

DOI: 10.5846/stxb201203090320

孙鲁峰 柯昶 徐兆礼, 阙江龙, 田丰歌. 上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响. 生态学报 2013, 33(6): 1811-1821.

Sun L F, Ke C, Xu Z L, Que J L, Tian F G. The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(6): 1811-1821.

上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响

孙鲁峰¹, 柯昶², 徐兆礼^{1,3,*}, 阙江龙¹, 田丰歌^{1,3}

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

2. 国家海洋局海洋咨询中心, 北京 100860; 3. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005)

摘要: 依据 2010 年 4 月、7 月和 11 月对浙江中部近海上升流海域进行的海洋调查资料, 运用定量、定性方法, 探讨了上升流对该海域浮游动物生态类群分布的影响。结果表明: 3 个季节共鉴定浮游动物 64 种, 桡足类占主要优势, 包括 5 个生态类群, 分别是暖温带近海种、暖温带外海种、亚热带近海种、亚热带外海种和热带大洋种。在种类数组成上, 春季以暖温带近海种为主, 夏季则是亚热带近海种和亚热带外海种居多, 秋季也是亚热带种居多, 其中夏季暖温带种种类数要高于春季和秋季, 这一现象与同时期东黄海沿海有所不同, 主要是由于上升流将一些在海洋底部度夏的暖温带种带至海洋表面造成的。此外, 3 个季节生态类群都是以近海种为主, 表明沿岸流是影响这一海域的最主要的水团。在丰度组成上, 4 月暖温带近海种占总丰度的 98.79%, 7 月暖温带近海种也是组成丰度的重要部分, 10 月则是亚热带近海种丰度最高。丰度组成所反映的规律与种类数组成规律一致。上升流的存在导致夏季近海暖温带种大量出现, 是影响这一海域浮游动物生态类群组成的重要因素; 受长江径流和椒江径流的影响, 近海种成为主要生态类群, 是这一海域浮游动物的一个重要的生态特征。

关键词: 上升流; 浮游动物; 生态类群; 暖温带种

The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters

SUN Lufeng¹, KE Chang², XU Zhaoli^{1,3,*}, QUE Jianglong^{1,3}, TIAN Fengge¹

1 Key and Open Laboratory of Marina and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

2 National Oceanic Consultation Center, Beijing 100860, China

3 College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: The Zhejiang region experiences coastal upwelling characterized by low temperatures and high salinities throughout the year but particularly during the summer months. The upwelling in this area brings nutrients from the bottom to the surface, providing nutrients for large numbers of breeding plankton. The large quantities of zooplankton are a major food source for many fish and consequently the offshore waters of Zhejiang are productive fishing grounds. Another effect of the upwelling is that temperate warm water species that normally occur in deeper waters and offshore species are taken along with the current resulting in shifts in local zooplankton species composition and changes to the ecological structure and function of this group.

This research was based on data from three oceanographic surveys in the offshore waters of the Yushan fishery during

基金项目: 国家自然科学基金项目(40776077); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB428705)

收稿日期: 2012-03-09; 修订日期: 2013-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaomin@sh163.net

<http://www.ecologica.cn>

April, July and November of 2010. Using quantitative and qualitative methods, the primary aim of this paper was to examine the influence of upwelling on the ecological distribution of zooplankton in this area. A total of 64 species mainly dominated by copepods were identified which were classified into five major ecological groups including coastal temperate warm water species, offshore temperate warm water species, coastal subtropical water species, offshore subtropical water species and oceanic tropical water species. Coastal temperate warm water species were prevalent in spring, coastal subtropical water species and offshore subtropical water species in summer and subtropical species in autumn. The higher abundance of temperate warm water species such as *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* and *Sagitta nagae* in summer relative to spring and autumn was primarily caused by the upwelling that transported these species from the bottom to the surface. This phenomenon is very different from the hydrodynamic processes that occur in the East and Yellow China Seas. Additionally, coastal species were the dominant zooplankton group, which means that coastal currents have the greatest influence on species composition in these waters. According to the research of Hu Dun-Xin, the main power of the Zhejiang coastal upwelling comes from the upward movement of subsurface water from the Kuroshio current as it follows the continental shelf. The subsurface water of the Kuroshio current runs southeast to northwest and shifts to the east forming an upwelling when it is blocked by the Chen Island Archipelago. With low temperatures and high salinities, the subsurface water of the Kuroshio current carries temperate warm water species and offshore species. As a result, during periods of coastal upwelling temperate warm water species are carried to the surface from the bottom, producing the unusual phenomenon where the number of temperate warm water species in summer is higher than in spring and autumn, contrary to the situation in other areas that have similar climatic conditions. In terms of abundance, coastal temperate warm water species accounted for 98.79% of the zooplankton in April and also a large proportion in July, whereas coastal subtropical water species were the dominant zooplankton group in October. Upwelling leading to the appearance of large numbers of temperate warm water species is a key factor affecting the ecological composition of zooplankton in these waters. The dominance of coastal species that are influenced by Jiao-Jiang runoff was a prime ecological characteristic of zooplankton in this region.

Key Words: upwelling; zooplankton; eco-group; temperate warm water species

浙江近海常年存在上升流,夏季最为明显,其水文特点是低温、高盐^[1]。这一海域的上升流将底层的营养盐带到表层,为浮游生物大量繁殖提供了营养条件。上升流海域浮游动物数量极为丰富,往往是良好的渔场所在。世界上最大的渔场——秘鲁鳀鱼渔场的就位于太平洋东岸近海的上升流海域。国外对上升流与浮游动物的关系的研究非常重视,已有不少的文献和报道。如:Valentin J L.^[2]研究了巴西夫里奥角近岸上升流与浮游动物群落结构之间的关系,Graham W M^[3]对美国加利福尼亚蒙特利湾上升流与浮游动物分布之间的关系做了研究,Kuipers B R^[4]和 Rakhesh M^[5]分别对阿尔金岩石礁和孟加拉湾沿岸上升流与浮游动物的关系进行了探讨。国内对上升流的探讨集中在长江口^[6]、浙江近海^[7]和台湾海峡^[8]附近,主要在物理海洋学方面,包括上升流的数值模拟^[9]、物理海洋环境^[10]以及上升流与浮游植物^[11]相互关系等研究。何德华虽然在1987年对浙江近岸上升流区浮游动物生态的研究^[12-13],内容主要涉及上升流区浮游动物的种类组成、主要类群丰度和多样性研究,但对上升流中浮游动物生态类群特征定量分析较少。

