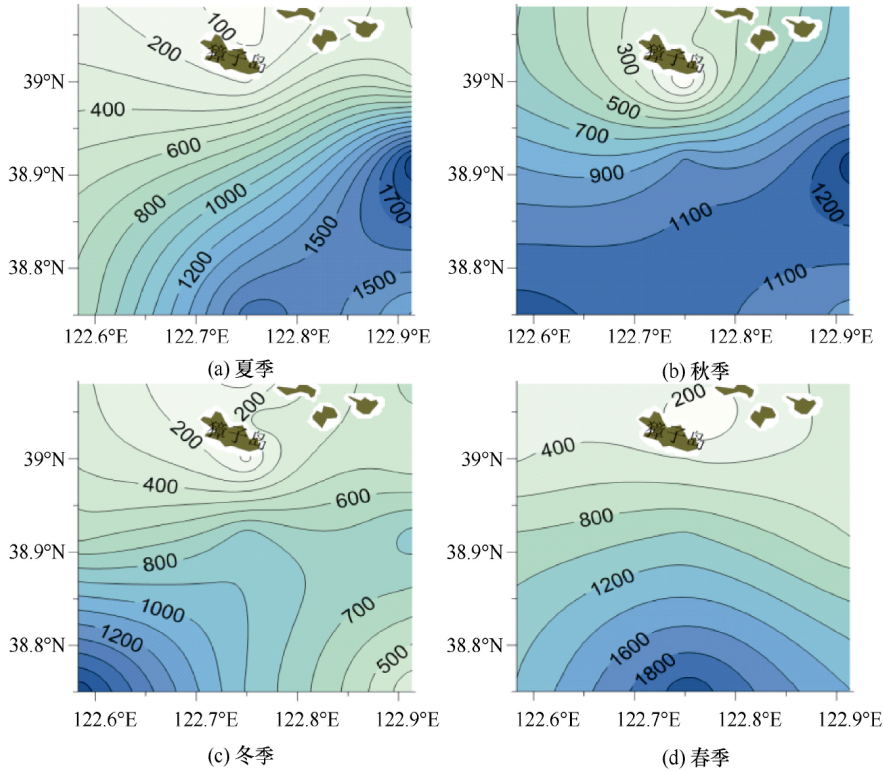


图 5 各季节密度水平分布

Fig.5 The horizontal distributions of abundances in different seasons

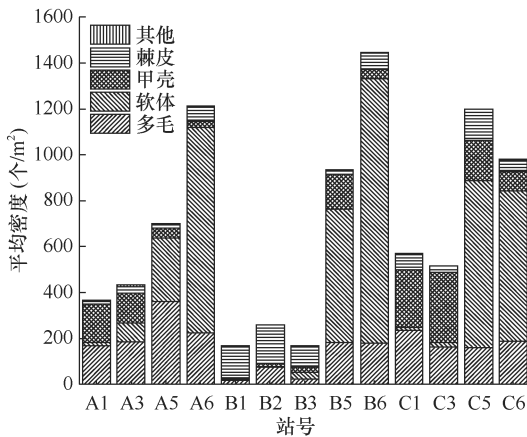


图 6 各站位底栖生物各类群的密度组成

Fig.6 Abundances of macrobenthic groups in each station

调查区的中部, 位于獐子岛南侧; 秋季生物量高值区则分布在獐子岛的东北部, 东南部大部分海域生物量较低; 冬季生物量高值区位于调查区的中部和獐子岛的东北部; 春季

整体生物量水平较高, 高值区分布在獐子岛的南部。

2.4.3 生物量的空间分布

13 个调查站的年平均生物量分布情况如图 8 所示, 不同站位和不同动物类群的平均生物量差异也很大。平均生物量最高的站位是 B3 站, 达 $419.535\text{g}/\text{m}^2$, 棘皮动物是该站的主要贡献者, 同时也是其他绝大多数站的主要贡献者。平均生物量最低的是 A5 站, 仅为 $31.229\text{g}/\text{m}^2$ 。

