

文章编号:1000 - 0615(2004)05 - 0522 - 07

基于 GIS 的考洲洋养殖水域水质状况分析

蔡文贵, 贾晓平, 林 钦, 李纯厚, 甘居利, 王增焕

(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)

摘要:在 GIS 和数据库技术的支持下,据 1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)两个航次的调查数据,利用数据插值和栅格图形加权平均等处理手段,综合分析和评价了考洲洋水域的水质营养状况。结果显示,枯水期考洲洋的水质符合一类海水水质标准,整个水域未受明显有机污染,丰水期整个水域符合二类海水水质标准,湾西北部和吉隆河口附近水域受明显的有机污染,出现富营养化现象,应引起重视。两个调查航次初级生产力的分布趋势相似,均呈现湾口高,湾中部和湾西北部低的变化趋势。饵料生物的分布无明显的规律,在枯水期,饵料生物的分布较为均匀,大部分水域处于 2~3 级水平,其密集分布区出现在湾西北部、湾口和吉隆河口附近水域,而在丰水期,饵料生物的变化幅度较大,其密集分布区位于湾中部水域和望京洲沿岸水域。两个航次相比,丰水期的初级生产力水平和饵料生物水平均高于枯水期。

关键词:地理信息系统(GIS);考洲洋;有机污染;富营养化

中图分类号:S959 **文献标识码:**A

Analysis of water quality status in culturing waters in Kaozhou Bay based upon GIS

CAI Wen-gui, JIA Xiao-ping, LIN Qin, LI Chun-hou, GAN Ju-li, WANG Zeng-huan

(Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture & Guangdong Province,
South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Supported by the technique of GIS and database and based on the survey data of two cruises in February (dry season) and August (wet season) of 1999, this paper analyzed and evaluated comprehensively the status of water nutrient in Kaozhou Bay by using the method of data interpolation and grid weighting scheme. In the dry season, the water quality accorded with the first class of sea water standard without any organic pollution, while in the wet season it was in the second class with obvious organic pollution and eutrophication occurring in the northwestern waters and the estuary of Jilong River. The distribution trends of the primary productivity were similar in the two surveys, which were high in the mouth of the bay and low in the middle and northwestern waters. The distributions of the food organisms were irregular in both of the surveys. In the dry season they were evenly distributed with most of the waters belonging to the second or the third level, and the dense area was found in the northwestern waters, the mouth of the bay and the waters around Jilong River, while in the wet season, the

收稿日期:2003-05-12

资助项目:广东省惠州市海洋渔业资源评价与规划项目(1999);广东省自然科学基金(033101);农业部渔业环境重点开放实验室开放基金(2003-1);农业部海洋与河口重点开放实验室开放基金(开-03-07)

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:wengucaicai@163.net

通讯作者:贾晓平(1949-),男,河南获嘉人,研究员,博士生导师,主要从事海洋渔业生态环境与污染监控技术研究。E-mail:

Ji Xiaoping53@163.com

food organism level varied distinctly with the dense area occurring in the middle waters of the bay and the coastal waters along Wangjingzhou village. Compared between the two surveys, the levels of primary productivity and food organisms in the wet season were higher than those in the dry season.

Key words: geographic information system (GIS); Kaozhou Bay; organic pollution; eutrophication

考洲洋(22°3' ~ 22°45' N, 114°52' ~ 114°56' E)是红海湾向内陆延伸的一个溺谷湾,通过一狭长水道与外海相连,其自然条件独特,是粤东沿海重要水产增养殖水域之一,为广东省海洋渔业经济作出了重要贡献,已被列为海洋生态养殖示范区。近十几年来,伴随着海水养殖由传统的模式过渡到高度集约化的模式,养殖水域被过度开发和利用,超高密度的养殖所产生的自身污染物(如残饵和排泄物)及周边地区工农业废水和生活污水的输入,导致养殖水域水质日益恶化,水产养殖病害频繁发生,在一定程度上阻碍了考洲洋水产增养殖业的持续发展。因此,及时监控考洲洋水质状况,优化养殖模式,控制水产增养殖容量,已成为当务之急。

