

春季黄海WP2型网采浮游动物的群落特征

雷发灿^{1,2}, 李雨苑^{1,3}, 刘光兴^{1,2}, 庄昀筠^{1,2}, 陈洪举^{1,2}

(1.中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 2.青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266200; 3.国家海洋局 北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000)

摘要:利用 WP2 型浮游生物网于 2012 年 5 月在黄海采集浮游动物样品, 分析了该海域浮游动物的种类组成、丰度、优势种, 并结合环境因素分析了浮游动物的群落特征。研究海域共记录浮游动物成体 65 种, 浮游幼虫 27 类。浮游动物平均丰度 (不含夜光虫 (*Noctiluca scintillans*)) 为 (8109.5 ± 7585.0) ind./m³。与大型浮游生物网网采数据相比, WP2 型网采浮游动物平均丰度约高 1 个数量级。优势种以小粒径浮游动物为主, 主要包括夜光虫、拟长腹剑水蚤 (*Oithona similis*)、腹针胸刺水蚤 (*Centropages abdominalis*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、克氏纺锤水蚤 (*Acartia clausi*)、桡足类无节幼虫 (copepod nauplii) 和中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 等。根据 CLUSTER 聚类分析, 本文将研究海区浮游动物划分为东海近岸混合水群落、沿岸群落、黄海中部群落、北黄海群落, 群落划分结果与以往研究类似。

关键词: 黄海; 浮游动物; WP2 型浮游生物网; 群落结构; 生物多样性

中图分类号: Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2020)04-0585-08

Community characteristics of zooplankton sampled with WP2 net in the Yellow Sea in spring

LEI Fa-can^{1,2}, LI Yu-yuan^{1,3}, LIU Guang-xing^{1,2},
ZHUANG Yun-yun^{1,2}, CHEN Hong-ju^{1,2}

(1.Key Laboratory of Marine Environment and Ecology (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266100, China; 2.Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266200, China; 3.Marine Environmental Monitoring Center of Beihai, State Oceanic Administration, Beihai 536000, China)

Abstract: Community structure of zooplankton in the Yellow Sea was characterized based on the samples collected with a WP-2 plankton net (200 μ m mesh) in May, 2012. Species composition, abundance, dominant species of zooplankton were analyzed together with the environmental data. A total of 65 zooplankton species and 27 larvae taxa were identified in the study area. The mean abundance of zooplankton (excluding *Noctiluca scintillans*) is (8109.5 ± 7585.0) ind./m³, which was higher than that of zooplankton collected with coarse-meshed net (505 μ m mesh). The dominant species consisted mainly of the small zooplankton, including *N. scintillans*, *Oithona similis*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus*, *Acartia clausi*, *Calanus sinicus* and copepod nauplii. CLUSTER analyses grouped the zooplankton in the study area into 4 communities, including the East China Sea inshore mixed water community, the neritic community, the Yellow Sea central

收稿日期: 2019-03-26, 修订日期: 2019-05-21

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFA0601202); 国家自然科学基金项目 (41876156)

作者简介: 雷发灿 (1994-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向为海洋浮游生物生态学, Email: 957094615@qq.com

通讯作者: 陈洪举 (1982-), 男, 副教授, E-mail: hongjuc@ouc.edu.cn

community and the North Yellow Sea community. The clustering was in concert with the result of previous results.

Key words: Yellow Sea; zooplankton; WP2 plankton net; community structure; biodiversity

黄海是半封闭陆缘浅海,易受到大陆沿岸洋流、黄海暖流、黄海冷水团等影响,海洋生态环境错综复杂^[1]。该海区水质肥沃,是众多经济鱼虾类的产卵场和索饵场。浮游动物作为水域中鱼虾类和其他经济动物的重要饵料,其物种组成、数量分布及群落特征直接影响海洋渔业资源,在海洋渔业生产中有极其重要的地位^[2]。因此,浮游动物的研究对黄海渔业资源的合理开发利用至关重要。

国内学者已对黄海浮游动物开展了很多研究^[3-7],但这些研究多基于大型浮游生物网(网口面积 0.50 m²,筛绢孔径 505 μm)网采样品。大型浮游生物网可有效捕集大、中型浮游动物,而对于粒径较小的浮游动物,则捕获效率较低^[8],无法较为准确地表征小型浮游动物的分布特征^[9]。WP2 型浮游生物网是国际海洋浮游生物学研究中普遍使用的网型,能够有效地捕集粒径较小的浮游动物^[10],采用 WP2 型浮游生物网开展研究可以全面准确获取中小型浮游动物的群落结构特征。目前,国内学者采用 WP2 型浮游生物网进行浮游动物研究的报道较少^[11]。