上升流在将底层低温高盐水带到表层的同时,也可能带入了栖息于海洋底部度夏的暖温种,或者带入暖流中层的高盐外海种,使当地浮游动物种类组成和生态类群结构发生变化^[12-13]。本文以浙江中部近海典型上升流区为研究对象,采集了这一海域3个季节上升流区浮游动物资料,研究浮游动物不同生态类群对上升流和水团变化的响应,所得结果,有助于科学界进一步探讨浮游动物生态适应的环境生物学,也有助于分析位于浙江中部近海鱼山渔场的饵料生物变化特征。

<http://www.ecologica.cn>

1 研究地区与研究方法

1.1 调查区域和取样方法

调查于2010年春季(4月)、夏季(7月)和秋季(10月)3个航次进行,调查站位设置见图1,共设19个站位。其中,夏季7月是浙江近海上升流最明显的季节。

东海近海海域浮游动物的主要种类生态类群为暖温带近海种、暖温带外海种、亚热带近海种和亚热带外海种。调查海域位于东海 28°20.85′—28°35.15′N、121°37.96′—122°1.56′E,该海域西有椒江径流入海,春秋季受长江径流的影响,东侧夏秋季受台湾暖流和上升流的影响,在上升流最为明显的夏季,两种不同水团在中部交汇。依据控制水域的水团特征,本文将研究区域分成3块:内侧水域(1#、6#、11#、17#、18#和23#)、中部水域(3#、8#、13#、20#和25#)和外侧水域(5#、10#、15#、16#、22#、27#、28#和31#),详见图1。

调查期间共采集浮游动物样品57个。浮游动物样品采集和室内处理均按照“海洋调查规范”方法进行。用标准浅水I型浮游生物网(口径80cm、筛绢GG36、网目孔径0.505mm)由底至表层垂直拖曳采集,按个体计数法在体式显微镜下计数测定浮游动物样品丰度(单位:个/m³)并鉴定到种。

1.2 浮游动物生态适应性的划分

本文所采用的浮游动物的生态适应类型,是基于物种的最适温盐度而划分的,最适温盐度利用 yield-density 模型算出^[14-18]。根据有关文献^[19],将浮游动物的生态类型中温度界限定为:热带种(≥25),亚热带种(20—25),暖温带种(15—20)。将浮游动物的生态类型中盐度界限定为:近海种(28—32),外海种(32—34),大洋种(>34)。除了以最适温盐度为主要依据,还充分考虑了种类分布的地理和季节特征。文中绝大部分种类的生态适应性,已经在之前的研究中得出^[15-18, 20-22]。一些种类的浮游动物生态类群的划定,还参考了其他学者的文献^[23-27]。

2 结果与分析

2.1 浮游动物种类组成

2010年4月、7月、10月共鉴定浮游动物64种(不含22种浮游幼虫(体)和仔鱼)。

其中4月鉴定浮游动物9种(不含6种浮游幼虫(体)和仔鱼),以桡足类占主要优势。7月鉴定浮游动物44种(不含16种浮游幼虫(体)和仔鱼)。10月鉴定44种(不含18种浮游幼虫(体)和仔鱼)。

2.2 各浮游动物种类的生态类群

这一海域浮游动物对温盐变化的生态适应多样(表1)。从适温性上看,三季共出现暖温带种13种,亚热带种51种,热带种1种。其中,春季有暖温带种6种,亚热带种3种。夏季共出现暖温带种12种,亚热带种34种。秋季,暖温带种有6种,亚热带种达到了39种,并出现热带种1种(表2)。

从适盐性上看,三季共出现近海种33种,外海种31种,大洋种1种。从各个季节来看,春季出现近海种7种,外海种2种。夏季,近海种共出现26种,外海种为20种。秋季,共有近海种21种,外海种24种,并有大洋种1种(表2)。

不同生态类群主要种类如下:

(1) 暖温带近海种 中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)和海龙箭虫(*Sagitta nagae*)。

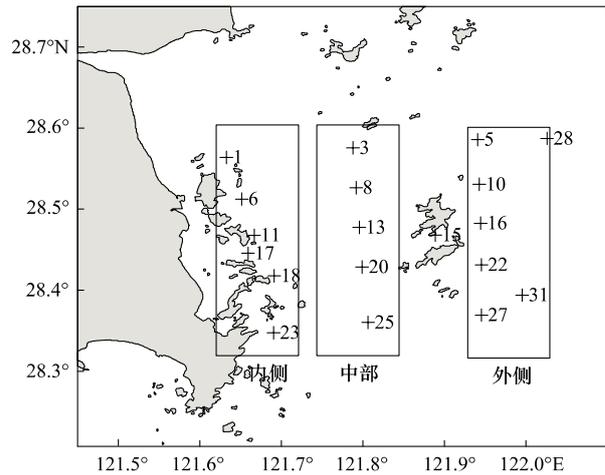


图1 采样站位

Fig.1 Sampling station

(2) 暖温带外海种 强卷螺 (*Agadina sympsoni*) 和太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*)。

(3) 亚热带近海种 太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、双生水母 (*Diphyes chamissonis*) 和中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*)。

