

粤西海域饵料生物水平及多样性研究

蔡文贵¹, 李纯厚¹, 林 钦¹, 李荣冠², 贾晓平¹

(1. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300; 2. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要:根据1998~1999年春、夏、秋、冬4个航次粤西海域饵料生物的调查资料,在GIS的支持下利用数据插值、栅格图形加权平均和数学运算模型等空间分析手段对该海域饵料生物栖息密度的时空分布特征及其生物多样性进行了综合的分析和评价。结果表明,调查期间粤西海域饵料生物的综合水平均呈现出近岸水域高、离岸水域低的分布趋势,即从北向南呈递减趋势。整个海域以冬季的饵料生物水平最高,其密集分布区范围最广,达5级水平;春季和秋季密集区的分布范围较为相似;而夏季饵料生物的密集区范围较小,仅为3级水平。在季节变化趋势上,浮游动物和底栖生物数量为冬季大于夏季大于秋季大于春季,浮游植物数量为冬季大于秋季大于夏季大于春季,总体以冬季水平最高,春季水平最低。调查期间粤西海域各个季节之间饵料生物多样性指数和均匀度相差不大,其平均值变化范围分别为3.02~3.43和0.60~0.72,显示出稳定的多样性水平。多样性阈值的分布较为均匀,绝大部分水域为2~3级水平,个别水域达4级水平,其密集区基本分布于整个海域的中部或南部,总体上以离岸水域的多样性阈值高于近岸水域,但各个季节的平面分布趋势略有差异,表现为密集区出现的范围和水域稍有不同。

关键词:GIS; 粤西海域; 饵料生物; 多样性阈值

中图分类号:S922.95 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2004)05-0440-08

浮游植物、浮游动物和底栖生物等饵料生物数量变动与鱼类区系的组成和鱼类种群数量有着密切的关系^[1-2],因此研究水域饵料生物的资源状况,对深入探讨水域生态环境、水生生物区系、群落组成和鱼类资源变化都有重要的科学价值和实际意义。自20世纪50年代以来,我国在南海北部海域进行过一系列海洋渔业生态环境的勘测和调查^[3-7]。但这些勘测和调查或仅限于局部海域,或调查年代已较久远,或调查的项目有限,而且有关该海域特别是粤西海域饵料生物水平的系统性资料甚少,仅在1959~1960年所进行的全国性综合调查中曾有过报道^[1]。因此,为了进一步了解和掌握粤西海域饵料生物水平的现状及其动态变化,本研究根据1998~1999年春、夏、秋、冬4个航次粤西海域饵料生物的调查资料,在GIS的支持下利用数据插值、栅格图形加权平均和数学运算模型等空间分析手段对该海域饵料生物水平的时空分布特征及其生物多样性进行

了综合的分析和评价,旨在摸清饵料生物数量和种群的变化规律,从而为研究该海域渔业资源的变动状况及渔场渔汛的预测预报提供科学的依据和手段。

1 材料与方法

1.1 站位设置

站位的布设如图1所示,共设11个站位,调查于1998~1999年春季、夏季、秋季和冬季4个航次进行,分别采集各个站位的浮游植物、浮游动物和底栖生物样品,所有样品均用5%的中性福尔马林溶液固定保存,带回实验室分析和测定。

1.2 样品分析

浮游植物、浮游动物和底栖生物样品分别进行种类的鉴定以及栖息密度和生物量的测定。样品的采集、分析和测定均按《海洋监测规范》^[8]所规定的方法进行。

收稿日期:2004-01-02; 修订日期:2004-03-29.

基金项目:国家海洋勘测专项(HY126-02-03);广东省重大科技兴海项目(A200099E01)。

作者简介:蔡文贵(1965-),男,副研究员,主要从事渔业生态环境及GIS研究。E-mail:wengucui@163.net

通讯作者:贾晓平。E-mail:jiaxiaoping53@163.com

1) 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 全国海洋综合调查报告(第八册). 中国近海浮游生物的研究[M]. 1964. 1~159.