地理信息系统(geographic information system, GIS)作为综合处理和分析空间信息问题的有力工具,已在海洋渔业领域中得到了广泛的应用^[1-4]。本文在 GIS 和数据库管理系统(database managing system, DBMS)的支持下,利用数据插值、栅格图形加权平均和图形叠置等空间分析和处理手段,对考洲洋养殖水域的水质状况进行了综合的分析和研究,系统地了解养殖水域的生态环境状况,为该水域的可持续利用、养殖模式的合理设置和水产增养殖业的健康发展提供科学的依据和手段,促进我国水产增养殖业从传统的养殖模式迅速过渡到集约化、规模化和现代化的养殖模式。

1 材料与方法

1.1 站位布设

站位的布设如图 1 所示。共设 12 个站位,调查于 1999 年 2 月(枯水期)和 1999 年 8 月(丰水期)分两个航次进行,分别采集各个站位的水样、浮游植物、浮游动物和底栖生物样品,除现场测定项目外,其余样品均带回实验室分析、测定。

1.2 样品分析

水质样品分别测定 pH、DO、COD、无机氮(DIN,包括 NH_3^+-N 、 NO_2^--N 和 NO_3^--N)、无机磷(IP)、叶绿素 a (Chl-a) 和初级生产力(根据 Chl-a

含量估算)。浮游植物、浮游动物和底栖生物样品分别进行栖息密度和生物量的测定。样品的采集、分析和测定均参考文献[5]的方法。



图 1 考洲洋调查站位

Fig. 1 Sampling stations in Kaozhou Bay

1.3 GIS 软件

选择美国 ESRI 公司的 Arc GIS 8.3 软件(含 Spatial Analysis 扩展模块)作为海水营养状况的评价工具。

1.4 海水营养状况的研究方法

数据插值 利用 GIS 技术的数学模型,根据综合因子评价的模式建立最优算法程序,进行未知点的插值运算,对结果进行时空模拟,以避免因站点布设的局限性而对结果造成的偏差。本文采用 Kriging 法^[6]进行线性加权组合和平均,根据已知点的数据预测未知点的值。Kriging 法基本公式如下:

为已知点的值, w 为权系数,第 i 点的分析值为

$$u = \sum_{i=1}^n w_i v_i, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

实际值和分析值的估计误差为

$$r_i = u - u_i$$

平均估计误差为

$$m_r = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (u - u_i)$$

其均方差为

$$^2 R = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (r_i - m_r)^2 =$$

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [(u - u_i) - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (u - u_i)]^2$$

最优估计计算法是要求其均方差为最小而展开的系列算法^[7],主要原理是利用拉格朗日极小化原理,推出权重值 W 与半方差关系为拉格朗日算子

$$\sum_{j=1}^n W_j \tilde{u}_{ij} + \mu = \tilde{u}_{i0}, (i = 1 \sim n) \quad \sum_{j=1}^n W_j = 1$$

求出各权系数后,再计算出评估区域第 n 个待插点的分析值。

空间分析 采用 Arc GIS8.3 的空间分析模块 (spatial analysis) 对考洲洋水质、初级生产力及饵料生物水平进行分级评价,调用模块中的加权平均复合程序,按照相应的分级标准和权重值,分别对水质各因子以及浮游植物、浮游动物和底栖生物进行分级计算,将其计算结果进行空间叠加,从而确定水质和饵料生物的综合分级水平。加权平均计算公式如下^[8]:

$$G_p = W_i C_{ip}$$

式中, G_p 表示 p 点最终结果值, W_i 表示第 i 个要素权重, C_{ip} 表示第 i 个要素在 P 点的类别分级。

评价公式 有机污染指数 A 值^[9, 10]:

$$A = \frac{COD}{COD_s} + \frac{DIN}{DIN_s} + \frac{IP}{IP_s} - \frac{DO}{DO_s} \quad (1)$$

