

# 日照港岚山港区附近海域秋季浮游动物群落结构特征<sup>\*</sup>

张亮<sup>1,2\*\*</sup>, 宋春丽<sup>3</sup>, 王岚<sup>1,2</sup>, 陶卉卉<sup>1,2</sup>, 张海舟<sup>1,2</sup>, 蒲思潮<sup>1,2</sup>

(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; 3. 青岛科创质量检测有限公司, 山东青岛 266071)

**摘要:** 为了解秋季日照港岚山港区附近海域浮游动物状况, 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, 本研究以2019年11月在该海域的调查数据为基础, 并结合2010年、2013年、2016年的调查资料, 分析该海域浮游动物的群落结构特征及变化情况。2019年11月日照港岚山港区附近海域共发现浮游动物31种, 平均生物量(湿重)为66.0 mg/m<sup>3</sup>, 平均丰度为35.8 ind/m<sup>3</sup>, 调查海域浮游动物丰度和生物量平面分布基本一致, 总体上呈近岸高、远岸低, 港区内低、港区外高的趋势; 调查海域的优势种为强壮箭虫 *Sagitta crassa*、蕨枝鳃水母 *Obelia* spp. 和五角水母 *Muggiaea atlantica*; 多样性指数为0.41—3.01, 平均为1.61。综合分析2010—2019年4次秋季的调查数据, 日照港岚山港区附近海域浮游动物种类组成比例有所波动, 节肢动物所占比例先降低后升高, 腔肠动物所占比例先升高后降低; 种类数和丰度呈先降低后升高趋势, 生物量和多样性指数呈先升高后降低趋势。调查海域浮游动物种类数量和丰度在波动趋势上与所在海域围填海工程的建设进展存在一定的响应关系, 但浮游动物生物量、多样性指数与调查海域围填海工程持续建设响应关系不明显。

**关键词:** 日照港岚山港区 浮游动物 群落结构 多样性 优势种 种类组成

中图分类号: X834 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)02-0203-08

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20200421.002

## 0 引言

浮游动物是一类经常在水中浮游、本身不能制造有机物的异养型动物类群, 是在水中营浮游性生活的动物类群, 它们或者完全没有游泳能力, 或者游泳能力微弱, 不能作远距离的移动, 也不足以抵抗水的流动力。浮游动物是海洋生态系统中的次级生产力, 是

海洋生态系统中的重要组成部分, 在海洋生态系统中起着承上启下的作用, 它们通过摄食活动影响或者控制初级生产力, 同时其种群动态变化又影响鱼类等经济动物的资源量<sup>[1]</sup>。浮游动物群落结构还与海洋资源开发、生态环境维护有密切关系, 因此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<sup>[2]</sup>。浮游动物种类组成和数量变动对整个生态系统动态平衡有重要的调控作用, 浮游动物种

<sup>\*</sup> 国家重点研发计划“海洋环境安全保障”重点专项(2017YFC1405003)和山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金(201902)资助。

### 【作者简介】

张亮(1982—), 男, 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】

### 【引用本文】

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 L, SONG C L, WANG L, 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.

类及数量组成反应环境变化状况,可作为环境监测指示种,在生物海洋学研究、水体富营养化研究等方面有着重要的价值,在海洋环境保护中有重要意义。因此,研究者对不同海域浮游动物的群落结构进行各方面的研究。于洋等<sup>[3]</sup>利用2016年和2017年5月、8月的调查资料分析绿潮暴发对日照近岸浮游动物群落结构的影响,结果发现两个年度5月调查获得的浮游动物种类数明显少于同年8月调查结果,但平均丰度和湿重生物量均高于同年8月调查结果,分析原因可能是调查海域8月浒苔暴发结束,浒苔在消亡过程消耗大量的营养盐,从而导致水体中营养盐含量的降低,进而影响其他浮游生物的生长。毕晓欣等<sup>[4]</sup>利用2015年春季在山东省近岸海域的18个调查站位(其中1个站位位于日照近岸海域)监测资料,探讨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,结果共鉴定出浮游动物26种,各站位之间的群落结构指数变化幅度较大,亚硝酸盐和硝酸盐是影响浮游动物群落结构最重要的环境因子,叶绿素a的含量是影响浮游动物生物量最重要的环境因子。杨璐等<sup>[5]</sup>利用2004—2015年渤海湾夏季浮游动物的监测资料,分析浮游动物的群落结构及物种变动特征,并探讨群落变动与环境因子的关系,研究发现渤海湾浮游动物的群落变化主要与温度、盐度、营养盐等环境因子密切相关;王欣欣等<sup>[6]</sup>对威海刘公岛南部毗邻海域的浮游生物进行研究,发现浮游动物18种,优势种有双毛纺锤水蚤、腹针胸刺水蚤、中华哲水蚤、钩虾和长尾类幼体;陈学超等<sup>[2]</sup>根据2014年春、秋季南黄海16个站位的生物样品进行浮游动物群落结构研究,共鉴定出浮游动物99种,秋季种数多于春季,秋季香农-威纳指数、丰富度和均匀度皆比春季高,但春季平均生物量、丰度均高于秋季。

