

文章编号: 1000-0615(2018)07-1060-17

DOI: 10.11964/jfc.20170610881

东海近岸海域浮游动物群落时空分布

杨杰青, 全为民, 史赞荣, 王云龙*

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 为探讨东海近岸海域浮游动物时空分布特征, 根据2013年5月(春季)、8月(夏季)和12月(冬季)东海近岸海域3个航次的浮游动物调查资料, 分析了该海域春季、夏季和冬季浮游动物的种类组成、丰度与生物量、优势种季节变化及生态类群。结果显示, 3个航次共鉴定浮游动物108种(含未定种), 浮游幼体14类, 隶属于7门15大类, 其中桡足类和水母类的种类和数量占绝对优势, 桡足类为最优势类群, 共47种, 占总种数的43.52%, 水母类共19种, 占总种数的17.59%。浮游动物种类季节变化较为明显, 夏季种类显著高于春季和冬季。各季节浮游动物种类数目与纬度呈负相关。浮游动物平均丰度与平均生物量随季节变化较为明显, 其中平均丰度与平均生物量冬季最低, 平均生物量夏季最高, 平均丰度春季最高。根据浮游动物对水文环境条件耐受性和生活海区的差异性将浮游动物群落分为6个生态类群: 近岸低盐种、广温广盐种、高温高盐种、近岸暖温种、暖水种和大洋广布种。其中东海北部近岸海域春、冬季近岸低盐种和广温广盐种占绝对优势, 夏季暖水性种群所占比例高; 长江口及邻近水域暖水性种群在春、夏、冬三季中均占主导地位; 东海中南部近岸海域春、冬季暖水性种群占绝对优势, 但夏季高温高盐种、大洋广布种优势明显。各季节中华哲水蚤均为优势种, 但其他优势种季节更替较明显, 其中春、夏两季优势种更替率为90.9%, 夏、秋两季为50%。

关键词: 浮游动物; 优势种; 生态类群; 丰度; 生物量; 东海

中图分类号: S 932.8

文献标志码: A

浮游动物在近海范围内, 因季节性环境、水文条件的变动, 群落结构在时空分布上变化较为突出, 但不同调查区域所呈现的变化特点也各有差异。季节尺度上, 如浮游动物种类数渤海和黄海夏、秋季多于春、冬季, 东海和南海春、夏季多于秋、冬季^[1]。空间分布上, 不同海区因季节的交替, 丰度与生物量分布并不均匀, 如南海北部^[2]总体以近岸水域最高, 黄海、东海秋季近岸低、外海高, 而春季多以近岸高^[3]。群落结构上, 如高纬度的黄、东海浮游动物群落结构冬、春季颇相似, 夏、秋季差异不大^[4], 低纬度的南沙群岛海域春、夏、秋三季群落结构均相似^[5]。群落多样性上, 如东海近海呈南高北低^[6]的变化特征。

东海是一个受多种性质水系(沿岸径流、黄海冷水团、黑潮暖流和台湾暖流等)影响的开阔海区^[1, 7], 水文环境复杂多变, 浮游动物生态类群多样化。浮游动物作为海洋中次级生产者, 既可控制浮游植物的大量积累, 也可为海洋动物幼体提供饵料, 因此是海洋生态系统物质循环和能量流动的关键群落^[3, 8-9]。

目前关于东海范围内浮游动物的研究已有很多, 如河口及海湾等近岸水域群落结构、群落时空分布及多样性的研究^[10-19], 然而多数研究主要聚焦于局域尺度对群落结构进行分析, 而基于局域尺度分析整个东海近岸浮游动物时空分布的报道还很少见, 由于浮游动物是海流或水团的指示种及水体环境变化的敏感类群, 因

收稿日期: 2017-06-20 修回日期: 2017-08-10

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303047)

通信作者: 王云龙, E-mail: yunlong_wang@hotmail.com

此开展东海近岸范围内浮游动物的研究, 对于探明东海近岸水团随季节的变化特征、水质环境变化及生态群落结构等具有重要意义。

本研究根据2013年春季、夏季和冬季东海区近岸3个航次的调查资料, 分析了该海域浮游动物的种类组成、优势种、丰度与生物量及生态类群, 以为东海近岸生物多样性保护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 调查时间及站 位

调查范围位于东海北部近岸水域: 32.5°N以北(含32.5°N, A1~A23站位, 其中春季调查站位A1~A23, 夏季A11~A23, 冬季A11~A23); 长江口及其邻近水域: 30°~32°N(含30°N和32°N, B24~B44站位, 其中春、夏和冬季调查站位均为B24~B29、B31~B44); 东海中南部近岸水域: 29.5°N以南(含29.5°N, C49~C67站位, 其中春季调查站位C49~C63, 夏季C49~C56、C58~C63, 冬季C49~C57)。图中A、B和C区域与下文 中相一致(图1)。

1.2 样品采集与分析

浮游动物样品采集与分析方法按《海洋调

查规范》(GB/T12763.6-2007)进行^[20]。采用浅水I型浮游生物网(配制网具规格: 网口内径50 cm, 网长145 cm, 网囊网目为0.505 mm), 由底层至表层进行垂直拖网1次, 采集后的样品立即用5%的福尔马林溶液固定, 带回实验室在体视显微镜下分析鉴定(包括种类、个数等), 用电子天平称量总湿重, 重量精确到0.01 g。

1.3 数据处理与分析

丰度与生物量 丰度利用采样时的滤水体积, 以每立方米水体中的个数(个/m³)来表示, 生物量根据各站位浮游动物总湿重, 通过滤水量来换算(mg/m³)。

生态优势度 浮游动物的优势度(Y)计算公式:

$$Y = (n_i/N) \times f_i \tag{1}$$

式中, n_i 为第*i*种的个体数, N 为样品总个数, f_i 为出现频率, 以 $Y \geq 0.02$ 为优势种的划分标准^[21-22]。

优势种更替率^[23-24](R)计算公式:

$$R(\%) = (a + b - 2c) / (a + b - c) \times 100 \tag{2}$$

式中*a*和*b*分别为两个季节优势种的数目, *c*为两个季节共同的优势种数。

采用Primer 5软件对浮游动物群落进行非线性多维标度排序分析(NMDS), 并用Primer 5软件

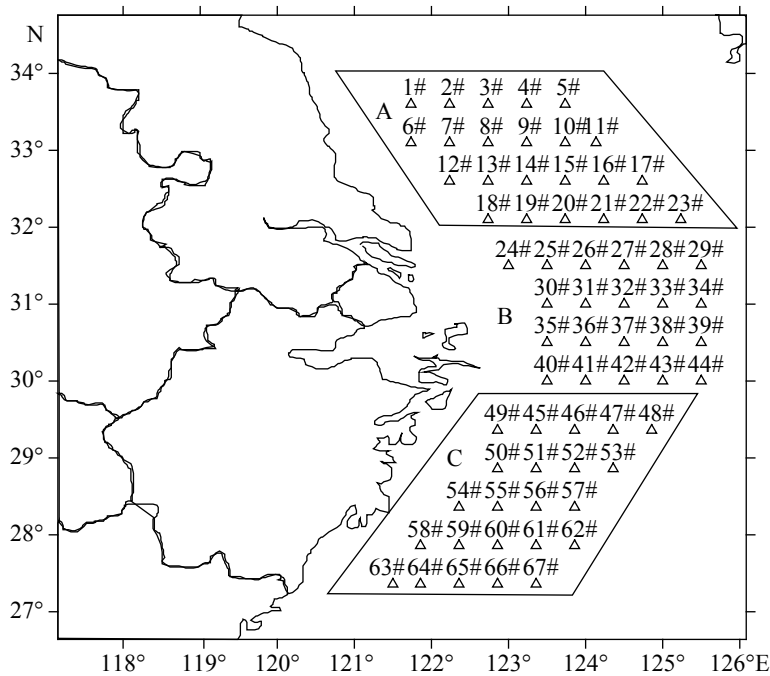


图 1 采样站位示意图

Fig. 1 Map of the sampling sites

对浮游动物种类数与累计数量百分比进行分析, 站位、生物量和丰度分布图采用Surfer 8软件制作。

2 结果

2.1 种类组成

2013年5月共鉴定浮游动物55种(不包括阶段性浮游幼体, 同8月和12月), 隶属于5门12大类。其中节肢动物门甲壳亚门最多, 共26种, 占总种数的47.27%, 甲壳亚门中又以桡足类占绝对优势, 共11种, 占总种数的20%; 腔肠动物门16种, 占总种数的29.09%, 其中12种水螅水母类占优。

2013年8月共鉴定浮游动物6门14大类93种。节肢动物门甲壳亚门共60种, 占总种数百分比为64.52%, 甲壳亚门中桡足类46种, 优势明显; 腔

肠动物门14种, 以水螅水母类占优(10种)。

2013年12月共鉴定浮游动物3门11大类39种。节肢动物门甲壳亚门共28种, 所占总种数比例较高(71.79%), 其中桡足类优势较明显, 共18种, 占比46.15%; 腔肠动物门6种, 占比15.38%(表1)。

