

绿潮暴发对浮游动物群落结构影响研究

于洋^{1,2}, 孟娜^{1,2}, 王建勇^{1,2}, 王尽文^{1,2}, 刘迎迎^{1,2}, 王珍珍²

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室 青岛 266061; 2. 国家海洋局北海预报中心 青岛 266061)

摘要: 本调查于2016年和2017年的5月、8月,对日照近岸海域浒苔暴发区进行了4个航次的浮游动物断面调查。4个航次中,2016年和2017年5月航次获得的种类数要明显低于同年8月航次,而平均丰度和湿重生物量均高于同年8月航次。造成这种情况的原因可能是调查海域8月浒苔暴发结束,浒苔的消亡过程会大量消耗营养盐,导致水体中营养盐含量下降,进而影响到其他浮游植物和浮游动物的生长。应用PRIMER软件中的单变量分析得到群落种数(S)、丰富度(d)、香农-威纳指数(Shannon-Weaner index)(H')和均匀度(J),从多样性指数分析可以看出,5月航次的生物多样性均劣于同年8月航次。不同年度相同季节航次中出现的优势种极其相似,而不同季节航次出现的优势种则大不相同。

关键词: 绿潮; 浮游动物; 丰度; 生物量; 多样性; 优势种

中图分类号: P76

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2019)03-0057-07

Impacts of Green Tide Outbreaks on Zooplankton Community Structure

YU Yang^{1,2}, MENG Na^{1,2}, WANG Jianyong^{1,2}, WANG Jinwen^{1,2},
LIU Yingying^{1,2}, WANG Zhenzhen²

(1. Key laboratory of Marine ecological environment and disaster prevention and mitigation in Shandong province, Qingdao 266061, China; 2. Beihai prediction center, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Abstract: In May and August of both 2016 and 2017, four voyages cross-sectional surgery of the zooplankton were conducted in coastal waters of Rizhao City, where Enteromorpha outbreaked. Among the four voyages, the numbers of types obtained in the voyages in May 2016 and 2017 were significantly lower than the voyages in August of the same year. However, the average abundance and wet weight biomass in May were higher than the August voyage in the same year. The reason was possibly related to the ending of Enteromorpha outbreaked in August of the sea area surveyed. The dying process of Enteromorpha consumed a lot of nutrients which led to a decrease in nutrient content in the water and finally affected the growth of other phytoplankton and zooplankton. By using univariate analysis in the PRIMER software, the community species (S), richness (d), Shannon-Weaner index (H') and evenness (J) were obtained. It could be concluded from the a-

收稿日期: 2018-09-18; 修订日期: 2019-02-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1402103); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金资助项目(201603).

作者简介: 于洋, 工程师, 研究方向为海洋环境监测与评价

analysis of diversity indexes that the biodiversity of the May voyage was inferior to the August voyage. The dominant species appearing in the same season voyages of different years were very similar, while the dominant species appearing of different season voyages were quite different.

Key words: Green tide, Zooplankton, Abundance, Biomass, Diversity, Dominant species

0 引言

浮游动物(Zooplankton)指生活在自由水域,自主游动能力较弱,主要靠随波漂流运动的小型动物^[1]。海洋浮游动物是海洋生态系统食物链中连接海洋浮游植物和游泳动物的中间环节,它的种类组成及丰度的变化会直接影响海洋生态系统中物质循环和能量流动的效率。

近 10 年来,在日照近岸海域暴发的绿潮主要是由于浒苔暴发性增殖引起的,浒苔的暴发会引起与其他海洋植物的营养竞争,从而影响海洋中的其他浮游植物;浒苔在消亡过程中会产生并释放大量化学物质,从而改变所在水域的理化环境,进而对其他的海洋生物产生影响。有研究表明,浒苔的暴发会降低海水透明度,导致水体缺氧,破坏海洋生物所生存的环境,改变该海域生物的群落结构,造成生物多样性的下降^[2]。

