

东海普通波水蚤种群特征与环境关系研究*

徐兆礼

(中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

【摘要】 根据1997~2000年东海23°30'~33°N、118°30'~128°E海域4个季节海洋调查资料,对东海浮游桡足类普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)自然种群特征与环境的关系进行研究,并与1979~1980年资料进行比较。结果表明,普通波水蚤优势度、平均丰度、出现频率和占浮游桡足类总丰度的百分比均有显著的季节变化,其中秋季分别为0.09、556 ind·100 m⁻³、93.69%和9.90%,夏季为0.03、86 ind·100 m⁻³、68.49%和4.08%,冬季为0.02、42 ind·100 m⁻³、53.85%和3.80%,春季为0.01、16 ind·100 m⁻³、34.35%和2.31%。普通波水蚤在东海的优势性主要表现在秋季。与20年前同海域研究结果相比,近年春、夏和秋3季普通波水蚤在东海浮游桡足类中的重要性有所降低,而冬季有所增加。冬季的增加可能与全球气候变暖相关。底层水环境变化是影响普通波水蚤种群数量分布的主要因子,说明该种数量变化与暖流势力有密切关系。普通波水蚤对沿岸水团和低温环境敏感,其高丰度分布区是暖流位置的良好指示。作为秋季东海重要的桡足类浮游动物,普通波水蚤在东海海洋渔业中有重要意义。

关键词 浮游动物 浮游桡足类 普通波水蚤 东海

文章编号 1001-9332(2006)01-0107-06 **中图分类号** S932.8 **文献标识码** A

Relationships between population characters of *Undinula vulgaris* (Copepoda) and environment in the East China Sea. XU Zhaoli (Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries of Agriculture Ministry, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(1): 107~112.

Based on the data of four seasonal oceanographic censuses in 1997~2000 in the East China Sea (23°30'~33°N, 118°30'~128°E), this paper discussed the relationships between the ecological characters of natural *Undinula vulgaris* population and its environment in the Sea, with the data of 1979~1980 compared. The results showed that there was a very clear seasonal change of the dominance, abundance, and occurrence frequency of *U. vulgaris*, i. e., autumn (0.09, 556 ind·100 m⁻³, 93.69%) > summer (0.03, 86 ind·100 m⁻³, 68.49%) > winter (0.02, 42 ind·100 m⁻³, 53.85%) > spring (0.01, 16 ind·100 m⁻³, 34.35%). As a dominant species of pelagic copepods in the Sea, *U. vulgaris* showed its predominance mainly in autumn. The percentage of *U. vulgaris* in the total abundance of pelagic copepods was 2.31% in spring, 4.80% in summer, 3.80% in winter, and 9.90% in autumn, while its occurrence frequency was the highest in autumn and the lowest in winter. Comparing the results of this study with the data of 1979~1980, the importance of *U. vulgaris* in pelagic copepods in the Sea was decreased in spring, summer and autumn, but increased in winter, which might be related with the global warming in winter. The main environmental factors affecting *U. vulgaris* abundance were the bottom water factors that closely related with the warm current in the ocean. Because of its sensibility to low temperature and coastal water mass, *U. vulgaris* could be used as a good indicator of warm current, and, as a good food for fishes, this species plays an important role in marine fishing in the middle-south part of the East China Sea.

Key words Zooplankton, Pelagic copepod, *Undinula vulgaris*, East China Sea.

1 引言

国内外对普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)种群自然生态学的专门研究较少。仅 Renon^[8]专门研究了3种不同类型的珊瑚礁环境下普通波水蚤地理分布特征。Turner^[13]对普通波水蚤的食性进行了研究。其它一些与普通波水蚤有关的资料则仅在对浮游动物的研究中有所涉及。如杨关铭等^[21,22]对黑潮海域浮游动物的研究,以及 Suarez等^[9~12]对加勒比海及墨西哥暖流海域和墨西哥沿岸太平洋热带海域浮游桡足类的研究。在对热带珊瑚礁地区浮游动物

的研究中,普通波水蚤往往成为被关注对象,如 Alvarez等^[1]对加勒比海礁石区域桡足类的研究,另一些报告也提到普通波水蚤的内容^[2,6]。国内对较大范围普通波水蚤种群生态学的研究尚未见报道。