2.2 生态类群

从浮游动物对水文环境条件的耐受性和生活海区差异的角度出发, 本次调查的浮游动物主要分为以下6种生态类型: 近岸低盐种、广温广盐种、高温高盐种、近岸暖温种、暖水种和大洋广布种(表2)。

2.3 优势种

2013年5月优势种共($Y \geq 0.02$)2种, 分别为中华哲水蚤和大西洋五角水母(表3)。8月优势种10

表1 东海近岸海域浮游动物的种类组成

Tab. 1 Species composition of zooplankton in coastal waters of East China Sea

| 类群 groups | 5月 May | | 8月 August | | 12月 December | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------|
| | 种类数 species | 种类数占比/% species | 种类数 species | 种类数占比/% species | 种类数 species | 种类数占比/% species | |
| 腔肠动物门 Cnidaria | 水螅水母类 Hydrozoa | 12 | 21.82 | 10 | 10.75 | 3 | 7.69 |
| | 管水母类 Siphonophorae | 2 | 3.64 | 2 | 2.15 | 1 | 2.56 |
| 栉水母门 Ctenophora | 栉水母类 Ctenophora | 2 | 3.64 | 2 | 2.15 | 2 | 5.13 |
| 环节动物门 Annelida | 多毛类 Polychaeta | 2 | 3.64 | 1 | 1.08 | | |
| 软体动物门 Mollusca | 异足类 Heteropoda | | | 1 | 1.08 | | |
| | 翼足类 Pteropoda | | | 5 | 5.38 | | |
| 甲壳亚门 Crustacea | 桡足类 Copepoda | 11 | 20 | 46 | 49.46 | 18 | 46.15 |
| | 涟虫类 Cumacea | 1 | 1.82 | | | 1 | 2.56 |
| | 介形类 Ostracoda | | | 3 | 3.23 | 1 | 2.56 |
| | 端足类 Amphipoda | 2 | 3.64 | 3 | 3.23 | | |
| | 磷虾类 Euphausiacea | 2 | 3.64 | 1 | 1.08 | 1 | 2.56 |
| | 十足类 Decapoda | 6 | 10.91 | 5 | 5.38 | 3 | 7.69 |
| | 糠虾类 Mysidacea | 4 | 7.27 | 2 | 2.15 | 3 | 7.69 |
| 毛颚动物门 Chaetognatha | 毛颚类 Chaetognatha | 8 | 14.55 | 9 | 9.69 | 5 | 12.82 |
| 尾索动物亚门 Urochordata | 被囊类 Tunicata | 3 | 5.45 | 3 | 3.23 | | |
| 总计 total | | 55 | 100.00 | 93 | 100.00 | 39 | 100.00 |
| 浮游幼体 pelagic larvae | | 11 | | 10 | | 5 | |

表 2 浮游动物种名录与生态适应性

Tab. 2 Species list and ecological groups of zooplankton

| 种名 species | 生态类群 eco-group | 月份 month | | | 种名 species | 生态类群 eco-group | 月份 month | | |
|---|-------------------|-------------|---|----|---|-------------------|-------------|---|----|
| | | 5 | 8 | 12 | | | 5 | 8 | 12 |
| 虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i> | ★ | + | + | + | 伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i> | ■ | | + | + |
| 长额刺糠虾 <i>Acanthomyis longirostris</i> | ★ | + | + | + | 截平头水蚤 <i>C. truncata</i> | ■ | | + | |
| 江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes limnophilus</i> | ★ | + | + | + | 椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i> | ■ | | + | |
| 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> | ★ | + | + | | 小哲水蚤 <i>Nannocalanus minor</i> | ■ | + | + | |
| 针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i> | ★ | + | + | + | 叉胸刺水蚤 <i>Centropages furcatus</i> | ■ | | + | + |
| 大西洋五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i> | ★ | + | + | | 太平洋箭虫 <i>Sagitta pacifica</i> | ■ | + | | |
| 真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> | ★ | + | + | + | 规则箭虫 <i>S. regularis</i> | ■ | + | + | |
| 双刺唇角水蚤 <i>L. bipinnata</i> | ★ | | + | | 多变箭虫 <i>S. decipiens</i> | ■ | | + | |
| 拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i> | ★ | | + | + | 肥胖箭虫 <i>S. enflata</i> | ■ | + | + | + |
| 日本毛虾 <i>Acetes japonicas</i> | ★ | + | | + | 矮壮箭虫 <i>S. bedfordii</i> | ■ | | + | |
| 中国毛虾 <i>A. chinensis</i> | ★ | + | + | | 美丽箭虫 <i>S. pulchra</i> | ■ | + | + | + |
| 中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i> | ★ | + | + | + | 海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta marina</i> | ■ | + | | |
| 海龙箭虫 <i>Sagitta nage</i> | ★ | + | + | + | 微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> | ■ | | + | + |
| 漂浮小井伊糠虾 <i>Iiella pelagica</i> | ★ | + | + | + | 细真哲水蚤 <i>Eucalanus attenuatus</i> | ■ | | + | |
| 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> | ★ | + | + | + | 瘦长真哲水蚤 <i>E. elongatus</i> | ■ | | + | |
| 异尾宽水蚤 <i>T. discaudata</i> | ★ | | + | | 狭额真哲水蚤 <i>E. subtenuis</i> | ■ | | + | |
| 鳞茎高手水母 <i>Bougainvillia muscus</i> | ● | + | + | | 尖额真哲水蚤 <i>E. mucronatus</i> | ■ | | + | + |
| 瓜水母 <i>Beroe cucumis</i> | ● | + | + | + | 达氏波水蚤 <i>Undimula darwinii</i> | ■ | | + | |
| 球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> | ● | + | + | + | 微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i> | ■ | + | + | |
| 驼背隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gibber</i> | ● | | | + | 幼平头水蚤 <i>Candacia ethiopia</i> | ■ | | + | |
| 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> | ● | + | + | + | 异尾平头水蚤 <i>C. discaudata</i> | ■ | | + | |
| 平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i> | ● | + | | + | 金叶水蚤 <i>Sapphirina metallina</i> | ■ | | + | |
| 美丽大眼剑水蚤 <i>C. speciosus</i> | ● | | + | | 柱形宽水蚤 <i>Temora stylifera</i> | ■ | | + | |
| 百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i> | ● | + | + | + | 强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus crassus</i> | ■ | | + | + |
| 中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i> | ● | + | + | + | 亚强次真哲水蚤 <i>S. subcrassus</i> | ■ | | + | + |
| 马蹄蛭螺 <i>Limacina trochiformis</i> | ● | | + | | 大眼蛮戎 <i>Lestrigonus macrophthalmus</i> | ■ | + | + | |
| 两手筐水母 <i>Solmundella bitentaculata</i> | ● | + | + | + | 小型磷虾 <i>Euphausia nana</i> | ■ | + | | |
| 半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i> | ● | | + | | 针刺真浮萤 <i>Euconchoecia aculeata</i> | ■ | | + | |
| 贝氏真囊水母 <i>Euphysora bigelowi</i> | □ | + | | | 尖尾海萤 <i>Cypridina acuminata</i> | ■ | | + | |
| 八束水母 <i>Koellikerina fasciculata</i> | □ | | + | | 齿形海萤 <i>C. dentate</i> | ■ | | + | + |

· 续表2 ·

| 种名 species | 生态类群 eco-group | 月份 month | | | 种名 species | 生态类群 eco-group | 月份 month | | |
|--|-------------------|-------------|---|----|--|-------------------|-------------|---|----|
| | | 5 | 8 | 12 | | | 5 | 8 | 12 |
| 小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i> | □ | + | + | | 八手筐水母 <i>Aeginura grimaldii</i> | ※ | + | | |
| 刷状莹虾 <i>Lucifer penicillifer</i> | □ | + | + | | 软拟海樽 <i>Dolioletta gegenbauri</i> | ※ | + | + | |
| 印度八拟杯水母 <i>Octophialucium indicum</i> | □ | + | + | | 精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> | ※ | + | | + |
| 日本棍螳水母 <i>Coryne nipponica</i> | □ | + | + | | 双齿光刺水蚤 <i>Nullosetigera bidentata</i> | ※ | | | + |
| 锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i> | □ | + | | | 亨生莹虾 <i>Lucifer hanseni</i> | | + | + | + |
| 蝴蝶螺 <i>Desmopterus papilio</i> | □ | | + | | 三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i> | | | | + |
| 拟海若螺 <i>Paraclione longicaudata</i> | □ | | + | | 中华胸刺水蚤 <i>Centropages sinensis</i> | | | | + |
| 中华刺糠虾 <i>Acanthomyis sinensis</i> | □ | + | | | 玫瑰明螺 <i>Atlanta rosea</i> | | | | + |
| 太平浮蚤 <i>Tomopteris pacifica</i> | □ | + | | | 强卷螺 <i>Agadina stimpsoni</i> | | | | + |
| 克氏纺锤水蚤 <i>Acartia clause</i> | □ | | + | + | 多枝真枝螳水母 <i>Eudendrium rameum</i> | | + | | |
| 丹氏厚壳水蚤 <i>Scolecithrix danae</i> | □ | | + | | 中华节糠虾 <i>Siriella sinensis</i> | | + | | + |
| 缘齿厚壳水蚤 <i>S. nicobarica</i> | □ | | | | 纽鳃樽 <i>Cyclosalpa</i> sp. | | | | + |
| 锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> | □ | | + | + | 丽哲水蚤 <i>Calocalanus</i> sp. | | | | + |
| 小刺哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> | □ | + | + | + | 基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus</i> sp. | | | | + |
| 背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i> | □ | | + | | 真刺水蚤 <i>Euchaeta</i> sp. | | | | + |
| 黄角光水蚤 <i>Lucicutia flavicornis</i> | □ | | + | | 尖头戎 <i>Oxycephalus</i> sp. | | | | + |
| 凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i> | □ | + | + | | 无尾涟虫 <i>Leueon</i> sp. | | + | | |
| 四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i> | □ | + | + | | 拟杯水母科 Phialuciidae | | + | + | + |
| 尖刺唇角水蚤 <i>Labidocera acuta</i> | □ | | + | | 多毛纲 Polychaeta | | + | + | |
| 双生水母 <i>Diphyopsis chamissonis</i> | □ | + | + | + | 蕨枝螳 <i>Obelia</i> sp. | | + | | |
| 锥形多管水母 <i>Aequorea conica</i> | □ | | + | + | 笔帽螺 <i>Creseis</i> sp. | | | | + |
| 普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i> | □ | | + | | 叶水蚤 <i>Sapphirina</i> sp. | | | | + |
| 嵯山秀氏水母 <i>Sugiura chengshanense</i> | ☆ | + | + | | 住囊虫 <i>Oikopleura</i> sp. | | + | | |
| 强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i> | ☆ | + | + | + | 近缘大眼水蚤 <i>Corycaeus affinis</i> | ☆ | | | + |