2.5 次级生产力和 P/B 值

2.5.1 次级生产力的季节性变化

根据次级生产力公式计算各站位的次级生产力, 结果见表 4。本调查海区次级生产力的平均值为 $15.335\text{g}(\text{AFDW})/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, 其中春季 $22.271\text{g}(\text{AFDW})/(\text{m}^2\cdot\text{a}) >$ 夏季 $17.798\text{g}(\text{AFDW})/(\text{m}^2\cdot\text{a}) >$ 秋季 $12.987\text{g}(\text{AFDW})/(\text{m}^2\cdot\text{a}) >$ 冬季 8.285g

表 3 不同季节各类群的生物量组成

Tab.3 The biomasses of macrobenthic groups in different seasons

季度	季平均 生物量	多毛类动物		软体动物		甲壳动物		棘皮动物		其他类群动物	
		生物量 (g/m ²)	比例 (%)	生物量 (g/m ²)	比例 (%)	生物量 (g/m ²)	比例 (%)	生物量 (g/m ²)	比例 (%)	生物量 (g/m ²)	比例 (%)
夏季	107.121	7.255	6.77	30.912	28.86	1.628	1.52	65.629	61.27	1.697	1.58
秋季	70.824	8.320	11.75	7.560	10.67	2.302	3.25	50.518	71.33	2.123	3.00
冬季	37.493	5.639	15.04	7.685	20.50	1.172	3.12	22.001	58.68	0.996	2.66
春季	180.271	6.509	3.61	8.043	4.46	2.535	1.41	159.943	88.72	3.240	1.80
年平均 生物量	98.927	6.931	7.01	13.550	13.70	1.909	1.93	74.523	75.33	2.014	2.04

