

# 福建牙城湾海水、沉积物的环境特征及其质量评价<sup>\*</sup>

王 蕴<sup>1</sup>, 蔡明刚<sup>1, 2</sup>, 黄东仁<sup>3</sup>, 耿安朝<sup>1</sup>, 陈于望<sup>1</sup>

(1. 厦门大学海洋学系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005; 3. 福建省海洋环境与渔业资源监测中心, 福建 福州 350003)

**摘要:** 于 2005 年 10 月首次调查了福建牙城湾海域水体及沉积物的环境质量。结果表明, 海水中主要超标污染物为  $PO_4-P$  和  $DN$ , 其含量范围分别为  $0.029 \sim 0.037$  mg/L 和  $0.270 \sim 0.510$  mg/L, 其它指标均符合二类海水水质标准。沉积物中各项指标基本达到《海洋沉积物质量》的一类标准, 其中 Hg、Pb、Cu 和 Cd 等四种重金属的平均含量分别为  $0.091 \times 10^{-6}$ 、 $39.7 \times 10^{-6}$ 、 $29.3 \times 10^{-6}$  和  $0.118 \times 10^{-6}$ , 有机物和硫化物的平均含量分别为  $0.941 \times 10^{-2}$  和  $207 \times 10^{-6}$ 。湾水水体已达到富营养状态, 且 N 为限制因子。此外, 对沉积物中重金属及其他环境因子间的相关性进行了分析。

**关键词:** 环境质量; 海水; 沉积物; 牙城湾; 福建

中图分类号: P734.4 X55 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2009)01-0022-04

## Characteristics and assessment of environmental quality in seawater and sediment of Yacheng Bay, Fujian

WANG Yun<sup>1</sup>, CAI Ming-gang<sup>1, 2</sup>, HUANG Dong-ren<sup>3</sup>, GENG An-chao<sup>1, 2</sup>, CHEN Yu-wang<sup>1</sup>

(1. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Center of Marine Environment and Fish Resource of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

**Abstract** The concentrations of the major environmental items in surface seawater and sediment are reported for the first time in Yacheng Bay in Fujian Province in Oct. 2005. The major pollutants in seawater are  $DRP$  and  $DN$ , and their concentrations are  $0.029 \sim 0.037$  mg/L and  $0.270 \sim 0.510$  mg/L, respectively. The contents of other environmental items in seawater are within the Second Class Standard of Seawater Quality. Most of the items in surface sediments are below the values of First-class Standard for Marine Sediments Quality. The average concentrations of Hg, Pb, Cu, Cd in surface sediments are  $0.091 \times 10^{-6}$ ,  $39.7 \times 10^{-6}$ ,  $29.3 \times 10^{-6}$  and  $0.118 \times 10^{-6}$ , respectively. The organic matter and sulfide are  $0.941 \times 10^{-2}$  and  $207 \times 10^{-6}$ , respectively. It is found that the quality in seawater in Yacheng Gulf was in eutrophication condition using the way of index  $E$ , while the limit factor is N. What's more, the correlations among some heavy metals and other environmental items were also analyzed.

**Key words** environmental quality; seawater; sediment; Yacheng Bay; Fujian Province

牙城湾位于福建省东北部, 隶属福建宁德市。区域中心位置坐标为  $120^{\circ} 11' 13'' E$ ,  $26^{\circ} 58' 22'' N$ , 其东侧为入海口, 其余为丘陵山地环抱。海域面积约  $16 \text{ km}^2$ , 岸线曲折, 长约 25 km。历史上该海域水产丰富, 现被确立为当地海洋水产养殖业的新一轮发展重点。同时, 牙城海域滩涂养殖区已调整为海洋功能区划待定区, 一些工业和城镇发展项目正在启动过程中。鉴于迄今为止尚未见有关该海域环境质量的报道, 于 2005 年 10 月首次对水体及