注: ★表示近岸低盐种, ●表示广温广盐种, ■表示高温高盐种, ☆表示近岸暖温种, □表示暖水种, ※表示大洋广布种, +表示出现
Notes: ★ means coastal species of low salinity, ● means wide temperature and salinity species, ■ means high temperature and salinity species, ☆ means warm coastal species, □ means warm water species, ※ means cosmopolitan species, + means appearance

种, 分别为中华假磷虾、肥胖箭虫、百陶箭虫、海龙箭虫、中华哲水蚤、亚强真哲水蚤、精致真刺水蚤、平滑真刺水蚤、真刺水蚤属和真刺唇角水蚤。12月优势种5种, 分别为中华假磷虾、强壮箭虫、百陶箭虫、中华哲水蚤和真刺唇角水蚤。其中中华哲水蚤是3个季度共有优

势种, 优势种各季节间更替较为明显, 春、夏两季优势种更替率R为90.9%, 夏、冬两季优势种更替率R为50%。

2.4 丰度与生物量

春季浮游动物丰度均值为602.07个/m³, 变

表3 东海近岸海域浮游动物优势种的优势度(Y≥0.02)、平均丰度(个/m³)

Tab. 3 The dominance of dominant species (Y=0.02 or higher), average abundance in coastal waters of East China Sea

| 优势种 dominant species | 5月 May | | 8月 August | | 12月 December | |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| | Y | 丰度均值/(个/m³) average abundance | Y | 丰度均值/(个/m³) average abundance | Y | 丰度均值/(个/m³) average abundance |
| 中华假磷虾 <i>P. sinica</i> | | | 0.03 | 5.72 | 0.03 | 0.53 |
| 强壮箭虫 <i>S. crassa</i> | | | | | 0.02 | 0.45 |
| 肥胖箭虫 <i>S. enflata</i> | | | 0.03 | 7.53 | | |
| 百陶箭虫 <i>S. bedoti</i> | | | 0.05 | 11.20 | 0.03 | 0.58 |
| 海龙箭虫 <i>S. nagae</i> | | | 0.03 | 9.72 | | |
| 中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> | 0.82 | 500.18 | 0.10 | 26.86 | 0.65 | 7.03 |
| 大西洋五角水母 <i>M. atlantica</i> | 0.04 | 39.70 | | | | |
| 亚强真刺水蚤 <i>E. subcrassus</i> | | | 0.03 | 9.10 | | |
| 精致真刺水蚤 <i>E. concinna</i> | | | 0.03 | 8.28 | | |
| 平滑真刺水蚤 <i>E. plana</i> | | | 0.02 | 9.86 | | |
| 真刺水蚤属 <i>Euchaeta</i> sp. | | | 0.04 | 17.50 | | |
| 真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i> | | | 0.04 | 14.90 | 0.05 | 1.11 |

化范围为0.21~13 495.87个/m³, 各站位丰度分布不均匀(图2), 其中东海北部近岸水域平均丰度

最高(表4), 为747.36个/m³, 东海中南部近岸水域略低, 长江口及邻近水域最小。生物量均值

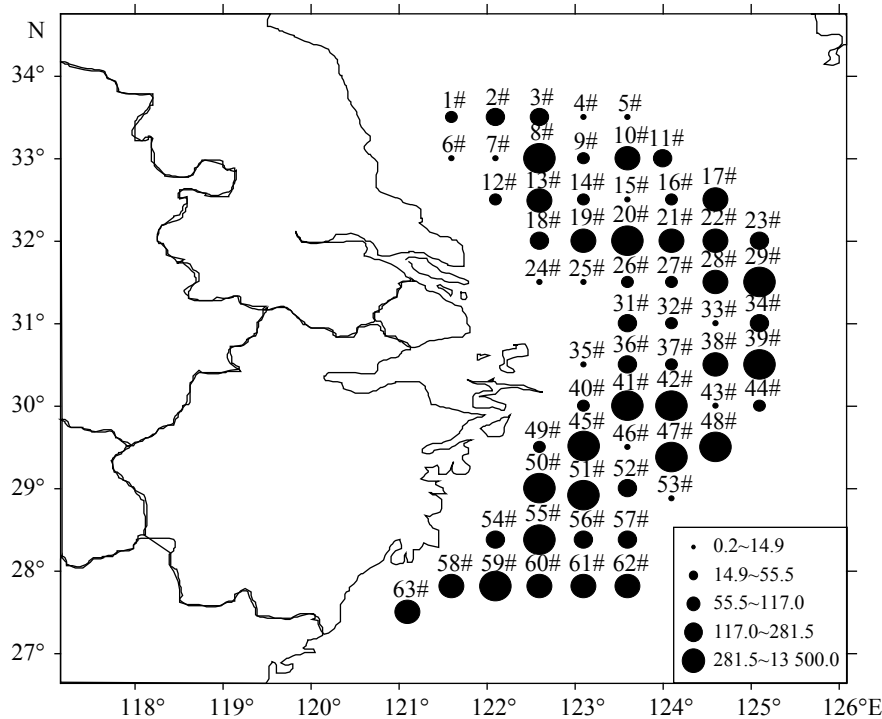


图2 春季浮游动物丰度分布/(个/m³)

Fig. 2 Abundance distribution of zooplankton in spring

表 4 东海近岸海域浮游动物丰度与生物量平均值

Tab. 4 The average abundance and biomass of zooplankton in coastal waters of East China Sea

| 海区 area | | 5月 May | 8月 August | 12月 December |
|--|---|-----------|--------------|-----------------|
| 平均生物量/(mg/m ³) average biomass | A | 329.56 | 124.03 | 13.81 |
| | B | 231.15 | 464.71 | 40.68 |
| | C | 387.60 | 554.08 | 25.20 |
| 总平均生物量/(mg/m ³) total average biomass | | 319.55 | 412.92 | 27.76 |
| 平均丰度/(个/m ³) average abundance | A | 747.36 | 63.34 | 9.79 |
| | B | 261.26 | 201.98 | 14.75 |
| | C | 735.07 | 237.57 | 7.03 |
| 总平均生物量/(mg/m ³) total average biomass | | 602.07 | 180.60 | 10.75 |

为319.55 mg/m³，介于1.49~3 111.11 mg/m³(图3)，其中东海中南部近岸水域平均生物量最高(387.60 mg/m³)，其次为东海北部近岸水域，长江口及其邻近水域最低。

夏季浮游动物丰度均值为180.60个/m³，介于4.00~926.67个/m³(图4)，其中东海中南部近岸水域平均丰度最高(表4)，长江口及邻近水域次

之，东海北部近岸水域最低。生物量均值为412.92 mg/m³，变化幅度为18.89~2 202.38 mg/m³(图5)，生物量与丰度分布图较为相似，东海中南部近岸水域平均生物量最高，长江口及其邻近水域次之，东海北部近岸水域最低。

冬季浮游动物丰度均值为10.75个/m³，变化介于0.41~62.75个/m³，各站位丰度分布不均匀(图6)，其中长江口及邻近水域平均丰度最高(表4)，东海中南部近岸水域略低，东海北部近岸水域最低。生物量均值为27.76 mg/m³，变化介于0.47~158.96 mg/m³，生物量与丰度分布相似，也不均匀(图7)，其中长江口及邻近水域平均生物量较高，为40.68 mg/m³，其次为东海中南部近岸水域，而东海北部近岸水域最低。

