

南黄海浮游动物群落结构研究

陈学超¹, 朱丽岩¹, 黄 瑛², 巩文静¹, 郝 雅¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 农业部渔业遥感科学观测实验站, 北京 100141)

摘要: 根据 2014 年春、秋季南黄海 16 个站位的生物样品进行了浮游动物群落结构研究。共鉴定出 99 种浮游动物, 其中春季 68 种, 秋季 78 种。除浮游幼虫外, 种类较多的类群是桡足类(34 种, 占总种类数的 34.3%)、水螅水母(13 种, 13.1%)和端足类(5 种, 5.0%)。春季优势种为夜光虫($Y=0.2597$)、桡足幼体($Y=0.1353$)、拟长腹剑水蚤($Y=0.0608$)和伪长腹剑水蚤($Y=0.0224$), 秋季时桡足幼体($Y=0.3359$)、伪长腹剑水蚤($Y=0.1157$)、强额拟哲水蚤($Y=0.0533$)、桡足类无节幼虫($Y=0.0514$)和拟长腹剑水蚤($Y=0.0410$)是优势种。春季浮游动物平均生物量为 $1\ 555.1\ \text{mg}/\text{m}^3$, 秋季为 $425.8\ \text{mg}/\text{m}^3$ 。春季平均丰度为 $9\ 551.4\ \text{个}/\text{m}^3$, 秋季为 $2\ 103.7\ \text{个}/\text{m}^3$ 。秋季香农-威纳指数、丰富度和均匀度结果皆比春季的高。浮游动物生物量与温度和水深相关性更高; 丰度和温度相关性最高, 其次和水深相关。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 优势种; 环境因子; 南黄海

中图分类号: G633.91 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)10-0041-09

DOI: 10.11759/hyxx20160428005

浮游动物是海洋生物的主要类群之一, 在海洋生态系统中处于食物链的中间环节, 参与海洋物质循环和能量流动过程。浮游动物常被选作生物指示种用于海洋研究, 这是因为其生物特性有助于揭示海流、水团及海洋气候变化规律。浮游动物生物量大小在鱼类补充过程中充当着一个重要角色, 特别是中小型桡足类, 因为其生命周期短、产量高、繁殖快、粒度小的特征契合了许多经济鱼类仔稚鱼期开口饵料的要求^[1]。浮游动物群落结构调查还与海洋资源开发、生态环境维护有密切关系。所以, 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。

南黄海是中国重要的陆架边缘海, 之前已有很多学者将研究重点放在这里^[2-6], 但以往对南黄海较广海域多季浮游动物群落结构情况的报导较少, 且水深与浮游动物生物量和丰度的相关性和拟合度的研究也不多。本研究通过对春秋两季南黄海较广海域的浮游动物及相关环境因子的调查, 分析了浮游动物群落结构组成及两季间异同, 并关注了中小型浮游动物, 讨论了环境因子对浮游动物生物量、丰度的影响, 以期提供南黄海春秋两季浮游动物的更多数据, 讨论水深在与浮游动物生物量和丰度的相关性和拟合度方面与温度和盐度的异同, 为后续相关生态研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 采样水域及方法

采样水域位于南黄海, 共设 16 个站位(图 1)。

现场调查时间分别为 2014 年春季的 4 月 28 日至 5 月 3 日和 2014 年秋季的 11 月 8 日至 11 月 14 日。调查船为“东方红 2”号海洋综合调查船。调查方法参照《海洋监测规范》(GB12763.6-2007)进行, 采用中型浮游生物网(网口内径 50 cm, 筛绢孔径近似值为 0.16 mm, 网长 280 cm)垂直拖网收集浮游动物, 样品立即固定于 5%福尔马林海水溶液中, 实验室内称重、分类鉴定和计数^[7]。在显微镜下鉴定浮游动物到最小分类单位。水温、盐度和水深数据由 CTD 现场测得。浮游动物生物量为固定后样品的湿质量(mg/m^3), 丰度为每立方米海水中存在的浮游动物个体数($\text{个}/\text{m}^3$)。

收稿日期: 2016-12-08; 修回日期: 2017-02-11

基金项目: 中国水产科学研究院农业部渔业遥感科学观测实验站开放基金项目(OFSOESFRS201508); 国家自然科学基金项目(31172412, 31572621)

[Foundation: Foundation of Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Remote Sensing, Ministry of Agriculture, No.OFSOESFRS201508; National Natural Science Foundation of China, No.31172412, No. 31572621]

作者简介: 陈学超(1990-), 男, 山东青岛人, 硕士, 从事海洋浮游动物生态研究, E-mail: chenxc0319@qq.com; 朱丽岩, 通信作者, E-mail: Lyzhu@ouc.edu.cn