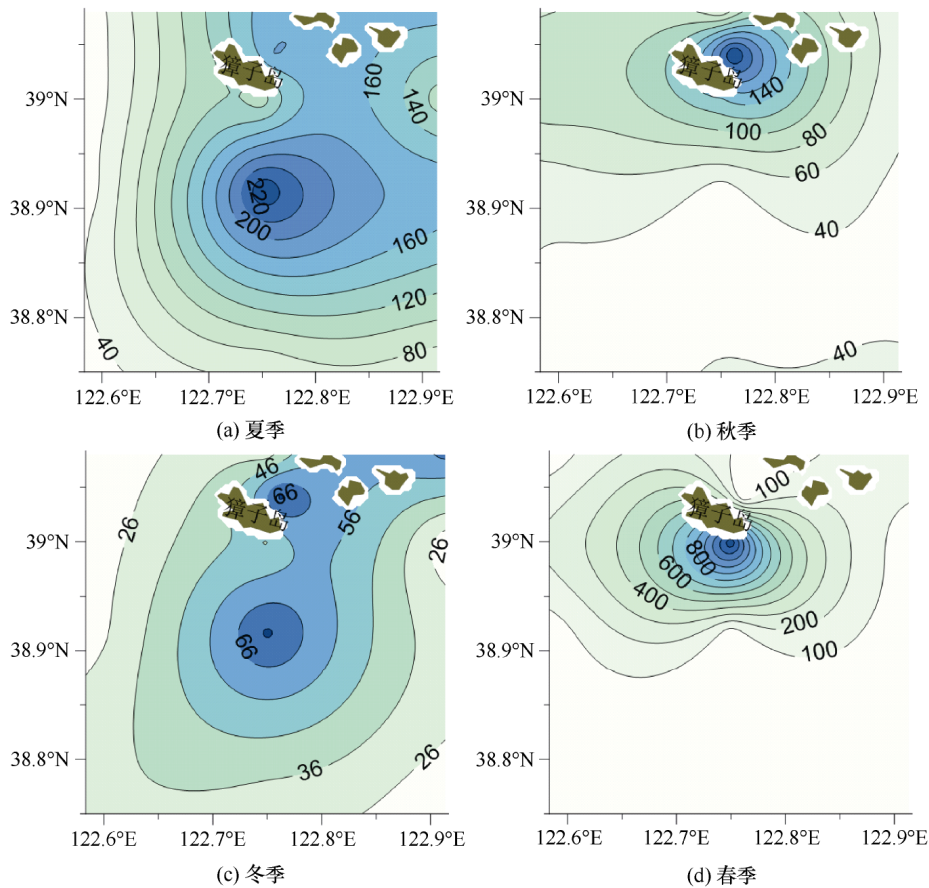


图 7 各季节生物量水平分布

Fig.7 The horizontal distributions of biomasses in different seasons

(AFDW)/(m²·a)。各站位中, 平均值最高的是 B3, 为 36.511g(AFDW)/(m²·a), 最低的是 A1 站, 为 7.951g(AFDW)/(m²·a)。次级生产力最高值出现在春季的 B3 站, 为 117.685g(AFDW)/(m²·a), 最低值是冬季的 B1 站, 为

4.032g(AFDW)/(m²·a)。

2.5.2 P/B 值的季节性变化

调查海域 P/B 值的平均值为 1.239, 其中冬季(1.314)>春季(1.278)>秋季(1.270)>夏季(1.095), 夏季 P/B 值相对较小, 其他 3 个季节

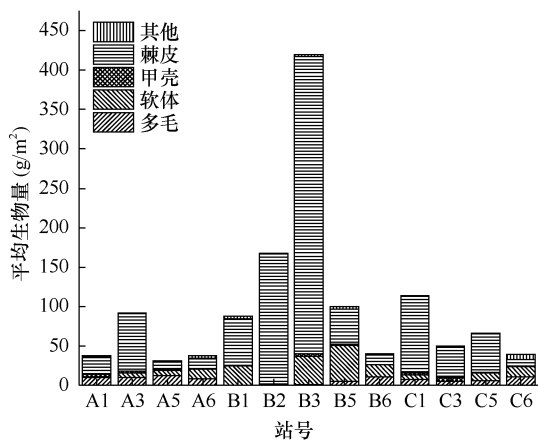


图 8 底栖生物各类群各站的生物量组成
Fig.8 Biomasses of macrobenthic groups in each station

相差不大。各站位年度 P/B 平均值中最高的是 B6 站, 为 1.687; 最低的是 B2 站, 为 0.555。 P/B 值最高的站位是春季的 B6 站, 为 1.996, 最低值的站位是秋季的 B3, 为 0.319(表 4)。

2.5.3 次级生产力的平面分布

各季度月次级生产力的平面分布如图 9(见文后彩图)所示。夏季次级生产力较高, 高值区主要位于调查海域的中东部, 低值区位于西部; 秋季大部分海域次级生产力较低, 相对高值区位于獐子岛东北部; 冬季次级生产力较低, 相对高值区在调查海域的中部; 春季次级生产力较高, 高值区位于獐子岛周边海域, 低值区位于调查区南部。

表 4 不同季节各站位的次级生产力和 P/B 值

Tab.4 The secondary productions of macrobenthos and the P/B values in different seasons in each station

站 位	夏季		秋季		冬季		春季		平均值	
	次级生产力 [g(AFDW)/ (m ² ·a)]	P/B	次级生产力 [g(AFDW)/ (m ² ·a)]	P/B	次级生产力 [g(AFDW)/ (m ² ·a)]	P/B	次级生产力 [g(AFDW)/ (m ² ·a)]	P/B	次级生产力 [g(AFDW)/ (m ² ·a)]	P/B
A1	5.077	1.167	15.790	1.122	4.609	1.390	6.328	1.206	7.951	1.221
A3	5.357	1.325	17.946	1.088	4.935	1.429	31.364	0.742	14.900	1.146
A5	6.907	1.427	11.437	1.440	5.715	1.573	9.214	1.519	8.318	1.490
A6	7.709	1.536	11.519	1.633	11.226	1.835	13.525	1.524	10.995	1.632
B1	16.508	0.548	9.023	0.958	4.032	0.781	15.617	0.858	11.295	0.786
B2	17.764	0.544	30.704	0.703	13.699	0.973			15.542	0.555
B3	14.697	0.751	7.904	0.319	5.756	0.708	117.685	0.472	36.511	0.562
B5	41.267	0.888	8.884	1.657	17.294	1.235	9.868	1.613	19.328	1.348
B6	16.949	1.581	11.703	1.563	8.327	1.609	11.316	1.996	12.074	1.687
C1	25.437	0.833	11.345	1.375	14.239	1.121	27.000	0.880	19.505	1.052
C3	17.994	0.922	10.569	1.437	4.927	1.476	7.483	1.294	10.243	1.282
C5	39.802	1.246	10.594	1.736	8.605	1.574	6.620	1.512	16.405	1.517
C6	15.910	1.466	11.408	1.485	4.345	1.379	11.233	1.716	10.724	1.512
平均值	17.798	1.095	12.987	1.270	8.285	1.314	22.271	1.278	15.335	1.239

