

黄海海域中华假磷虾的种群特征和 分布及其与环境因子的关系

陶振铖¹, 李超伦¹, 孙 松^{1,2*}

(1. 中国科学院海洋研究所, 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院海洋研究所, 胶州湾海洋生态系统研究站, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了解中华假磷虾在南黄海的种群分布、体长变化及其与环境因子的关系, 采用现场调查采样、镜检和相关性分析等方法, 对 2006 年 9 月、12 月和 2007 年 3 月、5 月南黄海中华假磷虾的种群分布和体长分布进行了调查研究。结果表明, 中华假磷虾主要分布海域的海水温度为 15~25 °C, 其种群分布与海水温度紧密相关。温度和叶绿素 *a* 浓度是主要环境影响因子。5 月份的丰度最高, 平均值为 0.585 个/m³, 分布中心值为 9.200 个/m³; 丰度分布与叶绿素 *a* 浓度呈极显著正相关, 这说明成体在春季偏向于集中分布在食物比较丰富的海域进行繁殖。5 月和 9 月的雌雄性比达到了 1.3 以上, 明显高于 3 月和 12 月。中华假磷虾成体全长为 4~14 mm, 体长和全长有着很好的线性关系。5 月和 9 月的体长比(体长/全长)系数高于 3 月和 12 月, 且体长分布频率显示种群由不同体长组的新老成体共同组成, 春夏季是南黄海中华假磷虾的种群补充增长期。

关键词: 中华假磷虾; 丰度; 体长分布; 黄海

中图分类号: Q 145; S 968.22

文献标志码: A

磷虾为大型海洋浮游动物, 它数量大, 分布广, 是浮游动物生物量的主要贡献者。磷虾是连接初级生产和高级捕食者的中间环节, 它能够直接消耗初级生产, 又是高等捕食者如鱼类、海鸟、鲸及海豹等的主要饵料, 在能流物流中起着重要的调控作用^[1-3]。一直以来, 分布在中国沿海的假磷虾被认为只有一种, 即广布于太平洋和印度洋热带近岸水域的宽额假磷虾 (*Pseudeuphausia latifrons*)。直到 1963 年, 王荣等^[4]首次报道了一个分布在中国沿海的假磷虾新种——中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica* Wang et Chen, 1963), 这才将中华假磷虾和宽额假磷虾区分开来。

中华假磷虾属于海洋浮游高等甲壳动物中的磷虾目 (Euphausiacea), 磷虾科 (Euphausiidae), 假磷虾属, 主要分布于东海和南黄海的我国近海海域, 其在黄海海域为仅次于太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*) 的磷虾优势种。中华假磷虾是许多中上

层鱼类, 尤其是幼鱼的重要饵料, 蛋白质含量高, 具有较高的营养价值和经济价值。此外, 中华假磷虾可作为中国沿岸流指示种, 因此在探讨海流和水团问题等海洋学研究领域也具有重要意义^[5-6]。同另一种重要浮游动物——中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 一样, 中华假磷虾也是我国近海浮游动物特有种, 关于中华假磷虾的研究和报道多集中在形态结构和种群分布方面^[5,7-11], 而针对体长变化、生长状况等种群结构方面的研究尚未见报道。

本实验通过南黄海海域一周年 4 个航次的调查, 对中华假磷虾的种群分布、体长变化和生长状况进行了较为细致的研究, 以期中华假磷虾种群动力学研究提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 调查时间、站位和环境数据采集

2006 年 9 月、12 月和 2007 年 3 月、5 月, 利用

收稿日期:2013-08-26 修回日期:2013-10-25

资助项目:国家自然科学基金项目(41306155);国家自然科学基金重点项目(41230963);国家基金委创新群体项目(41121064)

通信作者:孙 松, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

“北斗号”调查船进行了4个航次的南黄海综合调查,调查站位如图1。调查站位的温度和盐度由CTD(seabird electronics, SBE25)现场测定。用于测定叶绿素 *a* (Chlorophyll *a*, Chl. *a*) 浓度的海水水样取自0、10、20、30、50 m 和近海底2 m,根据现场条件适当调整采水水层。水样采集后,将500 mL 水样过滤至 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(0.70 μm)上,然后立即保存在-20 °C 冰箱内。叶绿素的测定先经90% 丙酮溶液在≤4 °C 条件下萃取24 h,然后用 Turner Designs 荧光计测定叶绿素 *a* 的含量。根据 Satapoomin 等^[12] 的方法,将各水层的叶绿素 *a* 浓度进行梯形积分,得出每个站位的叶绿素 *a* 浓度。

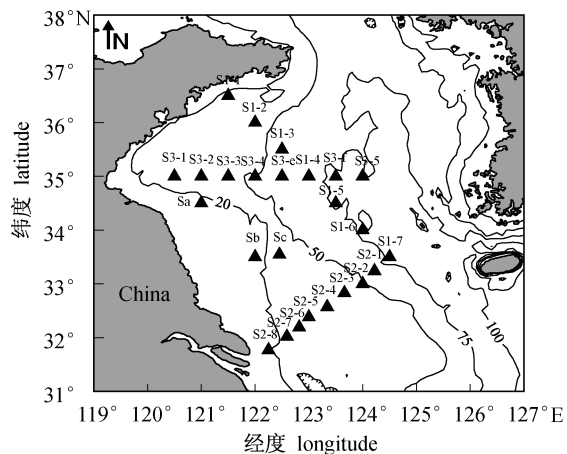


图1 调查站位图,标出20、50和75 m等深线
Fig.1 Location of the sampling stations in the Yellow Sea during four cruises. 20, 50 and 75 m depth contours are superimposed

1.2 采样和鉴定方法

样品采集和室内处理均按照《国家海洋调查规范:第6部分——海洋生物调查 GB/T 12763.6-1991》进行^[13]。调查中采集中华假磷虾样品的网具均为标准浮游动物大网(网口直径80 cm,筛绢规格CQ14,网目孔径0.50 mm)。取样时由距海底3 m 垂直拖曳至表层。样品用5%的甲醛溶液(最终浓度)固定保存。带回实验室后,在解剖镜下鉴定、计数,辨别雌雄,测定体长。所涉种群丰度单位均为个/m³。

中华假磷虾体长根据 Shaw 等^[14] 提出的“磷虾活体蜕皮速率和产卵测量规范”进行测量,其成体体长(body length, BL)为由眼后,头胸甲前缘至最后一节腹节末端之间的长度,成体全长(total length, TL)为由眼后,头胸甲前缘至尾节末端(顶端)之间的长度(图2)。

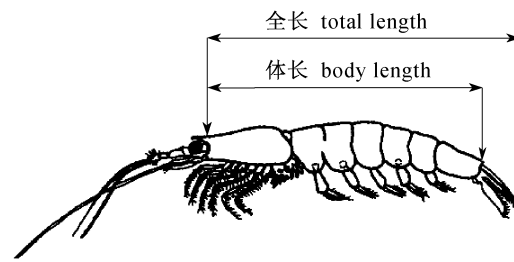


图2 中华假磷虾体长与全长测定方法
Fig.2 Body length and total length of *P. sinica*

1.3 数据分析

性比(sex ratio)是指成体性成熟后雌体和雄体的数量比率。

体长比是指中华假磷虾成体体长占全长的比例,以成体全长为横坐标、体长为纵坐标生成散点图,并得出体长与全长回归方程 $BL = aTL$ 。体长比方程的系数 *a* (斜率)在一定程度上能够说明成体的生长状况, *a* 值越大,说明前体部占全体长比例越高,表明生长发育和营养状况越好;反之,则表明一般或较差。