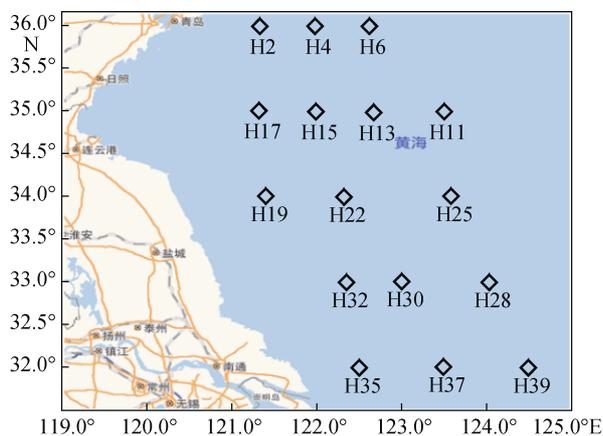


图 1 站位分布图

Fig. 1 Map of sampling station locations

1.2 数据处理

多样性指数采用香农-威纳指数(H')^[8]。均匀度采用 Pielou 均匀度(J), 均匀度的大小可反映群落中各种类丰度的差异程度^[9]。丰富度采用 Margalef 丰富

度(d)^[10-11]。

当优势度 $Y > 0.02$ 时, 定义该种为优势种^[12]。

浮游动物生物量和丰度平面分布图使用 Surfer8.0 软件制作。浮游动物生物量、丰度与环境因子相关性(Spearman)使用 SPSS17.0 软件计算。环境因子经过无量纲标准化处理消除单位的影响后, 使用最小二乘法分别与相应生物量和丰度值进行拟合, 得到回归曲线。

2 结果

2.1 浮游动物种类组成及优势种

两季共鉴定出浮游动物 99 种, 除浮游幼虫外(24 种, 占总种数的 24.2%), 桡足类(34 种, 34.3%)、水螅水母(13 种, 13.1%)、端足类(5 种, 5.0%)、毛颚动物(4 种, 4.0%)、被囊类(4 种, 4.0%)和糠虾类(3 种, 3.0%)种类数较多。

春季和秋季各鉴定出浮游动物 68 种和 78 种(图 2)。两季皆出现的浮游动物有 47 种(表 1)。

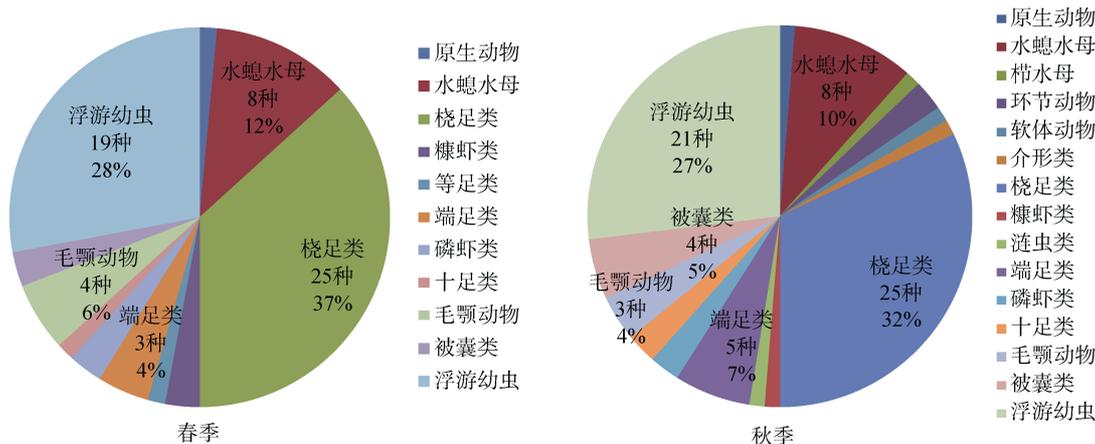


图 2 两季浮游动物组成

Fig. 2 Taxon components of zooplankton species numbers

春季优势种(类)为夜光虫($Y=0.2597$)、桡足幼体($Y=0.1353$)、拟长腹剑水蚤($Y=0.0608$)和伪长腹剑水蚤($Y=0.0224$)。秋季优势种为桡足幼体($Y=0.3359$)、伪长腹剑水蚤($Y=0.1157$)、($Y=0.0533$)、桡足类无节幼虫($Y=0.0514$)和拟长腹剑水蚤($Y=0.0410$)。优势种出现频率及对总丰度的贡献见表 2。

2.2 浮游动物生物量

春季浮游动物平均生物量为 1555.1 mg/m^3 , 秋季平均生物量比春季的低, 为 425.8 mg/m^3 , 两季生物量平面分布见图 3。

春季, 南黄海浮游动物生物量平面分布主要趋

势是近岸高于离岸距离较远的区域, 北部高于南部。另外, 本次调查在南黄海南部有一个生物量高值区。

秋季, 生物量高值区南移且不明显, 近岸海域生物量稍高于离岸距离较远的区域, 整个南黄海生物量分布相对均匀。北部断面的生物量变化不明显, 中部和南部断面的生物量随离岸距离增加呈现逐渐降低的趋势且 H32 站所在断面生物量最低。