本研究于 2012 年 5 月采用 WP2 型浮游生物网在黄海水域进行了浮游动物样品采集,分析了黄海浮游动物的种类组成、丰度、生物多样性等群落特征。本研究可为深入研究黄海浮游动物的长期变化和黄海海洋生态系统动态变化研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查海区与方法

2012 年 5 月 2 日至 15 日搭载“东方红 2”海洋调查船在黄海(120°20′34″E—124°32′53″E, 31°16′26″N—39°13′30″N)开展综合大面调查,共设置 57 个站位(图 1)。样品采用 WP2 型浮游生物网(网口面积 0.25 m²,筛绢孔径 200 μm)底表垂直拖网采集,并采用福尔马林海水溶液固定(终浓度 5%)。实验室内,浮游动物样品采用体

视显微镜(Leica S8APO)鉴定并计数。浮游动物样品的分析处理参照《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB/T12763.6-2007)。海水盐度、温度以及水深等环境参数由随船 CTD(Seabird 911 Plus)现场测定。

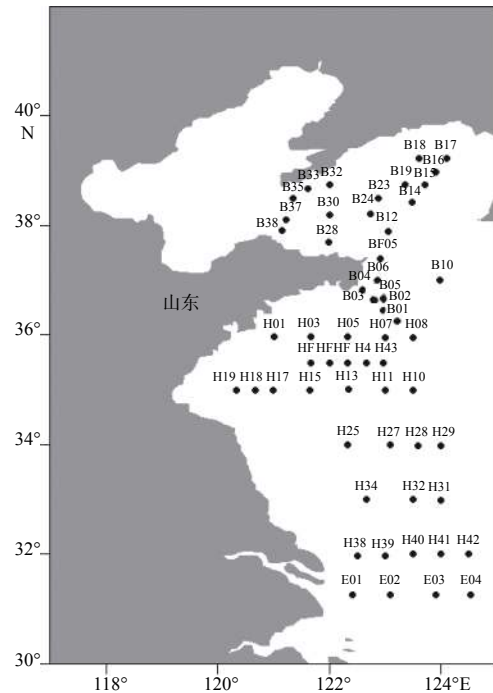


图 1 研究海区及站位

Fig. 1 Survey area and sampling stations

1.2 样品分析与数据处理

浮游动物丰度(Abundance)以单位水体个体数表示(ind./m³);生物多样性指数采用香农-威纳(Shannon-Wiener)指数(H')^[12]:

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

式中: P_i 代表第*i*种个体数与样品总个体数的比值。

优势种是通过优势度(Y)来确定的。

$$Y = (n_i/N) \times f_i \quad (2)$$

式中: n_i 表示第*i*种浮游动物的个体数量; N 表示浮游动物的总个体数量; f_i 代表第*i*种浮游动物在总调查站位的出现频率。当 $Y \geq 0.02$ 时,认定该物种为优势种^[13]。

采用多元统计软件 PRIMER 6.0 (plymouth routines in multivariate ecological research) 进行聚类分析。各生物种类按丰度降序排列, 群落结构分析以累计丰度占 95% 的浮游动物为对象^[14]。将丰度对数转化, 以降低物种间的极化程度^[15]。

根据站位间的 Bray-Curtis 相似性系数^[16] 进行 Cluster 聚类分析和多维定标 (MDS) 分析。站位间的 Bray-Curtis 相似性系数越高, 群落组成越相似^[14]; 采用 PRIMER 软件中的 BIOENV 和 RELATE 程序分析浮游动物丰度与环境因子的相关性; 通过 Surfer 8.0 软件绘制浮游动物的平面分布。

2 结果与讨论

2.1 种类组成

本研究共记录浮游动物成体 65 种, 浮游幼虫 27 类。浮游幼虫、桡足类 (22 种) 和水螅水母类 (15 种) 是研究海域浮游动物种类数较多的类群 (表 1)。本研究浮游动物种类数与历史研究资料 (17 ~ 119 种) (表 2) 相比处于中等水平。北黄海海域的浮游动物种类数 (58 种) 与邹艺伟

等^[17] 对北黄海浮游动物的调查结果 (63 种) 相似。南黄海浮游动物种类数为 43 种, 略高于以往同季节大型浮游生物网网采数据 (17 种 ~ 34 种)^[4,6]。造成种类数差异的原因一方面可能是本研究调查海域较广, 调查站位比以往研究更密集, 导致所采集到的稀有种更多; 另一方面, WP2 型网具有较小的筛绢孔径 (160 μm) 和网口面积 (0.20 m^2), 能够有效捕获小型浮游动物, 网采种类数略高于大网^[18]。黄海浮游动物种类数存在显著的季节变化^[19-20]。夏、秋季黄海浮游动物种类数较为丰富, 而冬、春季浮游动物种类数较少。李雨苑等^[11] 秋季在黄海共鉴定浮游动物种类数 119 种, 明显高于本研究, 符合秋季高于春季的季节变化规律。