营养状况指数 NQI 值^[11]:

$$NQI = \frac{COD}{COD_s} + \frac{DIN}{DIN_s} + \frac{IP}{IP_s} + \frac{Chl-a}{Chl-a_s} \quad (2)$$

式(1)、(2)中 COD、DIN、IP、DO 和 Chl-a 分别为各因子的测量值, COD_s 、 DIN_s 、 IP_s 和 DO_s 分别为各因子一类海水的标准值^[11],由于海水标准并没有规定 Chl-a 的标准值,本文参考文献[10, 12],取 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 作为其评价标准值。

评价等级划分 表1和表2分别列出了有机污染程度和营养状况评价分级、饵料生物和初级生产力水平分级评价标准^[13]。

表1 有机污染程度和营养状态评价分级

Tab.1 The classes for the evaluation on the status of organic pollution and nutrient level

A 值 A value	污染程度分级 classes for the pollution degree	水质评价 water quality evaluation	NQI 值 NQI value	营养状态分级 classes for the nutrient status	营养状态评价 evaluation on the nutrient status
<0	0	良好 well	<2	1	贫营养水平 poor nutrient
0~1	1	较好 better	2~3	2	中等营养水平 middle nutrient
1~2	2	开始受到污染 start to be polluted	>3	3	富营养水平 eutrophication
2~3	3	轻度污染 light pollution			
3~4	4	中度污染 middle pollution			
>4	5	严重污染 serious pollution			

表2 饵料生物和初级生产力水平分级评价标准

Tab.2 The evaluation standard for the level classes of food organisms and primary productivity

评价等级 evaluation classes	1	2	3	4	5
浮游植物栖息密度 ($\times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$) density of phytoplankton	<20	20~50	50~75	75~100	>100
浮游动物生物量 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) biomass of zooplankton	<10	10~30	30~50	50~100	>100
底栖生物生物量 (采泥) ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) biomass of benthos (dredge)	<5	5~10	10~25	25~50	>50
初级生产力 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) primary productivity	<200	200~300	300~400	400~500	>500
分级描述 classes description	低 low	较低 lower	丰富 rich	较丰富 richer	最丰富 richest

2 结果与讨论

2.1 海水水质

在 GIS 的支持下根据海水水质标准 (GB3097 - 1997)^[12] 将考洲洋海水各化学要素进行等级划分,经加权平均和复合^[8, 14] 得到整个水域枯水期和丰水期水质综合评价图 (图 2-a)。考洲洋水域

近乎封闭的地理特征决定了湾内水质的生物活性较低^[15, 16],由低次生态系统所提供的 DIN 和 IP 等无机营养盐十分有限,营养盐的主要来源为来自陆地河流 (如吉隆河) 所携带有机物的输入和沿岸污水的排放。枯水期由于降雨量较少,来自陆源的有机污染物大幅减低,整个考洲洋水域的水质状况较好,均为一类海水水质 (图 2-a)。到了丰

水期,随着雨水的增多,陆源有机污染物的输入量也不断增大,水质状况变差,除湾中部水域及湾口小块水域的海水为一类海水水质外,其余水域均为二类海水水质(图 2-b)。而从养殖水域水质标准的角度来看,无论是枯水期还是丰水期,考洲洋水域的水质均符合养殖水域的水质标准。

2.2 有机污染及营养水平

枯水期 A 值除吉隆河口一小块水域为一级水平外,其余水域均为 0 级水平(图 3-a),整个水域的 NQI 值为一级水平(图 4-a),表明该时期考洲洋水域基本未受有机污染,水质状况良好或较好。丰水期则由于沿岸雨水的流入而带来大量营养盐,再加上该季节(8 月份)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,致使湾内营养盐含量大幅增加,特别是 IP 含量(调查结果显示,从枯水期到丰水期,IP 含量从未检出增至平均值为 $0.96\mu\text{mol L}^{-1}$,最高达 $1.87\mu\text{mol L}^{-1}$,约超出二、三类海水水质标准 $0.97\mu\text{mol L}^{-1}$ 的 1 倍),因此丰水期 A 值和 NQI 值均出现较大幅度的变化(图 3-b 和图 4-b),其高值区均出现在湾西北部、赤岸沿岸水域和吉隆河口水域,分别达四级和三级水平,受明显的有机污染,水质处于富营养化状态,其次为湾中部的大片水域,其 A 值和 NQI 值分别为三级和二级水平,水质营养水平适中,受较轻微的有机污染,盐洲岛北部和湾口等局部水域 A 值和 NQI 值较低,分别为二级和一级水平。总体上丰水期整个水域受到轻

