

张亮, 宿凯, 张绍萍, 等. 日照岚山港北作业区邻近海域春、秋季浮游动物群落结构研究[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 79–88, doi:10.12284/hyxb2022022

Zhang Liang, Su Kai, Zhang Shaoping, et al. Study on the community structure of zooplankton in the sea area near the north operation area in the Lanshan Port of Rizhao Port in spring and autumn[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(1): 79–88, doi:10.12284/hyxb2022022

日照岚山港北作业区邻近海域春、秋季 浮游动物群落结构研究

张亮^{1,2}, 宿凯^{1,2}, 张绍萍^{1,2}, 孙滨^{1,2}, 蒲思潮^{1,2}, 王俊健^{1,2}, 纪莹璐^{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 2015 年 5 月 (春季) 和 10 月 (秋季) 在日照岚山港北作业区邻近海域进行的浮游动物调查数据为例, 分析了该海域浮游动物的群落结构特征。调查海域两季共发现浮游动物成体 20 种, 浮游幼虫 7 类, 其中春季成体 12 种, 浮游幼虫 4 类, 秋季成体 19 种, 浮游幼虫 6 类; 春、秋两季调查浮游动物平均丰度分别为 128.1 ind./m³、103.3 ind./m³; 平均生物量 (湿重) 分别为 1 129.9 mg/m³、954.3 mg/m³; 平均多样性指数分别为 2.39、2.01; 平均丰富度指数分别为 0.85、1.21; 平均均匀度指数分别为 0.87、0.62; 春季调查优势种为强壮箭虫 (*Sagitta crassa*)、中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa*), 秋季调查优势种为太平洋纺锤水蚤、小齿海樽 (*Doliolum denticulatum*)、强壮箭虫、真刺唇角水蚤; 聚类分析表明, 调查海域浮游动物可划分为 3 个群落。本研究可为深入研究该海域浮游动物群落结构提供重要的基础数据。

关键词: 日照岚山港; 浮游动物; 群落结构; 多样性; 优势种

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)01-0079-10

1 引言

浮游动物是指一类被动地漂浮于水层中的、本身不能制造有机物的异养型无脊椎动物和脊索动物幼体的总称, 海洋浮游动物数量大、种类多、分布广, 是海洋生物多样性的重要组成部分, 浮游动物种类组成、种群动态变化对于整个海洋生态系统的结构和功能都有着十分重要的影响, 分析浮游动物群落结构及其变化是了解相应海区生态系统功能的重要方法^[1]。全面准确地了解海洋浮游动物种类组成、分布和数量变化能够加深对海洋生态系统结构与功能的认知, 提升海洋环境监测能力。

日照港是我国重点发展的沿海港口, 现拥有石臼、岚山两大港区, 日照岚山港北作业区位于岚山港区北部, 是岚山港的重要组成部分。目前, 关于日照邻近海域特别是日照港邻近海域浮游动物的研究报道很少, 于洋等^[2]利用 2016 年和 2017 年 5 月、8 月的调查资料分析了绿潮暴发对日照近岸浮游动物群落结构的影响; 毕晓欣等^[3]利用 2015 年春季在山东省近岸海域 18 个调查站位的监测资料, 对山东省近岸海域浮游动物的群落结构与水质理化因子的关系进行了探讨, 但日照近岸海域仅有 1 个调查站位; 张亮等^[4]曾就 2019 年 11 月在日照岚山港区附近海域的浮游动物调查数据, 结合 2010 年 9 月、2013 年 9 月、

收稿日期: 2021-05-26; 修订日期: 2021-09-07。

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1404000); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金(202002)。

作者简介: 张亮(1982—), 男, 山东省淄博市人, 高级工程师, 主要从事海洋环境监测和评价研究。E-mail: 36302162@qq.com

* 通信作者: 纪莹璐(1990—), 女, 工程师, 主要从事海洋环境监测和评价研究。E-mail: jiyinglu2008@126.com

2016年11月的调查资料,分析了该海域秋季浮游动物的群落结构特征及变化情况,并初步探讨该海域浮游动物群落结构特征与围填海工程的关系。为了解日照岚山港北作业区邻近海域浮游动物的群落结构特征,本文以2015年5月(春季)和10月(秋季)调查数据为基础,分析了日照岚山港北作业区邻近海域浮游动物群落结构及两季变化情况,为深入研究该海域浮游动物群落结构提供了重要的基础数据。

2 材料与方法

2.1 采样与分析

本研究所用的浮游动物样品为2015年5月(春季)和10月(秋季)在日照岚山港北作业区邻近海域调查采集,共布设10个采样站位,采样站位布设情况见图1,浮游动物采用浅水I型浮游生物网(网口面积为0.20 m²,材质为CQ14筛绢)采集,样品自底(距离海底2 m)至表垂直拖网获得。采集样品采用5%(V:V)甲醛海水溶液进行固定,带回实验室后按照《海洋监测规范 第7部分:近海污染生态调查和生物监测》(GB/T 17378.7-2007)^[5]关于浮游生物生态调查中的相关要求,采用体视显微镜以个体计数法进行分析,分析包括种类鉴定、计数,并采用电子天平进行湿重生物量的测定。

