

## 考洲洋饵料生物水平综合评价

蔡文贵 林 钦 贾晓平 李纯厚 林燕棠

(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,广州 510300)

**摘要:**在 GIS(Geographical Information System)的支持下,利用等级模型对 1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)考洲洋饵料生物水平进行了综合的分析和评价。枯水期考洲洋整个水域饵料生物的分布较均匀,其密集分布区位于湾西北部、湾口和吉隆河口附近水域,达 4 级水平,饵料生物较为丰富。丰水期饵料生物水平的变化幅度较大,其密集分布区位于湾中部和望京洲沿岸水域,达 4—5 级,饵料生物最为丰富,其次为湾口,达 4 级水平。两个调查航次相比,丰水期的饵料生物水平高于枯水期。主要优势种的变化具有明显的季节交叉和演替现象,浮游植物和浮游动物的主要优势种在不同季节差异较大,而底栖生物的优势种组成在整个调查期间变化不大。调查期间各饵料生物的多样性指数和均匀度均呈现出较大的变化,其最大变化范围分别为 0.01—4.49 和 0.01—0.96,表明湾内饵料生物受外界环境条件影响较大,生物群落组成结构和生物多样性水平不太稳定。调查期间整个水域的生物多样性阈值均呈现出湾西部及西北部水域较高,其余水域较低的分布特点,但不同季节其变化趋势及分布范围略有差异。枯水期多样性阈值的密集分布区出现于湾西侧的部分水域,其等级水平为 3 级,饵料生物多样性较好,其余水域均为 2 级或低于 2 级水平,多样性一般或较差。丰水期的分布趋势与枯水期相似,其密集区出现于湾西部和西北部的整片水域中,分布范围比枯水期大,但等级水平明显低于枯水期,为 2 级,多样性一般,其余大部分水域均为 1 级水平,多样性较差。

**关键词:**饵料生物;等级模型;GIS;多样性阈值

**中图分类号:**Q178.53 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2006)03-0269-07

浮游生物和底栖生物是水生态系统的重要组成部分,是海洋中各种鱼类生长和繁殖的饵料基础,是海洋生态动力学研究的重要对象<sup>[1]</sup>。因此研究水域中饵料生物的资源状况,对于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。

近十几年来,国内外对于浮游生物和底栖生物的研究已有广泛的报道<sup>[2-4]</sup>,且研究的深度和广度也得到了不同程度的发展,但目前所有的研究均限于对这些饵料生物进行单独的描述、分析和评价,不能全面、系统地反映水域中饵料生物的综合水平和变化趋势。本工作拟在众多学者研究的基础上,利用等级模型,在 GIS 的支持下对考洲洋饵料生物的综合水平进行系统的分析、模拟和评价,旨在摸清该水域中饵料生物水平的现状及其动态变化规律,从而为水产养殖业的可持续发展

提供科学的依据和手段,同时在饵料生物的综合研究领域作一新的尝试。

### 1 材料与方法

**1.1 站位的布设** 考洲洋位于粤东沿岸,北纬 22°43′~22°45′,东经 114°52′~114°56′,是红海湾向内陆延伸的一个溺谷湾,水域面积约 29.7 km<sup>2</sup>,滩涂面积约 1373 hm<sup>2</sup>。湾内气候温和、潮湿,雨量充沛,属亚热带海洋性气候。多年平均气温为 22.1℃,年平均雨量为 1944.3 mm,多时可达 2500 mm,其中 4—10 月为雨季,雨量占全年的 82.8%。1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)分别对考洲洋进行了 2 个航次的调查,调查站位的布设如图 1 所示。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。

收稿日期:2004-05-24;修订日期:2005-08-31

基金项目:广东省惠州市海洋渔业资源评价与规划项目(1998);广东省自然科学基金(033101);农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金(2003-1);农业部海洋与河口渔业重点开放实验室开放基金(开-03-07)资助