浮游幼虫 (27 类) 占总种类组成的比例 (29.4%) 最高, 明显高于秋季该类群在总种类组成中的占比^[11]。浮游幼虫种类繁多, 春季丰富的饵料使浮游幼虫大量繁殖^[21], 导致浮游幼虫种类数在总种类数中占比最高 (表 1), 与同季节历史研究结果^[6,22] 相一致。黄海浮游动物优势种主要是广温广盐种和广温低盐种 (表 2)。其中, 中华哲水蚤和强壮箭虫优势度通常较高^[4-5,23]。本研究中, 中华哲水蚤的优势度很低, 而强壮箭虫甚至没有成为优势种, 拟长腹剑水蚤等小粒径浮游动物优势度较高。这可能是因为 WP2 型浮游生物网能够采集到更多粒径较小的浮游动物^[10], 使得拟长腹剑水蚤等小粒径浮游动物的优势度较高。

2.2 浮游动物丰度

本研究浮游动物 (不含夜光虫) 的平均丰度为 (8109.5 $\pm$ 7585.0) ind./ m^3 , 并呈现北黄海高于南黄海的变化趋势 (图 2a)。其中, 由于腹针胸刺水蚤大量出现, 浮游动物总丰度在 B38 站达到最高值 42176.8 ind./ m^3 。B16 站浮游动物丰度最低, 为 709.0 ind./ m^3 。桡足类平均丰度高达 (6896.0 $\pm$ 6557.1) ind./ m^3 (表 1), 占浮游动物平均丰度 (不含夜光虫) 的 92.3%。

研究海域的夜光虫平均丰度为 (763.1 $\pm$ 2840.7) ind./ m^3 , 其丰度高值位于 H19 站 (120°20'34"E, 34°59'49"N) 和 H18 站 (120°40'15"E, 35°00'03"N), 其丰度分别为 14400.0 ind./ m^3 和 12857.1 ind./ m^3 (图 2b)。

表 1 浮游动物的类群组成及平均丰度

Tab.1 The taxa composition and average abundance of zooplankton

类群	种类数	平均丰度/ind. $\cdot\text{m}^{-3}$
原生动物 (Protozoa)	1	763.1
水螅水母类 (Hydromedusa)	15	14.2
栉水母类 (Ctenophora)	1	0.7
管水母类 (Siphonophora)	1	18.4
枝角类 (Cladocera)	1	0.1
介形类 (Ostracoda)	2	<0.1
桡足类 (Copepoda)	22	6896.0
涟虫类 (Cumacea)	1	<0.1
磷虾类 (Euphausiacea)	3	1.0
端足类 (Amphipoda)	2	12.8
等足类 (Isopoda)	1	<0.1
糠虾类 (Mysidacea)	6	1.0
被囊类 (Tunicata)	2	192.3
十足类 (Decapoda)	1	<0.1
毛颚类 (Chaetognatha)	6	24.6
浮游幼虫 (Pelagic larvae)	27	948.4
合计	92	8872.6

表 2 黄海不同网型采集的浮游动物数据

Tab.2 Zooplankton data collected by different net types in the Yellow Sea

调查海区	采样时间(网型/ 筛绢孔径/ μm)	种类数	丰度 /ind. $\cdot\text{m}^{-3}$	优势种类	资料来源
33°N—37°N 119°E—124°E	2001-05(大网/505)	17	—	腹针胸刺水蚤、强壮箭虫、太平洋磷虾、中华哲水蚤	[4]
33°N—36°N 121°E—125°30'E	2001-08(大网/505)	40	1362.0	近缘大眼剑水蚤、拟长腹剑水蚤、强壮箭虫、 小拟哲水蚤、中华哲水蚤	[5]
33°N—37°N 124°E以西	2007-10(大网/ 505)	113	156.4	磷虾幼体、强壮箭虫、小齿海樽、中华哲水蚤	[23]
34°30'N—36°N 121°E—123°E	2009-03(大网/ 505)	34	428.6	海胆长腕幼虫、海蛇尾长腕幼虫、强壮箭虫、小拟哲水 蚤、羽长腹剑水蚤、中华哲水蚤	[6]
32°N—39°44'N 121°E—124°30'E	2012-11(WP2/ 200)	119	4331.0	腹针胸刺水蚤、克氏纺锤水蚤、拟长腹剑水蚤、强壮箭 虫、桡足类无节幼虫、双壳类幼体、小拟哲水蚤、 异体住囊虫、中华哲水蚤	[11]
32°N—36°44'N 121°30'E—124°30'E	2014-04(中网/160)	68	9551.4	拟长腹剑水蚤、桡足类无节幼虫、伪长腹剑水蚤	[22]
32°N—36°44'N 121°3'E—124°3'E	2014-11(中网/160)	78	2103.7	拟长腹剑水蚤、强额拟哲水蚤、桡足类无节幼虫、 伪长腹剑水蚤	[22]
32°N—39°44'N 121°E—124°30'E	2012-05(WP2/200)	65	8109.4	腹针胸刺水蚤、克氏纺锤水蚤、拟长腹剑水蚤、桡足类 无节幼虫、小拟哲水蚤、中华哲水蚤	本文

