

浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位*

徐晓群^{1,2} 曾江宁² 陈全震² 刘晶晶² 杜萍² 王桂忠^{1**}

(¹ 厦门大学海洋与地球学院, 福建厦门 361005; ² 国家海洋局第二海洋研究所海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 杭州 310012)

摘要 生态位与种间竞争、资源利用密切联系,体现了物种在群落中利用资源的能力。为探明三门湾浮游动物分布格局的形成和影响因素,分别采用 Shannon 公式和 Petraitis 指数测定了浮游动物优势种生态位宽度和生态位重叠,并通过典范对应分析研究生态位分化状况。结果表明:百陶带箭虫、背针胸刺水蚤、短尾类幼虫等沿岸种的空间生态位较宽,而肥胖软箭虫、中华假磷虾等外海种的空间生态位较窄;具有捕食-被捕食关系的不同类群物种(如箭虫、仔鱼和水母分别与桡足类)有较高的生态位重叠,而同一类群物种(如桡足类及箭虫)间的生态位重叠值较低;浮游动物分布受温度、盐度和叶绿素 a 的影响较大,受营养盐影响较小。浮游动物空间生态位与生活类型、种间竞争、摄食等多种因素相关。

关键词 浮游动物 生态位 竞争 捕食-被捕食 典范对应分析 三门湾

文章编号 1001-9332(2013)03-0818-07 中图分类号 Q958 文献标识码 A

Spatial niches of dominant zooplankton species in Sanmen Bay, Zhejiang Province of East China. XU Xiao-qun^{1,2}, ZENG Jiang-ning², CHEN Quan-zhen², LIU Jing-jing², DU Ping², WANG Gui-zhong¹ (¹College of Ocean & Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; ²Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2013 24(3): 818-824.

Abstract: Ecological niche has close relations with inter-species competition and resources utilization, and thus, can be used as an indicator to symbolize the resources utilization capability of certain groups of related species. In this paper, the niche breadth and overlap of the dominant zooplankton species in the Sanmen Bay of Zhejiang were determined by Shannon's formula and Petraitis index, respectively, and the differentiation of the niche was studied by canonical correspondence analysis (CCA), aiming to approach the distribution features of coastal zooplankton and related affecting factors in the Bay. In the study area, some coastal species such as *Zonosagitta bedoti*, *Centropages dorsispinatus*, and brachyuran larvae had wider niche breadth than the pelagic species such as *Flaccisagitta enflata* and *Pseudeuphausia sinica*, and the species of different groups with prey-predator relation had a greater niche overlap than those of the same groups without this relation. The CCA analysis showed that the spatial distribution of the zooplankton was more affected by water temperature, salinity, and chlorophyll a content rather than nutrients. The spatial niche of the zooplankton species was correlated with their living habit, inter-species competition, and prey-predator relationship.

Key words: zooplankton; niche; competition; prey-predator; canonical correspondence analysis (CCA); Sanmen Bay.

生态位是现代生态学的重要理论之一。它同种

* 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB428903)、海洋公益性行业科研专项(201305043-3)、浙江省自然科学基金项目(Y5110166)、浙江省海水养殖重点科技创新团队项目(2010R50025)和国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项(JG1221, JG1222)资助。

** 通讯作者。E-mail: gzwang@xmu.edu.cn

2012-06-20 收稿, 2012-12-24 接受。

间竞争、资源利用密切联系在一起,体现了物种在群落中利用资源的能力,在理解群落结构和功能、群落内种间关系、生物多样性、群落动态演替和进化等方面有重要的作用,因此得到了广泛的应用^[1-2]。Grinnell^[3]最早提出生态位这一概念,用来表示对栖息

地再划分的空间单位, 强调生态位的空间概念, 即空间生态位. Elton^[4]把“生态位”用来表示生物有机体在群落中的功能作用, 强调生态位的营养关系, 即营养生态位. Hutchinson^[5]从空间、资源利用等多方面考虑, 提出了 n 维的超体积理论, 认为一个物种的生态位包含其生存和繁殖所需的全部条件. 目前, 国内关于生物生态位的研究已有许多报道^[6-8], 但对于海洋浮游动物的生态位状况的研究很少. 本文通过对三门湾浮游动物优势种的生态位宽度、生态位重叠和在多维环境因子下的生态位分离来研究不同种类浮游动物在群落中的空间分化和资源利用状况.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

