

南麂海域水质营养盐和表层沉积物重金属污染评价

阮素玲^{1,2}, 李敏^{1,2*}, 陆荣茂^{1,2}, 肖国强^{1,2}, 张翔^{1,2}, 陆振^{1,2}

(1. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325005; 2. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江温州 325005)

摘要 于2019年5月、8月、12月和2020年3月对南麂海域的环境(海水和沉积物)进行调查, 采用有机污染评价指数(A)法、营养状态质量指数(NQI)法对水环境进行评价, 用潜在生态危害指数(RI)法对表层沉积物重金属潜在生态危害进行评价。结果表明, 南麂海域海水水质除无机氮(DIN)外, 其余参数基本能符合二类海水水质标准。南麂海域海水水质除2019年12月各层A值较其他略高外, 其他监测时间水质状况较好。营养状态质量指数处于贫营养水平(NQI<2)。表层沉积物除铜(Cu)和铬(Cr)外, 其余参数均符合第一类海洋沉积物质量标准。沉积环境处于轻微生态危害状态($E_i^j<30, RI<100$)。

关键词 营养盐; 表层沉积物; 重金属; 有机污染评价指数; 营养状态质量指数; 潜在生态危害指数; 南麂海域

中图分类号 X834 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)12-0060-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of Nutrients in Water Quality and Heavy Metals in Surface Sediments in Nanji Sea Area

RUAN Su-ling^{1,2}, LI Min^{1,2}, LU Rong-mao^{1,2} et al (1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou, Zhejiang 325005; 2. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou, Zhejiang 325005)

Abstract We investigated the environment (sea water and sediments) in Nanji sea area in May 2019, August 2019, December 2019 and March 2020. The organic pollution evaluation index(A) and nutritional status quality index(NQI) were used to evaluate water environment. Meanwhile potential ecological hazard index(RI) was used to evaluate the potential ecological hazards of heavy metals in surface sediments. The results showed that except for DIN, the other parameters of the seawater quality in the Nanji sea area could basically meet the second-class seawater quality standards. The A value of each layer was slightly higher in December 2019. The water quality was better at other monitoring times in the Nanji sea area. The nutritional status quality index was at the oligotrophic level (NQI<2). Except for Cu and Cr, the other parameters of the surface sediment could meet the quality standards of the first type of marine sediment. The sedimentary environment was in a state of slight ecological hazard ($E_i^j<30, RI<100$).

Key words Nutrients; Surface sediments; Heavy metals; Organic pollution evaluation index; Nutritional status quality index; Potential ecological hazard index; Nanji sea area

南麂列岛因其优越的海洋环境, 成为浙江省重要的养殖基地之一。随着南麂列岛旅游业、水产养殖业等的高附加值产业的兴起加之陆源工业、农业的快速发展及人类活动的增加, 给南麂海域的环境带来了一定的影响。目前有关南麂附近海域水环境、潮间带环境调查方面的研究已有研究报道^[1-5], 然而对于南麂海域环境质量综合分析方面的研究仍然不多。李扬等^[6]研究了南麂海域氮、磷营养盐的季节变化特征及其影响因素, 发现该海域氮、磷营养盐的季节性变化显著, 且作为无机氮主要组成成分的亚硝酸盐氮与水温、pH、盐度等因子之间均具有显著的相关性。施青松等^[7]对南麂海域潮间带水环境进行了评价, 发现该海域 N/P 值很高, 春季时无机氮和活性磷酸盐超标较严重。

该研究在2019年5月至2020年3月对南麂保护区及周边海域进行4次调查采样, 并对水质、沉积物进行监测分析, 采用有机污染评价指数(A)法、营养状态质量指数(NQI)法对水环境进行评价, 采用潜在生态危害指数(RI)法对表层沉积物重金属潜在生态危害进行评价, 旨在科学评价南麂海域环境质量状况, 为南麂海域环境质量评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于2019年5月、8月、12月和2020年3月进

行调查采样, 共设置28个水质站位和17个沉积物站位(图1)。采样方法以《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)为主要参考规范, 海水样品用有机玻璃采水器进行采集, 水质根据各站水深情况, 进行分层采样; 表层沉积物样品用抓斗式采泥器进行采集。