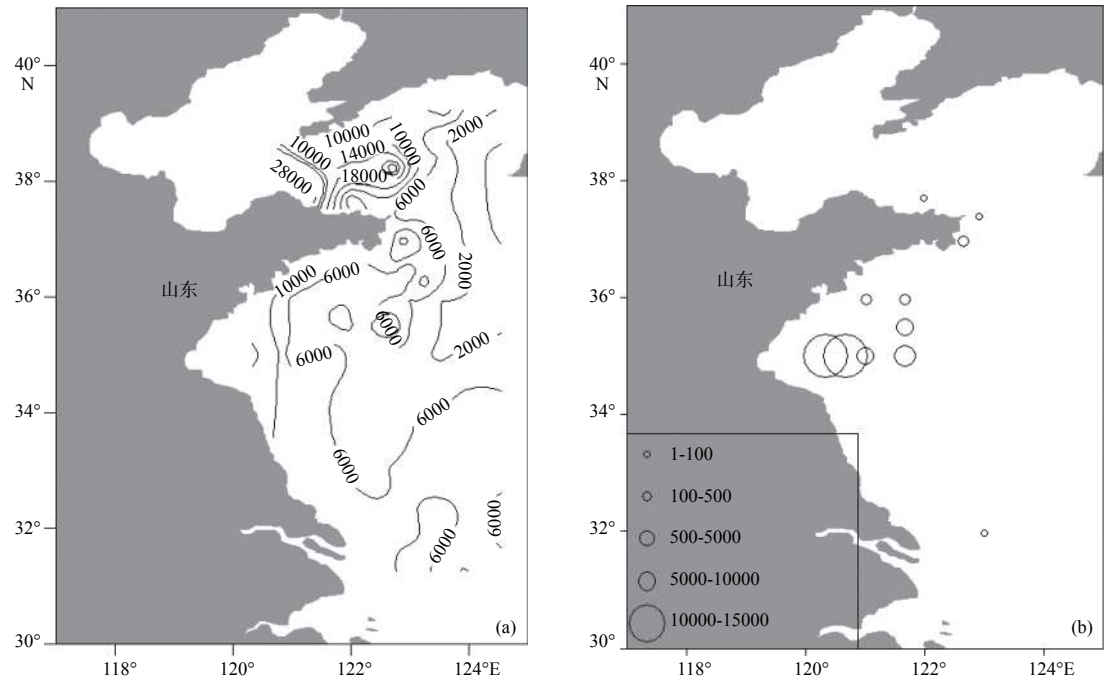


图 2 浮游动物丰度的平面分布 (不含夜光虫)(a) 和夜光虫平面分布(b)(ind./m³)

Fig. 2 The horizontal distribution of zooplankton abundance(except *Noctiluca scintillans*) (a) and *Noctiluca scientillans*(b) (ind./m³)

本研究中浮游动物的平均丰度与历史研究结果(156.4 ~ 9551.4 ind./m³, 表 2)相比处于较高水平, 并比大型浮游生物网网采平均丰度^[5-6,23]高 1 个数量级。筛绢孔径较大的大网对小粒径浮游动物的漏采造成了对丰度的低估, 而 WP2 型浮游生物网对粒径较小的浮游动物捕获能力更强^[24], 它可以有效地反映该海域浮游动物的丰度水平。

浮游动物的平均丰度整体上呈现出北黄海高于南黄海的变化趋势(图 2)。其原因可能是春季黄海暖流向北黄海输送高温高盐外海水的同时带来了大量的营养物质^[19], 促进该海域浮游植物的繁殖^[25], 使得春季北黄海海域的初级生产力较高^[26], 为浮游动物提供了充足的饵料。春季适宜的温度还会促使浮游幼虫丰度显著增加^[7],

这可能是导致春季北黄海浮游动物丰度较高的另一重要原因。

黄海浮游动物的平均丰度(不含夜光虫)在季节上变化显著,其规律一般为春季高于秋季。于雯雯等^[20]对海州湾研究结果显示,春季浮游动物的平均丰度(256.2 ind./m^3)>秋季(89.8 ind./m^3);陈学超等^[22]对南黄海研究表明,春季浮游动物的平均丰度为 9551.4 ind./m^3 ,秋季浮游动物的平均丰度为 2103.7 ind./m^3 。而本研究浮游动物的平均丰度也显著高于秋季同网型浮游动物的平均丰度(4331.0 ind./m^3)^[11]。