沉积物的各理化因子特征开展调查, 并对其环境质量进行了评价, 以期今后牙城湾海域的环境保护及可持续开发利用提供基础科学依据。

### 1 采样、分析及评价方法

#### 1.1 样品采集

于 2005 年 10 月在牙城湾海域采集 8 个站位表层水样, 同时在 1、3、4、5 号站位采集表层沉积物样品, 站位设

\* 收稿日期: 2007-01-10 修订日期: 2007-05-07

基金项目: 国家自然科学基金 (40306012); 福建省重点科技项目 (2005Y021); 福建省海洋与渔业局科技项目 (1020-K53011-0051-K37011)

作者简介: 王 蕴 (1985-), 男, 山东省菏泽市人, 硕士研究生, 主要开展海洋环境化学, 海洋有机污染等方面的研究。

通讯作者: 蔡明刚, E-mail: mgca@xmu.edu.cn

置如图 1 所示。

海水样品的采集、固定、保存均按《海洋监测规范》进行<sup>[1]</sup>。表层沉积物用抓斗式采泥器采集, 用塑料勺取其中央未受干扰的表层泥样。其中, 分析硫化物的沉积物样品密封于棕色玻璃瓶, -4℃ 以下速冻保存; 分析有机物和重金属的样品密封于乙烯袋中, 0~ 4℃ 下保存。将样品在实验室内风干后, 用玛瑙研钵将其研碎并全部通过 160 目筛, 充分混匀后, 取样分装保存以供测定。

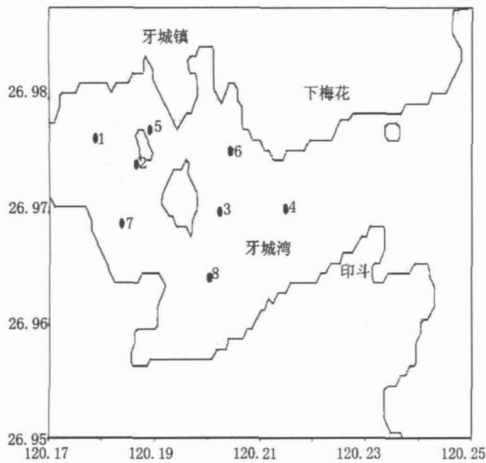


图 1 福建牙城湾海域采样站位

Fig 1 Sample stations in Yacheng Bay, Fujian

1. 2 样品分析

水样调查项目包括 pH、盐度、DO、COD、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、石油类、悬浮颗粒物及 Chl+a。表层沉积物样品监测项目为 Hg、Pb、Cu、Cd、有机物及硫化物。具体分析方法详见《海洋监测规范》<sup>[1]</sup>。

1. 3 评价方法

1. 3. 1 单因子指数评价

分别对研究海域海水及沉积物的环境质量进行单因子评价, 评价标准分别为《海水水质标准》(GB 3097-1997)的二类标准和《海洋沉积物质量》(GB 18668-2002)中的一类标准。其计算公式如下:

$$I_j = C_j / S_j$$

对于 DO, 计算公式为:

$$I_{DO} = 10^9 \cdot DO_i / S_{DO} \quad (DO_i \leq S_{DO} \text{ 时})$$

$$I_{DO} = (DO_s - DO_i) / (DO_s - S_{DO}) \quad (DO_i \geq S_{DO} \text{ 时})$$

其中:  $I_{ij}$  为  $i$  点位  $j$  项污染物的质量指数;  $C_j$  为  $i$  点位  $j$  项污染物的实测浓度平均值;  $S_j$  为  $j$  项污染物的评价标准限值。DO<sub>s</sub> 为饱和溶解氧浓度值, DO<sub>i</sub> 为  $i$  点处的 DO 实测浓度均值; S<sub>DO</sub> 为 DO 的评价标准限值;  $I_{DO}$  为  $i$  点位 DO 的质量指数。

1. 3. 2 营养水平评价方法

以营养状态指数 ( $E$ ) 为主要的评价指标对研究海域的营养状况进行评价。本文以邹景忠等<sup>[2]</sup>所拟定的标准: 化学耗氧量 1~ 3 mg/L, 溶解无机氮 0.2~ 0.3 mg/L, 溶解无机磷 0.045 mg/L 为富营养化的阈值。评价公式为:

$$E = c_{COD} \times c_{DN} \times c_{DRP} / 4500$$

上式中:  $E$  为富营养化判断值,  $c_{COD}$ 、 $c_{DN}$ 、 $c_{DRP}$  分别为 COD (mg/L)、DN ( $\mu$ g/L)、PO<sub>4</sub>-P ( $\mu$ g/L) 的测定值。若  $E \geq 1$ , 即表明所测水体已达到富营养化水平。

