

大亚湾中央列岛海域水质分析

聂永康^{1,2}, 陈丕茂^{1*}, 余景¹, 冯雪¹, 袁华荣¹, 赵漫^{1,2} (1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要 [目的] 调查并分析大亚湾中央列岛海域水质情况。[方法] 采用单因子指数法、模糊综合评价法和富营养化水平评价法对 2014 年 3、6、9 和 12 月大亚湾中央列岛海域水质情况进行分析与评价。[结果] 大亚湾中央列岛海域 2014 年各调查时期各站位表层和底层海水溶解氧(DO)、活性磷酸盐(PO₄-P)含量、表层海水石油类含量均达到第一类海水水质标准, 化学需氧量(COD)含量绝大多数达到第一类海水水质标准, 9、12 月各调查时期底层海水无机氮含量均达到第一类海水水质标准, 其他均有个别站位无机氮未达到第一类海水水质标准; 模糊综合评价法评价结果表明该海域各调查时期表层和底层整体水质均达到了 I 级, 整体水质良好; 该海域各调查时期各站位表层和底层海水均处于贫营养化状态。[结论] 该研究可为大亚湾中央列岛生态环境的保护和研究提供参考。

关键词 大亚湾; 中央列岛; 水质分析

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)16-057-04

Analysis of Water Quality in the Central Islands of Daya Bay

NIE Yong-kang^{1,2}, CHEN Pi-mao^{1*}, YU Jing¹ et al (1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment of Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Marine Ranch Technology of CAFS, Guangzhou, Guangdong 510300; 2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract [Objective] To investigate and analyze the water quality in the central islands of Daya Bay. [Method] By using the single factor index method, fuzzy comprehensive evaluation method and the eutrophication level evaluation method, the water quality of the central islands in Daya Bay was analyzed and evaluated in March, June, September and December 2014. [Result] DO, PO₄-P content and oil content all reached the first category water quality standards. Most COD content reached the first category water quality standards. The whole water quality of each survey period reached grade I by fuzzy comprehensive evaluation. Surface and bottom seawater in each survey period was in the state of poor nutrition. [Conclusion] This research provides references for the protection and research of ecological environment in central islands of Daya Bay.

Key words Daya Bay; Central islands; Water quality evaluation

大亚湾位于广东省东部红海湾与大鹏湾之间, 属于大湾套小湾的结构, 海底较平坦, 岛屿暗礁众多, 无大河汇入, 盐度稳定, 温度适宜, 水产资源丰富, 1983 年广东省政府批准建立大亚湾水产资源自然保护区, 现大亚湾水产资源省级自然保护区核心区总面积 126 km², 中央列岛位于大亚湾水产资源自然保护区核心区, 主要海水水质保护管理要求是执行海水水质一类标准^[1]。惠州市位于广东省中南部东江之滨, 南临大亚湾, 该地区的社会经济和石化工业发达, 人类活动频繁, 这必然会给大亚湾海洋环境质量带来较大的压力, 因此, 调查并评价大亚湾的水质情况对于该海域的生态环境保护 and 科学管理等方面具有重要意义。

海水水质评价是指对某一海域海水环境因子的分析, 依据相应的标准对其水质优劣状况进行定量评价^[2]。目前关于大亚湾水质的研究较少, 而且仅集中于 20 世纪末~21 世纪初大亚湾整体或近岸海域水质的研究, 如何桐等^[3]对大亚湾海域 2007 年春季营养状况进行了分析与评价; 袁国明和何桂芳^[4]对大亚湾 2004~2008 年春夏季水环境进行了分析; 吴梅林等^[5]用主成分分析法研究了大亚湾 2003 年生态环境的时空变化特征及相应的影响因素。但目前尚未见专门针对中央列岛海域水质的研究。鉴于此, 笔者对 2014 年 3、6、9、12 月大亚湾中央列岛海域水质进行调查, 并对大亚湾

中央列岛海域水质现状进行分析, 进而提出水质调控保护措施, 以期为大亚湾中央列岛生态环境的保护和研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查站位与时间 在大亚湾中央列岛海域设置 12 个调查站位, 如图 1 所示。调查时间分别为 2014 年 3、6、9、12 月。