3 讨论

3.1 獐子岛大型底栖动物的物种数和物种多样性指数

本文从北黄海獐子岛海域共鉴定出大型底栖动物 211 种, 比胶州湾海域 ~2009 年共

出现大型底栖动物 552 种少(王洪法等, 2011), 其原因除胶州湾调查时间跨度较长外, 与胶州湾的地理位置和自然环境也有关。2007 年春季, 在北黄海海域调查共获得大型底栖动物 332 种(曲方圆等, 2009), 2007 年冬季共获得 322 种(刘卫霞等, 2009), 而渤海中南部海

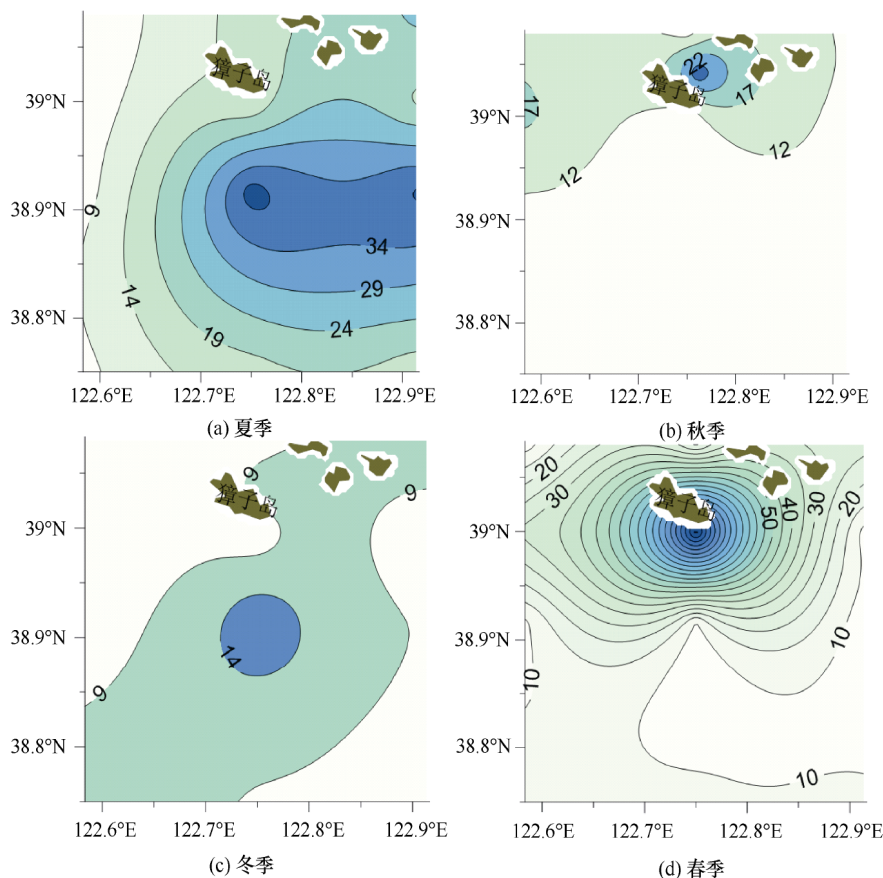


图9 各季节生物量水平分布

Fig.9 The horizontal distributions of secondary productions in different seasons

域1997~1999年调查共获得306种大型底栖动物(韩洁等, 2003)。本调查海域大型底栖动物种数相对于上述周边调查海域较少, 可能与本次调查海域范围较小、站位较少有关。夏、冬季种数明显少于春、秋季, 与大型底栖动物为适应不同季节的温度和海流变化而进行的迁徙和移动有关。与周边其他海域类似, 多毛类是物种数的主要贡献者。