本研究利用1997~2000年东海区(23°30'~33°N、118°30'~128°E)大范围的海洋调查资料,探讨东海普通波水蚤种群数量分布特征、与环境因子的关

* 国家自然科学基金重大项目(90511005)、国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409707)和国家近海海洋综合调查与评价专项资助项目(908-02-01-03)。

** 通讯联系人。

2005-01-28收稿,2005-05-23接受。

系、对浮游桡足类总数量变化的贡献. 并与 1979~1980 年同期资料进行比较, 旨在推动海洋生物自然种群生态学研究, 并为东海近海环流变异对海洋生态系统的影响及海洋渔业饵料基础研究等提供参考.

2 研究海域与研究方法

2.1 研究海域与取样方法

研究海域为东海 23°30'~33°00'N、118°30'~128°00'E 海域, 调查站位设置见图 1. 采用 1997~2000 年获得的春(1998.3~5)、夏(1999.6~8)、秋(1997.10~11)和冬(2000.1~2)4 个航次的调查资料(台湾海峡海域冬季没有调查), 期间共采集浮游动物样品 508 份. 采用 1979~1980 年东海 28°00'~32°00'N、122°00'~127°00'E 海域获得的春(1979.5)、夏(1979.8)、秋(1979.11)和冬(1980.2)4 个航次的调查资料进行普通波水蚤生态特征年际比较.

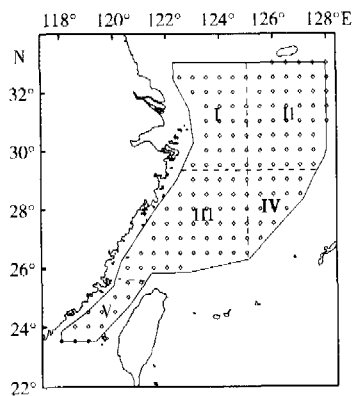


图 1 采样站点的地理位置
Fig. 1 Location of sampling stations.

浮游动物样品的采集和室内处理均参照《海洋调查规范》进行. 用大型浮游生物网(口径 80 cm、筛绢 GG36、网目孔径 0.505 mm)由底层至表层垂直拖曳采集, 按个体计数法在立体显微镜下计数并测定浮游动物样品中普通波水蚤丰度.

为详细分析东海普通波水蚤种群数量与栖息环境的关系, 将 1997~2000 年的调查水域分成 5 个海区^[5]: I. 北部近海(29°30'~33°N、123°30'~125°E); II. 北部外海(29°30'~33°N、125°~128°E); III. 南部近海(25°30'~29°30'N、120°30'~125°E); IV. 南部外海(25°30'~29°30'N、125°~128°E)和 V. 台湾海峡(23°30'~25°30'N、118°~121°E).

2.2 数据处理

出现率是指该种出现的站位数占总站位数之比的百分数. 优势度(Y)的计算和优势种的选取方法参考文献^[4,14]. 为了考察普通波水蚤在东海分布的非均匀性, 引入丛生指标作为聚集强度测度种群的聚集特性, 其计算参考以下公式^[14]:

丛生指标(Index of clumping)

$$I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1$$

其中, S^2 是样本的方差, \bar{X} 是样本的均值. 从统计意义上讲, 丛生指标(I) 为正值时, 说明浮游动物空间格局非随机程度较大, 即有一定程度的聚集. 正值数值越大, 聚集强度越高. 但从聚集强度指数的实际意义上看, 指数都为正数时, 说明浮游动物有聚集分布特征. 对于不是优势种的季节, 普通波水蚤对浮游桡足类总丰度变化贡献很小, 本文不予计算, 仅计算该种作为优势种季节时的贡献值. 计算过程如下: 先以浮游桡足类总丰度为因变量, 普通波水蚤和同期其它桡足类优势种为自变量, 根据 t 值筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算其标准回归系数(β). 标准回归系数作为普通波水蚤的贡献指数值与其它优势种比较, 用于研究该种对桡足类总丰度变化的影响, 具体计算参考文献^[3].