海州湾邻近水域的 H18 站和 H19 站夜光虫丰度明显高于同季节大型浮游生物网采集的夜光虫最高丰度(4024.0 ind./m^3)^[27]。大网(筛绢孔径 $505 \mu\text{m}$)漏采部分粒径较小的夜光虫(细胞直径 $150 \sim 2000 \mu\text{m}$),使得夜光虫丰度被低估。WP2 型网筛绢孔径为 $200 \mu\text{m}$,捕集到的夜光虫

更能体现海域真实状况。夜光虫属于偏冷水性的沿岸异养种,最适温度为 $16^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$ ^[28],在该区间内会大量繁殖。而本次海州湾附近海域海水温度 $9.3^\circ\text{C} \sim 12.3^\circ\text{C}$ 明显低于夜光虫最适温度,但夜光虫仍大量存在。原因可能是陆源径流带来大量的 N、P 等营养物质,充足的营养盐促进硅藻繁殖,导致以硅藻为食的夜光虫大量增殖^[29]。

2.3 生物多样性

浮游动物种类数南黄海高于北黄海,其高值区出现在海州湾东部邻近海域以及南黄海中部(图 3a);香农-威纳指数(H')在山东半岛南部和黄海中部相对较高(图 3b)。E2 站($123^\circ05'24''\text{E}$, $31^\circ16'12''\text{N}$)的浮游动物种类数最多,为 38 种, B30 站($121^\circ59'49''\text{E}$, $38^\circ11'56''\text{N}$)最低,仅有 16 种。H03 站($121^\circ40'15''\text{E}$, $35^\circ58'08''\text{N}$)的香农-威纳指数(H')全海区最高(3.5), H19 站最低,仅为 0.9。

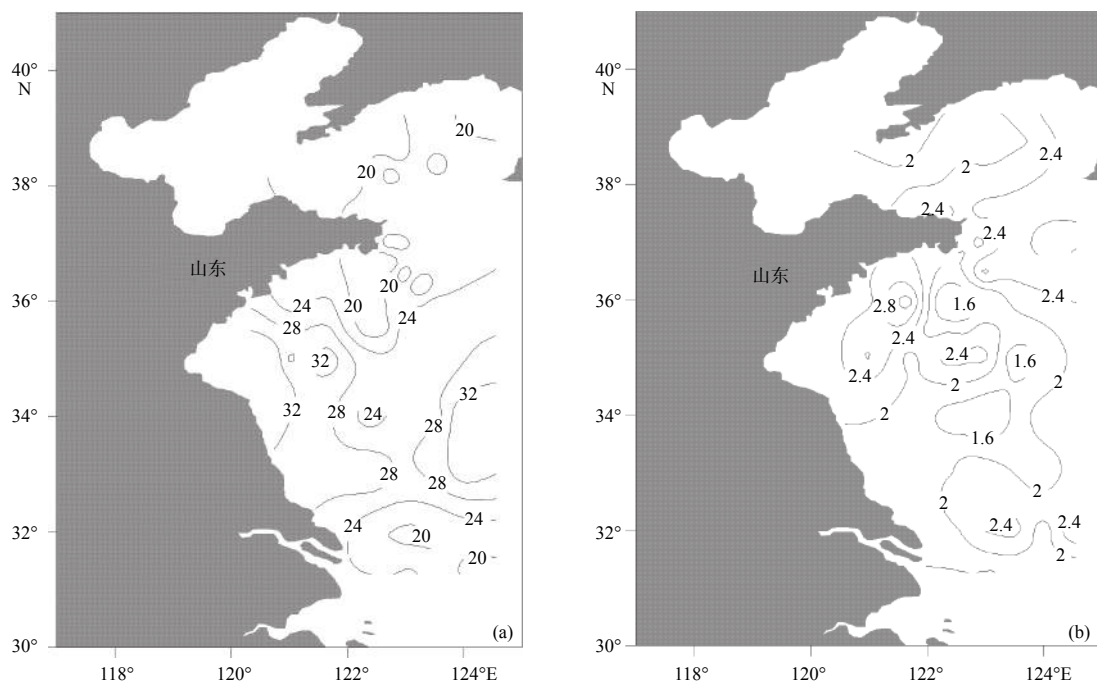


图3 浮游动物种类数(a)和香农-威纳指数的平面分布(b)

Fig. 3 The horizontal distribution of zooplankton Species Richness(a) and Shannon-Weaver index(b)

2.4 浮游动物群落划分

基于站位间浮游动物种类组成的 CLUSTER 和 MDS 分析结果(图 4),并结合研究海区各站位的地理分布和海洋环境因素(表 3),将 57 个站位分为 4 个群落。其中,群落 I 站位多位于北黄