1.2 监测项目和检测方法 海水监测项目包括 pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、无机氮(DIN)、活性磷酸盐(DIP)、叶绿素 a(Chl-a); 沉积物重金属监测项目包括铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)、砷(As)。海水不同指标检测方法主要参考《海洋调查规范第4部分: 海水化学要素调查》(GB/T 12763.4—2007)、《海洋监测规范第4部分: 海水分析》(GB 17378.4—2007); 沉积物不同指标的检测方法主要参考《海洋监测规范第5部分: 沉积物分析》(GB 17378.5—2007)。

1.3 评价方法 海水的有机污染评价指数(A)和营养状态质量指数(NQI)以及表层沉积物重金属潜在生态危害指数(RI)依据以下公式进行计算。

$$A = \frac{COD}{COD_0} + \frac{DIN}{DIN_0} + \frac{DIP}{DIP_0} - \frac{DO}{DO_0} \quad (1)$$

式中, A 为有机污染评价指数, 评价分级见表1; COD、DIN、DIP 和 DO 分别为化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、溶解氧的测定值; COD_0 、 DIN_0 、 DIP_0 和 DO_0 分别为水体上述各项指标的评价标准值, 分别为3、0.10、0.015和5 mg/L。

$$NQI = \frac{COD}{COD_0} + \frac{DIN}{DIN_0} + \frac{DIP}{DIP_0} \quad (2)$$

基金项目 浙江省海洋水产养殖研究所横向项目(FW2019002)。
作者简介 阮素玲(1981—), 女, 浙江台州人, 助理工程师, 从事养殖环境调控研究。* 通信作者, 工程师, 硕士, 从事养殖环境调控研究。
收稿日期 2020-09-21

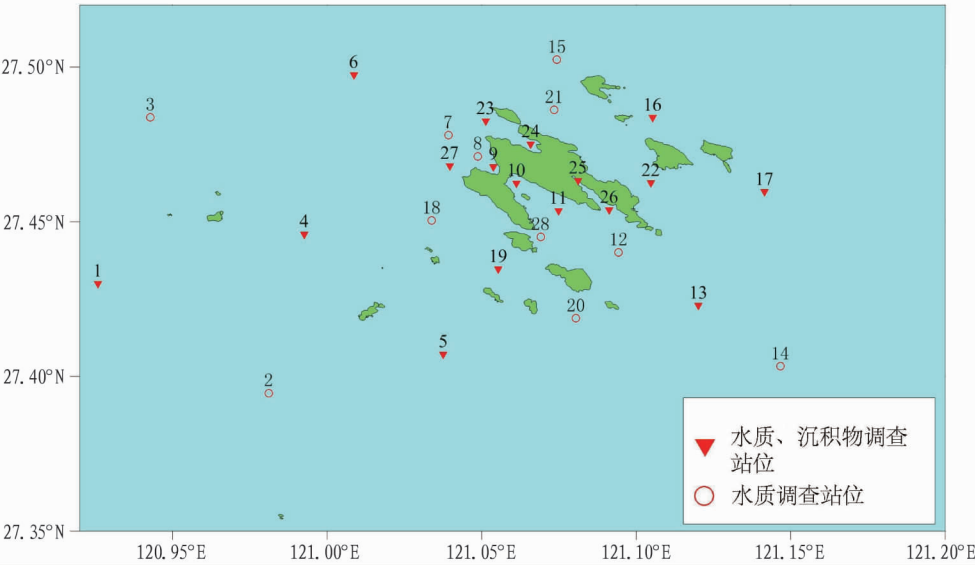


图1 南麂海域采样站位
Fig.1 Sampling locations of Nanji sea area

表 1 有机污染评价分级标准

有机污染指数(A) Organic pollution index	有机污染级别 Organic pollution level	水质状况 Water quality
<0	0	良好
0~1	1	较好
>1~2	2	开始受到污染
>2~3	3	轻度污染
>3~4	4	中度污染
>4	5	严重污染