环境因子变化与总丰度变化的相关性分析采用同步观测资料, 取表层(t_0)、10 m 层(t_{10})、底层(t_b)水温和表层(S_0)、10 m 层(S_{10})、底层(S_b)盐度等 6 个因子作自变量, 总丰度为因变量, 采用逐步回归分析方法计算, 具体参考文献^[3].

3 结果与分析

3.1 普通波水蚤丰度的平面分布

春季普通波水蚤分布范围较狭窄, 东海北部近海几无分布, 南部近海大部分海域有很少或无分布, 极个别站位超过 $100 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$, 如 $28^\circ 30' \text{N}$ 、 $123^\circ 30' \text{E}$ 和 28°N 、 122°E 附近丰度分别为 $107 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$ 和 $143 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$. 前者水温为 18.1°C , 盐度为 30.1; 后者水温为 22.5°C , 盐度为 29.18. 最高值出现在 $26^\circ 30' \text{N}$ 、 121°E 附近, 丰度为 $603 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$, 其水温为 24°C , 盐度为 31.5. 台湾海峡出现普通波水蚤的站位和每个站位的个体数均相对较多, 也较均匀(图 2a).

夏季普通波水蚤的分布趋势与春季基本相同, 但数量明显增多. 高分布区位于台湾海峡及东海南部近海, 即 $25^\circ 30' \sim 26^\circ 30' \text{N}$ 、 $121^\circ \sim 122^\circ \text{E}$ 海域, 最高值大于 $1000 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$, 水温为 $27 \sim 27.5^\circ \text{C}$, 盐度为 33~34. 台湾海峡站位的普通波水蚤丰度普遍较高, 且东部高于西部. 东海南部外海海域丰度比春季明显增大. 北部近海普通波水蚤出现的站位较多, 北部外海数量也明显增多, 但与其它海域相比差距依然悬殊(图 2b).

秋季普通波水蚤高分布区的范围较大. 北部外海 $32^\circ 30' \text{N}$ 、 $126^\circ 30' \text{E}$ 为最高值, 达 $2190 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$, 其水温为 22.75°C , 盐度为 32.90. 在 $26^\circ 30' \sim 29^\circ 00' \text{N}$ 、 $122^\circ \sim 128^\circ \text{E}$ 海域, 也有一大块高分布区, 最高值为 $2539 \text{ ind} \cdot 100 \text{ m}^{-3}$, 水温为 $22 \sim 25^\circ \text{C}$, 盐度为 33~

34. 台湾海峡的高分布区与春夏季较高丰度区重叠, 东海北部近海普通波水蚤的数量较少(图 2c)。

冬季, 较高分布区移向东海北部外海, 最高值 (784 ind·100 m⁻³) 位于 30°N、127°30'E 海域。东海近海丰度较低(图 2d)。

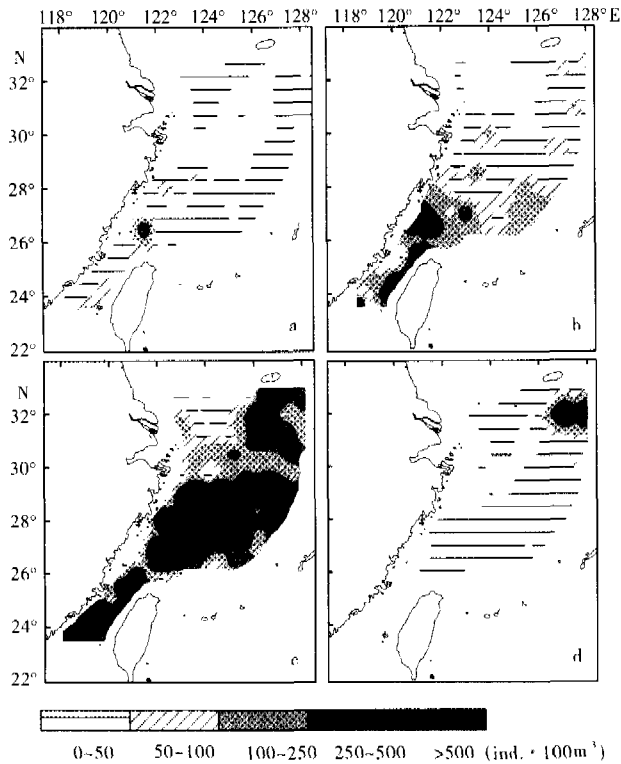


图 2 东海普通波水蚤丰度平面分布
Fig. 2 Horizontal distribution of *U. vulgaris* abundance in the East China Sea.
a) 春 Spring; b) 夏 Summer; c) 秋 Autumn; d) 冬 Winter.