作者简介:蔡文贵(1965—),男,广东阳春人;副研究员;主要从事渔业生态环境及 GIS 研究。E-mail:wenguicai@tom.com

通讯作者:林 钦(1956—),男,广东海丰人;研究员;主要从事渔业生态环境研究。E-mail:nhsclq@tom.com

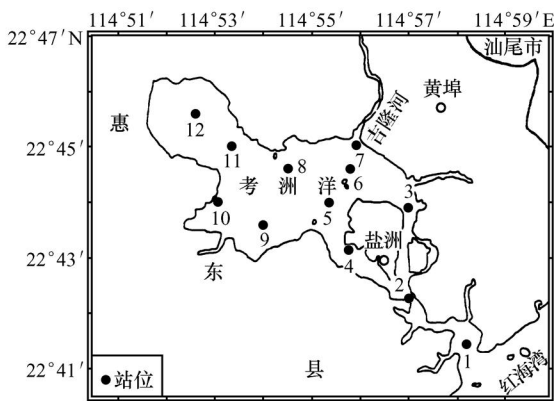


图1 考洲洋饵料生物调查站位

Fig.1 The sampling stations for food organisms in Kaozhou Bay

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》<sup>[5]</sup>所规定的方法进行。

浮游植物 浮游植物采用小型浮游生物网(网口直径 37cm,网目孔径 0.076mm)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。

浮游动物 浮游动物采用大型浮游生物网(网口直径 80cm,网目孔径 0.507mm)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。

底栖生物 采用 0.25m<sup>2</sup> 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 选择美国 ESRI 公司的 ArcGIS V8.3 及其扩展模块 Spatial Analysis 作为饵料生物综合评价的工具<sup>[6]</sup>。

1.4 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,由于站点布设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。近年来,利用 GIS 对调查结

果进行数据插值(特别是 Kriging 插值)的研究已在众多领域中得到了越来越广泛的应用<sup>[7-9]</sup>。本文在 GIS 技术的支持下,利用 Kriging 插值法,在区域化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<sup>[10]</sup>。插值过程中指定插值范围为整个调查区域,在此基础上对考洲洋饵料生物的平面分布趋势进行模拟。

1.5 加权运算 采用 ArcGIS 的空间分析模块 (Spatial Analysis)对考洲洋浮游植物、浮游动物和底栖生物进行分级评价,评价时调用模块的加权平均复合程序和数学运算模型<sup>[6]</sup>,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,从而确定该水域饵料生物的综合分级水平。计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$G = W_i C_i$$

式中:G 表示 点的最终结果值, W<sub>i</sub> 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), C<sub>i</sub> 表示第 i 个要素在 点的类别的分级。

1.6 评价公式<sup>[12]</sup>

$$Dv = H \times J; H = - \sum_{i=1}^s P_i \text{Log}_2 P_i; J = \frac{H}{\text{Log}_2 S}$$

式中:D<sub>v</sub> 为多样性阈值, H 为 Shannon-Weaver 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<sub>i</sub> 为测站中第 i 种样品的个体数在全部样品中所占的比例。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,因此用生物量 (w) 来代替个体数,计算公式为<sup>[12]</sup>:

$$H = - \sum_{i=1}^s (w_i / w) \text{Log}_2 (w_i / w)$$

1.7 评价等级模型 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评价等级模型<sup>[13-14]</sup>。

表1 饵料生物水平等级模型<sup>[13]</sup>

Tab.1 The integrative model for the level of the food organisms<sup>[13]</sup>

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

表 2 生物多样性阈值等级模型<sup>[14]</sup>  
Tab.2 The integrative model for the biodiversity threshold<sup>[14]</sup>

项 目 Item	评价等级 Evaluation class				
	1	2	3	4	5
阈值 $D_v$ Threshold $D_v$	< 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