式中,NQI 为营养状态质量指数,营养状态分级:NQI<2 为贫营养水平,2~3 为中营养水平,>3 为富营养水平;COD、DIN 和 DIP 分别为化学需氧量、无机氮和活性磷酸盐的测定值;COD₀、DIN₀ 和 DIP₀ 分别为水体上述各项指标的评价标准值,分别为 3、0.60 和 0.03 mg/L。

$$C_j^i = \frac{C_j^i}{C_0^i} \tag{3}$$

$$E_j^i = T_j^i \times C_j^i \tag{4}$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_j^i \tag{5}$$

式中,C_jⁱ 为表层沉积物第 i 种重金属的污染系数;Cⁱ 为表层不同重金属的测定值;C₀ⁱ 为不同重金属的背景值(选用国际上常用的工业化以前沉积物中重金属的全球最高值);E_jⁱ 为潜在生态危害系数;T_jⁱ 为表层不同重金属的毒性系数;RI 为潜在生态危害指数,即不同重金属的潜在生态系数之和。各重金属的背景值和毒性系数见表 2。采用潜在生态危害系数法综合分析监测海区沉积物中重金属潜在的危害效应^[8]。

2 结果与分析

2.1 水环境特征 从调查时间内水质各评价因子监测情况(表 3)可以看出,2019 年 5 月 pH 变化不大,平均值 8.24~8.80,各层分布均匀;DIN 垂直方向浓度变化明显,表层 DIN 浓度较高;垂直方向上 DIP 浓度有逐层增大的趋势,其中底层 DIP 平均值最高;Chl-a 浓度由表层至底层略减;COD 表

表 2 重金属元素的背景值和毒性系数

元素 Element	背景值(C ₀) Background value//mg/kg	毒性系数(T) Toxic coefficient
Cu	30	5
Zn	25	5
Pb	80	1
Cd	0.5	30
Cr	60	2
Hg	0.25	40
As	15	10

层 21.43% 超标;DIN 表层 14.29% 超标,底层 4.00% 超标。2019 年 8 月 pH 略低于 5 月,平均值 8.02~8.82,从表层到底层 pH 逐渐下降;DO 浓度相比 5 月普遍较低;COD 垂直方向上浓度有逐层增大的趋势;底层 DIN 浓度最高,所有层 DIN 浓度相比 5 月普遍较低;Chl-a 浓度相比 5 月普遍较低;DO 底层超标率为 12.00%;COD 底层 4.00% 超标;DIN 底层 4.00% 超标。2019 年 12 月 pH 略低于 5 月,平均值 8.04~8.22;DO 浓度相比 8 月普遍较高,相比 5 月普遍较低;COD 在表层略高;表层 DIN 浓度最高,所有层 DIN 浓度相比 8 月普遍较高;Chl-a 浓度在表层最高,相比 8 月普遍较高,相比 5 月普遍较低;COD 表层 3.57% 超标;DIN 表层 10.71% 超标,底层 4.17% 超标。2020 年 3 月 pH 略低于 2019 年 5 月,平均值 8.11~8.23;DO 浓度相比 2019 年 8 月和 12 月普遍较高,相比 2019 年 5 月普遍较低;COD 在底层略高;10 m 层 DIN 浓度略高,所有层 DIN 浓度相比 2019 年 8 月、2019 年 12 月普遍较高;Chl-a 浓度相比 2019 年 8 月普遍较高,相比 2019 年 5 月和 12 月普遍较低;DIN 表层 50.00% 超标,10 m 层 63.64% 超标,底层 56.52% 超标。

综合水质监测结果,除 DIN 外,其余参数基本能符合二类海水水质标准,COD 和 DO 出现少部分超标。其中 DIN 为主要超标指标,四季均出现超标情况,DIN 平均超标率为

17.67% (2019 年 12 月、2020 年 3 月高于 2019 年 5 月、8 月),可能是由于洋流的影响,将长江营养物质带入,也可能是温度较低时浮游植物光合作用相对减弱,导致温盐跃层以下有机质快速降解,随着温度降低东海海域跃层下沉和减弱等也有利于各层营养盐的输送^[9-10];COD 平均超标率为 3.21%。

DO 在 2019 年 8 月底层出现异常情况,超标率为 12.00%,可能是由于取样点是水深比较深的地方(超标站位水深依次为 27、30、24 m),也可能由于夏季东海海域强烈的跃层阻隔和底层水体中有机物的耗氧分解^{[[11-13]]}。