海;群落 II 位于黄海中部水域;群落 III 位于南海海的西北部;群落 IV 位于南海海南部水域(图 5)。群落 I 表层水温和底层水温均最低,分别为(10.4 ± 2.1) $^\circ\text{C}$ 和(6.5 ± 1.7) $^\circ\text{C}$;对于表层盐度(SSS)和底层盐度(SBS),各群落差异较小。群落 II 表层盐

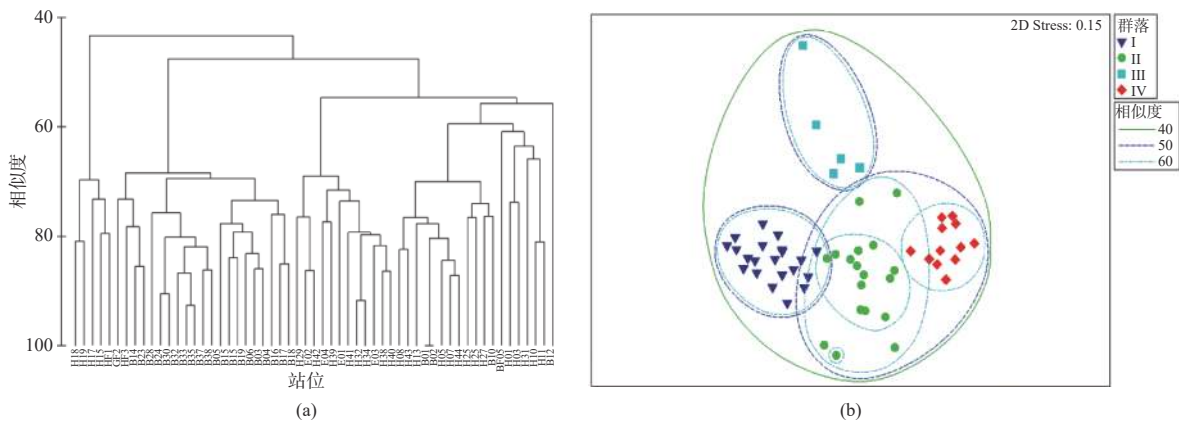


图 4 调查站位的聚类分析(a)和 MDS 标序图(b)

Fig. 4 Results of the cluster and MDS analyses on sampling stations

表 3 各群落环境因子、多样性指数及丰度

Tab.3 Environmental factors、diversity index and abundance in each group

因子	群落I	群落II	群落III	群落IV
水深/m	42.3±13.9	59.8±13.8	33.6±8.6	40.2±15.9
表层盐度(SSS)	31.3±0.3	32.2±0.5	31.3±0.15	30.9±2.1
底层盐度(SBS)	31.6±0.5	33.1±0.8	31.6±0.4	32.3±1.5
表层水温(SST)/℃	10.4±2.1	14.0±0.8	12.9±1.2	14.1±1.1
底层水温(SBT)/℃	6.5±1.7	8.6±0.9	9.0±2.4	12.0±1.4
种类数(S)	19.7±2.9	23.0±2.8	20.6±3.0	30.9±5.3
香农-威纳指数(H')	2.1±0.3	2.3±0.6	1.5±0.4	2.1±0.5
夜光虫丰度/ind.·m ⁻³	15.8±56.7	28.1±107.9	8492.5±5570.9	0.1±0.5
平均丰度(不含夜光虫)/ind.·m ⁻³	12463.6±10879.2	5276.5±4110.2	6200.5±3068.2	7158.1±3792.6
总丰度/ind.·m ⁻³	12479.4±10882.3	5304.6±4092.0	14693.0±3515.7	7158.2±3792.7

度和底层盐度均最高。群落 II 水深高于其他 3 个群落,群落 III 水深最浅,为(33.6±8.6) m;群落 IV 表层水温(SST)和底层水温(SBT)在所有群落中最高(表 3)。

4 个群落的平均丰度和优势种差异显著(表 3)。群落 I 平均丰度(不含夜光虫) [(12463.6±10879.2) ind./m³] 全海区最高。群落 II、群落 III 和群落 IV 平均丰度(不含夜光虫)差异较小,其中群落 II 平均丰度(不含夜光虫)最低,为(5276.5±4110.2) ind./m³。群落 III 总丰度 [(14693.0±3515.7) ind./m³] 最高,其原因主要为夜光虫在该群落大量分布,平均丰度达到(8492.5±5570.9) ind./m³,导致群落 III 总丰度高于其它 3 个群落。