三门湾位于浙江省沿岸, 北与象山港接壤, 南邻台州湾, 东与猫头洋毗邻. 三门湾为强潮海湾, 平均潮差 4.25 m, 一般水深 5~10 m, 海域宽阔, 流域面积为 3160 km², 入湾河流均为短小的山溪性溪流, 多年平均径流总量为 26.8×10⁸ m³^[9].

三门湾位于典型的亚热带海区, 四季分明, 夏天水温最高(30℃左右), 冬天最低(10℃左右). 调查区域为强潮开敞海湾, 受外海影响剧烈, 上游没有大河输入, 盐度常年较高, 春季受降雨影响, 盐度相对较低^[9]. 海区 pH 在 7.80~8.16, 常年较稳定. 总氮浓度在 0.646~2.247 mg·L⁻¹, 夏季相对较低. 溶解无机磷浓度在 0.022~0.045 mg·L⁻¹, 秋季相对略高. 溶解硅浓度在 0.647~2.908 mg·L⁻¹, 夏季明显低于其他季节. 叶绿素 a 浓度在 0.33~5.94 μg·L⁻¹, 夏秋季较高, 冬春季较低. 悬浮物浓度在 29~988 mg·L⁻¹, 夏季较低(表 1).

1.2 取样方法

在三门湾海域共设置 18 个采样站位(图 1), 分别于 2006 年 10 月(秋季)、2007 年 1 月(冬季)、4 月(春季)和 7 月(夏季)进行了 4 次浮游动物取样, 采用 505 μm 孔径的浅水 I 型浮游生物网从底至表

垂直拖网进行浮游动物样品采集, 装入 600 mL 的塑料瓶中, 加中性甲醛溶液(终浓度 5%)固定. 实验室挑去杂质后, 测定样品湿生物量, 解剖镜下进行种类鉴定及计数^[10-12].

同步监测的参数包括: 温度(T)、盐度(S)、pH、总氮(TN)、溶解无机磷(DIP)、溶解硅(DSi)、悬浮物(SS)、叶绿素 a(Chl a), 测定方法按《海洋监测规范》进行^[13].

1.3 数据处理

优势度计算公式:

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

式中: Y 为优势度; N 为该海湾出现的所有浮游动物种类的总个体数; n_i 为第 i 种的个体数; f_i 为该种在各站位出现的频率. 当 $Y \geq 0.02$ 时, 即为浮游动物优势种^[14].

生态位宽度计算公式:

$$B_i = -\frac{1}{\lg r} \sum_{j=1}^r P_{ij} \lg P_{ij}$$

式中: B_i 为种的生态位宽度, 取值范围 [0, 1]; P_{ij} 为种 i 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例; r 为资源总数, 本研究为采样站位数, 取值为 72^[15].

生态位重叠指数计算公式:

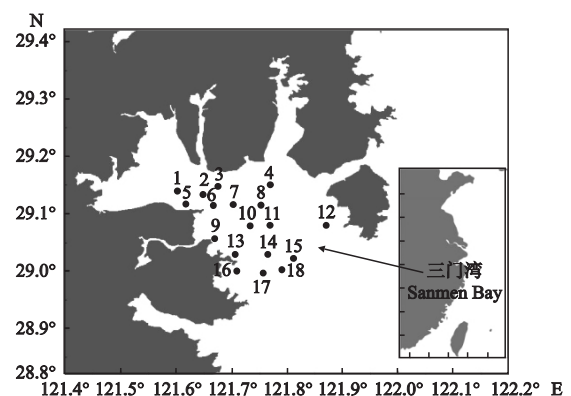


图 1 采样站位分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites.

表 1 三门湾水体环境特征

Table 1 Seawater environmental factors of Sanmen Bay

季节 Season	温度 Temperature (°C)	盐度 Salinity	pH	总氮 Total nitrogen (mg·L ⁻¹)	溶解无机磷 Dissolved inorganic phosphate (mg·L ⁻¹)	溶解硅 Dissolved silicate (mg·L ⁻¹)	叶绿素 a Chlorophyll a (μg·L ⁻¹)	悬浮物 Suspended solids (mg·L ⁻¹)
春 Spring	14.4±0.4	26.1±0.7	8.03±0.02	1.083±0.133	0.023±0.001	1.126±0.134	1.26±0.20	256±142
夏 Summer	29.4±0.6	30.1±0.3	7.91±0.06	0.737±0.063	0.030±0.003	0.850±0.089	3.29±0.94	90±53
秋 Autumn	24.8±0.5	27.0±0.3	8.03±0.03	1.023±0.084	0.041±0.002	1.907±0.332	2.04±0.84	217±163
冬 Winter	9.9±0.7	28.1±0.1	8.12±0.02	1.389±0.270	0.038±0.001	1.321±0.228	0.79±0.36	445±253

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}$$

式中: O_{ik} 为种 i 的资源利用曲线与种 k 的资源利用曲线的重叠指数; P_{ij} 为种 i 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比值, 或种 i 对第 j 个资源的利用占它全部资源利用的比率; P_{kj} 为种 k 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比值, 或种 k 对第 j 个资源的利用占它全部资源利用的比率; r 为资源状态数, 本研究为采样站位数, 取值为 72^[15].

采用 Excel 软件进行生态位宽度和生态位重叠的计算, 采用 CANOCO 软件进行典范对应分析及排序图绘制。

2 结果与分析

2.1 三门湾浮游动物的物种组成

根据优势度计算结果 ($Y > 0.02$), 三门湾浮游动物优势种分属 3 门或亚门, 4 纲或亚纲, 7 目或亚目, 共 16 种, 幼体 4 类 (表 2)。其中, 春季 4 种, 夏季 9 种, 秋季 8 种, 冬季 4 种。球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa*) 仅在秋季为优势种, 桡足类的中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*)、针刺拟哲水蚤 (*Paracalanus aculeatus*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、真刺水蚤 (*Euchaeta*

sp.)、汤氏长足水蚤 (*Calanopia thompsoni*)、背针胸刺水蚤 (*Centropages dorsispinatus*)、微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*) 和腹针胸刺水蚤 (*Centropages abdominalis*) 在全年交替成为优势种, 真软甲亚纲的钩虾 (*Ampeliscidae* spp.) 和三叶针尾涟虫 (*Diastylis tricineta*) 为冬季优势种, 中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 和宽尾瘤刺糠虾 (*Notacanthomysis laticauda*) 为夏季优势种, 毛颚动物的百陶带箭虫 (*Zonosagitta bedoti*) 和肥胖软箭虫 (*Flaccisagitta enflata*) 为夏秋季优势种, 幼体中的仔鱼、短尾类幼体、长尾类幼体和桡足幼体在春、夏、秋季交替成为海区优势种。

2.2 三门湾浮游动物种群的生态位宽度

根据生态位宽度值, 可将三门湾浮游动物种群分为 3 类: 第一类种群的生态位宽度很大 (> 0.70), 如百陶带箭虫 (0.80)、背针胸刺水蚤 (0.76)、桡足幼体 (0.75)、短尾类幼虫 (0.71) 等; 出现时间较长、丰度较高的种类; 或是丰度不高但出现时间长的种类, 如三叶针尾涟虫 (0.71)、钩虾 (0.71) 等; 第二类种群生态位宽度较大 (0.50 ~ 0.70), 一般为出现时间短但丰度较高的种类, 如冬春季优势种中华哲水蚤 (0.67)、腹针胸刺水蚤 (0.57); 第三类种群生态位宽度相对较窄 (< 0.50), 仅在个别季节出现, 如中华假磷虾 (0.42)、仔鱼 (0.46)、肥胖软箭虫 (0.47)、微刺哲水蚤 (0.48) 等 (表 3)。