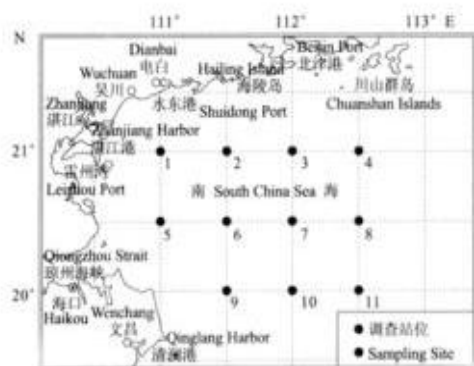


图1 粤西海域饵料生物调查站位

Fig. 1 Sampling sites for food organisms in the West Guangdong Sea Area

1.2.1 浮游植物 浮游植物采用小型浮游生物网(网口直径37 cm,网目孔径0.076 mm)由底层至表层垂直拖网1次,样品用浓缩计数法取样显微分类计数。

1.2.2 浮游动物 浮游动物采用大型浮游生物网(网口直径80 cm,网目孔径0.507 mm)由底层至表层垂直拖网1次,样品称量湿重总生物量和饵料生物量,并分类计数个体数量。

1.2.3 底栖生物 采用0.25 m²改良式大洋“50”型采泥器定点采集,每站采2斗,泥样用双层套筛冲筛,样品测定湿重生物量和分类计数个体数量。

1.3 GIS 软件

用美国ESRI公司ArcGIS V8.3及其扩展模块Spatial Analysis作为饵料生物综合评价的工具。

1.4 空间分析

1.4.1 数据插值 目前海洋生物的调查还处于以站点采样为主要手段的阶段,由于站点布置的局限性会对调查结果产生一定的偏差,因此在分析处理过程中必须对调查区域进行插值计算,以尽可能减小分析结果的误差程度。本研究在GIS技术的支持下,利用Kriging插值法,在区域变化理论的基础上根据相邻样本间的自相关程度,对一个邻域范围内任何一个空间位置点进行无偏、最优的估值,对插值结果进行时空分布模拟^[9]。插值过程中指定插值范围为整个调查区域,在此基础上对粤西海域饵料生物的平面分布趋势进行模拟。

1.4.2 加权运算 采用ArcGIS的空间分析模块(Spatial Analysis)对粤西海域浮游植物、浮游动物和底栖生物进行分级评价,评价过程中调用模块的加

权平均复合程序和数学运算模型^[10],按照相应的分级标准,分别对浮游植物、浮游动物和底栖生物进行分级评价,然后赋予这3种饵料生物相应的权重值,在此基础上对其分级评价结果进行加权平均和整合,从而确定该海域饵料生物的综合分级水平。计算公式如下^[11]:

$$G_p = W_i C_{ip}$$

式中: G_p 表示 p 点的最终结果值, W_i 表示第 i 个要素的权重(本文中浮游植物、浮游动物和底栖生物取相等的权重值,且三者之和为1), C_{ip} 表示第 i 个要素在 p 点的类别的分级。

1.5 评价方法

1.5.1 评价公式^[12]

$$D_s = H' \times J; H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i; J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

式中: D_s 为多样性阈值, H' 为Shannon-Wiener多样性指数, J 为均匀度。 i 为第 i 种样品, S 为测站中出现的种数, P_i 为测站中第 i 种样品的个体数在全部样品中所占的比例。而对于底栖生物来说,因每个种的个体相差可能很大,以个体数来计算不大恰当,因此本文用生物量(w)来代替个体数,计算公式为^[12]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (W_i/W) \log_2 (W_i/W)$$

1.5.2 评价等级划分 表1和表2分别列出了饵料生物水平及其生物多样性阈值的分级评价标准^[13-14]。

2 评价结果

2.1 饵料生物水平

表3列出了不同季节粤西海域饵料生物的生物量变化范围及平均值。

2.1.1 平面分布 在GIS的支持下对粤西海域饵料生物水平进行了综合的分析和评价,其结果如图2所示。从图2中可看出,调查期间粤西海域饵料生物的综合水平均呈现出近岸水域高、离岸水域低的分布趋势,即从北向南呈递减趋势。相比较来说,整个海域以冬季的饵料生物水平最高,其密集分布区范围最广,达5级水平,出现于雷州半岛至海陵岛附近的沿岸水域中(图2d和表3);春季和秋季密集区的分布范围较为相似,均出现于电白水东港附近的沿岸水域(图2a和2c);而夏季饵料生物的密集区出现于川山群岛西南侧水域,其范围较小,仅为3级水平(图2b)。

