

青岛董家口港邻近海域春秋季节浮游动物群落结构特征

张亮^{1,2}, 陶卉卉^{1,2}, 纪莹璐^{1,2}, 宿凯^{1,2}, 王尽文^{1,2}, 蒲思潮^{1,2}

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266061;

2. 国家海洋局北海预报中心, 山东 青岛 266061)

摘要:以2020年11月(秋季)和2021年3月(春季)在青岛董家口港邻近海域进行的浮游动物调查数据为基础,分析了该海域浮游动物的群落结构特征。研究海域春、秋两季总共发现浮游动物33种成体,11类浮游幼虫,其中春季调查发现18种成体,5类浮游幼虫,秋季发现24种成体,9类浮游幼虫;春、秋两季调查浮游动物平均个体密度分别为129.4、69.4 ind/m³;平均生物量(湿重)为1 166.5、23.8 mg/m³;平均种类多样性指数(H')为1.38、2.61;丰度(d)为0.95、1.77;均匀度(J)为0.90、0.67;春季调查优势种为八斑芮氏水母(*Rathkea octopunctata*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、腹针胸刺水蚤(*Centropages abdominalis*)、强壮滨箭虫(*Aidanosagitta crassa*),秋季调查优势种为五角水母(*Muggiaea atlantica*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、拟长腹剑水蚤(*Oithona similis*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)、多毛类幼体、蛇尾纲长腕幼虫;聚类分析表明调查海域浮游动物可划分为两个组。

关键词:海洋生物学;浮游动物;群落结构;多样性;优势种;青岛董家口港

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2023.01.003

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2023)01-0016-12

浮游动物是海洋生态系统中的次级生产力,作为海洋系统中生物多样性最重要的组成部分之一^[1],浮游动物的种类组成结构比例和各种群的动态变化情况对其所在海洋生态系统均具有特别重要的影响^[2],主要体现在浮游动物的种类组成和数量能够及时反映其所在环境的变化,通常可以作为环境监测的指示种类,在海洋生态环境保护中具有重要意义,研究浮游动物群落结构可以有效地反映海洋环境质量和生态特征。

董家口港区是国家重要的能源储运中心、大宗散货集散中心,该港区为青岛港重要的组成港区之一,作为青岛市“环湾保护和拥湾发展”的战略实施核心,是实现青岛港可持续性发展以及优化港口布局的重要依托,港区发展过程中必然会进行众多海洋工程的建设。而在港区进行海洋工程建设虽然能够带来巨大经济效益,但同时也对港区附近海域的海洋生态环境以及海洋生物等造成了一定的负面影

响^[3-5],且近海海洋水体环境特别容易受到人为扰动,从而引起海洋生物的群落变化,进而影响到整个海洋生态系统的结构与功能^[6]。

目前,关于青岛邻近海域浮游动物的研究多集中于胶州湾^[7]、崂山湾^[8],针对整个青岛近岸海域浮游动物的研究也有报道^[6],但未见关于青岛董家口港邻近海域浮游动物的研究报道。有学者曾利用2006年7月的调查资料研究了青岛近海浮游动物的种类组成、群落结构及多样性,其中仅有3个站位靠近董家口港海域,且距离较远,不足以反映港区邻近海域浮游动物群落特征^[9]。为了解董家口港区邻近海域的浮游动物群落结构及特征,本研究利用2020年11月(秋季)、2021年3月(春季)在该海域的调查数据,分析了董家口港区邻近海域浮游动物群落结构及两季变化情况,可以为进一步对该海域浮游动物资源群落结构研究提供重要的本底基础数据,并为海洋生物资源的合理开发和科学利用及海

收稿日期:2021-12-01

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC1404000)

作者简介:张亮(1982—),男,硕士,高级工程师;E-mail: 36302162@qq.com

洋生态评价等研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

本研究于 2020 年 11 月(秋季)和 2021 年 3 月(春季)分别在董家口港邻近海域进行浮游动物样品采集,研究海域共布设了采样站位 12 个(图 1)。浮游动物样品采集时利用浅水 I 型浮游生物网(网口面积为 0.20 m²,网衣采用 CQ14 筛绢制成)采用

垂直拖网法采集,采样时利用绞车将网具放至距离海底 2 m 处位置,垂直拖网至海表获得样品,并自上而下冲洗网衣,将样品收集至网底管中。样品采集后立即加入甲醛海水溶液(体积分数为 5%)固定,样品带回实验室进行种类鉴定,其方法参照《海洋监测规范》^[10],在体视显微镜下进行种类鉴定和个体计数,每个样品尽量鉴定到种,并进行湿重生物量的测定。

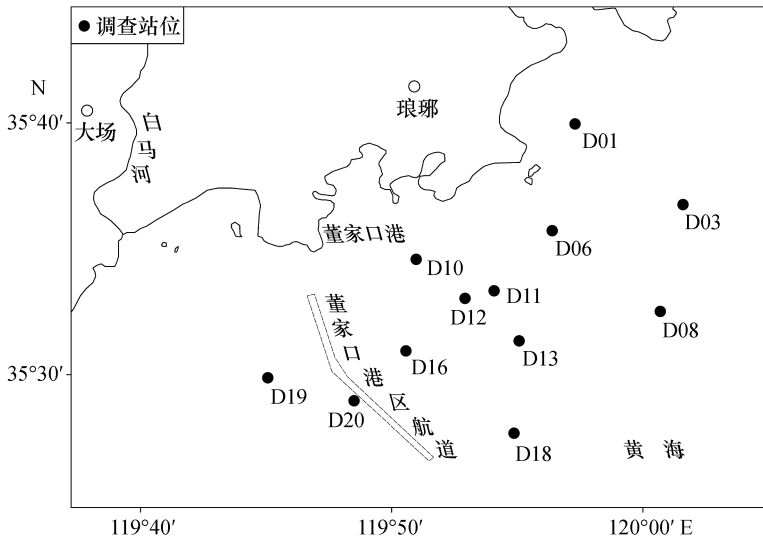


图 1 青岛董家口港邻近海域调查采样站位

Fig. 1 Location of sampling stations in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