体长频率(size frequency)是指各体长组个体数量占总数量的百分比。磷虾个体的全长值以1 mm 间隔进行体长分组,各体长组下限为体长组值。

所有温度、盐度、叶绿素 *a* 浓度和中华假磷虾丰度等值线图均使用 Golden Software Surfer V 8.0 绘制。利用数理统计软件 SPSS V16.0 和 PAST V1.68 对黄海海域中华假磷虾体长比进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),对其丰度分布与环境因素(温度、盐度、Chl. *a* 浓度)进行 Pearson 相关性分析和主成分分析(principal component analysis, PCA)。

2 结果

2.1 水文环境因子

4个航次的调查表明,黄海海域的温度和盐度季节变化明显。

3月,南黄海调查海域水体温度在5.9~12.7 °C 之间,站位的表层和底层水温较为均一,表底温差小于2.0 °C。表底层水温分布趋势比较一致,最低水温出现在S1-2 站底层,最高水温出现在调查海域东南部S2-1 站表层(图3)。表层和底层的盐度分布趋势仍然一致,总体上呈现由近岸向深水海域逐渐升高的趋势。近岸水域的盐度都在32 以下,黄海中部的盐度则高于33.0。受长江冲淡水影响的长江口以北海域盐度较低,最低盐度出现在S2-8 站,底层盐度仅为29.2;最高盐度值为34.2,出现在表底水温较高(12.6 °C)的S1-7 站(图4)。

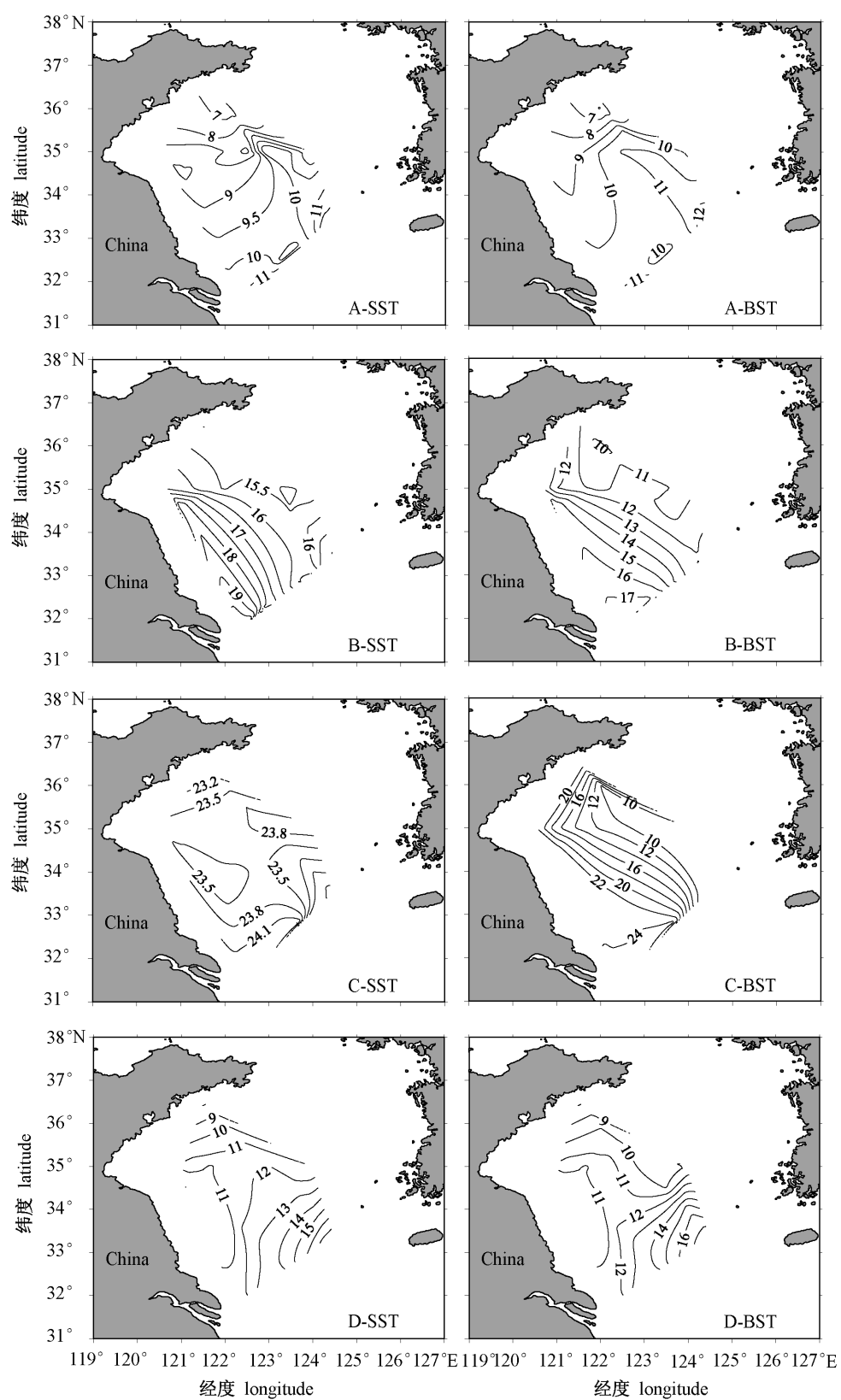


图3 黄海表层海水温度(SST)和底层海水温度(BST)水平分布

A. 2007年3月; B. 2007年5月; C. 2006年9月; D. 2006年12月

Fig. 3 Horizontal distribution of surface and bottom seawater temperature(SST and BST) in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006 D. December 2006