表 1 饵料生物水平分级评价标准
Table 1 The evaluation standard for the level of food organisms

项 目 Item	评价等级 Evaluation class					
	1	2	3	4	5	6
浮游植物/($\times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$) Phytoplankton	<20	20-50	50-75	75-100	100-200	>200
浮游动物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) Zooplankton	<10	10-30	30-50	50-75	75-100	>100
底栖生物/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) Benthos	<5	5-10	10-25	25-50	50-100	>100
分级描述 Description	低水平 Low	中低水平 Low-medium	中等水平 Medium	中高水平 Medium-high	高水平 High	超高水平 Super-high

表 2 生物多样性阈值的分级评价标准
Table 2 The classes and evaluation standard for the threshold of biodiversity

项目 Item	评价等级 Evaluation class				
	1	2	3	4	5
阈值 D , Threshold D	<0.6	0.6-1.5	1.6-2.5	2.6-3.5	>3.5
等级描述 Description	多样性差 Poor	多样性一般 Normal	多样性较好 Well	多样性丰富 Abundant	多样性非常丰富 Very abundant

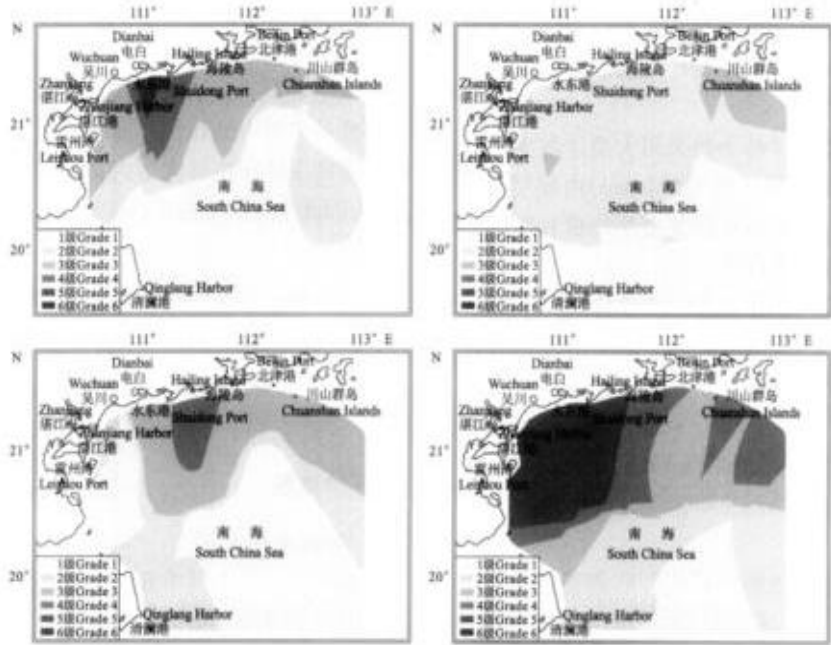


图 2 粤西海域饵料生物等级水平
(a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季)

Fig. 2 The grade level of the food organisms in the West Guangdong Sea Area
(a. Spring; b. Summer; c. Autumn; d. Winter)

表 3 粤西海域饵料生物的生物量
Table 3 Food organism mass in the West Guangdong Sea Area

项目 Item	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
浮游植物/($\times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$) Phytoplankton	1.01-1145.03(11.17)	0.74-67.27(15.64)	0.65-1378.22(149.75)	0.29-1378.22(412.70)
浮游动物/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) Zooplankton	1.76-148.44(24.49)	2.70-66.50(32.71)	4.60-36.50(17.00)	12.40-157.10(58.44)
底栖生物/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) Benthos	0.72-13.96(6.02)	2.64-29.72(10.47)	0.40-21.76(7.20)	2.40-37.00(16.72)

注:括号内数值为平均值。
Note: Data in brackets are mean values.

2.1.2 季节变化 浮游动物和底栖生物量季节变化趋势为冬季大于夏季大于秋季大于春季,浮游植物为冬季大于秋季大于夏季大于春季,总体上均以冬季饵料生物水平最高,春季最低(表3和图3)。

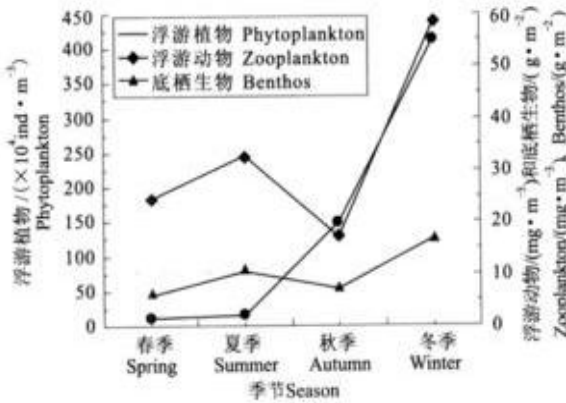


图3 粤西海域饵料生物的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the food organisms in the West Guangdong Sea Area

2.2 主要优势种

调查期间共鉴定出浮游植物 267 种,以硅藻和甲藻为主要类群;浮游动物 281 种,以桡足类和毛颚动物为主;底栖生物 175 种,种类组成以多毛类、软体动物和甲壳动物为主。表 4 列出了粤西海域饵料生物在不同季节的主要优势种(优势度大于 0.02)。从表中可知,粤西海域饵料生物的优势种具有明显的季节交叉和演替现象,其中,浮游植物中的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)为春、夏季的优势种,伏氏海毛藻(*Thalassiothrix frauenfeldii*)、小舟形藻(*Navicula subminuscule*)和菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)为夏、秋季的优势种,而细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)则为秋、冬季的优势种;肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)和桡足类幼体(*Copepoda larva*)为浮游动物的全年优势种;在底栖生物中,日本美人虾(*Callinassa japonica*)为春、夏和秋季的优势种,背蚓虫(*Notomastus* sp.)和独指虫(*Aricidea fragilis*)则分别为夏、冬季和秋、冬季的优势种。

表 4 粤西海域饵料生物主要优势种

Table 4 Main dominant species of the food organisms in the West Guangdong Sea Area

项目 Item	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	物种	Species	物种	Species	物种	Species	物种	Species
浮游植物 Phytoplankton	短角弯角藻、旋链角毛藻、中肋骨条藻	<i>Eucampia zodiacus</i> , <i>Chaetoceros curvisetus</i> , <i>Skeletonema costatum</i>	伏氏海毛藻、小舟形藻、圆藻、菱形海线藻、中肋骨条藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> , <i>Navicula subminuscule</i> , <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Skeletonema costatum</i>	菱形海线藻、细弱海链藻、伏氏海毛藻、小舟形藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiosira subtilis</i> , <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> , <i>Navicula subminuscule</i>	细弱海链藻、密联海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i> , <i>Thalassiosira densus</i>
浮游动物 Zooplankton	肥胖箭虫、桡足类幼虫、莹虾幼体、异尾宽水蚤、中型莹虾、细螯虾幼体、毛颚类幼虫、长尾类幼虫	<i>Sagitta enflata</i> , <i>Copepoda larva</i> , <i>Lucifer larva</i> , <i>Temora discaudata</i> , <i>Lucifer intermedius</i> , <i>Leptochela larva</i> , <i>Chaetogantha larvae</i> , <i>Macruran larva</i>	桡足类幼虫、锥形宽水蚤、肥胖箭虫、微刺哲水蚤、长尾类幼虫、莹虾幼体、普通波水蚤、异尾宽水蚤、叉胸刺水蚤、驼背隆哲水蚤	<i>Copepoda larva</i> , <i>Temora turbinata</i> , <i>Sagitta enflata</i> , <i>Carthocalanus pauper</i> , <i>Macruran larva</i> , <i>Lucifer larva</i> , <i>Undinula vulgaris</i> , <i>Temora discaudata</i> , <i>Centropages furcatus</i> , <i>Acrocalanus gibber</i>	桡足类幼虫、微刺哲水蚤、精致真刺水蚤、亚强真哲水蚤、驼背隆哲水蚤、针刺真浮蚤、普通波水蚤、肥胖箭虫	<i>Copepoda larva</i> , <i>Canthocalanus pauper</i> , <i>Euchaeta concinna</i> , <i>Eucalanus subcrassus</i> , <i>Acrocalanus gibber</i> , <i>Euconchoecia aculeata</i> , <i>Undinula vulgaris</i> , <i>Sagitta enflata</i>	桡足类幼虫、住囊虫、针刺拟哲水蚤、肥胖箭虫	<i>Copepoda larva</i> , <i>Oikopleura</i> sp., <i>Paracalanus aculeatus</i> , <i>Sagitta enflata</i>
底栖生物 Benthos	日本美人虾、梳鳃虫	<i>Callinassa japonica</i> , <i>Terbellides stromii</i>	背蚓虫、日本美人虾、弦毛内卷齿虫	<i>Notomastus</i> sp., <i>Callinassa japonica</i> , <i>Aglapophamus lyrochaeto</i>	日本美人虾、革囊星虫、独指虫	<i>Callinassa japonica</i> , <i>Phascolosomatidea</i> , <i>Aricidea fragilis</i>	独指虫、背鳃虫、丝鳃椎齿虫	<i>Aricidea fragilis</i> , <i>Notomastus</i> sp., <i>Prionospio malmgreni</i>

2.3 生物多样性

2.3.1 多样性指数(H')及均匀度(J') 各个季节之间饵料生物多样性指数和均匀度相差不大,其平均值变化范围分别为 3.02 ~ 3.43 和 0.60 ~ 0.72,

显示出稳定的多样性水平(表5)。相比较之下,浮游植物和浮游动物的多样性水平要高于底栖生物,这主要是由于不同的生活习性所造成的。

表5 粤西海域饵料生物多样性指数

Table 5 Biodiversity indexes of food organisms in the West Guangdong Sea Area

项目 Item	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	H'	J'	H'	J'	H'	J'	H'	J'
浮游植物 Phytoplankton	1.63 ~ 4.46 (3.65)	0.26 ~ 0.88 (0.70)	1.25 ~ 4.31 (2.86)	0.23 ~ 0.81 (0.59)	2.09 ~ 4.38 (3.16)	0.45 ~ 0.87 (0.68)	0.72 ~ 4.70 (3.11)	0.15 ~ 0.90 (0.64)
浮游动物 Zooplankton	3.46 ~ 4.49 (3.80)	0.01 ~ 0.94 (0.71)	3.40 ~ 5.32 (4.35)	0.65 ~ 0.88 (0.76)	2.82 ~ 4.00 (3.41)	0.57 ~ 0.97 (0.72)	3.11 ~ 4.15 (3.85)	0.54 ~ 0.82 (0.68)
底栖生物 Benthos	0.82 ~ 2.52 (1.97)	0.36 ~ 0.92 (0.60)	2.02 ~ 4.19 (3.08)	0.46 ~ 0.91 (0.70)	2.16 ~ 3.39 (2.87)	0.60 ~ 0.88 (0.76)	0.65 ~ 3.41 (2.11)	0.14 ~ 0.80 (0.48)
综合水平 Synthetic level	0.82 ~ 4.49 (3.14)	0.01 ~ 0.94 (0.67)	1.25 ~ 5.32 (3.43)	0.23 ~ 0.91 (0.68)	2.09 ~ 4.38 (3.15)	0.45 ~ 0.97 (0.72)	0.65 ~ 4.70 (3.02)	0.14 ~ 0.90 (0.60)

注:括号内数值为平均值。

Note: Data in brackets are mean values.

2.3.2 多样性阈值 在 GIS 的支持下对粤西海域饵料生物多样性阈值水平进行了综合的分析和评价,其结果如图4所示。调查期间粤西海域饵料生物多样性阈值的分布较为均匀,绝大部分水域为2~3级水平,个别水域达4级水平,其密集区基本分

布于整个海域的中部或南部,总体上以离岸水域的多样性阈值高于近岸水域,但各个季节的平面分布趋势略有差异,表现为密集区出现的范围和水域稍有不同(图4)。

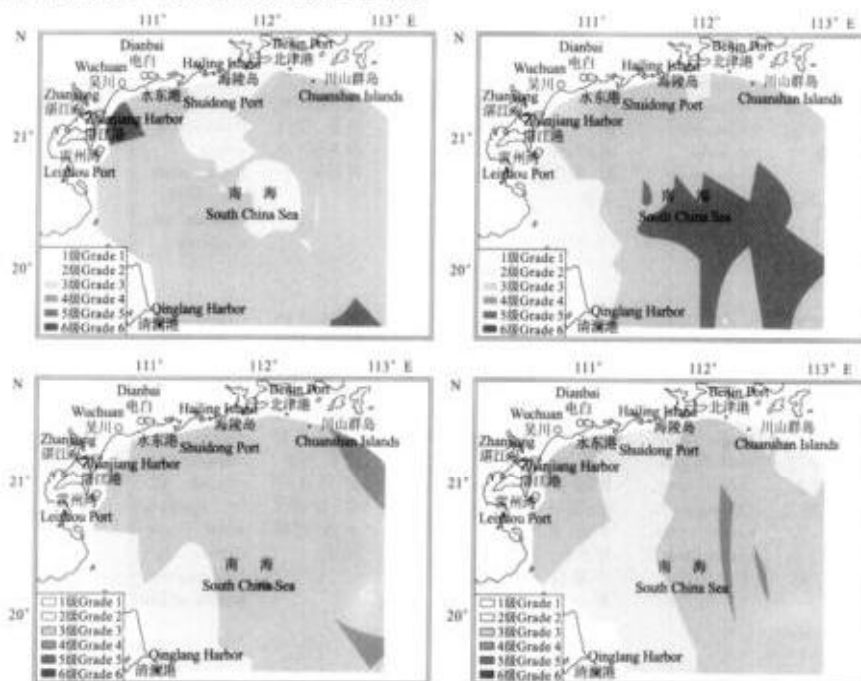


图4 粤西海域饵料生物多样性阈值等级水平

(a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季)

Fig. 4 Grade level of biodiversity threshold of food organisms in the West Guangdong Sea Area

(a. Spring; b. Summer; c. Autumn; d. Winter)

3 讨论

3.1 环境条件的影响

3.1.1 对生物量的影响 研究表明^[15-18],浮游植物和浮游动物的栖息密度与外界的环境因素密切相关,其数量的变动直接受到海流、水团、水温和盐度等水文条件及海水营养盐的影响。粤西海域地处热带及亚热带,沿岸大小河流众多,受到陆源冲淡水、粤东沿海流和南海暖流以及黑潮水的共同影响^[19],致使不同季节该海域饵料生物水平出现不同程度的变化。调查期间由于沿岸城镇生活废水和工农业污水的排放,以及陆源径流带入大量富含有机物的冲淡水,近岸水域盐度降低,营养盐大幅升高,促进了某些种类的浮游植物和浮游动物的生长繁殖^[20-23],从而在近岸水域形成稳定的密集分布区。底栖生物由于其运动能力较弱,基本上处于被动摄食的生活状态,因此其在较浅的近岸水域中的分布要远高于较深的外海水域^[24]。

3.1.2 对生物多样性的影响 如前所述,近岸水域某些种类的饵料生物的大量生长和繁育,在数量上成为主导性的优势种,由于生物之间的相互排斥作用,必然会抑制其他种类的生长和繁殖,其结果导致该水域的生物多样性水平降低^[25]。而在离岸水域,因其栖息环境较为稳定,受外界因素的影响趋弱,环境的异质性较高,各种类的生长繁殖均衡,种间比例较为均匀,因而其生物多样性水平较高^[26]。

3.2 营养盐的影响

营养盐含量的变化直接影响着浮游植物的生长

和繁殖^[27],从而间接影响浮游动物和底栖生物,并最终导致饵料生物水平出现不同程度的变动。同期对粤西海域营养盐的调查表明,该海域营养盐含量的季节变化趋势为冬季大于夏季大于秋季大于春季(表6),可能由于冬季期间南海暖流和黑潮水等外海水团的入侵,为粤西海域带来了丰富的营养盐。充足的营养盐为浮游植物的生长繁殖提供了最根本的物质基础^[28-29],另外,外海水团携带了大量外海种类的浮游植物和浮游动物,致使冬季饵料生物(特别是浮游植物和浮游动物)远高于其他3个季节。因此,粤西海域饵料生物水平的季节变化直接或间接受到营养盐季节变化的影响。

表6 粤西海域营养盐的季节变化

Table 6 Seasonal variation of the nutrients in the West Guangdong Sea Area $\mu\text{mol/L}$

季节 Season	硅酸盐 Silicate	磷酸盐 Phosphate	无机氮 Inorganic nitrogen
春季 Spring	0.73	0.14	1.13
夏季 Summer	5.14	0.18	4.66
秋季 Autumn	1.86	0.18	0.99
冬季 Winter	3.64	0.28	5.21

4.3 与历史资料比较

与20世纪50年代以来的历次调查资料相比^[3-7],本次调查中南海北部饵料生物的种数均高于以往的历次调查,但生物量却比以往的历次调查低(表7);但各次调查的种类组成相近,其生物量的分布均呈近岸水域高、离近水域低或浅水水域高、深

表7 南海北部饵料生物水平年际变化

Table 7 Annual variation of food organisms in northern South China Sea

调查海域 Waters	浮游植物 Phytoplankton		浮游动物 Zooplankton		底栖生物 Benthos		调查年份 Surveying year
	种数 Species number	生物量 Biomass/ ($\times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$)	种数 Species number	生物量 Biomass/ ($\times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$)	种数 Species number	生物量 Biomass/ ($\times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$)	
南海北部 Northern South China Sea	259	100	510	66.0	-	-	1959-1960
南海东北部大陆架 Continental shelf on the northeastern South China Sea	287	815	529	104.6	607	46.80	1979-1982
南海北部 Northern South China Sea	509	85.40	709*	25.3	690	10.83	本次调查 This survey
粤西海域 West Guangdong Waters	267	147.3	281	33.2	175	10.1	本次调查 This survey

* 不含浮游幼虫。

* Without pelagic larva.

水水域低的趋势。与整个海域相比,粤西海域各饵料生物的种类均远低于全海域的平均值,但生物量则基本与全海域的平均值处于同一水平,其中浮游植物的生物量则比全海域的高(表7);在季节变化上,各次调查之间出现差异,其中本次调查粤西海域又异于整个南海北部调查水域,造成这种变化的原因尚不清楚,估计与调查期间调查水域海流和水团的变化状况有关,但还有待进行深入的研究。

参考文献:

- [1] 况琪军,夏宜净,庄德辉,等. 安徽太平湖水体饵料生物资源及其变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 1996, 5(4): 316-320.
- [2] 杨文荣,郭 焱,蔡林钢,等. 赛里木湖饵料生物及渔业现状的研究[J]. 水产学杂志, 2000, 13(1): 1-10.
- [3] 广东省海岸带和海涂资源综合调查大队,广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室,广东省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京:海洋出版社, 1987.
- [4] 农牧渔业部水产局,农牧渔业部南海区指挥部,南海区渔业资源调查和区划[M]. 广州:广东科技出版社, 1989.
- [5] 余勉余,梁超楠,李茂照,等. 广东省浅海滩涂增殖渔业环境及资源[M]. 北京:科学出版社, 1990.
- [6] 郭金富,李茂照,余勉余,等. 广东海岛海域海洋生物和渔业资源[M]. 广州:广东科技出版社, 1994.
- [7] 中国科学院南海海洋研究所. 南海海区综合调查报告(二)[M]. 北京:科学出版社, 1985.
- [8] 国家海洋局. 海洋监测规范[M]. 北京:海洋出版社, 1991.
- [9] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
- [10] 党安荣,贾海峰,易善桢,等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [11] 徐祖魁. GIS 入门与提高[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2001.
- [12] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [13] 贾晓平,杜飞雁,林 钦,等. 海洋渔业生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 160-164.
- [14] 陈清潮,黄良民,尹健强,等. 南海群岛及其邻近海区浮游动物多样性研究[A]. 南海群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I [C]. 北京:海洋出版社, 1994, 42-50.
- [15] 崔 毅,陈碧鹏,马绍赛. 乳山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究[J]. 应用生态学报, 2002, 11(6): 935-938.
- [16] Goldman J C, Glibert P M. Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton [A]. Nitrogen in Marine Environment [C]. New York: Academic Press, 1983. 233-274.
- [17] Perry M J, Eppley R W. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean [J]. Deep-Sea Res, 1981, 28: 39-49.
- [18] 章守宇,邵君波,戴小杰. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨[J]. 水产学报, 2001, 25(6): 512-517.
- [19] 李 磊,李凤岐,苏 洁,等. 1998 年夏、冬季南海水团分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(4): 393-401.
- [20] 毕洪生,孙 松,高尚武,等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 715-721.
- [21] 洪旭光,张锡烈,俞建奎,等. 东海北部黑潮区浮游动物的多样性研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(1): 139-142.
- [22] Agawin N S, Duarte C M, Agustí S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production [J]. Limnol Oceanogr, 2000, 45(3): 591-600.
- [23] Lehman P W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary [J]. Limnol Oceanogr, 2000, 45(3): 580-590.
- [24] 黄洪辉,林燕棠,李纯厚,等. 珠江口底栖动物生态学研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 603-607.
- [25] 周 凯,黄长江,姜 胜,等. 2000-2001 年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 688-698.
- [26] 黄邦钦,刘师成,洪华生. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区浮游植物生态研究: II. 浮游植物的生态类群和区系[A]. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态研究[C]. 北京:科学出版社, 1991. 417-425.
- [27] 林更铭,杨清良,林金美. 渤海湾富营养化与赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1993, 12(6): 40-45.
- [28] 邹景忠,董丽萍,秦保平. 渤海湾富营养化与赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-45.
- [29] 林荣根. 海水富营养化水平评价方法浅析[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(2): 28-31.

Food organism level and biodiversity in the west Guangdong Sea Area

CAI Wen-gui¹, JIA Xiao-ping¹, LI Chun-hou¹, LIN Qin¹, LI Rong-guan²

(1. Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture & Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China; 2. Third Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Xiamen 361005, China)

Abstract: Since 1950, a series of surveys on the fishery ecological environment in the northern South China Sea have been carried out, but the data for food organisms (including phytoplankton, zooplankton and benthos) in the area (especially in the west Guangdong Sea Area) were seldom reported. In order to understand the variation regulation of the food organism biomass and species population in the West Guangdong Sea Area, the spatio-temporal distribution of the inhabit density and the biodiversity of the food organisms in the waters were analyzed and evaluated synthetically by using the spatial analytical methods of data interpolation, grid average weight and mathematic calculation model supported by Geographical Information System (GIS). The basic data were from the four cruises of surveys on the food organisms in the area in the 4 seasons from 1998 to 1999. During the survey, the synthetic level of the food organisms in the West Guangdong Sea Area showed a trend of high in the coastal waters and low in the offshore waters, and from north to south the food organism level declined gradually. In winter the food organism level was the highest, and the dense area was the widest with the highest level occurring in the coastal waters from Leizhou Bay to Shuidong Port which reached grade 5. In spring and autumn the food organism levels were lower than those in spring, and the distribution of the dense areas were similar which occurred in the coastal waters around Shuidong Port. While in summer the food organism level was the lowest, and the relative dense area was small with the level only reached grade 3. The seasonal variation of the food organism level of zooplankton and benthos followed the trend of winter > summer > autumn > spring, and for phytoplankton it was winter > autumn > summer > spring. In the analysis, 267 species of phytoplankton, 281 species of zooplankton and 175 species of benthos were identified, respectively. The seasonal succession of the dominant species of the food organisms was obvious. For phytoplankton, *Skeletonema costatum* was the dominant species in spring and summer; *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Navicula subminuscula* and *Thalassionema nitzschioides* constitute the dominant species in summer and autumn, while *Thalassiosira subtilis* was the dominant species in autumn and winter. For zooplankton, *Sagitta enflata* and Copepoda larva were the perennial dominant species. For benthos, *Callinassa japonica* was the dominant species in spring, summer and autumn, and *Notomastus* sp. was the dominant species in summer and winter, while *Aricidea fragilis* was the dominant species in autumn and winter. During the survey the differences of the food organism biodiversity and evenness among the four seasons were unobvious in the West Guangdong Sea Area. The annual average variation of the diversity and evenness was 3.03 – 3.43 and 0.60 – 0.72, respectively, which showed a stable biodiversity level. The diversity threshold distributed evenly with most of the waters being the level of grade 2 to grade 3, and some specific area even reached grade 4. The dense area of the threshold occurred basically in the middle or the southern waters, which showed totally the trend that the offshore waters was higher than the coastal waters in diversity threshold. The little difference for the spatial distribution of the dense area of the threshold among the four seasons was that the occurring scope and place differed slightly.

Key words: GIS; West Guangdong Sea Area; food organism; diversity threshold

Corresponding author: Jia Xiao-ping. E-mail: jiaxiaoping53@163.com

* This study is supported by National Key Marine Survey Project (No. HY126 – 02 – 03) and Key Marine Technological Construction Project of Guangdong Province (No. A200099E01).