日照港是我国重点发展的沿海主要港口,现拥有石臼、岚山两大港区,65个生产性泊位,年通过能力超过3亿吨,随着港口发展的需要,多年来日照港一直在进行围填海工程建设。围填海工程在带来巨大经济利益的同时,也对周边的海洋环境和海洋生物等造成影响<sup>[7-9]</sup>。2018年7月“国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知 国发〔2018〕24号”下发后,全国围填海工程均已停止。本研究以2019年11月在该海域的调查数据为基础,并结合2010年、2013年、2016年调查数据,分析日照港岚山港区附近海域浮游动物群落结构及变化情况,了解和掌握

日照港岚山港区附近海域浮游动物群落结构特征及变化,为研究浮游动物在围填海工程活动影响下的响应机制提供基础资料,为科学研究围填海工程对浮游生物的影响提供科学依据,从而更好地保护海洋环境和浮游生物。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样与测定

浮游动物样品采集于2019年11月日照港岚山港区附近海域,共布设18个调查站位,采样站位图如图1所示,网具采用浅水I型浮游生物网(网口内径50 cm,网口面积0.20 m<sup>2</sup>,材质为CQ14筛绢),样品自底(距离海底2 m)至表垂直拖网获得。样品由5% (V:V)甲醛海水溶液固定,带回实验室后以个体计数法进行分析,包括种类鉴定、数量和生物量(湿重)的测定,具体方法按照《海洋监测规范》<sup>[10]</sup>相关要求

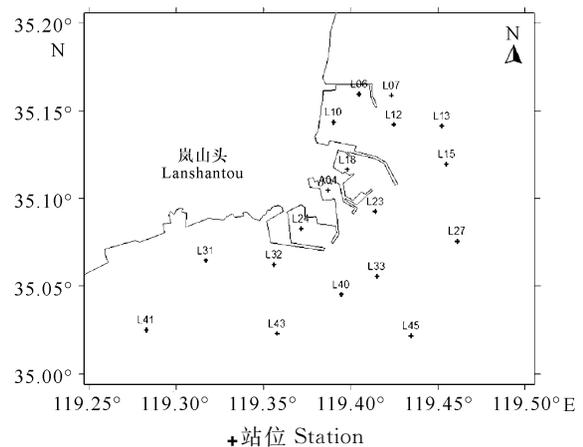


图1 采样站位

Fig. 1 Location of sampling stations

### 1.2 数据处理与分析

#### 1.2.1 丰度、生物量和优势度

各种类丰度  $C = \frac{n}{V}$ , 生物量  $M = \frac{m}{V}$ , 优势度  $Y =$

$\frac{n_i}{N} \times f_i$ , 其中:  $C$  为某种类的丰度(ind/m<sup>3</sup>),  $n$  为该站位浮游动物某种类的个数,  $V$  为该站位滤水量(m<sup>3</sup>);  $M$  为某种类的生物量(mg/m<sup>3</sup>),  $m$  为该站位浮游动物某种类的重量(mg);  $n_i$  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  $Y \geq 0.02$  时, 认定该物种为优势种<sup>[11]</sup>。

### 1.2.2 生物多样性

采用种类和数量信息函数表示的香农-威纳 (Shannon-Wiener) 多样性指数<sup>[12]</sup>进行浮游动物生物多样性分析, 计算公式为

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

式中:  $H'$  为香农-威纳 (Shannon-Wiener) 多样性指数,  $S$  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 ( $n_i/N$ )。

