

莱州湾小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*) 丰度分布周年变动*

王秀霞^{1,2} 左涛^{2①} 吴强² 陈瑞盛²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室
山东省渔业资源与生态环境重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 利用 2011 年 5 月-2012 年 4 月(除冰期 12 月和翌年 1-2 月外)在渤海莱州湾逐月由底至表垂直拖网(网孔目 160 μm)获得的浮游动物样品,开展小拟哲水蚤丰度分布周年季节变动研究。结果显示,小拟哲水蚤季节变化呈单峰型,7-10 月份丰度较高,高峰值出现在 8 月份;水平分布以湾中部偏东侧丰度较集中,其次为湾口站位,湾顶站位为相对低值区。应用 Primer 6.0 软件中的 BIOENV 程序分析发现,小拟哲水蚤总丰度的月变化主要受水温影响、特别是 1 月前的水温,可能还受黄河径流量的间接影响;水平分布则与盐度、水深关系密切。

关键词 小拟哲水蚤; 季节变化; 水平分布; 莱州湾; 渤海

中图分类号 Q178 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2015)01-0001-09

莱州湾位于渤海南部,平均水深 9 m,面积约为 7000 km²。湾内及邻近水域有中国内陆第二大河黄河和其他 10 余条河流入海径流,是黄、渤海许多重要经济渔业生物的传统产卵、孵育和索饵场(金显仕等, 2000)。莱州湾水交换能力较差,水环境极易受人类活动和气候变化的影响。在过去 50 年中,莱州湾生态系统的生物群落组成已发生了明显的更替和转变。上层营养级的优势种已由 20 世纪 50 年代较大个体和较高经济价值的大黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus haumela*)和中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*), 80 年代后转变成生命周期短、小型中上层鱼类的黄鲫(*Setipinna taty*)和鳀(*Engraulis japonicus*), 转为 2000 年之后的无脊椎动物如口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*) (Jin *et al.*, 2013)。浮游动物中的小型(体长小于 1mm)桡足类数量大、生命周期短,是将初级生产力向高营养级传递重要的枢纽组成部分(Turner, 2004)。它们的时空分布和数量组成不仅对环境变化具有指示作用,而且其出现季节、粒级和数量优势对

于上层鱼类的补充有着更为重要的生态意义(王荣等, 2002)。因此开展莱州湾小型桡足类的研究,了解和掌握它们作为鱼类特别是幼鱼的饵料生物的种类组成和时空变动,有助于理解莱州湾鱼类早期补充机制和群落结构动态变化的生态响应。

小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)是偏暖温带近海分布较广的小型桡足类,它不仅在渤、黄、东海较为常见(毕洪生等, 2000; 高露姣等, 2003; 张芳等, 2006),在许多河口、海湾亦为主要种类(孙松等, 2008; 洪一川等, 2009; 吴玲玲等, 2012; 盖建军等, 2013)。它与双刺纺锤水蚤(*Acartia bifilosa*)、长腹剑水蚤(*Oithona* sp.)、强额拟哲水蚤(*Pavocalanus crassirostris*)是包括莱州湾在内的渤海水域小型浮游动物中的优势种类(毕洪生等, 2000; 王荣等, 2002),且其在上层经济鱼类的仔、稚鱼的开口饵料组成中占有绝对数量比例(孟田湘, 2001)。较其他海区如海洲湾(盖建军等, 2013)、胶州湾(Sun *et al.*, 2008)、南黄海中部(张芳等, 2006),渤海以及莱州湾小拟哲水蚤的研究多见于报

* 国家重点基础研究发展规划项目(2011CB403604)和山东省自然科学基金(ZR2009EQ010)共同资助。王秀霞, E-mail: xiuxia.888@163.com

① 通讯作者: 左涛, 副研究员, E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-03-13, 收修改稿日期: 2014-03-25

道,包括摄食(杨纪明,1998)、垂直分布(韩希福等,2001)、季节变化(王荣等,2002; Wang *et al*, 2002),但更多基于2000年之前较早时期样品。莱州湾生物群落发生较大更替的2000年之后的相关研究还是较少(刘爱英等,2012)。

本研究依托农业部下拨的、由黄海水产研究所承担的“渤海渔业监测项目”,于莱州湾2011年5月–2012年4月逐月所采集的浮游动物样品,分析莱州湾小拟哲水蚤丰度周年时空变化;比较其时空变动与水文、生物环境因子的关系,从而掌握该水域小拟哲水蚤丰度分布变动季节规律,为该水域的鱼类早期补充机制研究提供饵料生物基础资料,同时亦为中国近海湾口小型浮游动物种群研究提供更多有用参数。

1 材料与方法

1.1 调查海区和样品采集

2011年5–11月、2012年3月和4月租用渔船“鲁昌渔4193号”在莱州湾海域进行了9个航次的逐月定点综合调查,设18个取样站位(图1)。2011年12月、2012年1月和2月因莱州湾海面结冰未调查。采用中型浮游生物网(网孔径为160 μm,网口面积为0.2 m²)从底至表垂直拖网采集浮游动物样品。样品采集后固定保存于5%的甲醛海水溶液,带回实验室分析。

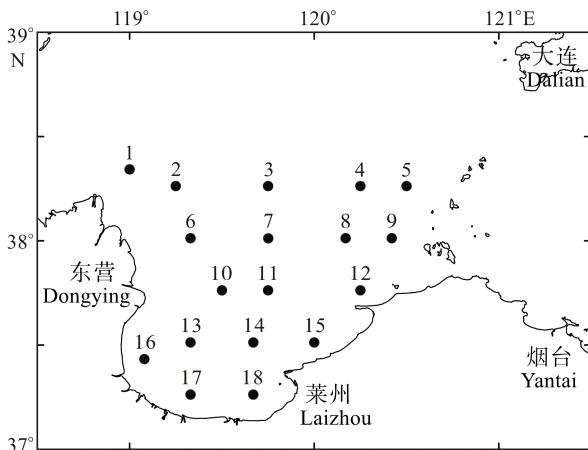


图1 调查海区和站位分布

Fig.1 The map of the study area and sampled stations

每个作业站位,还进行浮游植物、渔业生物、水文样采集。莱州湾的水深较浅,大部分站位水文要素垂直分布都比较均匀(高会旺等,2003),本调查使用指标水质分析仪(YSI Proplus, USA)同期仅测定了表层水的酸碱度(pH)、盐度(S)、温度(T)、溶解氧(DO)。