调查海域的物种多样性指数与周边海域类似。冬季明显小于其他3个季节, 夏季、秋季和春季相差不大。

3.2 獐子岛大型底栖动物的密度和生物量

本海域调查大型底栖动物平均密度为699.42个/m², 平均生物量为98.927g/m²。周边调查海域的渤海中南部在1998年平均密度

为2508个/m², 平均生物量为50.39g/m²; 1999年平均密度为2490个/m², 平均生物量为40.93g/m²。北黄海2007年1月的平均密度为1883个/m², 平均生物量为38.866g/m²(刘卫霞等, 2009)。通过比较可以发现, 本调查海域的密度明显比相邻海域小, 而生物量则远超出上述其他海域, 说明本海域的生物个体较大, 可利用的价值较高。在生物量的组成中, 棘皮动物所占比例较高, 对高生物量起了重要作用。而在密度的调查结果中, 软体动物所占比例最高, 相较于相邻海域多毛类所占比例较大, 软体动物大个体较多, 也对生物量的增加起了重要作用。

3.3 獐子岛大型底栖动物的次级生产力

本文中调查海域的次级生产力平均值为

15.335g(AFDW)/(m²·a)。低于胶州湾 2005~2009 年的 26.63g(AFDW)/(m²·a)(王金宝等, 2011) 和 1998~1999 年的 18.65g(AFDW)/(m²·a), 而高于 2000~2004 年的 13.41g(AFDW)/(m²·a)(李新正等, 2005a)。胶州湾次级生产力较高, 可能因其受人工养殖影响明显。本调查海域也受到海洋牧场养殖活动的影响, 次级生产力较高。渤海 1998 年和 1999 年的次级生产力平均为 6.49g(AFDW)/(m²·a), 远低于本调查海域, 其中渤海海峡以东为 12.59g(AFDW)/(m²·a)(于子山等, 2001), 比本次调查略低。本次调查也远高于南黄海的 4.98g(AFDW)/(m²·a)(Li et al., 2005b)及东海的 1.62g(AFDW)/(m²·a)的调查结果(Li et al., 2005a)。

从次级生产力的总体分布状况看, 獐子岛周边及以南海域的次级生产力较高, 调查区的边缘区域则较低, 可能是由于獐子岛周边海域人工养殖的力度较大, 受此影响, 次级生产力高于周边区域。

P/B 值是生产力与去灰干重生物量的比值, 被认为是种群最大可生产量的指示值。该值指示了生物量的轮回次数, 其高低与生物的生命周期密切相关。高温水域, 生物个体小, 生命周期短, 则 P/B 值高。本调查海域 P/B 值平均为 1.239, 远高于渤海的 0.82(于子山等, 2001); 也比胶州湾大型底栖动物的 P/B 值(1.05)高, 低于东海(1.41), 并比整个南黄海的 1.10 略高, 与南黄海鲢鱼产卵场的 1.32 相似(李新正等, 2005b)。说明本海域的生物生命周期与南黄海鲢鱼产卵场相似, 受黄海冷水团的影响较明显, 部分海域夏季存在冷水团, 而冬季有可能受到黄海暖流的影响, 底层温度较高, 导致了 P/B 值的升高。

目前, 獐子岛周边可利用的海域面积约为 2000km², 按照次级生产力的平均值为 15.335g(AFDW)/(m²·a)计算, 该海域每年大型底栖动物次级生产力总值约为 3.067 万 t 干重。从胶州湾的实践经验来看, 受人类养殖活动

的影响, 该海域具有较大的生产增长空间。

致谢 本文的研究是在胶州湾海洋生态系统国家野外研究站的支持下完成的, 张光涛研究员和孙晓霞研究员对底栖生态野外考察工作进行了大力协助; 本研究组各成员参与或部分参与了本文研究的野外出海和实验室样品处理工作, 谨致谢忱。