图中各站位分别在 2020 年 11 月(秋季)和 2021 年 3 月(春季)各进行 1 次采样。

1.2 数据处理与分析

1.2.1 个体密度、生物量和优势度 浮游动物的个体密度^[11]、湿重生物量^[11]和优势度^[12]的计算公式如下:

$$C_B = \frac{N_B}{V} \tag{1}$$

$$P_B = \frac{m_B}{V} \tag{2}$$

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i \tag{3}$$

式(1)至(3)中: C_B 为单位体积海水中浮游动物的个体密度(ind/m³), N_B 为全网个数(ind), V 为滤水量(m³), P_B 是单位体积内海水中浮游动物湿重(mg/m³), m_B 是样品湿重(mg), Y 是某一种浮游动物的优势度, n_i 为第*i*种浮游动物个体数量(ind), N 为浮游动物总个体数量(ind), f_i 为第*i*种浮游动物在所有的调查站位中的出现频率。优势种的判定依据为当 $Y \geq 0.02$ 时,判定该种浮游动物为优势

种^[12]。

1.2.2 浮游动物的物种多样性 对调查海域浮游动物进行群落多样性分析,其计算公式^[10]如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \tag{4}$$

$$d = \frac{S - 1}{\log_2 N} \tag{5}$$

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} \tag{6}$$

式(4)至(6)中: H' 为种类多样性指数, d 为丰度, J 为均匀度, S 为样品中的种类总数, P_i 为第*i*种的个体数(n_i)与总个体数(N)的比值(n_i/N), $H_{\max}$ 为 $\log_2 S$ 。

1.2.3 浮游动物生物量、个体密度和多样性分布特征 为了了解调查海域浮游动物各指数的平面分布情况,利用 ArcMap 10.4.1 软件对获得的浮游动物生物量、个体密度以及多样性数据分别进行平面分布图的绘制。

1.2.4 群落聚类划分 为了了解调查海域浮游动物的群落聚类情况,采用 PRIMER 6.0 软件中的 Cluster 分析模块进行浮游动物群落的聚类情况分析,并进行 MDS 标序分析。为了减少机会种类对整个群落结构的干扰,在进行群落结构分析时,首先把样品中相对个体密度小于 1% 的种去除,但在任一站位中其相对个体密度大于 3% 的种进行保留。对原始个体密度数据进行 4 次方根的转化以及标准化后,利用 Bray-Curtis 相似性系数作为基础,进行相似性矩阵构建,然后利用等级聚类分析把样品逐级相连成组,通过树状图来展示群落结构^[13]。非度量 MDS 标序是按样品之间的非相似性等级的顺序把样品排放于标序图中,利用压力系数(Stress)的范围来判断分析结果的可用性,其范围如下:当 Stress ≤ 0.01 时,结果完全可信;当 0.01 < Stress ≤ 0.05 时,结果可信;当 0.05 < Stress ≤ 0.10 时,结果基本可信;当 0.10 < Stress ≤ 0.20 时,结果有参考价值,但某些细节不可信^[14]。

1.2.5 多样性指数评价 本研究根据陈清潮等(1994)建议的多样性指数阈值($D_v = H' \times J$)将多样

性等级划分为 5 级,当 $D_v < 0.6$ 时,为 I 级(多样性差);当 $0.6 \leq D_v \leq 1.5$ 时,为 II 级(多样性一般);当 $1.6 \leq D_v \leq 2.5$ 时,为 III 级(多样性较好);当 $2.6 \leq D_v \leq 3.5$ 时,为 IV 级(多样性丰富);当 $D_v > 3.5$ 时,为 V 级(多样性非常丰富)^[15]。

2 结果与讨论

2.1 种类组成

从表 1 可以看出,本研究调查海域春、秋两季总共获取浮游动物 33 种成体,其中腔肠动物(13 种)占总种数的 39%;节肢动物(14 种)占总种数的 42%;栉水母和尾索动物(各 2 种)分别占总种数的 6%;毛颚动物和棘皮动物(各 1 种)分别占总种数的 3%;另外,还发现 11 类浮游幼虫,有 9 种浮游动物成体和 3 类浮游幼虫在春、秋两季调查中均出现。从表 2 可以看出,秋季调查发现的浮游动物种类数量(24 种成体、9 类浮游幼虫)多于春季(18 种成体、5 类浮游幼虫);春、秋两季调查结果均表明,在种类组成上,节肢动物、腔肠动物、浮游幼虫类占优势。

表 1 青岛董家口港邻近海域浮游动物种类名录表

Tab.1 List of zooplankton species in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

序号	浮游动物	类群	春季	秋季
1	八斑芮氏水母(<i>Rathkea octopunctata</i>)	腔肠动物	+	+
2	半球美螳水母(<i>Clytia hemisphaerica</i>)	腔肠动物	+	+
3	黑球真唇水母(<i>Eucheilota menoni</i>)	腔肠动物	+	+
4	太阳水母(<i>Solmaris leucostyla</i>)	腔肠动物		+
5	球腺双手水母(<i>Amphinema globogonia</i>)	腔肠动物		+
6	日本棍螳水母(<i>Coryne nipponica</i>)	腔肠动物	+	
7	嵯山秀氏水母(<i>Sugiura chengshanense</i>)	腔肠动物	+	+
8	五角水母(<i>Muggiaea atlantica</i>)	腔肠动物		+
9	双生水母(<i>Diphyes chamonis</i>)	腔肠动物		+
10	四枝管水母(<i>Proboscidadactyla flavicirrata</i>)	腔肠动物	+	
11	数枝螳水母(<i>Obelia</i> spp.)	腔肠动物		+
12	真囊水母(<i>Euphysora</i> sp.)	腔肠动物		+
13	小介螳水母(<i>Hydractinia minima</i>)	腔肠动物	+	
14	球型侧腕水母(<i>Pleurobrachia globosa</i>)	栉水母		+
15	瓜水母(<i>Beroë cucumis</i>)	栉水母		+
16	中华哲水蚤(<i>Calanus sinicus</i>)	节肢动物	+	
17	背针胸刺水蚤(<i>Centropages dorsispinatus</i>)	节肢动物		+
18	小拟哲水蚤(<i>Paracalanus parvus</i>)	节肢动物	+	+
19	腹针胸刺水蚤(<i>Centropages abdominalis</i>)	节肢动物	+	