2 结果与讨论

2. 1 水质监测结果及其富营养化水平分析

2. 1. 1 表层海水监测结果

研究海域表层海水水质监测结果如表 1 所示。对比二类海水水质标准 (GB3097-1997) 可知, 其主要污染物为 DN 和 PO<sub>4</sub>-P。其中, DN 含量范围为 0.270~ 0.510 mg/L, 平均值为 0.344 mg/L, 普遍超标, NO<sub>3</sub>-N 是造成 DN 超标的主要形态。超标主要集中于牙城湾北部, 最大值出现在 5 号站位, 这主要是由于牙城湾沿岸居民生活主要集中在北岸, 且在 5 号站位北侧有一条排洪沟, 沿岸污水未经处理均由此排入海湾。PO<sub>4</sub>-P 含量为 0.029~ 0.037 mg/L, 平均值为 0.032 mg/L, 表明该海域水体中 DRP 浓度普遍超过二类标准。除 N、P 外, 研究海域的 DO、COD 和石油类等其他指标均符合二类海水水质标准。

表 1 福建牙城湾海水水质分析结果

Tab 1 Concentrations of environmental items in surface seawater from Yacheng Bay, Fujian

站位	pH	S	DO /mg·L <sup>-1</sup>	COD /mg·L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P /mg·L <sup>-1</sup>	悬浮颗粒物 /mg·L <sup>-1</sup>	DN /mg·L <sup>-1</sup>			石油类 /mg·L <sup>-1</sup>	Chl+a /mg·m <sup>-3</sup>
							NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N		
1	8.29	24.43	8.00	0.368	0.030	49.6	0.012	0.015	0.299	0.017	2.0
2	8.28	24.67	7.81	0.337	0.030	37.9	0.013	0.019	0.313	0.013	2.0
3	8.28	27.68	7.94	0.321	0.031	34.5	0.010	0.015	0.276	0.012	2.0
4	8.26	28.05	7.75	0.416	0.034	39.1	0.010	0.009	0.309	0.018	1.8
5	8.29	25.47	8.08	0.486	0.032	35.9	0.012	0.210	0.288	0.023	2.1
6	8.27	26.67	7.58	0.431	0.037	68.4	0.013	0.019	0.326	0.017	1.9
7	8.30	24.33	7.98	0.643	0.029	37.1	0.012	0.023	0.281	0.012	2.3
8	8.30	27.48	8.36	0.368	0.030	27.8	0.009	0.012	0.249	0.011	2.6
二类标准	7.8~8.5	—	5	3	≤0.015	—	≤0.30			≤0.05	—

与福建其他海湾相比, 牙城湾表层海水的 DN 含量与罗源湾<sup>[3]</sup>、同安湾<sup>[4]</sup>大致相当, 高于东山内湾<sup>[5]</sup>、兴化湾<sup>[6]</sup>及湄洲湾<sup>[7]</sup>; PO<sub>4</sub>-P 浓度与东山内湾<sup>[5]</sup>、罗源湾<sup>[3]</sup>相

差不多, 明显高于同安湾<sup>[4]</sup>、兴化湾<sup>[6]</sup>, 低于湄洲湾<sup>[7]</sup> (表 2)。Redfield 比值 (N/P = 16) 是考察营养盐结构的主要指标, 并可作为研究生态环境中缺乏 N 或 P 的依据<sup>[8]</sup>。

研究海域各站位水体的 N/P 为 9.00~15.90 平均 10.9, 普遍小于 Redfield 比值, 说明研究海域水体中 N 相对不足, 与罗源湾、东山内湾、兴化湾和湄洲湾等同属缺 N 海域。这将导致研究海域浮游植物对 N 的浓度变化十分敏感, 当海区因排污、大量径流输入等原因导致 N 的浓度升高, 就有可能诱发浮游植物大量繁殖而引发赤潮<sup>[9]</sup>。