2 结果

2.1 饵料生物水平

表 3 列出了调查期间考洲洋各饵料生物生物量

的变化趋势。  
2.1.1 平面分布 在 GIS 的支持下对考洲洋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,枯水期由于考洲洋整个水域

表 3 考洲洋饵料生物的生物量  
Tab.3 The biomass of the food organisms in Kaozhou Bay

项目 Item	浮游植物( $\times 10^4 \text{ ind} / \text{m}^3$ ) Phytoplankton	浮游动物( $\text{mg} / \text{m}^3$ ) Zooplankton	底栖生物( $\text{g} / \text{m}^2$ ) Benthos
枯水期 Dry season	87 —2189 (399.9)	4 —55 (19.08)	1.1 —3398.2 (468.5)
丰水期 Wet season	102.3 —140098.4 (28877.8)	0 —505 (88.23)	1.1 —512 (108.8)

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

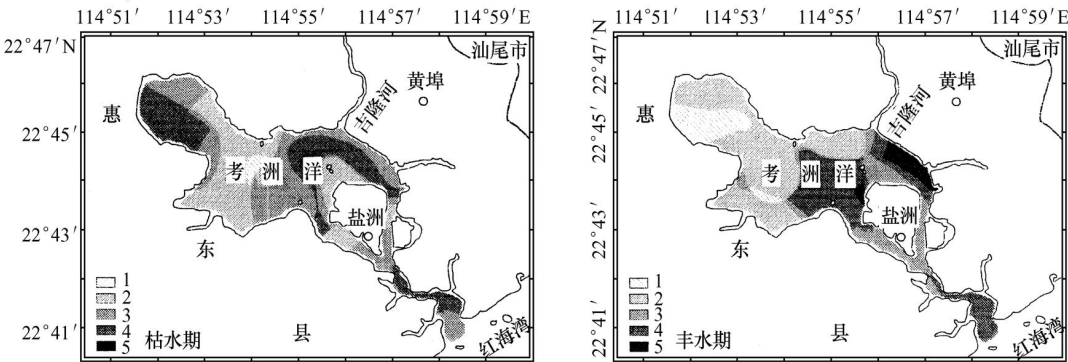


图 2 考洲洋饵料生物等级水平  
Fig.2 The levels of the food organisms in Kaozhou Bay

的水质状况差异不大,饵料生物的分布较均匀,大部分水域处于 2—3 级水平,其密集分布区位于湾西北部、湾口和吉隆河口附近水域,达 4 级水平,饵料生物较为丰富。丰水期由于充沛雨水所携带的大量有机物的输入,导致该时期饵料生物水平的变化幅度较大,其密集分布区位于湾中部和望京洲沿岸水域,达 4—5 级,饵料生物最为丰富,其次为湾口,为 4 级水平,最低则分布于湾的西部和西北部,其饵料生物较低,为 1—2 级水平。丰水期饵料生物的这种分布特点主要是由于西北部水域富营养化程度高,不适于饵料生物生长繁殖,而南部水域污染程度低,湾口较好的水交换带来丰富的外海饵料生物,因此其饵料生物水平要高于西北部。两个调查航次相比,丰

水期的饵料生物水平要高于枯水期。  
2.1.2 季节变化 浮游植物和浮游动物的生物量变化趋势均为丰水期高于枯水期,特别是浮游植物,其丰水期的生物量远高于枯水期,为枯水期的 70 多倍,而底栖生物则表现出相反的变化趋势,枯水期的生物量高于丰水期(表 3)。  
2.2 主要优势种  
表 4 列出了考洲洋饵料生物出现的种数和主要优势种(优势度 > 0.02)。从表中可看出,不同季节各种饵料生物出现的种类数量相近。在种类组成上,藻类以浮游性和底栖性硅藻为主要类群,浮游动物以桡足类、水母类和浮游幼虫占了绝对优势,而底栖生物以多毛类和软体动物的种类较多。