3.2 普通波水蚤生态特征值的季节变化和区域变化

从表 1 可以看出, 普通波水蚤丰度具有显著的

表 1 东海普通波水蚤生态特征值
Table 1 Ecological indices value of *Undinula vulgaris* in the East China Sea

海区 Zone	春 Spring					夏 Summer				
	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)	I	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)	I
I	-	-	-	-	-	13	0.00	0.47	29.03	0.77
II	1	0.00	0.37	18.92	-0.89	24	0.01	1.13	58.14	-0.18
III	30	0.02	3.35	45.65	4.29	133	0.06	6.70	89.58	1.99
IV	12	0.01	0.98	54.55	-0.90	77	0.06	5.96	100.00	-0.22
V	43	0.04	4.22	84.62	-0.74	313	0.15	16.84	91.67	3.42
平均 Mean	16	0.01	2.31	34.35	4.09	86	0.03	4.08	68.49	3.87
海区 Zone	秋 Autumn					冬 Winter				
	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)	I	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)	I
I	90	0.01	1.44	82.61	0.03	1	0.000	0.36	6.67	-1.00
II	414	0.09	9.30	96.30	3.52	103	0.040	5.87	68.18	4.73
III	807	0.12	12.48	97.44	4.35	12	0.007	1.21	55.00	-0.89
IV	888	0.16	17.87	90.91	4.97	25	0.022	2.47	87.50	-0.88
V	660	0.14	13.71	100.00	0.63	-	-	-	-	-
平均 Mean	556	0.09	9.90	93.69	5.34	42	0.020	3.80	53.85	6.05

季节变化。其中, 秋季丰度最高, 均值为 556 ind·100 m⁻³, 夏季次之, 冬春季最低, 仅为 16 ind·100 m⁻³, 秋季与春季数量相差 30 多倍。春季南部高于北部, 且台湾海峡最高。夏季与春季丰度基本相同, 也是台湾海峡最高。秋季南部海域和台湾海峡高于北部海域。冬季相反, 仅东海北部外海较高。

普通波水蚤优势度的季节变化呈现秋季 > 夏季 > 冬季 > 春季, 并在冬夏秋 3 个季节为优势种 (Y ≥ 0.02)。但普通波水蚤的优势性主要表现在秋季, 优势度达 0.09, 其次是夏季和冬季, 优势度分别为 0.03 和 0.02。春季优势度明显低于优势种 (Y ≥ 0.02) 标准。

春季普通波水蚤占桡足类总丰度的百分比仅为 2.31%, 夏季为 4.08%, 春夏季皆为台湾海峡最高。冬季为 3.80%, 北部外海较高, 其次是南部外海。秋季为 9.90%, 为 4 季中的最高值。其中东海南部和台湾海峡的比例高于北部。

普通波水蚤在秋季有很高的出现率, 调查区出现率达 93.69%。北部外海、南部近海较高, 分别为 96.30% 和 97.44%; 台湾海峡最高, 出现率为 100%。北部外海平均丰度仅 414 ind·100 m⁻³, 但出现率高于全区。冬季普通波水蚤的出现率为 52.31%, 且外海高于近海, 其中北部外海为 100%, 除此以外, 东海其它海区出现率均低于调查区。春季与夏季出现率趋势基本相同, 均为南部高于北部。

普通波水蚤种群聚集强度丛生指标 (I) 均为正值。秋冬季 I 值较高, 秋季除北部近海外, 其它各海域均有一定程度的聚集。冬春夏季则在个别海区有聚集现象, 如冬季的北部外海、春季的南部近海及夏季的台湾海峡。

表2 东海北部年际普通波水蚤生态特征

Table 2 Ecological characters of *U. vulgaris* among different years in north of the East China Sea

