

长江口海域浮游软体动物生态特征的季节变化

胡剑^{1,2}, 徐兆礼¹, 朱德弟³

(1. 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; 2. 上海海洋大学 海洋学院, 上海 200090; 3. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 根据 2002–2003 年长江口 28° 00′–2° 00′ N、122° 00′–123° 30′ E 海域 4 个季节的海洋调查资料, 运用定量、定性方法, 探讨了长江口邻近海域浮游软体动物总丰度的平面分布、季节变化、种类组成及优势种的环境适应类型。结果表明, 长江口海域浮游软体动物总丰度分别为: 春季 64.61 ind/m³, 夏季 191.84 ind/m³, 秋季 59.11 ind/m³, 冬季 1.4 ind/m³。四季共出现软体动物 24 种, 其中春季 8 种, 夏季 21 种, 秋季 10 种, 冬季 2 种。马蹄螺 (*Limacina trochiformis*) 适温较低, 是春季主要优势种; 明螺 (*Atlanta peroni*) 作为暖水种, 是夏季主要的优势种; 秋季主要优势种为尖笔帽螺 (*Creseis acicula*), 适应于较高的水温; 强卷螺 (*Agadina stimpsoniji*) 适温较低, 是冬季的主要优势种。春季浮游软体动物大多聚集在苏北沿岸流和长江径流交汇处或偏沿岸流一侧, 夏季在河口咸淡水水团内, 秋季的高丰度则主要出现在台湾暖流和长江径流交汇偏暖水的一侧, 冬季出现种类较少, 低温是其最主要的因素。浮游软体动物作为一种偏大洋性的种类, 在外海的数量和种类分布要远高于近海。[中国水产科学, 2008, 15 (6): 976–983]

关键词: 浮游动物; 软体动物; 优势种; 生态类型; 长江口

中图分类号: S922.9

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2008)06–0976–08

浮游软体动物是指海洋中各种终生营浮游生活的腹足类 (Gastropoda), 主要包括后鳃亚纲中的翼足类 (Pteropoda) 和前鳃亚纲的异足类 (Heteropoda), 是海洋浮游动物的一大类群。这些物种大多数是暖水种, 常常作为水团的指示种^[1]。在相关的研究中, Lozano 和 Hernannd^[2] 报道了加那利群岛 8 种浮游翼足类的地理分布和组成变化; Castellano 和 Suarez^[3] 对浅海水域的加勒比海和南部墨西哥湾软体动物的组成和分布进行了分析; Cummings 和 Seapy^[4] 调查了圣佩德罗盆地上覆水域中浮游翼足类的季节变化; 在西太平洋海域, Tanaka^[5] 调查了浮游软体动物的地理分布。国内, 张福绥^[6–7] 利用 1959 年的数据资料对东海 125° 00′ E 以西对软体动物的分类和地理分布等进行了详细的分析; 戴燕玉^[8–9] 和黄加祺等^[10] 利用 20 世纪 80 年代资料对台湾海峡水域翼足类生态学进行了研究; 近年来李纯厚等^[11] 对南海北部浮游动物多样性进行了研究; 徐兆礼等^[12–19] 依据 20 世纪 90

年代末东海 123° 30′ E 以外大面海洋调查资料, 从其数量分布和优势种、地理分布和优势种对总丰度的贡献等不同侧面进行了研究。在长江口海域, 虽然徐兆礼等^[20–23] 在对长江口北支、最大浑浊带区及河口锋等海域浮游动物的生态研究中涉及到浮游软体动物, 但并未进行详细说明。张福绥对近海的浮游软体动物的研究已历经近 50 年。本研究则利用近年在 28° 30′–32° 30′ N、121° 30′–123° 30′ E 海域调查资料, 对长江口邻近海域浮游软体动物生态特征进行综合分析, 旨为中国近海海洋生物多样性和生物资源的可持续利用提供支撑性基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查时间、区域和方法

2002–2003 年, 利用“海监 47”调查船在长江口 28° 00′–32° 00′ N、122° 00′–123° 30′ E 海域, 分别进行春 (2002 年 5 月)、夏 (2002 年 8 月)、秋 (2002 年 11 月) 和冬 (2000 年 2–3 月) 4 个季节调

收稿日期: 2007–12–12; 修订日期: 2008–07–02.