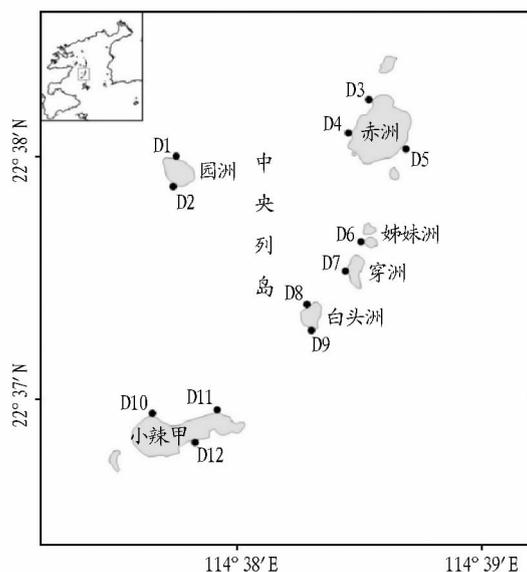


图 1 调查站位分布示意

Fig. 1 Distribution of investigated stations

1.2 调查项目与方法 海水水质调查项目包括溶解氧

基金项目 国家科技支撑计划项目(2012BAD18B02, 2012BAD18B01-2); 海洋公益行业科研专项经费项目(201205021-3)。

作者简介 聂永康(1990-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋生态修复。* 通讯作者, 研究员, 从事渔业资源保护与利用研究。

收稿日期 2016-05-11

(DO)、化学需氧量(COD)、无机氮(DIN)、活性磷酸盐($PO_4 - P$)、石油类(Oil)共5项。各项调查和采样方法均按《海洋调查规范》(GB12763—2007)^[6]和《海洋监测规范》(GB17378—2007)^[7]规定方法进行。海水表层(0.5 m)和底层(离底1.0 m)2层采集样品,石油类只测表层海水含量。采用《海水水质标准》(GB3097—1997)^[8]中第一类水质标准对海水水质进行评价,确定大亚湾中央列岛海域各调查站位海水各评价指标所隶属的水质类别。

1.3 海水水质评价方法

1.3.1 单因子指数法。单因子指数法计算公式:

$$I_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式中, I_i 为*i*项评价因子的标准指数; C_i 为*i*项评价因子的实测浓度; S_i 为*i*项评价因子评价标准。

海水中溶解氧标准指数 Q_j 计算公式:

$$Q_j = \frac{C_{\max} - C_j}{C_{\max} - C_0} \quad (2)$$

式中, C_j 为评价因子实测值; C_0 为评价因子的评价标准值; C_{\max} 为调查期间饱和溶解氧的最大值。

1.3.2 模糊综合评价法。根据《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[8]将海水水质分为4个等级,相应的评价等级集合: $V = \{I, II, III, IV\}$ (数字越小代表水质越好)。选择数据中表层和底层海水均有的、代表性较强的4项水质指标(DO、COD、DIN、 $PO_4 - P$)作为评价因子,建立评价因子集合: $U = \{X_1(\text{DO}), X_2(\text{COD}), X_3(\text{DIN}), X_4(\text{PO}_4 - \text{P})\}$ 。计算各月份的模糊分析的权重集 W 和各月份的隶属度矩阵 $[R]$,建立模糊综合评价模型,评价对象所属级别,相关公式及方法参考文献[9]。

1.3.3 富营养化水平评价法。海域富营养化状况采用富营养化指数法^[10]评价,公式:

$$E = \frac{COD \times DIN \times DIP}{4 \times 500} \times 10^6 \quad (3)$$

式中,当 E 值 ≥ 1 时即为水体富营养化(COD、DIN、DIP的单位均为mg/L), E 值越高,富营养化程度越严重。

2 结果与分析

2.1 水质调查结果 大亚湾中央列岛海域2014年各调查月份海水水质调查结果见表1。

表1 2014年大亚湾中央列岛海域水质调查结果

Table 1 Investigation results of sea water quality in central islands of Daya Bay

mg/L

调查时间 Investigation time	DO		COD		DIN		$PO_4 - P$		Oil
	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	
2014-03	7.720	7.600	1.218	1.061	0.159	0.137	0.003	0.003	0.017
2014-06	7.990	7.610	0.897	0.748	0.233	0.691	0.001	0.002	0.019
2014-09	7.970	7.830	0.951	0.691	0.190	0.144	0.001	0.001	0.019
2014-12	7.690	7.640	0.790	0.572	0.179	0.146	0.001	0.001	0.019

2.2 水质评价结果与分析

2.2.1 单因子指数法评价结果与分析。大亚湾中央列岛海域3月调查期间各站位表、底层海水DO、 $PO_4 - P$ 含量、表层海水石油类含量和底层海水COD含量均达到第一类海水水质标准;8.3%的站位(D5)表层海水COD含量超第一类海水水质标准;8.3%的站位(D1)表、底层海水无机氮含量超第一类海水水质标准,表层海水无机氮含量高于底层海水无机氮含量。6月调查期间各站位表、底层海水DO、 $PO_4 - P$ 含量、表层海水石油类含量和底层海水COD含量均达到第一类海水水质标准;8.3%的站位(D5)表层海水COD含量超第一类海水水质标准;66.7%的站位(D1~D4、D6、D8、D9、D11)表层海水无机氮含量超第一类海水水质标准,16.7%的站位