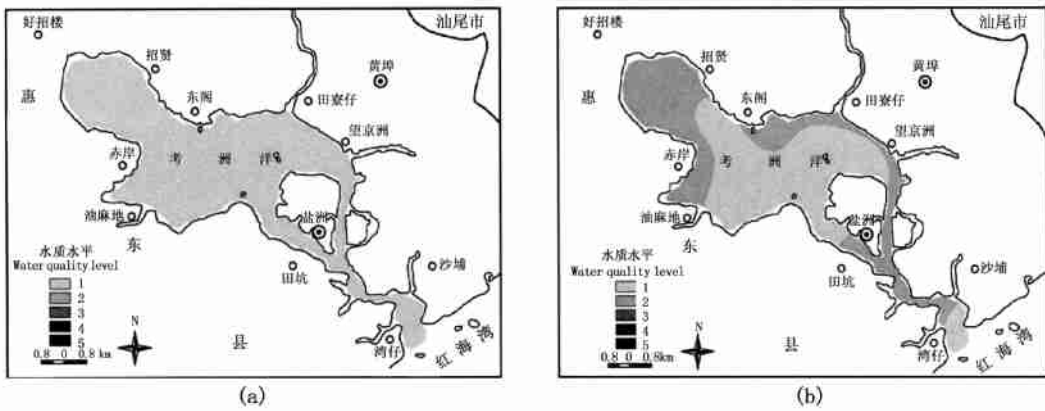


图 2 海水水质综合水平

Fig. 2 The synthetic level for the sea water quality
a. 枯水期 dry season; b. 丰水期 wet season

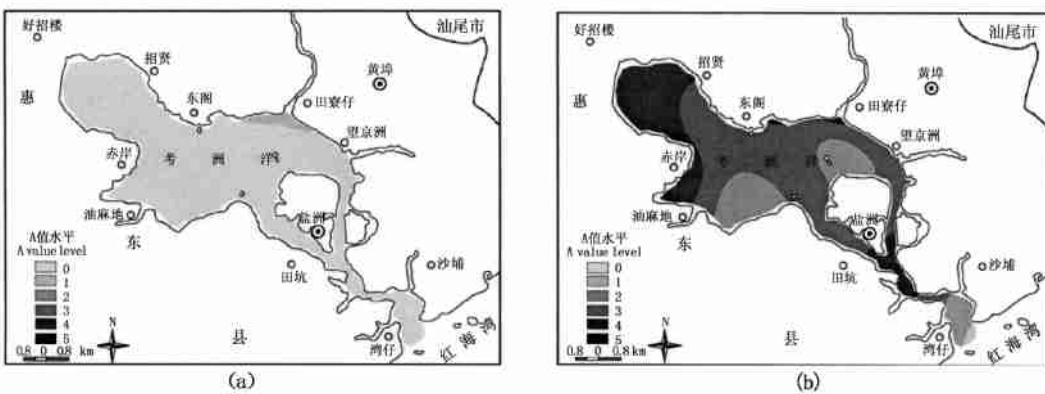


图 3 A 值水平分布

Fig. 3 The distribution for A value
a. 枯水期 dry season; b. 丰水期 wet season

度或中度的有机污染,此时应引起充分的重视并采取措施加以防控,以避免污染程度的继续加重而导致养殖病害的发生。

2.3 初级生产力

枯水期和丰水期考洲洋初级生产力的分布趋势极为相似(图5),其高值区均出现在湾口至盐洲岛的狭长水道中,特别是丰水期,整条水道的初级生产力均为五级,处于最丰富水平,而盐洲岛以北的大部分水域基本呈一至二级水平,初级生产力水平较低。总体上,两个调查航次初级生产力水平均呈现出湾口高,湾中部和湾西北部低的变化趋势,而相比较来说,丰水期的初级生产力水平要高于枯水期。考洲洋湾内初级生产力较低的主