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目 (90511005); 上海市科委 (062358101); 上海市 908 专项 (PJ1-1).

作者简介: 胡剑 (1984–), 男, 在读硕士, 研究方向为海洋生态学.

通讯作者: 徐兆礼. E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn

查。调查站位见图 1。

浮游动物样品采集和室内处理均按照《海洋调查规范》进行。用大型浮游生物网(口径 80 cm、网目孔径 0.505 mm)由底至表层垂直拖曳采集,所获样品均经 5% 福尔马林溶液固定后,按个体计数法在立体显微镜下鉴定到种,并计数浮游动物样品中的软体动物丰度(ind/m³)。

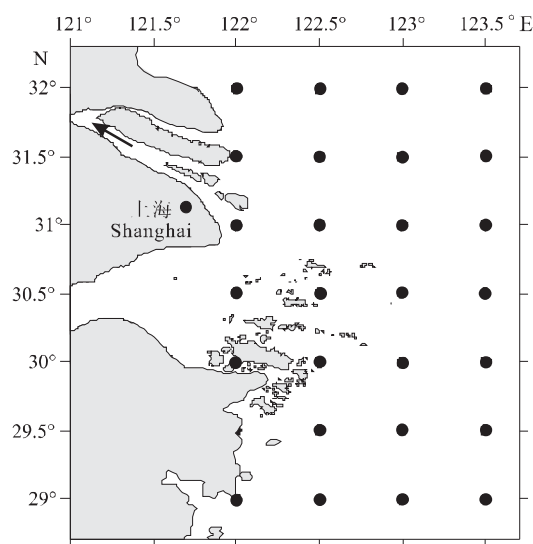


图 1 长江口海域浮游软体动物采样站位(2002-2003 年)
箭头示长江口,“•”示采样点

Fig. 1 Sampling stations for pelagic Mollusc in Yangtze River estuary (2002-2003)

Arrow shows Yangtze River estuary; “•” shows sampling spot.

1.2 数据处理

优势种种群聚集强度用自编程序采用如下公式^[24]计算:

$$\text{丛生指标 (Index of clumping)} I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1 \quad (1)$$

$$\text{优势度 (Y) 计算公式 } Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i \quad (2)$$

取优势度 $Y \geq 0.02$ 的浮游软体动物为优势种^[25]。

Shannon-Wiener 物种多样性指数 (H') 计算公式

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

(1)-(3) 式中, 为某优势种平均丰度, S 为方差, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 是 i 种在各站位中出现的

频率, N 为总丰度。种的出现频率就是 f_i 。分析优势种对总丰度变化的影响, 先以总丰度为因变量, 各优势种丰度为自变量, 根据 ($P < 0.05$) 筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算标准回归系数 (β)。标准回归系数作为总丰度贡献指数用于衡量各优势种对总丰度变化的影响, 具体计算参考文献 [26]。

2 结果与分析

2.1 软体动物总丰度的平面分布

图 2 显示, 春季高丰度区主要在长江口北部海域 ($31^\circ 30' - 32^\circ 00' \text{ N}$, $122^\circ 00' - 122^\circ 30' \text{ E}$), 软体动物主要是由马蹄螺 (*Limacina trochiformis*) 和长轴螺 (*Peraclis reticulata*) 构成, 最高丰度值为 16 ind/m³, 温度和盐度分别为 17.48 °C 和 4.92; 在杭州湾东部有春季软体动物第二高丰度区, 主要是由马蹄螺组成, 温度和盐度分别为 17.99 °C 和 33.44, 最高丰度值为 8.53 ind/m³。

夏季高丰度区主要位于长江口的近海区域 ($30^\circ 30' - 32^\circ 00' \text{ N}$, $120^\circ 00' - 122^\circ 30' \text{ E}$), 主要由明螺 (*Atlanta peroni*)、尖笔帽螺 (*Creseis acicula*) 构成, 最高丰度值为 78.73 ind/m³, 温度和盐度分别为 27.52 °C 和 7.74。而在长江口东部 ($30^\circ 00' \text{ N}$, $123^\circ 00' \text{ E}$) 两侧水域丰度较低, 温度和盐度分别为 26.46 °C 和 15.29。最高丰度值为 2.35 ind/m³。