1.2 样品分析

浮游动物样品在 Nikon SMZ1500 体式显微镜下

镜检、计数,记录个体体长和发育期。小拟哲水蚤的鉴定及发育期判定参考高尚武等(1986),因受分类技术水平所限,本研究仅包括桡足幼体,包括 CI-CV、CVI(F)和 CVI(M),无节幼体未纳入本研究。各发育期个体计数结果转化为丰度,用海面下个体数(ind/m²)表示。

1.3 数据分析

收集到的环境因子数据包括同期以及1–2个月前的表层水温度、表层盐度、酸碱度和黄河月径流量。黄河月径流量摘自《2011年中国河流泥沙公报》和《2012年中国河流泥沙公报》。

参考周红等(2010),应用 PRIMER6.0 软件包进行系列多元统计分析。首先,小拟哲水蚤丰度和环境原始数据分别经对数和正态化转化,消除数据极差及相关数据的无量纲化。计算不同发育期小拟哲水蚤数量在各月、站位的 Bray-Curtis 相似性指数,进行组平均连接的聚类分析(Cluster analysis)和多维定标排序分析(Multidimensional scale, MDS);再用单因素相似性分析(One-Way ANOSIM)检验聚类组的结构差异显著性,确定小拟哲水蚤的丰度季节空间分布模式。环境数据的多变量排序采用主成分分析(PCA),以确定调查海域的环境时空变化梯度;最后,运用生物–环境 BIOENV(Biota-Environment)模块,计算小拟哲水蚤丰度分布与环境因子的 Weighted Spearman 相关系数,明确影响小拟哲水蚤丰度分布的最佳匹配(最大相关)环境因子或因子组合,其匹配(相关)显著性通过 RELATE 程序进行检验。

平面分布图运用 Surfer 9(Golden Software, USA)绘制。

2 结果

2.1 总丰度的月变化

所调查月份中,小拟哲水蚤都有出现。由图2可见,小拟哲水蚤总丰度周年变化曲线为单峰型,其丰度自6月开始增加,至8月出现峰值(1.27×10^5 ind/m²),随后逐月减少。丰度大幅升高始于7月,其值约为6月的13倍。最低值出现于2012年3月,仅 1.82×10^3 ind/m²。鉴定的各发育期中,CI–CII 幼体出现于2011年的7–11月和2012年3月,其他3个月较少或不出现。CIII–CV 期以及成体的丰度峰值亦出现于8月。

2.2 水平分布

如图3所示,2011年5月、6月和8月小拟哲水蚤丰度分布集中、密集中心位于近岸区域:5月以西侧、近东营广利河河口的16站位居多,其丰度达 1.85×10^4 ind/m²;6月丰度分布呈现东高西低的趋势,

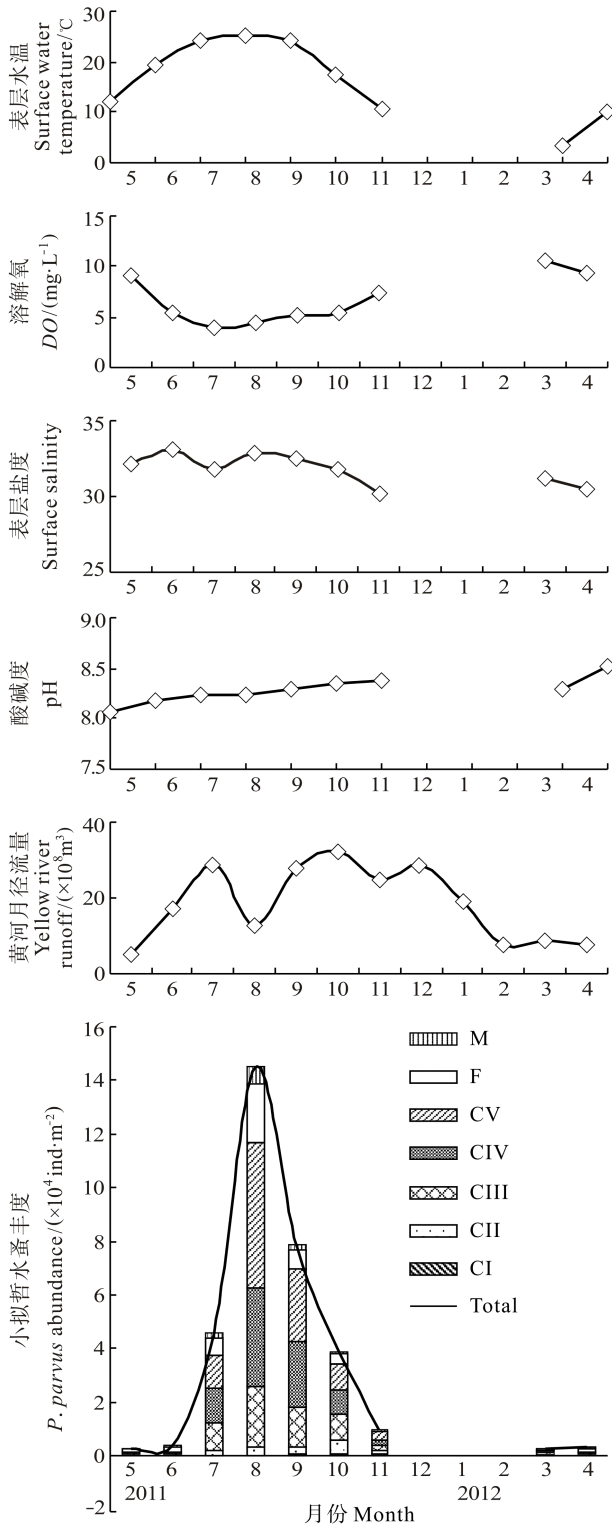


图 2 莱州湾表层水温度、溶解氧、表层盐度、酸碱度、黄河月径流量和小拟哲水蚤平均丰度月变化

Fig.2 Monthly variations of environmental factors including surface water temperature, dissolved oxygen concentration, surface water salinity, pH, the Yellow River runoff and mean abundance of *P. parvus* in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012