2.3 浮游动物丰度

春季浮游动物平均丰度为 9551.4 个/m^3 , 秋季平均丰度比春季低, 为 2103.7 个/m^3 , 丰度平面分布见图 4。

表 1 春秋两季皆出现的浮游动物

Tab. 1 Zooplankton species in both seasons

原生动物(Protozoa)	夜光虫 <i>Noctiluca scintillans</i>		
腔肠动物(Coelenterata)			
日本长管水母	<i>Sarsia nipponica</i>	五角水母	<i>Muggier atlantica</i>
拟细浅室水母	<i>Lensia subtiloides</i>		
桡足类(Copepoda)			
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	双毛纺锤水蚤	<i>A. bifilosa</i>
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>
强额拟哲水蚤	<i>P. crassirostris</i>	伪长腹剑水蚤	<i>O. fallax</i>
瘦拟哲水蚤	<i>P. gracilis</i>	短角长腹剑水蚤	<i>O. brevicornis</i>
驼背隆哲水蚤	<i>Acrocalanus gibber</i>	羽长腹剑水蚤	<i>O. plumifera</i>
汤氏长足水蚤	<i>Calanopia thompsoni</i>	近缘大眼剑水蚤	<i>Corycaeus affinis</i>
尖额唇角水蚤	<i>Labidocera acuta</i>	平大眼剑水蚤	<i>C. dahlia</i>
克氏纺锤水蚤	<i>Acartia clasi</i>	灵巧大眼剑水蚤	<i>C. catus</i>
端足类(Amphipoda)			
水母钳虫戎	<i>Hyperoche medusarum</i>	大眼蛮虫戎	<i>Lestrigonus macrophthalmus</i>
拟长脚虫戎	<i>Parathemisto gaudichaudi</i>		
磷虾类(Euphausiacea)	长额磷虾 <i>Euphausia diomedea</i>	太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i>	
十足类(Decapoda)	细螯虾 <i>Leptochala gracilis</i>		
毛颚动物(Chaetognatha)			
肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>	中华箭虫	<i>S. sinica</i>
强壮箭虫	<i>S. crassa</i>		
被囊类(Pelagic Tunicata)	长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>	异体住囊虫 <i>O. dioica</i>	
浮游幼虫(Pelagic larvae)			
多毛类幼体	Polychaeta larva	长尾类溞状幼体	Zoea larva(Macrura)
瓣鳃类幼体	Lamellibranchiata larva	长尾类幼体	Macrura larva
腹足类幼体	Gastropoda larva	短尾类溞状幼虫	Zoea larva (Brachyura)
软体动物面盘幼虫	Veliger larva	毛颚类幼体	Chaetognatha larva
蔓足类腺介幼虫	Cypris larva	海蛇尾长腕幼虫	Ophiopluteus larva
桡足类无节幼虫	Nauplius larva (Copepoda)	海蛇尾幼体	Ophiuroidea
桡足幼体	Copepoda larva	糠虾幼体	Mysidacea larva
端足类幼体	Amphipoda larva	仔稚鱼	Fish larva

表 2 优势种出现频率及对浮游动物总丰度的贡献

Tab. 2 Frequency of dominant species and its contribution to the total abundance of zooplankton

浮游动物	春季		秋季	
	出现频率(%)	对总丰度的贡献(%)	出现频率(%)	对总丰度的贡献(%)
夜光虫	37.5	67.0	26.7	1.1
强额拟哲水蚤	56.2	0.5	86.7	6.1
拟长腹剑水蚤	100.0	7.3	66.7	5.5
伪长腹剑水蚤	87.5	2.9	80.0	13.4
桡足类无节幼虫	87.5	1.4	46.7	9.4
桡足幼体	100.0	14.3	93.3	40.4

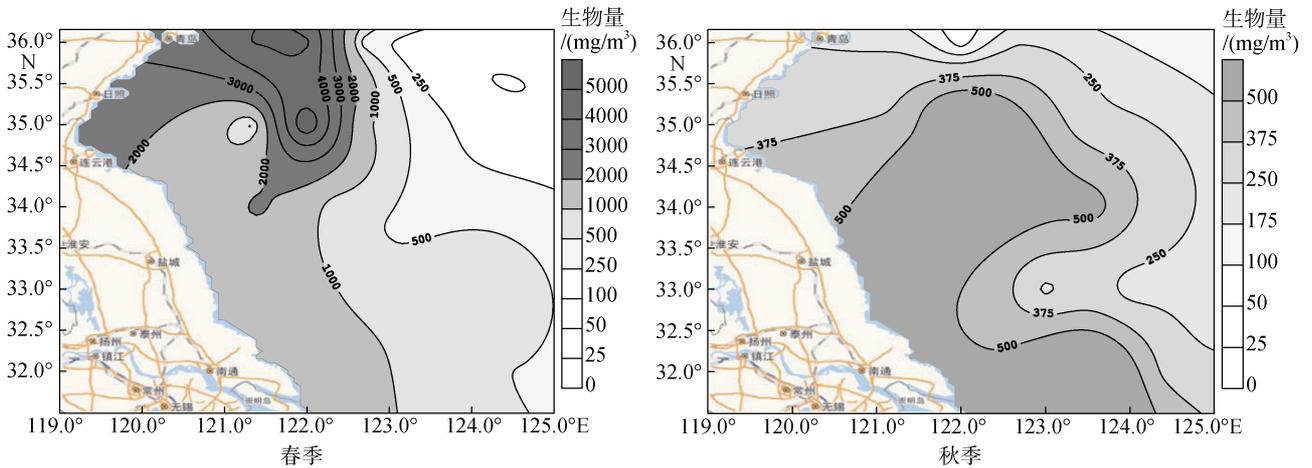


图3 浮游动物生物量平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of zooplankton biomass