总体而言，整个海区冬季平均生物量极显著低于春季和夏季(P<0.01)；冬季平均丰度显著低于春季(P<0.05)，与夏季差异不显著(P>0.05)；夏季平均生物量虽高于春季，但平均丰度较春季低。春季表现为东海北部和东海中南部海区平均丰度与平均生物量相差不大，但均高于长江口及邻近海域；夏季各海域表现为平均丰度与平均生物量从南到北逐渐减少的特征；冬季

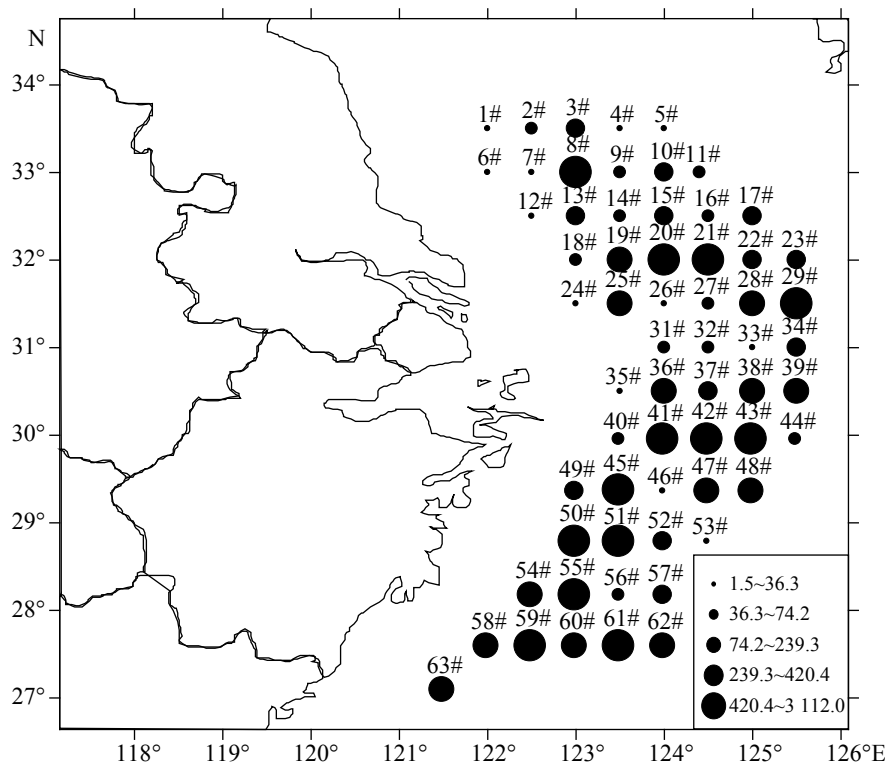


图 3 春季浮游动物生物量分布/(mg/m³)

Fig. 3 Biomass distribution of zooplankton in spring

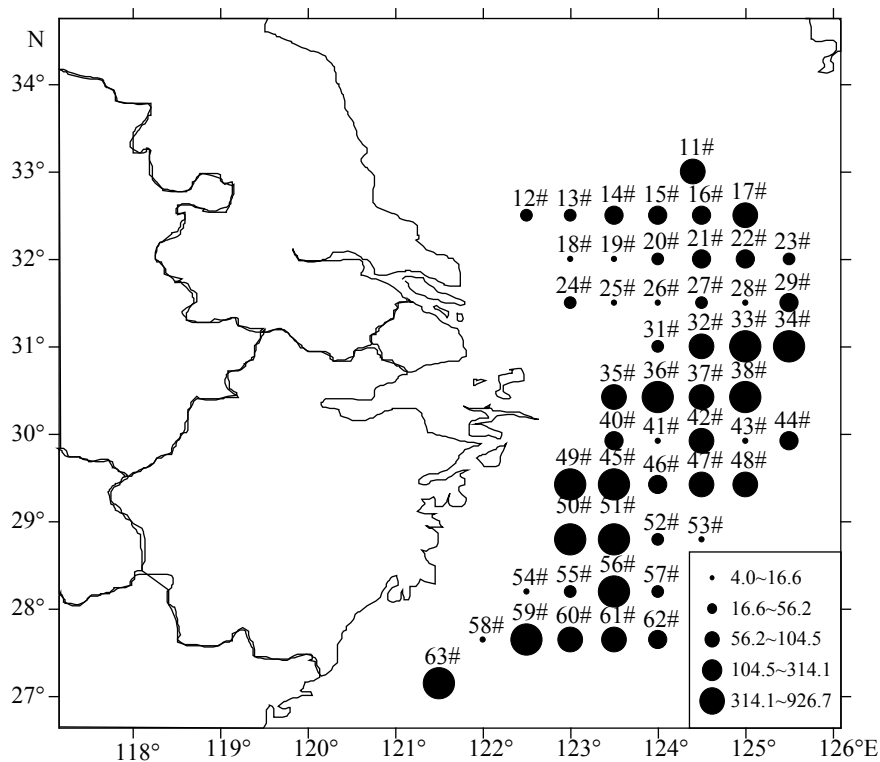


图 4 夏季浮游动物丰度分布/(个/m³)

Fig. 4 Abundance distribution of zooplankton in summer

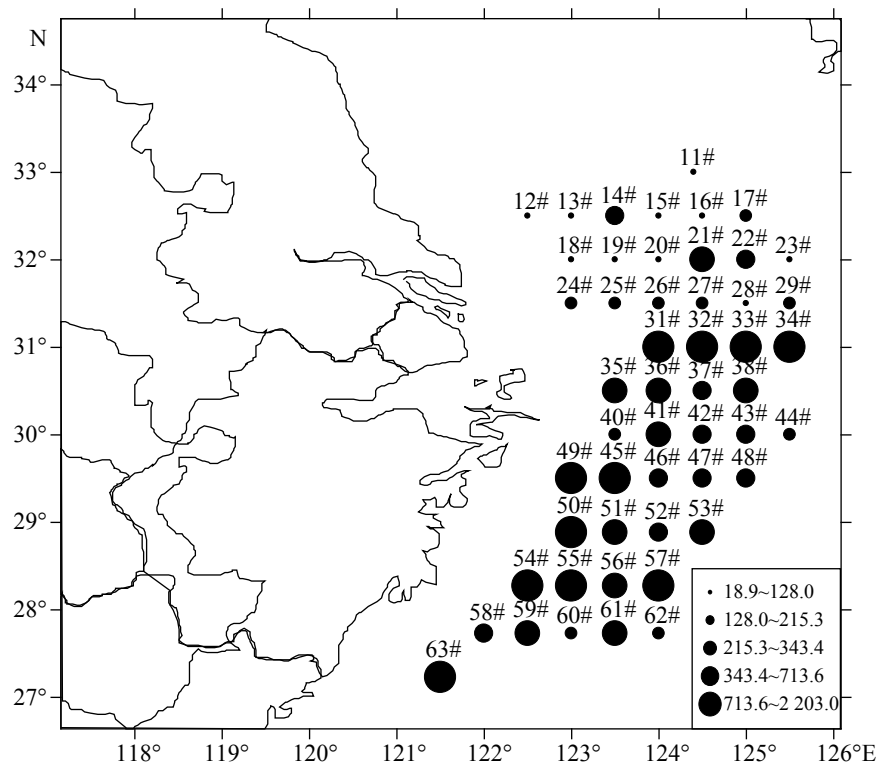


图 5 夏季浮游动物生物量分布/(mg/m³)

Fig. 5 Biomass distribution of zooplankton in summer

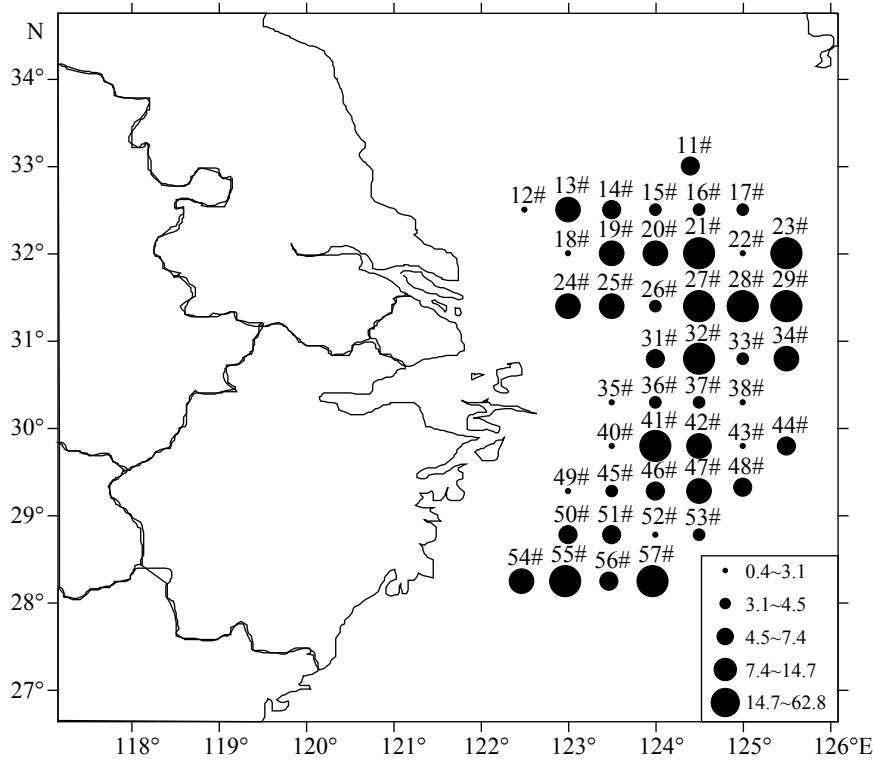


图 6 冬季浮游动物丰度分布/(个/m³)