表1 浮游动物种名录与生态适应性
Table 1 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		
		4	7	10			4	7	10
半球美螳水母 <i>Clytia hemisphaerica</i>	△#			+	针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	○#		+	+
海龙箭虫 <i>Sagitta nagae</i>	△#	+	+	+	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	○#		+	+
近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i>	△#	+	+	+	锥形多管水母 <i>Aequorea conica</i>	○#			+
平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i>	△#	+	+		扁明螺 <i>Atlanta depressa</i>	○※		+	
崂山秀氏水母 <i>Sugiura chengshanense</i>	△#			+	伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i>	○※			+
双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i>	△#		+	+	齿形海萤 <i>Cypridina dentata</i>	○※			+
五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i>	△#		+		达氏波水蚤 <i>Undinula darwinii</i>	○※			+
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	△#	+	+		肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	○※	+	+	+
长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	△#		+		尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	○※			+
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	△#	+	+	+	尖刺唇角水蚤 <i>Labidocera acuta</i>	○※			+
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	△#	+	+	+	精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	○※		+	+
强卷螺 <i>Agadina sympsoni</i>	△※		+		两手筐水母 <i>Solmundella bitentaculata</i>	○※		+	+
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	△※		+		罗氏水母 <i>Lovenella assimile</i>	○※		+	
百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	○#		+	+	孟加拉蛮虫戎 <i>Lestrignonus bengalensis</i>	○※		+	+
背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	○#		+	+	拟额大眼剑水蚤 <i>Corycaeus rostratus</i>	○※		+	
叉胸刺水蚤 <i>Centropages furcatus</i>	○#			+	拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	○※		+	+
短柄和平水母 <i>Eirene brevistylus</i>	○#		+	+	普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>	○※			+
钝筒角水蚤 <i>Pontellopsis yamadae</i>	○#		+	+	四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i>	○※		+	+
肥胖三角溞 <i>Evadne tergestina</i>	○#		+		太平洋糠虫 <i>Krohnitta pacifica</i>	○※			+
弗洲指突水母 <i>Blackfordia virginica</i>	○#		+		微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	○※			+
瓜水母 <i>Beroe cucumis</i>	○#		+	+	西巴似泉虫戎 <i>Hyperioides sibaginis</i>	○※			+
火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>	○#		+		细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	○※		+	+
宽尾刺糠虾 <i>Acanthomysis laticauda</i>	○#		+	+	小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	○※		+	
漂浮囊糠虾 <i>Gastrosaccus pelagicus</i>	○※		+	+	凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>	○※		+	
平大眼剑水蚤 <i>Corycaeus dahl</i>	○#		+		亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	○※			+
球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	○※		+	+	长刺小厚壳水蚤 <i>Scolecithricella longispinosa</i>	○※		+	
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	○#		+		长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>	○※		+	
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	○#		+	+	针刺真浮萤 <i>Euconchoecia aculeata</i>	○※		+	+
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	○#	+	+	+	中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	○※		+	+
汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i>	○#		+	+	柱形宽水蚤 <i>Temora stylifera</i>	○※		+	+
细颈和平水母 <i>Eirene menoni</i>	○#		+	+	锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>	○※			+
异体住囊虫 <i>Oikopleura dioica</i>	○※	+	+	+	半口壮丽水母 <i>Aglaura hemistoma</i>	☆			+
异尾宽水蚤 <i>Temora discaudata</i>	○#		+						

△表示暖温带种,○表示亚热带种 #表示近海种,※表示外海种,☆表示热带大洋种

表2 浮游动物不同生态类群的季节分布

Table 2 The seasonal distribution of each eco-group

月份 Month	生态类群 Eco-group	近海种	外海种	小计 Sum
4	暖温带种	6	0	6
	亚热带种	1	2	3
	小计	7	2	9
7	暖温带种	10	2	12
	亚热带种	16	18	34
	小计	26	20	46
10	暖温带种	6	0	6
	亚热带种	15	24	39
	小计	21	24	45
3个航次总计 Total	暖温带种	11	2	13
	亚热带种	20	31	51
	小计	31	33	64

(4) 亚热带外海种 精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*)、漂浮囊糠虾 (*Gastrosaccus pelagicus*) 和肥胖箭虫 (*Sagitta enflata*)。

总之, 暖温带种数、及其暖温带近海种和暖温带外海种所占比例在春季和秋季都相同, 而亚热带近海种和亚热带外海种种类数在夏季和秋季相似, 与春季相差很大。3 个季节中, 7 月暖温种种数, 无论是近海种还是外海种, 都是最高值。

2.3 不同水体各生态适应类群种类数平面分布和季节变化

由表 3 可见, 各生态类群种类数具有明显的季节变化。由春季到夏季, 不同水体暖温带种和亚热带种、近海种和外海种都呈现增加的格局, 浮游动物生态类群由春季暖温带种和近海种占主导转变为夏季亚热带种和近海种占主导。夏季到秋季生态类群变化不大, 但暖温种种类数较夏季少, 外侧水域, 外海种种数有明显的增加。总之, 夏季, 是暖温种种类数最多的季节, 而任何一个季节, 近海种均为这一海域种类数最多的生态类群。

表 3 各生态类群种类数季节变化

Table 3 Species richness of each eco-group in different seasons

月份 Month	区域 Area	生态类群 Eco-group			
		暖温带种	亚热带种	近海种	外海种
4	内侧 Inside Waters	6	2	8	0
	中部 Central Waters	5	2	7	0
	外侧 Outside Waters	5	3	7	1
7	内侧 Inside Waters	8	24	22	10
	中部 Central Waters	8	23	21	10
	外侧 Outside Waters	8	28	23	13
10	内侧 Inside Waters	3	16	15	4
	中部 Central Waters	5	23	20	8
	外侧 Outside Waters	3	36	21	18

由图 2—图 4 可见, 4 月暖温带种是最主要的种类, 空间分布较为平均, 外侧海域暖水种出现的站位多而内侧水域少; 7 月暖水种是最主要的种类, 暖水种在大陈岛南部海域呈现高值区, 越近椒江口种类越少, 外侧海域暖水种的种类数往往要大于近岸海域。而暖温带种分布比较均匀, 西北部略少; 10 月暖水种是最主要的种类, 暖水种与暖温带种平面分布与 7 月基本一致, 但种类数较 7 月有明显的减少。

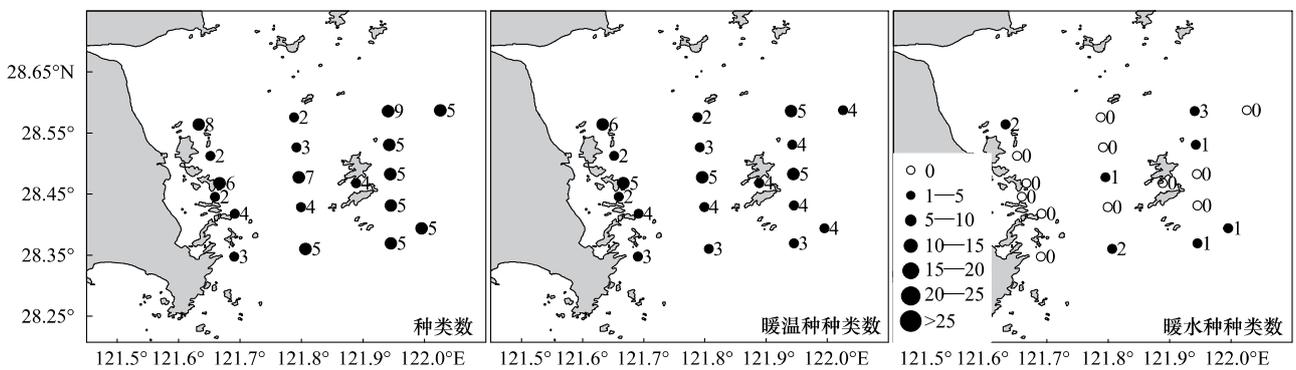


图 2 4 月浮游动物种类数分布

Fig. 2 Distribution of species richness for zooplankton in April, 2010

2.4 不同水体各生态适应类群丰度的平面分布和季节变化

由表 4 和图 5—图 7 可见, 4 月调查海域浮游动物总丰度几乎都由暖温带种和近海种构成, 暖温带种丰度平面分布与浮游动物总丰度分布基本一致, 在中部南侧水域出现暖温带种高值区, 其中, 20 号站位总丰度为 10.08 ×