2.2 数据处理与分析

2.2.1 丰度、生物量和优势度

丰度、生物量和优势度按照常规方法^[4]进行计

算。公式为

$$C = \frac{n}{V}, \quad (1)$$

$$M = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i, \quad (3)$$

式中, C 为某种类的丰度(单位: ind./m³); n 为该站位浮游动物某种类的个数(单位: ind.); V 为该站位滤水量(单位: m³); M 为某种类的生物量(单位: mg/m³); m 为该站位浮游动物某种类的重量(单位: mg); Y 为某种类的优势度; n_i 为第 i 种浮游动物的个体数; N 为浮游动物的总个体数; f_i 为第 i 种浮游动物在调查站位中出现的频率。当优势度 Y 不小于0.02时,认定该物种为优势种^[6]。

2.2.2 生物多样性

采用香农-韦弗(Shannon-Weaver)多样性指数(H')^[7]、Margalef种类丰富度指数(D)^[8]和Pielou均匀度指数(J)^[9]进行浮游动物群落生物多样性分析,公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i, \quad (4)$$

$$D = \frac{S-1}{\log_2 N}, \quad (5)$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}, \quad (6)$$

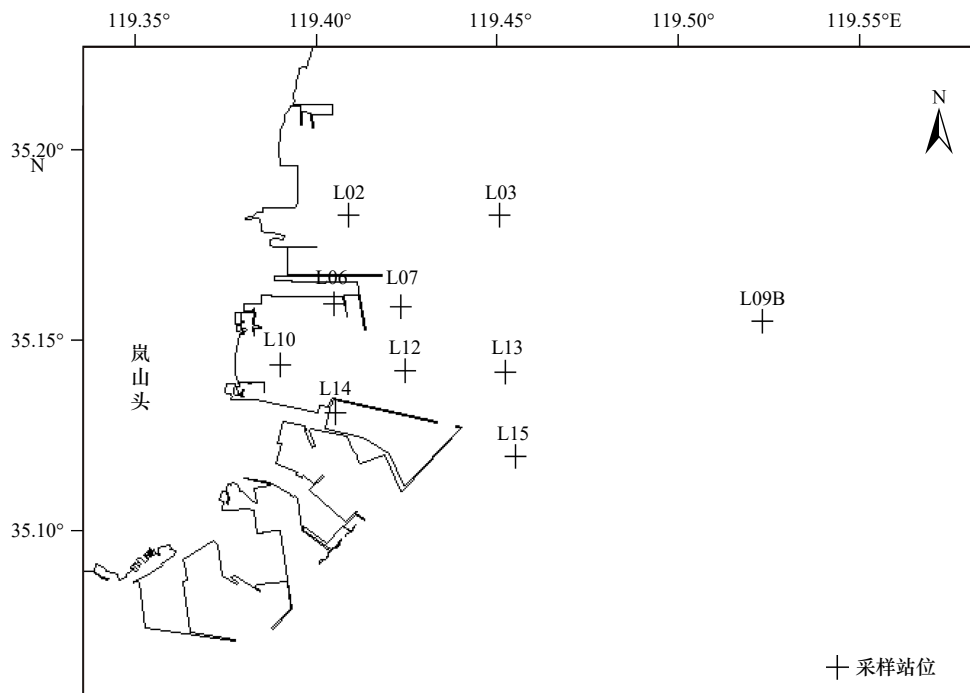


图1 采样站位

Fig. 1 The location of sampling stations

式中, P_i 为第 i 种浮游动物的个体数 (n_i) 与总个体数 (N) 的比值 (n_i/N); S 为样品中的种类总数。

2.2.3 浮游动物丰度、生物量及多样性分布

采用 Surfer 7.0 软件对获得的浮游动物丰度、生物量及多样性的平面分布情况进行图件绘制。

2.2.4 群落划分

采用 PRIMER 6.0 中的 CLUSTER 模块对浮游动物群落进行聚类分析。

3 结果与分析

3.1 浮游动物种类组成

春、秋两季调查共发现浮游动物成体 20 种(表 1), 其中节肢动物 10 种, 占总种数的 50%; 腔肠动物 4 种, 占总种数的 20%; 栉水母 2 种, 占总种数的 10%; 毛颚动物 1 种, 占总种数的 5%; 尾索动物 3 种, 占总

表 1 浮游动物种类名录表
Table 1 List of zooplankton species

序号	中文名	拉丁文名或英文名	类群	春季	秋季
1	半球美螅水母	<i>Clytia hemisphaerica</i>	腔肠动物	-	+
2	数枝螅水母	<i>Obelia</i> spp.	腔肠动物	+	+
3	黑球真唇水母	<i>Eucheilota menoni</i>	腔肠动物	+	+
4	锡兰和平水母	<i>Eirene ceylonensis</i>	腔肠动物	+	+
5	瓜水母	<i>Beroe</i> sp.	栉水母	+	+
6	球形侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>	栉水母	+	+
7	背针胸刺水蚤	<i>Centropages dorsispinatus</i>	节肢动物	-	+
8	瘦尾胸刺水蚤	<i>Centropages tenuiremis</i>	节肢动物	-	+
9	双刺唇角水蚤	<i>Labidocera bipinnata</i>	节肢动物	+	+
10	太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>	节肢动物	+	+
11	汤氏长足水蚤	<i>Calanopia thompsoni</i>	节肢动物	-	+
12	近缘大眼剑水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>	节肢动物	-	+
13	小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	节肢动物	-	+
14	真刺唇角水蚤	<i>Labidocera euchaeta</i>	节肢动物	+	+
15	中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	节肢动物	+	+
16	左突唇角水蚤	<i>Labidocera similobata</i>	节肢动物	-	+
17	强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	毛颚动物	+	+
18	萨利扭鳃樽	<i>Thalia democratica</i>	尾索动物	+	-
19	小齿海樽	<i>Doliolum denticulatum</i>	尾索动物	-	+
20	异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>	尾索动物	+	+
21	桡足类幼体	Copepoda larva	浮游幼虫	-	+
22	蔓足类无节幼虫	Nauplius larva(Cirripedia)	浮游幼虫	+	-
23	短尾类溞状幼体	Zoea larva(Brachyura)	浮游幼虫	+	+
24	多毛类幼体	Polychaeta larva	浮游幼虫	+	+
25	腹足类幼体	Gastropoda larva	浮游幼虫	-	+
26	海星幼体	Echinopluteus larva	浮游幼虫	-	+
27	长尾类幼体	Macrura larva	浮游幼虫	+	+