Fig. 6 Abundance distribution of zooplankton in winter

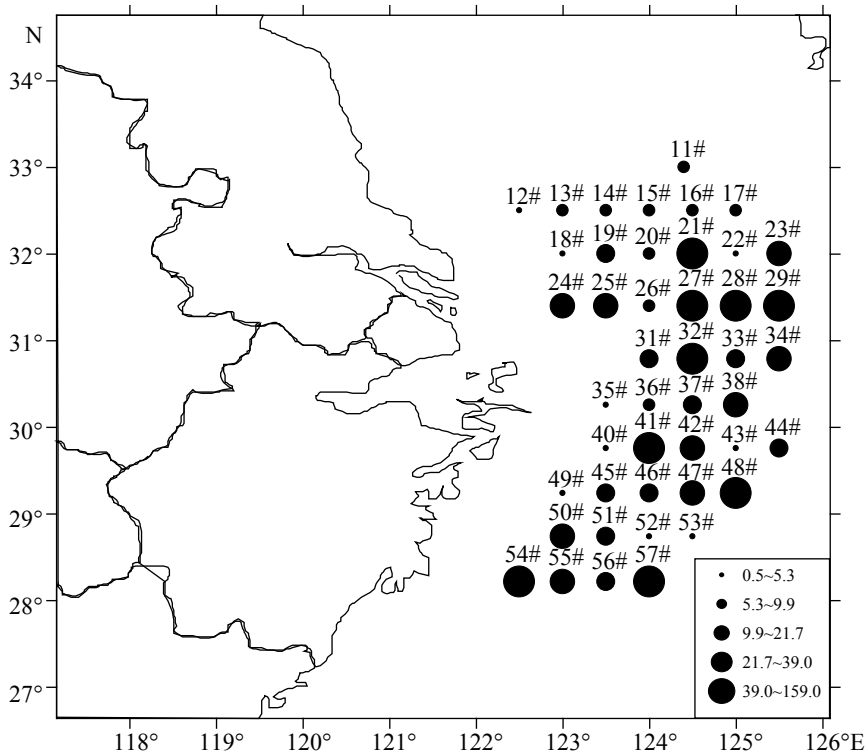


图 7 冬季浮游动物生物量分布/(mg/m³)

Fig. 7 Biomass distribution of zooplankton in winter

长江口及邻近海域平均丰度与平均生物量较东海北部和东海中南部高。

春季、冬季与夏季浮游动物种类数相比, 数量差异较大, 春季总丰度90%由约3种浮游动物构成, 冬季总丰度90%由约5种浮游动物构成, 而夏季约30种浮游动物构成总丰度的90%。

3 讨论

3.1 种类的季节与空间变化

东海近岸海域春、夏、冬三季共鉴定浮游动物成体108种(含未定种), 浮游幼体14类, 其中桡足类和水母类的种类和数量占绝对优势, 桡足类为最优势类群, 共47种, 占总种数的43.52%; 水母类共19种, 占总种数的17.59%。夏季浮游动物种类数最高(93种), 高于春季(55种)和冬季(39种)。已有研究表明, 东海部分范围内

夏、秋季浮游动物种类要明显高于春、冬季^[25-26]。尽管本次调查中相同区域内春季布设站点多于夏季, 但夏季种类数仍明显高于春季。

从站位分布上看, 本研究发现, 各季节种类数与纬度呈负相关, 且达极显著水平(图8)。从纬度分布上看, 各季节在同一断面上每网的平均种类数与纬度的线性关系也呈负相关, 其中春季和冬季均达极显著水平, 夏季为显著水平(图9)。但夏季所呈现的不同是在纬度30.5°N上, 每网的平均种类数显著高于其他纬度。种类数在夏季整体较高的情况下, 主要因纬度30.5°N处于长江口与舟山渔场, 属于亚热带向温带过渡区域^[25, 27], 首先夏季长江径流带来的丰富饵料为生物生长提供了保障^[10], 其次强劲的台湾暖流^[28]为该海域输送了大量的热带种、外海种甚至大洋广布种, 因此集合了丰富的生态类群, 使得30.5°N纬度上的几个站位浮游动物平均种类数较高。

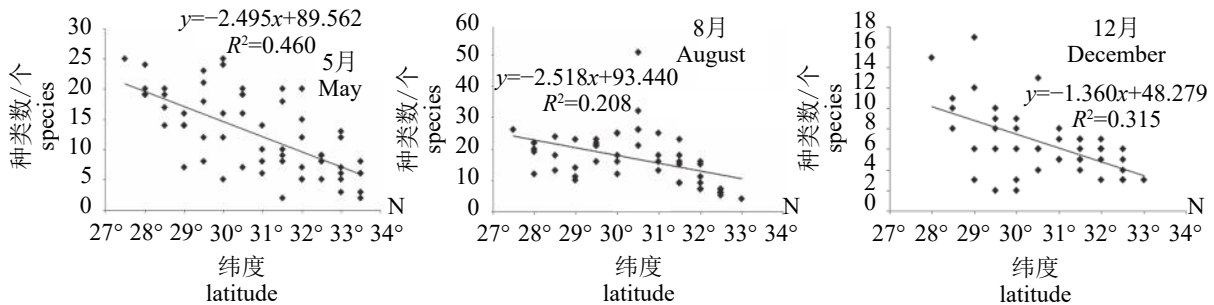


图8 各站位种类数与纬度的线性关系

Fig. 8 The linear relationship of species and latitude in each sites

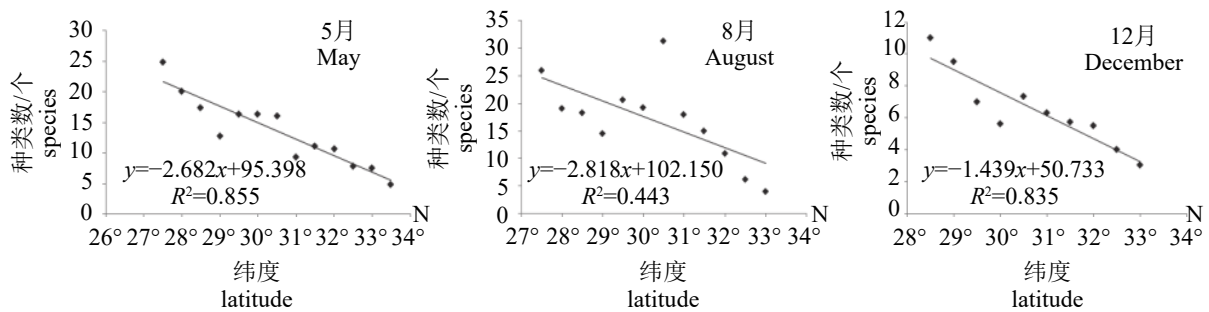


图9 同一断面上平均种类数与纬度的线性关系

Fig. 9 The linear relationship of average species and latitude in the same section

从区域分布上看, 本研究发现, 春、冬季三个区域群落差异均达极显著水平, 而夏季除B、C两群落差异达显著水平外(表5), A、B群落和A、C群落差异均达极显著水平。温度是影响春、冬两季南北区域间差异极显著的主要因素, 不同区域间平均表温、底温相差较大(表6), 因

此分布的不同适温类型群落导致群落差异极显著, 图10可以看出A区域纬度较高, 近岸低盐和广温广盐种占有优势, 而在纬度较低的C区域暖水性、高温高盐及大洋广布种占有优势。另外表、底层盐度是影响分布的另一因素^[29-31], 如春季B区域表层盐度最低, 为26.4, 低于A区域的

表 5 基于浮游动物丰度的群落相似性检验

Tab. 5 Results of One-Way analysis of similarities (ANOSIM) for zooplankton communities

| 月份 month | 区域 area | P | ANOSIM R |
|-------------|------------|-------|----------|
| 5 | A与B | 0.001 | 0.258 |
| | A与C | 0.001 | 0.388 |
| | B与C | 0.006 | 0.136 |
| 8 | A与B | 0.001 | 0.060 |
| | A与C | 0.001 | 0.746 |
| | B与C | 0.026 | 0.096 |
| 12 | A与B | 0.004 | 0.224 |
| | A与C | 0.001 | 0.769 |
| | B与C | 0.001 | 0.299 |

