

2014—2016年平阳西湾海域表层水质营养状况分析与评价

郑伊诺^{1,2}, 朱浩^{1,2}, 胡园^{1,2}, 曾国权^{1,2}, 叶深^{1,2}, 柯爱英^{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 2014—2016年对平阳西湾海域表层水质进行了连续监测, 调查站点6个, 运用富营养指数法、有机污染综合指数法和潜在性富营养化评价法, 对平阳西湾海域水质营养状况进行分析和评价。结果表明: 海域表层水体无机氮(DIN)、无机磷(DIP)均劣于四类海水水质标准, 海域有机污染严重, 富营养化程度较高; 从空间上看, 平阳西湾海区表层海水DIN、DIP、E值、A值的平面分布呈由入海口向远海逐渐递减的趋势。

关键词 平阳西湾; 营养状态; 有机污染; 分布

中图分类号 X52 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)02-0055-05

Analysis and Assessment of Surface Sea Water Environmental Quality in Pingyang West Bay during 2014-2016

ZHENG Yi-nuo^{1,2}, ZHU Jie^{1,2}, HU Yuan^{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 Continuous field data were got at 6 sites during 2014-2016 in Pingyang west bay. The standard of sea water quality of this bay by applying the eutrophication index method, the organic pollution index method and potential eutrophication assessment model were analyzed. The results showed that the concentration of DIN, DIP in the surface sea water exceeded standards of grade IV sea water quality, the investigated sea region were in serious organic pollution and high eutrophication. Horizontal distributions of DIN and DIP concentration, as well as E and A value, in surface seawater of PINGYANG west bay decreased from estuary toward open sea.

Key words Pingyang West Bay; Nutrient status; Organic pollution; Distribution

西湾位于浙江省平阳县东南部, 东临东海, 南濒鳌江口, 西靠墨城, 北迎飞云江, 风浪大、流急、旋转流为主, 与外海水体交换畅通。近年来, 温州海域大规模、较快速的围填海为沿海产业升级提供了发展空间, 但同时也导致温州海岸所承受的压力日益增大, 产生了许多负面效益。围填海一般会降低水交换能力, 减弱海水自净能力, 导致淤积, 加剧海水污染, 带来许多海洋环境和生态等问题^[1]。因受地表径流注入、工业及生活污水排放等影响, 海湾地区出现了富营养化的问题, 已有研究表明飞云江、鳌江口海域已呈现富营养化^[2-7]。

西湾地区的吹沙围垦工程使该区养殖品种减少, 现以海带和紫菜养殖为主, 而对西湾海域的水质营养状况评价尚鲜见报道。笔者以2014—2016年西湾海域的四季水质监测结果为基础, 从氮、磷时空分布特征的角度探讨了西湾海域水环境的营养状况, 旨在为当地的海洋生态环境保护及渔业增殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 监测站点与采样时间 在该区域设立水质监测站点6个(图1)。于春季(4—5月)、夏季(7—8月)、秋季(10—11月)、冬季(12月至次年1月)4个季度分别采集海域的水样。样品采集、保存、运输、水质样品的现场处理及分析测定均按照《海洋监测规范》(GB 17378—2007)^[8]和《海洋调查规范》^[9]中的相应要求进行。

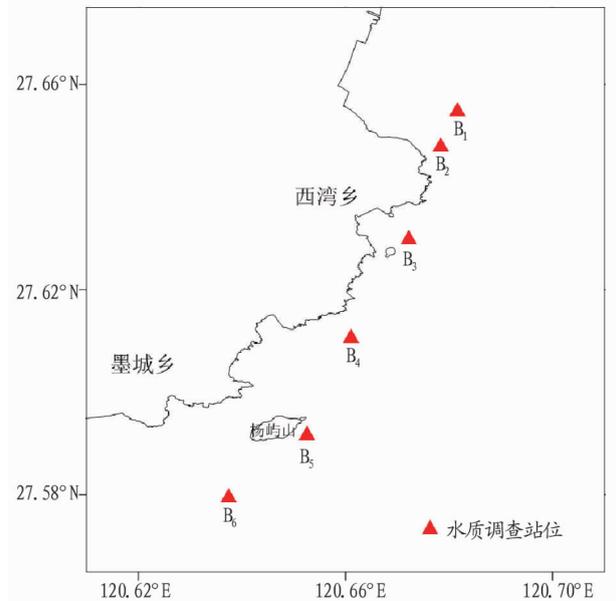


图1 水质监测站点

Fig. 1 Monitoring sites of water quality

1.2 评价标准与方法

1.2.1 评价标准。海水水质技术标准参照《海水水质标准》(GB 3097—1997)II类标准^[10]。

1.2.2 评价方法。当前我国近岸海域富营养化评价模型和方法主要是根据氮、磷、化学需氧量(COD)和叶绿素浓度计算富营养化指数的各种数学公式^[11]。综合我国近岸海域的特点, 采用富营养化指数法、有机污染指数法及潜在性富营养化评价方法, 对西湾海域的富营养化状况进行分析评价。