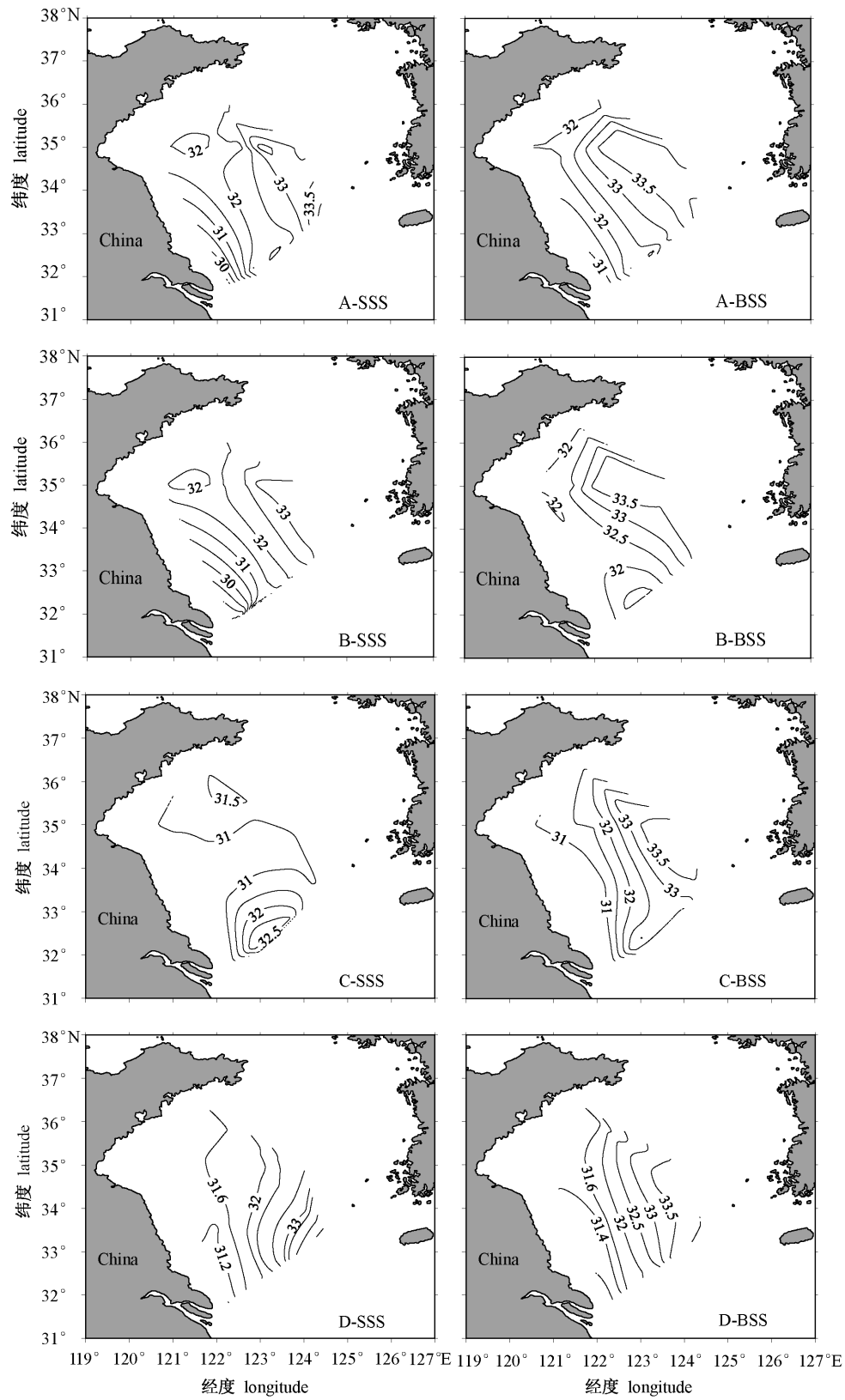


图 4 黄海表层海水盐度 (SSS) 和底层海水盐度 (BSS) 水平分布

A. 2007 年 3 月; B. 2007 年 5 月; C. 2006 年 9 月; D. 2006 年 12 月

Fig. 4 Horizontal distribution of surface and bottom seawater salinity (SSS and BSS) in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006

5月,水温上升较快,表层水温在 $15.0\sim 20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。相对于表层水温,底层水温略低($9.4\sim 17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$),表底温差开始增大,大部分站位表底温差均在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内(图3)。盐度分布情况同3月份类似,近岸和靠近长江口海域的海水盐度较低,开阔水域的盐度相对较高(图4)。

9月,调查海域的表层水温为 $22.4\sim 24.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,呈现为南高北低的趋势。此时,黄海冷水团(YSCW)已呈较为强盛状态,已覆盖S1-2、S1-3、S1-4、S1-5、S1-6、S1-7、S3-4和S3-5等8个站位,底层水温低于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。整个调查海域的底层水温近岸高于开阔海域,长江口以北海域最高,达到 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。冷水团外部,温跃层消失,表底温差较小(图3)。调查海域的表层盐度同样是南高北低,最高值(33.0)出现在调查海域南部的S2-5站。底层盐度分布与底层温度分布相似,冷水团内部盐度相对稳定、均一,为 $33.0\sim 34.0$ 。冷水团外部由黄海中部向近岸水域,盐度逐渐降低(图4)。

12月,冷水团和温跃层消退,表层和底层水体再次混合完全,分布趋势非常相似,近岸表底温度为 $11.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,北部海域温度最低,可达到 $9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。东南部海域温度最高,表底温度均超过 $16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图3)。表层和底层盐度为由近岸向深水海域逐渐升高,近岸(靠近长江口海域)最低盐度不到 31.0 ,深水海域最高盐度超过 34.0 (图4)。

3、5、9和12月调查海域的平均叶绿素 a 浓度分别是 0.92 、 1.11 、 0.57 和 $0.88\text{ }\mu\text{g/L}$ 。4个航次调查站位叶绿素 a 浓度的最高值为 $4.28\text{ }\mu\text{g/L}$,出现在5月黄海南部的S2-4站位。3月和12月的叶绿素分布较为相似,浓度高值主要分布在南黄海西北部和近岸海域,叶绿素 a 分布由近岸向开阔海域,由北向南呈逐渐降低趋势。5月是4个调查月份中叶绿素 a 浓度最高的月份,叶绿素分布情况不同于12月和3月,呈现南部海域浓度较高,由南向北逐渐降低的趋势。9月,整个调查海域的叶绿素 a 浓度相对较低(图5)。

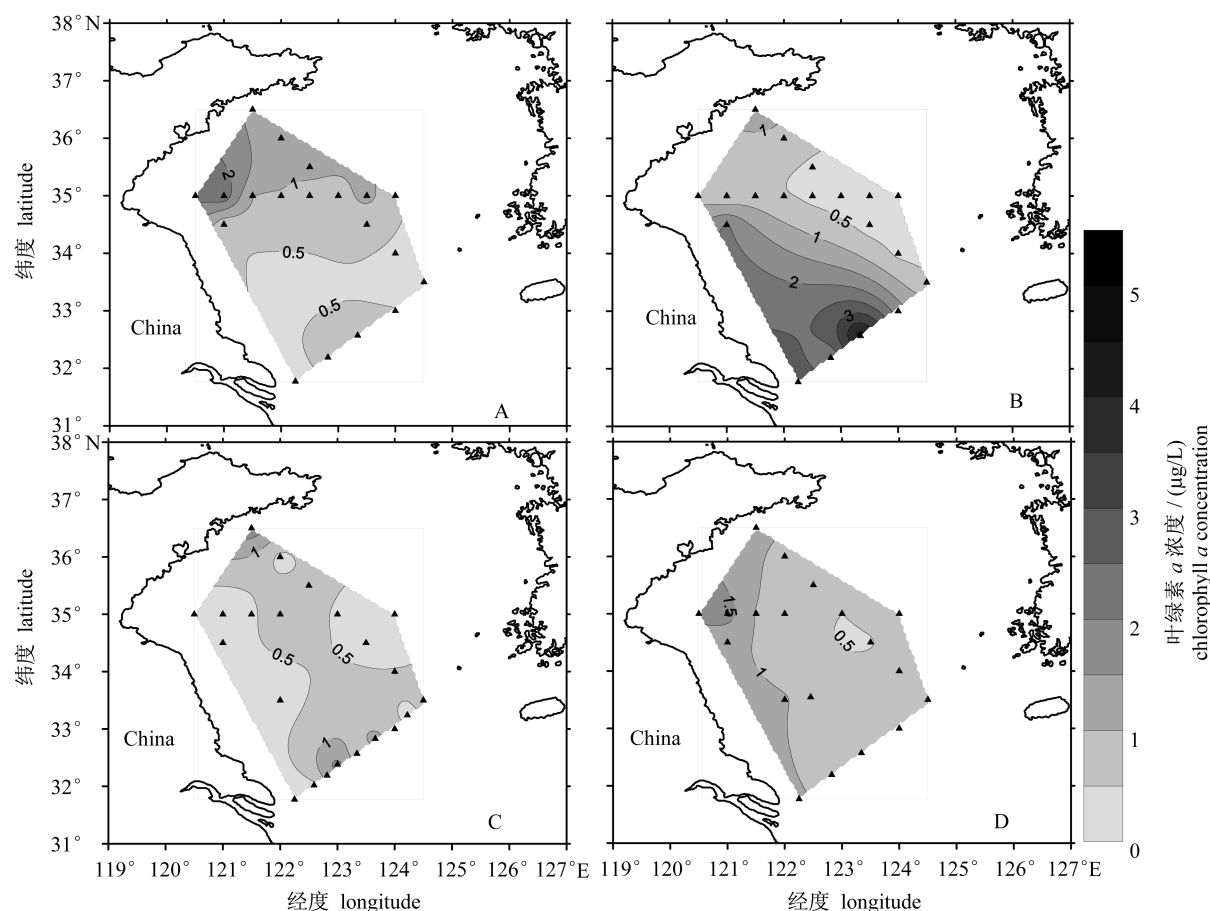


图5 黄海叶绿素 a 浓度水平分布

A. 2007年3月; B. 2007年5月; C. 2006年9月; D. 2006年12月

Fig. 5 Horizontal distribution Chlorophyll a concentration in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006