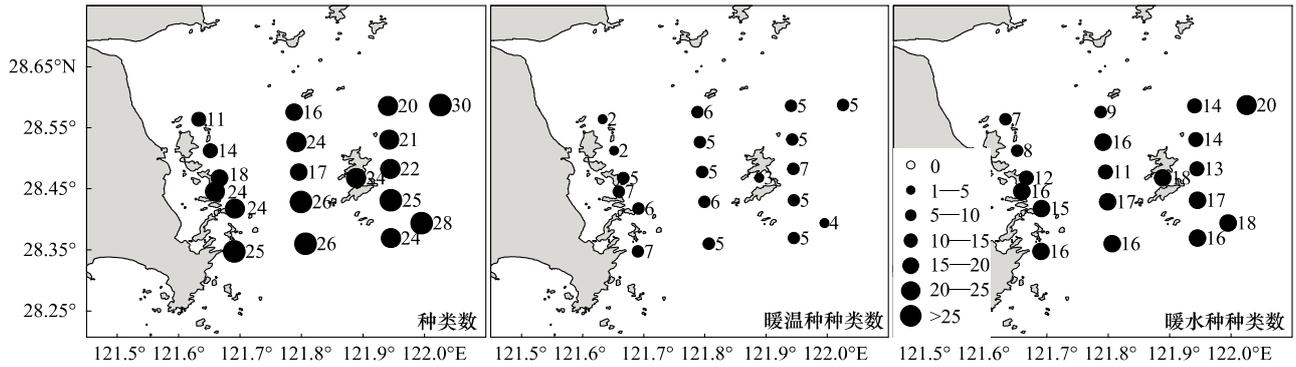


图3 7月浮游动物种类数分布

Fig. 3 Distribution of species richness for zooplankton in July , 2010

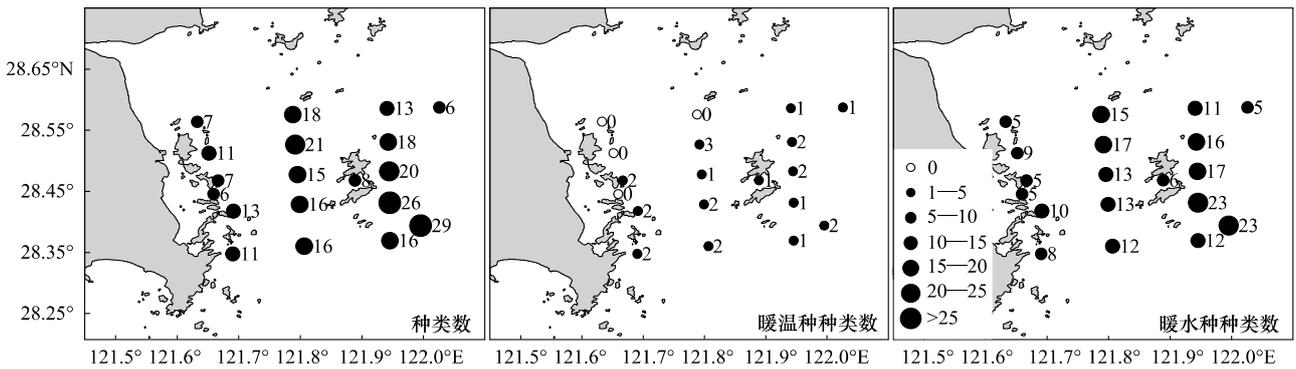


图4 10月浮游动物种类数分布

Fig. 4 Distribution of species richness for zooplankton in October , 2010

10^3 个/ m^3 25号站位为总丰度为 14.21×10^3 个/ m^3 ,几乎都是中华哲水蚤 ,分别占该站位总丰度的 98.73% 和 99.55%; 7月亚热带近海种是最主要的种类 ,暖温种丰度较4月减少 ,但分布规律与4月一致 ,暖温种在中部海域的丰度要大于两侧海域; 10月亚热带近海种也是最重要的种类 ,暖温种较7月份减少。

表4 不同生态类群丰度季节变化/(10^3 个/ m^3)

Table 4 Seasonal variation of zooplankton abundance for each eco-group

月份 Month	区域 Area	生态类群 Eco-group			
		暖温带种	亚热带种	近海种	外海种
4	内侧 Inside Waters	0.46	0.001	0.46	0.001
	中部 Central Waters	5.01	0.001	5.01	0.001
	外侧 Outside Waters	0.55	0.004	0.5	0.05
7	内侧 Inside Waters	0.05	0.2	0.19	0.06
	中部 Central Waters	0.28	0.25	0.33	0.2
	外侧 Outside Waters	0.08	0.14	0.11	0.11
10	内侧 Inside Waters	0.001	0.03	0.02	0.01
	中部 Central Waters	0.003	0.078	0.05	0.03
	外侧 Outside Waters	0.001	0.06	0.03	0.03

3 讨论

3.1 种类不同季节的生态类群特征

由表1和表2可见4月份浮游动物主要是由暖温带近海种构成 ,总种类数的 55.56% ,主要包括中华哲

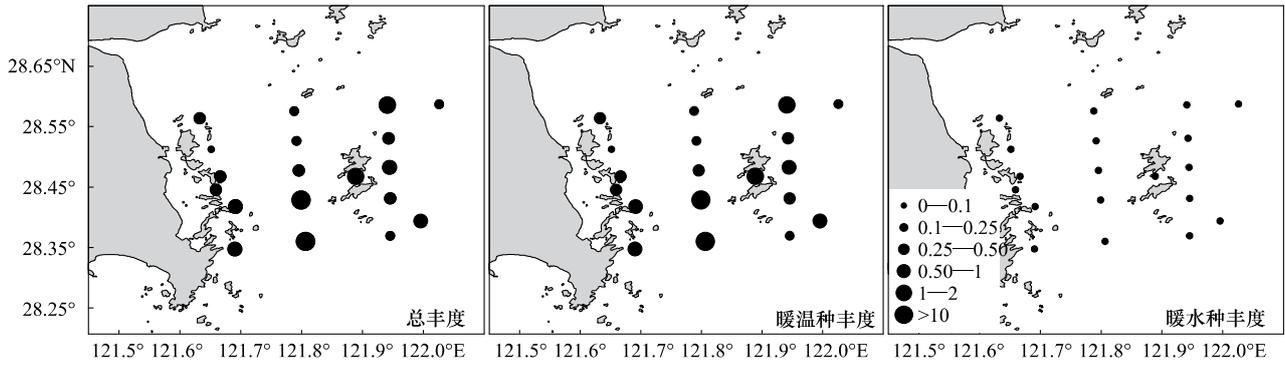


图5 4月浮游动物丰度分布(10³ 个./m³)