密集中心转移至湾东侧近岸的 15 站位; 8 月, 整个调查区的丰度普遍增加, 相对高密度区仍位于湾东侧近岸站位, 15 和 12 站位丰度最高, 分别为 $4.46 \times 10^5 \text{ ind/m}^2$ 和 $4.48 \times 10^5 \text{ ind/m}^2$ 。2011 年 7 月、9 月-11 月及 2012 年 4 月密集区位于在离岸站位、湾中部海域, 沿湾西南至东北沿线分布。2012 年 3 月, 大部分个体均匀分布于湾口 38°N 附近, 近岸海域丰度极少。

聚类分析得到(图 4), 调查所涉 9 个月在 82%相似水平可分为 M1(7-11 月)和 M2(3-6 月)两聚类组。调查所涉 18 个站在 67%相似水平被分为 3 个聚类组 S1、S2 和 S3 组, 分别位于湾口、湾中部和湾顶。两聚类结果的 MDS 压力系数(Stress)分别为 0.06 和 0.10, 均小于 0.20, 且各聚类组间差异(One-Way ANOSIM)均达极显著水平($P < 0.01$), 两聚类分组均达可接受水平。

2.3 与环境因子关系

各环境因子的周年变化见图 2。表层水温度自 3 月逐渐升高, 8 月达到最高值 25.1°C 。溶解氧变化趋势与表层水温相反, 二者呈显著负相关(Pearson $R = -0.90$, $P < 0.05$); 黄河径流量和海水的 pH 呈显著正相关; 表层盐度在 5-11 月间呈下降趋势。图 5 和图 6 为各月份表层水温和盐度水平分布。总体而言, 表层水温度从湾顶向湾口逐渐降低, 与之相反, 表层盐度除 7 月外均表现为从湾顶向湾口递增的趋势, 7 月表层水的盐度从湾顶向湾口递减, 近岸盐度高于湾口。

环境因子 PCA 分析显示(图 7-a 和图 7-b), 调查月份可分为两组, 一组为表层水温度高、表层盐度高、溶解氧低的 6-11 月, 另一组为表层水温度低、表层盐度低、溶解氧高的 3-5 月。调查站位 3 个聚类组的环境特点对应为高盐、高溶解氧、低温的湾口深水, 高温、低盐、低溶解氧的近岸浅水湾顶, 介于前二者间的湾中部。RELATE 检验显示, 小拟哲水蚤季节和站位丰度矩阵分别与相应环境变量矩阵的相关性都达极显著水平($R = 0.822$, $P = 0.001 < 0.01$; $R = 0.535$, $P = 0.001 < 0.01$)。

由 BIOENV 分析可见, 影响小拟哲水蚤丰度月变化的最佳环境因子组合为当月的表层水温度; 1 个月前的酸碱度、表层水温度、溶解氧; 2 个月前的表层盐度、酸碱度, 相关性检验达显著水平(表 1)。