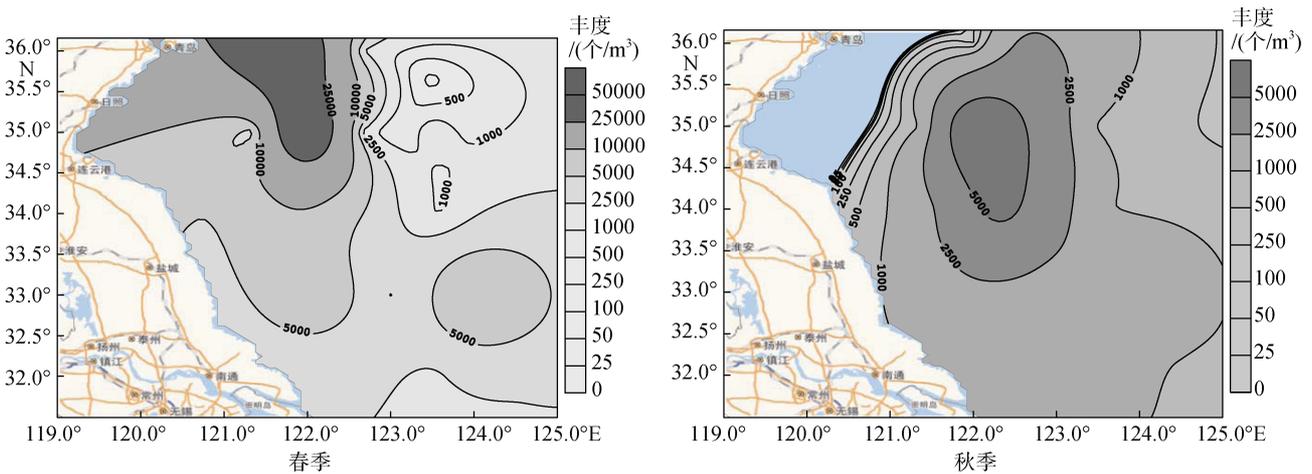


图4 浮游动物丰度平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of zooplankton abundance

春季, 浮游动物丰度平面分布情况与春季生物量分布情况相似, 另外, 本次调查在南黄海北部呈现丰度高值区和低值区相邻的情况, 高值区在近岸而低值区离岸距离较远。北部断面丰度随离岸距离增加逐渐降低, 相比之下, 中部和南部断面丰度变化不明显; 近岸区域随纬度降低丰度逐渐降低, 而离岸较远的区域丰度变化趋势相反。

秋季, 南黄海近中部有丰度高值区(33.75~35.25°N, 121.80~122.80°E), 由此向其他区域丰度逐渐降低。

2.4 香农-威纳指数 H' 、丰富度 d 和均匀度 J

春季香农-威纳指数 H' 平均值为 2.081, 最高值出现在 H25 站(3.138), 最低值在 H4 站(0.152)。秋季 H' 平均值比春季高, 为 2.593, 最高在 H15 站(3.333), 最低在 H32 站(1.155)。

春季丰富度 d 平均值为 1.969, 最高值为 H35 站(2.583), 最低值站位和 H' 最低值站位相同(H4=0.877)。秋季 d 平均值比春季高, 为 2.433, H30 站最高(3.839), H6 站最低(1.371)。

春季均匀度 J 平均值为 0.467, 最高和最低值站位和 H' 的情况相同(H25=0.704, H4=0.042)。秋季 J 平均值比春季高, 为 0.588, 最高为 0.800(H17), 最低为 0.259(H32)。

春季除 H17 站所在断面的 H' 和 J 、H32 站所在断面的 d 外, H' 、 d 和 J 均随离岸距离增加呈现先降低后增高的趋势, 秋季 H' 、 d 和 J 无明显变化趋势。

2.5 浮游动物生物量、丰度与环境因子的相关性和拟合度

浮游动物生物量与温度的相关系数为-0.274,

表 3 春秋两季浮游动物群落 H' 、 d 和 J

Tab. 3 Shannon–Wiener, Pielou, and Margalef indexes of zooplankton communities

站位	春季			站位	秋季		
	d	J	H'		d	J	H'
H2	2.029	0.078	0.369	H2	2.769	0.696	2.720
H4	0.887	0.042	0.152	H4	2.896	0.533	2.376
H6	2.324	0.580	2.693	H6	1.371	0.673	2.629
H11	2.499	0.594	2.794	H11	2.538	0.703	3.263
H13	1.881	0.652	2.820	H13	未采集		
H15	1.469	0.107	0.463	H15	2.148	0.718	3.333
H17	1.693	0.574	2.393	H17	1.851	0.800	3.270
H19	2.552	0.603	2.836	H19	1.870	0.499	2.041
H22	1.864	0.547	2.404	H22	1.897	0.690	3.030
H25	2.233	0.704	3.138	H25	1.883	0.783	3.327
H28	1.505	0.592	2.470	H28	2.131	0.546	2.436
H30	2.078	0.536	2.353	H30	3.839	0.347	1.796
H32	2.160	0.559	2.529	H32	2.336	0.259	1.155
H35	2.583	0.600	2.818	H35	3.343	0.469	2.302
H37	1.651	0.269	1.099	H37	2.443	0.466	2.134
H39	2.094	0.439	1.960	H39	3.179	0.633	3.077