Fig. 5 Distribution of zooplankton abundance in April of 2010

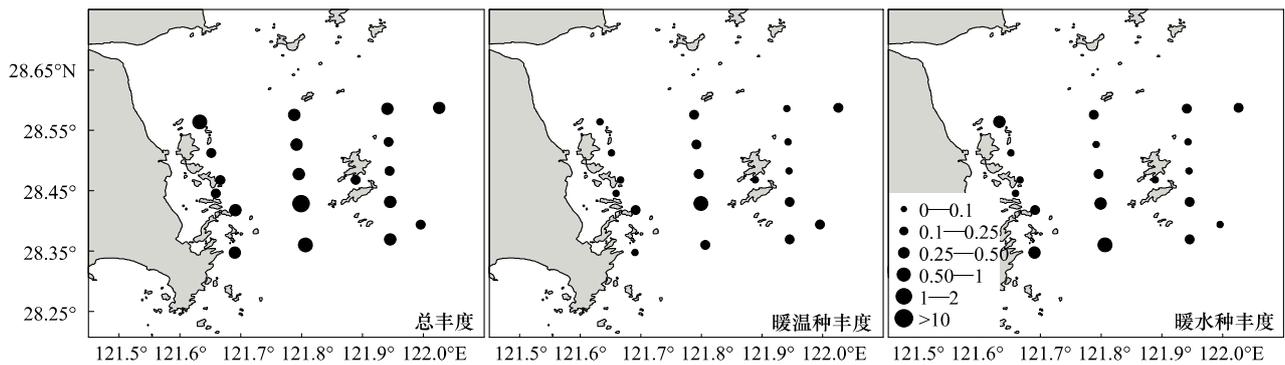


图6 调查海域7月浮游动物丰度平面分布(10³ 个/m³)

Fig. 6 Horizontal distribution of zooplankton Abundance in July of 2010

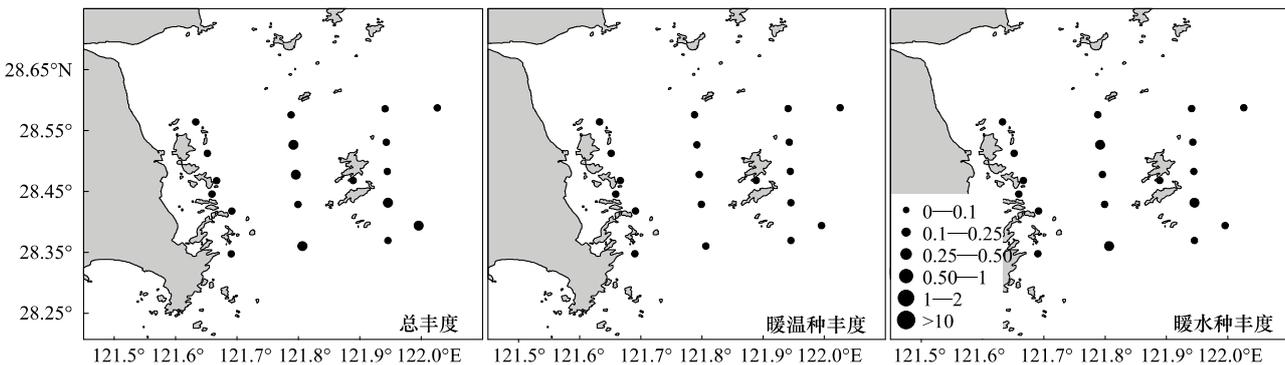


图7 调查海域10月浮游动物丰度平面分布(10³ 个/m³)

Fig. 7 Horizontal distribution of zooplankton Abundance in October of 2010

水蚤、小拟哲水蚤等。在我国其他海域, 这些暖温带近海种春季主要分布在东黄海近海, 例如, 苏北浅滩^[28]、长江口非上升流区^[29]、舟山渔场近海^[30]和瓯江口^[31]海域等, 并且成为优势种。这表明春季东黄海近海浮游动物生态类群基本一致, 都是以暖温带近海种为主。调查海域内侧海种类较少, 其中3#、6#和17#站位仅2种, 其余站位大多介于4—7种之间, 基本上是暖温带近海种。外侧水域种类较多, 是因为出现了亚热带种(图3)。

夏季7月, 调查海域亚热带近海种和亚热带外海种居多, 主要有: 拟细浅室水母(*Lensia subtiloides*)、太平洋纺锤水蚤、精致真刺水蚤、百陶箭虫、漂浮囊糠虾和肥胖箭虫等。但夏季暖温带种种多于春秋季节(表3)。

10月以亚热带种为主,主要包括双生水母、肥胖箭虫、百陶箭虫和中华假磷虾,亚热带种占种类数的86.67%,这些种类在邻近海域秋季也有大量出现^[32-34]。外海种与近海种数相近(图2)。上述浮游动物生态类群季节变化特征与夏季存在上升流以及水团不同季节变化有关。

3.2 不同生态类群种类数与上升流的关系

研究海域出现了夏季暖温种要高于春秋季节的反季节变化(表2,图4),与邻近海域同一季节规律不同。在瓯江口,春季浮游动物78种,绝大部分都是暖温带种^[31],而夏季39种,仅个5种属于暖温带种^[33];在苏北浅滩,春季出现暖温种43种,夏季仅出现5种^[28];在长江口西部海域,春季几乎都由暖温带种组成,夏季暖温带种数明显较低^[29]。世界上,浮游动物生态类群组成的反季节变化与上升流有关。例如,Rakhesh M在对孟加拉湾上升流区浮游动物的研究发现,上升流会将海洋底部的一些低温种带至热带海洋表面^[5]。