2007 年 6 月在我国黄海北部海域首次发现了大规模的绿潮^[3]。2008 年,大面积浒苔再次在该海域暴发,并对日照近岸海域产生较大影响。截至 2017 年 8 月,浒苔已在日照近岸海域连续暴发 10 年,每年 5 月底或 6 月初浒苔绿潮开始在山东日照至青岛沿海登陆,至 8 月完全消亡。

本研究对日照近岸海域浒苔暴发海域进行了 4 个航次的浮游动物断面调查,研究该海区浮游动物的种类数量、丰度、生物量、优势种以及群落结构,探讨浒苔暴发前后该海域浮游动物群落结构的变化情况,以及对浮游动物产生的生态影响。

1 材料与方法

1.1 调查海区与站位布设

本次调查在 2016 年、2017 年 5 月浒苔暴发之前和 2016 年、2017 年 8 月浒苔暴发之后,分别对日照近岸海域浒苔暴发区进行了 4 个航次的浮游动物断面调查。共设置了 9 个调查站位,调查海区及站位如图 1 所示。

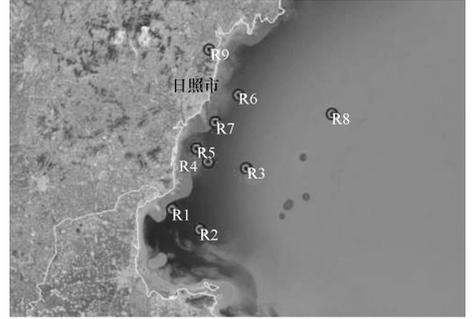


图 1 调查海区站位

1.2 样品采集、处理方法及数据收集

本次调查浮游动物样品的采集、保存以及分析依据《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)进行。样品用浅水 II 型浮游生物网自底至表垂直拖网采集,所获得样品立即用福尔马林溶液固定保存(终浓度为 5%)。样品带回实验室,进行种类鉴定、计数和生物量计算^[4]。

1.3 分析方法

1.3.1 丰度

浮游动物各种类丰度(abundance),用每立方米海水水体中的个体数(个/ m^3)表示。

$$C = \frac{n}{V}$$

式中: C 为某种类的丰度(个/ m^3); N 为该站位浮游动物某种类的个数(个); V 为该站位滤水量(m^3)。

1.3.2 优势种

用每个物种的优势度(Y)来确定优势种^[5]:

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中: Y 为优势度; n_i 为第 i 种的丰度; N 为所有种类的总丰度; f_i 为第 i 种出现的频率。

取 $Y > 0.02$ 的种类为优势种^[6]。

1.3.3 物种多样性

用 PRIMER 软件进行数据分析,得出浮游动物

的种数(S)、丰富度指数(d)、均匀度指数(J)和香农-威纳指数(Shannon-Weaner index)(H')。

种数即生物种类数量,指调查海域所获得的所有浮游动物种类的总数目。

丰富度指数用 Margalef's index 指数^[7],计算方法:

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

式中: N 为浮游动物的丰度。

香农-威纳指数^[8]的计算方法:

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

式中: P_i 为第 i 种个体在样品中的比例。

均匀度用 Pielou 指数^[9],计算方法:

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

浮游动物生物多样性分级评价采用陈清潮等^[10]提出的生物多样性阈值评价标准进行,具体评价标准见表1。

表1 生物多样性阈值评价标准

评价等级	I	II	III	IV	V
阈值(Dv)	<0.6	0.6~1.5	1.6~2.5	2.6~3.5	>3.5
分级描述	差	一般	较好	丰富	非常丰富

注: $Dv = H' \times J$

2 浮游动物种类组成、丰度和生物量分布

2.1 浮游动物种类组成

2016年5月航次,调查海域共获浮游动物24种,其中节肢动物10种,占浮游动物总种数的41.7%;浮游幼虫7种,占浮游动物总种数的29.2%;腔肠动物和毛颚动物各2种,各占浮游动物总种数的8.3%;尾索动物、仔鱼和鱼卵各1种,各占浮游动物总种数的4.2%。2016年8月航次,调查海域共获浮游动物36种,其中浮游幼虫14种,占浮游动物总种数的38.9%;节肢动物10种,占浮游动物总种数的27.8%;腔肠动物9种,占浮游动物总种数的25.0%;头索动物、毛颚动物和鱼卵各1种,各占浮游动物总种数的2.8%。