2.2 性比

2006年9月,共采集到中华假磷虾成体122只,其中雌体69只,雄体54只,性比为1.28,处于高值状态;12月份,成体数量显著减少,只采集到中华假磷虾成体10只,其中雌体和雄体各5只,性比下降到1.00。至2007年3月,成体丰度较低,共采集到中华假磷虾成体12只,雌体雄体各6只,雌雄性比保持为1.00;5月,成体数目大幅升高,共采集到中华假磷虾成体192只,达到了全年的最高值,其中雌体111只,占成体总数的57.81%,雄体81只,性比上升至1.37。

2.3 成体丰度及分布

中华假磷虾在南黄海4个月份的丰度差异明

显,3月和12月丰度较低,海区平均丰度只有0.038和0.032个/m³,所有站位的丰度都小于1.0个/m³。中华假磷虾主要分布在S1-7站和S2断面站位上。12月的分布偏向于近长江口沿岸海域(图6)。5月和9月,中华假磷虾丰度明显升高。其中5月丰度为4个月份最高,平均丰度达到0.585个/m³;最高丰度达到9.200个/m³,出现在黄海南部远岸海域的S2-4站。9月共有7个站位采集到中华假磷虾,是采集到磷虾最多的月份,平均丰度为0.516个/m³。从5月开始,中华假磷虾逐渐从长江口近岸海域向外海扩布,最东可分布到124.50°E(图6)。

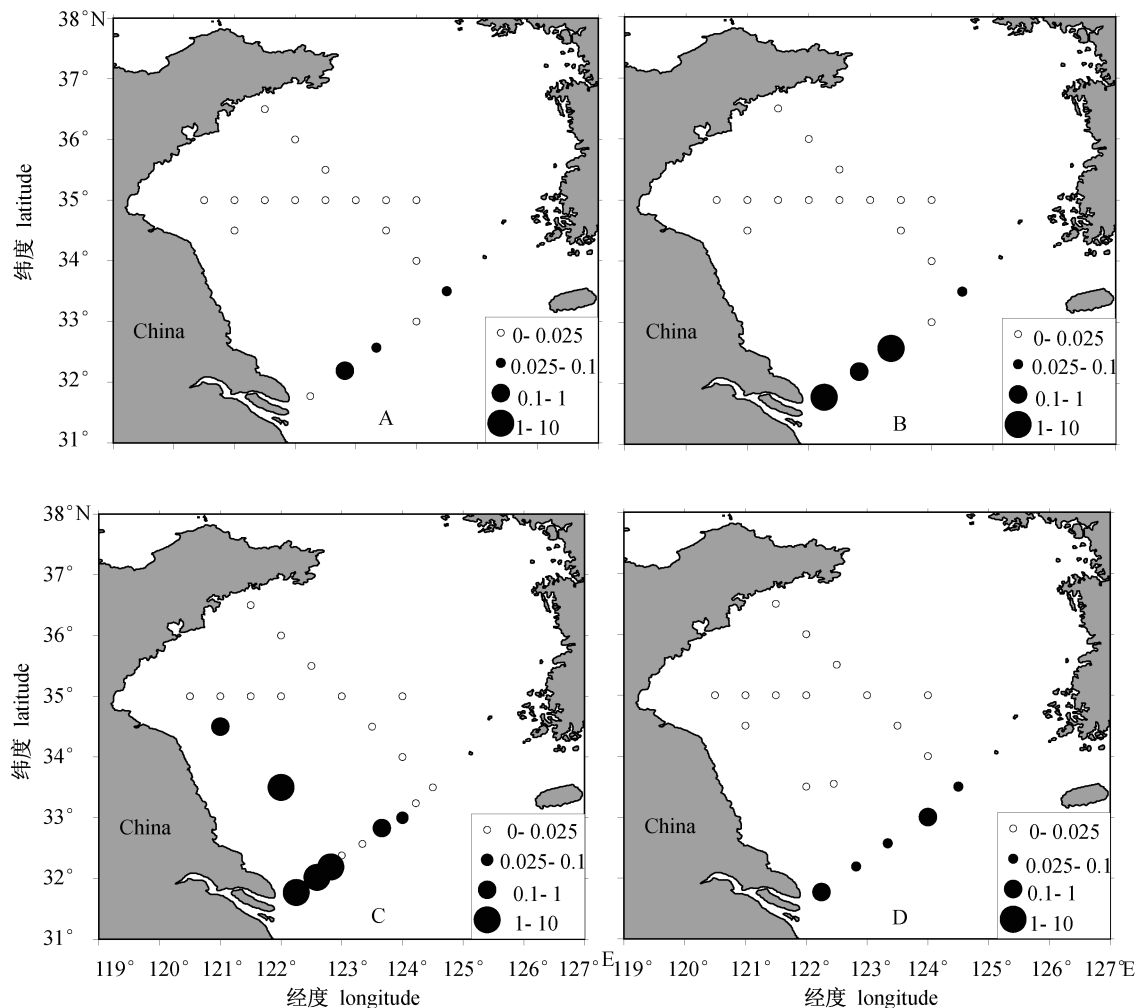


图6 黄海中华假磷虾成体丰度(个/m³)水平分布

A. 2007年3月; B. 2007年5月; C. 2006年9月; D. 2006年12月

Fig. 6 Spatial distribution of *P. sinica* adults abundance in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006

2.4 中华假磷虾在黄海的体长分布

体长比 从中华假磷虾的体长比(图7)可以看出,4个月份的雌体、雄体以及所有成体的体长和全长均呈极其显著的正相关关系($P < 0.01$)。3、5、9和12月等4个航次,雌体体长比方程分别为 $BL = 0.781TL$ 、 $BL = 0.790TL$ 、 $BL = 0.812TL$ 和 $BL = 0.772TL$;雄体的体长比方程为 $BL = 0.791TL$ 、 $BL = 0.800TL$ 、 $BL = 0.796TL$ 和 $BL = 0.786TL$;成体汇总的体长比方程为 $BL = 0.787TL$ 、 $BL = 0.799TL$ 、 $BL = 0.804TL$ 和 $BL = 0.779TL$ 。对4个月份雌体、雄体以及所有成体的体长比进行单因素方差分析,结果表明不同月份雌体的体长比差异显著($F = 2.785$, $P = 0.045$),而雄体和成体总和的体长比不同月份间差异不显著($P > 0.05$)。

体长变化和体长频率 3月,中华假磷虾成体全长为7.15~11.45 mm,体长分布比较集中,其中全长8~9、9~10、10~11和11~12 mm 4个体长组磷虾的体长频率均超过了10%,并且占到磷虾总数量的91.7%。成体平均全长为