在浙江近海,夏季暖温种浮游动物高于春季现象也是由上升流引起。依据胡敦欣^[32]的研究,浙江近海上升流的主要动力来自黑潮次表层水沿陆架海底爬升。由于黑潮次表层水走向为东南向西北,遇到大陈岛岛群地形的阻挡,使得黑潮次表层水在大陈岛以东爬升形成上升流。黑潮次表层水具有低温高盐的特性,携带者暖温种或者外海种^[35-37]。由此可见,正是因为浙江近海上升流的存在,在水流向上层运动的同时,也将在底部度夏的暖温种带至表面,导致了夏季暖温种种类数高于春秋季节暖温种种类数这一反常现象的产生。

3.3 生态类群种类数与水团的关系

4月份在调查海域几乎都由暖温种和近海种组成,显示出这一季节控制水团主要是沿岸流。东侧海域上升流并不明显^[32],台湾暖流的影响力也较弱^[38-39],浮游动物主要由近海种构成。这一季节水温较低,大多数在暖温种的最适温度范围,这是浮游动物主要由暖温种组成的原因。

7月份外侧海域上升流明显^[32],将海底的一些暖温种和外海种带至表层,但外侧受到台湾暖流的影响^[40],出现较多的亚热外海种。因此,表观上形成外侧亚热带外海域种数明显高于内侧和中部水域的现象。受到大陈岛这一特殊地形的阻挡,台湾暖流势力显著减弱,此时,内侧和中部水域因椒江处于丰水期,而受沿岸水团控制,反映在生态类群组成上,以近海种为主,亚热带近岸种要多于亚热带外海种。

10月份出现近海种21种,外海种24种,近海种稍低于外海种,但调查海域内侧和中部水域近海种要高于外海种(图2)。尽管调查海域还受台湾暖流影响,但秋季台湾暖流较夏季有所消退^[38-39],椒江径流也有所减弱。受鱼山群岛地形的影响,内侧和中部水域还受沿岸水团控制,因此在内侧和中部水域以近海种为主。但在外侧水域,由于整个夏季台湾暖流影响已经持续一段时间,暖流效应累积的结果,外海种数比例在外侧海域出现了3个季节的最高值,并出现1种热带大洋种。显示出台湾暖流持续影响下的结果。

3个季节沿岸水团和台湾暖流的相互作用是种类生态类群变化的主要水团因子,沿岸水团控制是导致该海域以近海种为主的原因。

3.4 不同季节总丰度的生态类群组成

4月暖温带近海种丰度是1712.36个/m³,暖温带近海种占春季浮游动物总丰度的98.79%,是构成浮游动物总丰度的最重要部分。而亚热带近海种和外海种分别仅是20.37个/m³和0.42个/m³(图6)。4月暖温带近海种丰度居多的特征与苏北浅滩(占总丰度的80%以上^[28])、长江口非上升流区(占总丰度的75.06%^[29])、瓯江口^[29],等相似,暖温带近海种是春季中国东黄海近海海域最重要的生态类群。

7月暖温带近海种的丰度为122.86个/m³,暖温带外海种为0.85个/m³,亚热带近海种为66.71个/m³,亚热带外海种为119.91个/m³,亚热带种的丰度要高于暖温带种,但暖温带近海种却是最重要的类群。这一现象与国内其他近海夏季所呈现的规律有所不同,长江口非上升流区2002年夏季优势种中亚热带近海种占浮游动物总丰度的67.06%^[29],瓯江口夏季的优势种为3种亚热带近海种(背针胸刺水蚤、太平洋纺锤水蚤和中华假磷虾)和一种亚热带外海种(肥胖箭虫),优势和中未出现暖温带种,临近海域夏季都是以亚热带近海种为主要种类,调查海域这种反常规的变化与调查海域存在上升流存在一定的关系。

10月暖温带近海种的丰度为1.95个/m³,亚热带近海种为30.85个/m³,亚热带外海种为22.04个/m³,

热带大洋种为 0.11 个/m³, 亚热带近海种是构成丰度的最主要部分, 这与其他海区秋季基本类似^[33-34], 亚热带种是构成秋季的最主要种类。

水团和上升流在调查海域的交互影响, 导致了浮游动物数量呈现上述的季节变化现象。

3.5 生态类群丰度与上升流的关系

春季丰度主要由暖温带种构成, 秋季以亚热带种为主, 夏季暖温带种和亚热带种丰度差别并不是太大。春季和秋季生态类群的丰度构成与东海其他海区基本一致, 而夏季则有很大区别。

7 月, 构成夏季暖温带种丰度最主要的是中华哲水蚤和海龙箭虫, 两者占总丰度的 40.59%, 仅中华哲水蚤就占了总丰度的 35.03%, 是 7 月份浮游动物丰度最大的优势种。而同期东海其它海域以中华哲水蚤为优势种的现象很少出现。夏季在长江口^[29]和瓯江口^[33-34], 暖温带种丰度所占比例均不超过浮游动物总丰度的 20%。夏季暖温带种丰度升高与上升流的存在有一定关系。由图 8 可见, 7 月份暖温带种在中部丰度最高, 其次是外侧, 内侧丰度最小, 尽管上升流位于调查水域外侧, 暖温带种是在外侧被上升流由底带至表面, 但暖温带种高值区和浮游动物丰度高值区均在中部海域, 这一现象与何德华对浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究中所得的结论一致: 即, 上升流低温中心区, 无论是磷酸盐含量或是浮游植物、叶绿素的数量都呈现高锋, 但浮游动物总生物量却显示明显的低值, 浮游动物几乎不适应虽具丰富营养条件但呈低温缺氧的上升流水体这样的生态环境^[13]。正是由于夏季存在明显的上升流, 导致了 7 月份这一海域暖温带种丰度比例显著上升。

3.6 生态类群丰度与水团的关系

4 月份在调查海域的内侧、中部和外侧浮游动物丰度都是由近海种构成, 这是因为 4 月份外侧受到台湾暖流较少影响, 调查海域主要受沿岸水团影响, 因此浮游动物丰度主要是近海种为主。7 月份浮游动物丰度也是以近海种为主, 但外海种所显著上升, 这是因为外侧水域受台湾暖流和上升流影响, 带入了外海种。台湾暖流受大陈岛地形的阻隔, 在中部和内侧较弱, 那里仍以受沿岸水团, 因此浮游动物丰度组成上近岸种要多于外海种。10 月份台湾暖流有所消退, 上升流的势力也有所减弱, 调查海域受沿岸水团影响范围更广, 浮游动物丰度组成基本上还是以近海种为主。水团对浮游动物丰度生态类群组成有重要的影响。