续表

序号	浮游动物	类群	春季	秋季
20	左突唇角水蚤 (<i>Labidocera sinilobata</i>)	节肢动物	+	
21	双毛纺锤水蚤 (<i>Acartia bifilosa</i>)	节肢动物		+
22	太平洋纺锤水蚤 (<i>Acartia pacifica</i>)	节肢动物		+
23	拟长腹剑水蚤 (<i>Oithona similis</i>)	节肢动物	+	+
24	洪氏纺锤水蚤 (<i>Acartia hongii</i>)	节肢动物	+	
25	近缘大眼剑水蚤 (<i>Corycaeus affinis</i>)	节肢动物	+	+
26	剑水蚤目 1 种	节肢动物		+
27	猛水蚤目 1 种	节肢动物		+
28	钩虾亚目 1 种	节肢动物	+	
29	细足法城 (<i>Themisto gracilipes</i>)	节肢动物	+	
30	强壮滨箭虫 (<i>Aidanosagitta crassa</i>)	毛颚动物	+	+
31	软拟海樽 (<i>Doliolleta gegenbauri</i>)	尾索动物		+
32	异体住囊虫 (<i>Oikopleura dioica</i>)	尾索动物	+	+
33	真蛇尾目 1 种	棘皮动物		+
34	多毛类幼体	浮游幼虫	+	+
35	腹足类幼体	浮游幼虫		+
36	蛇尾纲长腕幼虫	浮游幼虫		+
37	海星羽腕幼虫	浮游幼虫	+	
38	蔓足类无节幼虫	浮游幼虫		+
39	桡足类无节幼虫	浮游幼虫	+	+
40	双壳类幼虫	浮游幼虫	+	+
41	长尾类幼虫	浮游幼虫		+
42	帚虫类幼虫	浮游幼虫		+
43	鱼卵	浮游幼虫	+	
44	仔鱼	浮游幼虫		+

注:“+”表示出现;空白表示未出现。

表 2 浮游动物种类组成

Tab. 2 Taxa composition of zooplankton

类群	春季		秋季	
	种类数	占比/%	种类数	占比/%
节肢动物	9	39	8	24
腔肠动物	7	31	10	31
栉水母	0	0	2	6
棘皮动物	0	0	1	3
毛颚动物	1	4	1	3
尾索动物	1	4	2	6
浮游幼虫	5	22	9	27
合计	23	100	33	100

2.2 优势种

从表 3 可以看出,春、秋两季调查共出现浮游动物优势种 10 种成体,2 类幼体,其中包括 5 种节肢动物,3 种腔肠动物、1 种毛颚类动物和 1 种尾索动物,从优势种种类组成方面看,节肢动物占据优势。春季调查航次共出现 4 种优势种,秋季调查时优势种共有 8 种,本研究发现春、秋两季调查所出现的浮游动物优势种完全不一致,未发现春、秋两季共同优势种。春季调查第一优势种八斑芮氏水母 (*Rathkea octopunctata*) 出现频率为 100%,*Y* 为 0.60;腹针胸刺水蚤 (*Centropages abdominalis*) 出现频率为 100%,*Y* 为 0.30,为春季调查第二优势种;秋季调查的第一优

势种小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*) 出现频率为 100%,*Y* 为 0.12。
100%,*Y* 为 0.13;第二优势种拟长腹剑水蚤 (*Oithona*

表 3 浮游动物优势种及优势度
Tab. 3 Dominant species and the dominances of zooplankton

浮游动物	春季		秋季	
	出现频率/%	<i>Y</i>	出现频率/%	<i>Y</i>
八斑芮氏水母 (<i>Rathkea octopunctata</i>)	100	0.60	0	0.00
五角水母 (<i>Muggiaea atlantica</i>)	0	0.00	100	0.04
双生水母 (<i>Diphyes chamissonis</i>)	0	0.00	100	0.10
中华哲水蚤 (<i>Calanus sinicus</i>)	100	0.04	0	0.00
腹针胸刺水蚤 (<i>Centropages abdominali</i>)	100	0.30	0	0.00
拟长腹剑水蚤 (<i>Oithona similis</i>)	0	0.00	100	0.12
小拟哲水蚤 (<i>Paracalanus parvus</i>)	0	0.00	100	0.13
近缘大眼剑水蚤 (<i>Corycaeus affinis</i>)	0	0.00	100	0.02
强壮滨箭虫 (<i>Aidanosagitta crassa</i>)	100	0.03	0	0.00
异体住囊虫 (<i>Oikopleura dioica</i>)	0	0.00	100	0.04
多毛类幼体	0	0.00	83	0.03
蛇尾纲长腕幼虫	0	0.00	100	0.45

2.3 数量分布

春季调查海域浮游动物生物量平均为 1 166.5 mg/m³, 范围在 106.6~6 678.5 mg/m³之间, 位于调查海域东部的 D08 号站生物量最低, 在调查海域南部的 D19 号站生物量最高(图 2)。秋季调查海域浮游动物生物量平均为 23.8 mg/m³, 范围在 8.9~40.1

mg/m³之间, 在调查海域西南部的 D20 号站生物量最低, 本次调查的最高生物量出现在调查海域中部 D12 号站(图 2)。从平面分布情况来看, 春季浮游动物生物量总体呈现近岸高、外海低的分布趋势; 与春季分布情况不同, 秋季浮游动物生物量总体呈调查海域中部和东北部高、西南部低的趋势。

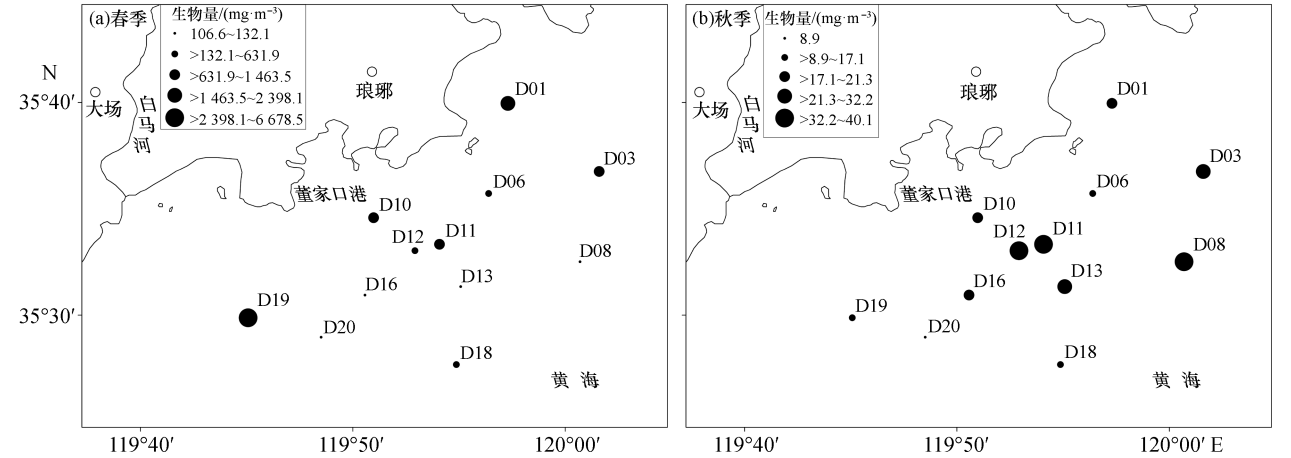


图 2 青岛董家口港邻近海域浮游动物生物量平面分布
Fig. 2 Horizontal distribution of zooplankton biomass in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