表 3 南麂海域水质各评价因子监测情况
Table 3 Monitoring of water quality assessment factors in Nanji sea area

采样时间 Sampling time	水层 Water depth	pH			DO			COD		
		范围 Scope	平均值 Mean	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/L	平均值 Mean mg/L	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/L	平均值 Mean mg/L	超标率 Over standard rate//%
2019-05	表层	8.40~8.80	8.50	0	10.12~16.14	12.18	0	0.46~4.77	1.70	21.43
	10 m 层	8.37~8.49	8.44	0	10.10~12.48	11.18	0	0.15~2.52	0.83	0
	底层	8.24~8.43	8.35	0	7.86~11.55	9.87	0	0.04~1.02	0.41	0
2019-08	表层	8.02~8.82	8.20	0	6.11~6.64	6.36	0	0.68~1.36	0.93	0
	10 m 层	8.15~8.20	8.17	0	6.00~6.59	6.27	0	0.80~1.04	0.94	0
	底层	8.04~8.16	8.12	0	4.25~6.22	5.68	12.00	0.64~3.20	1.06	4.00
2019-12	表层	8.04~8.21	8.18	0	8.21~8.88	8.36	0	0.53~3.95	1.52	3.57
	10 m 层	8.11~8.22	8.19	0	8.26~8.35	8.30	0	0.44~2.52	1.18	0
	底层	8.12~8.22	8.19	0	8.25~8.40	8.32	0	0.56~2.84	1.44	0
2020-03	表层	8.11~8.21	8.17	0	8.91~9.08	9.01	0	0.21~1.49	0.87	0
	10 m 层	8.15~8.22	8.19	0	8.87~9.04	8.96	0	0.43~1.12	0.85	0
	底层	8.11~8.23	8.18	0	8.82~9.02	8.96	0	0.28~1.64	1.02	0

采样时间 Sampling time	水层 Water depth	DIN			DIP			Chl-a	
		范围 Scope mg/L	平均值 Mean mg/L	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/L	平均值 Mean mg/L	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope μg/L	平均值 Mean μg/L
2019-05	表层	0.025~4.801	0.305	14.29	0.004~0.018	0.009	0	0.13~63.87	7.23
	10 m 层	0.029~0.198	0.125	0	0.003~0.018	0.008	0	0.02~4.04	1.53
	底层	0.057~0.353	0.162	4.00	0.004~0.019	0.010	0	ND~2.49	0.54
2019-08	表层	0.019~0.204	0.075	0	0.006~0.029	0.016	0	0.03~0.88	0.40
	10 m 层	0.013~0.055	0.040	0	0.013~0.029	0.023	0	0.20~0.85	0.31
	底层	0.033~0.555	0.090	4.00	0.005~0.029	0.016	0	0.20~0.92	0.36
2019-12	表层	0.212~0.471	0.265	10.71	0.005~0.018	0.009	0	0.24~3.16	0.85
	10 m 层	0.216~0.269	0.245	0	0.004~0.016	0.010	0	0.20~1.12	0.45
	底层	0.169~0.411	0.258	4.17	0.004~0.018	0.010	0	0.20~5.64	0.77
2020-03	表层	0.145~0.416	0.281	50.00	0.004~0.015	0.007	0	0.17~1.60	0.42
	10 m 层	0.130~0.392	0.286	63.64	0.003~0.008	0.006	0	0.20~0.92	0.42
	底层	0.140~0.407	0.285	56.52	0.004~0.018	0.007	0	0.17~1.36	0.36

2.2 水环境评价 从水环境评价结果(表 4)可以看出,表层有机污染指数(A) 2019 年 12 月较其他高,处于轻度污染,2019 年 8 月最低,处于 0~1(较好);10 m 层 A 值 2019 年 12 月最高,处于 1~2(开始污染),2019 年 5 月最低,处于<0(良好);底层 A 值 2019 年 12 月最高,处于 2~3(轻度污染),2019 年 5 月最低,处于 0~1(较好)。可见,2019 年 12 月各层 A 值均高于其他月份,可能与不同季节海流稀释扩散作用有关^[7]。营养状态质量指数(NQI)在各月份各层间均无明显差异,且均小于 2,属贫营养水平。