致谢: 沈晓民先生帮助写作, 周进、陈佳杰、阙江龙、刘守海等帮助采集样品, 特此致谢。

References:

- [1] Feng S Z, Li F Q, Li S J. The Introduction of Marine Science. Beijing: Higher Education Press, 1999: 163-164.
- [2] Valentin J L. Spatial structure of the zooplankton community in the Cabo Frio region (Brazil) influenced by coastal upwelling. *Hydrobiologia*, 1984, 113(1): 183-199.
- [3] Graham W M, Field J G, Potts D C. Persistent "upwelling shadows" and their influence on zooplankton distributions. *Marine Biology*, 1992, 114(4): 561-570.
- [4] Kuipers B R, Witte H J, Gonzalez S R. Zooplankton distribution in the coastal upwelling system along the Banc d'Arguin, Mauritania. *Hydrobiologia*, 1993, 258(1/3): 133-149.
- [5] Rakesh M, Raman A V, Kalavati C, Subramanian B R, Sharma V S, Babu E S, Sateesh N. Zooplankton community structure across an eddy-generated upwelling band close to a tropical bay-mangrove ecosystem. *Marine Biology*, 2008, 154(6): 953-972.
- [6] Bai T, Yang D Z, Yin B S. Numerical study of upwelling of the Changjiang River Estuary and its adjacent sea area in summer. *Marine Sciences*, 2009, 33(11): 65-72.
- [7] Cao X Z. Preliminary study on the seasonal process of the coastal upwelling off Zhejiang in the East Sea, China. *Journal of Fisheries of China*, 1986, 10(1): 51-69.
- [8] Cai S Z. Analysis on the Characteristics and Short-term Variation of Summer Upwelling of Eastern Guangdong and Southern Fujian Coast [D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2010.
- [9] Li W F. Simulation of the Circulation of East China Seas and the Upwelling of Yangtse River Mouth of Summer [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2000.
- [10] Zhao B R, Ren G F, Cao D M, Yang Y L. Characteristics of the ecological environment in upwelling area adjacent to the Changjiang River Estuary. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2001, 32(3): 327-333.

- [11] Wang Y, Lin M, Lin G M, Xiang P. Community composition of phytoplankton in Fujian-Guangdong coastal upwelling region in summer and related affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(2): 503-512.
- [12] He D H, Yang G M, Fang S J, Shen W L, Liu H B, Gao A G, Huang S X. Study on zooplankton ecology in the ascending currents of coastal water in Zhejiang — I. the biomass and abundance of the main groups. *Acta Oceanologica Sinica*, 1987, 9(1): 79-92.
- [13] He D H, Yang H M, Shen W L, Liu H B. Study on zooplankton ecology in the ascending currents of coastal water in Zhejiang — II. the diversity and distribution of zooplankton species. *Acta Oceanologica Sinica*, 1987, 9(5): 617-626.
- [14] Zhao Z M, Zh X Y. Ecology introduction. ChongQing: Scientific and Technical Documentation Press, 1984: 108-119.
- [15] Xu Z L. Mathematical analysis on adaptation of Heteropoda to different temperature and salinity in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(6): 932-938.
- [16] Xu Z L, Gao Q, Chen H, Chen J J, Cai M. Ecological adaptation of pelagic Cladocera and Cumacea in East China Sea. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1782-1787.
- [17] Xu Z L, Sun J, Lin M. Statistical analysis to ecological group of Thaliacea in the East China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5698-5705.
- [18] Xu Z L. Water environment adaptability and ecological groups of Hydroidomedusae in East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 177-184.
- [19] Shen G Y, Shi B Z. *The Marine Ecology*. Beijing: Science Press, 2002: 75-85.
- [20] Xu Z L. Analysis on the indicator species and ecological groups of pelagic ostracods in the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 27(6): 83-93.
- [21] Xu Z L, Chen Y Q. Relationships between dominant species of Chaetognatha and environmental factors in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(1): 76-82.
- [22] Xu Z L, Shen A L. Pelagic Mysidacea in East China Sea and its significance as the indicator of water mass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2347-2353.
- [23] Li S J, Huang J Q, Guo D H, Xu Z Z, Chen G. Study on ecology of marine plankton in Taiwan Strait, China. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2006, 45(S2): 24-31.
- [24] Chen R X, Lin J H, Lin M, Dai Y Y. Ecological study on zooplankton in western Xiamen Harbour. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1998, 17(3): 294-298.
- [25] Lin J H, Chen M D, Chen R X. The species diversity of planktonic Amphipoda in China Seas. *Chinese Biodiversity*, 1996, (4): 44-50.
- [26] Chen R X, Cai B J, Lian G S, Lin Y H, Lin M. The basic characteristics of zooplankton in the western waters of the Taiwan Strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 1995, 17(2): 93-98.
- [27] Lin M, Zhang J B. Taiwan Strait western waters Hydromedusae and the Ctenophora class ecological research. *Acta Oceanologica Sinica*, 1989, 11(5): 621-628.
- [28] Zhang H J. *Ecological Characteristics of Zooplankton in the Northern Jiangsu Shoal in Spring and Summer [D]*. Shanghai: Ocean University of Shanghai, 2011.
- [29] Xu Z L, Shen X Q, Ma S W. Ecological characters of zooplankton dominant species in the waters near the Changjiang estuary in spring and summer. *Marine Sciences*, 2005, 29(12): 13-19.
- [30] Zhang J, Yang G M, Wang C S, Zhang D S. Ecological study of zooplankton in the waters near Zhoushan archipelago I. the species composition and quantity distribution. *Species composition and quantitative distribution. Journal of Marine Sciences*, 2008, 26(4): 20-27.
- [31] Chen L, Xu Z L, Yao W M, Zhang Z, Chen S, Cai S W, Bao X P. The distribution of nutrients, phytoplankton and zooplankton in spring of the Oujiang River estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1571-1577.
- [32] Hu D X, Lü L W, Xiong X C, Ding Z X, Sun S C. The research of Zhejiang Coastal Upwelling. *Chinese Science Bulletin*, 1980, (3): 131-133.
- [33] Gao Q, Xu Z L. Distribution pattern of zooplankton in the Oujiang Estuary during summer and autumn. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(3): 372-380.
- [34] Gao Q, Xu Z L. Species composition and diversity of zooplankton in Oujiang River estuary in summer and autumn. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2048-2055.
- [35] Huang F P, Meng F, Liu D Y, Sun J. Distribution of Copepoda in the Kuroshio Region in the Northern East China Sea. *Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas*, 2000, 18(3): 61-65.
- [36] Hong X G, Zhang X L, Yu S L, Meng F. Study on biodiversity of zooplankton in the Kuroshio in the north of the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(1): 139-142.
- [37] Wu B L, Meng F, Chen S Q. Kuroshio zooplankton biomass distribution. *Acta Oceanologica Sinica*, 1996, 18(5): 82-88.