季节 Season	1979~1980				1997~2000			
	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)	\bar{x}	Y	百分比 Percent (%)	出现率 Occurrence (%)
春 Spring	0.21	0.00	0.24	26.83	0.07	0.00	0.81	17.46
夏 Summer	1.64	0.03	3.08	85.71	0.26	0.01	1.23	54.67
秋 Autumn	9.80	0.13	14.65	86.84	6.20	0.08	8.89	92.59
冬 Winter	0.20	0.00	0.67	26.19	0.31	0.02	3.75	34.21

3.3 普通波水蚤生态特征年际变化

从表2可以看出,与1979~1980年同期同海域资料相比,东海北部除冬季外,本次调查普通波水蚤平均丰度和优势度均低于历史同期.桡足类总丰度百分比显示,本次调查冬春季较高,夏秋季偏低;出现率春夏季较低,秋冬季较高.

与20年前同海域相比,东海普通波水蚤近年来的重要性有所降低.主要表现在春夏秋大多数指标有所下降,而冬季各指标值有显著增加.由于普通波水蚤是暖水种,与暖流关系密切,冬季该种在东海的重要性上升可能与全球气候变暖相关.

尽管本研究材料取自4年中的不同季节,但本次调查的结果与20年前的季节变化规律基本一致,并且得到普通波水蚤对环境适应规律研究结果的印证,因而具有较好的参考价值.

3.4 普通波水蚤对浮游桡足类总丰度的贡献

普通波水蚤在优势种中对桡足类总丰度变化的回归分析表明,在冬春季,普通波水蚤丰度变化对桡足类贡献不显著;秋季普通波水蚤对桡足类总丰度的贡献值(β)为0.32,仅次于精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)($\beta = 0.56$)和亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)($\beta = 0.42$),大于同一季节的其它桡足类优势种;夏季普通波水蚤对桡足类的贡献在优势种中较低($\beta = 0.12$),低于中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)($\beta = 0.88$)、亚强真哲水蚤($\beta = 0.39$)、异尾宽水蚤(*Temora discaudata*)($\beta = 0.16$)和达氏波水蚤(*Undinula darwinii*)($\beta = 0.14$).

3.5 环境因子对普通波水蚤的影响

利用多元逐步回归,从表层、10 m层、底层水温和盐度中筛选影响普通波水蚤丰度的因子(表3).结果表明,春夏两季普通波水蚤丰度变化与底层温度有极其显著的线性相关关系,其中春季和夏季为正相关;冬季普通波水蚤丰度与温盐度线性相关关系不显著;秋季与底层盐度有线性相关关系.综合分析4个季节的数据,则可得普通波水蚤丰度与底层温度有关的结论.

表3 普通波水蚤丰度与温度和盐度的相关性分析

Table 3 Regression analysis between the abundance of *Undinula vulgaris* and temperature and salinity

季节 Season	回归方程 Regression equation	n	r	F	P
春 Spring	$Y = -0.8373 + 0.0593t_b$	127	0.351	17.4	0.0000
夏 Summer	$Y = -3.0040 + 0.2049t_b$	131	0.401	24.7	0.0000
秋 Autumn	$Y = -90.8665 + 2.8350s_b$	105	0.344	13.8	0.0003
冬 Winter	-	63	0.200	2.53	0.1165
合计 Total	$Y = -3.7864 + 0.2998t_b$	426	0.274	34.4	0.0000

4 讨 论

4.1 普通波水蚤种群丰度季节变化特征

普通波水蚤较高丰度只出现在水温较高的海域,其丰度的季节波动与东海水环境的季节变化、特别是水温的季节变化有某种联系.当水温从春季到夏季逐步升高时,普通波水蚤较高丰度区从东海南部近海向台湾海峡邻近水温相对较高的海域逐步扩大,数量逐步上升.从夏季到秋季,东海南部普通波水蚤较适宜的生长环境一直得以保持,因而其种群形成相当大的数量,并且高丰度区向外海发展,范围和数量进一步扩大,但高丰度区主要在29°00'N以南.尽管在29°00'N以北也可以形成高丰度区,但只能存在于外海黑潮暖流和对马暖流影响海域.可见,普通波水蚤对低温相当敏感,较低温度海域不能形成高的种群密度.

