

郑白雯,曹文清,林元烧,等. 北部湾北部生态系统结构与功能研究II. 浮游动物数量分布及优势种[J]. 海洋学报,2014,36(4): 82—90,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.04.004

Zheng Baiwen,Cao Wenqing,Lin Yuanshao,et al. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf II. Quantitative distribution and dominant species of zooplankton[J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 2014, 36(4): 82—90, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2014.04.004

北部湾北部生态系统结构与功能研究

II. 浮游动物数量分布及优势种

郑白雯¹,曹文清^{1*},林元烧¹,郑连明¹,张文静¹,杨位迪¹,王宇杰¹

(1. 厦门大学 海洋与地球学院,福建 厦门 361005)

摘要: 为了解北部湾北部海区浮游动物数量分布规律及优势种组成,2006—2007 年对北部湾进行 4 个航次的综合性调查。根据浮游动物样品分析结果,研究了北部湾北部浮游动物的丰度、生物量和优势种组成,并利用 Spearman 等级相关法分析丰度与环境因子间的关系。研究结果表明,北部湾北部浮游动物丰度年均值(183.5 ± 142.9) ind/m³,丰度的季节分布由高到低依次为秋季、夏季、冬季、春季;生物量年均值(139.5 ± 116.8) mg/m³,由高到低依次为春季、秋季、冬季、夏季特征。平面分布上,春、秋两季丰度分布呈远岸高近岸低的趋势,而夏、冬两季则在近岸海域形成高丰度区。生物量的平面分布趋势与丰度的分布趋势基本一致。丰度变化与环境因子的相关性显著,水深、温度及叶绿素 a 浓度是影响丰度分布的主要因素。肥胖软箭虫 *Flaccisagitta enflata*、亚强次真哲水蚤 *Subeucalanus subcrassus* 和间型莹虾 *Lucifer intermedius* 在北部湾北部的优势地位显著,优势种演替具有明显的季节性。

关键词: 浮游动物;数量分布;生态适应;优势种;北部湾北部

中图分类号: S922.95; Q179.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2014)04-0082-09

1 引言

北部湾是一半封闭海湾,受到广西境内北仑河、大风江、钦江、南流江、海南境内的昌化江以及越南境内红河等径流的影响,陆源营养丰富,生物资源多样化^[1]。该海域生物生产力高,是目前我国沿海“最洁净”的海域之一。开展北部湾海洋综合调查,对于了解海洋生态系统的生物群落结构、探讨海洋生态系统动力学、制定海洋渔业资源开发管理和海洋生态环境

保护政策等研究是不可或缺的基础工作。本文依据“我国近海海洋综合调查和评价”(908)专项综合调查所获得的资料,对北部湾北部浮游动物的数量分布和优势种组成进行分析,并探讨影响浮游动物数量分布的环境要素及优势种的生态适应问题。

2 材料与方法

2.1 调查海区及采样方法

本文资料来自 2006 年夏季(7 月 15 日—8 月 7

收稿日期:2012-11-10;修订日期:2013-02-26。

基金项目:我国近海海洋综合调查与评价专项(908—01—ST09);海洋公益项目“东南沿海半封闭海湾生态系统对人类活动干扰的响应评价、生态重构技术及示范”(201005012)。

作者简介:郑白雯(1989—),女,福建省泉州市人,从事海洋浮游生物生理生态学研究。E-mail:cathryn_zbw@163.com

* 通信作者:曹文清,厦门大学海洋与地球学院教授。E-mail:wqcao@xmu.edu.cn

日)、冬季(12月25日—翌年1月22日)和2007年春季(4月12日—5月1日)、秋季(10月14日—11月15日)于北部湾(20.0556°~21.4842°N, 108.0381°~109.8225°E)40个测站(图1)进行的4个航次的调查结果。依照《海洋生物生态调查技术规程》^[2],采用浅水I型浮游生物网(网目孔径0.505 mm,网口内径50 cm,网长145 cm;水深浅于30 m时)或大型浮游生物

网(网目孔径0.505 mm,网口内径80 cm,网长280 cm;水深深于30 m时)由底层至表面垂直拖取,所获样品于现场用5%的福尔马林溶液固定。浮游动物样品用体视显微镜分类鉴定并计数,用湿重法称量浮游动物生物量。水文、化学和叶绿素等环境因子依照调查技术规程同步采集、测定。

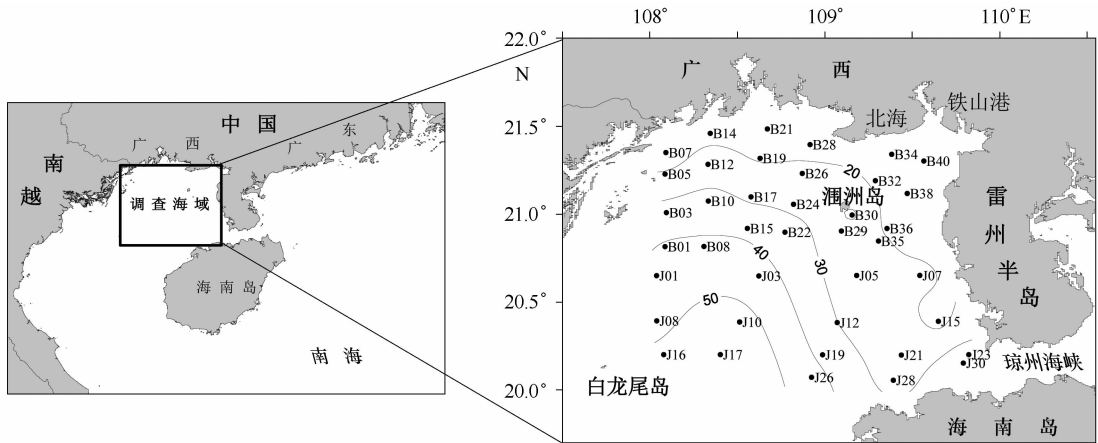


图1 北部湾北部调查海域站位分布及等深线示意图(等深线单位:m)

2.2 数据处理与分析

浮游动物丰度根据采样时的滤水体积,以每立方米水体中的个体数(ind/m³)表示。生物量依据浮游动物湿重,用现场滤水量换算(mg/m³)。

浮游动物的优势度(Y)、优势种更替率(R)^[3-4]:

$$Y = (n_i/N) \cdot f_i, \quad (1)$$

$$R = (a + b - 2c)/(a + b - c) \times 100\%, \quad (2)$$

式(1)和(2)中, n_i 为第*i*种的个体数; N 为样品总个体数; f_i 为出现频率; S 为种类数; a 、 b 为相邻两季优势种数, c 为相邻两季共同优势种数。以 $Y \geq 0.02$ 为优势种划分标准^[5-6]。

以优势种丰度为自变量,各季节浮游动物总丰度为因变量,采用逐步回归分析法,根据显著性水平($p < 0.05$)筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种^[7]。以标准回归系数(β)作为总丰度贡献指数,用以研究各优势种对总丰度变化的影响。

采用PRIMER 5.0软件中的BIOENV程序,以Spearman等级相关法分析北部湾北部浮游动物丰度与环境因子间的关系,并选出重要的复合环境因子。

3 结果

3.1 丰度与生物量的季节变化

调查区各测站浮游动物丰度范围9.8~880.7

ind/m³,年均值(183.5±142.9)ind/m³,季节丰度由高到低为秋季、夏季、冬季、春季;浮游动物生物量范围7.9~715.8 mg/m³,年均值(139.5±116.8)mg/m³,季节丰度由高到低依次为春季、秋季、冬季、夏季(见图2a)。

根据个体大小和生化性质,本区浮游动物大致分为大型浮游动物(主要包括磷虾类、毛颚类、糠虾类、十足类、端足类)、中型浮游动物(桡足类、介形类、枝角类、翼足类、异足类)、阶段性浮游幼虫(体)和胶质浮游动物(水母类、被囊类)4种类型,其各自丰度占浮游动物总个体数的比例如图2b所示。调查区地处亚热带的南界,终年水温较高,表层平均水温20.4~30.6℃(见图2a),适宜于各种动物繁衍,水体中终年可见到数量不一的浮游幼虫(体)。但周年中的升温季节(春季和夏季)依然是各种动物的主要繁殖季节,水体中阶段性浮游幼虫(体)的数量比例高于其他季节。此外,中型浮游动物的数量消长对本区浮游动物的丰度和生物量变化有着较大的影响(见图2b)。

3.2 丰度与生物量的水平变化

春季,调查区浮游动物丰度均值为全年最低值,仅为(145.4±90.8)ind/m³。低丰度区(<100 ind/m³)主要位于20 m以浅海域(图1),呈条带状分布于

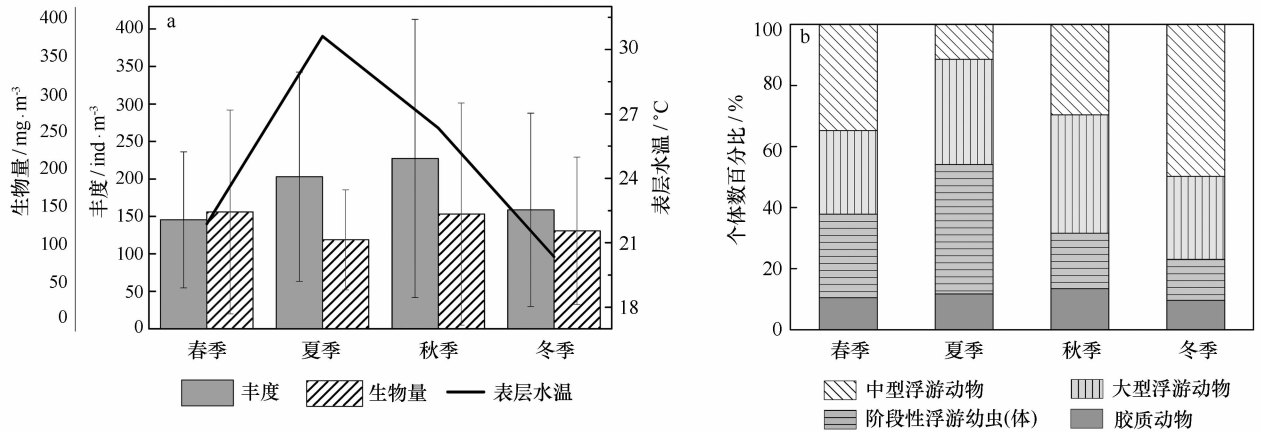


图2 北部湾北部浮游动物丰度和生物量随表层水温的季节变化(a)及胶质动物、大型浮游动物、浮游幼虫(体)和中型浮游动物的丰度百分比组成(b)

广西至雷州半岛沿岸海域(见图3)。但在调查区西北隅大量的长尾住囊虫 *Oikopleura longicauda* 形成丰度大于 300 ind./m^3 且生物量大于 400 mg/m^3 的高值区。远岸大部分海域为丰度大于 200 ind./m^3 的次高值区,主要种类为精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna* 和蛇尾类长腕幼虫 *Ophiopluteus larvae*。调查海域的西南侧浮游动物丰度在 $100 \sim 200 \text{ ind./m}^3$ 之间。春季,浮游动物生物量均值为全年最高,达 $(155.9 \pm 135.9) \text{ mg/m}^3$,分布趋势与丰度分布趋势基本一致(见图4)。

夏季,浮游动物丰度明显增加 $[(202.8 \pm 139.6) \text{ ind./m}^3]$ 。调查区出现3个数量密集区($>300 \text{ ind./m}^3$),一个位于调查区的东北角,其中B34测站(700.9 ind./m^3)的主要种类短尾类溞状幼体 *Brachyura zoea* 和亨森莹虾 *Lucifer hansenii* 数量分别达 295.8 ind./m^3 和 241.7 ind./m^3 ;另外2个密集区出现于调查区的西南一侧海域,主要种类为半索类柱头幼虫 *Tornaria larvae*。夏季,浮游动物生物量均值为全年最低 $[(118.6 \pm 66.7) \text{ mg/m}^3]$,分布相对均匀(见图4)。

秋季,浮游动物丰度均值达到全年最高水平 $[(227.2 \pm 185.5) \text{ ind./m}^3]$ 。远岸大范围海域为丰度大于 300 ind./m^3 的高值区(见图3),主要有小齿海樽 *Doliolum denticulatum*、肥胖软箭虫 *Flaccisagitta enflata* 以及蛇尾类长腕幼虫。秋季,浮游动物生物量略低于春季 $[(153.0 \pm 148.4) \text{ mg/m}^3]$,分布趋势与丰度分布趋势相近,高值区集中在调查海区西侧中部,肥胖软箭虫、凶型猛箭虫 *Ferosagitta ferox*、亚强次真哲水蚤 *Subeucalanus subcrassus* 等质体较重的浮游动

物是造成该区生物量大的原因。

冬季,浮游动物丰度均值为 $(158.7 \pm 129.0) \text{ ind./m}^3$ 。雷州半岛西侧海域为小于 100 ind./m^3 的低丰度区。丰度大于 300 ind./m^3 的密集中心位于广西近岸,小齿海樽、鸟喙尖头蚤 *Penilia avirostris* 和肥胖软箭虫是主要的优势种。冬季,浮游动物生物量均值为 $(130.6 \pm 98.4) \text{ mg/m}^3$,其分布趋势与丰度分布趋势基本一致,高值区位于涠洲岛西侧海域(图2b),球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa*、亚强真哲水蚤及间型莹虾 *L. intermedius* 等在该区有较高的数量。

3.3 影响丰度变化的环境因素

同步获得的主要环境因子[水深(D)、表层溶氧量(DO_s)、底层溶氧量(DO_b)、表层水温(T_s)、底层水温(T_b)、表层盐度(S_s)、底层盐度(S_b)、表层叶绿素a浓度 $c(\text{Chl } a_s)$ 及底层叶绿素a浓度 $c(\text{Chl } a_b)$]的变化范围及平均值见表1。浮游动物丰度与环境因子的等级相关结果表明,本区浮游动物丰度变化受环境因子的影响显著,其中水深、水温和叶绿素a浓度是重要的影响因子。夏季和秋季,海区水温相对较高,叶绿素a浓度与浮游动物丰度变化密切相关,而在春季和冬季,水温和盐度则是重要的影响因子,显然,这与海区的水文状况复杂,几股不同性质的海流及其消长情况^[8-10]有着重要的关系。进一步分析发现,本区浮游动物丰度变化并非受单一环境因子的影响,而是同时受到几个环境因子(复合环境因子)共同影响的综合表现(见表2)。

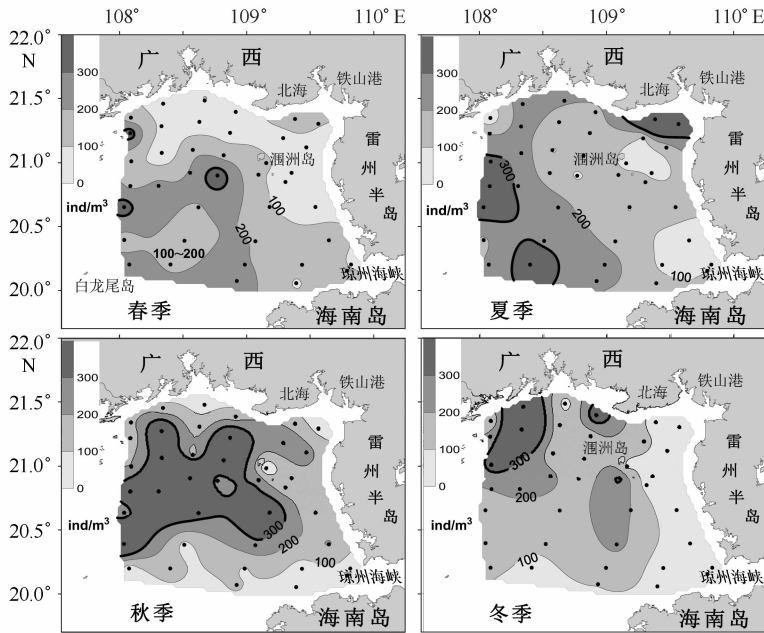


图3 北部湾北部调查海域浮游动物四季丰度平面分布

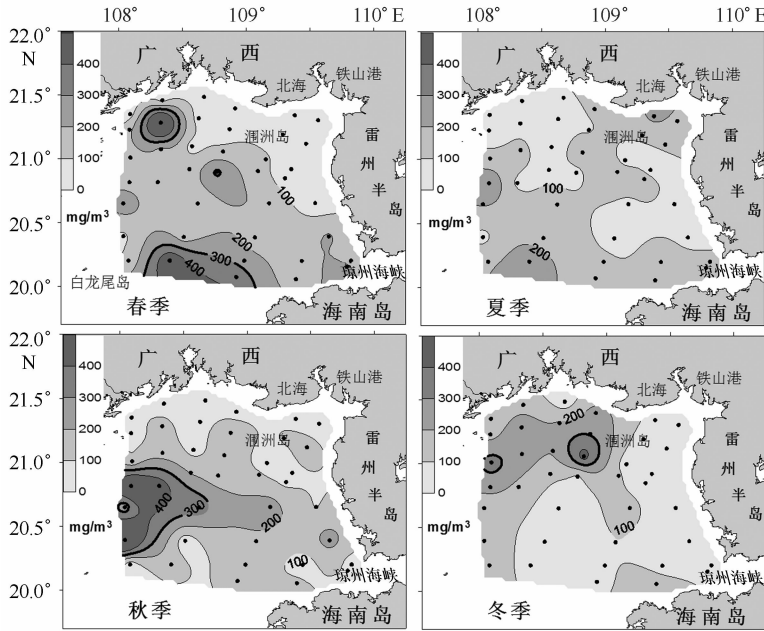


图4 北部湾北部调查海域浮游动物四季生物量平面分布

表1 各季节环境因子的变化范围及平均值

环境因子	春季		夏季		秋季		冬季	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
D/m	11.0~60.0	29.5 ± 12.5	11.0~61.0	29.5 ± 12.1	12.0~60.0	29.3 ± 12.2	12.0~59.0	29.7 ± 12.7
$DO_s/mg\cdot L^{-1}$	6.9~8.3	7.7 ± 0.4	5.9~7.0	6.4 ± 0.2	6.3~8.5	7.0 ± 0.5	7.2~8.7	7.7 ± 0.3
$DO_b/mg\cdot L^{-1}$	6.5~8.2	7.3 ± 0.4	5.2~6.3	5.9 ± 0.3	3.4~7.3	6.0 ± 1.1	7.2~8.5	7.6 ± 0.3
$T_s/^{\circ}C$	19.6~23.7	21.9 ± 1.0	30.0~31.3	30.6 ± 0.3	24.9~27.4	26.3 ± 0.6	17.7~23.2	20.4 ± 1.3

续表 1

环境因子	春季		夏季		秋季		冬季	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
$T_b/^{\circ}\text{C}$	19.3~22.6	20.8±0.9	26.5~30.5	29.9±0.9	23.7~27.4	26.0±0.9	17.6~23.3	20.2±1.4
S_s	31.9~33.7	33.2±0.4	27.1~34.0	32.8±1.5	30.4~33.2	32.0±0.7	31.5~33.8	32.7±0.4
S_b	32.7~33.7	33.3±0.3	31.3~34.0	33.4±0.7	30.7~34.2	32.5±1.0	31.5~33.8	32.7±0.4
$c(\text{Chl } a_s)/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.3~4.1	1.7±1.0	0.2~7.9	1.8±2.1	0.6~7.5	2.2±1.4	0.5~6.1	1.9±1.2
$c(\text{Chl } a_b)/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.6~5.1	1.6±0.8	0.9~6.7	2.2±1.4	0.7~5.1	1.8±1.0	0.5~7.4	2.1±1.4

表 2 各季节影响浮游动物丰度的重要复合环境因子(Spearman 等级相关)

季节	变量数目	相关性(ρ)	选择变量
春季	3	0.460	D, DO_b, T_b
	3	0.455	D, T_b, S_b
	3	0.453	D, T_b, S_s
夏季	3	0.529	$T_b, c(\text{Chl } a_s), c(\text{Chl } a_b)$
	3	0.523	$DO_s, c(\text{Chl } a_s), c(\text{Chl } a_b)$
	3	0.522	$T_s, c(\text{Chl } a_s), c(\text{Chl } a_b)$
秋季	3	0.341	$D, T_b, c(\text{Chl } a_b)$
	3	0.340	$D, DO_s, c(\text{Chl } a_b)$
	3	0.339	$T_s, T_b, c(\text{Chl } a_b)$
冬季	1	0.274	D
	2	0.259	D, S_b
	2	0.259	D, DO_s

3.4 浮游动物优势种组成

本海区共计 13 种优势种(表 3)。肥胖软箭虫和亚强次真哲水蚤在四季均为优势种。间型莹虾也分别在春、夏和冬季保持有较高的优势水平。春季,优势种计有 7 种,其丰度占该季浮游动物总丰度的 63.1%;夏季,计有优势种 5 种,占总丰度的 70.3%;秋季,计有 6 种,占总丰度的 77.5%;冬季,计有 8 种,占总丰度的 71.3%。对总丰度贡献值 β 最高的种类具有较强的群集特性,其丰度的水平变化对各季总丰度的变化趋势具有关键的影响作用;而第一优势种具有数量多、出现率高、分布相对均匀的特性。

依据公式(2)计算得到优势种更替率 R ,可以看出本海区优势种存在明显的季节演替,秋季→冬季的

更替率最高,达 72.7%,其次为冬季→春季(63.6%)和夏季→秋季(62.5%),春季→夏季的最低也有 50.0%。图 5 展示了优势种的季节更替变化,其中暖温带种类中华哲水蚤 *Calanus sinicus* 仅在春季出现,是典型的季节分布种;暖水广布种类肥胖软箭虫在夏、秋两季丰度较高,冬春两季则随水温的降低其数量有所减少;暖水沿岸种亨森莹虾随夏、秋和冬季海区的平均水温下降(见图 2a)其丰度显著减少,而广温广盐种间型莹虾在季节变化上并不显著;此外,生态类型相近的种类在季节变化上相互演替,如外海种类的亚强次真哲水蚤和精致真刺水蚤,近岸种类的双生水母 *Diphyes chamissonis* 和拟细浅室水母 *Lensia subtiloides* 等。

表 3 北部湾北部调查海域浮游动物优势种优势度(Y)及对总丰度的贡献值(β)

优势种	春季		夏季		秋季		冬季	
	Y	β	Y	β	Y	β	Y	β
肥胖软箭虫 <i>Flaccisagitta enflata</i>	0.178	0.44	0.319	0.54	0.317	0.38	0.166	0.64
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	0.153	0.50					0.108	0.22

续表 3

优势种	春季		夏季		秋季		冬季	
	Y	β	Y	β	Y	β	Y	β
间型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	0.060	0.33	0.048	0.22			0.025	/
亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	0.039	/	0.076	/	0.186	0.32	0.231	0.29
双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i>	0.039	/					0.025	0.20
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.033	0.21						
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	0.021	0.20	0.074	0.24				
百陶带箭虫 <i>Zonosagitta bedoti</i>							0.020	/
亨森莹虾 <i>Lucifer hansenii</i>			0.052	0.75	0.091	0.12		
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>					0.041	0.46	0.022	0.46
鸟喙尖头溞 <i>Penilia avirostris</i>					0.028	0.15		
椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i>					0.027	/		
微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>							0.023	0.12

注:显著性水平 $p \geq 0.05$ 的标准回归系数 β 未给予显示。

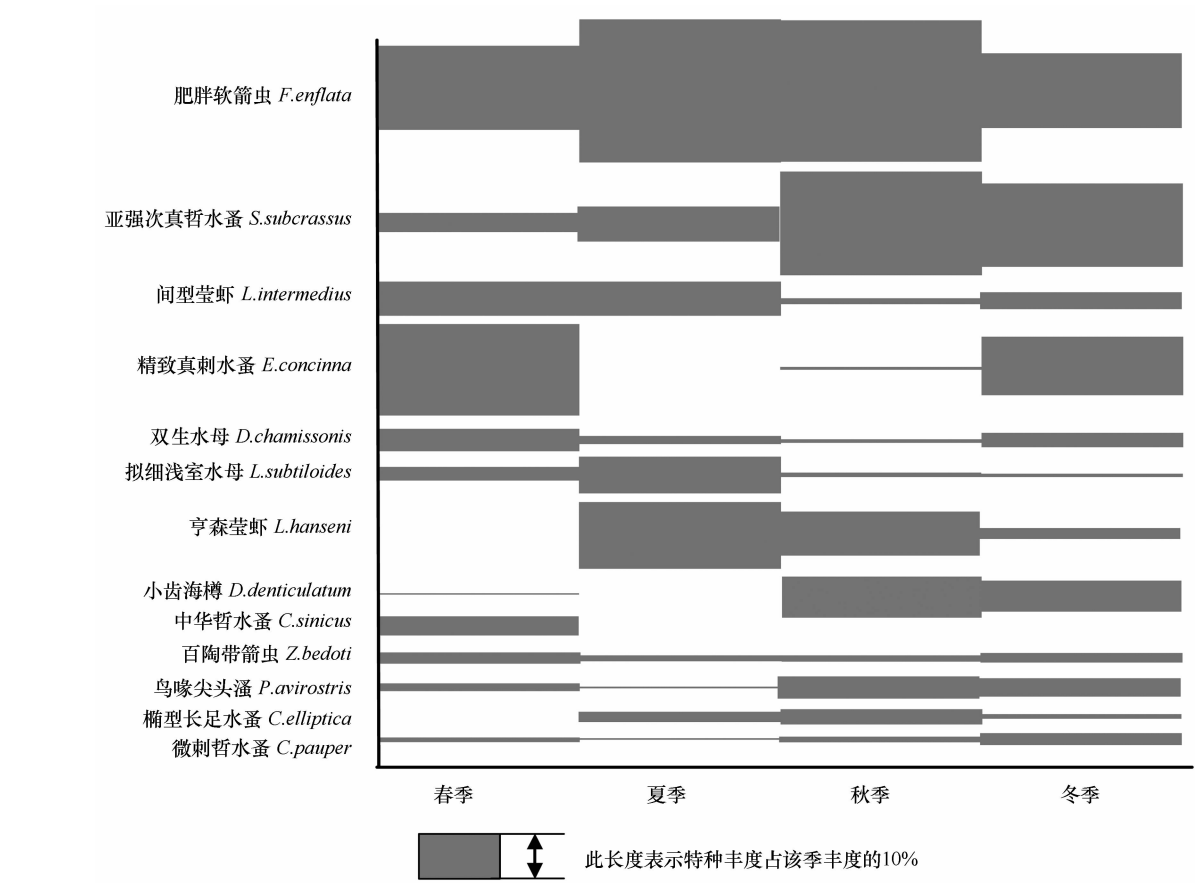


图 5 北部湾北部优势种季节更替变化

4 讨论

4.1 影响丰度变化的主要环境因素

浮游动物自主游动能力很弱,“随波逐流”是其主

要的运动形式;此外,浮游动物也是个“机会主义者”,它们常常不能主动选择环境,“随遇而安”是其主要的生活策略。在复杂的海洋生态系统中它们的种群数量扩增和分布区域的扩大常受到各种环境因子的影

响和制约,其中水温和盐度是影响浮游动物分布的关键因素^[11-12]。此外,浮游植物既能为浮游动物提供丰富的饵料来源,悖之,浮游植物水华或赤潮也将制约浮游动物的生长、繁殖。影响浮游动物数量和分布的环境因子往往是综合的而不是单一的作用。经等级相关分析后筛选的复合环境因子可以看出,本海区各季节起到关键影响作用的环境因子不尽相同,与影响浮游动物种类数的环境因子相比较^[13],温度和叶绿素 a 浓度对数量分布的影响更为显著,盐度的影响作用较弱(见表 2)。水深对浮游动物数量分布的影响极为显著,反映出浮游动物数量在垂直分布上随水深增加的趋势。

春季,底层温度和盐度是关键环境因子(见表 2)。从环境因子的变化格局上来看,底层温度和表层盐度均呈近岸低远岸高的趋势,与浮游动物的丰度分布呈较高的一致性。该季节暖温带种类中华哲水蚤、百陶带箭虫等侵入本海域并在群落中占有一定的地位和数量,成为该季节的优势种之一(见表 3,图 5)。春季本区较低的水温(19.3~23.7℃)和较低的盐度(31.9~33.7)环境适宜这些种类的生存使得该季节影响浮游动物的主要环境因子为水温和盐度。显然,该季节本海区的主要环境特点与粤西沿岸流经由琼州海峡的侵入不无相关。

夏季,水温全年最高,浮游动物群落中暖水性种类激增。与春季的环境特点相比,较高的水温为这些暖水性种类提供了良好的环境,浮游植物作为浮游动物的饵料基础成了制约浮游动物数量和分布的主要环境因子。在调查海区的东北角出现浮游动物数量的密集中心。据同期调查资料显示^[14],该区为叶绿素 a 浓度高于 3 mg/m³ 的高值区。丰富的饵料资源为浮游动物提供适宜的繁殖环境。值得注意的是,本海域深水区是叶绿素 a 浓度小于 0.3 mg/m³ 的低值区^[14],较低的饵料浓度是导致该区浮游动物丰度锐减的关键因素。

秋季,底层叶绿素 a 浓度和温度起到关键作用。远岸大范围海域均为浮游动物的丰度高值区。秋季,水温开始下降,东北季风增强,水体扰动加大,跃层逐渐消失,表层营养盐得到补充,浮游植物进入生长旺季^[14]。此时,初级生产力均值高达 669.36 mg/(m²·d),远高于其他三季^[15]。叶绿素 a 浓度大于 3 mg/m³ 的高值区主要位于本区水深大于 30 m 的海域^[14],与浮游动物丰度分布呈较高的一致性。该季节的绝对优势种小齿海樽是滤食性动物,丰富的饵料来源促使

其大量繁殖而致。

冬季,陆源径流处于枯水期,南海次表层水退缩至北部湾湾口处^[16],在东北季风的影响下粤西沿岸流势力范围扩大,加上低温的水体环境,促使北部湾北部水体混合程度较强,环境因子的变化格局并不明显。浮游动物数量高值区位于广西近岸,鸟喙尖头蚤是主要优势种,该种是典型的暖水近岸种,近岸低盐的水体环境适宜其生存和繁殖。

4.2 优势种的生态适应

浮游动物的群落结构随着海流的季节性消长而呈现周期性的规律变化特征,不仅种类组成更迭频繁,群落中各种间的数量关系也不断发生变动。尤其是优势种,其数量的时空分布很大程度上左右了浮游动物总丰度的变化。因此,了解优势种的生态适应以及优势种与海流的关系是研究浮游动物群落结构的基础。

亨森莹虾在本海区的夏、秋两季数量大幅攀升,并在沿岸海域形成高丰度区。魏静梅等^[17]对北部湾莹虾类生态学研究表明,亨森莹虾的高值区位于涠洲岛东北侧,最适温度为 30.3℃、最适盐度为 32.81。徐兆礼^[18]对东海十足类的分析表明,亨森莹虾主要出现在东海南部近海和外海,水温 26.27℃,表层盐度 33.50。本文研究发现,夏季亨森莹虾在广西北海沿岸高度聚集形成密集中心,而在远岸海域受强劲的高盐海水影响,盐度梯度变化显著,大范围海域盐度大于 33,亨森莹虾的数量大幅减少。入秋后,亨森莹虾的分布范围向南延伸,但高丰度区却依然集中在盐度 29.0~32.5 之间的海域。笔者认为,亨森莹虾在北部湾北部适应低盐的能力较强,这可能是在长期进化过程中形成的适应性。该种的分布特征与汤氏长足水蚤 *C. thompsoni* 有较大的相似性,可作为北部湾北部沿岸水团的指示种^[19]。

亚强次真哲水蚤为沿岸暖水种,在本海区 4 个季节均为优势种,并在冬季占据第一优势水平。同期数据表明该种在冬季北部湾亦为第一优势种($Y=0.162$)^[20],且主要分布于北部湾中北部海区^[19]。对比历史数据,在南海北部亚强次真哲水蚤虽为优势种,但其优势水平远低于微刺哲水蚤 *C. pauper* 和普通波水蚤 *Undinula vulgaris*^[21]。本文作者认为亚强次真哲水蚤在南海的高丰度区主要集中在北部湾北部。据徐兆礼^[22]研究表明,该种的丰度变化与黑潮暖流势力密切相关,在东海的优势性主要表现在夏、秋季。而在本次调查中,亚强次真哲水蚤在秋季的丰

度均值最高(34.0 ind/m³),密集中心均位于白龙尾岛东侧海区,该区在秋季是以冲淡水和粤西沿岸流汇合的沿岸混合水海域^[23];冬季的丰度均值达 31.9 ind/m³,密集中心位于低盐的混合水团^[24]。亚强次真哲水蚤是混合水系的消长和推移的良好指示种。据潘非斐等^[19]同期数据研究显示,在稳定高温的三亚暖水海域,亚强次真哲水蚤并未形成高丰度区。而张武昌等^[25]对广东近海哲水蚤的研究显示,亚强次真哲水蚤在夏季成为优势种,而冬季丰度较低。这就表明,该种可能是由粤西沿岸流带入湾内的,夏季环境适宜该种在广东近海大量繁殖,但受西南季风的影响,粤西沿岸流具有时滞性,到冬季东北季风强盛,沿岸流携带亚强次真哲水蚤涌入湾内,并形成高丰度区。

中华哲水蚤是典型的偏低温低盐的暖温带近岸种,在我国渤海、黄海、东海近岸区及台湾海峡均有分布^[26],其生态地位近似于北大西洋的飞马哲水蚤 *C. finmarchicus*。林元烧和李松^[27]对厦门港中华哲水蚤的生活周期进行研究时发现,当水温高达 24℃时,中华哲水蚤便开始消失。黄加祺和郑重^[28]等对中华哲水蚤的耐温、盐实验表明,在保证 90%存活率的条

件下,温度上限为 23.2℃,而适盐范围为 17.5~43.0;而当温度上升至 28.1℃时,存活率降低至 10%。这表明,中华哲水蚤对于温度的敏感性更强。在北部湾北部,春季水温变化范围为 19.3~23.7℃,符合中华哲水蚤的生存条件,中华哲水蚤仅在该季出现并成为优势种,出现率为 77.5%,总丰度达 179.0 ind/m³,并在琼州海峡入湾口形成密集中心。据潘非斐等^[19]同期资料研究表明,中华哲水蚤在夏季出现于三亚以南水温低于 23℃的底层水,并推测这是由春季粤西沿岸流沿海南岛东侧沿岸带入的,随夏季水温上升中华哲水蚤垂直下移并栖居于底层水。Yin 等^[29]发现夏季海南岛东侧上升流海域水温较低,适宜中华哲水蚤在此度夏。在夏季北部湾北部,表层最低水温骤升至 30.0℃,底层最低温也高达 26.6℃,不适宜该种生存。由此,作者认为夏季北部湾北部高温的水体环境不仅抑制中华哲水蚤的繁殖,同时也是其大量消亡的关键原因。“机会主义”的中华哲水蚤在夏季种群得不到补充,又因沿岸流的时滞效应,使得中华哲水蚤的种群补充延迟到来年春季,故在本次调查海域的秋、冬两季未见有该种类。

参考文献:

- [1] 林元烧,曹文清,杨圣云,等. 北部湾环境与生物研究概述及相关科学问题探讨[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第1辑). 北京:海洋出版社,2008: 162—170.
- [2] 国家海洋局 908 专项办公室. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京:海洋出版社,2006.
- [3] 杨关铭,何德华,王春生,等. 台湾以北海域浮游桡足类生物海洋学特征的研究 II. 群落特征[J]. 海洋学报,1999,21(6): 72—80.
- [4] 张芳,孙松,杨波. 胶州湾水母类生态研究 I. 种类组成与群落特征[J]. 海洋与湖泊,2005,36(6): 507—517.
- [5] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与蛤蜊渔场的关系[J]. 生态学杂志,1989,8(4): 13—15.
- [6] 陈亚瞿,徐兆礼. 南黄海、东海鲷类鱼索饵场浮游动物生态特征[J]. 应用生态学报,1990,1(4): 327—332.
- [7] 中国科学院计算中心概率统计组. 概率统计计算[M]. 北京:科学出版社,1979: 105—144.
- [8] 陈波. 北部湾水系形成及其性质的初步探讨[J]. 广西科学院学报,1986,2: 92—95.
- [9] 谭光华. 北部湾海区水文结构及其特征的初步分析[J]. 海洋湖沼通报,1987,4: 7—15.
- [10] 孙双文,王毅,兰健. 2006 年夏季及冬季北部湾东部的海洋水文特征与环流[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第1辑). 北京:海洋出版社,2008: 64—72.
- [11] 陈亚瞿,徐兆礼,王云龙,等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 II. 种类组成、群落结构、水系指示种[J]. 中国水产科学,1995,2(1): 59—63.
- [12] 朱延忠. 夏、冬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,2008.
- [13] 郑白雯,曹文清,林元烧,等. 北部湾北部浮游动物若干生态特征研究 I. 浮游动物种类组成及其时空变化[J]. 海洋学报,2013,35(6): 154—161.
- [14] 吴易超,郭丰,黄凌风,等. 北部湾叶绿素 a 含量的分布特征与季节变化[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第3辑). 北京:海洋出版社,2011: 1—10.
- [15] 吴易超,郭丰,黄凌风. 北部湾初级生产力的分布特征与粒级结构[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第3辑). 北京:海洋出版社,2011: 11—22.
- [16] 陈胜利,胡建宇,孙振宇,等. 2006 年冬季北部湾东部海区的水团分析[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第2辑). 北京:海洋出版社,2009: 120—126.
- [17] 魏静梅,林元烧,曹文清,等. 北部湾莹虾类生态学研究[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第3辑). 北京:海洋出版社,2011: 78—89.

- [18] 徐兆礼. 东海浮游十足类优势种环境适应的研究[J]. 水产学报, 2005, 29(6): 762—768.
- [19] 潘非斐, 曹文清, 林元烧, 等. 北部湾东侧海域桡足类种类组成及其时空分布[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第3辑). 北京: 海洋出版社, 2011: 36—54.
- [20] 郭东晖, 黄加祺, 李少菁, 等. 北部湾夏、冬两季浮游动物生态学研究 I. 种类组成与数量分布[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第1辑). 北京: 海洋出版社, 2008: 222—236.
- [21] 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.
- [22] 徐兆礼. 东海亚强真哲水蚤种群生态特征[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1151—1158.
- [23] 孙振宇, 胡建宇, 李炎, 等. 北部湾北部海区冲淡水及沿岸混合水分布的季节变化[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第2辑). 北京: 海洋出版社, 2009: 85—91.
- [24] 陈胜利, 胡建宇, 孙振宇, 等. 2006年冬季北部湾东部海区的水团分析[C]// 北部湾海洋科学研究论文集(第2辑). 北京: 海洋出版社, 2009: 120—125.
- [25] 张武昌, 高尚武, 孙军, 等. 南海北部冬季和夏季浮游哲水蚤类群落[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 448—458.
- [26] 郑重, 李少菁, 连关山. 海洋桡足类生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [27] 林元烧, 李松. 厦门港中华哲水蚤生活周期的初步研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1984, 2: 111—116.
- [28] 黄加祺, 郑重. 温度和盐度对厦门港集中桡足类存活率的影响[J]. 海洋与湖沼, 1986, 17(2): 161—167.
- [29] Yin Jianqiang, Huang Liangmin, Li Kaizhi, et al. Abundance distribution and seasonal variations of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the northwest continental shelf of South China Sea[J]. Continental Shelf Research, 2011, 31: 1447—1456.

Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf

II. Quantitative distribution and dominant species of zooplankton

Zheng Baiwen¹, Cao Wenqing¹, Lin Yuanshao¹, Zheng Lianming¹, Zhang Wenjing¹, Yang Weidi¹, Wang Yujie¹

(1. College of Ocean and Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The distribution of zooplankton abundance and biomass in northern Beibu Gulf were studied based on the samples collected by vertically towing a net (80 cm diameter, 505 μm mesh) including biological, chemical and hydrographic investigation from July 2006 to December 2007. This study was important to know the variation of zooplankton abundance, biomass and dominant species. Environmental factors which affected the zooplankton abundance were tested using spearman rank correlation by BIOENV of PRIMER 5.0. The study showed that both abundance and biomass of zooplankton in northern Beibu Gulf varied clearly with season. The average of abundance was $(183.5 \pm 142.9) \text{ ind}/\text{m}^3$, while the average biomass was $(139.5 \pm 116.8) \text{ ind}/\text{m}^3$. There was a gradual increase in the abundance from inshore to offshore in spring and autumn, while the abundance was high inshore in summer and winter. The abundance was the highest in autumn, followed by summer, winter and spring. Biomass horizontal distribution was similar with abundance, but varied differently during four seasons, in the order of spring, autumn, winter and summer. The correlation between abundance and environmental factors was significant. Depth, temperature and chlorophyll a were the main factors. *Flaccisagitta enflata*, *Subeucalanus subcrassus* and *Lucifer intermedius* dominated in northern Beibu Gulf especially. The dominant species changed dramatically during four seasons.

Key words: zooplankton; quantitative distribution; ecological adaptation; dominant species; northern Beibu Gulf