- [38] Su Z Q, Qian Q Y. A study on the origin of the Taiwan warm current. *Journal of Shandong College of Oceanology*, 1988, 18(1): 12-19.
- [39] Wen Xu C, Wang C M. A study on Taiwan warm current water. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1985, 19(1): 7-10.
- [40] Pu Y X. The meander of the Taiwan warm current off Zhejiang in summer. *Donghai Marine Science*, 1984, 2(3): 9-11.

参考文献:

- [1] 冯士筵, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 1999: 163-164.
- [6] 白涛, 杨德周, 尹宝树. 夏季长江口外海区域上升流现象的数值研究. *海洋科学*, 2009, 33(11): 65-72.
- [7] 曹欣中. 浙江近海上升流季过程的初步研究. *水产学报*, 1986, (1): 51-69.
- [8] 蔡尚湛. 粤东及闽南沿海海域夏季上升流特征及其短期变动分析 [D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2010.
- [9] 李徽翡. 夏季东中国海环流及长江口上升流模拟 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2000.
- [10] 赵保仁, 任广法, 曹德明, 杨玉玲. 长江口上升流海区的生态环境特征. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 327-333.
- [11] 王雨, 林茂, 林更铭, 项鹏. 闽粤近岸夏季上升流区浮游植物群落组成及其影响因素. *应用生态学报*, 2011, 22(2): 503-512.
- [12] 何德华, 杨关铭, 方绍锦, 沈伟林, 刘红斌, 高爱根, 黄淑华. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究——I. 生物量及主要类群丰度. *海洋学报*, 1987, 9(1): 79-92.
- [13] 何德华, 杨关铭, 沈伟林, 刘红斌. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究——II. 浮游动物种类分布与多样性. *海洋学报*, 1987, 9(5): 617-626.
- [14] 赵志模, 周新远. 生态学引论. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984: 108-119.
- [15] 徐兆礼. 东海浮游异足类环境适应分析. *中国水产科学*, 2007, 14(6): 932-938.
- [16] 徐兆礼, 高倩, 陈华, 陈佳杰, 蔡萌. 东海浮游枝角类和涟虫类生态适应性. *生态学杂志*, 2007, 26(11): 1782-1787.
- [17] 徐兆礼, 孙军, 林茂. 东海海樽类生态类群统计分析. *生态学报*, 2008, 28(11): 5698-5705.
- [18] 徐兆礼. 东海水螅水母环境适应与生态类群. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 177-184.
- [19] 沈国英, 施并章. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2002: 75-85.
- [21] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东海毛颚类优势种及与环境的关系. *中国水产科学*, 2005, 12(1): 76-82.
- [22] 徐兆礼, 沈盛绿. 东海浮游糠虾类生态类型划分及其对水团的指示作用. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2347-2353.
- [23] 李少菁, 黄加祺, 郭东晖, 许振祖, 陈钢. 台湾海峡浮游生物生态学研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2006, 45(S2): 24-31.
- [24] 陈瑞祥, 林景宏, 林茂, 戴燕玉. 厦门西港浮游动物生态研究. *台湾海峡*, 1998, 17(3): 294-298.
- [25] 林景宏, 陈明达, 陈瑞祥. 中国海洋浮游端足类的物种多样性. *生物多样性*, 1996, 4(4): 44-50.
- [26] 陈瑞祥, 蔡秉及, 连光山, 林玉辉, 林茂. 台湾海峡西部海域浮游动物的基本特征. *海洋学报*, 1995, 17(2): 93-98.
- [27] 林茂, 张金标. 台湾海峡西部海域水螅水母类和栉水母类的生态研究. *海洋学报*, 1989, 11(5): 621-628.
- [28] 张海景. 春夏季苏北浅滩浮游动物生态特征的分析研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [29] 徐兆礼, 沈新强, 马胜伟. 春、夏季长江口邻近水域浮游动物优势种的生态特征. *海洋科学*, 2005, 29(12): 13-19.
- [30] 章菁, 杨关铭, 王春生, 张东声. 舟山群岛邻近海域浮游动物生态研究 I. 种类组成与数量分布. *海洋学研究*, 2008, 26(4): 20-27.
- [31] 陈雷, 徐兆礼, 姚炜民, 张钊, 陈胜, 蔡圣伟, 鲍旭平. 瓯江口春季营养盐、浮游植物和浮游动物的分布. *生态学报*, 2009, 29(3): 1571-1577.
- [32] 胡敦欣, 吕良洪, 熊庆成, 丁宗信, 孙寿昌. 关于浙江沿岸上升流的研究. *科学通报*, 1980, (3): 131-133.
- [33] 高倩, 徐兆礼. 瓯江口水域夏、秋季浮游动物数量时空分布特征. *中国水产科学*, 2009, 16(3): 372-380.
- [34] 高倩, 徐兆礼. 瓯江口夏、秋季浮游动物种类组成及其多样性. *生态学杂志*, 2009, 28(10): 2048-2055.
- [35] 黄凤鹏, 孟凡, 刘东艳, 孙军. 东海北部黑潮区的浮游桡足类. *黄渤海海洋*, 2000, 18(3): 61-65.
- [36] 洪旭光, 张锡烈, 俞建奎, 孟凡. 东海北部黑潮区浮游动物的多样性研究. *海洋学报*, 2001, 23(1): 139-142.
- [37] 吴宝铃, 孟凡, 陈士群. 东海黑潮区浮游动物的生物量分布. *海洋学报*, 1996, 18(5): 82-88.
- [38] 苏志清, 钱清瑛. 台湾暖流起源的研究. *山东海洋学院学报*, 1988, 18(1): 12-19.
- [39] 翁学传, 王从敏. 关于台湾暖流的研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 1985, 19(1): 7-10.
- [40] 浦泳修. 夏季台湾暖流在浙江海面的蛇行. *东海海洋*, 1984, 2(3): 9-11.