4.2 普通波水蚤与水团的关系

普通波水蚤数量分布与东海水团的变化密切相关.从秋季高丰度区位置特征来看,在27°00'N以北,124°00'E以东呈东西带状走向;在27°00'N以南,124°00'E以西呈西南-东北的带状走向.该海域正好位于台湾暖流、黄海冷水团、沿岸流和长江冲淡水交汇混合水团偏暖流势力控制一侧^[7,23,24].台湾海峡及邻近东海南部海域尽管有更高的水温,但普通波水蚤数量远比上述交汇水团附近高丰度区要少.此外,29°00'N以北的高丰度区位于外海黑潮暖流和对马暖流与黄海水团交汇偏暖流一侧,台湾海峡的高丰度区也位于沿岸水和南海向北暖流交汇的暖流一侧.与秋季同步资料中的浮游动物^[16]、其它

浮游桡足类^[19]、管水母^[20]以及毛颚类丰度^[17]在东海北部近海高分布区位置不同,结合表3所示该种丰度受底层温度影响明显的结论,可以认为,混合水团中底层冷水对普通波水蚤高丰度区向北扩展和向近海扩展有明显的阻隔作用.普通波水蚤高丰度区位于沿岸流、冷水团和暖流交汇偏暖流一侧,可以认为是暖流指示生物.

4.3 普通波水蚤的生态特征

普通波水蚤的优势度和占总丰度的百分比反映了其优势性;平均丰度,出现率和聚集强度反映了其平面分布特征,对桡足类的贡献率反映了其在桡足类数量变化中的意义.

该种春季不是优势种,数量不到桡足类的1%.而在夏秋冬季是优势种,从优势度和占桡足类总丰度百分比看,夏季在台湾海峡的优势性较高,秋季高丰度区向北移动,东海南部优势性较高.与东海浮游动物中的其它优势种不同^[15,18,20],秋季普通波水蚤在东海北部近海优势性最低,没有显示出比外海更明显的优势.冬季优势性表现在东海北部外海,与其它浮游动物优势种冬季分布特征相同^[15,22,25].由于东海外海基本上在暖流势力控制下,说明普通波水蚤的分布与暖流关系密切.从秋季到冬季,随着水温降低,其它海区普通波水蚤优势性迅速降低,而在东海北部外海,因受黄海暖流和对马暖流影响,水温降低较慢,使这种水蚤在该海区具有明显高于其它海区的优势性.

平均丰度、出现率和聚集强度从不同侧面反映了普通波水蚤数量和分布的变化特征.这些指标的季节变化与优势性变化趋势相同.春季东海南部近海平均丰度相对较高,但出现率很低,显示分布的不均匀,这是该海区聚集强度较高的原因.夏季特征值变化基本上是春季的延续,但在南部近海由于其出现率显著提高,聚集强度有所下降,而在台湾海峡由于其均值显著上升,聚集强度有所提高.秋季东海南部和台湾海峡数量进一步提高,分布更不均匀,因而聚集强度有所增加.北部近海数量增加较少,出现率却明显提高,分布均匀.北部外海相反,与桡足类的其它优势种相比^[18,19],普通波水蚤在东海分布聚集特征明显,其原因各季节不同.冬春季是由出现率偏低而个别海区数量突出所致,夏秋季则由不同海区间及部分海区内数量高低相差悬殊所致.该种对水环境敏感,难以在混合水团内形成较为广泛的高丰度区,但在混合水团以南的东海南部和台湾海峡可以形成较大数量.只要环境合适,普通波水蚤种群具

有较强的增长能力,从对桡足类数量变化的贡献看,该种是夏秋季东海桡足类的一个关键种.

4.4 普通波水蚤的环境适应性

尽管本文没有分层取样的数据,但桡足类具有垂直移动的习性,普通波水蚤的丰度变化可能与某些水环境因子有密切联系.逐步回归分析显示,东海普通波水蚤丰度在春夏季与底温呈正线性相关,与其它水文因子无关.秋季仅与底盐相关,冬季与温、盐因子的相关性均不显著.4季合计分析则其数量变化仅与底温相关.