参考文献

- 韩洁, 张志南, 于子山. 2003. 渤海中、南部大型底栖动物物种多样性的研究. 生物多样性, 11(1): 20-27
- 李新正, 王洪法, 张宝琳. 2005a. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. 海洋与湖沼, 36(6): 527-533
- 李新正, 张宝琳, 王洪法. 2005b. 南黄海鲢鱼产卵场大型底栖生物次级生产力研究(英文). 应用与环境生物学报, 11(3): 324-327
- 刘录三, 李新正. 2002. 东海春秋大型底栖动物分布现状. 生物多样性, 10(4): 351-358
- 刘录三, 李新正. 2003. 南黄海春秋大型底栖动物分布现状. 海洋与湖沼, 34(1): 26-32
- 刘瑞玉, 徐凤山. 1963. 黄东海底栖动物区系的特点. 海洋与湖沼, 5(4): 306-321
- 刘卫霞, 于子山, 曲方圆, 等. 2009. 北黄海冬季大型底栖动物种类组成和数量分布. 中国海洋大学学报, 39(S): 115-119
- 曲方圆, 于子山, 刘卫霞, 等. 2009. 北黄海春季大型底栖生物群落结构. 中国海洋大学学报, 39(S): 109-114
- 王洪法, 李新正, 王金宝. 2011. 2000~2009 年胶州湾大型底栖动物的种类组成及变化. 海洋与湖沼, 42(5): 738-752
- 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 2007. 黄海特定断面夏秋季大型底栖动物生态学特征. 生态学报, 27(10): 4349-4358
- 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 2011. 2005~2009 年胶州湾大型底栖动物生态学研究. 海洋与湖沼, 42(5): 728-737
- 王全超, 韩庆喜, 李宝泉. 2013. 辽宁獐子岛马牙滩潮间带及近岸海区大型底栖动物群落特征. 生物多样性, 21(1): 11-18
- 于子山, 张志南, 韩洁. 2001. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究. 青岛海洋大学学报, 31(6): 867-871
- Brey T. 1990. Estimating productivity of macrobenthic invertebrates from biomass and mean individual

- weight. Meeresforschung, 32(4): 329-343
- Li X Z, Wang J B, Wang H F, et al. 2005a. Secondary production of macrobenthos from the East China Sea. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 11(4): 458-461
- Li X Z, Yu Z S, Wang J B, et al. 2005b. Secondary production of macrobenthos in Southern Yellow Sea. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 11(6): 702-705
- Shannon C E, Wiener W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press

The Quantitative Distribution of Macrobenthos and Seasonal Variation of Zhangzidao Island Waters in the Northern Yellow Sea

WANG Jin-Bao, LI Xin-Zheng*, WANG Hong-Fa

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

*Corresponding author, E-mail: lixzh@qdio.ac.cn

Abstract Based on the macrobenthic samples collected by four seasonal cruises from August 2009 to June 2010 from 13 stations in northern Yellow Sea around Zhangzidao Island, the species number, abundance, biomass, biodiversity, and secondary production of macrobenthos from the research area were studied. The results show that 211 species were found, the mean abundance was 699.415 ind./m^2 , the mean biomass was 98.927 g/m^2 ; the species numbers in different seasons were: spring (121)> autumn (118)> winter (89)> summer (87), the mean abundances in different seasons were spring (794.58 ind./m^2)> autumn (766.92 ind./m^2)> summer (674.62 ind./m^2)> winter (561.54 ind./m^2), the mean biomasses in different seasons were spring (180.271 g/m^2)> summer (107.121 g/m^2)> autumn (70.824 g/m^2)> winter (37.493 g/m^2); the indices of macrobenthic biodiversity were not much different in spring, summer and autumn, those in winter was the lowest; the mean Shannon-Wiener index was 2.976, the mean species richness index was 4.135 and the mean evenness index was 0.707; the seasonal variations of biomass and species number were obvious, they were higher in spring than in winter; the mean secondary production of macrobenthos was $15.335 \text{ g (AFDW)/(m}^2 \cdot \text{a)}$, and the mean P/B value was 1.239.

Key words Zhangzidao Island; macrobenthos; density; biomass; secondary production