2017年5月航次,调查海域共获浮游动物22种,其中节肢动物12种,占浮游动物总种数的54.5%;浮游幼虫6种,占浮游动物总种数的

27.3%;被囊动物和毛颚动物各1种,各占浮游动物总种数的4.5%;仔鱼和鱼卵各1种,各占浮游动物总种数的4.5%。2017年8月航次,调查海域共获浮游动物43种,其中浮游幼虫16种,占浮游动物总种数的37.2%;节肢动物14种,占浮游动物总种数的32.6%;腔肠动物9种,占浮游动物总种数的20.9%;被囊动物、毛颚动物、鱼卵和仔鱼各1种,各占浮游动物总种数的2.3%。

两个年度的调查中发现调查海域5月航次获得的种类数要明显低于同年8月航次获得的种类数,这与左涛^[11]和王云龙等^[12]所得出的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的结论相一致。

2.2 浮游动物密度分布

2016年5月航次,调查海域浮游动物丰度波动范围为1324~10750个/ m^3 ,平均为4290个/ m^3 ,最高值出现在R1站,最低值出现在R8站;2016年8月航次,调查海域浮游动物丰度波动范围为60~4138个/ m^3 ,平均为1484个/ m^3 ,最高值出现在R1站,最低值出现在R8站;2017年5月航次,调查海域浮游动物丰度波动范围为2071~24667个/ m^3 ,平均为9819个/ m^3 ,最高值出现在R9站,最低值出现在R8站;2017年8月航次,调查海域浮游动物丰度波动范围为41~12188个/ m^3 ,平均为3843个/ m^3 ,最高值出现在R1站,最低值出现在R4站(图2)。

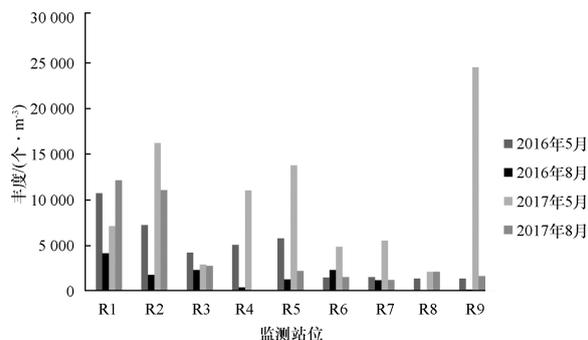


图2 4个航次调查站位浮游动物丰度示意图

在两个年度4个航次的调查中发现,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,这与左涛对黄海和东海浮游动物

的群落结构研究中指出的春季浮游动物丰度的高值区多出现在近岸,山东沿岸水域就存在一个高值区^[11]的结论相一致。造成这种状况的原因,应该与该海域8月处于浒苔暴发末期,浒苔开始下沉腐烂、分解,产生次生的有毒产物,使环境中的物理、化学以及生物因子发生剧烈的变化^[13-15]有关,这种环境的变化会在一段时间内对浮游动物的丰度产生影响。

2.3 浮游动物生物量分布

2016年5月航次,调查海域浮游动物湿重生物量的变动范围为1.001~19.727 g/m³,平均值为8.318 g/m³。最高值出现在R6站,最低值出现在R1站。2016年8月航次,调查海域浮游动物湿重生物量的变动范围为0.13~11.47 g/m³,平均值为4.42 g/m³。最高值出现在R4站,最低值出现在R8站。2016年5月航次浮游动物湿重生物量平均值高于2016年8月航次。