2.3 南麂海域表层沉积物监测情况及评价 从表层沉积物重金属监测情况(表 5)可以看出,重金属浓度整体上呈 Zn>Cr>Cu>Pb>As>Cd>Hg。2019 年 5 月 Cu、Cr 超标率分别为 93.75%、87.50%;2019 年 8 月 Cu、Cr 超标率分别为 86.67%、73.33%;2019 年 12 月超标率分别为 62.50%、6.25%;2020 年 3 月超标率分别为 11.11%、5.56%。表层沉积物各重金属在不同月份浓度变化较大,其中 2020 年 3 月表层沉积物超标情

况明显好于其他采样时间。综合 4 次结果,除 Cu 和 Cr 以外,其余参数均符合第一类海洋沉积物质量标准,Cu 和 Cr 平均超标率为 63.51%和 43.16%。

表 4 南麂海域水环境评价(̄x±SD)
Table 4 Seawater assessment of Nanji sea area

采样时间 Sampling time	水层 Water depth	有机污染指数(A) Organic pollution index	营养状态指数(NQI) Nutritional quality index
2019-05	表层	1.77±8.79	1.37±1.60
	10 m 层	-0.16±0.92	0.76±0.29
	底层	0.42±0.93	0.73±0.24
2019-08	表层	0.85±0.66	0.96±0.27
	10 m 层	0.96±0.61	1.13±0.24
	底层	1.17±1.03	1.03±0.33
2019-12	表层	2.10±0.52	1.26±0.25
	10 m 层	1.82±0.36	1.12±0.24
	底层	2.06±0.55	1.24±0.23
2020-03	表层	1.77±0.83	0.99±0.19
	10m 层	1.76±0.78	0.97±0.15
	底层	1.90±0.94	1.06±0.22

表 5 南麂海域表层沉积物重金属监测情况

Table 5 Monitoring of heavy metals in surface sediments of Nanji sea area

采样时间 Sampling time	Cu			Zn			Pb			Cd		
	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%
2019-05	32.45~46.18	37.99	93.75	101.07~123.65	113.64	0	18.92~28.98	23.63	0	0.04~0.16	0.11	0
2019-08	32.99~39.76	37.05	86.67	105.33~123.46	115.78	0	23.93~29.93	27.29	0	0.06~0.21	0.12	0
2019-12	30.45~39.21	35.33	62.50	79.81~97.89	89.27	0	23.81~29.29	25.97	0	0.06~0.13	0.09	0
2020-03	16.23~36.86	32.14	11.11	44.88~84.26	72.47	0	22.96~25.92	24.62	0	0.06~0.13	0.09	0

采样时间 Sampling time	Cr			Hg			As		
	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%	范围 Scope mg/kg	平均值 Mean mg/kg	超标率 Over standard rate//%
2019-05	76.87~110.38	94.39	87.50	0.034~0.062	0.048	0	ND~5.911	2.412	0
2019-08	71.68~93.38	84.70	73.33	ND~0.108	0.032	0	4.030~5.931	4.882	0
2019-12	60.18~86.44	71.06	6.25	0.044~0.114	0.080	0	3.065~12.763	8.871	0
2020-03	60.02~119.71	69.11	5.56	0.040~0.114	0.073	0	3.239~11.820	8.074	0

从表 6 可以看出,7 种重金属的潜在生态危害系数(E_j^i)均小于重金属轻微生态危害的划分标准值,其中,Zn 的 E_j^i 值明显大于其他重金属的 E_j^i 值,Pb 的 E_j^i 值明显小于其他重金属的 E_j^i 值,表明 Zn 对南麂生态环境的潜在影响程度明显高于其他重金属,而 Pb 明显低于其他重金属。由多个重金属

的潜在生态危害指数(RI)看,采样时间内 RI 值在 45.19~50.62,其中 2019 年 12 月值最高,2020 年 3 月值最低,并且 RI 值均小于 100,总体而言南麂海域表层沉积物中 7 种重金属的潜在生态危害轻微。