$P=0.158$; 与盐度为 0.118 , $P=0.549$; 与水深为 -0.255 , $P=0.190$; 丰度与温度的相关系数为 -0.425 , $P=0.024 < 0.05$, 相关性显著; 与盐度为 0.005 , $P=0.978$; 与水深为 -0.216 , $P=0.269$ 。

H2、H4 和 H15 站)的水温、盐度、水深值经过无量纲标准化处理后,用最小二乘法分别与相应生物量和丰度值进行拟合(在指数、线性、对数、二次多项式和幂关系中选择 R^2 最大的数学关系),结果见图 5 和图 6。

将所有站位(除了春季夜光虫爆发的 3 个站位:

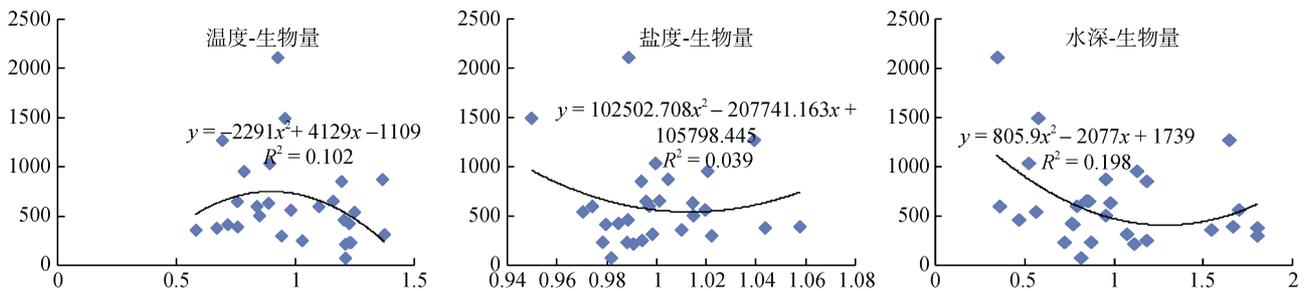


图 5 浮游动物生物量与各环境因子拟合

Fig. 5 Regression curves for zooplankton biomass vs. environmental factors

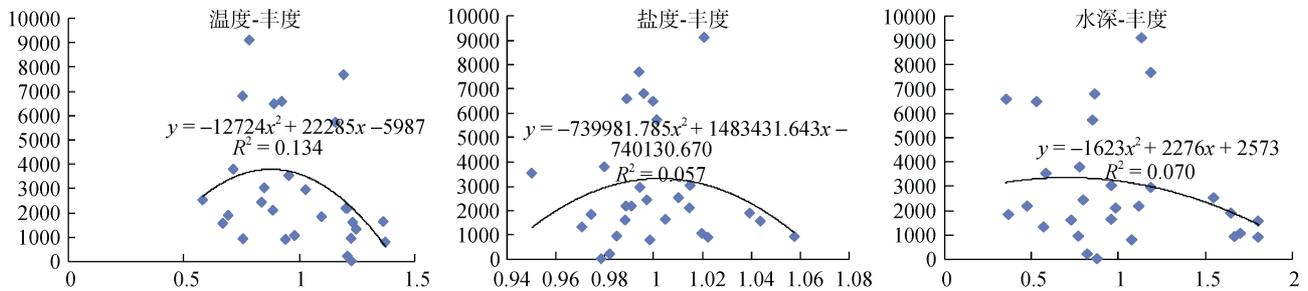


图 6 浮游动物丰度与各环境因子拟合

Fig. 6 Regression curves for zooplankton abundance vs. environmental factors

从图 5 和图 6 可知, 浮游动物生物量与环境因子拟合度(依据 R^2)由高到低为: 水深-生物量>温度-生物量>盐度-生物量, 丰度与环境因子结果为: 温度-丰度>水深-丰度>盐度-丰度。

3 讨论

3.1 浮游动物种类

春季鉴定出 68 种浮游动物, 秋季鉴定出 78 种。两季共有种中桡足类、浮游幼虫、水螅水母、端足类和毛颚动物种类较多。2000 年秋季和 2001 年春季黄海及东海大陆架浮游动物样品中桡足类、腔肠动物和毛颚动物种类多^[13], 春季南黄海样品中桡足类种类数最多^[14], 本文结果与之相似。