拟长腹剑水蚤、腹针胸刺水蚤、克氏纺锤水蚤、中华哲水蚤、小拟哲水蚤、近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)、异体住囊虫(*Oikopleura*

dioica) 和桡足类无节幼虫等是研究海区的浮游动物优势种。另外,考虑到夜光虫的特殊性,优势度计算时没有把夜光虫包括在内,但夜光虫仍是重要的优势种。各群落优势种存在明显区别(表 4)。

李雨苑等研究指出,秋季黄海浮游动物可分为东海近岸混合水群落、苏北沿岸群落、黄海中部群落和北黄海群落^[1];郑执中等研究认为,黄海大网网采浮游动物可分为长江口外围群落、黄海中部群落、苏北沿岸群落和山东沿岸群落^[3]。本研究中,浮游动物划分为东海近岸混合水群落、沿岸群落、黄海中部群落、北黄海群落,与上述群落划分结果是类似的。北黄海群落大部分位于北黄海,该群落受沿岸流影响较大,表层温度和底层温度均最低(表 3)。浮游动物主要以腹针胸刺水蚤和克氏纺锤水蚤等温带广温

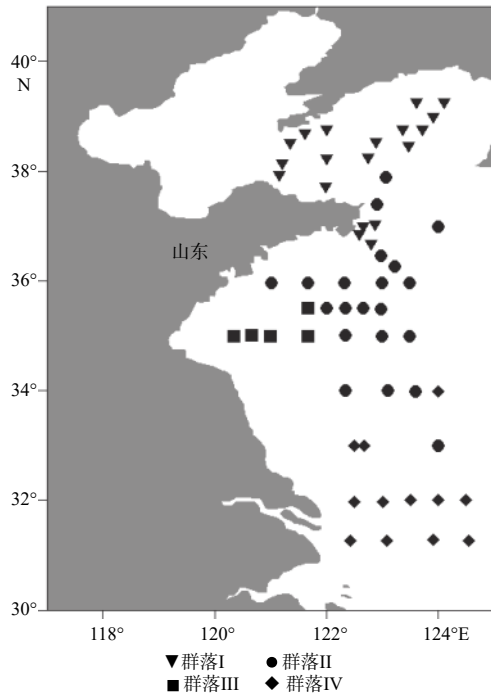


图 5 黄海浮游动物群落的地理分布

Fig. 5 Geographic distribution patterns of zooplankton assemblages in the Yellow Sea

低盐沿岸种组成,与山东沿岸群落的种类组成特点相似。黄海中部群落是 4 个群落中盐度最高的水域。该群落在黄海中央水团和冬季残余的黄海暖流共同作用下^[30],太平洋磷虾等低温高盐种在该群落广泛分布。沿岸群落位于南黄海西北部海域,但与李雨苑等^[11]和郑执中等^[3]划分的苏北沿岸群落基本相符。该群落所在海区水

深最浅,但水文动力状况较为复杂^[31]。浮游动物主要由近岸低盐种组成,如拟长腹剑水蚤等。东海近岸混合水群落易受到沿岸冲淡水以及外海表层水的影响^[32],水文环境复杂。该水域上层受太阳辐射较强,升温迅速,表层水温在全海区最高(14.1℃)。浮游动物种类组成多样,温带种和暖水种并存。本研究海域范围虽与以往研究略有差异,但群落划分结果是类似的,群落划分结果与网型无关^[11,33]。

2.5 浮游动物丰度与环境因子的关系

浮游动物的分布与水温、盐度、深度等非生物因素密切相关。本研究中,相关性分析结果显示,浮游动物丰度与底层温度的相关性最高,系数为 0.478($p<0.01$);双因素分析中,浮游动物丰度与底层温度/底层盐度的相关性最高,相关性系数为 0.574($p<0.01$);三因素分析中,浮游动物丰度与表层温度/底层温度/底层盐度的相关性最高,相关性系数为 0.618($p<0.01$)(表 5)。温度是影响春季黄海浮游动物丰度最主要的环境因子,温度越低,浮游动物丰度越高。北黄海群落的水温在所有群落中最低(表 3),适应低温的腹针胸刺水蚤在北黄海群落大量繁殖(6135.4 ind./m³,表 4),北黄海群落平均丰度(不含夜光虫)远高于其他群落(表 3)。段妍等^[7]和陈学超等^[22]研究表明温度是影响春季黄海浮游动物丰度最主要的环境因子,且浮游动物丰度和温度呈正相关关系,与本研究结果不同。这可能是由于桡足类