秋季, 软体动物的丰度呈现以 $29^\circ 30' \text{ N}$ 、 $123^\circ 00' \text{ E}$ 为中心向周围递减趋势, 主要由尖笔帽螺 (*Creseis acicula*) 和龟螺 (*Cavolinia tridentata*) 组成, 最高丰度值为 30.43 ind/m³, 这个站位的温度和盐度分别是 27.52 °C 和 7.74。杭州湾北部 ($30^\circ 30' \text{ N}$) 以北至长江口海域软体动物的丰度较低, 基本在 1 ind/m³ 左右。

在冬季, 调查海区的软体动物只有 2 种, 分别为强卷螺 (*Agadina stimpsoniji*) 和胖螺 (*Limacina inflata*), 主要集中在东海南部 $29^\circ 30' \text{ N}$ 、 $123^\circ 30' \text{ E}$ 和 $29^\circ 30' \text{ N}$ 、 $122^\circ 30' \text{ E}$ 海域, 它们的丰度都较低, 分别为 0.12 ind/m³ 和 1.28 ind/m³。

由表 1 可见, 长江口邻近海域软体动物各个季节的平均丰度夏季达到最高值 7.11 ind/m³, 春季 (2.39 ind/m³) 和夏季 (2.04 ind/m³) 相差不大, 冬季最低 (0.05 ind/m³)。

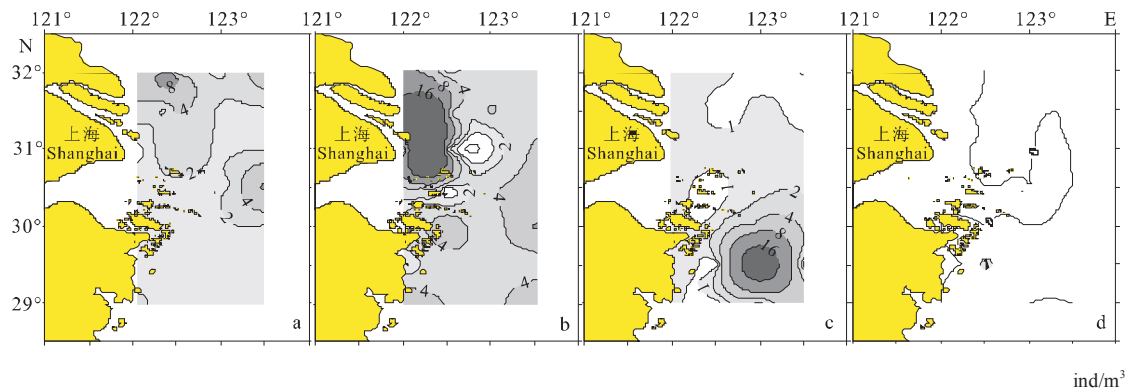


图2 长江口海域浮游软体动物总丰度平面分布(2002-2003年)

a. 春; b. 夏; c. 秋; d. 冬

Fig. 2 Horizontal distribution of pelagic mollusc abundance in Yangtze River estuary (2002-2003)

a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter

表1 长江口海域浮游软体动物平均丰度-温度-盐度季节变化(2002-2003年)				
Tab.1 Seasonal variation of pelagic mollusc abundance, temperature, salinity in Yangtze River estuary (2002-2003)				
指标 Indicator	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
温度 /℃ Temperature	17.53	27.26	18.85	10.54
盐度 Salinity	29.33	16.77	16.19	25.29
丰度 /(ind·m ⁻³) Abundance	2.39	7.11	2.04	0.05

1.3 软体动物总丰度、种类数和多样度的季节变化

由表2可以看出,夏季总丰度最高,为191.84 ind/m³,春季和秋季度总丰度相差不大,分别为64.61 ind/m³和59.11 ind/m³,冬季总丰度最少,只有1.4 ind/m³。夏季浮游软体动物的种数最多,达到21