主要优势种的变化具有明显的季节交叉和演替现象,特别是底栖生物,其优势种组成在枯水期和丰水期的变化不大,这主要是由于其特殊的生活习性所造成的。

表 4 考洲洋饵料生物主要优势种  
Tab. 4 The main dominant species of the food organisms in Kaozhou Bay

项目 Item	枯水期 Dry season		丰水期 Wet season	
	种数 Species number	主要优势种 Main dominant species	种数 Species number	主要优势种 Main dominant species
浮游植物 Phytoplankton	110	洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> 、细长翼根管藻 <i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i> 、奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i> 和窄隙角毛藻等角变种 <i>Chaetoceros affinis</i> v. <i>willei</i> 等	111	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i> 和银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i> 等
浮游动物 Zooplankton	13	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> 、肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> 、中华异水蚤 <i>Misophria sinensis</i> 、双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i> 和亨氏萤虾 <i>Lucifer hansenii</i> 等	19	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i> 、锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> 、平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i> 、肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> 、百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i> 和亨氏萤虾 <i>Lucifer hansenii</i> 等
底栖生物 Benthos	51	岩虫 <i>Marphysa sanguinea</i> 、异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i> 、异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i> 、黑龙江河兰蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i> 、大竹蛏 <i>Solen grandis</i> 和皱皮满月蛤 <i>Eamesiella corrugata</i> 等	51	异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i> 、角海蛏 <i>Ophelina acuminata</i> 、异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i> 、黑龙江河兰蛤 <i>Potamocorbula amurensis</i> 、皱皮满月蛤 <i>Eamesiella corrugata</i> 和大竹蛏 <i>Solen grandis</i> 等

2.3 生物多样性

2.3.1 多样性指数( *H* ) 及均匀度( *J* ) 调查期间各种饵料生物的多样性指数和均匀度均呈现出较大的变化,其最大变化范围分别为 0.01—4.49 和 0.01—0.96(表 5),表明湾内饵料生物受外界环境条

件影响较大,生物群落组成结构和生物多样性水平不太稳定。相比较之下,枯水期饵料生物多样性水平的变化趋势为:浮游植物>底栖生物>浮游动物,丰水期则为:底栖生物>浮游植物>浮游动物,整个调查期间均以浮游动物的多样性水平最低。

表 5 考洲洋饵料生物多样性指数  
Tab. 5 The biodiversity indexes of the food organisms in Kaozhou Bay

项目 Item	枯水期 Dry season		丰水期 Wet season	
	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>J</i>
浮游植物 Phytoplankton	2.55—4.49 (3.64)	0.53—0.93 (0.79)	0.06—3.51 (1.37)	0.01—0.83 (0.33)
浮游动物 Zooplankton	0.01—1.83 (0.65)	0.01—0.84 (0.38)	0.01—1.76 (0.98)	0.01—0.87 (0.51)
底栖生物 Benthos	0.30—2.80 (1.60)	0.04—0.96 (0.41)	0.40—2.80 (1.68)	0.06—0.80 (0.47)
综合水平 Synthetic level	1.96	0.53	1.34	0.44

注:括号内数值为平均值 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 3 所示。调查期间整个水域的生物多样性阈值均呈现出湾的西部及西北部水域较高,其余水域较低的分布特点,但不同季节其变化趋势及分布范围略有差异。枯水期多样性阈值的密集分

布区出现于湾西侧的部分水域,其等级水平为 3 级,表明饵料生物多样性较好,其余大部分水域均处于 2 级水平,多样性一般,湾口及吉隆河口为 1 级水平,多样性较差。丰水期表现出相似的分布趋势,密集区出现于湾的西部和西北部的整片水域中,分布范围比枯水期大,但密集区多样性阈值的等级水平