春季东海南北不同水域温差较大,在台湾海峡,水温为26.7℃,而东海北部最低温度仅9.1℃.普通波水蚤集中分布在水温较高的台湾海峡和东海南部近海,水温较低的北部几乎没有分布,因而春季丰度与水温呈正相关.同步资料显示^[24],夏季水温普遍较高,但东海北部由于受黄海冷水团影响以及温跃层的存在,底层水温仍然较低,夏季该种在受底层低温水影响明显的北部海区出现很少,因而种群数量分布特征仍然与春季相同.这从另一个方面证实了黄海冷水团对普通波水蚤向北分布的阻隔作用.底层水温较高的台湾海峡水域普通波水蚤数量较多,因而夏季普通波水蚤丰度的分布仍然与底层水温呈正相关.秋季高丰度区主要位于混合水团暖流一侧,具有较高的盐度,因而盐度是影响秋季数量的重要因子.从4季变化看,不同季节水温差异明显,其种群数量4季变化均与水温有关.另外,东海底层水文因子的变化往往与暖流和黄海冷水团势力变化有密切关系,从影响东海普通波水蚤数量主要是底层温盐因子这一点可以认为,东海普通波水蚤数量变化与暖流和黄海冷水团的势力有极为密切的关系.

普通波水蚤在春季北部近海较低温下几乎不能生存.从夏季到秋季,其数量随着暖流势力向北发展而增加,但高丰度区仅位于混合水团暖流一侧.从秋季到冬季,其数量随水温下降迅速下降,只能在18~19℃的北部外海海域有较高的丰度.由此可以认为,普通波水蚤是一个暖水种,因其对不同水团和低温水环境敏感,其高丰度分布区是暖流位置的良好指示.

4.5 普通波水蚤分布与渔场的关系

夏秋季,普通波水蚤在东海形成较高数量,这在渔业上有重要意义.每年夏秋之交,浙江沿海的舟山渔场、鱼山渔场和温州渔场是多种经济鱼类越冬洄游经过的海域,随着水温降低,这些经济鱼类从沿岸

或近海向水深为 60~100 m 的外海做越冬洄游,如黄鲫、银鲳、灰鲳、短尾大眼鲷和兰园鲷等^[5]。此外,沙外渔场的日本鲭沿着黑潮西侧进入鱼外渔场做越冬洄游^[5,23]。普通波水蚤高丰度区与秋季浙江中南部沿海的鲈鲷鱼渔场、鲳鱼渔场和上述其它渔场处于同一海域^[5,23]。作为秋季经济鱼类的重要饵料之一,普通波水蚤在东海中南部的海洋渔业上有重要意义。

致谢 温盐资料由陈渊泉研究员提供;陈渊泉、王云龙、洪波、袁琪、蒋玫、朱江兴、韩金娣等同志在海上样品采集、室内数据处理、绘图等方面做了大量的工作;国家海洋局何德华研究员、杨关铭研究员和杨元利高级工程师协助样品分析,谨致谢忱。特别感谢恩师陈亚瞿研究员和晓民在论文构思中提供了非常有益的建议。