注: +代表出现; -代表未出现。

种数的 15%; 另外, 发现浮游幼虫 7 类。秋季调查发现浮游动物种类数多于春季, 秋季调查发现成体 19 种、浮游幼虫 6 类; 春季调查发现成体 12 种、浮游幼虫 4 类(表 2), 春、秋两季调查均出现的浮游动物成体有 11 种, 浮游幼虫有 3 类; 种类组成方面, 春、秋两季调查结果表明, 节肢动物在种类组成上占优势, 其次为浮游幼虫, 再次为腔肠动物。

3.2 优势种

春、秋两季浮游动物调查共出现优势种 6 种(表 3), 其中节肢动物 3 种, 腔肠动物、毛颚动物、尾索动物各 1 种, 节肢动物在种类组成上占优势。春季调查出现优势种 5 种, 秋季调查出现优势种 4 种, 春、秋季调查出现的优势种有所不同, 太平洋纺锤水蚤、真刺唇角水蚤和强壮箭虫是春、秋两季调查出现的共同优势种。春季调查第一优势种强壮箭虫出现频率为 1.00, 优势度指数(Y)为 0.28, 第二优势种中华哲水蚤出现频率为 1.00, 优势度指数(Y)为 0.24, 两种优势种

表 2 浮游动物种类组成

Table 2 Taxa composition of zooplankton

类群	春季		秋季	
	种类数	百分比/%	种类数	百分比/%
节肢动物	4	25	10	40
腔肠动物	3	19	4	16
栉水母	2	13	2	8
毛颚动物	1	6	1	4
尾索动物	2	13	2	8
浮游幼虫	4	25	6	24
合计	16	100	25	100

在春季调查中占据绝对优势; 秋季调查第一优势种太平洋纺锤水蚤和第二优势种小齿海樽出现频率均为 0.90, 优势度指数(Y)分别为 0.34 和 0.19。

3.3 生物量和丰度的平面分布

春季调查海域浮游动物生物量(湿重)范围为 378.2~1 948.0 mg/m³, 平均为 1 129.9 mg/m³, 最低生物量出现在 L09B 号站, 最高生物量出现在 L14 号站(图 2)。秋季调查海域浮游动物生物量(湿重)范围为 409.1~1 892.9 mg/m³, 平均为 954.3 mg/m³, 最低生物量出现在 L15 号站, 最高生物量出现在 L02 号站(图 2)。从平面分布看, 两季调查浮游动物生物量总体呈近岸高于外海, 呈现由近岸向外海逐渐降低的趋势。春季调查浮游动物生物量高于秋季。

春季调查海域浮游动物丰度范围为 78.2~210.3 ind./m³, 平均为 128.1 ind./m³, 最低丰度出现在 L12 号站, 最高丰度出现在 L03 号站(图 3)。秋季调查海域浮游动物丰度范围为 32.3~207.1 ind./m³, 平均为 103.3 ind./m³, 最低丰度出现在 L15 号站, 最高丰度出现在 L13 号站(图 3)。从平面分布看, 调查海域浮游动物丰度平面分布呈近岸高、远岸低的趋势, 与生物量分布趋势基本一致。总体上, 调查海域浮游动物的生物量和丰度分布呈现岚山港北作业区港区外高于港区内的总体分布趋势。

3.4 群落多样性

对春、秋两季调查的浮游动物数据进行多样性指数计算, 春季调查浮游动物多样性指数(H')为 1.86~2.69, 平均为 2.39; 秋季为 0.85~3.03, 平均为 2.01, 平面分布情况见图 4。春季调查浮游动物均匀度指数(J)为 0.72~0.98, 平均为 0.87; 秋季为 0.33~0.85, 平均为 0.62, 平面分布情况见图 5。春季调查浮游动物

表 3 浮游动物优势种及其优势度

Table 3 Dominant species and its dominances of zooplankton

优势种	春季		秋季	
	出现频率	优势度指数(Y)	出现频率	优势度指数(Y)
球形侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	0.70	0.03	—	—
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	1.00	0.24	—	—
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0.70	0.05	0.90	0.34
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.80	0.15	1.00	0.05
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	1.00	0.28	1.00	0.14
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	—	—	0.90	0.19