(D1、D9)底层海水无机氮含量超第一类海水水质标准;表层海水无机氮含量高于底层海水无机氮含量。9月调查期间表、底层海水DO、COD和 $PO_4 - P$ 含量、表层海水石油类含量和底层海水无机氮均达第一类海水水质标准;33.3%的站位(D2、D8~D10)表层海水无机氮含量超第一类海水水质标准。12月调查期间各站位表、底层海水DO、COD、 $PO_4 - P$ 含量、表层海水石油类含量和底层无机氮含量均达第一类海水水质标准;33.3%的站位(D3、D5、D8、D9)表层海水无机氮含量超第一类海水水质标准。由表2可知,除6月表层无机氮指数值大于1.00外,其余各指标指数值均小于1.00,说明该海域2014年整体水质良好。

表2 水质单因子指数法评价结果

Table 2 Evaluation results of single factor index method of water quality

调查时间 Investigation time	Q_{DO}		I_{COD}		I_{DIN}		I_{PO_4-P}		I_{Oil}
	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	表层 Surface	底层 Bottom	
2014-03	0.48	0.52	0.61	0.53	0.79	0.69	0.21	0.18	0.35
2014-06	0.29	0.38	0.45	0.37	1.16	0.89	0.08	0.08	0.38
2014-09	0.14	0.31	0.48	0.35	0.95	0.72	0.08	0.08	0.39
2014-12	0.35	0.37	0.40	0.29	0.90	0.73	0.07	0.07	0.39

注:指数值小于1.00表示该因子达到第一类海水水质标准。

Note: Index value smaller than 1.00 indicated that this factor reached the sea water quality standard of first class.

2.2.2 模糊综合评价法评价结果与分析。根据最大隶属度原则,大亚湾中央列岛海域 2014 年各调查时期表层和底层海水均为 I 级水质隶属度最大(表 3),表明各调查时期各站

表层和底层海水水质均为 I 级(表 4),因此,模糊综合评价法评价结果显示该海域 2014 年整体水质良好。

表 3 各调查站位水质等级的隶属度
Table 3 Membership degree of water quality grade in each investigation station

站 位 Station	采 样 水 层 Water layer	隶 属 度 Membership degree															
		2014-03				2014-06				2014-09				2014-12			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
D1	表层	0.85	0.15	0	0	0.49	0.41	0.10	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	0.78	0.22	0	0	0.93	0.07	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D2	表层	1.00	0	0	0	0.49	0.38	0.13	0	0.88	0.12	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D3	表层	1.00	0	0	0	0.98	0.02	0	0	1.00	0	0	0	0.96	0.04	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D4	表层	1.00	0	0	0	0.82	0.18	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D5	表层	0.94	0.06	0	0	0.93	0.07	0	0	1.00	0	0	0	0.99	0.01	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D6	表层	1.00	0	0	0	0.87	0.13	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D7	表层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D8	表层	1.00	0	0	0	0.59	0.42	0	0	0.81	0.19	0	0	0.90	0.10	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D9	表层	1.00	0	0	0	0.66	0.34	0	0	0.93	0.07	0	0	0.96	0.04	0	0
	底层	1.00	0	0	0	0.87	0.13	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D10	表层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	0.89	0.11	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D11	表层	1.00	0	0	0	0.95	0.05	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
D12	表层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0
	底层	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0	0

表 4 模糊综合评价法评价结果

Table 4 Evaluation results of fuzzy comprehensive evaluation method

站 位 Station	采 样 水 层 Water layer	水 质 等 级 Grade of water quality			
		2014-03	2014-06	2014-09	2014-12
		D1	表层	I	I
	底层	I	I	I	I
D2	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D3	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D4	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D5	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D6	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D7	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D8	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D9	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D10	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D11	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I
D12	表层	I	I	I	I
	底层	I	I	I	I