表 6 南麂海域表层沉积物重金属危害状况($\bar{x}\pm SD$)

Table 6 The hazard status of heavy metals in the surface sediments of Nanji sea area

采样时间 Sampling time	潜在生态危害系数(E_j^i) Potential ecological hazard coefficient							潜在生态危害指数(RI) Potential ecological hazard index
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Hg	As	
2019-05	6.33±0.50	22.73±1.27	0.30±0.03	6.31±1.77	3.15±0.31	7.65±1.21	1.61±1.03	47.17±4.21
2019-08	6.18±0.30	23.16±1.11	0.34±0.03	7.16±2.93	2.82±0.21	5.12±4.41	3.25±0.35	48.04±5.48
2019-12	5.89±0.35	17.85±1.01	0.32±0.02	5.51±1.28	2.37±0.23	12.76±3.16	5.91±1.72	50.62±5.42
2020-03	5.36±0.73	14.49±1.75	0.31±0.01	5.70±1.31	2.30±0.44	11.65±3.42	5.38±1.76	45.19±5.62

3 结论

(1)南麂海域海水水质除 DIN 外,其余参数基本能符合二类海水水质标准。其中 DIN 为主要超标指标,四季均出现超标情况,COD 和 DO 出现少部分超标。

(2)南麂海域水质状况较好,2019 年 12 月各层有机污染指数(A)高于其他月份,其中表层、底层处于 2~3(轻度污染),10 m 层处于 1~2(开始污染)。营养状态质量指数(NQI)在各月份各层间均小于 2,属贫营养水平。

(3)表层沉积物除 Cu 和 Cr 外,其余参数均符合第一类海洋沉积物质量标准。潜在生态危害系数(E_j^i)均小于 30,潜在生态危害指数(RI)在 45.19~50.62,处于轻微生态危害状态。

参考文献

[1] 徐鹏,黄菊,蔡厚才,等.南麂列岛养殖功能海域秋季潮致混合特征及其对营养盐浓度的影响[J].海洋与湖沼,2018,49(1):17-23.

[2] 杨晓兰,张健,叶新荣,等.南麂列岛自然保护区潮间带环境质量现状评价[J].东海海洋,1994,12(2):70-76.

[3] 高爱根,曾江宁,陈全震,等.南麂列岛海洋自然保护区潮间带贝类资源

时空分布[J].海洋学报:中文版,2007,29(2):105-111.

[4] 纪焕红,叶属峰,刘星,等.南麂列岛海域浮游植物生态特征及甲藻赤潮频发原因[J].海洋科学进展,2008,26(2):234-242.

[5] 姚启学,宋伟华,蔡厚才,等.基于 ArcGIS 的南麂列岛潮间带大型底栖藻类研究[J].安徽农业科学,2016,44(18):11-15,61.

[6] 李扬,吕颂辉,江天久,等.浙江南麂列岛海域氮、磷营养盐季节动态及其环境影响因子分析[J].海洋通报,2009,28(4):74-80.

[7] 施青松,周青松,张健,等.南麂列岛附近海域潮间带水环境质量现状评价与分析[J].东海海洋,2004,22(4):51-57.

[8] 梁庆洋,齐占会,巩秀玉,等.大亚湾鱼类深水网箱养殖对环境的影响[J].南方水产科学,2017,13(5):25-32.

[9] 韦钦胜,于志刚,冉祥滨,等.黄海西部沿岸流系特征分析及其对物质输运的影响[J].地球科学进展,2011,26(2):145-156.

[10] 殷京玉,金春洁,石晓勇,等.2013 年夏秋季黄海溶解无机氮的分布及季节变化特征[J].海洋通报,2017,36(1):74-81.

[11] LI D J,ZHANG J,HUANG D J,et al.Oxygen depletion off the Changjiang (Yangtze River) estuary[J].Science in China series D:Earth sciences,2002,45(12):1137-1146.

[12] 张莹莹,张经,吴莹,等.长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究[J].环境科学,2007,28(8):1649-1654.

[13] 池连宝,宋秀贤,袁涌铨,等.夏、冬季黄东海溶解氧的分布特征研究[J].海洋与湖沼,2017,48(6):1337-1345.