通过 BIOENV 分析, 对小拟哲水蚤站位间丰度差异影响最大的环境因子组合为水深和当月表层盐度, 相关性水平显著。

3 结论

渤海浮游动物存在着显著的优势种季节更替。与

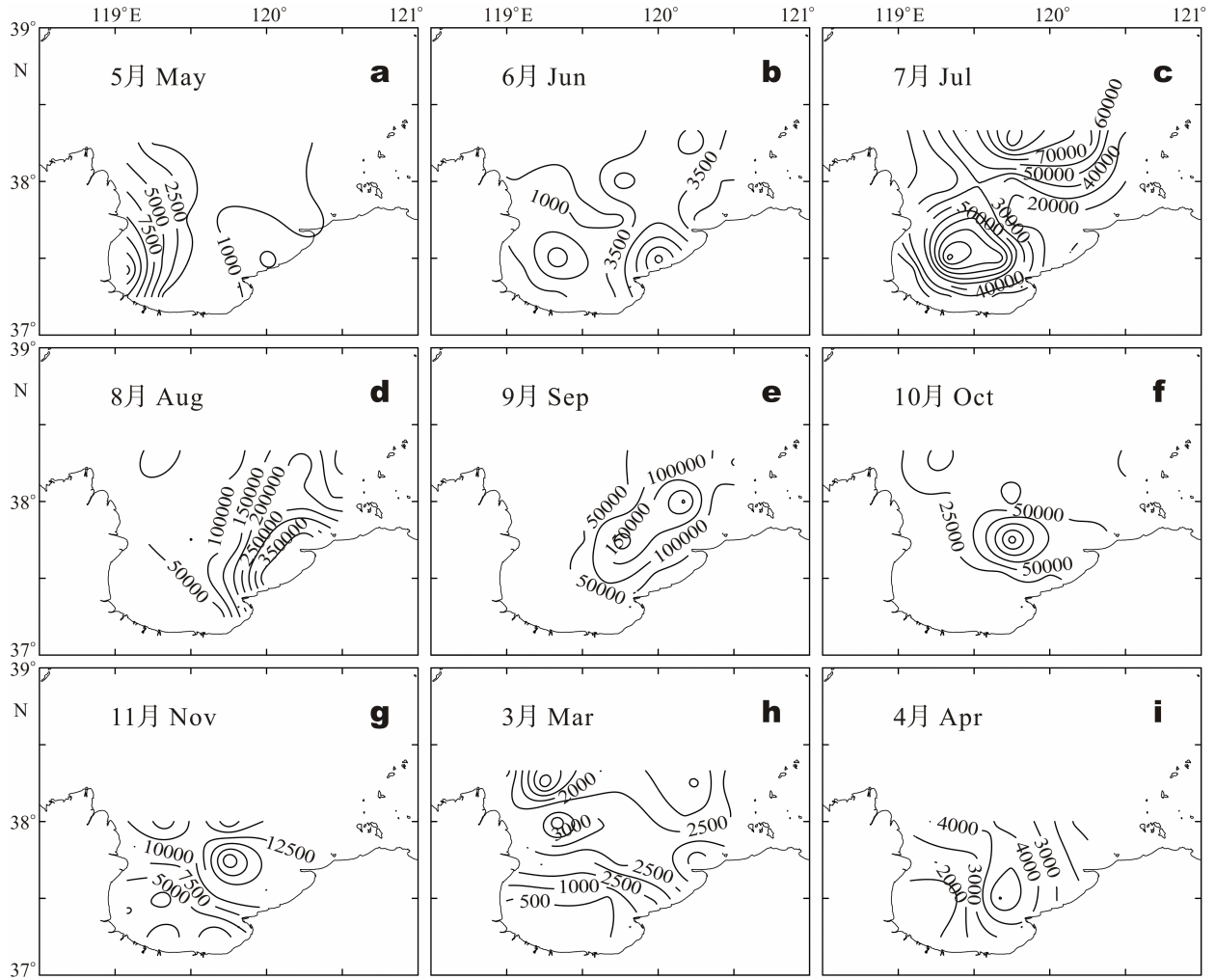


图3 2011年5月至2012年4月莱州湾小拟哲水蚤丰度(ind/m²)的水平分布
 Fig.3 Spatial abundance(ind/m²)distribution of *P. parvus* in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012

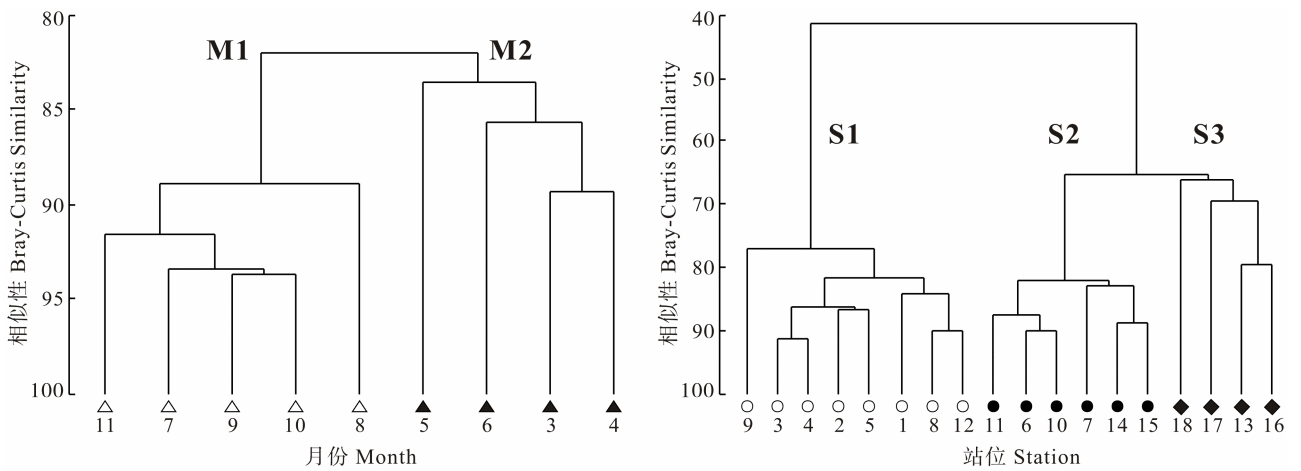


图4 小拟哲水蚤丰度季节和站位分布聚类
 Fig.4 Plots of temporal-spatial cluster analysis based on the monthly abundance of *P. parvus* in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012