春季调查海域浮游动物个体密度平均为 129.4 ind/m³,范围在 56.9~328.7 ind/m³之间,最低个体密度出现在调查海域中部的 D13 号站,最高个体密度出现在调查海域西南部 D19 号站(图 3)。秋季调查海域浮游动物个体密度,平均为 69.4 ind/m³,范围在 28.1~134.1 ind/m³之间,最低个体密度出现在

调查海域西南部 D19 号站,最高个体密度出现在调查海域中部 D12 号站(图 3)。春季调查海域浮游动物的个体密度平面分布趋势与生物量分布趋势基本一致,呈近岸高、外海低的趋势;秋季调查浮游动物个体密度总体呈调查海域中部高、周边低的趋势。

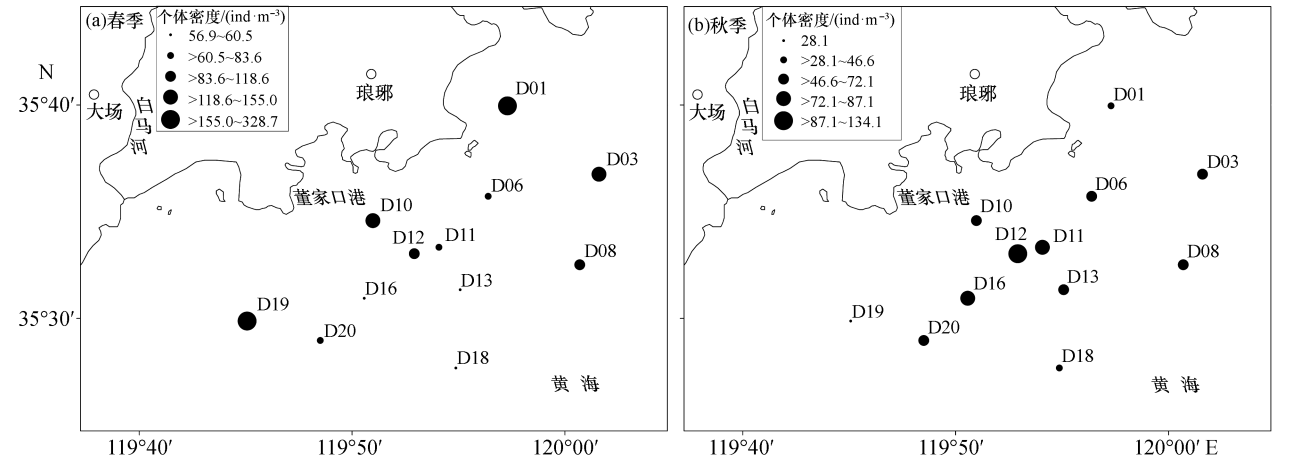


图 3 青岛董家口港邻近海域浮游动物个体密度平面分布
Fig. 3 Horizontal distribution of zooplankton density in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

2.4 多样性指数

本研究春季调查获得的浮游动物 H' 平均值为 1.38,范围在 0.88~1.96 之间;秋季平均值为 2.61,范围在 2.29~3.24 之间,平面分布情况见图 4。春季浮游动物 J 平均值为 0.90,范围在 0.79~0.96 之间;秋季平均值为 0.67,范围在 0.59~0.81 之间,平面分

布情况见图 5。春季调查浮游动物 d 在 0.50~1.45 之间,平均值为 0.95;秋季在 1.54~2.14 之间,平均值为 1.77,平面分布情况见图 6。在水平分布上,春季研究区南部海域的 H' 高于北部,秋季 H' 和 J 均为研究海域中北部低于周边;春季 d 北部海域高于南部,秋季中东部海域高,其余海域低。

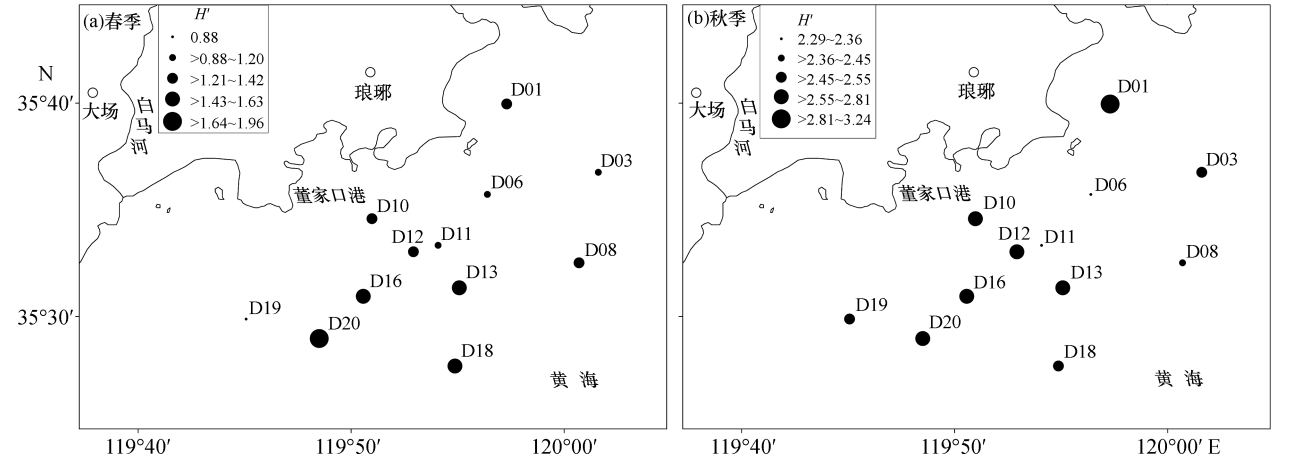


图 4 青岛董家口港邻近海域浮游动物种类多样性指数 (H') 平面分布
Fig. 4 Horizontal distribution of Shannon index (H') in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