表 2 不同海区表层水中 DN、DRP 含量及 N/P 比较

Tab. 2 Comparisons of DN, PO<sub>4</sub>-P and N/P in surface seawater from different bays around Fujian Province

研究海域	c /mg·L <sup>-1</sup>		N/P	来源
	DN	PO <sub>4</sub> -P		
牙城湾	0.344	0.032	10.90	本研究
罗源湾	0.357	0.041	8.70	[3]
同安湾	0.305	0.017	17.94	[4]
东山内湾	0.209	0.027	7.74	[5]
兴化湾	0.131	0.018	7.3	[6]
湄洲湾	0.057	0.055	1.04	[7]

### 2.1.2 富营养化水平分析

根据营养状态指数评价方法, 可计算出研究海域各站位的营养状态指数 E 为 0.67~1.76, 其中, 4~7 号站位水体中营养状态指数分别为 1.03、1.76、1.27 和 1.31, 表明水体已处于富营养化状态, 而最大值出现在 5 号站位, 表明富营养化主要是由于沿岸 N、P 含量较高的生活及农业污水输入所致; 1、2 号站位东面有河流输入, E 值为 0.80 和 0.77。河流的污染输入应予以重视, 以防止牙城湾海域富营养化程度扩大。

### 2.2 表层沉积物环境质量

表层沉积物的监测结果如表 3 所示。Hg、Pb、Cu、Cd 的平均含量分别为  $0.091 \times 10^6$ 、 $39.7 \times 10^6$ 、 $29.3 \times 10^6$  及  $0.118 \times 10^6$ , 有机物和硫化物的平均含量为  $0.941 \times 10^2$  和  $207 \times 10^6$ , 除硫化物外, 其他指标在空间分布上相差不大。总体而言, 牙城湾海区沉积物中各项指标基本达到《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002) 的一类标准, 沉积物环境总体上处于良好状态。

表 3 福建牙城湾表层沉积物中重金属及其环境要素的含量

Tab. 3 Concentrations of heavy metals and environmental items of surface sediments from Yacheng Bay, Fujian

站位	$\omega / \times 10^6$					有机物 I (%)
	Hg	Pb	Cu	Cd	硫化物	
1	0.087	34.9	38.3	0.104	230	0.914
3	0.078	40.4	30.7	0.103	114	0.912
4	0.099	40.9	14.8	0.148	418	1.130
5	0.100	42.7	33.4	0.115	67	0.808
平均	0.091	39.7	29.3	0.118	207	0.941
一类标准	0.20	60.0	35.0	0.50	300.0	2.0

与福建其他海湾沉积物中重金属含量相比, 牙城湾表层沉积物中 Pb 和 Cu 含量尽管满足一类沉积物标准, 但普遍高于福建其它相关海湾。另一方面, Cd 则低于除东山湾外的其他海湾<sup>[10-13]</sup>。

表 4 不同海区表层沉积物中重金属平均含量比较

Tab. 4 Comparison of contents of heavy metals in surface sediments collected from different gulfs around Fujian Province

研究海域	$\omega / \times 10^6$				来源
	Hg	Pb	Cu	Cd	
牙城湾	0.091	39.7	29.3	0.118	本研究
深沪湾	—	28.58	17.48	0.050	[10]
大港湾	—	34.4	16.4	1.000	[11]
东山湾	—	14.6	17.3	0.066	[12]
同安湾	—	32.0	14.1	0.28	[13]
厦门西港	—	31.0	36.0	0.13	[13]

水体中的重金属易与有机物、硫化物通过形成金属有机络合物与金属硫化物沉淀而从水体中移出, 因此沉积物中重金属的含量与分布往往同有机物、硫化物等密切相关<sup>[14]</sup>。利用 SPSS 软件, 分析了研究海域沉积物中重金属、有机物与硫化物等环境要素之间的相关性(表 5)。由表 5 可知, 4 种重金属中, 仅 Cd 与有机物、硫化物表现出较强的正相关, 表明研究海域沉积物中 Cd 主要的存在形态是有机质和硫化物结合态。Cd、Pb、Hg 之间相关性很弱, 表明三者的地球化学来源不尽相同, 且结合形态亦有所不同。Cu 与其他参数之间则普遍呈现较好的负相关关系, 具体原因有待进一步分析。