要原因是由于其 N/P 值不均衡^[17],特别是枯水期,其 IP 含量极低,调查中仅有 1 个测站(7 号站)测出 IP 含量($0.11\mu\text{mol L}^{-1}$),IP 严重不足,且水质营养水平较低,为 IP 限制水质类型,而丰水期海水 N/P 平均值为 11.19,表现为氮不足,且水域受中度有机污染,此时为氮限制水质类型,特别在湾西北部,受氮不足的影响更加明显。在湾口水域,水交换程度较好,来自外海丰富的营养盐促进了 Chl-a 的繁育,加上外海水团所携带的 Chl-a,致使该水域初级生产力水平较高。丰水期较好的光照水平和较高的营养盐含量使其初级生产力水平要高于枯水期^[18]。

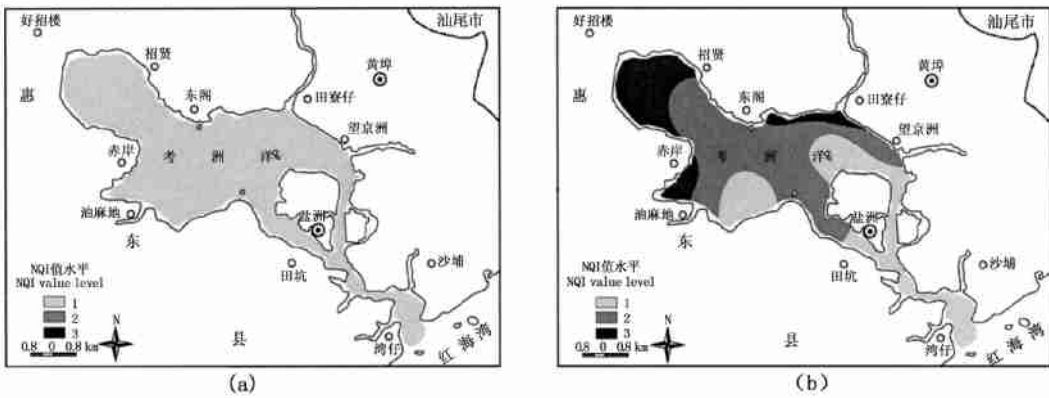


图4 NQI 值水平分布

Fig. 4 The distribution for NQI value
a. 枯水期 dry season; b. 丰水期 wet season

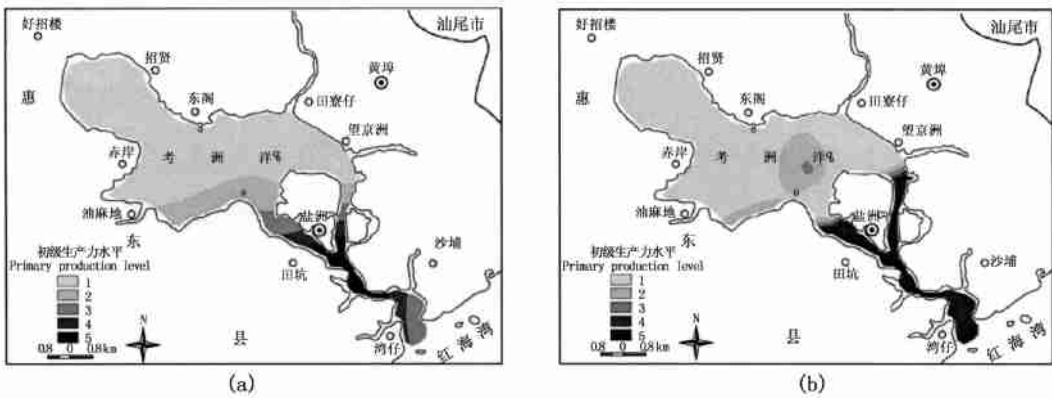


图5 初级生产力水平分布

Fig. 5 The distribution for the primary productivity
a. 枯水期 dry season; b. 丰水期 wet season