青岛董家口港邻近海域各浮游动物的多样性指数评价结果见表 4,从平均值看,研究海域春季

调查浮游动物多样性一般;秋季浮游动物多样性较好。

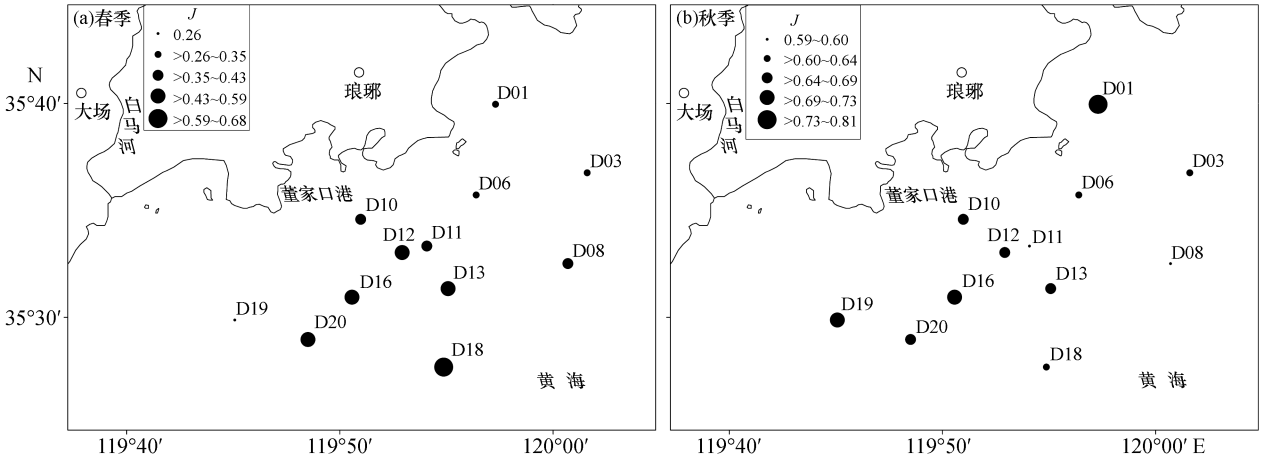


图 5 青岛董家口港邻近海域浮游动物均匀度 (J) 平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of Pielou's evenness index (J) in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

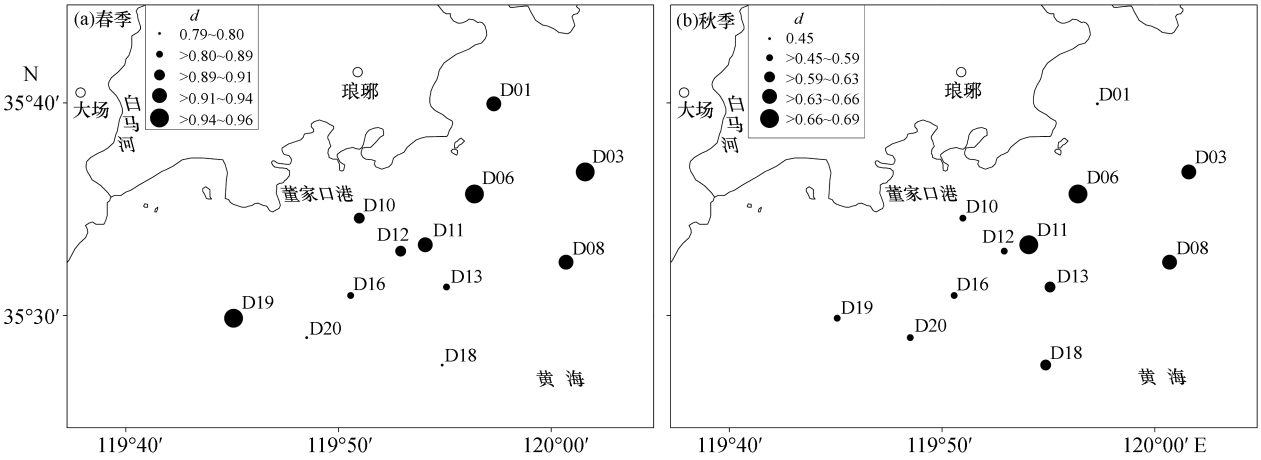


图 6 青岛董家口港邻近海域浮游动物丰度 (d) 平面分布

Fig. 6 Horizontal distribution of Margalef's species richness (d) in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

表 4 青岛董家口港邻近海域浮游动物多样性指数

Tab. 4 Diversity index of zooplankton in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao

站 位	春季				秋季			
	H'	J	D_v	等级描述	H'	J	D_v	等级描述
D01	1.37	0.35	0.5	多样性差	3.24	0.81	2.6	多样性丰富
D03	1.19	0.34	0.4	多样性差	2.50	0.63	1.6	多样性较好
D06	1.09	0.32	0.3	多样性差	2.36	0.62	1.5	多样性一般
D08	1.42	0.43	0.6	多样性一般	2.45	0.60	1.5	多样性一般
D10	1.37	0.39	0.5	多样性差	2.68	0.67	1.8	多样性较好
D11	1.20	0.40	0.5	多样性差	2.29	0.59	1.3	多样性一般
D12	1.36	0.52	0.7	多样性一般	2.68	0.67	1.8	多样性较好
D13	1.50	0.50	0.8	多样性一般	2.63	0.66	1.7	多样性较好
D16	1.63	0.54	0.9	多样性一般	2.81	0.70	2.0	多样性较好
D18	1.57	0.68	1.1	多样性一般	2.55	0.64	1.6	多样性较好

续表

站位	春季				秋季			
	H'	J	D_v	等级描述	H'	J	D_v	等级描述
D19	0.88	0.26	0.2	多样性差	2.52	0.73	1.8	多样性较好
D20	1.96	0.59	1.2	多样性一般	2.64	0.69	1.8	多样性较好
平均	1.38	0.44	0.6	多样性一般	2.61	0.67	1.8	多样性较好

2.5 组群划分

对春、秋两季各调查站位采集的浮游动物进行聚类以及 MDS 标序分析,结果如图 7 和图 8 所示。春季研究海域的 12 个调查站位浮游动物在 60%的相似度上可划分为两个组,组I包含 D19 站位,组II包含其余的调查站位,MDS 图中压力系数为 0.05。秋季调查海域 12 个调查站位的浮游动物在 63%的相似度上可