9.65 mm,雌体的平均全长(9.03 mm)小于雄体(10.27 mm)(图8;图9:A-a,A-f,A-m)。5月,成体体长达到一年中的最高值,平均全长为10.86 mm,最大全长可达13.85 mm,成体体长组主要分布在9~13 mm,该范围的4个体长组的体长频率均超过了10%,且数量合计占到成体总和的84.8%。雌体和雄体的平均全长分别为11.44和10.45 mm(图8;图9:B-a,B-f,B-m)。9月,成体的体长整体上均有所降低,并且体长分布范围变化明显。全长平均值只有7.22 mm,为4个月份的最低值,全长最小值为4.2 mm,最大值只有10.9 mm。其中,除7 mm体长组外,其他体长组的频率均超过了5%,呈现为4~7 mm和8~11 mm两个主要的体长分布范围(图8;图9:C-a,C-f,C-m)。5月和9月份,雌体不仅在丰度上超过了雄体,体长也要比雄体要长,并且雌体的体长分布呈明显的双峰分布,这些应该均与种群集中在春夏季节补充有着密切的关系。12月,中华假磷虾丰度下降的同时,体长全长分布变得较为

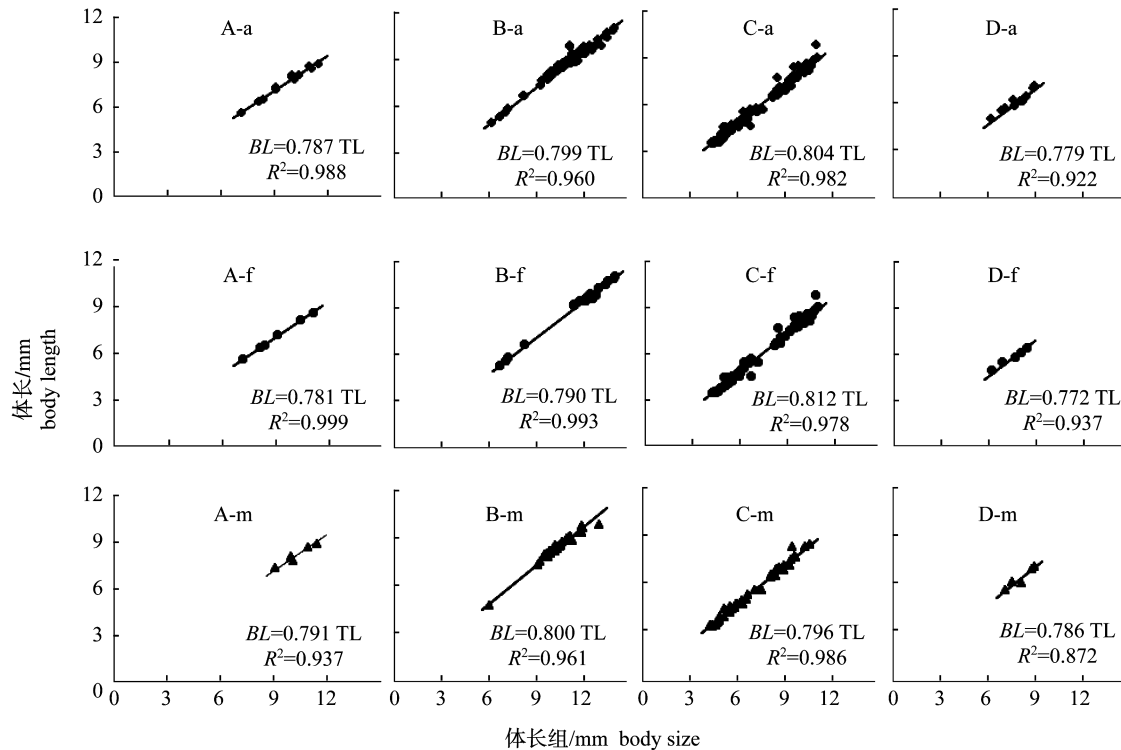


图7 中华假磷虾在黄海的体长比

A. 2007年3月; B. 2007年5月; C. 2006年9月; D. 2006年12月; a. 成体; f. 雌体; m. 雄体

Fig. 8 BL/TL of *P. sinica* in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006; a. adult; f. female; m. male

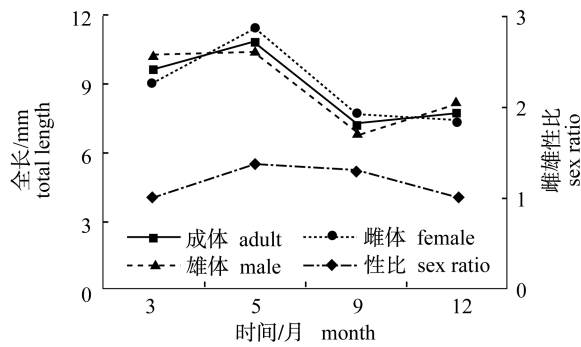


图8 黄海中华假磷虾的平均全体长和性比周年变化
Fig. 8 Average total length and sex ratio of *P. sinica* in March 2007, May 2007, September 2006 and December 2006 in the Yellow Sea

集中,大部分集中在6~9 mm,3个体长组的体长频率均超过了30%,平均体长为7.69 mm,其中雌体的平均体长(7.33 mm)要小于雄体(8.04 mm)(图8;图9:D-a,D-f,D-m)。

2.5 相关性分析及主成分分析

不同月份中华假磷虾丰度分布与环境因子的相关性分析(表1)结果表明,中华假磷虾在南黄海5月的丰度分布与叶绿素 *a* 浓度有着极显著的正相关关系($P < 0.01$),这应该是与其种群补充有关。春季,成体偏向于集中分布在食物比较丰富的海域进行繁殖。5月和9月,中华假磷虾的丰度和分布情况与底层水温呈显著的正相关关系($P < 0.05$)。

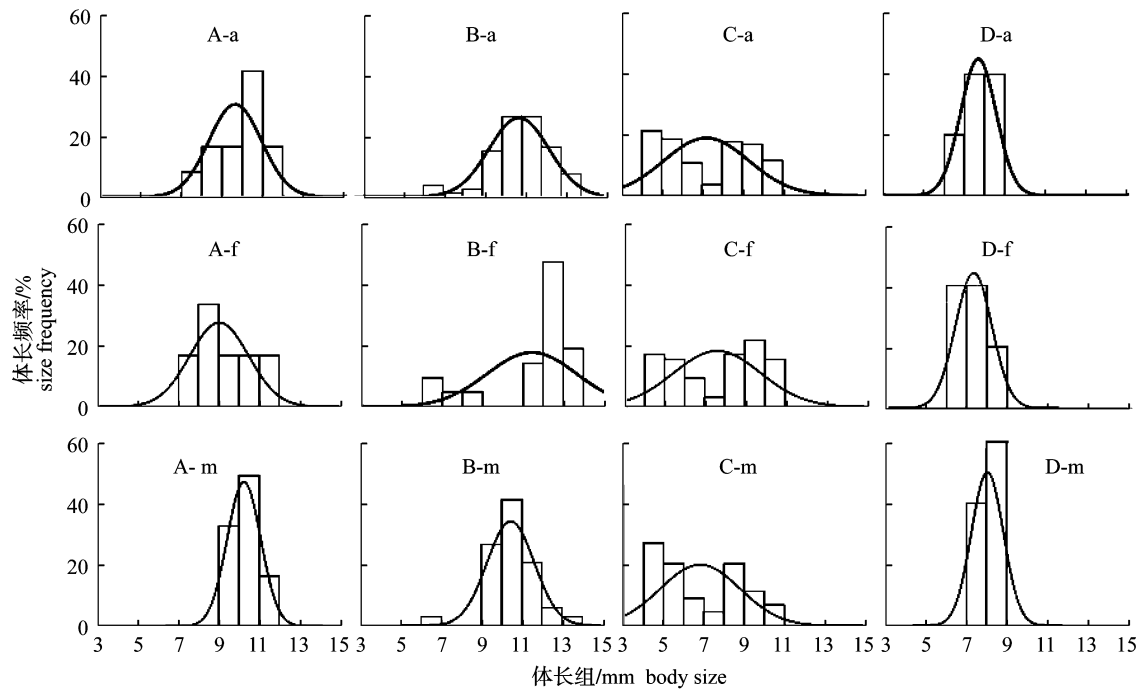


图9 中华假磷虾在黄海的体长频率分布

A. 2007年3月; B. 2007年5月; C. 2006年9月; D. 2006年12月; a. 成体; f. 雌体; m. 雄体

Fig. 9 Size frequency of *P. sinica* in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006; a. adult; f. female; m. male