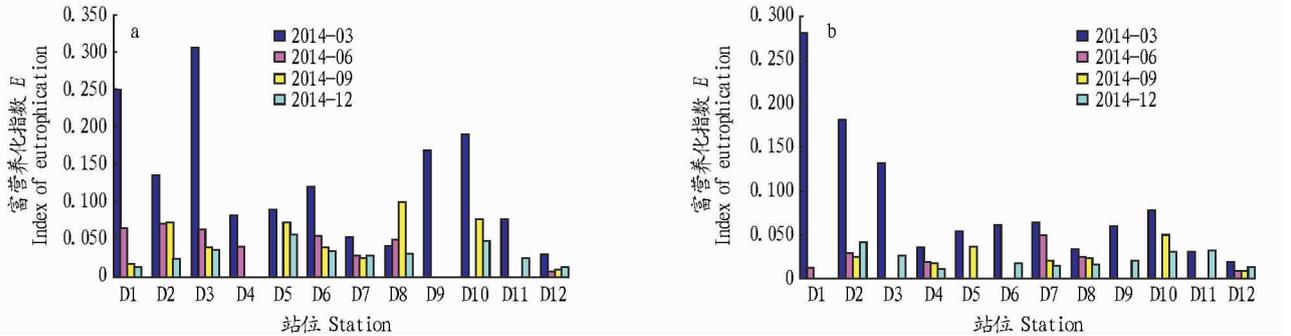
2.2.3 富营养化指数法评价结果与分析。由图 2 可知,大亚湾中央列岛海域 2014 年 3、6、9、12 月各站位表层和底层海水富营养化指数 E 值均小于 1,表明该海域各调查时期海水均处于贫营养水平。

3 结论与讨论

3.1 大亚湾中央列岛海域水质评价结果的可靠性 单因子指数法简单、方便,它是将所评价指标与评价标准进行比较来确定各评价指标的类别,目前使用甚多^[11-12];Zadeh^[13]于 1965 年提出模糊集合的概念,经过多年发展与广泛应用^[14-18],模糊综合评价法已成为常见、有效的水质评价方法^[19-20],它可反映出各种因子共同作用下的水质状况和各个环境因子对水质的贡献率且考虑到了水质界限的模糊性,相对传统的综合指数法而言,其克服了人为清晰化的不足,结果可比性强;富营养化指数评价法是水质科学管理的基本手段和人们认识水环境质量的重要途径,可以直观地反映出调查海域的富营养化程度。海水水质状况受多个环境因子共同影响,各因子之间也存在着复杂的联系。该研究采用单因子指数法、模糊综合评价法和富营养化指数评价法对大亚湾中央列岛海域水质状况进行评价,结果更加可靠。

3.2 大亚湾中央列岛海域水质变动情况 中央列岛位于大亚湾水产资源自然保护区中部核心区,何桐等^[3]于 2007 年 4 月对大亚湾海域的调查显示,大亚湾中部海域表层与底层海水 DIN 和 PO₄-P 含量均符合第一类海水水质标准,整体属贫营养水平,水质良好;柯东胜等^[21]于 2005 年 12 月对中央列岛附近的大辣甲海域进行研究,结果表明 DIN 只有一个样品轻微超标,DO、COD、PO₄-P、石油类均未超标;2004 年 3、7 月及 2005 年 3、7 月南海环境监测中心在大辣甲岛附近海域进行调查^[22],2005 年 5 月中国科学院南海海洋研究所对大辣甲岛南、北部进行调查^[23],结果均显示 DO、COD、

DIN、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和石油类等的浓度达到第一类海水水质标准。大辣甲和中央列岛距离较近且同处于大亚湾水产资源自然保护区核心区,整体水质较为接近。综上所述,20世纪90年代~2007年大亚湾水产资源自然保护区中部核心区整体水质较好。



注:a. 表层海水;b. 底层海水。

Note:a. Surface of sea water; b. Bottom of sea water.

图2 各调查站位水体富营养化指数

Fig. 2 Index of water body eutrophication of each investigation station

3.3 大亚湾中央列岛海域水质保护建议 人类活动(尤其是陆源污染及水产养殖)、潮流和浮游植物是影响大亚湾N、P营养盐分布的主要因素^[25-28],大亚湾是个半封闭的海湾,目前大亚湾中央列岛海域水质状况良好,为保持位于大亚湾水产资源自然保护区核心区的中央列岛海域的生态环境,应防止水体产生富营养化,所以加大力度保持甚至更进一步提升海洋环境质量是必要的。首先,应加强该海域生态环境监测管理;其次,应提高科技和基础研究能力;再次,注重保护沿岸海域的生态环境,限制养殖业和工业的不良发展,对入海污染物及排放量进行严格控制,实行分期、分批排放,提高污水再利用率,降低氮、磷等对大亚湾生态系统健康的不利影响;最后,应持续拓展生态渔业,鼓励开展岛礁养殖、底播养殖,积极探索海洋牧场建设,推进湾外抗风浪深水网箱、循环水养殖等设施养殖。