3.2 浮游动物优势种

春季, 夜光虫仅出现 6 站, 但其在 H2 站、H4 站和 H15 站的丰度极高(该 3 站夜光虫丰度贡献之和超过 60%)。刘瑞玉等^[15]提出春季黄海夜光虫丰度较高, 其赤潮大多数发生在 5 至 6 月, 这支持了本文春季的夜光虫结果。徐兆礼指出^[16]: 夜光虫丰度平面分布类似于中华哲水蚤, 因而夜光虫是暖温性近海种, 这和本文春季夜光虫高丰度站均为近岸站相对应。对于本文春季浮游动物优势度的计算, 若忽略个别站夜光虫爆发的影响, 则中华哲水蚤、羽长腹剑水蚤、异体住囊虫、近缘大眼剑水蚤和短角长腹剑水蚤也可以被定义为优势种。左涛等^[14]发现南黄海浮游动物优势种为中华哲水蚤和墨氏胸刺水蚤, 于雯雯等^[17]发现 2011 年春季南黄海辐射沙脊群浮游动物优势种为中华哲水蚤和真刺唇角水蚤, 因此, 中华哲水蚤是春季南黄海浮游动物群落中常见的优势种。另外, 根据本文结果, 春季中小型桡足类中优势性较强的类群为桡足幼体和长腹剑水蚤类。

本文秋季优势种为桡足幼体、伪长腹剑水蚤、强额拟哲水蚤、桡足类无节幼虫和拟长腹剑水蚤, 孙松等^[18]发现 2004 年秋季胶州湾优势种为短角长腹剑水蚤、太平洋纺锤水蚤、拟长腹剑水蚤、异体住囊虫、近缘大眼剑水蚤和强壮箭虫, 说明秋季南黄海及周围海域体形较小的浮游动物(特别是小型哲水蚤和剑水蚤)比体形较大的更有优势。

3.3 浮游动物生物量和丰度

全站平均生物量方面, 秋季约为春季的一半, 这与于雯雯等^[17]测得的生物量春季高秋季低相同。本文春季各站生物量数据中存在极值, 即生物量平

面分布不均匀。

2005 年春季南黄海沿岸浮游动物平均生物量为 156 mg/m^3 ^[19], 相比之下, 本文因对体形较小的桡足类的关注而采集到了更多体形较小的浮游动物, 如夜光虫、剑水蚤类和相关的浮游幼虫, 这使得本次调查的平均生物量比以往高, 提供了南黄海浮游动物生物量新数据。

本次调查春季浮游动物平均丰度为 $9\ 551.4 \text{ 个/m}^3$, 但 16 个站位中仅 3 个站的平均丰度高于该值, 说明丰度在各站间分布不均匀。秋季平均丰度比春季的低, 为 $2\ 103.7 \text{ 个/m}^3$ (为春季的 22%, 忽略春季夜光虫爆发的影响后约为春季的 40%)。春季黄海及东海大陆架浮游动物平均丰度为 $9\ 271 \text{ 个/m}^2$, 秋季为 $6\ 018 \text{ 个/m}^2$ ^[13], 另一研究测得春季黄海及东海大陆架浮游动物平均丰度为 $20\ 395 \text{ 个/m}^2$ ^[14], 若上述 3 个丰度数据的单位换算为 个/m^3 (即结合相应绳长或水深数据), 则和本文的丰度结果在同一数量级, 说明本文丰度数据具有一定可信度。

王荣等^[20]调查得到秋季黄海中部浮游动物平均丰度为 $4\ 096 \text{ 个/m}^3$, 并且提出国内有关浮游动物的资料几乎全部基于大型浮游生物网采集的样品, 中型网利用率不高, 这可能导致结果不全面。本文中王荣等的调查相对应的站位得到了相似的丰度数据。与之前的研究相比, 本文采样水域更广, 因此本文可以提供南黄海更广水域浮游动物丰度数据。

3.4 香农-威纳指数 H' 、丰富度 d 和均匀度 J

春季各站香农-威纳指数 H' 数据中存在极低值, H2、H4 和 H15 站均低于 0.5(3 个站位均有夜光虫爆发), $H' \geq 2.0$ 的站位共 11 个(其中超过 3.0 的 1 个), $H' < 1.0$ 的 3 个; 秋季, $H' \geq 2.0$ 的站位共 13 个(其中超过 3.0 的 6 个), 无 $H' < 1.0$ 的站位。根据丰富度: 春季, $d \geq 2.0$ 的站位 9 个, $d < 1.0$ 的站位 1 个; 秋季, $d \geq 2.0$ 的站位 10 个(其中超过 3.0 的 3 个), 无 $d < 1.0$ 的站位。春季个别站位夜光虫爆发造成其均匀度极低, 进而使整体物种分布均匀性降低, 这是最终春季均匀度均值比秋季低的主要原因。

3.5 浮游动物生物量、丰度与环境因子的相关性

陈亚瞿等^[21]提出与南黄海鲑鳕鱼索饵场浮游动物生物量和丰度相关的环境因子是温度和营养盐, 王晓等^[22]提出与夏季南黄海浮游动物生物量、丰度显著相关的因子是表底水温、底盐和叶绿素。因此

本文对于环境因子的研究选取了温度和盐度, 另外还增加了水深, 目的是比较水深在与浮游动物生物量和丰度的相关性方面与温盐的异同。

本文浮游动物生物量与温度、水深的相关性大于与盐度的相关性, 而浮游动物丰度和温度的相关性最高, 其次和水深相关。温度、盐度和水深 3 个因子中与浮游动物生物量拟合度最高的是水深, 虽然 R^2 不高, 但水深比温盐更适合推测浮游动物生物量。