注: —代表未出现。

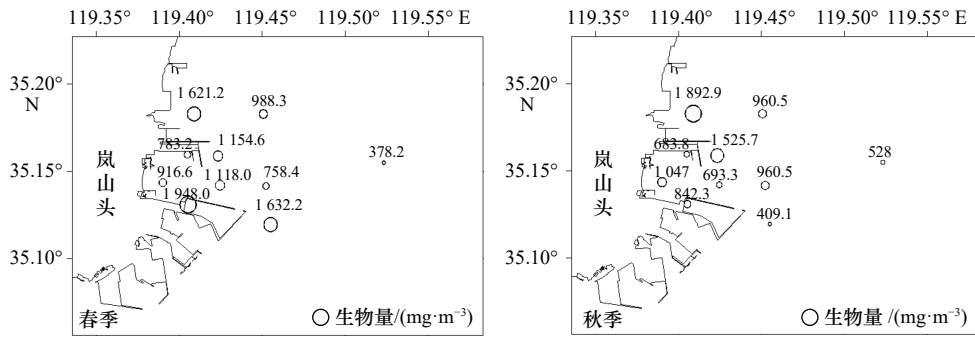


图2 浮游动物生物量平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of zooplankton biomass

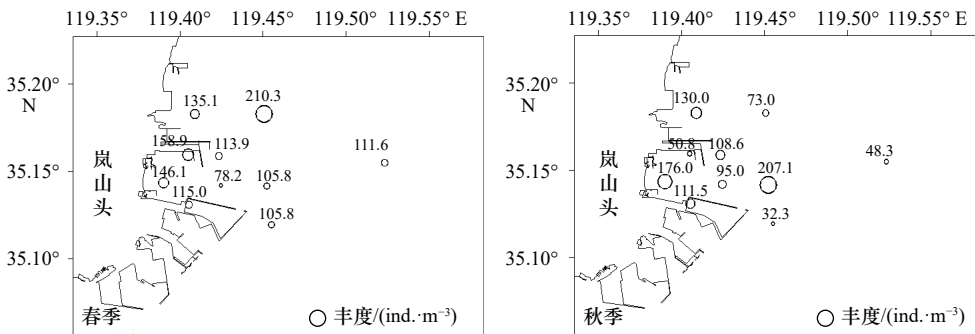


图3 浮游动物丰度平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of zooplankton abundance

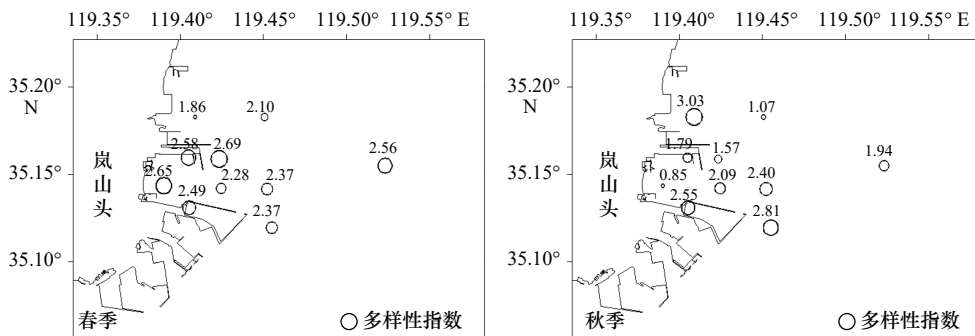


图4 浮游动物多样性指数(H')平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of Shannon-Weaver diversity index (H')

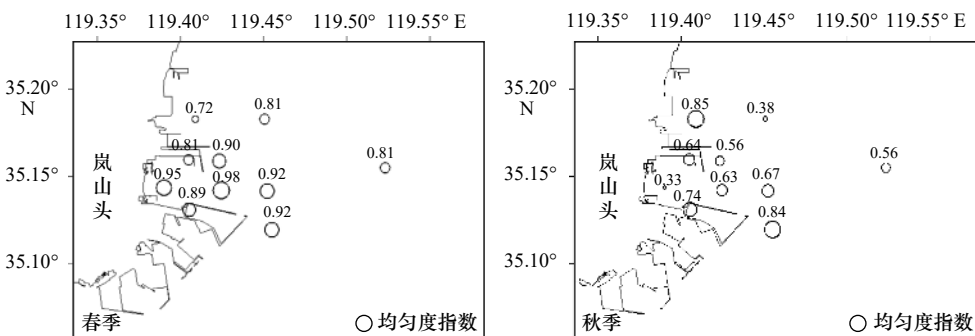
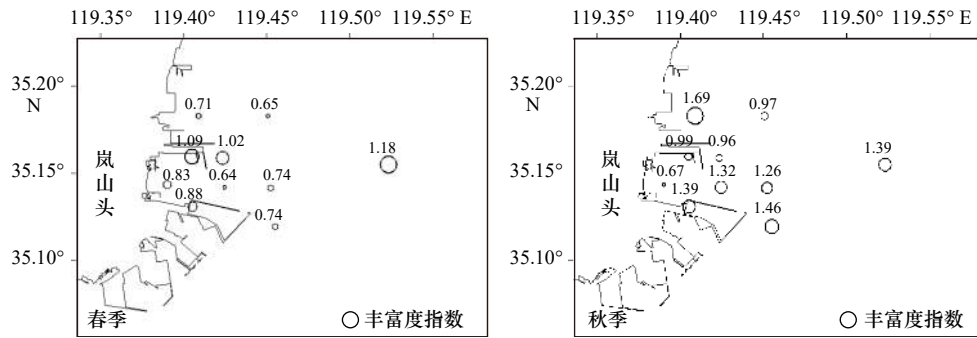


图5 浮游动物均匀度指数(J)平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of Pielou's evenness index (J)