2.4 饵料生物水平

利用 GIS 技术将浮游植物、浮游动物和底栖生物按表 2 所示标准进行等级划分,经加权平均和复合^[8, 14]得到饵料生物的水平分级(图 6)。枯水期由于考洲洋整个水域的水质状况差异不大,饵料生物的分布较为均匀,大部分水域处于二至三级水平,其密集分布区位于湾西北部、湾口和吉隆河口附近水域,达四级水平,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,达四至五级,饵料生物最为丰富,其次为湾口,为四级水平,最低则分布于湾的西部和西北部,其饵料

生物较低,为一至二级水平。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^[19],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,估计是由于丰水期湾中营养盐较为丰富、初级生产力较高,加上高温季节营养盐循环速率相对加快,对饵料生物(特别是浮游植物)的生长和繁殖的限制作用不大,而相比之下,水温的上升可能对饵料生物数量的增加更具有主导作用^[20, 21]。

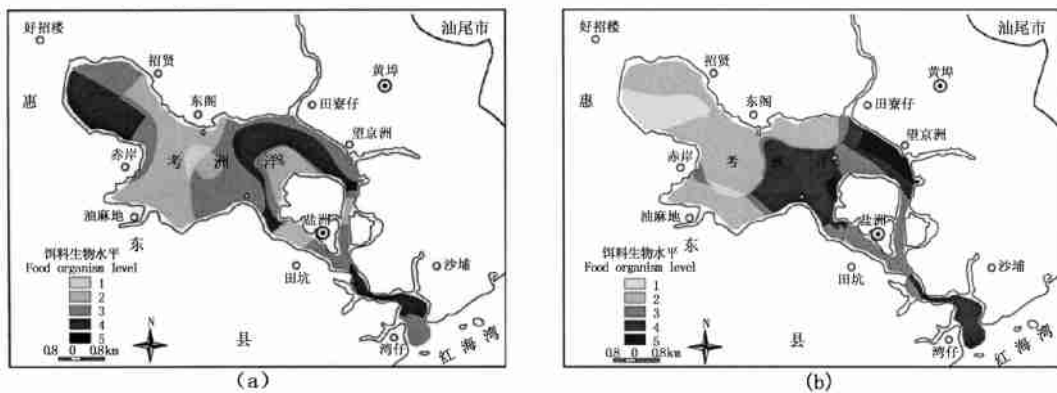


图 6 饵料生物水平分布

Fig. 6 The distribution for the food organisms

a. 枯水期 dry season; b. 丰水期 wet season

3 结语

(1) 枯水期考洲洋整个水域水质均符合一类海水水质标准,无有机污染现象发生;丰水期除湾中部水域为一类海水水质外,其余水域均为二类海水水质,湾西北部和吉隆河口附近水域受明显的有机污染,出现富营养化现象,而盐洲岛至湾口水域,未受明显的有机污染。

(2) 两个调查航次初级生产力分布趋势极为相似,呈现出湾口高,湾中部和湾西北部低的变化趋势;比较而言,丰水期的初级生产力要高于枯水期。

(3) 调查期间饵料生物的分布无明显规律。枯水期大部分水域的饵料生物为二至三级水平,密集区分布于湾西北部、湾口和吉隆河口附近水

域;丰水期饵料生物水平变化幅度较大,其变化范围为一至五级水平,密集区分布于湾中部和望京洲沿岸水域,湾西北部水域最低。

参考文献:

- [1] Shao Q Q. The study and application of the marine fishery geographic information system [M]. Beijing: Science Press, 2001. [邵全琴. 海洋渔业地理信息系统研究与应用[M]. 北京:科学出版社, 2001.]
- [2] Su F Z, Zhou C H, Shao Q Q, et al. The development, application and prospect for the marine fishery geographic information system[J]. J. Fish China, 2002, 26(2): 169 - 174. [苏奋振, 周成虎, 邵全琴, 等. 海洋渔业地理信息系统的发展、应用与前景[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 169 - 174.]
- [3] Long B. Torres Strait marine geographic information system [A]. Bellwood O, Choat H, Saxena N: Recent advances in

- marine science and technology [C]. Hawaii, USA: Pacon Intentional, 1994. 231 - 239.
- [4] Collins N, Hurlbut S. Environmental risk analysis of salvaging the Irving whale [A]. GIS93 [C]. Ottawa: The Canadian Institute of Geomatics, 1993, 1: 326 - 336.
- [5] State Oceanographic Administration. Specification of oceanographic survey[S]. Beijing: Oceanographic Press, 1991. [国家海洋局. 海洋监测规范[S]. 北京:海洋出版社, 1991.]
- [6] Wu X C, Guo J Y, Zheng G Z, *et al.* The theory and technique for the geographic information system[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2002. [吴信才, 郭际元, 郑贵洲, 等. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社, 2002.]
- [7] Isaaks S. An introduction to applied geostatistics[M]. Oxford University Press, 1989, 5(1): 50 - 70.
- [8] Xu Z J. The rudiment and improvement for GIS [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2001. [徐祖贻. GIS入门与提高[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2001.]
- [9] 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[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(1): 46 - 53.]
- [10] Zhou J Z, Dong L P, Qin B P. The preliminary study on the eutrophication and red tide in Bohai Bay [J]. Marine Environmental Science, 1983, 2(2): 41 - 54. [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 - 54.]
- [11] State Environment Protection Bureau, State Technical Supervision Bureau. Sea water quality standard (GB3097 - 1997) [S]. Beijing: China Standard Press, 1997. 1 - 3. [国家环保局, 国家技术监督局. 海水水质标准(GB3097 - 1997) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997. 1 - 3.]
- [12] Lin H Y, Han W Y. Water quality assessment and analysis before and after the decade of theory season in Lingdingyang estuary of the Pearl River Mouth [J]. Marine Environmental Science, 2001, 20(2): 28 - 31. [林洪瑛, 韩舞鹰. 珠江口伶仃洋枯水期十年前后的水质状况与评价[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(2): 28 - 31.]
- [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. 海洋渔场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): 158 - 164.]
- [14] ESRI Inc. Arc view spatial analyst [M]. Redland, CA, USA, 1996. 45 - 50.
- [15] 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)[M]. 北京:海洋出版社, 1998. 574 - 576.]
- [16] Zhang S Y, Shao J B, Dai X J. Study on eutrophication and phytoplankton diversity in Hangzhou Bay [J]. J Fish China, 2001, 25(6): 512 - 517. [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探讨[J]. 水产学报, 2001, 25(6): 512 - 517.]
- [17] Cui Y, Chen B J, Ma S S. Study on the relationship between phytoplankton and environment factors in Rushan Bay [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 11(6): 935 - 938. [崔毅, 陈碧鹃, 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.]
- [18] Peng Y H, Chen H R, Pan M X, *et al.* The primary production and potential fishery production in the sea area around the Daya Bay Nuclear Power Station before and after the operation of DBNPS [J]. J Fish China, 2001, 25(2): 161 - 165. [彭云辉, 陈浩如, 潘明祥, 等. 大亚湾核电站运转前后邻近海域初级生产力及潜在渔获量初步研究[J]. 水产学报, 2001, 25(2): 161 - 165.]
- [19] 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[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 688 - 698.]
- [20] 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.
- [21] Lin J M. The distribution for phytoplankton in Dongsha Bay, Fujian [J]. J Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(1): 57 - 61. [林金美. 福建东沙湾浮游植物的分布[J]. 台湾海峡, 1995, 14(1): 57 - 61.]