关于浮游动物生物量、丰度与水深的关系性的研究, 已报导的并不多: 吴利等^[23]提出水深是与西凉湖浮游动物群落结构相关性较强的因子($P < 0.05$); 春季小鹤立水库浮游动物丰度与水深呈显著正相关^[24], Tavernini 等^[25]也发现相似结果; 杜明敏等^[26]发现中国近海浮游动物丰度与水深存在相关关系; 水深对博斯腾湖浮游甲壳类的影响仅次于温度和浊度的影响^[27]; 乌伦古湖浮游甲壳动物中的枝角类幼体、剑水蚤丰度与水深呈正相关关系^[28]。水深与浮游动物生物量和丰度是否有更深联系需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Tang Qisheng, Su Jilan. Zhong Guo Hai Yang Sheng Tai Xi Tong Dong Li Xue Yan Jiu Guan Jian Ke Xue Wen Ti Yu Yan Jiu Fa Zhan Zhan Lue[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [2] 孟凡, 丘建文, 吴宝铃. 黄海大海洋生态系的浮游动物[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 30-37.
Meng Fan, Qiu Jianwen, Wu Baoling. Zooplankton of the Yellow Sea large marine ecosystem[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1993, 11(3): 30-37.
- [3] 潘俊, 于非, 李超伦, 等. 基于 LOPC 的夏季南黄海 35°N 断面浮游动物水平和垂直分布初探[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 938-945.
Pan Jun, Yu Fei, Li Chaolun, et al. Using laser optical plankton counter to examine size and abundance of zooplankton in Summer at 35°N[J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 2014, 45(5): 938-945.
- [4] 王亮, 李超伦, 于非. 冬季南黄海浮游动物群落结构及其对黄海暖流的指示[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 853-859.
Wang Liang, Li Chaolun, Yu Fei. Zooplankton community structure in the South Yellow Sea in Winter and indication of the Yellow Sea Warm Current[J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 853-859.
- [5] 熊瑛, 王云龙, 汤建华, 等. 黄海南部大型水母暴发区中小型浮游动物生态特征[J]. 生态学杂志, 2009, (10): 2063-2068.
Xiong Ying, Wang Yunlong, Tang Jjianhua, et al. Ecological characteristics of meso-and micro-zooplankton in macro-jellyfish bloom areas of Southern Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, (10): 2063-2068.
- [6] 李建生, 严利平, 李惠玉, 等. 黄海南部、东海北部夏秋季小黄鱼数量分布及与浮游动物的关系[J]. 海洋渔业, 2007, (1): 31-37.
Li Jiansheng, Yan Liping, Li Huiyu, et al. On the relationship between quantity distribution of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) and zooplankton in Southern Yellow Sea and the Northern East China Sea in summer and autumn[J]. Marine Fisheries, 2007, (1): 31-37.
- [7] 国家标准化管理委员会. 海洋监测规范第 6 部分: 海洋生物调查 GB/T 12763-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Standardization Administration of China. Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [8] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949: 125.
- [9] Pielou E C. The measurements of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [10] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. Generation Systems, 1958, 3: 36-71.
- [11] 刘兴国, 徐皓, 朱浩, 等. 大莲湖水源地浮游动物和底栖动物的污染生物学特征与污染分析[J]. 水产学报, 2013, (4): 557-564.
Liu Xingguo, Xu Hao, Zhu Hao, et al. Pollution analysis and characteristics of pollution biology at Dalianhu water source based on zooplankton and benthos[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, (4): 557-564.
- [12] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲆渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, (04): 13-15.
Xu Zhaoli, Chen Yaqu. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in Autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Ecology, 1989, (4): 13-15.
- [13] 左涛, 王荣, 陈亚瞿, 等. 春季和秋季东、黄海陆架区大型网采浮游动物群落划分[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1531-1540.
Zuo Tao, Wang Rong, Chen Yaqu, et al. Net macro-zooplankton community classification on the shelf area of the East China Sea and the Yellow Sea in spring and autumn[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1531-

- 1540.
- [14] 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, (S1): 108-114.
Zuo Tao, Wang Ke, Wang Rong, et al. Multivariate analysis of zooplankton communities during spring in the southern part of Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, (S1): 108-114.
- [15] 刘瑞玉, 崔玉珩. 中国海岸带生物[M]. 北京: 海洋出版社, 1996, 116-123.
Liu Ruiyu, Cui Yuheng. Zhong Guo Hai An Dai Sheng Wu[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996, 116-123.
- [16] 徐兆礼. 长江口夜光藻(*Noctiluca scintillans*)年间变化和水域富营养化趋势[J]. 海洋与湖沼, 2009, (06): 793-798.
Xu Zhaoli. The inter-annual variations in *Noctiluca Scintillans* abundance and eutrophication in Changjiang estuary[J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 2009, (06): 793-798.
- [17] 于雯雯, 刘培廷, 张朝晖, 等. 南黄海辐射沙脊群浮游动物群落结构及季节变化[J]. 南京大学学报: 自然科学, 2014, (05): 706-714.
Yu Wenwen, Liu Peiting, Zhang Chaohui, et al.. Community structure and seasonal variation of the zooplankton in the radial sand ridge group region of the southern Yellow Sea[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 2014, (5): 706-714.
- [18] 孙松, 周克, 杨波, 等. 胶州湾浮游动物生态学研究. 种类组成[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 1-7.
Sun Song, Zhou Ke, Yang Bo, et al. Ecology of zooplankton in the Jiaozhoubay. Species composition[J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 2008, 39(1): 1-7.
- [19] 陈佳杰, 徐兆礼, 陈雪忠. 冬、春季黄海南部沿岸水域浮游动物[J]. 海洋渔业, 2008, (04): 327-332.
Chen Jiajie, Xu Zhaoli, Chen Xuezhong. Zooplankton in the Coastal waters of Southern Yellow Sea during winter and spring[J]. Marine Fisheries, 2008, (4): 327-332.
- [20] 王荣, 王克. 两种浮游生物网捕获性能现场测试[J]. 水产学报, 2003, (S1): 98-102.
Wang Rong, Wang Ke. Field test of capture capabilities of two plankton nets[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, (S1): 98-102.
- [21] 陈亚瞿, 徐兆礼. 南黄海、东海鲈鱼索饵场浮游动物生态特征[J]. 应用生态学报, 1990, 1(4): 327-332.
Chen Yaqu, Xu Zhaoli. Ecological characteristics of zooplankton in feeding ground of mackerel and scads from Southern Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Applied Ecology, 1990, 1(4): 327-332.
- [22] 王晓, 王宗灵, 蒲新明, 等. 夏季南黄海浮游动物分布及其影响因素分析[J]. 海洋学报: 中文版, 2013, 35(5): 147-155.
Wang Xiao, Wang Zongling, Pu Xinming. Analysis of the distribution of zooplankton in the Southern Yellow Sea in summer and its influencing factors[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(5): 147-155.
- [23] 吴利, 冯伟松, 张堂林, 等. 湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 619-625.
Wu Li, Feng WeiSong, Zhang TangLin, et al. The annual fluctuation of zooplankton community and its relation with environmental factors in Lake Xiliang, Hubei Province[J]. Journal of Lake Science, 2011, 23(4): 619-625.
- [24] 李秀媛, 于洪贤. 小鹤立河水库春季浮游动物群落特征及其与环境因子的相关性[J]. 水产学杂志, 2013, (01): 37-40.
Li Xiuyuan, Yu Hongxian. The community structure and environmental correlation of zooplankton in Xiaoheli River Reservoir during Spring[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2013, (1): 37-40.
- [25] Tavernini S, Mura G, Rossetti G. Factors influencing the seasonal phenology and composition of zooplankton communities in mountain temporary pools[J]. International review of Hydrobiology, 2005, 90(4): 358-375.
- [26] 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): 5407-5418.
Du Mingmin, Liu Zhensheng, Wang Chunsheng, et al. The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5407-5418.
- [27] 王松波, 薛庆举, 高光, 等. 新疆博斯腾湖浮游甲壳动物群落结构[J]. 湖泊科学, 2011, 23(6): 926-933.
Wang Songbo, Xue Qingju, Gao Guang, et al. Crustacean zooplankton community structure in Lake Bosten, Xinjiang[J]. Journal of Lake Science, 2011, 23(6): 926-933.
- [28] 杨丽丽, 周小玉, 刘其根, 等. 新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4468-4476.
Yang Lili, Zhou Xiaoyu, Liu Qigen, et al. Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4468-4476.

Community structure of the zooplankton in the Southern Yellow Sea

CHEN Xue-chao¹, ZHU Li-yan¹, HUANG Ying², GONG Wen-jing¹, HAO Ya¹

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Remote Sensing, Ministry of Agriculture, Beijing 100141, China)

Received: Dec. 8, 2016

Key words: Zooplankton; community structure; dominant species; environmental factors; Southern Yellow Sea

Abstract: In this study, we investigated the zooplankton community structure based on samples from the Southern Yellow Sea during spring and autumn. We identified a total of 99 species of zooplankton (78 species from the spring samples and 68 from the autumn samples). Apart from zooplankton larvae, there were 34 species of Copepods (34.3% of total), 13 species of Hydromedusae (13.1%), and five species of Amphipods (5.0%). We consider there to be four dominant species in spring—(*Noctiluca scintillans* ($Y = 0.2597$), Copepoda larva ($Y = 0.1353$), *Oithona similis* ($Y = 0.0608$), and *O. fallax* ($Y = 0.0224$))—and five in autumn—(Copepoda larva ($Y = 0.3359$), *O. fallax* ($Y = 0.1157$), *Paracalanus crassirostris* ($Y = 0.0533$), Nauplius larva (Copepoda) ($Y = 0.0514$), and *O. similis* ($Y = 0.0410$)). The average biomass of zooplankton during spring was $1\,555.1\text{ mg/m}^3$, which decreased to 425.8 mg/m^3 during autumn. The average abundance of zooplankton in spring was $9\,551.4\text{ ind/m}^3$, which decreased to $2\,103.7\text{ ind/m}^3$ in autumn. The autumn Shannon–Wiener, Pielou, and Margalef indexes were all higher than those in spring. The zooplankton biomass was relevant to either temperature or depth. Zooplankton abundance was most relevant to temperature, followed by depth.

(本文编辑: 梁德海)