丰富度指数(D)为0.64~1.18,平均为0.85;秋季为0.67~1.69,平均为1.21,平面分布情况见图6。

总体上,春季调查丰富度指数(D)低于秋季,春季调查多样性指数(H')、均匀度指数(J)高于秋季。

图 6 浮游动物丰富度指数 (D) 平面分布Fig. 6 Horizontal distribution of Margalef's species richness diversity (D)

水平分布上春季调查多样性指数 (H') 南部海域高于北部, 秋季调查多样性指数近岸高于远海; 春、秋两季调查均匀度指数 (J) 水平分布呈近岸高于远海趋势; 春季调查丰富度指数 (D) 中部海域高, 秋季调查丰富度指数南部海域高于北部。

多样性指数是海洋生态环境评价中常用的指标, 可作为评价海洋生态系统健康程度的指标^[10]。陈清潮等^[11]根据多样性指数的大小将生物多样性阈值 ($D_v = H' \times J$) 分为 5 个等级。根据春、秋两季调查的结果, 对日照岚山港北作业区邻近海域浮游动物的多样性指数进行统计学评价分析, 依据陈清潮等^[11]对群落丰富程度的分级, 春季调查海域浮游动物多样性阈值平均为 2.1, 多样性评价等级为 III 级, 等级描述多样性较好; 秋季调查浮游动物多样性阈值平均为 1.4, 多样性评价等级为 II 级, 等级描述多样性一般, 各站

评价结果见表 4。

3.5 群落划分

对春、秋两季各调查站位浮游动物种类组成进行 CLUSTER 聚类分析, 结果见图 7。在 52% 的相似度上, 春季调查海域 10 个调查站位浮游动物被划分为 3 个群落, 群落 I 包含 L03 站位、L10 站位、L12 站位, 群落 II 包含 L06 站位、L13 站位、L15 站位、L09B 站位, 群落 III 包含 L02 站位、L07 站位、L14 站位。造成群落间差异的主要成体种有蕓枝鳃水母、黑球真唇水母、瓜水母、异体住囊虫、萨利扭鳃樽, 浮游幼虫类有短尾类溞状幼体。

在 39% 的相似度上, 将秋季调查海域 10 个调查站位的浮游动物划分为 3 个群落, 群落 I 包含 L02 站位、L12 站位、L14 站位、L15 站位、L09B 站位, 群落 II 包含 L03 站位、L06 站位、L07 站位, 群落 III 包含

表 4 调查海域浮游动物多样性指数

Table 4 The diversity index of zooplankton in monitoring areas

站位	春季				秋季			
	多样性指数(H')	均匀度(J)	阈值(D_v)	等级描述	多样性指数(H')	均匀度(J)	阈值(D_v)	等级描述
L02	1.86	0.72	1.3	多样性一般	3.03	0.85	2.6	多样性丰富
L03	2.10	0.81	1.7	多样性较好	1.07	0.38	0.4	多样性差
L06	2.58	0.81	2.1	多样性较好	1.79	0.64	1.1	多样性一般
L07	2.69	0.90	2.4	多样性较好	1.57	0.56	0.9	多样性一般
L09B	2.56	0.81	2.1	多样性较好	1.94	0.56	1.1	多样性一般
L10	2.65	0.95	2.5	多样性较好	0.85	0.33	0.3	多样性差
L12	2.28	0.98	2.2	多样性较好	2.09	0.63	1.3	多样性一般
L13	2.37	0.92	2.2	多样性较好	2.40	0.67	1.6	多样性较好
L14	2.49	0.89	2.2	多样性较好	2.55	0.74	1.9	多样性较好
L15	2.37	0.92	2.2	多样性较好	2.81	0.84	2.4	多样性较好
平均	2.39	0.87	2.1	多样性较好	2.01	0.62	1.4	多样性一般

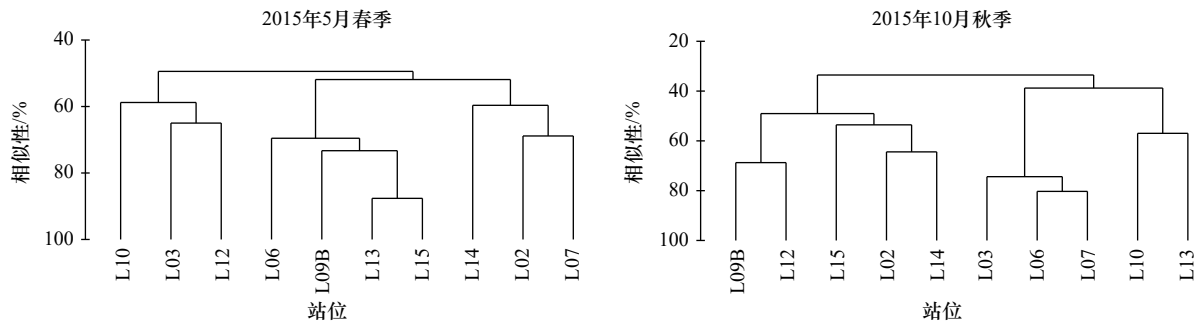


图7 浮游动物群落相似性聚类分析图

Fig. 7 Similarity cluster analysis of zooplankton community

L13 站位、L10 站位。造成群落间差异的主要成体种有黑球真唇水母、薏枝螳水母、锡兰和平水母、小拟哲水蚤、汤氏长足水蚤、左突唇角水蚤,浮游幼虫类有海星幼体、桡足类幼体、短尾类溞状幼体、腹足类幼体。