种,冬季最少,只有2种,春季和秋季分别为8种和10种(表3)。多样性与总丰度和种类数的变化趋势相一致,夏季多样性最高,秋季次之,冬季最低,在春、夏、秋、冬4个季节分别为1.94、2.78、2.18和0.42。

表2 浮游软体动物的总丰度、种类数和多样性季节变化				
Tab. 2 Changes among abundance, species number and diversity of pelagic mollusc in four seasons				
指标 Indicators	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
总丰度 /(ind·m ⁻³) Abundance	64.61	191.84	59.12	1.40
种数 Species number	8	21	10	2
多样性 Diversity	1.94	2.78	2.18	0.42

1.4 优势种对总丰度的贡献

由表4可以看出,四季中共出现优势种($Y \geq 0.02$)有8种,春季,马蹄蛭螺是主要优势种,优势度为0.27, β 值为0.86;夏季主要优势种是明螺,优

势度为0.16, β 值为0.92;秋季主要优势种是龟螺,优势度是0.10, β 值是0.80;冬季强卷螺作为唯一的优势种,其优势度为0.03, β 值是0.99。

表 3 长江口邻近海域浮游软体动物种名录
Tab. 3 Species of pelagic mollusc in Yangtze River estuary

种名 Species	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
强卷螺 <i>Agadina stimpsoniji</i>	+	+	+	+
无鳃螺 <i>Abranchaea chinensis</i>		+	+	
大口明螺 <i>Atlanta lesueuri</i>	+			
玫瑰明螺 <i>Atlanta rosea</i>	+	+		
明螺 <i>Atlanta peroni</i>	+	+		
胖明螺 <i>Atlanta inflata</i>		+		
长吻龟螺 <i>Cavolinia longirostris</i>		+		
龟螺 <i>Cavolinia tridentata</i>		+	+	
冕螺 <i>Corolla ovata</i>		+		
笔帽螺属 <i>Creseis</i> sp.		+		
尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	+	+	+	
芽笔帽螺 <i>Creseis virgula</i>			+	
锥笔帽螺 <i>Creseis virgula v.comica</i>		+		
蝴蝶螺 <i>Desmopterus papilio</i>		+		
胖蛞蝓 <i>Limacina inflata</i>		+		+
泡蛞蝓 <i>Limacina bulimoides</i>	+	+		
马蹄蛞蝓 <i>Limacina trochiformis</i>	+	+	+	
背鳃螺 <i>Notobranchaea macdonaldi</i>		+		
角明螺 <i>Oxygyrus eraudreni</i>		+		
拟海若螺 <i>Paraclione longicaudata</i>		+	+	
长轴螺 <i>Peraclis reticulata</i>	+		+	
拟皮鳃螺 <i>Pneumodermopsis ciliata</i>		+	+	
皮鳃螺 <i>Pneumoderma atlanticum</i>		+	+	
原明螺 <i>Protatlanta souleyeti</i>		+		

注: “+”表示出现该种。

Note: “+” means this species appearing.

表 4 长江口海域优势种丰度对软体动物总丰度的贡献
Tab. 4 Contribution of dominant species to total abundance of pelagic mollusc in Yangtze River estuary

季节 Season	优势种 Dominant species	Y	β	t	P
春 Spring	马蹄蛞蝓 <i>Limacina trochiformis</i>	0.27	0.86	22.56	0.0001
	长轴螺 <i>Peraclis reticulata</i>	0.02	0.56	14.82	0.0001
夏 Summer	明螺 <i>Atlanta peroni</i>	0.16	0.92	12.11	0.0001
	尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	0.10	0.01	0.17	0.8627
	尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	0.16	0.21	21.00	0.0001
秋 Autumn	龟螺 <i>Cavolinia tridentata</i>	0.10	0.80	89.81	0.0001
	强卷螺 <i>Agadina stimpsoniji</i>	0.04	0.14	19.75	0.0001
	拟皮鳃螺 <i>Pneumodermopsis ciliata</i>	0.02	0.05	7.76	0.0001
冬 Winter	强卷螺 <i>Agadina stimpsoniji</i>	0.03	0.99	> 100	0.0001

注: Y —优势度; β —标准回归系数; t — t 检验值; P —显著性。

Note: Y —Dominance; β —Standard regression coefficients; t —test value; P —Significance.

1.5 不同优势种生态特征的季节变化

由表 5 可以看出,春季各站位马蹄蛳螺和长轴螺平均丰度值分别为 1.43 ind/m³ 和 0.45 ind/m³,马蹄蛳螺的百分比和出现率最高,分别为 59.93% 和 44.44%;夏季各站明螺和尖笔帽螺平均丰度为 3.04 ind/m³ 和 1.14 ind/m³,龟螺占的百分比最高,为 42.53%,但是出现率比尖笔帽螺低;秋季,优势种比

较多,主要是尖笔帽螺和龟螺,其平均丰度分别为 0.60 ind/m³ 和 0.87 ind/m³,百分比分别为 29.26% 和 12.58%,尖笔帽螺出现率最高,为 55.17%;冬季优势种主要是强卷螺,其平均丰度为 0.04 ind/m³,百分比为 91.58%,但出现频率较低,为 3.45%。在丛生指标方面,夏季明螺高达 165.43 外,春季长轴螺和秋季龟螺分别为 58.8 和 72.22,冬季强卷螺最低,为 -1。

表 5 长江口海域软体动物优势种平均丰度 ($\bar{x}$)、百分比、丛生指标和出现率
Tab. 5 Average abundance ($\bar{x}$), percentage, index of clumping and occurrence frequency

of pelagic mollusc dominant species					ind/m ³
季节 Season	优势种 dominant species	$\bar{x}$	P/%	O/%	I
春 Spring	马蹄蛳螺 <i>Limacina trochiformis</i>	1.43	9.93	44.44	11.13
	长轴螺 <i>Peracリス reticulata</i>	0.45	18.67	11.11	58.80
夏 Summer	明螺 <i>Atlanta peroni</i>	3.04	42.75	37.04	165.43
	尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	1.14	16.01	62.96	-0.10
	尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i>	0.60	29.26	55.17	1.15
秋 Autumn	龟螺 <i>Cavolinia tridentata</i>	0.87	42.53	24.14	72.22
	强卷螺 <i>Agadina stimpsoniji</i>	0.25	12.16	34.48	2.43
	拟皮鳃螺 <i>Pneumodermopsis ciliata</i>	0.12	6.13	37.93	0.12
冬 Winter	强卷螺 <i>Agadina stimpsoniji</i>	0.04	91.58	3.45	-1

注: P - 百分比; O - 出现频率; $\bar{x}$ - 平均丰度; I - 丛生指标。
Note: P means percentage; O means occurrence; $\bar{x}$ means average abundance; I means index of clumping.

1.6 优势种的分布与温度、盐度的关系

从图 3 可见,2002 年表层水温为 17.48 ℃时,马蹄蛳螺丰度达最高值,为 16 ind/m³;表层水温 18.38 ℃、盐度在 15.41 时,尖笔帽螺丰度达最高值,为 4.2 ind/m³,在其他温盐度时丰度较为平均,相对较低;表层水温 25.72 ℃、盐度在 7.74 时,玫瑰明螺丰度达最高值,为 75.64 ind/m³,而在其他温盐度时丰度都较低。表层水温 18.43 ℃、盐度 9.14 时,强卷螺丰度达最高值,为 3.14 ind/m³,而在其他温盐度时丰度都较低。

3 讨论

3.1 总丰度平面分布和季节变化特征

夏季,平均温度和总丰度在四季中最高,冬季平均温度和总丰度最低,这从总丰度的变化与水温变化基本一致(表 1),因此影响总丰度季节变化的主要是水温。夏季,平均温度和总丰度在四季中最高,冬季平均温度和总丰度最低,这由总丰度的变化与水温变化基本一致(表 1),因此影响长江口邻近海域软体动物总丰度季节变化的主要水文因子是水温。

总丰度平面分布特征与盐度分布密切关联,春

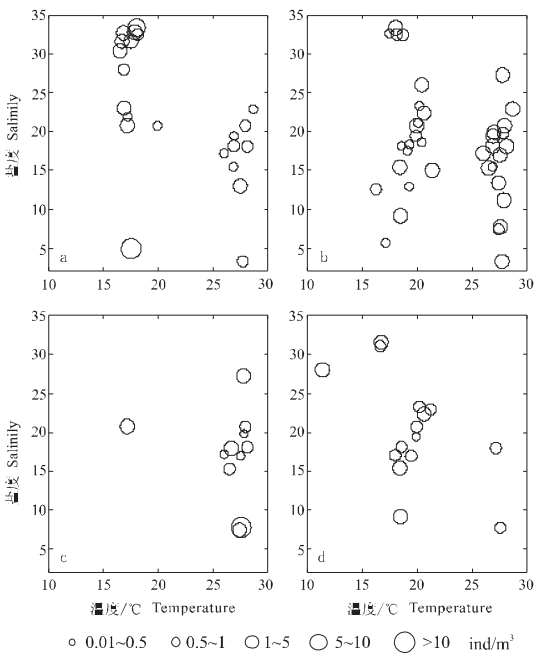


图 3 长江口浮游软体动物优势种丰度与温 - 盐度关系
a. 马蹄蛳螺; b. 尖笔帽螺; c. 明螺; d. 强卷螺
Fig. 3 Relationship of pelagic mollusc abundance, surface salinity and temperature
a. *Limacina trochiformis*; b. *Creseis acicula*; c. *Atlanta peroni*; d. *Agadina stimpsoniji*

季高丰度区主要出现在长江口北部和杭州湾外海盐度较高的水域(图2),平均盐度达到29.33;夏季近河口海域软体动物丰度最高,该水域盐度范围是7~27,总丰度和种类数远远高于其他季节(表1);秋季在浙江北部近海总丰度出现最高值,然后逐步向北减少,该水域盐度是15.41;在冬季,除杭州湾南部(29°30'N、122°30'E)附近水域出现一定的数量,盐度是28.05,其他站位中软体动物几乎没有出现,可以看出软体动物平面分布主要受到盐度的影响。

3.2 总丰度平面分布与水团的关系

春季长江口邻近海域受苏北沿岸流的影响,北部(31°30'~32°00'N、122°00'~122°30'E)海域的盐度较高(29.33),软体动物在沿岸流和长江径流近沿岸流一侧形成高丰度区(16 ind/m³),丰度由北向南逐渐降低;另外在外海一侧,形成了春季另一较高丰度区域,主要由马蹄螺组成,总丰度达到8.53 ind/m³。夏季高丰度位于苏北沿岸流,长江径流交汇处,该海域的盐度梯度变化较大,属于咸淡水交错水域,种类最多,总丰度最高(图2)。秋季,台湾暖流势力影响逐渐减弱,高丰度移至长江径流和暖水交汇近暖水一侧,主要由暖水性的尖笔帽螺和龟螺组成就是例证。因此,水团势力的消长,特别是长江冲淡水势力消长是影响长江口水域软体动物丰度分布的重要因素。

3.3 优势种对软体动物总丰度变化的贡献

春季马蹄螺和长轴螺对软体动物丰度贡献较大(表4),其中马蹄螺的优势度(Y)、出现频率和丰度百分比远远高于长轴螺(表5),说明春季马蹄螺在软体动物的数量变化中起到了决定的重要性。夏季平均温度在四季中最高,优势种为明螺和尖笔帽螺;其中明螺的平均丰度达到尖笔帽螺的3倍(表5),对总丰度的贡献最大(表4),而尖笔帽螺的出现频率较高,但其平均丰度比较低(表5),因此对总丰度的贡献明显小于明螺(表4),可见明螺是夏季的主要优势种。秋季的主要优势种是尖笔帽螺和龟螺,其丰度占秋季软体动物总丰度的比例和出现频率远远高于其他优势种,依据贡献率分析(表4)尖笔帽螺是主要优势种;冬季水温最低,强卷螺是重要的优势种,这从其 β 值较大,占冬季软体动物总丰度的91.58%,作为该季节唯一优势种。

3.4 主要优势种对环境的适应特征

不同的优势种在不同季节成为优势种,则与长江口水环境的季节变化特征,有密切的关系,也与

优势种的生态适应特征有密切的关系。春季的优势种马蹄螺,主要集中于沿岸流和长江径流近沿岸流一侧和外海一侧(图2),海域呈低温高盐的特征, β 值为0.86,优势度是0.27,春季总丰度中,马蹄螺丰度占了59.3%,且出现频率高达44.44%,适应于温度较低的海域(图3-a);夏季明螺作为主要优势种,优势度为0.16, β 值为0.92,平均丰度(3.04 ind/m³)远远高于其他种,且出现频率高达42.75%,由于在温度较高的季节大量存在(图3-b),该种属于暖水种;秋季总丰度集中在长江径流和暖水交汇近暖水一侧(图2),主要优势种是尖笔帽螺,该种在温度较高的秋季出现(图3-c), Y 、 β 值(表4)和出现频率(表5)较高,因而也是暖水种;冬季的优势种为强卷螺,该种冬季对软体动物总丰度贡献最大(表4),而且在17℃左右丰度最高(图3-d),属于适应较低温度的种类。夏季明螺作为主要优势种,优势度为0.16, β 值为0.92,平均丰度(3.04 ind/m³)远远高于其他种,且出现频率高达42.75%,在温度较高的海域也大量存在(图3-b),属于暖水种;秋季总丰度集中在长江径流和暖水交汇近暖水一侧(图2),主要优势种是尖笔帽螺,在温度较高的海域出现(图3-c), Y 、 β 值(表4)和出现频率(表5)都比较高;冬季的优势种强卷螺对冬季的软体动物总丰度贡献最大(表4)在17℃左右丰度最高(图3-d),应于温度较低的海域。

3.5 长江口浮游软体动物种组成与外海的比较

长江口海域四季中共出现的浮游软体动物有24种(表3),而在东海外海区域有32种^[12,14]。春季,外海比邻近海域多了蝴蝶螺和拟海若螺2种,而少了长轴螺。近海马蹄螺的丰度比外海(29.77 ind/m³)高,而其他种类的丰度相对较低。夏季,东海外海的种类比邻近海域要多,除了尖笔帽螺是共同的优势种,外海优势种还有锥笔帽螺,马蹄螺和蝴蝶螺,而近海的其他优势种仅仅是明螺。秋季东海外海的种类数达四季最多^[12],在近海,软体动物的种类数(表3)明显少于外海。冬季,东海近海软体动物只有2种,而外海海域高达14种。由此可见,东海外海软体动物的总丰度与种类数呈外海高于近海的分布趋势。

致谢: 马名玄高工帮助采集样品,谨致谢忱。特别感谢沈晓民老师在本论文构思和撰写中提供的非常有益的帮助。

参考文献:

- [1] 郑重,李少菁,许振祖. 海洋浮游生物学 [M]. 北京:海洋出版社,1984:468-494.
- [2] Lozano S F, Hernand H P. Preliminary list of zooplankton of the Canary Islands. 2. Siphonophora, Pteropoda, Heteropoda, Ostracoda, Amphipoda and Decapoda[J]. Bol Mus Munic Funchal, 1991, 43: 149-158.
- [3] Castellano I, Suarez M E. Heteropod mollusc (Carinariidae and Pterotracheidae) of the Gulf of Mexico and the western Caribbean Sea[J]. An Inst Biol Univ Nac Auton Mex Zool, 2001, 72: 221-232.
- [4] Cummings FA, Seapy RR. Seasonal abundances of euthecosomatous pteropods and heteropods from waters overlying San Pedro Basin, California[J]. The Veliger, 2003, 46: 305-313.
- [5] Tanaka. Pteropoda and Heteropoda (Gastropoda, Mollusca) collected in the western Pacific Ocean in the northern summer 1968[J]. Kaiyo Report, 1971, 3: 27-36.
- [6] 张福绥. 中国近海的浮游软体动物 I. 翼足类、异足类及海蜗牛类的分类研究 [J]. 海洋科学集刊, 1964, 5: 125-226.
- [7] 张福绥. 中国近海的浮游软体动物 II. 黄海与东海浮游软体动物生态的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1968(1): 13-28.
- [8] 戴燕玉. 台湾海峡西部海域浮游软体动物的分布 [J]. 台湾海峡, 1989, 8(1): 54-59.
- [9] 戴燕玉. 南海中西部翼足类和异足类生态的初步研究 [J]. 海洋学报, 1995, 17(6): 111-116.
- [10] 黄加祺, 李少菁, 陈亚萍. 福建罗源湾浮游动物的种类组成和数量分布 [J]. 厦门大学学报, 1989, 28(增刊): 85-95.
- [11] 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.
- [12] 徐兆礼. 东海浮游翼足类种类组成和多样性研究 [J]. 生物多样性, 2005, 13(2): 168-173.
- [13] 徐兆礼. 东海浮游翼足类数量分布的研究 [J]. 海洋学报, 2005, 7(27): 148-154.
- [14] XU Zhaoli. Areal and seasonal distribution of heteropods in the East China Sea[J]. Plankton Benthos Reserch 2007, 2(3): 147-154.
- [15] XU Zhaoli, LI Chunju. Study on abundance variation of pteropods in the East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 24(4): 98-104.
- [16] XU Zhaoli, LI Chunju. Horizontal distribution and dominant species of heteropods in the East China Sea[J]. Journal of Plankton Research. 2005, 27(4): 373-382.
- [17] 徐兆礼. 东海浮游异足类环境适应分析 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 932-938.
- [18] XU Zhaoli, LI Chunju. Study on the dominant species of Pteropoda in East China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2006, 24(2): 168-177.
- [19] 徐兆礼, 王云龙, 雪梅, 等. 长江口浮游动物生态研究 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 56-58.
- [20] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究 [J]. 中国水产科学, 1995, 1(3): 39-48.
- [21] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 III 优势种的垂直分布 [J]. 中国水产科学, 1995, 1(3): 64-70.
- [22] 徐兆礼. 长江口邻近水域浮游动物群落特征及变动趋势 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 780-784.
- [23] 徐兆礼. 长江口北支水域浮游动物的研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1341-1345.
- [24] 赵志模, 周新远. 生态学引论 [M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984: 108-119.
- [25] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐渔场的关系 [J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
- [26] 中国科学院计算中心概率论统计编写组. 概率统计计算 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 105-114.

Seasonal changes of ecological characteristics of pelagic Mollusc in Yangtze River estuary

HU Jian^{1,2}, XU Zhao-li¹, ZHU De-di³

(1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Marine Science and Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China; 3. Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on the data of four seasonal investigations in Yangtze River estuary (28° 00'–32° 00' N, 122° 00'–123° 30' E) from the year 2002 to 2003, the distribution pattern of pelagic mollusc, the seasonal changes of total abundance and the species composition were analyzed. Furthermore, environmental adaptation of dominant species was deduced through scatter plot of abundance and temperature-salinity. The results showed that the seasonal abundance were 64.61 ind/m³ in spring, 191.84 ind/m³ in summer, 59.11 ind/m³ in autumn, and 1.4 ind/m³ in winter. There were twenty-four species in four seasons. The mollusc species number peaked in summer (21 species), followed by autumn (10 species), spring (8 species) and winter (2 species). Numerically, *Limacina trochiformis* was the main dominant species in spring, attributed to its low temperature adaptation. *Atlanta peroni* was the dominant species in summer and *Creseis acicula* was the dominant species in autumn due to their adaptation to relatively high temperature. *Agadina stimpsoniji* was the dominant species in winter, adapted to low temperature. In spring, pelagic mollusc aggregated in the waters where Yellow Sea Coastal Current meets Changjiang Diluted Water. While in autumn, the pelagic mollusc were abundant at the warm water side of the mixed water mass where the Taiwan Warm Current meets Yangtze River diluted water. The pelagic mollusc species number was few in the low temperature of winter, because most pelagic mollusc is warm water species. Abundance and species number were low in the nearshore than in the offshore of the East China Sea, because most of the pelagic mollusc are offshore water species. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (6): 976–983]

Key words: zooplankton; mollusc; dominant species; ecotype; Yangtze River estuary

Corresponding author: XU Zhao-li. E-mail: xiaomin@public4.sta.net.cn