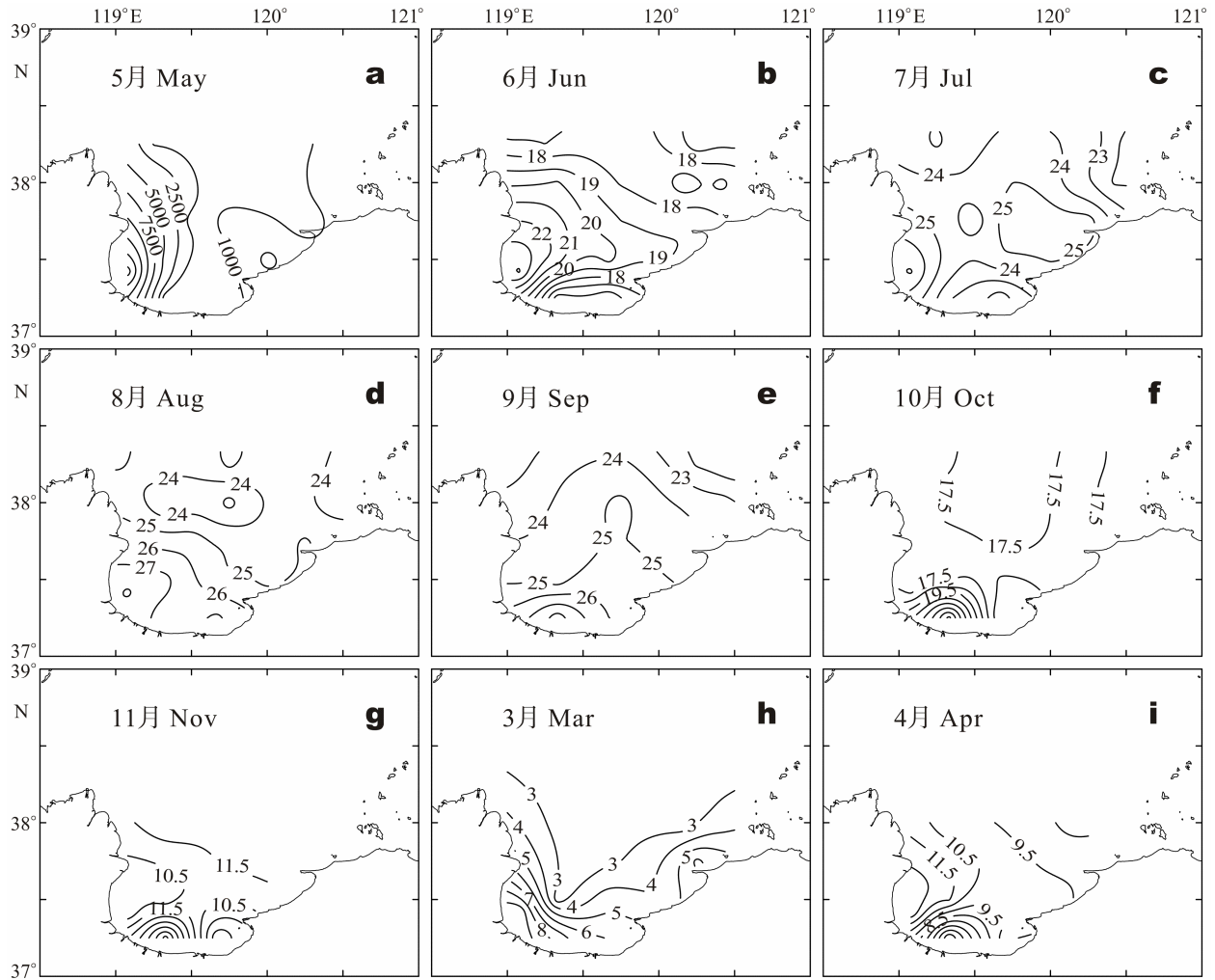


图 5 表层水温度水平分布

Fig.5 Distributions of surface water temperature in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012

之作为渤海夏、秋季主要优势种(毕洪生等, 2000、2001; 张武昌等, 2002)相适, 小拟哲水蚤在莱州湾表现明显的季节丰度变更, 3-6 月丰度较低, 而在 7-11 月丰度较高, 最高值出现于 8 月(图 2)。调查的 18 个站中, 有 11 个站的小拟哲水蚤丰度峰值均出现于 8 月, 其他站则出现于 7、9、10 月(图 3)。由此, 莱州湾小拟哲水蚤丰度周年变化呈现单峰型, 以夏、秋丰度较高, 峰值出现的季节应主要为 8 月。这与毕洪生等(2001)报道的渤海中部小拟哲水蚤的周年变动规律基本相似, 但其报道的小拟哲水蚤数量峰值出现季节为 7 月, 早于莱州湾。毕洪生等(2001)亦指出, 小拟哲水蚤在莱州湾大量繁殖始于 7 月份, 晚于在渤海西部的春季。Wang 等(2002)和王荣等(2002)报道 1959 年渤海小拟哲水蚤出现高峰季节为 6-10 月。黄海南部胶州湾的中部和近岸, 小拟哲水蚤的丰度高峰则发生于 8 月, 但其周年的丰度波动为双峰型, 即在 2-4 月还有一个数量小高峰(仲学锋等, 1992; Sun *et al.*,

2008)。日本濑户内海湾、黄海中部以及胶州湾整个水域小拟哲水蚤丰度均值的最高峰出现在 6、7 月(Liang *et al.*, 1996; 张芳等, 2006; 黄凤鹏等, 2010), 日本濑户内海湾在 9-12 月份还出现 1-2 个较小的高峰。另外, 近长江口外海小拟哲水蚤也以 8 月数量居多(高露姣等, 2003)。总体而言, 小拟哲水蚤在渤、黄、东海的丰度高值多出现在 6-8 月。比较而言, 莱州湾小拟哲水蚤的周年丰度变化呈单峰型、峰值出现季节较晚的特点, 应与该水域水温季节变化有关(图 7-a 和表 1)。莱州湾冬季水温低, 12 月-翌年 1、2 月常处于冰期, 3-5 月水温亦多低于 13°C(图 5)。而小拟哲水蚤在黄海中部丰度高密集区的水温多为 13-24°C(张芳等, 2006)以及温度大于 22.5°C 的渤海湾和莱州湾邻近水域(张武昌等, 2002)。莱州湾冬、春季的低温抑制了小拟哲水蚤桡足幼体和成体生长, 因而该种不易在此季出现丰度峰值。6 月莱州湾水温虽上升至 17-22°C, 但其当月丰度并没有显著的大幅增加, 而是