4 讨论

4.1 浮游动物种类组成和优势种分析

春、秋两季调查共发现浮游动物成体 20 种,隶属于节肢动物、腔肠动物、栉水母、毛颚动物、尾索动物,浮游幼虫 7 类,秋季调查发现浮游动物成体 19 种,多于春季的 12 种,秋季调查发现浮游幼虫 6 类,多于春季的 4 类。

毕晓欣等^[3]利用 2015 年春季山东省近岸海域浮游动物的调查资料对其生态特征进行分析,在日照近岸海域调查站位发现浮游动物 10 种/类(成体 5 种,幼虫 5 类),种类组成上,节肢动物和浮游幼虫类占优势,其次为腔肠动物和毛颚动物。于洋等^[2]2016 年和 2017 年 5 月、8 月在日照近岸海域的浮游动物调查结果显示,2016 年 5 月调查发现浮游动物 24 种/类(成体 17 种,幼虫 7 类),种类组成上,节肢动物占优势,其次为浮游幼虫类,再次为腔肠动物和毛颚动物,8 月发现 36 种/类(成体 22 种,幼虫 14 类),种类组成上,浮游幼虫类占优势,其次为节肢动物,再次为腔肠动物;2017 年 5 月调查共发现浮游动物 22 种/类(成体 16 种,幼虫 6 类),种类组成上,节肢动物占优势,其次为浮游幼虫类,再次为被囊动物和毛颚动物;8 月发现 43 种/类(成体 27 种,幼虫 16 类),种类组成上,浮游幼虫类占优势,其次为节肢动物,再次为腔肠动物。本研究结果与于洋等^[2]研究日照近岸海域秋季调查浮游动物种类数多于春季的结果一致,同时与左涛^[12]和王云龙等^[13]研究所得结论一致,黄海海区浮游动物种类数在夏季和秋季会相对较多,冬季和春

季相对较少。本研究中春季调查浮游动物种类数高于毕晓欣等^[3]的结果,分析原因,可能与调查站位数量的多少有关系;低于于洋等^[2]的结果,原因是于洋等^[2]的调查采用浅水 II 型浮游生物网采集浮游动物,该型网的网孔更小,小型浮游动物也被同时采集。种类组成方面,本研究发现调查海域节肢动物、浮游幼虫类及腔肠动物在种类组成上占优势,和以往研究结果^[2-3]基本一致,说明调查海域浮游动物种类结构组成比较稳定。

春、秋两季浮游动物调查共出现优势种 6 种,春季 5 种,秋季 4 种,太平洋纺锤水蚤、真刺唇角水蚤、强壮箭虫为两季共同优势种。由于季节差别,春、秋季调查中出现的优势种有一定的差异。于洋等^[2]在日照近岸浮游动物群落结构研究中发现,强壮箭虫是 2016 年、2017 年 8 月调查的优势种,中华哲水蚤是 2016 年、2017 年 5 月调查的优势种。强壮箭虫隶属于毛颚类动物,是暖温带的近岸优势种,强壮箭虫也是我国黄海、渤海以及近岸海域的常年优势种类^[14]。王晓等^[15]分析了 2007 年秋季南黄海浮游动物的种类组成,发现中华哲水蚤、强壮箭虫、磷虾幼体和小齿海樽是秋季优势种;本研究结果与上述调查结果基本一致,说明该海域浮游动物优势种未发生明显变化。

4.2 浮游动物季节变化

本研究春、秋两季调查发现,春季调查浮游动物生物量和丰度均高于秋季。姜会超等^[16]在对烟台四十里湾海域浮游动物群落研究中发现,浮游动物丰度和生物量在 5 月达到最高,高于同年 10 月的结果;于洋等^[2]在日照近岸海域的浮游动物调查结果显示,在 2016 年和 2017 年 4 个航次的调查中,调查海域 5 月航次的浮游动物平均丰度均明显高于当年 8 月航次的平均丰度,两年度 5 月航次浮游动物湿重生物量平均值都高于 8 月航次。本研究结果与以上学者^[2,16]的研究结果相一致,春季调查浮游动物生物量和丰度均

高于秋季的结果是因为 3-5 月春季表层水温升高, 光度增强, 营养盐类丰富, 在良好的环境条件下, 浮游植物(主要是硅藻)迅速繁殖, 数量激增, 而浮游动物由于水温适宜和饵料充足也开始大量繁殖^[17], 其丰度和生物量在 5 月份达到最高值; 10 月后气温开始逐渐下降, 浮游动物生物量也开始降低。从本研究结果和以往研究结果^[2, 16]来看, 调查海域春季浮游动物的生物量和丰度均高于秋季, 因此, 调查海域浮游动物的季节变化情况未发生明显改变。

4.3 H' 与环境状况分析

春季调查 L02 站位, 秋季调查 L06 站位、L07 站位、L10 站位多样性指数(H')较低, 多样性描述为多样性差和多样性一般, 原因可能是这些站位邻近岚山港北作业区一期码头工程, 调查时正值该项目工程建设期间, 受陆域吹填和船舶通行扰动的影响, 导致这几个站位多样性指数偏低。两季调查丰富度指数(D)秋季大于春季, 多样性指数(H')与均匀度指数(J)都是春季大于秋季。就物种丰度来看, 秋季种类最多, 组成最复杂, 因此秋季丰富度指数(D)高于春季; 而春季调查和秋季调查均匀度指数(J)有一定的变化, 说明春、秋两季站位种类组成存在差异, 调查站位之间分布不均匀, 这与调查结果中秋季调查物种数量明显高于春季的实际相符合。