表 6 不同区域内的环境参数

Tab. 6 Environmental parameters in different areas

| 月份 month | 区域 area | 平均表温/°C | 平均表盐 | 平均底温/°C | 平均底盐 |
|-----------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| | | surface average temperature | surface average salinity | bottom average temperature | bottom average salinity |
| 5月 May | A | 13.7 | 30.2 | 12.6 | 30.6 |
| | B | 15.7 | 26.4 | 15.5 | 30.7 |
| | C | 17.0 | 29.3 | 17.9 | 31.3 |
| 8月 August | A | 26.3 | 29.9 | 26.5 | 29.8 |
| | B | 25.7 | 28.3 | 23.3 | 31.0 |
| | C | 26.2 | 32.0 | 25.2 | 32.6 |
| 12月 December | A | 8.3 | 30.1 | 8.6 | 30.2 |
| | B | 11.8 | 29.8 | 17.0 | 29.4 |
| | C | 12.9 | 29.5 | 13.3 | 29.7 |

30.2和C区域的29.3。因此综合温度、盐度及纬度的不同决定了区域之间种类的差异。另外图11也显示各季节群落A与群落C距离均相对较远，差异相对较大，但群落B与群落A、群落C的距离相对较近。这也说明，B属于亚热带向温带过渡区域，因此分布的种类兼具群落A与群落C中占优势的生态类型。群落B与群落A、群落C的距离虽相对较近，但受区域内纬度、水团、水深及温盐的影响，因此其群落界限仍较清晰。

3.2 丰度、生物量季节与区域的差异

春季区域分布表现为东海北部和东海中南部海域平均丰度与平均生物量相差不大，但均

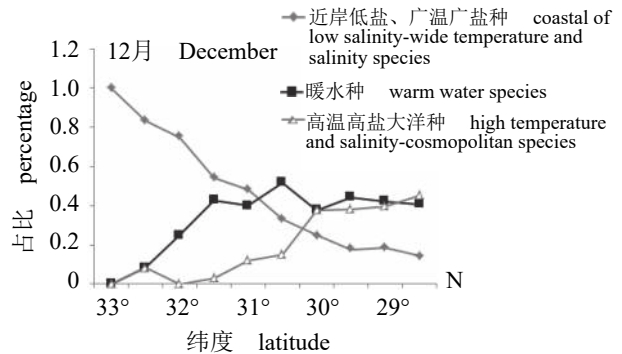
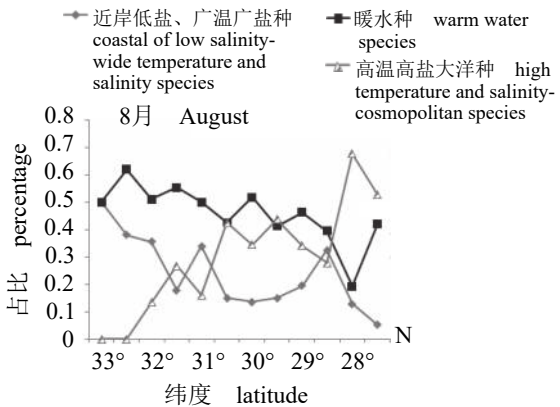
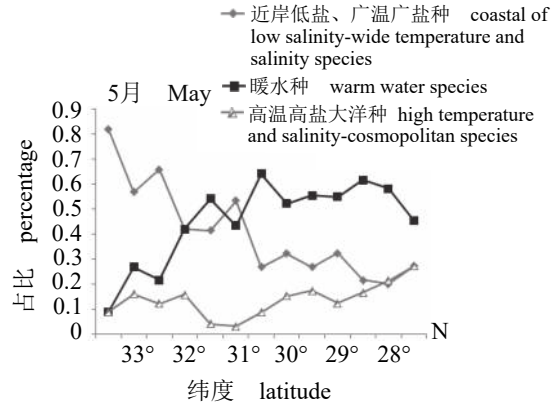


图 10 生态类群所占百分比

Fig. 10 Percentage of ecological groups

高于长江口及邻近海域。主要因东海北部近岸海域的优势种中华哲水蚤(13 495.9个/m³)在A8站位大量聚集，接近长江口附近海域浮游动物总丰度(4 702.8个/m³)的3倍。另外与生物量占有较大比重的优势种大西洋五角水母及常见种双生水母、毛颚类在东海北部部分站位(A20、A21)的聚集也有一定关系，A20和A21两站位生物量之和(2 683.4 mg/m³)接近长江口附近海域总生物量(4 160.6 mg/m³)的2/3。而东海中南部近岸海域，优势种中华哲水蚤总丰度(15 436.5个/m³)是长江口及邻近海域浮游动物总丰度的3倍多，中华哲水蚤对该区域丰度的贡献率也高达65.68%，且占

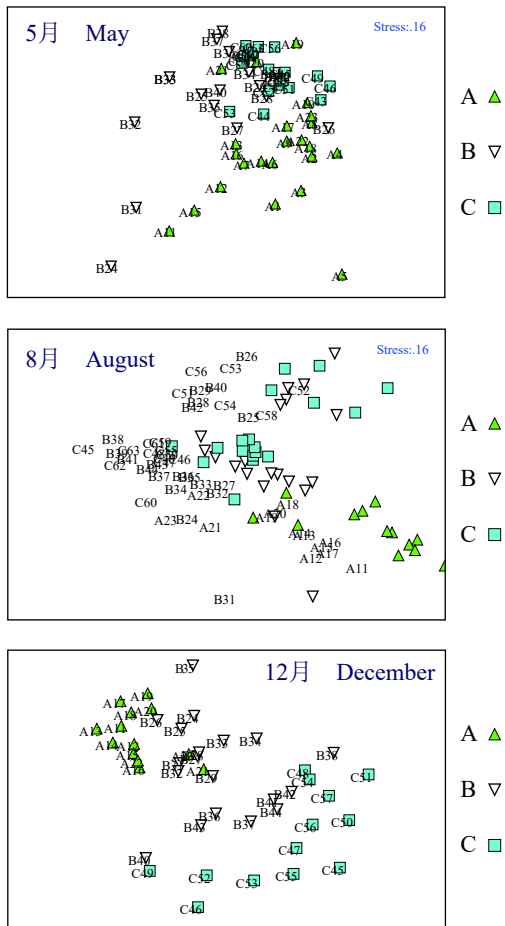


图 11 三个季节各站位浮游动物群落非度量多维标度排序分析(NMDS)

Fig. 11 Non-metric multidimensional scaling analysis of zooplankton community at each sampling station in May, August and December

有较大重量比重的大西洋五角水母、双生水母、百陶箭虫、海龙箭虫及真刺唇角水蚤, 对该区域丰度的累积贡献率达22.72%, 虽然长江口及邻近海域占有重量比重的上述种类对丰度的累积贡献率高达37.34%, 但长江口及邻近海域平均丰度却远低于东海北部近岸海域和东海中南部海域(表4), 因而平均生物量表现的并不高。

夏季平均生物量虽高于春季, 但平均丰度较春季低。主要由于春季是优势种中华哲水蚤出现的高峰期^[29], 总丰度(31 011.2 个/m³)是夏季(9 210.6 个/m³)的3倍多, 夏季生物量剧增是由水母类大量出现而导致^[32-34]。夏季种类虽相对丰富, 但丰度上很少由某一种或几种生物占绝对优势, 如夏季约30种浮游动物构成总丰度的90%, 春季2种构成总丰度的90%, 冬季5种构成

总丰度的90%(图12)。夏季丰度与生物量从南到北均呈逐渐减少的特征, 姚少慧等^[35]在研究我国海湾类型海域时也得到生物量随纬度的增加呈减少的趋势, 并且也提到丰度与生物量二者具有相关性, 丰度对生物量的贡献较大。另外与种类数随纬度的下降(图8, 图9)呈增加的趋势也可能具有一定关系, 还需后续研究加以证实。

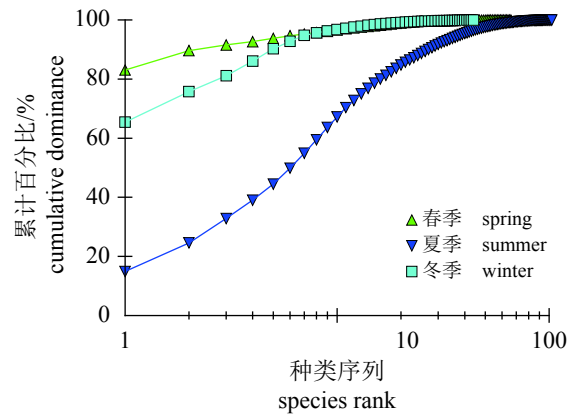


图 12 浮游动物种类数与累计数量百分比
Fig. 12 Species numbers and its cumulative percentage of total zooplankton abundance in spring, summer and winter

整个海区冬季平均生物量均显著低于春季和夏季, 冬季平均丰度显著低于春季, 但与夏季差异不显著, 陈洪举^[10]、齐衍萍等^[36]在冬季东海海域内也有类似发现。但冬季区域分布呈现一个较为突出的特点, 在区域间站位设置相当的情况下, 长江口及附近海域平均丰度与平均生物量均较东海北部和东海中南部高。首先这与优势种的丰度在三个海域内的差异有关, 长江口及附近海域优势种总丰度(247.22个/m³)高于东海北部(125.21 个/m³)和东海中南部海域(63.70 个/m³)。其次冬季严酷的生境限制了大部分暖水性、外海种甚至热带种的生存^[27, 29], 而冬季因径流量的减弱使得表层盐度处于一年中的最高值(29.8), 因此也限制了部分河口种及低盐性物种, 此环境下生物竞争相对不激烈, 长江径流带来的饵料也为暖温带近海生态类群的优势种提供生长和繁殖的适宜场所^[10, 37], 因此冬季该区域丰度表现相对较高。另外冬季在优势种体积(百陶箭虫、强壮箭虫等)本就相对较大的前提下, 箭虫在该区域丰度较高, 导致生物量相对较高。