表 4 各群落优势种的平均丰度及其优势度

Tab.4 The average abundance and dominance of dominant species

优势种类	平均丰度 /ind.·m ⁻³				优势度 (Y)			
	群落I	群落II	群落III	群落IV	群落I	群落II	群落III	群落IV
夜光虫	15.8	28.1	8492.5	0.1	—	—	—	—
腹针胸刺水蚤	6135.4	507.6	212.6	1.7	0.492	0.096	0.007	<0.001
克氏纺锤水蚤	2638.7	216.9	851.1	18.1	0.212	0.041	0.027	0.002
拟长腹剑水蚤	1612.2	2784.7	3936.3	1654.4	0.129	0.528	0.127	0.231
桡足类无节幼虫	1082.9	316.8	150.0	456.0	0.087	0.057	0.004	0.064
中华哲水蚤	196.2	178.6	74.6	436.0	0.016	0.034	0.002	0.061
异体住囊虫	—	148.1	609.5	369.2	—	0.024	0.019	0.052
小拟哲水蚤	25.9	622.3	185.7	3452.0	0.002	0.118	0.006	0.482
近缘大眼剑水蚤	39.6	26.9	53.7	365.0	0.003	0.005	0.002	0.051

注:“加粗”表示各群落优势种

幼体作为其第一优势种^[7,22], 水温升高适宜桡足类幼体的生长, 而本研究中腹针胸刺水蚤更适宜低温的环境, 浮游动物优势种类的适温性差异影响了丰度的分布。

表 5 浮游动物丰度与非生物参数的相关性
Tab.5 Coefficient between zooplankton abundance and abiotic parameters

环境因子	非生物参数	相关性系数
单因子	SBT	0.478
	SBS	0.318
	SST	0.281
	SSS	0.268
	Depth	0.117
双因子	SBT/SBS	0.574
	SST/SBT	0.540
	SSS/SBT	0.505
三因子	SST/SBT/SBS	0.618
	SSS/SBT/SBS	0.563
	SST/SSS/SBT	0.540

3 结 论

(1)本研究共记录浮游动物成体 65 种, 浮游幼虫 27 类。浮游动物种类组成以浮游幼虫、桡足类和水螅水母类为主。与以往大网网采数据相比, WP2 型网网采浮游动物种类数较高, 平均丰度高 1 个数量级, 优势种主要以小粒径浮游桡足类为主。

(2)根据浮游动物组成的相似性, 将黄海浮游动物分为 4 个群落: 北黄海群落、黄海中部群落、沿岸群落、东海近岸混合水群落。群落划分结果与大网调查结果是类似的。

致谢: 本文所用温度、盐度及水深等环境参数由中国海洋大学海洋地球科学学院王厚杰教授提供; “东方红 2”提供采样平台; 王为民、于浩、孔维、潘益锋等协助采集样品。特此致谢。

参考文献:

[1] 邹娥梅, 郭炳火, 汤毓祥, 等. 1996年春季南黄海水文特征和水团分析[J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 17-26.
[2] 林景祺. 中国海洋渔业资源(一)[J]. 海洋科学, 1991, 15(1): 25-28.
[3] 郑执中. 黄海和东海西部浮游动物羣落的结构及其季节变

化[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(3): 199-204.
[4] 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(S1): 108-114.
[5] 左涛, 王荣, 王克, 等. 夏季南黄海浮游动物的垂直分布与昼夜垂直移动[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 524-530.
[6] 刘光兴, 房静, 陈洪举. 2009年春季南黄海岸带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.
[7] 段妍, 王爱勇, 王小林, 等. 黄海北部春季和夏季浮游动物生态特性与时空分布[J]. 水产科学, 2017, 36(4): 456-461.
[8] 连喜平, 谭烨辉, 刘永宏, 等. 两种浮游生物网对南海北部浮游动物捕获效率的比较[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(3): 33-39.
[9] TURNER J T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs[J]. Zoological Studies, 2004, 43(2): 255-266.
[10] TERBIYIK KURT T, POLAT S. Zooplankton abundance, biomass, and size structure in the coastal waters of the northeastern Mediterranean Sea[J]. Turkish Journal of Zoology, 2015, 39: 378-387.
[11] 李雨苑, 刘光兴, 陈洪举. 秋季黄海WP2型网采浮游动物的群落特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2015, 45(7): 46-52.
[12] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
[13] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲷渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
[14] SOUISSI S, IBANEZ F, BEN HAMADOU R, et al. A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France)[J]. Sarsia, 2001, 86(6): 527-542.
[15] FIELD J G, CLARKE K R, WARWICK R M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns[J]. Marine Ecology Progress Series, 1982, 8(1): 37-52.
[16] BRAY J R, CURTIS J T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin[J]. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 325-349.
[17] 邹艺伟, 杨青, 李全宝, 等. 北黄海浮游动物群落结构及年间比较[J]. 海洋环境科学, 2013, (5): 683-687.
[18] CHEN H J, YU H, LIU G X. Comparison of copepod collection efficiencies by three commonly used plankton nets: a case study in Bohai Sea, China[J]. Journal of Ocean University of China, 2016, 15(6): 1007-1013.
[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): 5407-5418.