多样性指数除了可以用来描述生物群落的多样性特征, 还可以用于评价海洋环境质量、判定海洋环境受污染程度。一般分为以下几个层次, H' 值小于 1, 属于重污染; H' 值为 1~2, 属于中等污染; H' 值为 2~3, 属于轻度污染; H' 值大于 3, 属于清洁^[11]。春、秋两季调查平均 H' 分别为 2.39 和 2.01, 根据评判标准, 调查海域春、秋季环境为轻度污染, 春季调查除 L02 站多样性指数低于 2, 其余调查站位均在 2~3 之间。秋季调查 L10 站多样性指数小于 1, 为重污染, 但该站位生物量和丰度却较高, 原因是该站位浮游动物种类较少, 但出现大量优势度非常高的太平洋纺锤水蚤。有研究表明, 当生物群落中的单一或某几个物种优势度越明显, 种类的多样性就会降低^[18], 优势种过于显著是导致某些站位浮游动物多样性指数低的直接原因^[19]。可见, 仅通过多样性指数尚不足以判定

该海域环境的污染情况, 还需要结合其他环境监测数据来进行综合的判定^[20]。

4.4 聚类结果分析

根据聚类分析结果(图 7)可知, 结合调查站位的地理位置以及环境因子等因素, 可将研究海域的调查站位划分为 3 个聚类群落, 虽然春、秋两季 10 个调查站位的浮游动物均可划分为 3 个群落, 但两季调查划分的 3 个群落所包含的站位有所不同, 这可能是由于季节和环境变化, 各浮游动物群落间的界限不断变迁所导致的^[21], 有研究表明^[22], 浮游动物的群落组成有非常明显的季节特性, 另外, 优势种的不均匀分布对其也具有一定影响^[23]。L15 站位和 L09B 站位在春、秋两季调查中均划为一个群落, L02 站位和 L14 站位在春、秋两季调查中均划为一个群落, 分析原因是水深对浮游动物群组聚类的影响较大^[24]。研究结果显示, 水深是影响浮游动物群落结构的关键环境因子^[25], L02 站位和 L14 站位同属靠近岸线的站位, 水深均在 5.5~9.0 m 之间, L15 站位和 L09B 站位同属远离岸线的站位, 水深均在 13.0~17.0 m 之间, 站位所处海域水深相当。水深的不同导致所在海域的水温、透明度、溶解氧浓度、盐度及叶绿素 a 浓度等环境因子不同, 各种环境因子不同最终综合影响了浮游动物聚类群落结构。

5 结论

(1) 2015 年春季和秋季调查海域共发现浮游动物成体 20 种, 其中春季 12 种, 秋季 19 种, 分别属于节肢动物、腔肠动物、栉水母、毛颚动物、尾索动物; 另外发现浮游幼虫 7 类, 其中春季 4 类, 秋季 6 类。

(2) 春、秋两季调查浮游动物优势种有所不同, 春季调查优势种为强壮箭虫、中华哲水蚤、真刺唇角水蚤、太平洋纺锤水蚤、球型侧腕水母, 秋季调查优势种为太平洋纺锤水蚤、小齿海樽、强壮箭虫、真刺唇角水蚤。

(3) 春季调查浮游动物平均丰度和生物量均高于秋季。

(4) 春季调查浮游动物平均多样性指数和均匀度指数均高于秋季, 平均丰富度指数则低于秋季。

参考文献:

- [1] 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 Xuechao, Zhu Liyan, Huang Ying, et al. Community structure of the zooplankton in the Southern Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2017, 41(10): 41-49.
- [2] 于洋, 孟娜, 王建勇, 等. 绿潮暴发对浮游动物群落结构影响研究[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(3): 57-63.
Yu Yang, Meng Na, Wang Jianyong, et al. Impacts of green tide outbreaks on zooplankton community structure[J]. Ocean Development

- and Management, 2019, 36(3): 57–63.
- [3] 毕晓欣, 毕立海, 刘冲, 等. 山东省近岸海域浮游动物的生态特征分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(4): 136–141.
Bi Xiaoxin, Bi Lihai, Liu Chong, et al. Ecological characteristics of zooplankton of inshore areas in Shandong Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(4): 136–141.
- [4] 张亮, 宋春丽, 王岚, 等. 日照港岚山港区附近海域秋季浮游动物群落结构特征[J]. 广西科学, 2020, 27(2): 203–210.
Zhang Liang, Song Chunli, Wang Lan, et al. Community structure characteristics of zooplankton in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port in autumn[J]. *Guangxi Sciences*, 2020, 27(2): 203–210.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 17378.7–2007, 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 17378.7–2007, The specification for marine monitoring—Part7: Ecological survey for offshore pollution and biological monitoring[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [6] 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, 19.
Xu Zhaoli, Chen Yaqu. 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, 19.
- [7] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: The University of Illinois Press, 1949.
- [8] Margalef R. Information theory in ecology[J]. *General Systematics*, 1958(3): 36–71.
- [9] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology[M]. New York: Wiley, 1969: 1–286.
- [10] 陆家昌, 姜发军, 许铭本, 等. 2015年冬季钦州湾浮游动物尸体对海洋生态系统的影响[J]. 广西科学, 2016, 23(4): 325–330.
Lu Jiachang, Jiang Fajun, Xu Mingben, et al. Effects of zooplankton carcasses in Qinzhou Bay during winter 2015 on marine ecosystem[J]. *Guangxi Sciences*, 2016, 23(4): 325–330.
- [11] 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 Qingchao, Huang Liangmin, Yin Jianqiang, 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.
- [12] 左涛. 东、黄海浮游动物群落结构研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2003.
Zuo Tao. Community structure of zooplankton in the East China Sea and the Yellow Sea[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [13] 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 Yunlong, Shen Xinqiang, Li Chunhou, et al. Plankton in the Chinese Mainland and Adjacent Waters[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.
- [14] 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.
- [15] 王晓, 姜美洁, 刘萍, 等. 秋季南黄海浮游动物分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2016, 38(10): 125–134.
Wang Xiao, Jiang Meijie, Liu Ping, et al. Distribution pattern of zooplankton and its influencing factors in the South Yellow sea in autumn[J]. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(10): 125–134.
- [16] 姜会超, 刘宁, 高继庆, 等. 烟台四十里湾浮游动物群落特征及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1318–1327.
Jiang Huichao, Liu Ning, Gao Jiqing, et al. Zooplankton community structure in Sishili Bay and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(4): 1318–1327.
- [17] 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 Zhong, Li Shaojing, Xu Zhenzu. Marine Plankton Biology[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984: 139–491.
- [18] 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 Lihua, Zuo Tao, Chen Ruisheng, 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.
- [19] 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 Bijian, Qian Qiurong, Lan Wenlu. Practicability 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.
- [20] 纪莹璐, 王尽文, 张亮, 等. 日照岚山港邻近海域大型底栖动物群落结构及季节变化[J]. 生态科学, 2020, 39(5): 151–160.
Ji Yinglu, Wang Jinwen, Zhang Liang, et al. Community structure and seasonal changes of macrobenthos in the adjacent waters of Lanshan Harbour[J]. *Ecological Science*, 2020, 39(5): 151–160.
- [21] 陈清潮, 陈亚瞿, 胡雅竹. 南黄海和东海浮游生物群落的初步探讨[J]. 海洋学报, 1980, 2(2): 149–157.

- Chen Qingchao, Chen Yaqu, Hu Yazhu. Preliminary study on the plankton communities in the Southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Haiyang Xuebao*, 1980, 2(2): 149–157.
- [22] 姜会超, 陈海刚, 宋秀凯, 等. 莱州湾金城海域浮游动物群落结构及与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7308–7319.
Jiang Huichao, Chen Haigang, Song Xiukai, et al. Zooplankton community structure in Jincheng area of Laizhou Bay and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7308–7319.
- [23] 罗鸣, 苗素英, 于红兵, 等. 春末海南万宁海域浮游动物群落结构研究[J]. *海洋科学*, 2013, 37(11): 79–84.
Luo Ming, Miao Suying, Yu Hongbing, et al. Community structure of zooplankton in the offshore water of wanning at the end of spring[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(11): 79–84.
- [24] 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 Yongqiang, Zuo Tao, Yuan Wei, et al. Community structure and spatial distribution of zooplankton in Laoshan Bay in summer[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(5): 990–997.
- [25] 杨杰青, 欧阳珑玲, 唐峰华, 等. 海南西北部近岸海域浮游动物群落结构与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(2): 236–249.
Yang Jieqing, Ouyang Longling, Tang Fenghua, et al. Relationship between the zooplankton community structure and environmental factors offshore of northwest Hainan Island, China[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(2): 236–249.

Study on the community structure of zooplankton in the sea area near the north operation area in the Lanshan Port of Rizhao Port in spring and autumn

Zhang Liang^{1,2}, Su Kai^{1,2}, Zhang Shaoping^{1,2}, Sun Bin^{1,2}, Pu Sichao^{1,2}, Wang Junjian^{1,2}, Ji Yinglu^{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, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the investigation data of zooplankton in the sea area near the north operation area in the Lanshan Port of Rizhao Port in May (spring) and October (autumn) 2015, the community structure characteristics of zooplankton was analysed in this paper. The results showed that 20 species and 7 taxa of zooplankton were found in the two seasons, including 12 species and 4 taxa in spring and 19 species and 6 taxa in autumn, the average abundance of zooplankton were 128.1 ind./m³ in spring and 103.3 ind./m³ in autumn, the average biomass (wet weight) were 1 129.9 mg/m³ and 954.3 mg/m³, the average Shannon-Wiener diversity index (H'), Margalef's species richness diversity (D) and Pielou's evenness index (J) were 2.39, 0.85, 0.87 in spring, respectively, and 2.01, 1.21, 0.62 in autumn, respectively. In spring, the dominant species were *Sagitta crassa*, *Calanus sinicus*, *Labidocera euchaeta*, *Acartia pacifica*, *Pleurobrachia globosa*, while in autumn, the dominant species were *Acartia pacifica*, *Doliolum denticulatum*, *Sagitta crassa*, *Labidocera euchaeta*. Cluster analysis showed that the zooplankton in the investigation area could be divided into three groups. This study could provide important basic data for further study of zooplankton community structure in the coastal waters of Rizhao.

Key words: Lanshan Port of Rizhao Port; zooplankton; community structure; diversity; dominant species