参考文献

- Alvarez CJ, Suarez ME, Gasca R. 1998. Copepod assemblages from a reef-related environment in the Mexican Caribbean Sea. *Crustaceana*, 71(4): 527~538
- Borgne RL, Blanchot J, Charpy L. 1989. Zooplankton of Tikehau Atoll (*Tuamotu archipelago*) and its relationship to particulate matter. *Mar Biol*, 102(3): 341~353
- Chen X-R(陈希瑞), Wang S-G(王松桂). 1987. Modern Regression Analysis. Hefei: Anhui Higher Education Press. 212~217 (in Chinese)
- Chen Y-Q(陈亚瞿), Xu Z-L(徐兆礼). 1990. Ecological characteristics of zooplankton in feeding ground of mackerel and scads from Southern Yellow Sea and East China Sea. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1(4): 327~332 (in Chinese)
- Fishery Bureau of Agriculture Ministry(农业部水产局). 1987. Investigation and Division of Fisheries Resource of the East China Sea. Shanghai: East China Normal University Press. 149~150, 281~299 (in Chinese)
- Hassett RP, Boehlert GW. 1999. Spatial and temporal distributions of copepods to leeward and windward of Oahu, Hawaiian Archipelago. *Mar Biol*, 134(3): 571~584
- Liu S-X(刘树勋), Shen X-Q(沈新强), Wang Y-Q(王幼琴). 1993. Preliminary study on mean distribution of water mass and its variation over years in Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), 15(4): 1~11 (in Chinese)
- Renon JP. 1993. Geographic distribution of the planktonic copepod *Undinula vulgaris* (Dana) in three types of coral reef environments. *Ann Inst Oceanogr Paris (Nouv Ser)*, 69(2): 239~247
- Suarez ME, Franco GC, Saucedo LM. 2000. On the pelagic copepod community of the central Mexican Tropical Pacific (Autumn, 1990). *Crustaceana*, 73(6): 751~761
- Suarez ME, Gasca R. 2000. Epipelagic copepod assemblages in the western Caribbean Sea (1991). *Crustaceana*, 73(17): 1247~1257
- Suarez ME, Gasca R. 2000. The planktonic copepod community at Mahahual Reef, western Caribbean. *Bull Mar Sci*, 66(1): 255~267
- Suarez ME, Gasca R. 1997. Copepods (Crustacea) of surface waters of the Mexican Caribbean Sea (May, 1991). *Rev Biol Trop*, 45(4): 1523~1529
- Turner JT. 1986. Zooplankton feeding ecology: Contents of fecal pellets of the copepod *Undinula vulgaris* from continental shelf waters of the Gulf of Mexico. *Mar Ecol*, 7(1): 1~14
- Xu Z-L(徐兆礼), Chen Y-Q(陈亚瞿). 1989. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 8(4): 13~15 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Chen Y-Q(陈亚瞿). 2005. Study on relationship between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea. *J Fish Sci China* (中国水产科学), 12(1): 6~82 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Chao M(晁敏), Chen Y-Q(陈亚瞿). 2004. Distribution of zooplankton biomass in the East China Sea. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), 23(2): 337~346 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Dai Y-F(戴一帆), Chen Y-Q(陈亚瞿). 2004. Study on relationship between Chaetognatha abundance and environmental factors in the East China Sea. *J Shanghai Fish Univ* (上海水产大学学报), 13(4): 304~309 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Hong B(洪波), Zhu M-Y(朱明远), et al. 2003. Ecological characteristics of zooplankton in frequent HAB areas of the East China Sea in spring. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(7): 1081~1085 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Jiang M(蒋玫), Chao M(晁敏). 2003. Quantitative distribution of pelagic copepods in the East China Sea. *J Fish China* (水产学报), 27(3): 258~264 (in Chinese)
- Xu Z-L(徐兆礼), Zhang J-B(张金标), Jiang M(蒋玫). 2003. Ecological study of Siphonophores in the East China Sea. *J Fish China* (水产学报), 27(supp.): 82~90 (in Chinese)
- Yang G-M(杨关铭), He D-H(何德华), Wang C-S(王春生), et al. 2000. Study on the biological oceanographic characteristics of planktonic copepods in the waters north of Taiwan Province III. Indicator species. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), 22(1): 93~101 (in Chinese)
- Yang G-M(杨关铭), He D-H(何德华), Wang C-S(王春生), et al. 1999. Study on the biological oceanography characteristics of planktonic copepods in the waters north of Taiwan Province II. Community characteristics. *Acta Oceanol Sin* (海洋学报), 21(6): 72~80 (in Chinese)
- Zhen Y-J(郑元甲), Chen X-Z(陈雪忠), Cheng J-H(程家华), et al. 2003. The Biological Resources and Environment in Continental Shelf of the East China Sea. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 30~357 (in Chinese)
- Zhu D-D(朱得第), Pan Y-Q(潘玉球), Xu W-Y(许卫忆). 2003. Hydrologic distribution characteristics of HAB frequent occurrence area in the outer Changjiang River estuary. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(7): 1131~1134 (in Chinese)

作者简介 徐兆礼,女,1958生,研究员。主要从事海洋浮游动物及海洋生态环境研究,发表论文 80 余篇。E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

责任编辑 肖红