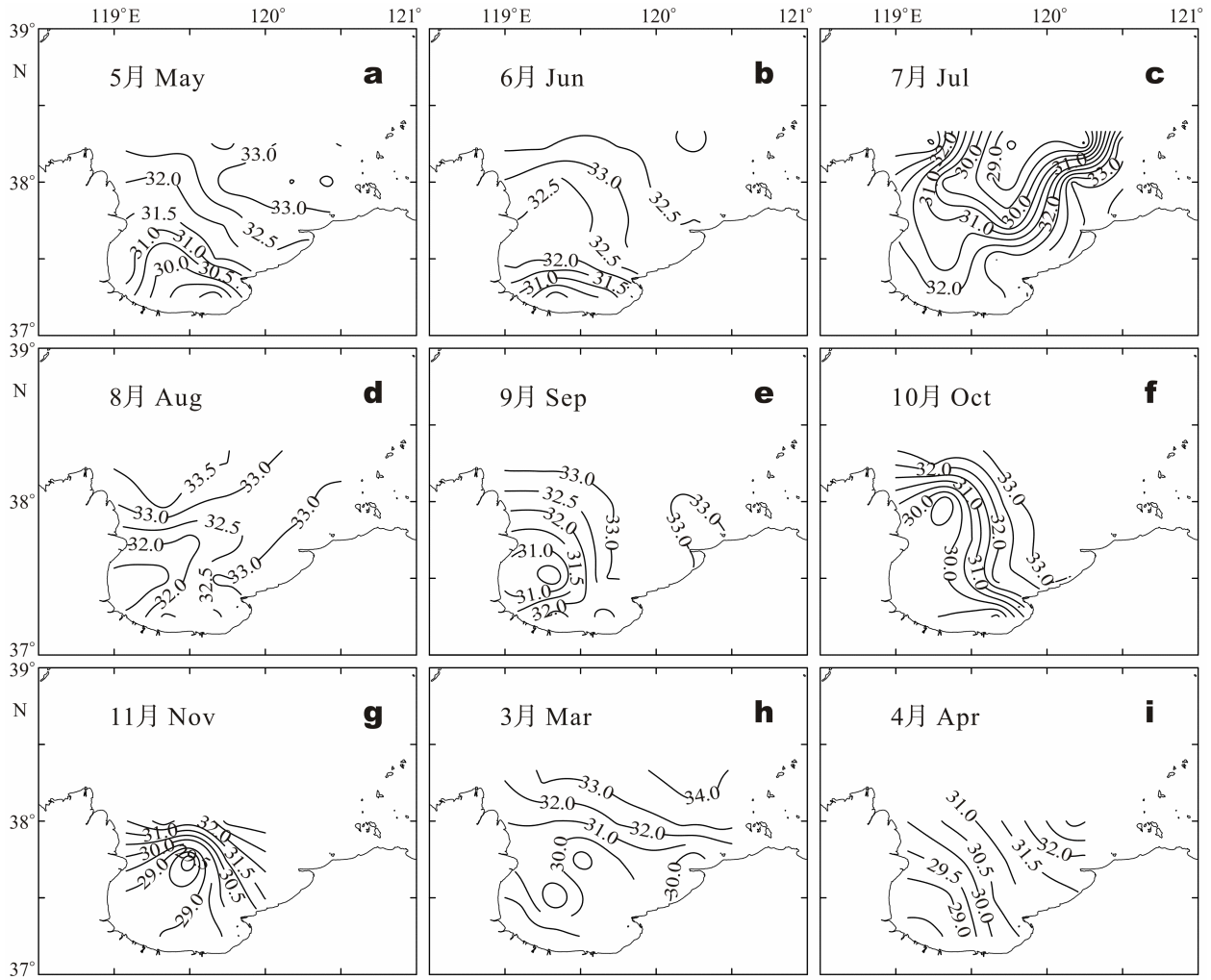


图6 表层盐度水平分布

Fig.6 Distributions of surface water salinity in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012

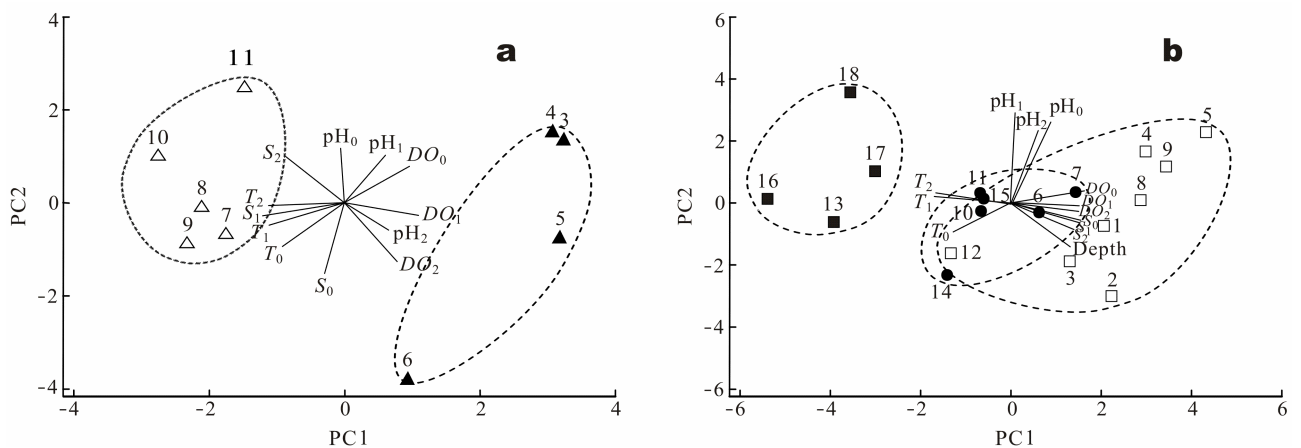


图7 环境因子 PCA 排序(a 月份; b 站位)

Fig.7 Results of PCA ordination of environmental variables in the Laizhou Bay from May 2011 to April 2012 based on variations among months (a) and stations (b)

发生在7月(图2)。这可能因为,小拟哲水蚤的世代周期长短受水温影响,在20℃以下需20-44 d、20℃以上

则15-24 d (Liang *et al*, 1996)。水温上升,缩短了小拟哲水蚤的世代周期,从而为其之后的丰度激增提供了

表 1 小拟哲水蚤丰度与环境因子组合 **Weighted Spearman** 相关系数的最佳匹配
 Tab.1 Best combinations of *P. parvus* abundance and environmental factors similarity matrices based on the Weighted Spearman rank correlation (ρ) analysis