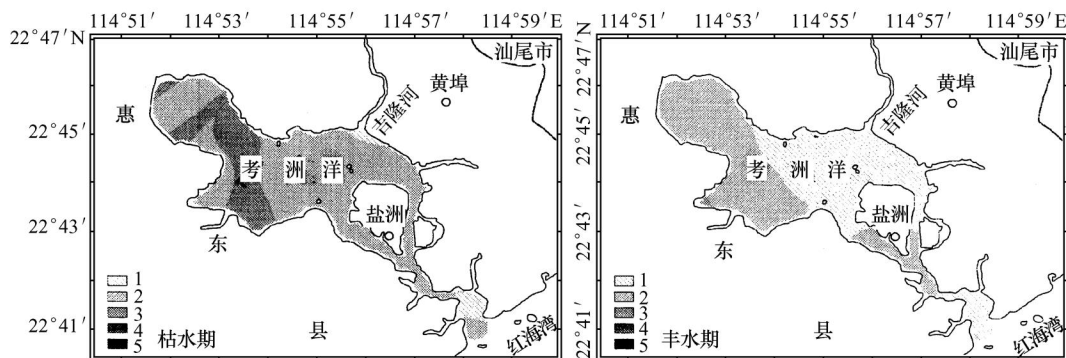


图3 考洲洋饵料生物多样性阈值等级水平

Fig. 3 The levels of diversity threshold of the food organisms in Kaozhou Bay

为2级,明显低于枯水期,饵料生物多样性一般,其余大部分水域的等级水平均为1级,多样性较差。

### 3 结语与讨论

**3.1 营养盐的影响** 有关研究表明<sup>[15-16]</sup>,浮游植物和浮游动物的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。如前所述,考洲洋是一个近乎封闭的海湾,湾内营养盐(如无机氮、磷酸盐和硅酸盐等)的主要来源为沿岸陆源径流和沿岸工农业废水排放所携带的有机物。枯水期(2月份)降雨量较少,陆源营养盐大幅降低,特别是磷酸盐极度贫乏,在12个站位中仅有1个站位测出其含量,成为各饵料生物特别是浮游植物的限制因子,从而影响其生长和繁殖<sup>[17-18]</sup>。到了丰水期(8月份),随着雨水的增多,陆源营养盐的输入量也不断增大,再加上该季节水温较高,各养殖品种的活动强度加大,代谢率大幅提高,投饵量增加,个体排泄物及食物残饵的增加导致了自身污染的发生,湾内营养盐含量大幅增加,特别是磷酸盐,其平均含量增至 $0.96\mu\text{mol/L}$ ,最高达 $1.87\mu\text{mol/L}$ ,因此在一定程度上促进了各饵料生物的生长和繁殖。同时,丰水期湾内大部分水域受到明显的有机污染,特别在湾的西北部,由于大规模的贝类吊养区均集中于该片水域,其养殖排泄物的累积使得水质富营养化程度较高,抑制了浮游植物及其他饵料生物的生长和繁殖,而在湾中部及湾口一带水域,营养盐含量较为适中,且与外界海水交换程度较好,适合浮游植物的生长,另外在与外界海水进行交换的过程中也带来了一定数量的外海种类,并在该片水域形成饵料生物的密集区。

**3.2 水温的影响** 在同期的调查中,丰水期和枯水期的平均水温分别为28.9和21.0,可见丰水期的日照时间和平均水温均较高,良好的光照水平有助于浮游植物的生长,加上高温季节营养盐循环速率相对加快,对浮游植物和浮游动物等饵料生物的生长和繁殖的限制作用不大<sup>[15-16]</sup>,而相比之下,水温的上升对饵料生物的增加更具有主导作用<sup>[19-20]</sup>。从这一角度来看,丰水期的饵料生物水平高于枯水期,与研究结果相吻合。

**3.3 对生物多样性的影响** 调查期间饵料生物多样性的变化趋势并不与生物量同步,主要是由于湾内某些区域中某些种类的饵料生物大量生长和繁育(如丰水期浮游植物的中肋骨条藻和热带骨条藻,在一些调查站位中大幅增加,成为这些站位浮游植物的绝对优势种),必然导致该区域成为生物量的密集分布区,而另一方面,这些种类的大量增加,在数量上成为主导性优势种,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,其结果必然导致该区域的生物多样性水平降低<sup>[21]</sup>。而在其他区域,由于环境异质性较高,饵料生物中各种类的生长和繁殖均衡,种间比例较为均匀,因而其生物多样性水平相对较高<sup>[22]</sup>。

**3.4 饵料生物与海水营养盐的相关性** 利用SPSS统计分析软件对浮游植物与营养盐含量的相关性进行了研究<sup>[23]</sup>,其结果如表6所示。枯水期浮游植物仅与硅酸盐的含量呈显著的正相关关系,这是由于湾内浮游植物以硅藻占绝对优势,其数量的变动基本上体现了整个调查水域浮游植物的数量变动,而硅藻对硅酸盐的需求相对来说要比无机氮和磷酸盐要高,硅酸盐含量的升高必然促进硅藻的生长和繁殖。与枯水期相似,丰水期浮游植物也以硅藻(主要是中肋骨条藻和热带骨

条藻) 占绝对优势, 因此浮游植物也主要是受硅酸盐含量变化的影响, 但与枯水期不同的是, 丰水期湾内营养盐较为丰富, 特别是硅酸盐, 其平均值高

达 79.0 $\mu$ mol/L, 已呈富足状态, 其含量的继续升高不仅对硅藻的生长和繁殖无明显的促进作用, 反过来还会抑制其生长。

表 6 浮游植物栖息密度与营养盐的相关系数

Tab. 6 The correlation coefficient between the density of phytoplankton and nutrients

浮游植物 Phytoplankton	无机氮 Inorganic nitrate	磷酸盐 Phosphate	硅酸盐 Silicate
枯水期 Dry season	0.344	— *	0.690 * *
丰水期 Wet season	- 0.471	0.399	- 0.730 * *

注: \* 枯水期仅有 1 个站位测出无机磷含量, 其余站位的无机磷含量均低于检测限。Only at 1 station the inorganic phosphate could be detected in the dry season, at the other stations it was lower than the detected limit. \* \*  $P < 0.05$ .

参考文献:

[ 1 ] Tang Q S. Study on the dynamics of the marine ecological system in China Sea [ J ]. Beijing : Science Press , 2000 [ 唐启升. 中国海洋生态系统动力学研究. 北京 : 科学出版社 , 2000 ]

[ 2 ] Qi Y Z , Lu S H. The ecological characteristics of Phytoplankton in Dapeng Bay , South China Sea [ J ]. *Journal of Jinan University ( Natural Science )* , 1995 , 16 ( 1 ) : 111 — 117 [ 齐雨藻 , 吕颂辉. 南海大鹏湾浮游植物的生态学特征. 暨南大学学报 ( 自然科学版 ) , 1995 , 16 ( 1 ) : 111 — 117 ]

[ 3 ] Bi H S , Sum S , Gao S W , *et al.* The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea I. Species composition and community structure [ J ]. *Acta Ecologica Sinica* , 2000 , 20 ( 5 ) : 715 — 721 [ 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. 生态学报 , 2000 , 20 ( 5 ) : 715 — 721 ]

[ 4 ] Burd B J , Nemecek A , Brinkhurst R O. The development and application of analytical methods in benthic marine infaunal studies [ J ]. *Advances in Marine Biology* , 1990 , 26 : 169 — 247

[ 5 ] State Oceanography Administration. Marine survey criterion [ M ]. Beijing : Oceanography Press , 1991 [ 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京 : 海洋出版社 , 1991 ]

[ 6 ] Dang A R , Jia H F , Yi S Z , *et al.* Application manual for the geographic information system of ArcGIS 8 Desktop [ M ]. Beijing : Qinghua University Press , 2003 [ 党安荣 , 贾海峰 , 易善桢 , 等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南. 北京 : 清华大学出版社 , 2003 ]

[ 7 ] Zhao B , Cai Q H. Application of geographic statistics in the study on the aquatic ecosystem [ J ]. *Acta Hydrobiologica Sinica* , 2000 , 24 ( 5 ) : 514 — 520 [ 赵斌 , 蔡庆华. 地统计学分析方法在水生态系统研究中的应用. 水生生物学报 , 2000 , 24 ( 5 ) : 514 — 520 ]

[ 8 ] Pan W B , Cai Q H. Estimation on the community structure of the aquatic macrophytes in a bay of Baoan Lake [ J ]. *Acta Hydrobiologica Sinica* , 2000 , 24 ( 5 ) : 412 — 417 [ 潘文斌 , 蔡庆华. 保安湖一湖湾大型水生植物群落格局的评价. 水生生物学报 , 2000 , 24 ( 5 ) : 412 — 417 ]

[ 9 ] Ma K , Cai Q H , Xie Z C , *et al.* GIS simulation on the distribution of submerged macrophytes in Baoan Lake [ J ]. *Acta Ecologica Sinica* , 2003 , 23 ( 11 ) : 2271 — 2277 [ 马凯 , 蔡庆华 , 谢志才 , 等. 保安湖沉水植物分布的 GIS 模拟. 生态学报 , 2003 , 23 ( 11 ) : 2271 — 2277 ]

[ 10 ] Wu X C. Theory and method for GIS [ M ]. Beijing : Electronic industry Press , 2002 [ 吴信才. 地理信息系统原理与方法. 北京 : 电子工业出版社 , 2002 ]

[ 11 ] Xu Z J. The rudiment and improvement for GIS [ M ]. Chongqing : Chongqing University Press , 2001 [ 徐祖顺. GIS 入门与提高. 重庆 : 重庆大学出版社 , 2001 ]

[ 12 ] Shen G Y , Shi B Z. Marine ecology [ M ]. Xiamen : Xiamen University Press , 1996 [ 沈国英 , 施并章. 海洋生态学. 厦门 : 厦门大学出版社 , 2002 ]

[ 13 ] Jia X P , Du F Y , Lin Q , *et al.* A study on comprehensive assessment method of ecological environment quality of marine fishing ground [ J ]. *Journal of Fishery Sciences of China* , 2003 , 10 ( 2 ) : 158 — 164 [ 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. 中国水产科学 , 2003 , 10 ( 2 ) : 158 — 164 ]

[ 14 ] Chen Q C , Huang L M , Yin J Q , *et al.* Study on the biodiversity of zooplankton in the waters around the islands in South China Sea [ A ]. Nansha Islands Synthetic Scientific Investigation Team of Chinese Academy. Study on the biodiversity of marine organisms in the waters around the islands of South China Sea ( Book 1 ) [ C ]. Beijing : Ocean Press , 1994 , 42 — 50 [ 陈清潮 , 黄良民 , 尹健强 , 等. 南海群岛海区浮游动物多样性研究. 南海群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京 : 海洋出版社 , 1994 , 42 — 50 ]

[ 15 ] Goldman J C , Gibert P M. Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton. In : Carpenter E J and Capone D G , eds. Nitrogen in Marine Environment [ M ]. New York : Academic Press , 1983 . 233 — 274

[ 16 ] Perry M J , Eppley R W. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean [ J ]. *Deep-Sea Res.* , 1981 , 28 : 39 — 49

[ 17 ] Compiling Commission for the Annals of Chinese Bay. The annals of Chinese Bay ( the fourteenth fascicule : the important estuaries ) [ M ]. Beijing : Oceanographic Press , 1998 , 574 — 576 [ 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志 ( 第 14 分册 : 重要河口 ) . 北京 : 海洋出版社 . 1998 . 574 — 576 ]