均匀度用 Pielou 指数<sup>[13]</sup>表示, 计算公式为

$$J = \frac{H'}{\log_2 S},$$

式中:  $H'$  为香农-威纳 (Shannon-Wiener) 多样性指数,  $S$  为样品中的种类总数。

陈清潮等<sup>[14]</sup>认为物种多样性是衡量一定区域生物资源丰富程度的一个客观指标, 用于评价群落中种类组成的稳定程度及其数量分布均匀程度和群落组织结构特征, 并常作为描述群落演替方向、速度和稳定程度的指标, 根据多样性指数的大小可将生物多样性阈值 ( $Dv = H' \times J$ ) 分为 5 个等级:  $Dv < 0.6$  为 I 级 (多样性差),  $0.6 < Dv < 1.5$  为 II 级 (多样性一般),  $1.6 < Dv < 2.5$  为 III 级 (多样性较好),  $2.6 < Dv < 3.5$  为 IV 级 (多样性丰富),  $Dv > 3.5$  为 V 级 (多样性非常丰富)。

### 1.2.3 浮游动物密度和生物量分布

采用 Surfer 7.0 软件对获得的浮游动物丰度和生物量分布情况进行等值线绘制。

## 1.3 日照港岚山港区附近海域浮游动物变化趋势分析

以 2019 年 11 月在该海域浮游动物的调查数据为基础, 并与之前的相关调查结果进行对比, 通过比较调查浮游动物的种类结构组成、种类数量、丰度、生物量和多样性指数分析该海域浮游动物群落变化趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游动物种类组成

2019 年 11 月调查海域浮游动物样品共鉴定出浮游动物 31 种 (表 1), 其中节肢动物 13 种, 腔肠动物 6 种, 毛颚动物 2 种, 被囊动物 1 种, 脊索动物 2 种, 其他幼虫类 7 种; 节肢动物占出现浮游动物总种数的比例最大 (42%), 其次为其他幼虫类 (24%), 最低为被囊动物 (3%); 其他幼虫类中双壳类幼虫最多,

其次为长尾类幼虫、多毛类幼体。各种浮游幼虫是海洋浮游动物的重要组成部分, 一般在繁殖盛期会成为浮游动物群落的优势种类<sup>[15]</sup>。浮游幼虫是鱼类和虾类的优质天然饵料, 在海洋渔业资源产量估算和发展水产养殖方面具有重要的意义, 在海洋生态系统中也占有重要的位置。

表 1 浮游动物种类名录表

Table 1 List of zooplankton species

种类 Species	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name
节肢动物 Arthropoda	中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>
	小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>
	双刺唇角水蚤	<i>Labidocera bipinnata</i>
	真刺唇角水蚤	<i>Labidocera eucaeta</i>
	瘦尾胸刺水蚤	<i>Centropages tunuiremis</i>
	背针胸刺水蚤	<i>Centropages dorsispinatus</i>
	太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>
	双毛纺锤水蚤	<i>Acartia bifilosa</i>
	拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>
	近缘大眼剑水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>
	中华假磷虾	<i>Pseudeuphausia sinica</i>
	钩虾	Gammaridae
	日本毛虾	<i>Acetes japonicus</i>
腔肠动物 Coelenterata	半球美螅水母	<i>Clytia hemisphaerica</i>
	数枝螅水母	<i>Obelia</i> spp.
	球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>
	五角水母	<i>Muggiaea atlantica</i>
	崂山秀氏水母	<i>Sugiura chengshanense</i>
	双生水母	<i>Diphyeschamissonis</i>
毛颚动物 Chaetognatha	强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>
	肥胖软箭虫	<i>Flaccisagitta enflata</i>
被囊动物 Tunicates 脊索动物 Chordata	异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>
	软拟海樽	<i>Dolioletta gegenbauri</i>
	文昌鱼	<i>Branchiostoma belcheri</i>
其他幼虫 Pelagic larvae	海蛇尾长腕幼虫	Ophiopluteus larva
	多毛类幼体	Polychaeta larva
	长尾类幼虫	Macrura larva
	双壳类幼虫	Bivalves larva
	短尾类蚤状幼虫	Brachyura zoea larva
	海星羽腕幼虫	Bipinnaria larva
	桡足类无节幼虫	Copepodite nauplius larva

## 2.2 生物量和丰度的平面分布

2019年11月调查海域浮游动物生物量(湿重)为 $15.2-117.8\text{ mg/m}^3$ ,平均为 $66.0\text{ mg/m}^3$ ,最低生物量出现在L12号站,最高生物量出现在L32号站,调查海域浮游动物生物量平面分布总体呈近岸高、远岸低的趋势,其中最高生物量L32号站位于岚山港区以外(图2)。2019年11月调查海域浮游动物丰度为 $16.4-69.2\text{ ind/m}^3$ ,平均为 $35.8\text{ ind/m}^3$ ,最低丰度出现在L12号站,最高丰度出现在L06号站,第二高丰度出现在L32号站(图3),调查海域浮游动物生物丰度平面分布呈近岸高、远岸低的趋势,与生物量分布基本一致。总体来看,调查海域浮游动物的生物量和丰度分布呈现岚山港区外高于港区内的分布趋势。港区内在港池靠港停泊及在航道航行的各种船舶会对附近的浮游动物造成一定的影响,可能是港区范围内各种船舶活动较多造成这样的分布趋势。田慧娟等<sup>[16]</sup>在对连云港近海浮游动物生态特征及其与环境的关系研究中发现浮游动物生物量和丰度的水平分布呈现外港区高于内港区的特点,与本研究结果一致。

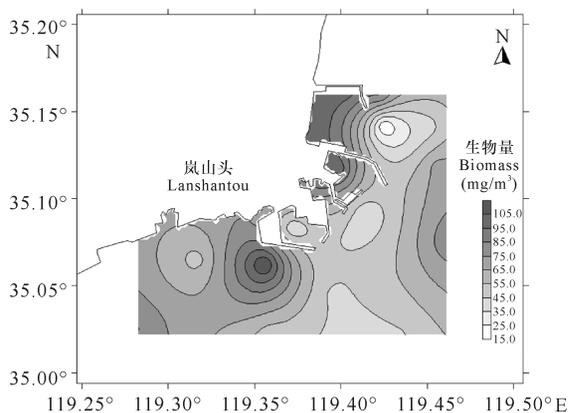


图2 浮游动物生物量的分布

Fig. 2 Distribution of zooplankton biomass

## 2.3 优势种

2019年11月调查海域出现的优势种有3种,分别是强壮箭虫 *S. crassa* ( $Y=0.66$ ), 薺枝螅水母 *Obelia* spp. ( $Y=0.04$ ) 和五角水母 *M. atlantica* ( $Y=0.02$ )。其中,强壮箭虫站位出现率为100%。于洋等<sup>[3]</sup>在绿潮暴发对日照近岸浮游动物群落结构影响

研究中发现,强壮箭虫 *S. crassa* 和薺枝螅水母 *Obelia* spp. 是2017年8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<sup>[17]</sup>,而秋季薺枝螅水母、五角水母在南黄海占据相当的地位,是黄海近岸的优势种类<sup>[18]</sup>。

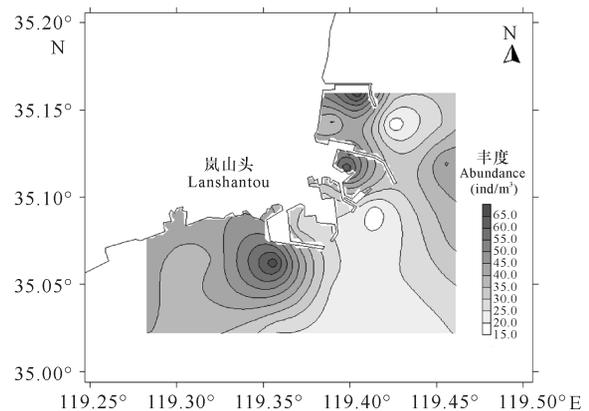


图3 浮游动物丰度的分布

Fig. 3 Distribution of zooplankton abundance

## 2.4 群落特征

多样性指数的计算是海洋生态环境评价中常用的指标,是认识海洋生态系统健康程度的重要工具<sup>[19]</sup>。根据调查结果对日照港岚山港区附近海域浮游动物的多样性指数进行统计学评价分析,发现调查海域浮游动物多样性指数为 $0.41-3.01$ ,平均为 $1.61$ (表2)。依据陈清潮等<sup>[14]</sup>对群落丰富程度的分级,2019年11月日照港岚山港区附近海域浮游动物多样性阈值  $Dv$  平均值为 $0.9$ ,多样性评价等级为II级,等级描述为多样性一般;多样性指数等级描述为多样性差的站位有8个,其中有6个站位均位于港区范围内,多样性较好的3个站位均位于港区范围以外(表2)。位于港区内的L18、L06、L10 3个站位具有较高的生物量,但多样性差或一般,是由于这3个站位生物种类比较单一,出现大量优势度非常明显的强壮箭虫。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<sup>[20]</sup>,优势种过于显著是导致某些站点浮游动物多样性指数低的直接原因<sup>[21]</sup>。

表 2 2019年11月调查海域浮游动物生物多样性

Table 2 Diversity index of zooplankton in monitoring areas in November 2019

站位 Stations	多样性指数 Shannon-Wiener index ( $H'$ )	均匀度 Pielou index ( $J$ )	阈值 Thresholds ( $D_v$ )	等级描述 Level description
A04	0.41	0.26	0.1	多样性差 Poor diversity
L06	1.99	0.63	1.3	多样性一般 General diversity
L07	0.84	0.32	0.3	多样性差 Poor diversity
L10	1.16	0.50	0.6	多样性一般 General diversity
L12	0.93	0.46	0.4	多样性差 Poor diversity
L13	2.20	0.66	1.5	多样性一般 General diversity
L15	2.25	0.61	1.4	多样性一般 General diversity
L18	1.01	0.34	0.3	多样性差 Poor diversity
L23	0.55	0.28	0.2	多样性差 Poor diversity
L24	2.06	0.54	1.1	多样性一般 General diversity
L27	1.89	0.53	1.0	多样性一般 General diversity
L31	2.95	0.80	2.3	多样性较好 Good diversity
L32	3.01	0.72	2.2	多样性较好 Good diversity
L33	1.26	0.35	0.4	多样性差 Poor diversity
L40	2.56	0.67	1.7	多样性较好 Good diversity
L41	0.80	0.31	0.2	多样性差 Poor diversity
L43	2.28	0.61	1.4	多样性一般 General diversity
L45	0.89	0.35	0.3	多样性差 Poor diversity
平均 Average	1.61	0.50	0.9	多样性一般 General diversity

## 2.5 浮游动物变化趋势

### 2.5.1 浮游动物种类结构组成变化

通过比较2010年9月<sup>[22]</sup>、2013年9月<sup>[23]</sup>、2016年11月<sup>[24]</sup>和2019年11月4次秋季在日照港岚山港区附近海域浮游动物的调查结果,对其生物种类组成变化进行分析(图4),结果表明日照港岚山港区附近海域发现的浮游动物在种类组成上较为稳定,4次调查均出现的种类有腔肠动物、节肢动物、毛颚动物、被囊动物和其他幼虫;种类数量上,2010年、2016年和2019年出现6类,2013年出现5类;各种类所占比例方面,除2016年外调查海域浮游动物群落均保持节肢动物所占比例最大、其他幼虫为次的基本群落结构比例特征。2010—2016年,节肢动物所占比例逐年下降,2019年回升至2010年水平;腔肠动物所占比例逐年上升,2019年比例下降。可见节肢动物与腔肠动物的比例呈现典型的负相关关系,这可能是由于腔肠动物的主要食物是海洋中的浮游动物<sup>[25]</sup>,以小的甲壳类、桡足类浮游动物为食,表现出捕食者—被捕食者的关系。

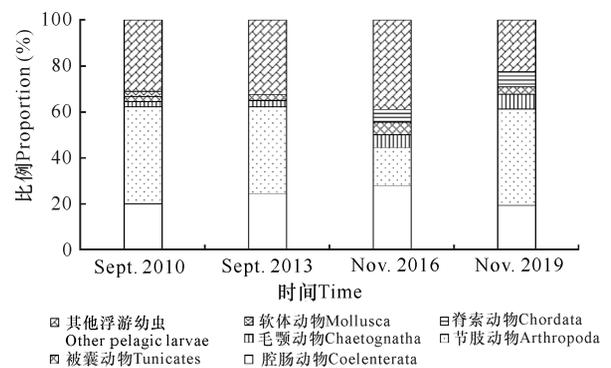


图 4 日照港岚山港区附近海域浮游动物各种类比例情况

Fig. 4 Species composition of zooplankton in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port

### 2.5.2 浮游动物种类数量、丰度、生物量及多样性指数变化趋势分析

从2010—2019年4次秋季调查结果分析,日照港岚山港区附近海域浮游动物种类数量、丰度、生物量及多样性指数呈现一定的波动(图5)。在种类数量上,2010年浮游动物种类最多,2016年最少,种类数量呈先降低后升高趋势。丰度方面,2010年浮游动

物丰度最高,2013年最低,丰度呈先降低后升高趋势。根据国家海域动态监视监测系统卫星遥感资料分析,2010—2016年调查海域围填海呈现快速增长的势头,2018年7月以后围填海工程全部停止。4次调查结果显示,2010—2016年浮游动物种类数量和丰度为下降趋势,2016—2019年为上升趋势,浮游动物种类数量和丰度在波动趋势上与所在海域围填海工程的建设进展存在一定的响应关系。另外2010年9月调查丰度远高于历年调查结果,与该年度调查中某几站位出现大量小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)有关,其丰度达 $69.2 \text{ ind/m}^3$ ,为该年度调查的优势种,导致该年度丰度高值。在浮游动物生物量上,2010年最低,2016年最高,呈现先升高后降低趋势,2016年11月调查平均生物量高达 $820 \text{ mg/m}^3$ ,远高于历年调查结果,分析原因可能是与该年度多个调查站位中出现大量的软拟海樽(*Dolioletta gegenbauri*)和长尾类幼体(*Macrura larva*)有关。海樽类是浮游动物总生物量的重要组成部分<sup>[26]</sup>,因此造成该年度调查浮游动物生物量高值的出现。2016年浮游动物多样性指数最高,2019年最低,多样性指数同样呈现先升高后降低趋势。2010—2016年调查海域围填海工程建设快速增长,同时生物量和多样性指数却为持续上升趋势,围填海进展与二者呈正相关关系,表明调查海域浮游动物生物量、多样性指数与调查海域围填海工程持续建设响应关系不明显。

围填海工程建设过程中,施工通常涉及各种船舶,并且根据工程需要进行基槽挖泥、港池和航道疏浚、护岸抛石乃至炸礁等海上施工作业。施工会导致工程区海域海水中悬浮物含量大量增加<sup>[27]</sup>,水体透明度和真光层厚度的下降,降低浮游植物生物量<sup>[28]</sup>,从而导致以浮游植物为食的浮游动物相应减少。有

表3 本次调查与其他调查结果的比较

Table 3 Comparison of this investigation results with other investigation results

调查海域 Investigation area	调查时间 Investigation time	采样网具类型 Type of sampling network	种类数量 Number of species	平均丰度 Average abundance ( $\text{ind/m}^3$ )	平均生物量 Average biomass ( $\text{mg/m}^3$ )	多样性指数 Shannon-Wiener index ( $H'$ )	数据来源 Data source
日照近岸 Rizhao nearshore	2019.11	浅水 I 型 Shallow water type I	31	35.8	66.0	1.61	本研究 This research
日照近岸 Rizhao nearshore	2016.8	浅水 II 型 Shallow water type II	36	148.4	442.0	1.11	[3]
连云港近岸 Lianyungang nearshore	2005.8	浅水 I 型 Shallow water type I	40	674.23	159.23	/	[16]
威海近岸 Weihai nearshore	2009.11	浅水 I 型 Shallow water type I	38	/	162.4	2.34	[31]

研究表明,围填海会造成浮游动物的种类数和栖息密度明显减少<sup>[29]</sup>,或处于下降状态<sup>[30]</sup>,但多样性指数却有所增加<sup>[29]</sup>,不能很好地指示围填海工程对生态环境的影响<sup>[30]</sup>,本研究结果与以上结论一致。

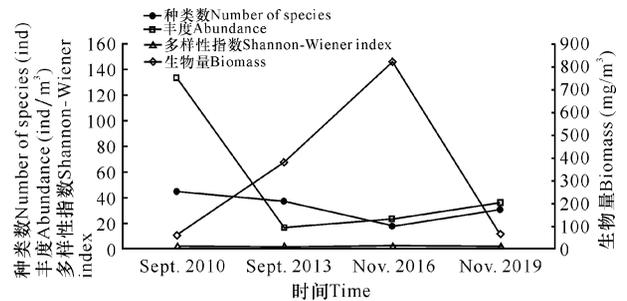


图5 日照港岚山港区附近海域浮游动物种类数、丰度、生物量和多样性指数变化情况

Fig. 5 Changes of number of species, abundance, biomass, Shannon-Wiener index of zooplankton in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port

## 2.6 与其他近岸海域调查结果的对比

将本研究调查结果与其他周边海域的调查结果进行比较(表3),结果表明本次调查浮游动物除多样性指数外,种类数量、平均丰度和生物量均低于周边海域调查结果。造成这种差异的原因有以下两点。(1)采样网具和站位布设不同:同样是在日照近岸海域调查,本文与于洋等<sup>[3]</sup>调查的浮游动物种类数量差别不大,但后者的调查采用浅水 II 型浮游生物网,该型网孔更小,小型浮游生物也被采集,因此造成平均丰度和生物量远高于本研究结果;另外站位布设不一致也造成结果有所差异。(2)地理位置和环境因素的差异:几次调查的季节不同,水文和水质条件有所差异;虽同属黄海近岸,但不同的地理位置,所处海域的海流流场等自然条件有所差异,因此导致调查结果不同。

### 3 结论

2019年11月日照港岚山港区附近海域调查共计发现浮游动物31种,分布属于节肢动物、腔肠动物、毛颚动物、被囊动物、脊索动物和其他幼体类,生物量(湿重)为15.2—117.8 mg/m<sup>3</sup>,丰度为16.4—69.2 ind/m<sup>3</sup>,多样性指数平均为1.61,多样性评价等级描述为多样性一般。综合分析2010—2019年4次秋季的调查数据,日照港岚山港区附近海域浮游动物种类组成比例及各项指数在一定范围内波动,随着围填海强度的增加,浮游动物种类数量和丰度有所减少;围填海工程停止后,该海域浮游动物种类数量和丰度出现略有升高趋势。

由于本研究所用调查资料缺乏年度连续性,下一步将增加调查频率,并优化调查站位的布设,从而更好地掌握日照港岚山港区附近海域浮游动物群落结构特征和变化趋势。同时,由于多方面的影响,应加强水质、绿潮以及水母暴发等方面的调查,全面而深入地分析浮游动物群落结构的变化,为了解日照港岚山港区附近海域海洋生态环境质量提供科学依据和数据支持。

#### 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,2008.
- [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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 杨璐,刘捷,张健,等. 渤海湾浮游动物群落变化及其与环境因子的关系[J]. 海洋学研究,2018,36(1):93-101.
- [6] 王欣欣,王宁,刘光兴,等. 春季刘公岛南部海域浮游生物群落特征[J]. 中国海洋大学学报,2019,49(6):55-63.
- [7] 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,(5):63-66.
- [8] 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.
- [9] 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):1319-1326.
- [10] 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. 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,2008.
- [11] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲆渔场的关系[J]. 生态学杂志,1989,8(4):13-15,19.
- [12] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949: 125.
- [13] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology [M]. New York: Wiley-Interscience, 1969: 1-286.
- [14] 陈清潮,黄良民,尹健强,等. 1994年秋季南沙群岛海区浮游动物多样性特征[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Ⅱ. 北京:海洋出版社,1996:38-43.
- [15] 刘光兴,房静,陈洪举. 2009年春季南黄海浒苔暴发区浮游动物群落特征[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2013,43(7):72-77.
- [16] 田慧娟,马培明,刘吉堂,等. 连云港近海浮游动物生态特征及其与环境的关系[J]. 海洋环境科学,2009,28(z1):35-38.
- [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.
- [18] 孙松,张芳,李超伦,等. 黄海小型水母的分布特征[J]. 海洋与湖沼,2012,43(3):429-437.
- [19] 陆家昌,姜发军,许铭本,等. 2015年冬季钦州湾浮游动物死体对海洋生态系统的影响[J]. 广西科学,2016,23(4):325-330.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 张绍萍. 日照港岚山港区30万吨级矿石码头工程海域使用论证报告书[R]. 青岛:国家海洋局北海预报中心,2011.
- [23] 赵玲. 日照港岚山区南作业一突堤通用货场陆域形成工程海域使用论证报告书[R]. 青岛:国家海洋局北海预报中心,2016.
- [24] 陈胜舰. 日照港岚山港区北作业区#1、#2多用途泊位工程海域使用论证报告书[R]. 青岛:国家海洋局北海预报中心,2017.
- [25] 孙松,于志刚,李超伦,等. 黄、东海水母暴发机理及其生态环境效应研究进展[J]. 海洋与湖沼,2012,43(3):401-405.