表1 黄海海域中华假磷虾丰度分布与各环境因子的相关性

Tab. 1 Pearson correlations between *P. sinica* abundances and environmental factors in the Yellow Sea

月份 month	Chl. <i>a</i>	SST	BST	SSS	BSS	N
3	0.470	0.231	0.475	0.794	0.877	19
5	0.001 **	0.444	0.038 +	0.242	0.082	19
9	0.576	0.477	0.031 +	0.787	0.087	22
12	0.895	0.097	0.089	0.514	0.963	19

注: +. 显著正相关关系($P < 0.05$); ++. 极显著正相关关系($P < 0.01$)
Notes: +. Positive correlation ($P < 0.05$); ++. Significant positive correlation ($P < 0.01$)

对南黄海不同月份中华假磷虾丰度(abundance)与环境因子(Chl. *a*、SST、BST、SSS和BSS)的主成分分析结果见图10。3月,6个参数变量(丰度和5个环境因子)中主成分1和主成分2的累积解释度为72.5%。在主成分1中,BST的载荷最高(绝对值),为0.902,丰度的载荷最低(0.263);其他变量的载荷分别为Chl. *a* (-0.555)、SST(0.855)、SSS(0.724)和BSS(0.803)。叶绿素 *a* 浓度与底层水温存在显著的负相关关系。5月,主成分1对总变量的解释度

较高,达到了 66.14%,主成分 1 和 2 的累积解释度为 83.10%。主成分 1 中载荷最高的因子为 Chl. *a* (0.939),最低的仍为丰度 (0.630)。叶绿素 *a* 浓度与水温呈显著的正相关,与盐度呈极显著的负相关。9 月份,叶绿素 *a* 浓度与表层水温呈极显著的正相关。主成分对总体的解释度并不高,主成分 1 和 2 的累积解释度仅为 67.93%。12

月份,叶绿素 *a* 浓度与盐度和表层水温均呈显著的负相关。主成分 1 对总体变量具有 62.24% 的较高解释度,主成分 1 和 2 的累积解释度为 82.27%。主成分 1 中载荷最高的因子为 SST,最低的仍为丰度。综合 4 个月份的主成分分析可以看出,温度和叶绿素 *a* 浓度为主要的环

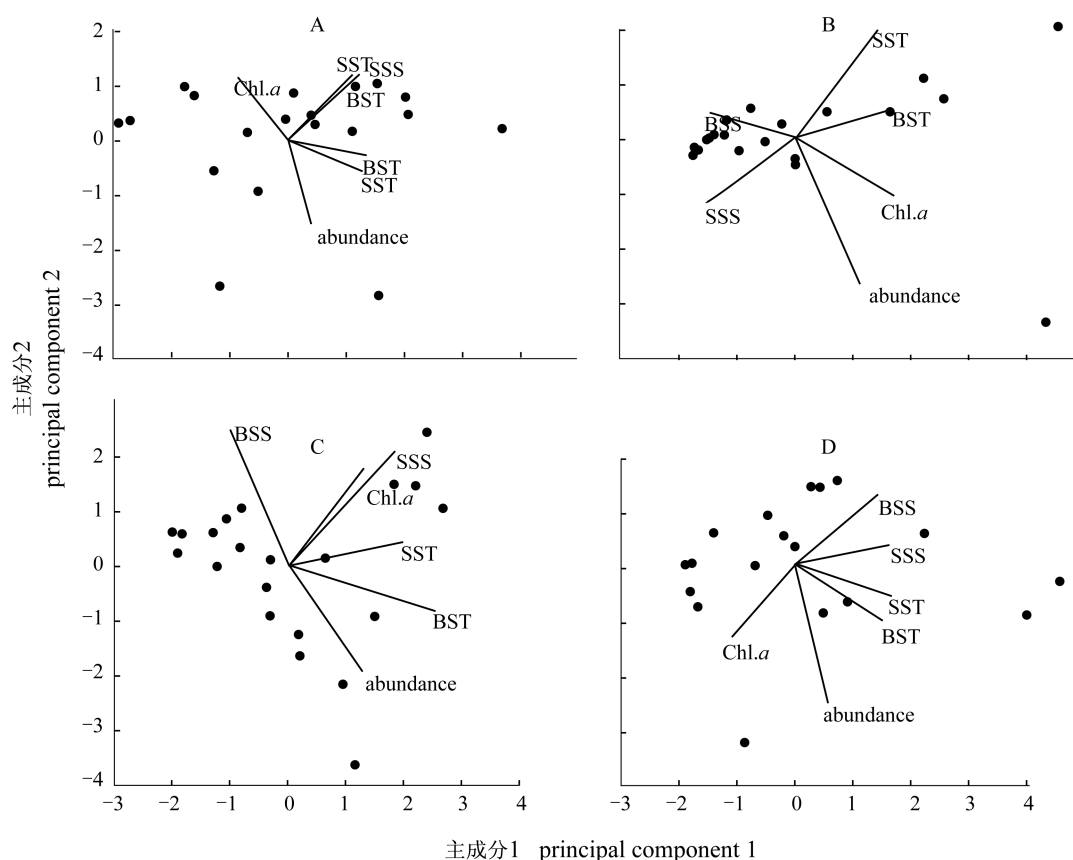


图 10 黄海中华假磷虾成体丰度和环境因子主成分分析图

A. 2007 年 3 月; B. 2007 年 5 月; C. 2006 年 9 月; D. 2006 年 12 月。图中黑点表示采样站点

Fig. 10 PCA scatter diagrams of *P. sinica* abundances and environmental factors in the Yellow Sea

A. March 2007; B. May 2007; C. September 2006; D. December 2006. The black dots represent sampling stations

3 讨论

3.1 黄海海域中华假磷虾分布、雌雄性比及其与环境因子之间的关系

大量研究认为,中华假磷虾属于近岸低盐暖水种,并非南黄海海域的优势物种,夏秋季节在长江口及其邻近沿岸海域丰度较高,成为磷虾类优势种^[5,7,11,15]。通过本实验 4 个航次的调查结果可以看出,南黄海海域的中华假磷虾只在 5 月和 9 月丰度较高,两个月份的丰度最高值分别为 5.06 和 9.20 个/ m^3 ,且主要分布在近长江口或者

南黄海西南海域。黄海另一个磷虾优势种——太平洋磷虾在这两个月份的丰度最高值分别为 5.37 和 48.00 个/ m^3 ,且平均丰度也远高于中华假磷虾^[16]。王荣等^[5]研究发现,春季和秋季中华假磷虾在黄东海的分布与太平洋磷虾呈互补关系,主要分布在近长江口的低盐海域,当春季水温低于 10℃ 高于 22℃ 时,丰度锐减且分布收缩。本实验与上述结果基本符合,但在水温上限范围上有所差异,在本实验中 9 月高丰度分布站位水温可达到 24℃,这应该与种群分布的年度变化和适温范围变广有关。南黄海 4 个月份中采集到中华

假磷虾的站位的水体温度和盐度范围分别为 9.06 ~ 12.65 °C 和 31.76 ~ 34.23 (3 月), 12.64 ~ 19.95 °C 和 28.36 ~ 33.77 (5 月), 14.64 ~ 24.41 °C 和 30.49 ~ 32.85 (9 月), 11.47 ~ 17.44 °C 和 28.36 ~ 34.13 (12 月), 在一周年内, 中华假磷虾分布海域的水温和盐度范围分别达到了 9.06 ~ 24.41 °C 和 28.36 ~ 34.23, 这充分说明了中华假磷虾的暖温广盐特性。

主成分分析表明, 温度和叶绿素 *a* 浓度是影响中华假磷虾丰度和分布的主要环境因子。中华假磷虾的种群分布与海水温度紧密相关, 成体主要生活在水温高于 15 °C 的海域, 水温超过 20 °C 时, 种群丰度增长较快。3 月, 海水温度较低, 最高温度只有 12.9 °C, 低于中华假磷虾适宜生存的温度 (10 ~ 20 °C)^[5], 仅在 3 个水温较高的站位发现较小丰度的中华假磷虾。5 月, 水温上升到 15 °C 以上, 丰度快速升高, 种群进入快速繁殖增长期。9 月, 海水温度达到 24 °C, 成体分布范围最广, 除在长江口有分布外, 在长江口以北的江苏近海海域均有分布。12 月, 海水温度降低到 10 ~ 14 °C, 种群丰度也大幅降低, 分布范围逐渐南移。

相关性分析结果表明, 中华假磷虾在南黄海 5 月的丰度分布与叶绿素 *a* 浓度有着极显著的正相关关系 ($P < 0.01$), 这也同样证实了春季成体会集中分布在食物比较丰富的海域进行繁殖, 进而造成了夏季成体丰度的大幅增长。黄海冷水团作为黄海重要的季节性海洋现象, 以低温高盐为主要特征^[17-19], 它的存在对整个黄海生态系统中浮游动物的种群分布和补充产生了重要影响^[20-21]。中华假磷虾在 5 月和 9 月的丰度分布情况与底层水温呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 一方面说明了中华假磷虾的暖温性特性, 另一方面也说明随着 5 月黄海冷水团的开始形成, 到 9 月达到强盛状态后, 受黄海冷水团影响, 整个调查海域的叶绿素 *a* 浓度相对较低, 黄海冷水团对中华假磷虾的种群分布和补充均有着一定的影响。此外, 浮游动物分布与水团的关系极为密切, 不同水团之间的此消彼长必然会影响到浮游动物的分布和组成。虽然相关性分析结果显示中华假磷虾的丰度分布与盐度并不存在明显的相关性, 但是中华假磷虾丰度较高站位大多都分布在盐度相对较低的海域, 中华假磷虾的分布中心主要为长江冲淡水影响水域, 其种群分布扩展和退缩与长江冲

淡水强盛与否有关。

雌雄性比是影响种群数量变动和生长的一个重要内源因子, 也是研究种群和群落生态的重要指标, 是磷虾资源研究的基础参数。磷虾种群的性比直接关系到种群结构和种群增长率, 如果雌雄性比过低, 雌体少, 产卵量就会降低, 种群补充潜力大大减弱; 反之, 性比太高, 则不利于卵的受精质量, 同样不利于种群稳定和补充。性比不但受到内界因子 (如生殖、寿命等), 而且也受到外界因子 (如温度、饵料和捕食者等) 的影响。5 月, 中华假磷虾雌体在数量占绝对优势, 性比达到 4 个月份中的最高值 (1.37)。雌体数量上的优势是种群补充的首要条件, 此时雌体的平均全长也达到一年中的最高值 (11.44 mm), 另外此时海水温度较为适宜, 叶绿素 *a* 浓度较高, 食物比较丰富, 这些都为雌体产卵繁殖和幼体生长发育提供了良好的条件, 因而非常利于种群的补充。到了 9 月, 雌雄性比仍然保持较高的 1.28, 这也说明此时种群仍然处于一个较快的补充期。12 月和 3 月, 中华假磷虾的性比降低到 1.0, 种群回到较为稳定的平衡期。Brinton^[22] 研究发现, 南加利福尼亚海域的太平洋磷虾雌体占到绝对优势, 并指出了 4 个可能的原因: (1) 体长较大的未发育出交接器的未成体被鉴定为雌体; (2) 雄体的死亡率相对要高于雌体; (3) 处于繁殖期的雌体活动性差, 更易被捕获到; (4) 雌体的生长率较雄体低, 种群快速繁殖补充需要较高的雌雄性比。Timofeev^[23] 研究发现, 在巴伦支海南部海域的北极磷虾 (*Thysanosessa raschii*) 性比存在季节变化, 雄性冬季占优势, 而夏季雌性占优势, 春季雌雄比例相当, 这与该磷虾种类的生活史相吻合。Kawaguchi 等^[24] 研究发现南极大磷虾 (*Euphausia superba*) 雄体的数量比例正在下降, 他们认为这可能与雄体生长较快、寿命短且交配生殖后更容易死亡有关。结合本实验中体长分布的结果, 5 月和 9 月黄海海域中华假磷虾较高的性比更多是源于种群繁殖补充的缘故。

3.2 体长分布、生长状况与种群补充

磷虾的体长比能很好地反映出成体所处的生长状态, 并且雌体较雄体更为明显, 即成体是否进入了交配繁殖期。同时, 体长比还能够反映成体的营养状况, 体长占全长的比例越大, 说明个体发育的越好, 营养状况也越好。郑重等^[25] 对中华假

磷虾产卵量和体长的研究发现,产卵量随体长增加而增加,但当体长超过 14 mm,雌体产卵量开始下降。他们认为这与成体的年龄和寿命密切相关,当雌体超过一定年龄进入老龄期后,生殖能力势必会有衰退趋势。本实验表明,中华假磷虾在 4 个月份的成体全长和体长均呈非常显著的正相关关系,但是不同月份体长比方程的斜率,即体长比不尽相同。雌体和成体均是在 9 月体长比最高,超过了 0.8。5 月和 9 月,调查海域的表层温度和表层叶绿素 *a* 浓度相对较高,较为丰富的食物来源更适合中华假磷虾生长,因而这两个月份的中华假磷虾的体长比比 3 月和 12 月略大,这些均与其繁殖活动密切相关。单因素方差分析结果表明,只有雌体的体长比在不同月份差异显著,这也说明雌体进入繁殖期季节,基于良好的温度、饵料等外界条件,出于繁殖需要,其繁殖系统主要集中的前体部(主要是头胸甲和第一腹节)会加速生长,但相比而言尾叉的增长相对较慢。

磷虾的生长发育情况受到环境水温、盐度和饵料等一系列因素的影响,不同季节处于不同生长状况的中华假磷虾,其种群的体长分布也有所不同。成体的体长分布频率能够说明该时期内种群主要组成和结构,从而进一步说明种群所处的状态(增长期,稳定期或者衰落期)。Stuart 等^[26]认为,磷虾种群的体长分布组成对其繁殖特征有着相当大的影响。2006 年 9 月,中华假磷虾雌体、雄体和成体总和的体长分布频率均呈明显的双峰值,说明种群中既有 8~11 mm 的高龄成体,也有 4~7 mm 的新生成体。将 9 月体长小于 8 mm 新生成体和大于 8 mm 高龄成体的体长比进行单因素方差分析,结果表明新老雌体的体长比差异极显著($F = 10.150, P = 0.002$),新老雄体的体长比差异显著($F = 5.564, P = 0.02$),这也说明了两类不同体长的成体处于不同的生长繁殖状态。至 12 月,新生个体成长到正常体长水平,成体体长分布又回归到单峰型,平均体长相对于 9 月略有增加。2007 年 3 月,种群尚未进入繁殖期,成体体长分布仍然呈比较集中的单峰分布,但体长继续增长。5 月,种群已进入繁殖期,并且部分幼体已发育为体长较小的成体,其中雌体的体长分布尤为明显。综上所述,在南黄海,中华假磷虾的种群补充可能主要集中在 5 月到 9 月,9 月可呈现新老成体同步存在、新老交替的种群结构,

在其他季节种群则是处于一个相对稳定的状态。

参考文献:

- [1] Mauchline J. The biology of Mysids and euphausiids [J]. *Advances in Marine Biology*, 1980, 18: 1 - 680.
- [2] Nicol S, Endo Y. Krill fisheries of the world [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997: 1 - 100.
- [3] Nicol S, Endo Y. Krill fisheries: Development, management and ecosystem implications [J]. *Aquatic Living Resources*, 1999, 12(2): 105 - 120.
- [4] 王荣, 陈宽智. 假磷虾一新种——中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*, sp. Nov.) 的描述 [J]. *海洋与湖沼*, 1963, 5(4): 353 - 357.
- [5] 王荣, 陈亚瞿, 左涛, 等. 黄、东海春秋季节磷虾的数量分布及其与水文环境的关系 [J]. *水产学报*, 2003, 27(增刊): 31 - 38.
- [6] 郑重, 李少菁, 郭东晖. 海洋磷虾类生物学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.
- [7] 陈佳杰, 徐兆礼, 朱德弟. 长江口及邻近海域浮游磷虾类数量和分布的季节特征 [J]. *生态学报*, 2008, 28(11): 5279 - 5285.
- [8] 郭东晖, 李少菁, 陈峰, 等. 中华假磷虾碳氮收支的实验研究 [J]. *海洋学报*, 2005, 27(1): 101 - 106.
- [9] 黄加祺, 许振祖, 叶春香. 中华假磷虾发光器大小与结构的研究 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1994, 33(5): 691 - 695.
- [10] 王荣. 中华假磷虾的幼体形态 [J]. *海洋与湖沼*, 1965, 7(1): 35 - 51.
- [11] 徐兆礼, 李春鞠. 东海浮游磷虾类的数量分布 [J]. *水产学报*, 2005, 29(3): 373 - 378.
- [12] Satapoomin S, Nielsen T G, Hansen P J. Andaman Sea copepods: spatio-temporal variations in biomass and production, and role in the pelagic food web [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 274: 99 - 122.
- [13] 国家技术监督局. GB/T 12763. 6 - 1991 海洋调查规范: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [14] Shaw C T, Peterson W T, Feinberg L. Growth of *Euphausia pacifica* in the upwelling zone off the Oregon coast [J]. *Deep-Sea Research—Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2010, 57(7-8): 584 - 593.
- [15] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东海磷虾类优势种的生态适应 [J]. *生态学报*, 2005, 25(9): 2227 - 2233.
- [16] Sun S, Tao Z C, Li C L, et al. Spatial distribution and population structure of *Euphausia pacifica* in the Yellow Sea (2006 - 2007) [J]. *Journal of Plankton*

- Research, 2011, 33(6): 873 - 889.
- [17] Lie H J. A note on water masses and general circulation in the Yellow sea [J]. Journal of the Oceanographical Society of Korea, 1984, 19: 187 - 194.
- [18] Wei H, Shi J, Lu Y Y, *et al.* Interannual and long-term hydrographic changes in the Yellow Sea during 1977 - 1998 [J]. Deep-Sea Research-Part II: Topical Studies in Oceanography, 2010, 57 (11 - 12): 1025 - 1034.
- [19] 赫崇本,汪园祥,雷宗友,等. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨 [J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(1): 11 - 15.
- [20] Li C, Sun S, Wang R, *et al.* Feeding and respiration rates of a planktonic copepod (*Calanus sinicus*) overwintering in Yellow Sea Cold Bottom Waters [J]. Marine Biology, 2004, 145(1): 149 - 157.
- [21] 孙松,王荣,张光涛,等. 黄海中华哲水蚤度夏机制初探 [J]. 海洋与湖沼: 浮游动物研究专集, 2002, 92 - 99.
- [22] Brinton E. Population Biology of *Euphausia pacifica* Off Southern-California [J]. Fishery Bulletin, 1976, 74(4): 733 - 762.
- [23] Timofeev S F. Sex ratios in the population of *Thysanoessa raschii* (M. Sars, 1864) (Euphausiacea) in the Barents Sea (with some notes on these ratios in the order Euphausiacea) [J]. Crustaceana, 2002, 75(8): 937 - 956.
- [24] Kawaguchi S, Finley L A, Jarman S, *et al.* Male krill grow fast and die young [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 345: 199 - 210.
- [25] 郑重,李少菁,许振祖. 海洋浮游生物学 [M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [26] Stuart V, Pillar S C. Growth and production of *Euphausia lucens* in the southern Benguela Current [J]. Journal of Plankton Research, 1988, 10 (6): 1099 - 1112.

Population characteristics and distribution of *Pseudeuphausia sinica* in the Yellow Sea and its relations to the environmental factors

TAO Zhencheng¹, LI Chaolun¹, SUN Song^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environment Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: *Pseudeuphausia sinica* (Euphausiacea, Crustacea) is widely distributed and dominant in the coastal waters of the Yellow Sea and East China Sea. In the Yellow Sea ecosystem, *P. sinica* is important food of the fishes with economic value, especially larval and juvenile fishes. We think that the changes of population distribution and abundance of *P. sinica* could directly impact on the Yellow Sea ecosystem. We studied spatial distribution patterns and population characteristics, such as sex ratio, body length and growth condition of *P. sinica* in the south Yellow Sea during September, December 2006 and March, May 2007. We investigated their abundance and distribution in relation to environmental factors (temperature, salinity and chlorophyll *a* concentration). The spatial distribution of *P. sinica* was controlled primarily by seawater temperature and the preferred living seawater temperature was 15 – 25 °C. The highest abundance of 9.20 ind./m³ occurred in May. We used principal components analysis and Pearson correlation to analyze the covariation and correlation between *P. sinica* abundances and environmental factors. Seawater temperature and chlorophyll *a* concentration are principal components of environmental factors. The seasonal distribution of *P. sinica* was closely correlated with seawater temperature and the adults preferentially inhabited high chlorophyll *a* concentration sea area in May. The sex ratios in May and September were over 1.3 and higher than the value(1.0) in March and December. The total length (TL) of *P. sinica* ranged from 4 mm to 14 mm, which was positively correlated with body length (BL). The slopes of fitting formula between BL and TL illustrated the growth condition of *P. sinica*. Size frequency of *P. sinica* in May and September showed that the population was composed of new and old adults of different TL. The average TLs of *P. sinica* in March and May were greater than those of September and December. We conclude that *P. sinica* can undergo its whole life history and its population recruitment is in spring and autumn in the Yellow Sea.

Key words: *Pseudeuphausia sinica*; abundance; body length variation; the Yellow Sea

Corresponding author: SUN Song. E-mail: sunsong@qdio.ac.cn