编号	环境变量 Environmental variables	相关系数 ρ	
		月丰度 Monthly abundance	每站位的丰度 Abundance of each station
	水文 Hydrography		
1	1 月前酸碱度 pH before one month	0.518	-0.094
2	1 月前表层水温度 Surface temperature before month	0.515	0.443
3	2 月前表层水温度 Surface temperature before two months	0.475	0.457
4	1 月前溶解氧 DO before one month	0.359	0.209
5	2 月前表层盐度 Surface salinity before two months	0.325	0.499
6	当月表层水温度 Surface temperature	0.293	0.190
7	2 月前酸碱度 pH before two months	0.164	-0.109
8	当月酸碱度 pH	0.101	0.088
9	当月溶解氧 DO	0.092	0.186
10	1 月前表层盐度 Surface salinity before one month	0.015	0.532
11	2 月前溶解氧 DO before two months	-0.072	0.182
12	当月表层盐度 Surface salinity	-0.125	0.571
13	水深 Depth	—	0.676
最佳组合 Best combination		0.84*(1, 2, 4-7)	0.766*(12, 13)

*相关性达显著水平($P<0.05$) Related coefficient reached significant level ($P<0.05$)

可能。由此可推测,小拟哲水蚤的丰度增加较水温变化有一定的时滞,与 1 月以内的水温同时。小拟哲水蚤对温度的耐受也是有一定限制的。Liang 等(1996)认为,在 20°C 以上拟哲水蚤的生长率不再增加。王荣等(2002)发现,当近岸水温高于 26°C 时,小拟哲水蚤高值区有外移趋势。本研究亦发现,在 7-9 月,小拟哲水蚤高丰度($>10^5$ ind/ m^2)出现在站位的表层,水温介于 $17-25^{\circ}\text{C}$,且主要介于 $21-25^{\circ}\text{C}$ 之间。

莱州湾水文主要受黄河以及沿岸陆地径流、渤海水流分布和季节风向变化等影响。湾口更多受外海水流影响通常表现较高盐。而湾内受黄河和沿岸陆地径流以及外海海流的影响叠加程度不同,东、西侧的环境差异较大(宋万先等, 1990; 万修全等, 2004; 刘义豪等, 2011)。西侧受黄河入海径流影响,特别是夏季丰水期(7-10 月)存在明显的黄河口低盐水舌,常表现相对低盐、高营养盐等;东部受外海水影响较多。即使夏季,由于东南风的盛行,莱州湾内海水从湾口西北方向向渤海中央扩展,此时外海高盐水以补偿形式从湾口东部进入湾东部,形成相对高盐,从而将莱州湾东侧与西侧水文区分开来。与水文特点相适应,莱州湾的生物群落一般可分为受外海水影响较大的近渤海中部莱州湾湾口群落、陆地径流影响较大的莱州湾及黄河口邻近的湾顶群落以及介于前二者之间莱州湾

偏东侧的中部群落(周红等, 2010; 刘爱英等, 2012)。本研究结果中,莱州湾小拟哲水蚤空间丰度分布组群划分与之基本相似。比较图 3 和图 6 可以发现,小拟哲水蚤的高丰度($>10^5$ ind/ m^2)出现站位的表层盐度多为 $32.0-33.2$ 。除 5 月其丰度相对高值出现在湾内西侧湾顶站位外,其他月该种的密集程度依次为湾中部偏东侧(水深介于 $10-15$ m)丰度最高、其次为湾口站位(水深 >15 m),最少的位于湾顶站位(<10 m)。由 PCA 结果(表 1 和图 7),亦证实小拟哲水蚤在莱州湾内更多分布于相对高盐和水深的水域。小拟哲水蚤在莱州湾内偏高盐、水深的水平分布特点与其作为暖温带近海类型种的生态习性是相符的。此外,渤海海流经由莱州湾湾口外出渤海、进入黄海(赵保仁等, 1995),在黄河口东南部的流场亦为顺岸流出湾外(黄大吉等, 2002),二者共同作用亦可能造成小拟哲水蚤在莱州湾东侧的聚集。从本研究结果可知,小拟哲水蚤时空分布除与水温 and 盐度有明显的关系外,还与 1 个月前水体的 pH 值呈明显的正相关(表 1)。而 pH 值与黄河径流量呈显著的正相关,因此,推测 1 月前的黄河径流量也可能是影响小拟哲水蚤的时空分布的间接因素。

小拟哲水蚤的分布不仅与温、盐具有一定关系,它还可能受食物、捕食者等其他生物因素的影响。如,小拟哲水蚤营浮游植物食性,但其对浮游植物的摄食

具有一定的选择性,且摄食强度具有季节变化(杨纪明,1998)。此外,莱州湾鱼类产卵盛期虽为5-6月,而营浮游动物食性的鱼类,如鳀的仔稚鱼以8月居多(万瑞景等,1998)。而与本研究同期调查所获的鱼类营养结构分析显示,莱州湾浮游动物桡足类食性的鱼类,如赤鼻棱鳀、许氏平鲉和青鳞沙丁鱼等以7-10月居多(张波等,2013),这与小拟哲水蚤的丰度峰值出现时期基本吻合,也证实了小拟哲水蚤作为鱼类开口饵料所具备的出现季节优势(王荣等,2002)。目前鉴于分析资料局限性,要深入探求小拟哲水蚤的丰度分布与其他生物间关系尚存在一定困难。我们将在进一步收集和完善的同期调查所获的仔稚鱼、浮游植物资料的基础上,继续开展莱州湾小拟哲水蚤丰度分布与仔稚鱼、浮游植物等相关关系的研究,以更好地了解 and 明确该桡足类在莱州湾生态系统的功能地位。