参考文献

- [1] 广东省人民政府. 广东省海洋功能区划2011-2020年[R]. 广州:广东省人民政府,2012.
- [2] 宋科,赵晟,张力,等. 基于模糊综合评价法的东极大黄鱼(*Larimichthys crocea*)养殖区海水水质评价[J]. 海洋与湖泊,2013(2):383-388.
- [3] 何桐,谢健,方宏达,等. 大亚湾海域春季营养现状分析与评价[J]. 海洋环境科学,2008,27(3):220-223.
- [4] 袁国明,何桂芳. 大亚湾水环境质量变化与环境容量评估[J]. 应用海洋学学报,2012,31(4):472-478.
- [5] 吴梅林,王友绍,林立,等. 基于主成分分析研究大亚湾水质时空变化特征[J]. 海洋环境科学,2009,28(3):279-282.
- [6] 国家海洋局. 海洋调查规范:GB 12763—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [7] 国家海洋局. 海洋监测规范第四部分:海水分析:GB 17378.4—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [8] 国家海洋局. 海水水质标准:GB 3097—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1998.
- [9] 万金保,侯得印,万兴,等. 模糊综合评价法在乐安河水质评价中的应用[J]. 上海环境科学,2006,24(6):215-218.
- [10] 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

该研究结果表明:大亚湾中央列岛海域2014年各调查时期各站位表层和底层整体水质良好,均处于贫营养化状态。大亚湾海域能保持整体水质良好且较为稳定的重要原因是该海域水交换能力总体较强^[23],大亚湾中部海域受湾外南海海水交换影响较大^[24]。

- [J]. 海洋环境科学,1983,2(2):41-54.
- [11] 朱灵峰,王燕,王阳阳,等. 基于单因子指数法的海浪河水质评价[J]. 江苏农业科学,2012,40(3):326-327.
- [12] 杜娟娟,李荣峰. 基于单因子指数法的沁河水质评价与分析[J]. 山西水利科技,2015(4):22.
- [13] ZADEH L A. Fuzzy sets [J]. Information and control,1965,8(3):338-353.
- [14] ICAGA Y. Fuzzy evaluation of water quality classification [J]. Ecological indicators,2007,7(3):710-718.
- [15] GONG L, JIN C. Fuzzy comprehensive evaluation for carrying capacity of regional water resources [J]. Water resources management,2009,23(12):2505-2513.
- [16] ZHENG Z, WEI M. Water environment fuzzy comprehensive evaluation based on improved set pair analysis (SPA) [J]. Nature environment and pollution technology,2013,12(2):267.
- [17] ZHOU J, LI Y, TIAN X. Fuzzy evaluation and analysis of surface water [J]. Nature environment and pollution technology,2013,12(3):497.
- [18] ZHANG Y, FAN C H, DIAO Z, et al. Evaluation of water quality in Er-longshan reservoir by fuzzy model [J]. Interdisciplinary sciences: Computational life sciences,2009,1(1):30-39.
- [19] 万会平,张燕萍,邓勇辉,等. 基于模糊综合评价法的军山湖水环境质量评价[J]. 江西水产科技,2015(2):11-14.
- [20] 赵昕,郑慧. 海洋水环境质量的模糊评价:以渤海湾为例[J]. 渔业经济研究,2009(5):12-14.
- [21] 柯东胜,江志华,刘孟兰,等. 大亚湾大辣甲岛环境质量现状分析[J]. 海洋环境科学,2008,27(5):496-498.
- [22] 国家海洋局南海环境监测中心. 2004-2005年大亚湾生态监控区报告[R]. 广州:国家海洋局南海环境监测中心,2005.
- [23] 中国科学院南海海洋研究所. 2005年大亚湾海域水质监测报告[R]. 广州:中国科学院南海海洋研究所,2005.
- [24] 杨志浩,刘基. 模糊C-均值聚类分析研究大亚湾水质空间分布规律[J]. 科技广场,2010(1):211-214.
- [25] 姜犁明,董良飞,杨季芳,等. 大亚湾海域N、P营养盐分布特征研究[J]. 常州大学学报(自然科学版),2013,25(2):12-15.
- [26] 任秀文,姜国强,刘爱萍,等. 大亚湾主要入海河流污染物通量估算研究[C]//2013中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷). 昆明:中国环境科学学会,2013.
- [27] 王朝晖,杨宇峰,宋淑华,等. 大亚湾海域营养盐的季节变化及微表层对营养盐的富集作用[J]. 环境科学学报,2011,31(2):307-315.
- [28] 柯东胜,李秀芹,彭晓鹏,等. 大亚湾生态环境问题及其调控策略[J]. 生态科学,2010(2):186-191.