3.3 优势种、生态类群季节与区域的差异

本研究发现,东海近岸浮游动物优势种季节更替较为明显(表3),春、夏两季优势种更替率为90.9%,夏、冬两季优势种更替率为50%。春季优势种为中华哲水蚤和大西洋五角水母,作为广温广盐种的中华哲水蚤,在本次调查中遍及整个东海近岸,这主要因春季台湾暖流对东海近岸影响还较为微弱^[28],近岸海域整体温度并不高,三个区域平均温度介于13.7~17 °C(表6),徐兆礼等^[38]采用数学模型拟合认为春季中华哲水蚤最适温度为17.04 °C,因此本研究区域内的温度较适宜于中华哲水蚤的生长与繁殖,另外中华哲水蚤作为春季第一优势类群,与江苏近岸、长江口及浙江沿岸海域^[12, 22, 39-40]春季调查结果一致。但作为第二优势类群的大西洋五角水母,仅分布于长江口及以南的水域,这主要取决于水体盐度与温度,本次调查长江口及以南海域表层平均盐度(27.99)低于东海北部近岸(30.20),而表层平均温度(16.4 °C)高于东海北部近岸(13.7 °C),由于其为近岸表层低盐暖温指示种^[41],长江口南部海域显然更适合大西洋五角水母的生存。春季其他常见种生态类群区域分布也体现出这种特点,如东海北部近岸海域主要以近岸低盐种如真刺唇角水蚤等为主,长江口及邻近水域暖水性(双生水母等)和广温广盐种占主导地位,东海中南部水域暖水性群落占优势,而高温高盐种、大洋广布性群落(软拟海樽、中型莹虾、两手筐水母等)也占有较大比重。

夏季因气温升高,水温整体上升明显(表6),加上多种水团(长江径流、黑潮暖流和台湾暖流等)的交互作用^[1, 7, 14, 28],东海近岸尤其浙江沿岸海域暖水种、高温高盐种及大洋广布种所占比例均较高(图10),而东海北部近岸海域占主导地位的生态类群已由春季的近岸低盐种转变成暖水性种群,甚至出现少量的高温高盐种,夏季群落结构发生变化,因此优势种种类组成及生态类群均发生了明显更替,优势种的生态类群由春季的2种(近岸低盐种、广温广盐种)增加到4种(近岸低盐种、广温广盐种、暖水种及大洋广布种),这应与南部强劲的台湾暖流及外海黑潮暖流作用有关,此时高温高盐种(肥胖箭虫等)和广温广盐种(百陶箭虫等)是整个东海近岸海域的优势生态类群,因此夏季群落表现为优势

种由春季占绝对优势的近岸低盐种、广温广盐种更替成近岸低盐种、广温广盐种与高温高盐种等共存的格局。另外,亚强次真哲水蚤仅分布在长江口以南海域,这主要因该种类属亚热带外海种,偏好高温高盐环境,而夏季长江口及邻近水域受长江冲淡水影响盐度相对较低,同时东海北部近岸海域受西南季风影响水温相对较低(表6)。

冬季,受黄海冷水团及气候因素等影响,各区域水温达到一年中的最低值(表6),北部近岸海域水温更是最低(8.3 °C),此时广温性优势种真刺唇角水蚤和中华哲水蚤^[12, 42]虽可在东海近岸各水域广泛分布,但受低温限制其平均丰度却远远低于春、夏两季(表3),因此也说明该种类更偏好高温环境。此外,冬季其他优势种(百陶箭虫、中华假磷虾)也表现出平均丰度低于春、夏季,同时主要分布于水温更高的长江口及以南海域内的特点。另外冬季生态类群随纬度的变化曲线与春季较为相似(图10),暖水性、高温高盐及大洋广布种群随纬度降低其所占比例呈增加趋势,而近岸低盐和广温广盐种随纬度降低其所占比例逐渐下降,但因温度更低,因此冬季东海南部近岸海域暖水性种群所占比例低于春季。

感谢中国水产科学研究院东海水产研究所姜亚洲、袁兴伟、林楠等在出海采样中,卢伍阳和范瑞良同学在数据处理中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 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 M M, Liu Z S, Wang C S, et al. The seasonal variation and community structure of zooplankton in China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5407-5418(in Chinese).
- [2] 李纯厚,贾晓平,蔡文贵.南海北部浮游动物多样性研究[J].中国水产科学,2004,11(2):139-146.
Li C H, Jia X P, Cai W G. Diversity of marine zooplankton in the north of South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(2): 139-146(in Chinese).
- [3] 左涛.东、黄海浮游动物群落结构研究[D].青岛:中国

- 科学院研究生院(海洋研究所), 2003.
- Zuo T. Community structure of zooplankton in the East China Sea and the Yellow Sea[D]. Qingdao: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2003 (in Chinese).
- [4] 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.
- Zheng Z Z. The structure of zooplankton communities and its seasonal variation in the Yellow Sea and in the Western East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1965, 7(3): 199-204(in Chinese).
- [5] 尹健强, 陈清潮, 张谷贤, 等. 南沙群岛海区上层浮游动物种类组成与数量的时空变化[J]. 科学通报, 2006, 51(S2): 154-164.
- Yin J Q, Chen Q C, Zhang G X, *et al.* Spatial and temporal variations of zooplankton composition and quantity distribution in the upper waters around Nansha Islands[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(S2): 154-164(in Chinese).
- [6] 徐兆礼. 中国近海浮游动物多样性研究的过去和未来[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 635-645.
- Xu Z L. The past and the future of zooplankton diversity studies in China Seas[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 635-645(in Chinese).
- [7] 邓邦平, 徐韧, 刘材材, 等. 夏季黄海南部和东海近海浮游动物群落分布特征[J]. 南方水产科学, 2015, 11(4): 11-19.
- Deng B P, Xu R, Liu C C, *et al.* Distribution characteristics of zooplankton communities in offshore waters of the Southern Yellow Sea and the East China Sea in summer[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(4): 11-19(in Chinese).
- [8] 林景宏, 陈明达, 陈瑞祥. 南黄海和东海浮游端足类的分布特征[J]. 海洋学报, 1995, 17(5): 117-123.
- Lin J H, Chen M D, Chen R X. Distribution characteristics of pelagic Amphipoda in South Yellow Sea and East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1995, 17(5): 117-123(in Chinese).
- [9] 齐衍萍. 夏、冬季黄东海浮游动物群落生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- Qi Y P. Study on the community ecology of zooplankton in the Yellow Sea and the East China Sea in summer and winter[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008 (in Chinese).
- [10] 陈洪举. 长江口及其邻近海域浮游动物群落生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- Chen H J. Study on the zooplankton community in the Changjiang river estuary and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007 (in Chinese).
- [11] 陈剑, 张宇, 徐兆礼, 等. 夏季闽江口和椒江口浮游动物群落结构的比较[J]. 海洋学报, 2015, 37(2): 111-119.
- Chen J, Zhang Y, Xu Z L, *et al.* Comparison of the community structure of zooplankton between Minjiang River estuary and Jiaojiang River estuary during summer[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(2): 111-119(in Chinese).
- [12] 孟凡, 毛兴华, 俞建鑫, 等. 江苏海岸带水域浮游动物的种类组成和分布[J]. 生态学报, 1987, 7(3): 256-266.
- Meng F, Mao X H, Yu J L, *et al.* On the composition and distribution of zooplankton species in the coastal waters off Jiangsu Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, 7(3): 256-266(in Chinese).
- [13] 孙鲁峰, 孙岳, 徐兆礼. 椒江口海域浮游动物群落季节变化特征[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 131-138.
- Sun L F, Sun Y, Xu Z L. The study on the seasonal variations of zooplankton community in Jiaojiang coastal waters[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2014, 23(1): 131-138(in Chinese).
- [14] 田丰歌, 徐兆礼. 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1097-1104.
- Tian F G, Xu Z L. Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1097-1104(in Chinese).
- [15] 刘勇, 程家骅. 北部及黄海南部海域底层渔业生物多样性时空分布特征[J]. 水产学报, 2017, 41(8): 1223-1236.
- Liu Y, Cheng J H. Temporal and spatial distribution of bottom fishery biodiversity in the middle and north of the East China Sea and the south of the Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(8): 1223-1236(in Chinese).
- [16] 王晓波. 象山港浮游动物群落结构与时空分布研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- Wang X B. Studies on the character of community structure and temporal & spatial of zooplankton in Xiangshan Bay[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2010 (in Chinese).
- [17] 王淼, 洪波, 安传光, 等. 丰、枯水期杭州湾东北部渔业

- 资源多样性及数量分布[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 246-254.
- Wang M, Hong B, An C G, *et al.* Diversity and density distribution of fishery resources in Northeast of Hangzhou Bay during flood and drought seasons[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(2): 246-254(in Chinese).
- [18] 吴建新, 舒燕, 卞志升, 等. 吕泗大洋港近岸海域浮游动物生态特征及其环境评价[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 56-62.
- Wu J X, Shu Y, Bian Z S, *et al.* Community structure of zooplankton near Lvsì ocean port area and its environmental assessment[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(10): 56-62(in Chinese).
- [19] 张壮丽, 叶孙忠. 福建海区浮游动物种类组成及数量分布特点[J]. 南方水产, 2005, 1(6): 34-38.
- Zhang Z L, Ye S Z. The species composition and quantity distribution characteristics of zooplankton in Fujian Sea area[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(6): 34-38(in Chinese).
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [21] 王晓. 南黄海浮游动物群落及环境因子对其分布影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Wang X. Studies on zooplankton community and the effects of environmental factors on its distribution in the Southern Yellow Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 (in Chinese).
- [22] 于雯雯, 刘培廷, 高银生, 等. 春夏季吕泗渔场水产种质资源保护区浮游动物分布特征[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2744-2749.
- Yu W W, Liu P T, Gao Y S, *et al.* Distribution characteristics of zooplankton in national aquatic germplasm conservation area in Lūsì fishing ground of East China in spring and summer[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(10): 2744-2749(in Chinese).
- [23] 杜萍, 徐晓群, 刘晶晶, 等. 象山港春、夏季大中型浮游动物空间异质性[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2308-2321.
- Du P, Xu X Q, Liu J J, *et al.* Spatial heterogeneity of macro-and meso-zooplankton in Xiangshan Bay in spring and summer[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2308-2321(in Chinese).
- [24] 姜强. 春、秋季北黄海大中型浮游动物群落生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- Jiang Q. Study on the macro-zooplankton and meso-zooplankton community ecology in the North Yellow Sea in spring and autumn[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010 (in Chinese).
- [25] 刘镇盛. 长江口及其邻近海域浮游动物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Liu Z S. Community structure and biodiversity of zooplankton in the Changjiang estuary and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 (in Chinese).
- [26] 徐兆礼, 崔雪森, 陈卫忠. 东海浮游桡足类的种类组成及优势种[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 35-40.
- Xu Z L, Cui X S, Chen W Z. Species composition and dominant species study on pelagic copepods in the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(1): 35-40(in Chinese).
- [27] 高倩, 徐兆礼, 庄平. 长江口北港和北支浮游动物群落比较[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2049-2055.
- Gao Q, Xu Z L, Zhuang P. Comparison of mesozooplankton communities in north channel and north branch of Yangtze River estuary[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(9): 2049-2055(in Chinese).
- [28] 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, 2013, 35(5): 147-155.
- Wang X, Wang Z L, Pu X M, *et al.* 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(in Chinese).
- [29] 纪焕红, 叶属峰. 长江口浮游动物生态分布特征及其与环境的关系[J]. 海洋科学, 2006, 30(6): 23-30.
- Ji H H, Ye S F. Ecological distribution characteristics of zooplankton and its relationship with environmental factors in the Changjiang River estuary[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(6): 23-30(in Chinese).
- [30] 姜会超, 陈海刚, 宋秀凯, 等. 莱州湾金城海域浮游动

- 物群落结构及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7308-7319.
- Jiang H C, Chen H G, Song X K, *et al.* Zooplankton community structure in Jincheng area of Laizhou Bay and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7308-7319(in Chinese).
- [31] 郑金秀, 胡菊香, 彭建华, 等. 长江口南北支浮游动物群落生态学研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(6-7): 1102-1106.
- Zheng J X, Hu J X, Peng J H, *et al.* Zooplankton community ecology in north and south branches at Yangtze River estuary[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(6-7): 1102-1106(in Chinese).
- [32] Lindley J A, Batten S D. Long-term variability in the diversity of North Sea zooplankton[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2002, 82(1): 31-40.
- [33] Lynam C P, Hay S J, Brierley A S. Interannual variability in abundance of North Sea jellyfish and links to the North Atlantic Oscillation[J]. *Limnology and Oceanography*, 2004, 49(3): 637-643.
- [34] 王春生, 陈兴群, 刘镇盛. 中国近海海洋: 海洋生物与生态[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- Wang C S, Chen X Q, Liu Z S. *Marine biology and ecology in China sea*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012 (in Chinese).
- [35] 姚少慧, 于红兵, 王霞, 等. 湛江港夏秋季浮游动物群落结构的分布与变化[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(13): 192-196.
- Yao S H, Yu H B, Wang X, *et al.* Study on the variation and distribution of zooplankton community in the Zhanjiang Bay in summer and autumn[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(13): 192-196(in Chinese).
- [36] 齐衍萍, 陈洪举, 朱延忠, 等. 福建罗源湾浮游动物群落特征[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(1): 39-46.
- Qi Y P, Chen H J, Zhu Y Z, *et al.* Characteristics of zooplankton community in Luoyuan Bay, Fujian[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(1): 39-46(in Chinese).
- [37] 高倩. 长江口北港和北支浮游动物群落生态学比较研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2008.
- Gao Q. The comparison of the zooplanktonic communities in the North Channel and North Branch of the Changjiang Estuary[D]. Qingdao: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2008 (in Chinese).
- [38] 徐兆礼, 李云. 长江口中华哲水蚤对不同温度和盐度的适应[C]//2008年中国水产学会学术年会论文摘要集. 昆明: 中国水产学会, 2008.
- Xu Z L, Li Y. Adaptation of *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea) to temperature and salinity in the Changjiang estuary[C]//Fisheries of Academic Annual Meeting Abstract Set of China. Kunming: China Society of Fisheries, 2008 (in Chinese).
- [39] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 892-900(in Chinese).
- [40] 金海卫, 徐汉祥, 王伟定, 等. 浙江沿岸海域浮游动物的分布特征[J]. 海洋学研究, 2009, 27(4): 55-62.
- Jin H W, Xu H X, Wang W D, *et al.* Distribution features of zooplankton in the Zhejiang coastal waters[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2009, 27(4): 55-62(in Chinese).
- [41] 许振祖, 黄加祺, 林茂, 等. 中国刺胞动物门水螅虫总纲[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.
- Xu Z Z, Huang J Q, Lin M, *et al.* The Superclass Hydrozoa of the Phylum Cnidaria in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014 (in Chinese).
- [42] 卢伍阳, 马增岭, 徐兆礼, 等. 春季我国不同纬度河口浮游动物群落变化趋势[J]. *海洋学报*, 2016, 38(10): 83-93.
- Lu W Y, Ma Z L, Xu Z L, *et al.* Variation of zooplankton communities in Chinese estuaries along latitudes in spring[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 38(10): 83-93(in Chinese).

Analysis of the temporal and spatial variations of zooplankton community in coastal East China Sea

YANG Jieqing, QUAN Weimin, SHI Yunrong, WANG Yunlong*

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: In order to discuss the temporal and spatial variations of zooplankton community in coastal East China Sea and based on the data obtained from 3 cruises of zooplankton surveys conducted in the coastal waters of East China Sea in May, August and December of 2013, the species composition, biomass and abundance, dominant species and ecological groups were investigated. The results showed that a total of 108 species belonged to 15 groups in 7 phyla, including undefined species, together with 14 classes of pelagic larvae. The 7 phyla including Cnidaria, Ctenophora, Annelina, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha and Urochordata. Copepoda and Medusae were the most dominant groups in numbers of species and abundance. The most dominant group of zooplankton was Copepoda, including 47 species accounting for 43.52%. Medusae ranks second with a total of 19 species, accounting for 17.59%. There was a considerable seasonal variation in species of zooplankton in the coastal waters of East China Sea. In summer, the species richness was significantly higher than spring and winter. The linear relationship of species and latitude was negative correlated in May, August and December, which reached an extremely significant level. The whole area average abundance and biomass of zooplankton of coastal waters in East China Sea changed seasonally. Both the average abundance and biomass in winter were the lowest, the average biomass was the highest in summer, and the average abundance was the highest in spring. The community can be divided into 6 ecological groups according to the tolerance of zooplankton in hydrological environment and the differences of living areas, which were coastal species of low salinity, wide temperature and salinity species, high temperature and salinity species, warm coastal species, warm water species and cosmopolitan species. In spring and winter the coastal species of low salinity, wide temperature and salinity species accounted for absolute advantage in the southern Yellow Sea coastal waters, but warm water species were in higher proportion in summer. However, in Yangtze River estuary and adjacent waters, the warm water species were the dominant community in spring, summer and winter. What's more, in the central and southern coastal waters, warm water species play a dominant role in spring and winter. But the high temperature and salinity species, cosmopolitan species community was obviously dominant in summer. *Calanus sinicus* was the only common dominant species in these seasons. Dominant species changed more obviously, and the dominant species turnover rate was 90.9% from spring to summer, which was 50% from summer to autumn.

Key words: zooplankton; dominance species; ecological groups; abundance; biomass; East China Sea

Corresponding author: WANG Yunlong. E-mail: yunlong_wang@hotmail.com

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303047)