致谢: 本研究海上样品采集和处理还得到孙坚强、陈峻峰以及农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站工作人员的帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 万修全,吴德星,鲍献文,等. 2000年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2004, 34(1): 7-12
- 万瑞景,姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵和仔稚鱼分布及其动态变化. 中国水产科学, 1998, 5(1): 43-50
- 王荣,张鸿雁,王克,等. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用. 海洋与湖沼, 2002, 33(5): 453-460
- 孙松,周克,杨波,等. 胶州湾浮游动物生态学研究 I. 种类组成. 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 1-7
- 毕洪生,孙松,高尚武,等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成和群落结构. 生态学报, 2000, 20(5): 715-721
- 毕洪生,孙松,高尚武,等. 渤海浮游动物群落生态特点 II. 桡足类数量变动与分布. 生态学报, 2001, 21(2): 177-185
- 刘义豪,杨秀兰,靳洋,等. 莱州湾海域营养盐现状及年际变化规律. 渔业科学进展, 2011, 32(4): 1-5
- 刘爱英,宋秀凯,刘丽娟,等. 夏季莱州湾浮游动物群落特征. 海洋科学, 2012, 36(10): 61-67
- 仲学锋,肖贻昌. 胶州湾3种哲水蚤种群动态的研究. 海洋科学, 1992(1): 44-48
- 吴玲玲,朱艾嘉,郭娟,等. 珠江口夏季中、小型浮游动物生态特征研究. 海洋通报, 2012, 31(6): 689-694
- 杨纪明. 渤海小拟哲水蚤摄食的初步研究. 现代渔业信息, 1998, 13(5): 5-9
- 宋万先,姜太良,刘建军. 莱州湾的温、盐状况. 海洋科学进展, 1990, 8(4): 41-46
- 周红,华尔,张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(8): 80-87
- 金显仕,邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
- 张芳,孙松,杨波,等. 黄海小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)丰度的季节变化. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 322-329
- 张波,吴强,金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 1-9
- 张武昌,王克,高尚武,等. 渤海春季和秋季的浮游动物. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 630-639
- 孟田湘. 山东半岛南部鳀鱼产卵场鳀鱼仔、稚鱼摄食的研究. 海洋水产研究, 2011, 22(2): 21-25
- 洪一川,陈栩,朱长寿. 湄洲湾中、小型浮游动物的分布. 台湾海峡, 2009, 28(2): 238-243
- 赵保仁,庄国文,曹德明,等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466-473
- 黄大吉,苏纪兰. 黄河三角洲岸线变迁对莱州湾流场和对虾早期栖息地的影响. 海洋学报, 2002, 24(6): 104-111
- 高会旺,吴德星,白洁,等. 2000年夏季莱州湾生态环境要素的分布特征. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(2): 185-191
- 高尚武,林雅蓉. 胶州湾桡足类的生物学研究 I. 小拟哲水蚤桡足幼体的变态. 海洋科学, 1986, 10(1): 51-59
- 高露姣,杨元利,李丁成,等. 黄海南部及东海中小型浮游桡足类生态学研究IV. 拟哲水蚤属. 水产学报, 2003, 27(增刊): 23-30
- 黄凤鹏,孙爱荣,王宗灵,等. 胶州湾浮游动物的时空分布. 海洋科学进展, 2010, 28(3): 332-341
- 盖建军,袁广旺,李琴. 海州湾渔场小拟哲水蚤的生态学研究. 淮海工学院学报, 2013, 22(3): 89-92
- 韩希福,王荣,王军萍. 渤海中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和小拟哲水蚤(*Paracalanus Parvus*)种群垂直移动生态适应性模型研究. 生态学报, 2001, 21(5): 820-826
- Jin XS, Shan XJ, Li XS, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China. Science China (Earth Sciences), 2013, 56(3): 366-374
- Liang D, Uye S. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. III. *Paracalanus* sp. Mar Biol, 1996, 127(2): 219-227
- Sun XH, Sun S, Li CL, et al. Seasonal and spatial variation in abundance and egg production of *Paracalanus parvus* (Copepoda: Calanoida) in/out Jiaozhou Bay, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79(4): 637-643
- Turner JT. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zool Stud, 2004, 43(2): 255-266
- Wang R, Zhang HY, Wang K, et al. Distribution and population dynamics of *Paracalanus parvus*, *Paracalanus crassirostris*, and *Acartia bifilosa* (copepod, calanoida) in the Bohai Sea. Chin J Oceanol Limnol, 2002, 20(4): 348-357

Annual dynamic distributions of *Paracalanus parvus* (Copepoda Calanoida) in Laizhou Bay, China

WANG Xiuxia^{1,2}, ZUO Tao^{2①}, WU Qiang², CHEN Ruisheng²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-Environment, Shandong Province, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract Small copepod *Paracalanus parvus* is the dominant zooplankton species for early larvae of fishes as food in the critical spawning and nursery habitat of Laizhou Bay, Bohai Sea. Annual dynamic distributions of the species in the bay were studied based on the zooplankton samples that were collected from May 2011 to April 2012 by a net with 50 cm diameter and 160 micron mesh size. In this study, stage-specific abundance of *P. parvus* from the original sorting was transformed before the multiple analysis including cluster analysis and multidimensional scale. Principal component analysis (PCA) and RELATE modules of BIOENV in software Primer 6.0 were used to seek the best matches of environmental factors that affect distribution of *P. parvus*. As the most common copepod in Laizhou Bay, *P. parvus* was observed at all stations during the investigated period. The species was more abundant from July to October compared with other seasons and its abundance peaked in August. By cluster analysis based on the copepod stage-specific abundance, three stations groups were recognized. The one was located on outside of Laizhou Bay near the central Bohai Sea; the second was located to the runoff inlet of the west of the bay; the third was appeared in the transition area of the two mentioned groups before. The abundance of *P. parvus* reached the highest in the transition group and the lowest in the group outside the runoff inlet. According to the results of BIOENV analysis, the surface water temperature and pH co-regulated seasonal distributions of *P. parvus*, while seawater salinity and depth had stronger effects on the spatial distributions. The significant correlations between seawater pH and Huanghe River runoff suggest that runoff one month earlier may be a possible indirect factor that affects the temporal variations of the *P. parvus*.

Key words *Paracalanus parvus*; Spatial distribution; Temporal variation; Laizhou Bay; Bohai Sea

① Corresponding author: ZUO Tao, E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn