

# 基于 GIS 的粤西海域浮游植物的时空变化分析

蔡文贵, 贾晓平\*, 李纯厚

(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:**根据 1998~1999 年 4 个航次粤西海域浮游植物的调查资料,在 GIS 的支持下对该海域浮游植物丰度的时空分布特征及其密集中心位置的变化进行了分析和模拟。结果显示,粤西海域浮游植物具有明显的时空分布特征。春季、秋季和冬季 3 个季节浮游植物丰度的分布趋势相似,均呈北部水域高、南部水域低或近岸水域高、离岸水域低的趋势,其密集分布区均出现在电白至海陵岛一带的近岸水域,其中以冬季密集区的分布范围最广,丰度最高,平均值达  $412.70 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ,其次为秋季,丰度的平均值为  $149.75 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。与上述 3 个季节不同,夏季浮游植物的丰度处于全年的最低值,平均为  $15.64 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ,其相对密集区的分布范围狭小,仅出现于川山群岛南侧的小片水域中,其余大部分水域的丰度均低于  $20.00 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。丰度密集中心的分析结果表明,春季、秋季和冬季浮游植物的密集中心位置彼此相近,漂移规律不明显,而夏季密集中心则明显向东南方向漂移,其最大漂移距离横向达  $24.74'$ ,纵向达  $16.78'$ 。

**关键词:**GIS;浮游植物;时空分布;密集中心;粤西海域

## GIS-based analysis of the spatial-temporal variation of phytoplankton in the Western Guangdong Waters

CAI Wen-Gui, JIA Xiao-Ping\*, LI Chun-Hou (Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture & Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, CAFS, Guangzhou 510300, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2143~2148.

**Abstract:**Based on the 4 cruises investigation data of phytoplankton in the Western Guangdong Waters from 1998 to 1999, we analyzed and simulated the spatial-temporal distribution patterns and the density center variations of phytoplankton cell abundance in the area with the linear interpolation method supported by Geographical Information System (GIS).

Our results indicated that there was a distinctive spatial-temporal distribution of the phytoplankton in the Western Guangdong Waters. It had a similar distribution pattern in spring, autumn and winter with a higher cell abundance in the northern region than the southern region, or a higher cell abundance in the inshore waters than the offshore waters. The density areas in above 3 seasons all occurred in the inshore waters from Dianbai County to Chuanshan Islands of Taishan city. The density area in winter covered the largest region with the highest cell abundance, followed by autumn. However, the average phytoplankton cell abundance in all the regions were  $412.70 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  in winter and  $149.75 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  in autumn. Differing greatly from the 3 seasons mentioned above, the density area in summer occurred in a narrow area of southern side of Chuanshan Islands. The cell abundance in the density area was higher than  $20 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  while it was less than  $20 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  in the most part of the other areas. The average cell abundance was  $15.64 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ , the lowest in the seasons. The seasonal variation of the phytoplankton cell abundance in the Western Guangdong Waters showed a trend of winter > autumn > spring

**基金项目:**国家海洋勘测专项资助项目(HY126-02-03);广东省重大科技兴海资助项目(A200099E01)

**收稿日期:**2003-07-05;**修订日期:**2004-03-18

**作者简介:**蔡文贵(1965~),男,广东省阳春市人,副研究员,主要从事渔业生态环境及 GIS 研究. E-mail: wenguicai@163.net

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiaxiaoping53@163.com

**Foundation item:** National Key Marine Survey Project (No. HY126-02-03); Key Marine Technological Construction Project of Guangdong Province (NoO. A200099E01)

**Received date:** 2003-07-05; **Accepted date:** 2004-03-18

**Biography:**蔡文贵 Associate professor, mainly engaged in fishery ecological environment and GIS application. E-mail: wenguicai@163.net

> summer. Species succession during the year highlighted different dominant species in different seasons. The dominant species in spring, summer, autumn, and winter were *Eucampia zoodiacus*, *Chaetoceros curvisetus* and *Skeletonema costatum* (Ecotype: coastal warm-water species and inshore widespread species), *Thalassionema frauenfeldii*, *Navicula subminuscula*, *Oscillatoria* sp., *Thalassionema nitzschioides* and *Skeletonema costatum* (Ecotype: estuary low salinity species, offshore low salinity species and inshore widespread species), *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira subtilis*, *Thalassionema frauenfeldii* and *Navicula subminuscula* (Ecotype: offshore low salinity species and oceanic widespread species) and *Thalassiosira subtilis* and *Detonula pumila* (Ecotype: oceanic widespread species), respectively. With the cell abundance of  $1295.3 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  and 29.5% of the total abundance, *Thalassiosira subtilis* was the most abundant species, followed by *Eucampia zoodiacus* ( $955.0 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$  and 21.8% of the total).

Our studies on the density center showed the geographical positions of the density center in spring, autumn and winter were close to each other without any obvious excursion, but in summer the density center shifted significantly to the southeast of the investigation region. From spring to summer, the density center shifted east of 24.74' in longitude and south of 15.74' in latitude, and from summer to autumn, the density center shifted west of 16.48' in longitude and north of 16.78' in latitude.

**Key words:** GIS; phytoplankton; spatial-temporal distribution; density center; Western Guangdong Waters

文章编号:1000-0933(2004)10-2143-06 中图分类号:Q178.53 文献标识码:A

海洋浮游植物是海洋的初级生产者,是海洋食物网络中的主要构成部分,其种类组成和丰度变动是影响海洋渔业资源数量变化的重要因素<sup>[1]</sup>。粤西海域是多种经济鱼类产卵、索饵、繁殖和洄游的重要场所,南海北部重要渔场——粤西及海南岛东北部渔场即位于该海域中。近几十年来,虽然在南海北部海域先后进行过多次大规模的海洋勘测和调查<sup>[2~4]</sup>,但有关该海域特别是粤西海域浮游植物的系统性调查资料甚少,仅在 1959~1960 年所进行的全国性综合调查曾有过报道<sup>①</sup>。为了详细了解粤西海域浮游植物丰度的动态变化,掌握该海域饵料生物的分布状况和变化趋势,本文根据 1998~1999 年浮游植物 4 个航次的调查资料,利用地理信息系统(Geographical Information System,简称 GIS,下同)强大的空间分析能力,通过对实测数据进行空间插值与空间分布模拟等手段,分析和评价了浮游植物丰度的动态变化及其分布特征,旨在为渔业资源的评估和渔场、渔汛变动的预警预报提供理论依据,同时在将 GIS 应用于海洋渔业资源和渔业环境的众多研究方面作一新的尝试<sup>[5~8]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位的布设与样品的采集

调查自 1998~1999 年分春季(1999 年 4~5 月)、夏季(1998 年 8 月)、秋季(1998 年 10~11 月)和冬季(1999 年 1 月)4 个航次在“北斗”号调查船上进行。调查海域和调查站位见图 1。各个站位浮游植物样品的采集均按《海洋监测规范》<sup>[9]</sup>所规定的方法,使用小型浮游生物网(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 5% 的中性福尔马林溶液固定保存,在实验室内进行样品处理、种类鉴定和细胞数量统计。

### 1.2 分析软件

基于 ESRI 公司的 GIS 产品在全球范围中得到了广泛的应用,本文选取该公司的 ArcGIS 8.3(含 Spatial Analyst 扩展模块)作为空间分析的工具<sup>[10]</sup>。

## 2 时空分布

### 2.1 种类组成

调查期间共鉴定出浮游植物 267 种,隶属于硅藻、甲藻、蓝藻、金藻和绿藻五大类,其中以硅藻的种类数量占绝对优势(182 种),为总种数的 68.2%,其次为甲藻(75 种),占 28.1%。在种类组成中,以细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis* 出现的丰度最大( $1295.3 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ),占总丰度的 29.5%,其次为短角弯角藻 *Eucampia zoodiacus* ( $955.0 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ),占总丰度的 21.8%(图 2)。

### 2.2 平面分布特征

## 万方数据

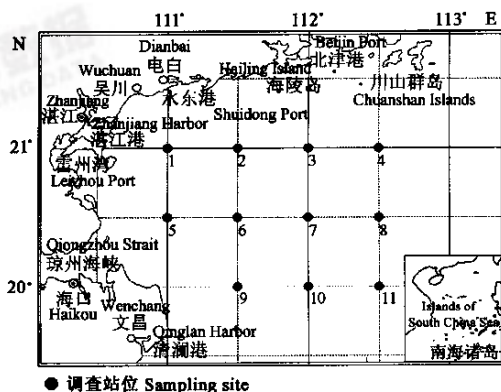


图 1 粤西海域浮游植物调查站位示意图

Fig. 1 Sampling sites for phytoplankton in the West Guangdong Waters

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. 1964. 1~159

2.2.1 GIS 数据库的构建 数字化底图采用 1:1 000 000 中国基础地理信息图,经 GIS 图幅定制得到如图 1 所示的粤西海域基础图。将 4 个航次浮游植物的海上调查数据录入利用 FoxPro 数据库软件创建的数据库,在基础图中导入以地理坐标定位的采样站点,并通过编号与浮游植物数据库相连。

2.2.2 空间插值 点数据的空间插值采用线性内插法进行<sup>[11]</sup>。由于站点布设的局限性而对分析结果产生一定的偏差,因此必须对调查区域进行插值计算,以弥补数据不足所带来的分析上的困难,尽可能减小分析结果的误差程度。在 GIS 技术的数字高程模型(DEM)的支持上,本文选用 ArcGIS 软件内嵌的栅格内插(Interpolate Grid)功能对调查区域进行点数据的空间插值,插值过程中指定插值范围为整个调查区域,采样点曲线光滑处理则采用张力样条函数法(Tension spline)<sup>[11]</sup>。在此基础上对粤西海域 4 个季节浮游植物的丰度进行时空分布趋势的模拟。

2.2.3 分析结果 图 3 为粤西海域浮游植物的丰度在各个季节分布趋势的 GIS 模拟结果。从图中看出,在调查区域,除夏季外,其余 3 个季节浮游植物的分布趋势相似,均呈北部水域高、南部水域低或近岸水域高、离岸水域低的分布趋势,密集分布区均出现在电白至海陵岛一带的近岸水域,但不同季节其范围稍有不同,其中以冬季密集区的分布范围最广,从雷州半岛一直延伸至川山群岛的大片近岸水域,而且在丰度上也以冬季最高,其平均值达  $412.70 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ,其次为秋季,其平均值为  $149.75 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。夏季浮游植物的分布趋势与上述 3 个季节的差异较大,其丰度的平均值为  $15.64 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ,远低于其他季节,为全年最低,相对高值区的变化范围为  $50.00 \sim 100.00 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ ,分布区域很小,仅出现于川山群岛南侧的狭小水域中,其余大部分水域均小于  $20.00 \times 10^4 \text{ ind/m}^3$ 。

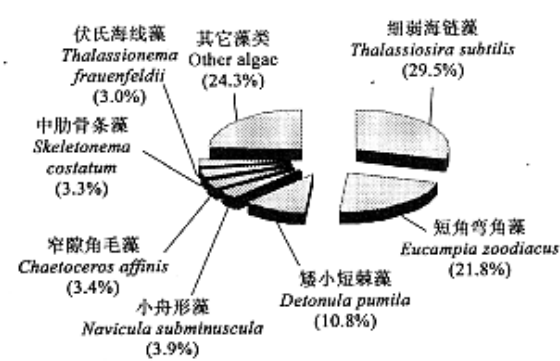


图 2 粤西海域浮游植物各种类细胞数量的组成比例  
Fig. 2 Composition proportion for the cell quantity of species of phytoplankton in the West Guangdong Waters

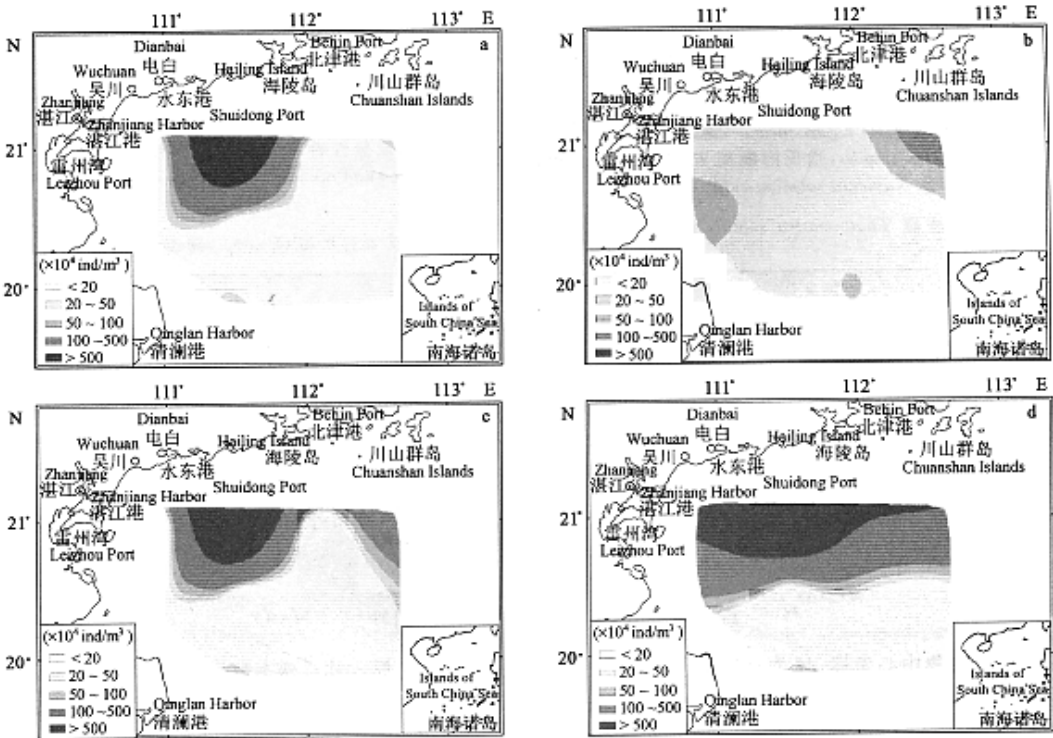


图 3 粤西海域浮游植物丰度的时空分布

Fig. 3 Spatial-temporal distribution of the cell abundance of phytoplankton in the West Guangdong Waters

2.3 季节变化

在 4 个调查季节中,以冬季浮游植物的丰度最高,其次是秋季,最低为夏季。季节变化趋势为冬季>秋季>春季>夏季(图 4)。

2.4 主要优势种

优势度的计算公式如下<sup>[12]</sup>:

$$D = \frac{n_i}{N} \times f_i$$

式中, $n_i$  为第  $i$  种的个体数, $f_i$  为该种在各站位出现的频率, $N$  为每个种出现的总个体数。

不同季节粤西海域浮游植物的优势种各不相同,种类接替现象明显(表 1)。从表中可知,粤西海域浮游植物的优势种主要由近岸、近海低盐性种类和外海广布性种类构成。中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* 在春季和夏季出现的数量较大;伏氏海线藻 *Thalassionema frauenfeldii*、小舟形藻 *Navicula subminuscula* 和菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides* 为夏季和秋季的优势种;而细弱海链藻则主要出现在秋季和冬季,特别是在冬季,其丰度竟高达  $1274.18 \times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ,为居第 2 位的小舟形藻 ( $110.22 \times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ) 的 10 多倍,在该季节中占了绝对的优势。

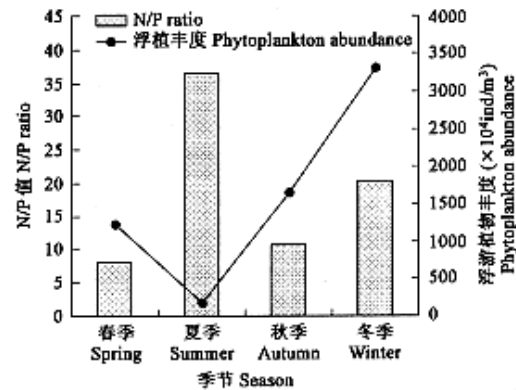


图 4 粤西海域浮游植物的丰度及海水氮/磷值(N/P 值)  
Fig. 4 The phytoplankton abundance and N/P ratio in the West Guangdong Waters

表 1 各季节粤西海域浮游植物的主要优势种(优势度  $D>0.02$ )

| 季节 Season | 主要优势种 Main predominant species                                                                                                                                                        | 生态类型 Ecotype                                                                                                       |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 春季 Spring | 短角弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i> , 旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i> 和中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>                                                                               | 沿岸暖水性种类、近岸广布性种类 Coastal warm-water species and inshore widespread species                                          |
| 夏季 Summer | 伏氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i> , 小舟形藻 <i>Navicula subminuscula</i> , 颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp., 菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i> 和中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> | 河口低盐性种类、近海低盐性种类和近岸广布性种类 Estuary low salinity species, offshore low salinity species and inshore widespread species |
| 秋季 Autumn | 菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i> , 细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i> , 伏氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i> 和小舟形藻 <i>Navicula subminuscula</i>                           | 近海低盐性种类和外海广布性种类 Offshore low salinity species and oceanic widespread species                                       |
| 冬季 Winter | 细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i> 和矮小短棘藻 <i>Detonula pumila</i>                                                                                                                     | 外海广布性种类 Oceanic widespread species                                                                                 |

3 密集中心变化分析

3.1 分析方法

由于浮游植物是海洋的初级生产者,是各种鱼类饵料的主要构成部分,在海洋生态系统中有着非常重要的地位,其数量变动将对各种鱼类的生长和繁殖产生较大的影响,从而导致渔场、渔汛的变化。因此,对浮游植物密集中心漂移规律的研究可在一定程度上对渔场、渔汛的变化进行预测、预报,为渔业生产提供科学的手段和依据。

为了进一步研究浮游植物的周年空间变化,将粤西海域春、夏、秋和冬 4 个季节浮游植物的丰度分别作密集中心计算。计算公式如下<sup>[13]</sup>:

$$xc = \frac{1}{M} \iint_D xu(x,y)dx dy; \quad yc = \frac{1}{M} \iint_D yu(x,y)dx dy$$

式中, $xc, yc$  为密集中心坐标, $M$  为总质量, $D$  为积分范围, $x, y$  为质点坐标。针对样本数据上式可改写为:

$$xc = \frac{\sum_d x\rho(x,y)p}{\sum_d \rho(x,y)}; \quad yc = \frac{\sum_d y\rho(x,y)}{\sum_d \rho(x,y)}$$

式中, $d$  为某区域的范围, $x, y$  为该区域中各渔区的中心坐标, $\rho(x, y)$  为该区域中各渔区浮游植物的丰度。

3.2 分析结果方数据

取整个粤西海域对其浮游植物的丰度作密集中心分析,分别得到春、夏、秋和冬 4 个季节浮游植物丰度的密集中心 A、B、C

和 D(图 5)。由图 5 可见,春季、秋季和冬季浮游植物的密集中心位置彼此相近,漂移幅度不大,规律不明显,特别是秋季与冬季的密集中心位置异常接近,仅在东西方向上相差 1.92',而从春季到秋季,其密集中心向东漂移 8.26',向北漂移 1.04'。与上述 3 个季节相比,夏季浮游植物的密集中心明显向东南方向漂移,从春季到夏季,浮游植物的密集中心向东移动 24.74',向南移动 15.74';从夏季到秋季,浮游植物的密集中心向西移动 16.48',向北移动 16.78'。

4 讨论

4.1 环境条件的影响

有关研究表明,浮游植物的丰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、水温 and 盐度等水文条件及海水营养盐的影响<sup>[14~16]</sup>。粤西海域地处热带及亚热带,沿岸大小河流众多,其气候条件受季风影响程度较大,通常形成春秋 2 个雨季。调查期间由于粤西海域常年受纳沿岸城镇生活废水以及工农业污水,加上陆源径流带入大量富含有机物的冲淡水,致使近岸水域盐度降低,营养盐大幅升高,浮游植物得以大量生长和繁殖,另外由于南海暖流的作用也带来大量外海种类,其结果是近岸水域浮游植物的丰度大幅增加,形成稳定的密集分布区,本文密集中心分析的结果也说明了这一点;而离岸水域主要受到南海暖流的影响,沿岸流及陆源径流对其影响不大,因而该水域盐度较高,营养盐相对贫乏,这种生态条件较为适合外海高盐性种类和一些广布性种类的生长和繁殖,与近岸水域相比较,浮游植物的丰度相对较低。夏季水温偏高,虽然台风带来大量降水,但大部分时间受副热带高压控制,雨量相对较少,因而适合某些近岸广布性种类的生长和繁殖<sup>[17~19]</sup>,浮游植物的丰度要低于其它 3 个季节,同时由于该季节受粤东沿岸流和珠江口冲淡水的影响较大,来自珠江流域的营养盐向西南方向扩散至川山群岛周围水域,导致该水域出现浮游植物的相对密集区。

4.2 氮/磷值(N/P 值)的影响

海水中正常的氮/磷值(N/P=16)是浮游植物生长和繁殖的基础<sup>[20]</sup>。与同期测得的海水营养盐含量进行多元回归分析,结果表明调查期间粤西海域浮游植物的丰度受海水 N/P 值的影响较大(图 4)。从图中可知,春季、秋季和冬季 N/P 的实测值与海水正常值相差不大,适宜浮游植物的生长和繁殖,而夏季 N/P 的实测值为 36.4,远高于海水的正常值,表明该季节无机磷含量不足,这种状况有可能对浮游植物的生长和繁殖产生抑制作用<sup>[21~23]</sup>。

4.3 与历史资料比较

1959~1960 年的调查资料表明,南海北部浮游植物的密集区分布于广东近岸水域,其季节变化趋势为夏季>秋季>春季>冬季。在本次调查中,南海北部浮游植物的密集区与 1959~1960 年的调查相似,也出现在近岸水域,不同的是其季节变化趋势为夏季>冬季>秋季>春季,而其中粤西海域又异于整个南海北部水域,其季节变化趋势为冬季>秋季>春季>夏季,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。

4.4 密集中心变化

密集中心分析结果表明,粤西海域浮游植物丰度的周年分布较为稳定,除夏季外,其密集中心漂移规律不太明显,究其原因估计是由于该海域主要受沿岸流、陆源径流和南海暖流的共同作用和影响,从而形成稳定的水文条件和营养盐环境<sup>[24]</sup>。

References:

[1] Lalli C M, Parsons T R. *Biological Oceanography: An Introduction*. Pergamon Press, 1993. 45~79.

[2] The investigation team and leading group of the coastal fishery resource in GuangDong Province. *The investigation report for the coastal fishery resource in Guangdong Province*. Beijing: Marine Press, 1987. 205~228.

[3] State Oceanography Administration. *The synthetic investigation report for the fishery resource and environment in the mid-waters of South China Sea*. Beijing: Science Press, 1988. 162~207.

[4] Aquicultue, animal and fishery administration, headquarter of the fishery in South China Sea, Ministry of Aquicultue, animal and fishery. *The investigation and partition of the fishery resource in South China Sea*. Guangzhou: Guangdong Technological Press, 1989. 37~81.

[5] Pollit M. Protecting irish interest: GIS on patrol. *GIS Europe*, 1994, 3(6): 18~20.

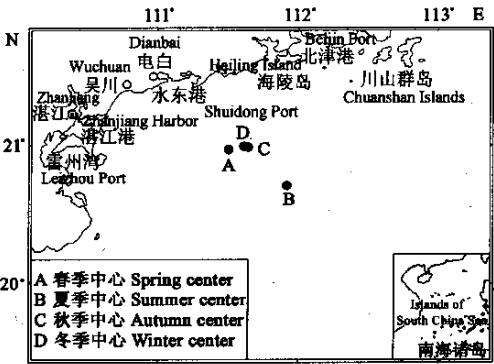


图 5 粤西海域浮游植物丰度的密集中心变化  
Fig. 5 The variation of the dense center of the phytoplankton abundance in the West Guangdong Waters

- [6] Long B. Torres Strait marine geographic information system. In: Bellwood O, Choat H, Saxena N, eds. *Recent Advances in Marine Science and Technology*. Hawaii, Pacon Intentional, 1994. 231~239.
- [7] Shao Q Q. *The study and application for the marine fishery GIS*. Beijing: Science Press, 2001.
- [8] Ma K, Cai Q H, Xie Z C, *et al.* GIS simulation on the distribution of submerged macrophytes in Baoan Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(11): 2271~2277.
- [9] State Oceanography Administration. *Marine survey criterion*. Beijing: Oceanography Press, 1991.
- [10] Dang A R, Jia H F, Yi S Z, *et al.* *Application manual for the geographic information system of ArcGIS 8 Desktop*. Beijing: Qinghua University Press, 2003.
- [11] Wu L X, Shi W Z. *Theory and arithmetic for the geographic information system*. Beijing: Science Press, 2003.
- [12] Shen G Y, Shi B Z. *Marine ecology*. Xiamen: Xiamen university Press, 1996.
- [13] Shen Y H, Liang Z Z, Xu L S, *et al.* *The applied mathematic handbook*. Beijing: Science Press, 1997.
- [14] Goldman J C, Glibert P M. Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton. In: Carpenter E J, Capone D G. *Nitrogen in Marine Environment*. Academic Press, New York, 1983. 233~274.
- [15] Perry M J, Eppley R W. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 1981, **28**: 39~49.
- [16] Zhang S Y, Shao J B, Dai X J. Study on eutrophication and phytoplankton diversity in Hangzhou Bay, *Journal of Fisheries of China*, 2001, **25**(6): 512~517.
- [17] Agawin N S, Duarte C M, Agusti S. Nutrient and temperature control of the contribution of picoplankton to phytoplankton biomass and production. *Limnol Oceanogr.*, 2000, **45**(3): 591~600.
- [18] Lehman P W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. *Limnol Oceanogr.*, 2000, **45**(3): 580~590.
- [19] Zhou K, Huang C J, Jiang S, *et al.* Annual dynamics of phytoplankton in Zhelin Bay: 2000~2001. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(5): 688~698.
- [20] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 1958. 205~221.
- [21] Lin J M. The distribution for phytoplankton in Dongsha Bay, Fujiang. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1995, **14**(1): 57~61.
- [22] Zhou J Z, Dong L P, Qin B P. The preliminary study on the eutrophication and red tide in Bohai Bay. *Marine Environmental Science*, 1983, **2**(2): 41~54.
- [23] Lin R G. The preliminary study on the evaluation method for the eutrophication level of the sea water. *Marine Environmental Science*, 1996, **15**(2): 28~31.
- [24] Li L, Li F Q, Su J, *et al.* Analysis on water masses in the South China Sea in summer and winter of 1998. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**(4): 393~401.

#### 参考文献:

- [2] 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. 北京: 海洋出版社, 1987. 205~228.
- [3] 国家海洋局. 南海中部海域环境资源综合调查报告. 北京: 科学出版社, 1988. 162~207.
- [4] 农牧渔业部水产局, 农牧渔业部南海区渔业指挥部. 南海区渔业资源调查和区划. 广州: 广东科技出版社, 1989. 37~81.
- [7] 邵全琴. 海洋渔业地理信息系统研究与应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] 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.
- [9] 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [10] 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.
- [11] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] 沈国英, 施并章. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2002.
- [13] 沈永欢, 梁再中, 许履瑚, 等. 实用数学手册. 北京: 科学出版社, 1997.
- [16] 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. 水产学报, 2001, **25**(6): 512~517.
- [19] 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.
- [21] 林金美. 福建东沙湾浮游植物的分布. 台湾海峡, 1995, **14**(1): 57~61.
- [22] 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. 海洋环境科学, 1983, **2**(2): 41~54.
- [23] 林荣根. 海水富营养化水平评价方法浅析. 海洋环境科学, 1996, **15**(2): 28~31.
- [24] 李磊, 李凤岐, 苏洁, 等. 1998 年夏、冬季南海水团分析. 海洋与湖沼, 2002, **33**(4): 393~401.