[ 18 ] Tian J Y , Dong J Y. The preliminary study on the organic pollution and red tide organisms around the waters of Yellow River estuary [ J ]. *Marine Environmental Science* , 1983 , 2 ( 1 ) : 46 — 53 [ 田家怡 , 董景岳. 黄河口附近海域有机污染与赤潮生物的初步调查研究. 海洋环境科学 , 1983 . 2 ( 1 ) : 46 — 53 ]

[ 19 ] Agawin N S , Duarte C M , Agusti S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production [ J ]. *Limnol Oceanogr* , 2000 , 45 ( 3 ) : 591 — 600

[ 20 ] Lehman P W. The influence of climate on phytoplankton community

- biomass in San Francisco Bay Estuary [J]. *Limnol Oceanogr*, 2000, 45(3): 580—590
- [21] Zhou K, Huang C J, Jiang S, *et al*. Annual dynamics of phytoplankton in Zhelin Bay: 2000—2001 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 688—698 [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. 生态学报, 2002, 22(5): 688—698]
- [22] Huang B Q, Liu S C, Hong H S. Ecological studies of phytoplankton in Minnarr-Taiwan bank fishing ground upwelling regions: . Distribution of ecological groups of phytoplankton [A]. Minnarr-Taiwan bank fishing ground upwelling ecosystem study [C]. Science Press, 1991, 417—425 [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: . 浮游植物的生态类群和区系. 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态研究, 北京: 科学出版社, 1991, 417—425]
- [23] Lu W D. SPSS for windows [M]. Beijing: Electronic industry Press, 2002 [卢纹岱. 2002. SPSS for windows 统计分析. 北京: 电子工业出版社]

## INTEGRATED ASSESSMENT ON THE LEVEL OF THE FOOD ORGANISMS IN KAOZHOU BAY

CAI Wen-Gui, LIN Qin, JIA Xiao-Ping, LI Chun-Hui and LIN Yarr-Tang

(Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture & Guangdong Province, South China Sea Fisheries

Research Institute, CAFS, Guangzhou 510300)

**Abstract** :Supported by Geographical Information System (GIS), the level of the food organisms in Kaozhou Bay in February (dry season) and August (wet season) of 1999 was analyzed and evaluated by using the method of integrative model.

In dry season the distribution of food organisms in the whole bay was even, and the dense area occurred in the northwest of the bay, the mouth of the bay and the estuary of Jilong River with the level of grade 4, representing that the food organisms were rich in these waters. In the wet season the level of food organisms varied greatly, and the dense area occurred in the middle of the bay and the coastal waters along Wangjingzhou Bay with the richest level of grade 4—5, and followed by the mouth of the bay with the level of grade 4. The comparison between the 2 cruises of survey showed that the level of food organisms in the wet season was higher than that in the dry season.

The variation of the main dominant species of the food organisms showed obvious seasonal succession. The main dominant species of phytoplankton and zooplankton changed greatly in different season, while the composition of the dominant species of benthos remained steady.

During the survey, the diversity index and evenness of the food organisms varied greatly with the largest ranges of 0.01—4.49 and 0.01—0.96, respectively, which indicated that the food organisms in the bay were affected significantly by the environmental condition, and the composition structure of the organism population and the level of biodiversity was unstable. During the survey, the distribution of the diversity threshold of the food organisms in the whole bay showed the characteristic of higher in the west and northwest of the bay and lower in the other waters, but the variation trend and distribution scope changed slightly in different season. In the dry season the dense area of the diversity threshold occurred in part of the western waters of the bay with level of grade 3, indicating that the diversity was well. While in the other waters the level was in grade 2 or lower, indicating that the diversity was normal or poor. In the wet season, the distribution of the threshold was similar to that in dry season with the dense area occurring in the western and northwestern waters of the bay, which was wider than that in dry season, while the level was obviously lower with the level of grade 2 in the dense area and the level down to grade 1 in most of the other waters.

**Key words** :Food organism; Integrative model; GIS; Diversity threshold