表 5 表层沉积物中重金属、环境要素间的相关性

Tab. 5 Correlation coefficients among heavy metals, others environmental items in surface sediments

	Hg	Pb	Cu	Cd	有机物	硫化物
Hg	1					
Pb	0.441	1				
Cu	-0.417	-0.461	1			
Cd	0.701	0.394	-0.926	1		
有机物	0.188	-0.046	-0.864	0.805	1	
硫化物	0.314	-0.217	-0.746	0.793	0.954	1

## 3 结论

2005 年 10 月首次调查了福建牙城湾海域水体及沉积物的环境质量。结论如下:

(1) 牙城湾表层海水中主要超标污染物为 PO<sub>4</sub>-P 和 DN, 其含量范围分别为 0.029~0.037 mg/L 和 0.270~0.510 mg/L, 其它指标均符合二类海水水质标准; 研究海域水体已经处于富营养化状态, 且 N 为限制性因子。

(2) 牙城湾表层沉积物中 Hg、Pb、Cu、Cd 的平均含量分别为  $0.091 \times 10^6$ 、 $39.7 \times 10^6$ 、 $29.3 \times 10^6$  及  $0.118 \times 10^6$ , 有机物和硫化物的平均含量为  $0.941 \times 10^2$  和  $207 \times 10^6$ , 各项指标基本一类沉积物质量标准; 研究海域 Cd 的主要存在形态为有机质和硫化物的结合态, 而 Cd、Pb、Hg 则有其他结合形态存在。

## 参考文献:

[1] GB 17378-1998 海洋监测规范[S].

- [ 2 ] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨 [ J ]. 海洋环境科学, 1983, 2( 2 ): 41-54
- [ 3 ] 魏海燕. 罗源湾的营养盐变化趋势和评价 [ J ]. 能源与环境, 2005, 3: 61-63.
- [ 4 ] 郑爱榕, 蔡明红, 张珞平, 等. 厦门同安湾水质状况评价 [ J ]. 海洋环境科学, 2000, 19( 2 ): 46-49
- [ 5 ] 李亚治. 福建东山湾水质状况分析与污染防治对策 [ J ]. 海洋环境科学, 2000, 19( 1 ): 64-67.
- [ 6 ] 胡晴晖. 兴化湾水域 D N、D P 分布及营养状态评价 [ J ]. 海洋环境科学, 2001, 20( 4 ): 45-48.
- [ 7 ] 陈于望, 王 宪, 蔡明宏. 湄洲湾海域营养状态评价 [ J ]. 海洋环境科学, 1999, 18( 3 ): 39-42.
- [ 8 ] SM IIIH S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the morinl environment [ J ]. Linn er O cknogr, 1984, 29( 1 ): 1149-1160.
- [ 9 ] 孙丕喜, 王宗灵, 战 闰, 等. 胶州湾海水中无机氮的分布与富营养化研究 [ J ]. 海洋科学进展, 2005, 23( 4 ): 466-471
- [ 10 ] 阮金山, 李秀珠, 罗冬莲. 深沪湾海水、沉积物及贝类体内重金属的含量与评价 [ J ]. 福建水产, 2002, 2: 14-20.
- [ 11 ] 阮金山, 吴立峰, 罗冬莲. 泉州大港湾海水、沉积物及水产生物体内重金属的含量分布 [ J ]. 海洋通报, 2004, 23( 3 ): 41-45
- [ 12 ] 王瑞贤, 许清辉, 陈维芬. 东山湾表层沉积物中 8 项化学要素的地球化学特征 [ J ]. 台湾海峡, 1992, 11( 3 ): 197-202.
- [ 13 ] 蔡阿根, 王 坤, 杨逸平. 晋江潮间带底质、生物体中重金属含量及其分布特征 [ J ]. 厦门大学学报 ( 自然科学版 ), 1998, 37( 4 ): 569-575.
- [ 14 ] SOARESH M V M, BOAVENTURA R A R, MACHADO A A S C, et al Sed in ents as monitors of heavy metal contamination in the Ave R iver Basin ( Portugal ): multivariate analysis of data [ J ]. Environmental Pollution, 1999, 105 311-323.

( 上接第 4 页 )

- [ 11 ] 翟盘茂. 中国海面的辐射收支 [ J ]. 应用气象学报, 1992, 3 ( 增刊 ): 107-113
- [ 12 ] 翟盘茂. 中国近海海面太阳辐射分布的计算分析 [ J ]. 海洋通报, 1990, 9( 3 ): 15-22
- [ 13 ] 蔡学湛. 台湾海峡及其邻近海区海面辐射平衡的时空分布 [ J ]. 台湾海峡, 1987, 6( 1 ): 6-12
- [ 14 ] KODERA K. Solar cyclen odu lation of the North A tlan tic oscil lation Implication in the spatial structure of the NAO [ J ]. Geophysical Research Letters, 2002, 29( 8 ): 1029-1038.
- [ 15 ] 陈乾金, 张秀芝. 我国东部邻海总云量时空分布特征 [ J ]. 东海海洋, 1990, 8( 3 ): 18-25.
- [ 16 ] 曲维政. 影响东海气候的太阳活动信息分析 [ J ]. 海洋学报, 2006, 28( 2 ): 39-45.
- [ 17 ] KELLER C F. 1000 years of climate change [ J ]. Advances in Space Research, 2004, 34 315-322
- [ 18 ] RUSIN V, RYBANSKY M, MNAROVJECH M. The 530 3 nm corona irradiance from 1939 to 2001 [ J ]. Advances in Space Research, 2004 ( 34 ): 251-255
- [ 19 ] 丁守国, 石广玉, 赵春生. 利用 ISCCP D2 资料分析近 20 年全球不同云类云量的变化及其对气候可能的影响 [ J ]. 科学通报, 2004, 49( 11 ): 1105-1111.
- [ 20 ] TANG D L, DIB P, WEIG, et al Spatial seasonal and species variations of harmful algal blooms in the South Yellow Sea and East China Sea [ J ]. Hydrobiologia, 2006, 568( 1 ): 245-253
- [ 21 ] 国家海洋局. 2006 年中国海洋环境质量公报 [ Z ]. [http // www. soa gov. cn/hygb/2006hyhj/7. htm](http://www.soa.gov.cn/hygb/2006hyhj/7.htm), 2007-01-01.
- [ 22 ] 国家海洋局. 2005 年中国海洋灾害公报 [ Z ]. [http //www. soa gov. cn/hygb/2005hyzh/3. htm](http://www.soa.gov.cn/hygb/2005hyzh/3.htm), 2006-01-01.
- [ 23 ] 国家海洋局. 2004 年中国海洋环境质量公报 [ Z ]. [http // www. soa gov. cn/hygb/2004hjb/6. htm](http://www.soa.gov.cn/hygb/2004hjb/6.htm), 2005-01-01.
- [ 24 ] 国家海洋局. 2003 年中国海洋环境质量公报 [ Z ]. [http // www. soa gov. cn/bbs/2003hyhj/4. htm](http://www.soa.gov.cn/bbs/2003hyhj/4.htm), 2004-01-01.
- [ 25 ] 国家海洋局. 2002 年中国海洋环境质量公报 [ Z ]. [http // www. soa gov. cn/bbs/2002hjb/3. htm](http://www.soa.gov.cn/bbs/2002hjb/3.htm), 2003-01-01.
- [ 26 ] 国家海洋局. 2000 年中国海洋环境质量公报 [ Z ]. [http // www. soa gov. cn/bbs/2000hjb/5. htm](http://www.soa.gov.cn/bbs/2000hjb/5.htm), 2001-04-01
- [ 27 ] 国家科委海洋综合调查办公室. 全国海洋综合调查报告 ( 第八册 ) [ M ]. 北京: 科学出版社, 1964.
- [ 28 ] 陈吉余. 上海市海岸带和海涂资源综合调查报告 [ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988.
- [ 29 ] 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境 [ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
- [ 30 ] 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 等. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系 [ J ]. 海洋与湖沼, 2004, 3: 56-61.