划分为两个组,组I包含 D19 和 D01 站位,组II包含其余的调查站位,MDS 图中压力系数为 0.06。春、秋两季浮游动物 MDS 结果的压力系数均小于 0.10,表明其分组结果可信。根据聚类分析结果可知,春、秋两季调查划分的两个组所包含的站位基本一致,说明浮游动物群落组成随季节变化的分布特征具有较好的稳定性和重现性。

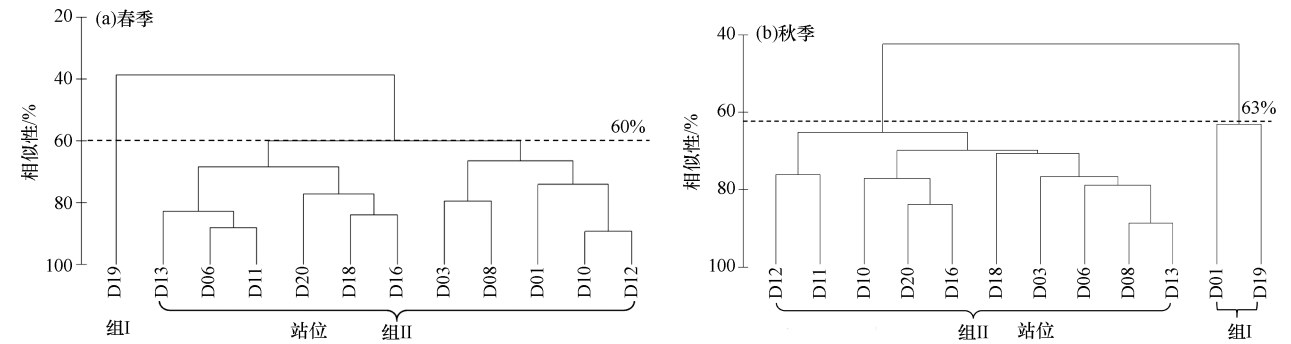


图 7 浮游动物群落种类组成聚类结果

Fig. 7 Cluster analysis result of zooplankton community

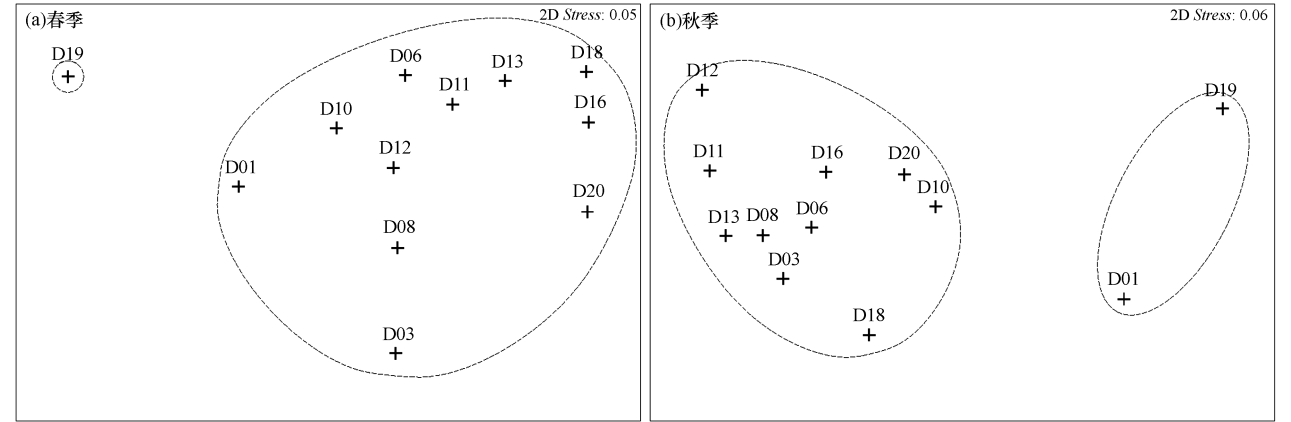


图 8 浮游动物群落种类组成 MDS 标序分析结果

Fig. 8 MDS analysis result of zooplankton community

(a) 中相似性为 60%, (b) 中相似性为 63%。

2.5 讨论

2.5.1 浮游动物种类组成及优势种分析 春、秋两季调查共获得 33 种浮游动物成体,其中春季 18 种,

秋季 24 种;另外发现 11 类浮游幼虫,其中春季 5 类,秋季 9 类。王宁等(2021)2016 年 4 月(春季)在青岛近海海域调查发现 21 种浮游动物成体,7 类幼

虫,在种类组成方面,占据优势的是节肢动物,其次为浮游幼虫类,再次为腔肠动物;2016 年 9 月(秋季)调查发现 18 种浮游动物成体和 12 类幼虫,浮游幼虫类占据优势,节肢动物次之,最后是腔肠动物与毛颚动物;秋季调查发现浮游动物种类数(30 种/类)多于春季(28 种/类)^[6]。本研究结果与王宁等^[6]研究结论中秋季浮游动物种类数多于春季的结果一致,同时与以往研究者获得的结论(黄海浮游动物的种类数量在夏、秋季多于冬、春季^[16])一致,说明青岛近海海域浮游动物种类数未见明显变化。本研究发现调查海域浮游动物在种类组成上占优势的为节肢动物、浮游幼虫类和腔肠动物,该调查结果与以往研究结果^[6]基本一致,表明调查海域的浮游动物在种类结构组成方面较为稳定。

本研究春、秋两季浮游动物调查结果显示青岛董家口港邻近海域浮游动物优势种有八斑芮氏水母(*Muggiaea atlantica*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、腹针胸刺水蚤、小拟哲水蚤、拟长腹剑水蚤、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)、强壮滨箭虫(*Aidanosagitta crassa*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、多毛类幼体、蛇尾纲长腕幼虫。王宁等 2016 年 4 月(春季)和 9 月(秋季)调查发现青岛近海浮游动物优势种有小拟哲水蚤、中华哲水蚤、近缘大眼剑水蚤、拟长腹剑水蚤、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)、腹针胸刺水蚤、强壮滨箭虫、桡足类无节幼虫^[6]。王晓等(2009)2006 年 7 月在青岛近海浮游动物调查中发现优势种有中华哲水蚤、强壮滨箭虫、拟长脚蚧(*Themisto gracilipes*)、长尾类幼虫、短尾类幼虫^[9]。本研究结果与上述调查结果^[6,9]相比较,优势种中的节肢动物和毛颚动物基本一致,强壮滨箭虫是我国黄海、渤海以及近岸海域的常年优势种类^[17],中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤(即腹针胸刺水蚤)是南黄海浮游动物优势种^[18],但有 3 种肠腔动物成为优势种。有研究结果发现,从全球来看,近年来在部分海域调查发现的水母类在浮游动物的种类组成中所占比例呈逐年上升的趋势,种类数甚至超过了桡足类^[19]。全球气候变化、富营养化、生物入侵等均可能是导致近年来水母数量增加的原因^[20]。

2.5.2 季节变化分析 浮游动物在不同的季节和不同水环境等因素的综合作用下,其个体密度、生物量也存在一定的季节变化情况,本研究发现浮游动物个体密度和生物量春季均明显高于秋季。在青岛近海浮游动物群落特征及季节变化研究中显示,浮游动物个体密度值为 6 月 > 4 月 > 1 月 > 9 月 > 12

月^[6];前人的研究显示,2012 年春季和秋季黄海浮游动物个体密度分别为 8 111.4 ind/m³ 和 4 331.0 ind/m³^[21];2014 年南黄海浮游动物平均生物量春季为 1 555.1 mg/m³,秋季为 425.8 mg/m³,春季平均个体密度为 9 551.4 ind/m³,秋季为 2 103.7 ind/m³^[2]。本研究结果与上述研究结果^[2,6,21]相一致。浮游动物的生长繁殖和水温、浮游植物等影响因素密切相关,春季调查的浮游动物生物量和个体密度均高于秋季的结果,分析其原因主要与春季海水的表层水温升高,光照度以及浮游生物所需的各种营养物质相对比较丰富,浮游植物开始大量繁殖,因此以浮游植物为食的浮游动物在适宜的水温和有充足的饵料条件下也开始大量繁殖^[22],其生物量和个体密度一般在 5 月便可以达到最高值。本研究结果和以往黄海海域研究结果^[2,6,21]都表明,研究海域浮游动物生物量及个体密度在季节变化规律方面均未发生明显的改变。

2.5.3 多样性指数分析 春季 D19、D06 站 H' 很低,多样性描述为多样性差,但这两个站位个体密度以及生物量却比较高,究其原因这是两个调查站位均出现了个体密度较大的八斑芮氏水母,并且其优势度非常高。有研究发现,如果在某一生物群落中出现优势度非常高的单一或某几个物种的时候,该生物群落的多样性便会随之降低^[23],某些站位浮游动物的多样性指数过低的直接原因是出现过于显著的优势种^[24]。

春季调查 D16、D18、D20 站 d 较低,原因可能是这些站位邻近董家口港航道区,受航行船舶扰动的影响,导致这几个站位 d 偏低,在航道通航的船舶会对附近的浮游动物造成一定的影响,主要是船舶含油污水的排放将造成附近海域海水中石油类增加。有研究表明石油类对中华哲水蚤的趋光性造成干扰,随着测试时间延长,水蚤的死亡率随着测试时间的延长和测试液浓度的增加而增加^[25],因此可能是航道通航的船舶较多造成的。

3 结论

(1)2020 年 11 月(秋季)和 2021 年 3 月(春季)共发现浮游动物 33 种成体(春季 18 种、秋季 24 种),分别属于节肢动物、毛颚动物、栉水母、腔肠动物、尾索动物和棘皮动物;发现 11 类浮游幼虫(春季 5 类、秋季 9 类)。研究海域浮游动物的种类数量未发生显著变化,在种类结构组成上较稳定。

(2)春、秋两季浮游动物的优势种类存在明显差异,春季调查优势种为八斑芮氏水母、腹针胸刺水

蚤、中华哲水蚤、强壮滨箭虫,秋季调查优势种为五角水母、双生水母、小拟哲水蚤、拟长腹剑水蚤、近缘大眼剑水蚤、异体住囊虫、多毛类幼体、蛇尾纲长腕幼虫。与以往相关调查结果相比,节肢动物和毛颚动物优势种基本一致,但肠腔动物成为新的优势种,原因可能与全球气候变化、富营养化以及生物入侵等有一定的关系。

(3)浮游动物平均生物量和个体密度春季均高于秋季,研究海域浮游动物季节变化情况未见明显变化。

(4)春季浮游动物平均 J 高于秋季, H' 和 d 低于秋季,秋季种类最多,组成最复杂,春、秋两季调查种类组成存在差异,调查站位之间分布不均匀。

参考文献:

- [1] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.
SHEN G Y, SHI B Z. Marine ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [2] 陈学超,朱丽岩,黄瑛,等. 南黄海浮游动物群落结构研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(10): 41-49.
CHEN X C, ZHU L Y, HUANG Y, et al. Community structure of the zooplankton in the Southern Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2017, 41(10): 41-49.
- [3] 何荣,石海明,屠建波,等. 海洋工程对天津近岸海域环境的影响研究[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(5): 63-66.
HE R, SHI H M, TU J B, et al. The influence of ocean engineering in the coastal area of Tianjin[J]. Ocean Development and Management, 2019, 36(5): 63-66.
- [4] 张秋丰,靳玉丹,李希彬,等. 围填海工程对近岸海域海洋环境影响的研究进展[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(4): 454-461.
ZHANG Q F, JIN Y D, LI X B, et al. Progress in the impact of reclamation projects on offshore marine environment[J]. Advances in Marine Science, 2017, 35(4): 454-461.
- [5] 陈华,徐兆礼. 杭州湾洋山工程群对邻近水域浮游动物数量分布的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1 319-1 326.
CHEN H, XU Z L. Effects of Yangshan Project in Hangzhou Bay on distribution of zooplankton biomass in the adjacent waters[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1 319-1 326.
- [6] 王宁,庄昀筠,刘光兴,等. 青岛近海浮游动物的群落特征研究[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(2): 190-199.
WANG N, ZHUANG Y Y, LIU G X, et al. Zooplankton community structures of Qingdao coastal water[J]. Marine Environmental Science, 2021, 40(2): 190-199.
- [7] 孙松,李超伦,张光涛,等. 胶州湾浮游动物群落长期变化[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 625-631.
SUN S, LI C L, ZHANG G T, et al. Long-term changes in the zooplankton community in the Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(5): 625-631.
- [8] 时永强,左涛,袁伟,等. 夏季崂山湾浮游动物群落结构及空间分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(5): 990-997.
SHI Y Q, ZUO T, YUAN W, et al. Community structure and spatial distribution of zooplankton in Laoshan Bay in summer[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2017, 48(5): 990-997.
- [9] 王晓,王宗灵,刘萍,等. 夏季青岛近海浮游动物种类组成、群落结构及多样性[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(3): 376-383.
WANG X, WANG Z L, LIU P, et al. Species composition, community structure and diversity of zooplankton in Qingdao coastal area in summer[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(3): 376-383.
- [10] 国家海洋局. 海洋监测规范: 第7部分 近海污染生态调查和生物监测: GB 17378.7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
State Oceanic Administration. The specification for marine monitoring—Part 7: ecological survey for offshore pollution and biological monitoring: GB 17378.7—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [11] 国家海洋局. 海洋调查规范: 第6部分 海洋生物调查: GB/T 12763.6—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
State Oceanic Administration. Specification for oceanographic survey—Part 6: marine biological survey: GB/T 12763.6—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [12] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
XU Z L, CHEN Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 1989, 8(4): 13-15.
- [13] 周红,张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 58-64.
ZHOU H, ZHANG Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 58-64.
- [14] CLARKE K R, GORLEY R N. PRIMER v5: user manual/tutorial[M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd, 2001.
- [15] 陈清潮,黄良民,尹健强,等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[M]//中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 1994: 42-50.
CHEN Q C, HUANG L M, YIN J Q, et al. Studies on the zooplanktonic biodiversities in the waters around Nansha Islands[M]//Nansha Comprehensive Scientific Investigation Team, Chinese Academy of Sciences. Studies on marine biodiversity of the Nansha Islands and neighbouring waters I. Beijing: China Ocean Press, 1994: 42-50.
- [16] 王云龙,沈新强,李纯厚,等. 中国大陆架及邻近海域浮游生物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.

- WANG Y L, SHEN X Q, LI C H, et al. Plankton in the Chinese mainland continental shelf and adjacent waters[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005.
- [17] 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 全国海洋综合调查报告第八册[R]. 北京: 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室, 1964: 48-51, 113-117.
- Comprehensive Marine Survey Office of Ocean Group Science and Technology Committee in People's Republic of China. The national comprehensive marine survey report volume 8[R]. Beijing: Comprehensive Marine Survey Office of Ocean Group Science and Technology Committee in People's Republic of China, 1964: 48-51, 113-117.
- [18] 左涛, 王克, 王荣, 等. 春季南黄海浮游动物群落的多元统计分析[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊1): 108-114.
- ZUO T, WANG K, WANG R, et al. Multivariate analysis of zooplankton communities during spring in the southern part of Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(S1): 108-114.
- [19] 杜明敏, 刘镇盛, 王春生, 等. 中国近海浮游动物群落结构及季节变化[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5 407-5 418.
- DU M M, LIU Z S, WANG C S, et al. The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5 407-5 418.
- [20] RICHARDSON A J, BAKUN A, HAYS G C, et al. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2009, 24(6): 312-322.
- [21] 李雨苑. 2012 年春、秋季黄海 WP2 型网采浮游动物的群落特征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- LI Y Y. The Community characteristics of zooplankton sampled with WP2 Net in the Yellow Sea in spring and autumn, 2012[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [22] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984: 139-491.
- ZHENG Z, LI S J, XU Z Z. Marine plankton biology[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984: 139-491.
- [23] 柳丽华, 左涛, 陈瑞盛, 等. 2004 年秋季长江口海域浮游植物的群落结构和多样性[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 112-119.
- LIU L H, ZUO T, CHEN R S, et al. Community structure and diversity of phytoplankton in the estuary of Yangtze River in autumn[J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(3): 112-119.
- [24] 庞碧剑, 覃秋荣, 蓝文陆. 生物多样性指数在生态评价中的实用性分析: 以北部湾为例[J]. 广西科学院学报, 2019, 35(2): 91-99.
- PANG B J, QIN Q R, LAN W L. Practicality of ecological evaluation by biodiversity index: a case study of the Beibu Gulf[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2019, 35(2): 91-99.
- [25] 徐汉光, 杨波, 王真良, 等. 原油和成品油对浮游桡足类中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)存活的影响[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 55-59.
- XU G H, YANG B, WANG Z L, et al. Effects of crude oil and refined oil on the survival of planktonic copepods, *Calanus sinicus*[J]. Marine Environmental Science, 1983, 2(2): 55-59.

Community structure characteristics of zooplankton in the sea area near Dongjiakou Port of Qingdao in spring and autumn

ZHANG Liang^{1, 2}, TAO Huihui^{1, 2}, JI Yinglu^{1, 2}, SU Kai^{1, 2}, WANG Jinwen^{1, 2}, PU Sichao^{1, 2}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, China;

2. North China Sea Marine Forecasting Center of SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the zooplankton investigation in sea area near Dongjiakou Port of Qingdao in March (spring) of 2021 and November (autumn) of 2020, the community structures of zooplankton were analyzed. As result, a total of 33 species and 11 taxa of zooplankton larva, including 18 species and 5 taxa of zooplankton larva in spring and 24 species and 9 taxa of zooplankton larva in autumn, were recorded. The zooplankton average density was 129.4 ind/m³ in spring and 69.4 ind/m³ in autumn, the average biomass (wet weight) in spring was 1 166.5 mg/m³ and 23.8 mg/m³ in autumn, the average Shannon index (H'), Margalef's species richness (d) and Pielou's evenness index (J) were 1.38, 0.95 and 0.90 in spring and 2.61, 1.77 and 0.67 in autumn, respectively. In spring, dominant species were *Rathkea octopunctata*, *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis* and *Aidanosagitta crassa*, while in autumn they were *Muggiaea atlantica*, *Diphyes chamissonis*, *Oithona similis*, *Paracalanus parvus*, *Oikopleura dioica*, *Corycaeus affinis*, Polychaeta and Ophiopluteus larva. Cluster analysis showed that the zooplankton in the investigation area can be divided into two groups. This study can provide a reference for the study of zooplankton com-

munity structure in the coastal waters of Qingdao.

Key words: marine biology; zooplankton; community structure; diversity; dominant species; Dongjiakou Port of Qingdao

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2023.01.003

(责任编辑:方建勇)