2017年5月航次,调查海域浮游动物湿重生物量的变动范围为0.078~2.062 g/m³,平均值为0.451 g/m³。最高值出现在R9站,最低值出现在R7站。2017年8月航次,调查海域浮游动物湿重生物量的变动范围为0.035~0.582 g/m³,平均值为0.156g/m³。最高值出现在R2站,最低值出现在R8站。2017年5月航次浮游动物湿重生物量平均值高于2017年8月航次。

3 浮游动物多样性和优势种分析

3.1 多样性分析

4个航次各站位的种数 S 、丰富度 d 、香农-威纳指数 H' 和均匀度 J 详见表2至表5。

2016年5月航次,调查区域浮游动物群落 d 的变动范围为0.46~0.85,平均值为0.65; H' 的变动范围为0.65~1.25,平均值为0.98; J 的变动范围为0.23~0.43,平均值为0.32; Dv 介于0.15~0.52之间,平均值为0.3。2016年8月航次,调查区域浮游动物群落 d 的变动范围为0.34~1.41,平均值为1.00; H' 的变动范围为0.23~2.02,平均值为1.11; J 的变动范围为0.07~0.60,平均值为0.32; Dv 介于0.02~1.21之间,平均值为0.5。

表2 2016年5月浮游动物多样性指数

站位	S	d	H'	J	Dv
R1	8	0.46	0.65	0.23	0.15
R2	6	0.61	0.83	0.26	0.22
R3	5	0.48	1.20	0.43	0.52
R4	14	0.73	1.15	0.35	0.40
R5	17	0.66	1.25	0.39	0.49
R6	5	0.64	0.98	0.33	0.32
R7	9	0.64	0.96	0.32	0.31
R8	11	0.80	1.02	0.31	0.32
R9	6	0.85	0.80	0.24	0.19
平均值	—	0.65	0.98	0.32	0.32

表3 2016年8月浮游动物多样性指数

站位	S	d	H'	J	Dv
R1	7	0.34	0.45	0.19	0.09
R2	16	1.20	1.42	0.37	0.53
R3	17	1.03	2.02	0.55	1.11
R4	12	1.05	0.69	0.21	0.14
R5	13	0.70	1.09	0.36	0.39
R6	11	0.77	2.01	0.60	1.21
R7	12	1.41	1.83	0.46	0.84
R8	23	1.19	0.23	0.07	0.02
R9	13	1.28	0.27	0.08	0.02
平均值	—	1.00	1.11	0.32	0.48

表4 2017年5月浮游动物多样性指数

站位	S	d	H'	J	Dv
R1	10	0.86	2.08	0.58	1.21
R2	15	0.79	0.67	0.19	0.13
R3	14	0.96	2.73	0.76	2.07
R4	12	0.60	1.74	0.55	0.96
R5	12	0.51	0.85	0.28	0.24
R6	8	0.80	1.45	0.42	0.61
R7	10	0.75	0.80	0.22	0.18
R8	13	0.65	2.01	0.63	1.27
R9	10	0.54	1.54	0.55	0.85
平均值	—	0.72	1.54	0.46	0.84

表 5 2017 年 8 月浮游动物多样性指数

站位	S	d	H'	J	Dv
R1	12	0.66	0.37	0.11	0.04
R2	12	1.04	1.92	0.49	0.94
R3	12	1.14	2.58	0.68	1.75
R4	9	2.06	3.08	0.86	2.65
R5	8	0.99	2.46	0.69	1.70
R6	11	0.66	2.19	0.73	1.60
R7	12	0.88	2.80	0.84	2.35
R8	9	1.09	2.23	0.60	1.34
R9	7	0.85	2.54	0.76	1.93
平均值	—	1.04	2.24	0.64	1.59

从浮游动物生物多样性阈值 D_v 来判断,2016 年 5 月航次的所有站位多样性评价等级均为 I 级;2016 年 8 月航次的 3 个站位出现了多样性评价等级为 II 级的情况,分别是 R3 站、R6 站和 R7 站;其他站位多样性评价等级均为 I 级。2016 年 5 月航次所有站位多样性评价等级较差是由某种浮游动物在各个站位中占绝对优势造成的,所有站位中优势种的丰度优势十分显著。除 R3 站外,其他站位中双毛纺锤水蚤(*Acartia bipinnata*)占各个站位总丰度的比例在 43.3%~90.6%之间;R3 站中小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)占站位丰度的比例为 77.8%。2016 年 8 月航次的多样性评价等级也为 I 级,多样性阈值 D_v 平均值略优于 5 月航次,各种

生物多样性指数均优于同年 5 月航次。

2017 年 5 月航次,调查区域浮游动物群落 d 的变动范围为 0.51~0.96,平均值为 0.72; H' 的变动范围为 0.67~2.73,平均值为 1.54; J 的变动范围为 0.19~0.76,平均值为 0.46; D_v 介于 0.13~2.07 之间,平均值为 0.8。2017 年 8 月航次,调查区域浮游动物群落 d 的变动范围为 0.66~2.06,平均值为 1.04; H' 的变动范围为 0.37~3.08,平均值为 2.24; J 的变动范围为 0.11~0.86,平均值为 0.64; D_v 介于 0.04~2.65 之间,平均值为 1.6。

从浮游动物生物多样性阈值 D_v 来判断,2017 年 5 月航次的多样性阈值 D_v 平均值为 0.8,多样性评价等级为 II 级;2017 年 8 月航次的多样性阈值 D_v 平均值为 1.6,多样性评价等级为 III 级。2017 年 8 月航次的多样性评价等级明显优于 5 月航次,各种生物多样性指数平均值均优于同年 5 月航次。

2016 年和 2017 年 8 月航次的生物多样性均优于同年 5 月航次,这与历年来的历史调查资料所得出的调查海域浮游动物生物多样性夏、秋季节优于冬、春季节的结论相一致。2017 年两个航次的多样性指数平均值均明显优于 2016 年同期航次,原因应该与 2017 年调查海域所受浒苔绿潮影响程度较 2016 年有所减小有关。

3.2 浮游动物优势种分析

调查海域各航次浮游动物优势种详见表 6。

表 6 各航次浮游动物优势种及优势度

优势种名	拉丁名	优势度			
		2016.05	2016.08	2017.05	2017.08
双毛纺锤水蚤	<i>Acartia bipinnata</i>	0.626		0.761	
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	0.164		0.076	0.304
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	0.046		0.027	
瓣鳃类幼体	Lamellibranchiata larva		0.507		0.040
肥胖三角溞	<i>Evadne tergestine</i>		0.150		
桡足类幼体	Copepoda larva		0.060		0.043
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>		0.021		0.043
腹针胸刺水蚤	<i>Centropages abdominalis</i>			0.049	
近缘大眼剑水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>				0.034
藪枝鳃水母	<i>Obelia</i> spp.				0.227

双毛纺锤水蚤在2016年5月航次成为优势度最大的优势种,优势度为0.626,其总丰度值达到27 208个/m³,各站平均丰度为3 023个/m³,占浮游动物总丰度的70.5%;瓣鳃类幼体在2016年8月航次中成为优势度最大的优势种,优势度为0.507,其总丰度值6 764个/m³,各站平均丰度为752个/m³,占浮游动物总丰度的50.7%。双毛纺锤水蚤在2017年5月航次成为优势度最大的优势种,优势度为0.761,其总丰度值达到67 208个/m³,各站平均丰度为7 468个/m³,占浮游动物总丰度的76.1%;小拟哲水蚤在2017年8月航次中成为优势度最大的优势种,优势度为0.304,其总丰度值10 524个/m³,各站平均丰度为1 169个/m³,占浮游动物总丰度的30.4%。

通过表6可以看出,5月航次的2次调查结果中,双毛纺锤水蚤都占绝对优势,而且优势度明显高于其他优势种。8月航次的2次调查结果中,优势种开始出现瓣鳃类幼体等浮游幼虫,这与调查海域所在纬度有直接关系,调查海域所在纬度5月为春季,8月为夏季。在调查海域,5月为大量鱼卵和仔稚鱼出现的季节,8月为大量海洋生物幼虫出现的季节。这样的监测结果与所调查海域的海洋生物生活史情况相吻合。

4 生物群落划分

根据调查海域调查站位的物种组成,使用Cluster聚类分析分别对4个航次9个采样站点所有浮游动物进行群落划分(图3至图6)。通过群落聚类分析可以看出,在40%的相似性处可将2016年5月航次各站点分为3个组群:组群I为R3站点,组群II为R6、R7、R8和R9站点,组群III为R1、R2、R4和R5站点;在40%的相似性处可将2016年8月航次各站点分为4个组群:组群I为R8和R9站点,组群II为R1站点,组群III为R4站点,组群IV为R2、R5、R7、R3和R6站点;在40%的相似性处可将2017年5月航次各站点分为2个组群:组群I为R9、R2、R5、R4、R1和R7站点,组群II为R3、R6和R8站点;在40%的相似性处可将2017年8月航次各站点分为4个组群:组群I为R4站点,组群II为R7、R6、R8、R3、R5和R9站点,组群III为R1站

位,组群V为R2站点。

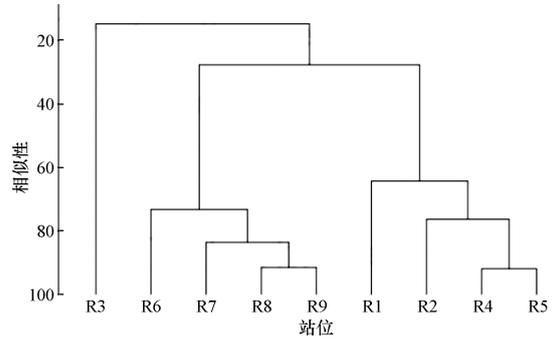


图3 2016年5月航次的Cluster聚类分析

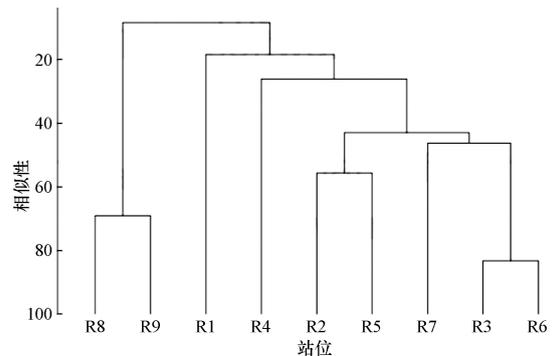


图4 2016年8月航次的Cluster聚类分析

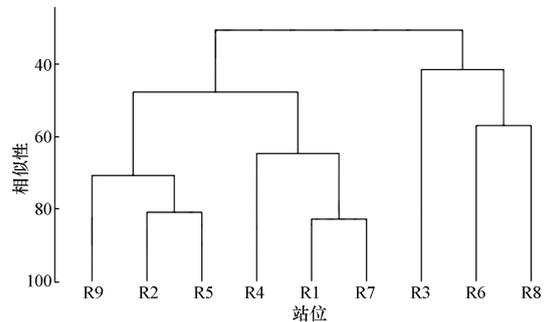


图5 2017年5月航次的Cluster聚类分析

5 结论

从调查海域浮游动物种类组成来看,5月航次的种类数均明显少于8月航次调查获得的种类数,主要是由于8月航次调查正值夏季,调查海域中冷水团的存在使得环境因子(温度、盐度)的水平分布和垂直分布不均匀,并且8月正值调查区域的雨季,沿岸径流的增加带来大量的营养盐,有利于浮游动物的生长,因此8月航次调查的浮游动物的种类比5月航次更加丰富。4个调查航次所获得的浮游动

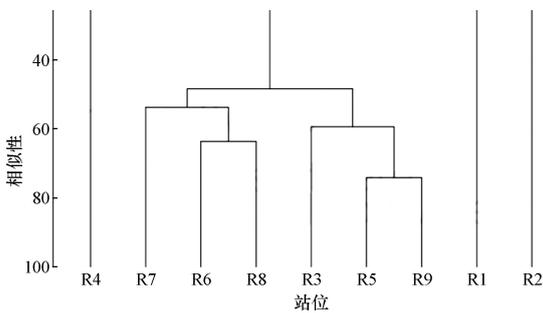


图6 2017年8月航次的Cluster聚类分析

物中节肢动物和浮游幼虫占有数量优势,两个类群共占各航次总种类数的66.7%以上,5月航次的种类中均以节肢动物为主,占浮游动物总种数的41.7%以上,8月航次的种类中均以浮游幼虫为主,占浮游动物总种数的37.2%以上。

从调查海域浮游动物丰度和湿重生物量分析来看,5月航次的平均丰度均高于同年度8月航次的平均丰度。5月航次的平均湿重生物量均高于同年度8月航次的平均湿重生物量。造成这种情况的原因可能是调查海域8月正值浒苔暴发结束,浒苔暴发后浒苔的消亡过程会大量消耗营养盐,导致水体中营养盐含量下降^[16],进而影响到其他浮游植物和浮游动物的生长,尤其是在这一时间段内对其丰度影响较为明显。

从浮游动物生物多样性阈值 D_v 来判断,两个调查年度8月航次的生物多样性指数均优于5月航次。这与历年来的历史调查资料所得出的调查结论相一致。

本次调查中,5月航次出现的优势种均为桡足类,主要有双毛纺锤水蚤、小拟哲水蚤、中华哲水蚤和腹针胸刺水蚤;8月航次出现的优势种主要有瓣鳃类幼体、小拟哲水蚤、蕈枝螭水母、肥胖三角溞、强壮箭虫、桡足类幼体和近缘大眼剑水蚤。由于季节差别,不同季节航次中出现的优势种存在较大差异。

通过群落聚类分析可以看出,在40%的相似性处,可将2016年5月航次各站位分为3个组群;可将2017年5月航次各站位分为2个组群;可将2016年8月航次各站位分为4个组群;可将2017年8月航次各站位分为4个组群。

参考文献

- [1] 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[M].北京:海洋出版社,1984.
- [2] MCGLATHERY K J. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters[J]. *Journal of Phycology*, 2001, 37(6): 453-456.
- [3] 李大秋,贺双颜,杨倩,等.青岛海域浒苔来源与外海分布特征研究[J]. *环境保护*, 2008, 40(16): 45-46.
- [4] 于洋,刘迎迎,王建勇,等.日照近岸海域浒苔暴发区浮游植物调查研究[J]. *海洋开发与管理*, 2017, 34(11): 74-78.
- [5] 孙儒泳.动物生态学原理[M].第二版.北京:北京师范大学出版社,1992:356-357.
- [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鲆渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13-15.
- [7] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. *International Journal of General Systems*, 1958, 3(1): 36-71.
- [8] SHANNON C E, WIENER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana, Illinois: The University of Illinois Press, 1949: 125.
- [9] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley Interscience, 1969: 1-286.
- [10] 陈清潮,黄良民,尹健强.南沙群岛海区浮游动物多样性研究[M].北京:海洋出版社,1994:42-50.
- [11] 左涛.东黄海浮游动物群落结构研究[D].青岛:中国科学院研究生院,2003.
- [12] 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.
- [13] VIAROLI P, BARTOLI M, BONDAVALLI C, et al. Macrophyte communities and their impact on benthic fluxes of oxygen, sulphide and nutrients in shallow eutrophic environments[J]. *Hydrobiologia*, 1996, 329: 105-119.
- [14] DEN HARTOG C. Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*[J]. *Aquatic Botany*, 1994, 47: 21-28.
- [15] NELSON T A, NELSON A V, TJOELKER M. Seasonal and spatial patterns of "green tides" (Ulvoid algal blooms) and relates water quality parameters in the coastal waters of Washington State, USA[J]. *Botanica Marina*, 2003b, 46: 263-275.
- [16] 秦玉涛.南黄海绿潮分布区浮游植物的生态特征[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(3): 394-397.