表 2 三门湾浮游动物优势种及分类地位

Table 2 Dominant species and taxon of zooplankton in Sanmen Bay

序号 No.	分类 Taxon	物种 Species	季节 Season
1	栉板动物门 Ctenophora	球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	●
2	甲壳动物亚门 Crustacea	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	▲△
3		真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	▲○
4		针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	●
5		太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	●
6		真刺水蚤 <i>Euchaeta</i> sp.	●
7		汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i>	○
8		背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	○
9		微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	○
10		腹针胸刺水蚤 <i>Centropages abdominalis</i>	▲△
11	真软甲亚纲 Eumalacostraca	三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i>	△
12		钩虾 <i>Ampeliscidae</i> spp.	△
13		中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	○
14		宽尾瘤刺糠虾 <i>Notacanthomysis laticauda</i>	○
15	毛颚动物门 Chaetognatha	百陶带箭虫 <i>Zonosagitta bedoti</i>	○●
16		肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	○
17	幼体 Larvae	仔鱼 Fish larva	○
18		短尾类幼虫 Brachyuran larva	▲
19		长尾类幼虫 Macruran larva	○●
20		桡足幼体 Copepodid	○

▲ 春 Spring; ○ 夏 Summer; ● 秋 Autumn; △ 冬 Winter.

表 3 三门湾浮游动物优势种的生态位宽度和生态位重叠

Table 3 Niche breadth and niche overlap of dominant zooplankton species in Sanmen Bay

序号 No.	种名 Species	B_i	O_{ik}																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	0.70	1																			
2	钩虾 <i>Ampeliscidae</i> spp.	0.71	0.01	1																		
3	三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i>	0.71	0	0.10	1																	
4	太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0.63	0.60	0.15	0.29	1																
5	汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i>	0.67	0.23	0.06	0	0.06	1															
6	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.67	0.03	0.06	0.04	0.08	0.01	1														
7	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	0.48	0.13	0	0.01	0.13	0	0.04	1													
8	背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	0.76	0.40	0.20	0.04	0.26	0.69	0.05	0.25	1												
9	腹针胸刺水蚤 <i>Centropages abdominalis</i>	0.57	0	0.10	0.03	0.13	0	0.13	0	0.01	1											
10	真刺水蚤 <i>Euchaeta</i> sp.	0.50	0.28	0.01	0.04	0.28	0.07	0.08	0.57	0.34	0	1										
11	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.55	0.37	0.06	0	0.13	0.33	0.19	0.02	0.30	0.24	0.07	1									
12	针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	0.52	0.26	0.01	0	0.05	0.37	0.02	0.14	0.28	0	0.18	0.21	1								
13	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	0.42	0.19	0.01	0	0.02	0.03	0.03	0.02	0.07	0	0.05	0.68	0.17	1							
14	宽尾瘤刺糠虾 <i>Notacanthomysis laticauda</i>	0.55	0.31	0.06	0	0.02	0.41	0.03	0	0.61	0	0.03	0.42	0.34	0.35	1						
15	百陶带箭虫 <i>Zonosagitta bedoti</i>	0.80	0.44	0.04	0.02	0.24	0.75	0.09	0.35	0.72	0.03	0.43	0.38	0.44	0.06	0.43	1					
16	肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	0.47	0.48	0.01	0	0.22	0.06	0.01	0.02	0.08	0	0.06	0.62	0.12	0.89	0.36	0.08	1				
17	短尾类幼虫 Brachyuran larva	0.71	0.46	0.05	0	0.21	0.35	0.25	0.01	0.38	0.21	0.10	0.51	0.35	0.20	0.64	0.47	0.35	1			
18	桡足幼体 Copepodid	0.75	0.33	0.06	0	0.10	0.58	0.12	0	0.61	0.03	0.19	0.18	0.36	0.11	0.64	0.48	0.19	0.53	1		
19	仔鱼 Fish larva	0.46	0.53	0.09	0	0.23	0.47	0.09	0.03	0.39	0.12	0.11	0.41	0.44	0.22	0.61	0.51	0.40	0.76	0.65	1	
20	长尾类幼虫 Macruran larva	0.64	0.56	0	0	0.30	0.01	0.01	0.05	0.03	0.01	0.08	0.55	0.16	0.80	0.26	0.05	0.97	0.31	0.11	0.38	1

2.3 三门湾浮游动物种群的生态位重叠

生态位重叠度较高的有: 长尾类幼虫和肥胖软箭虫(0.97)、肥胖软箭虫和中华假磷虾(0.89)、长尾类幼虫和中华假磷虾(0.80)、仔鱼和短尾类幼虫(0.76)、汤氏长足水蚤和百陶带箭虫(0.75)、汤氏长足水蚤和背针胸刺水蚤(0.69)等。它们都是夏季优势种,对水温资源的利用很相似。与其他种生态位重叠都很低(<0.3)的有: 钩虾、三叶针尾涟虫、中华哲水蚤和腹针胸刺水蚤等。它们都是冬季优势种,对水温资源的利用相似,但彼此间生态位重叠度却很低。

2.4 三门湾浮游动物种群的生态位分化

三门湾浮游动物种类组成与各项环境因子之间的 CCA 分析见图 2 和表 4。蒙特卡罗检验(Monte

Carlo test) 结果表明,CCA 分析中的轴 1 和所有轴均有显著差异,证明该排序结果是可信的。CCA 排序中的环境因子温度(T)、盐度(S)、总氮(TN)、溶解无机磷(DIP)、溶解硅(DSi)、悬浮物(SS)、叶绿素 a(Chl a)和 pH 值共解释了浮游动物群落种类组成 56.4% 的总变异。轴 1 和轴 2 的特征值分别为 0.320 和 0.163,分别解释了总变异的 27.5% 和 14.0%。轴 1 和轴 2 的种类-环境相关系数分别为 0.973 和 0.941,表明这 8 个环境因子与浮游动物群落存在显著的相关性。

结合各环境因子与排序轴的相关性大小(表 4),分析图 2 可知,CCA 轴 1 基本反映了温度梯度(-0.9172)、盐度(-0.7672)和叶绿素 a(-0.6996)的变化:沿轴 1 从左至右,温度、盐度和叶绿素 a 逐

表 4 三门湾浮游动物优势种 CCA 分析结果

Table 4 Result of CCA of dominant zooplankton species in Sanmen Bay

轴 Axis	特征值 Eigenvalue	种类-环境 相关系数 Species- environment relation coefficient	种类变量累积率 Cumulative percentage variance of species data (%)	种类-环境 相关性累积率 Cumulative percentage variance of species- environment relation (%)	总特征值 Sum of all eigenvalues	总典范特征值 Sum of all canonical eigenvalues	轴 1 的 P 值 P value of first canonical axis	所有轴的 P 值 P value of all canonical axes
1	0.320	0.973	27.5	45.3	1.162	0.706	0.002	0.002
2	0.163	0.941	41.5	68.3				
3	0.109	0.909	50.9	83.7				
4	0.064	0.762	56.4	92.8				

渐下降. 轴 2 基本反映了 DIP (0.8044) 和 DSI (0.6655) 的变化, 沿轴 2 从下到上, DIP 和 DSI 含量逐渐增加.

除少数几种分布在排序图的右侧外, 大部分种类集中分布在图的左侧, 表明大部分浮游动物种类的适温性较高, 丰度随温度增加而增加. 球型侧腕水母、针刺拟哲水蚤、长尾类幼虫、肥胖软箭虫、中华假磷虾等与轴 1 的距离最近, 表明这些种受温度和盐度的影响最大. 分布在右侧上方的三叶针尾涟虫和钩虾是营底栖生活的, 其与水环境中环境因子的相关性较低, 与其他营浮游生活种类之间的距离较远. 分布在右侧下方的为中华哲水蚤和腹针胸刺水蚤属暖

水性种, 适温性较低, 在冬春季水温较低时成为该海域的优势种.

3 讨 论

由于缺乏运动能力, 浮游动物的分布主要受水团的影响^[11]. 三门湾为沿岸开放性港湾, 盐度变化与浙闽沿岸流、台湾暖流和长江冲淡水的消长密切相关. 夏季受长江冲淡水的影响, 浙江沿岸盐度较低, 但高盐台湾暖流强劲贴岸进入三门湾, 使得海区盐度达到全年最高. 冬季长江冲淡水向北移, 浙闽沿岸流盐度升高, 使得湾内盐度达到全年次高^[9]. 春季受降雨影响陆地径流增加, 湾内盐度达全年最低 (表 1). 湾内浮游动物种群生态位宽的种类如百陶带箭虫、背针胸刺水蚤等均为典型的近岸低盐种, 几乎全年均有出现, 占据优势地位. 而生态位宽度窄的种类如中华假磷虾、肥胖软箭虫、汤氏长足水蚤等外海高盐种则仅在夏季随着外海水侵入进入湾内, 主要生活在外海水影响的区域, 其种群竞争力受外海水消长的控制. 不同浮游动物种群的生态位宽度值反映了其在三门湾水环境条件下生态习性的差别, 印证了生态位宽度是衡量同一生境条件下种群生态优势程度的一个重要指标^[5].

生态位重叠度与浮游动物物种间的营养关系有着密切的联系, 因为食物资源的利用是物种生长、繁殖过程中最重要的资源之一. 本研究发现, 生态重叠度高的种均分属不同分类群, 如水母、糠虾、箭虫与桡足类的生态重叠度很高, 短尾类幼虫、桡足类幼体和仔鱼的生态位重叠度高, 而同一分类群物种间的生态位重叠度一般都较低. 水母^[16]、糠虾^[17-18]、箭虫^[19]和仔鱼^[11]一般都以桡足类为食, 短尾类幼虫 (其中大部分是无节幼体) 和桡足类幼体一起组成了仔鱼摄食的饵料生物. 可见捕食者与被捕食者在空间生态位上高度重叠, 两者空间同域性大, 反映了其在时空上追随关系密切^[20-21]. 同一类群生物往往

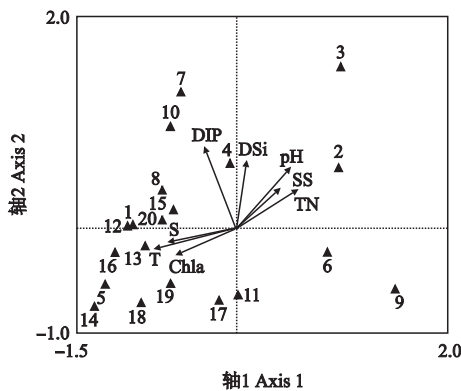


图 2 三门湾浮游动物优势种典范对应排序图

Fig. 2 Ordination diagrams based on canonical correspondence analyses of dominant zooplankton species in Sanmen Bay.

1) 球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa*; 2) 钩虾 *Ampelisca* spp.; 3) 三叶针尾涟虫 *Diastylis tricincta*; 4) 太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*; 5) 汤氏长足水蚤 *Calanopia thompsoni*; 6) 中华哲水蚤 *Calanus sinicus*; 7) 微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*; 8) 背针胸刺水蚤 *Centropages dorsispinatus*; 9) 腹针胸刺水蚤 *Centropages abdominalis*; 10) 真刺水蚤 *Euchaeta* sp.; 11) 真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*; 12) 针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*; 13) 中华假磷虾 *Pseudeuphausia sinica*; 14) 宽尾瘤刺糠虾 *Notacanthomysis laticauda*; 15) 百陶带箭虫 *Zonosagitta bedoti*; 16) 肥胖软箭虫 *Flaccisagitta enflata*; 17) 短尾类幼虫 *Brachyuran larva*; 18) 桡足幼体 *Copepodid*; 19) 仔鱼 *Fish larva*; 20) 长尾类幼虫 *Macruran larva*. T: 温度 Temperature; S: 盐度 Salinity; Chl a: 叶绿素 a Chlorophyll a; DIP: 溶解无机磷 Dissolved inorganic phosphate; DSI: 溶解硅 Dissolved silicate; TN: 总氮 Total nitrogen; SS: 悬浮物 Suspended solids.

有着相似的资源利用习性,因此各优势种群生态位必须高度分化才能不形成种间竞争关系.这与它们的生态位重叠度较低的结果相一致.

浮游动物在不同资源维度下发生生态位分化可以通过排序来表现.排序也叫梯度分析(gradient analysis),是将样方或物种排列在一定的空间,使得排序轴能够反映一定的生态梯度,从而能够解释物种的分布与环境因子间的关系^[22].Slack等^[23-24]应用排序手段来研究沼泽地苔藓植物的生态位分化现象,康乐等^[6]用主成分分析二维排序研究草原蝗虫的营养生态位的分化.Ter Braak^[25]和 Birks等^[26]提出,典范对应分析(CCA)是解释群落物种生态位分化的新手段.本研究中物种分布与环境因子的CCA分析结果可以很好地解释浮游动物在不同资源维度(环境因子)上的生态位分化.排序图轴1反映了温度、盐度和叶绿素a的变化,对浮游动物产生直接影响;轴2反映了溶解无机磷、溶解硅的变化,通过影响浮游植物间接对浮游动物产生影响.因此,前者是影响其空间生态位分化的主要因子,后者是影响其空间生态位分化的次要因子.

温度升高,海区浮游动物种类和丰度增加,因此在CCA排序图中大部分浮游动物都集中在高温、高盐的区域,低温区域仅分布有腹针胸刺水蚤、中华哲水蚤、钩虾和三叶针尾涟虫,并且这4个种的生态位分化明显.中华哲水蚤是西北太平洋陆架区的广布种^[27],腹针胸刺水蚤是近岸低盐种^[28],两者在温度、盐度梯度上的生态位分化,因此,同为是冬、春季优势种,但生态重叠度却很低.钩虾和三叶针尾涟虫主要营底栖生活^[11],虽然频繁穿梭在沉积物表层和 水体之间,但其摄食、排泄等主要生理活动都在沉积物的表层进行,其资源利用与其他终身营浮游生物的种类差异很大,因此与其他浮游动物的生态位分化都很高,表现为生态位重叠度都很低,在CCA排序图中与其他物种的距离很远.

4 结 论

三门湾浮游动物优势种的生态位特征表现为:1)全年占优势的近岸低盐类群的生态位宽度较大,受外海水消长影响的物种的生态位宽度较小;2)不同分类群中具有捕食-被捕食关系的物种间生态位重叠度较高,而同一分类群物种间由于资源竞争关系,其生态位重叠度较低;3)CCA排序图表明温度、盐度、叶绿素a等直接相关的环境因子对三门湾浮游动物空间生态位分化影响较大,营养盐等间接相

关的环境因子影响较小.浮游动物空间生态位与物种生活类型、种间竞争、摄食等多种因素相关.

参考文献

- [1] Tian D-L (田大伦). *Advanced Ecology*. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese)
- [2] Zhang J-T (张金屯). *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese)
- [3] Grinnell J. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 1917, **34**: 427-433
- [4] Elton CS. *Animal Ecology*. Chicago: University of Chicago Press, 1927
- [5] Hutchinson GE. The multivariate niche. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 1957, **22**: 415-421
- [6] Kang L (康乐), Chen Y-L (陈永林). Trophic niche of grasshoppers within steppe ecosystem in Inner Mongolia. *Acta Entomologica Sinica (昆虫学报)*, 1994, **37**(2): 178-189 (in Chinese)
- [7] Shi Z-M (史作民), Cheng R-M (程瑞梅), Liu S-R (刘世荣). Niche characteristics of plant populations in deciduous broad-leaved forest in Baotianman. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 1999, **10**(3): 10-14 (in Chinese)
- [8] Zhao Y-Q (赵永强), Zeng J-N (曾江宁), Gao A-G (高爱根), et al. Niche of macrozoobenthos in intertidal zone of Jiaojiang Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2009, **20**(5): 1176-1183 (in Chinese)
- [9] Editorial Committee of the Bay Chorography in China (中国海湾志编纂委员会). *The Bay Chorography in China*. Beijing: Ocean Press, 1993 (in Chinese)
- [10] Zhang W-C (张武昌), Zhao N (赵楠), Tao Z-C (陶振铨), et al. *An Illustrated Guide to Marine Planktonic Copepods in China Seas*. Beijing: Science Press, 2010 (in Chinese)
- [11] Zheng Z (郑重), Li S-J (李少菁), Xu Z-Z (许振祖). *Marine Planktonic Biology*. Beijing: Ocean Press, 1984 (in Chinese)
- [12] Zhang J-B (张金标). *Pelagic Siphonophora in China Sea*. Beijing: Ocean Press, 2005 (in Chinese)
- [13] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (国家质量监督检验检疫总局), Standardization Administration of the People's Republic of China (国家标准化管理委员会). *The Specification for Marine Monitoring (GB 17378.7-2007)*. Beijing: China Standards Press, 2008 (in Chinese)
- [14] Wong MW, Townsend D. Phytoplankton and hydrography of the Kennebec estuary, Maine, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, **178**: 133-144
- [15] Qin L (覃林). *Statistical Ecology*. Beijing: China Forestry Press, 2009 (in Chinese)
- [16] Li S-J (李少菁). Preliminary studies on the food and feeding habits of some marine planktonic Copepods in Amoy waters. *Journal of Xiamen University (厦门大学)*

- 学报), 1964, **11**(3): 93-109 (in Chinese)
- [17] Rudstam LG, Hansson S. On the ecology of *Mysis mixta* (Crustacea, Mysidacea) in a coastal area of the northern Baltic proper. *Annales Zoologici Fennici*, 1990, **27**: 259-263
- [18] Viitasalo M, Rautio M. Zooplanktivory by *Praunus flexuosus* (Crustacea: Mysidacea): Functional responses and prey selection in relation to prey escape responses. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, **174**: 77-87
- [19] Yang J-M (杨纪明), Li J (李 军). Study on the feeding of the Bohai Sea *Sagitta crassa*. *Marine Sciences* (海洋科学), 1995(6): 38-42 (in Chinese)
- [20] Beyer F. *Meganyctiphanes norvegica* (M. sars) (Euphausiacea), a voracious predator on *Calanus*, other copepods, and ctenophores, in Oslofjorden, southern Norway. *Sarsia*, 1992, **77**: 189-206
- [21] Atkinson A, Snyder R. Krill-copepod interactions at South Georgia, Antarctica. I. Omnivory by *Euphausia superba*. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, **160**: 63-76
- [22] Austin MP. Continuum concept, ordination methods, and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1985, **16**: 39-61
- [23] Vitt DH, Slack NG. Niche diversification of *Sphagnum* relative to environmental factors in northern Minnesota peatlands. *Canadian Journal of Botany*, 1984, **62**: 1409-1430
- [24] Slack NG. Bryophytes and ecological niche theory. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1990, **104**: 187-213
- [25] Ter Braak CJF. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, **67**: 1167-1179
- [26] Birks HJB, Peglar SM, Austin HA. An annotated bibliography of canonical correspondence analysis and related constrained ordination methods 1986-1993. *Abstracta Botanica*, 1996, **20**: 17-36
- [27] Hwang JS, Wong CK. The China coastal current as a driving force for transporting *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) from its population centers to waters off Taiwan and Hong Kong during the winter northeast monsoon period. *Journal of Plankton Research*, 2005, **27**: 205-210
- [28] Liang D, Uye S, Onbe T. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. I. *Centropages abdominalis*. *Marine Biology*, 1996, **124**: 527-536

作者简介 徐晓群,女,1979年生,博士研究生.主要从事海洋浮游生物学研究. E-mail: xuxq@sio.org.cn

责任编辑 肖 红