- [26] 徐兆礼,崔雪森,黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场浮游动物数量分布及与渔场的关系[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 515-521.
- [27] FILIPSSON H L, BJÖRKA G, HARLAND R, et al. A major change in the phytoplankton of a Swedish sill fjord—A consequence of engineering work? [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, 63(4): 551-560.
- [28] 徐兆礼,张凤英,陈渊泉. 悬浮物和冲击波造成的渔业资源损失量估算[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 778-784.
- [29] 于杰,陈作志,徐姗楠. 围填海对珠江口南沙湿地资源与生物资源的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 661-671.
- [30] 黄备,邵君波,周斌,等. 椒江口围填海工程对浮游动物的影响[J]. 生态科学, 2015, 34(4): 86-92.
- [31] 刘萍,宋洪军,傅明珠,等. 荣成湾毗邻海域浮游动物群落季节分布特征[J]. 海洋学报, 2013, 35(4): 168-175.

## Community Structure Characteristics of Zooplankton in the Sea Area near Lanshan Port of Rizhao Port in Autumn

ZHANG Liang<sup>1,2</sup>, SONG Chunli<sup>3</sup>, WANG Lan<sup>1,2</sup>, TAO Huihui<sup>1,2</sup>, ZHANG Haizhou<sup>1,2</sup>, PU Sichao<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong, 266061, China; 2. North China Sea Marine Forecasting Center of SOA, Qingdao, Shandong, 266061, China; 3. Qingdao Sci-tech Innovation Quality Testing Co., Ltd, Qingdao, Shandong, 266071, China)

**Abstract:** In order to know the status of zooplankton in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port in autumn, and to initially explore the relationship between the characteristics of zooplankton community structure and the reclamation project in this sea area, based on the investigation data in this area in November 2019, combined with the survey data in 2010, 2013, and 2016, the characteristics and changes of zooplankton community structure in the sea area were analyzed. In November 2019, a total of 31 zooplankton species were found in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port, with an average biomass (wet weight) of 66.0 mg/m<sup>3</sup> and an average abundance of 35.8 ind/m<sup>3</sup>. The plane distribution of zooplankton abundance and biomass in the investigation sea area was basically the same, generally showing a trend of high near shore, low far shore, low in the port area and high outside the port area. The dominant species of zooplankton were *Sagitta crassa*, *Obelia* spp. and *Muggiaea atlantica*. The range of diversity index of zooplankton in the investigation sea area was 0.41–3.01, with an average of 1.61. Based on the comprehensive analysis of the four autumn survey data from 2010 to 2019, the proportion of zooplankton species in the sea area near Lanshan Port of Rizhao Port fluctuated. The proportion of arthropod decreased first and then increased, the proportion of celerentate increased first and then decreased. The species number and abundance showed a trend of decreasing first and then increasing, while the biomass and diversity index showed a trend of increasing first and then decreasing. The species number and abundance of zooplankton in the survey area had a certain response relationship with the construction progress of reclamation project, but the response relationship between zooplankton biomass and diversity index and the sustainable construction of the reclamation project was not obvious.

**Key words:** Lanshan Port of Rizhao Port, zooplankton, community structure, diversity, dominant species, species composition