1.2.2.1 富营养化指数法。海水富营养化指数法对于海水富营养化状态的评价应用区域最广^[12], 其公式如下:

$$E = (CCOD \times CDIN \times CDIP) \times 10^6 / 4\ 500 \quad (1)$$

基金项目 浙江省科技计划项目(2016F50032); 温州财政项目(DH-CG20150319, DHCG20160307)。

作者简介 郑伊诺(1990—), 女, 浙江温州人, 助理工程师, 从事水产品与环境监测研究。*通讯作者, 高级工程师, 从事水产养殖和环境监测研究。

收稿日期 2017-05-10

式中, E 为富营养化判断值,其评价分级见表1^[11];CCOD为化学需氧量测定值;CDIN为无机氮的测定值;CDIP为活性磷酸盐的测定值。

表1 水质营养化评价分级标准

Table 1 Classification standard of water eutrophication evaluation

E	营养化水平 Trophic level	营养状况 Nutritional status
0~0.5	1	贫营养
0.5~1.0	2	中营养
1.0~3.0	3	轻度富营养
3.0~9.0	4	中度富营养
>9.0	5	重度富营养化

1.2.2.2 有机污染指数法。海水有机污染指数法利用COD、无机氮(DIN)、无机磷(DIP)、溶解氧(DO)4个指标对海水质量状况进行评价,反映水质的整体情况。计算公式如下:

$$A = \text{COD}/\text{CODs} + \text{DIN}/\text{DINs} + \text{DIP}/\text{DIPs} - \text{DO}/\text{DOs} \quad (2)$$

式中, A 为有机污染评价指数,评价分级见表2;COD、DIN、

DIP、DO分别为化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐和溶解氧的测定值;CODs、DINs、DIPs、DOs为分别为水体的上述各项指标的评价标准。

表2 有机污染评价分级标准

Table 2 Classification standard of organic pollution evaluation

A	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

1.2.2.3 潜在性富营养化评价方法。该方法是根据中国近岸海域的富营养化普遍受营养盐限制的特征,参考潜在性富营养化概念,根据DIN和DIP的浓度及 N/P 值提出的一种新的富营养化分级标准及相应的评价模式^[12-16],划分原则见表3。

表3 潜在性富营养化评价模式营养级的划分原则

Table 3 Evaluation model of potential eutrophication and classification principle of trophic level

级别 Grade	营养级 Trophic	DIN浓度 DIN concentration//mg/L	DIP浓度 DIP concentration//mg/L	N/P
I	贫营养	<0.2	<0.030	8~30
II	中度营养	0.2~0.3	0.020~0.045	8~30
III	富营养	>0.3	>0.045	8~30
IV _P	磷限制中度营养	0.2~0.3	—	>30
V _P	磷中度限制潜在性营养	>0.3	—	30~60
VI _P	磷限制潜在性富营养	>0.3	—	>60
IV _N	氮限制中度营养	—	0.030~0.045	<8
V _N	氮中度限制潜在性营养	—	>0.045	4~8
VI _N	氮限制潜在性富营养	—	>0.045	<4

2 结果与分析

2.1 西湾海域表层水质的营养状况 由表4可知,2014—2016年海域表层水质全年的DIN、DIP为劣于四类海水水质

标准^[10],这与2014—2016年温州市海洋环境质量公报^[17-19]的结论相符。

表4 2014—2016年DIN、DIP、 E 、 A 四季的数值

Table 4 The results of DIN、DIP、 E 、 A at all seasons during 2014—2016

年份 Year	季节 Season	DIN浓度 DIN concentration//mg/L		DIP浓度 DIP concentration//mg/L		E		A	
		范围 Range	均值 Average	范围 Range	均值 Average	范围 Range	均值 Average	范围 Range	均值 Average
2014	春季	1.300~1.480	1.40	0.041~0.049	0.046	10.18~16.69	13.90	5.86~6.55	6.21
	夏季	0.320~0.560	0.41	0.030~0.480	0.114	2.36~38.43	10.04	1.64~16.91	4.73
	秋季	1.740~2.850	2.32	0.066~0.103	0.085	43.78~82.08	56.63	9.19~12.46	10.52
	冬季	0.996~1.560	1.24	0.050~0.055	0.053	3.70~40.50	10.84	4.66~6.72	5.75
	全年	0.320~2.850	1.34	0.030~0.103	0.075	2.36~82.08	23.05	4.66~16.91	6.80
2015	春季	1.560~2.620	1.89	0.050~0.086	0.061	18.75~114.33	50.76	6.48~11.59	8.16
	夏季	0.330~0.440	0.40	0.041~0.050	0.046	2.44~8.36	6.20	1.87~3.08	2.56
	秋季	0.260~0.460	0.39	0.046~0.062	0.054	2.47~13.18	6.82	2.19~3.24	2.59
	冬季	0.620~1.100	0.80	0.092~0.095	0.094	16.45~70.03	38.93	4.98~6.36	5.67
	全年	0.260~2.620	0.87	0.041~0.095	0.060	2.44~114.33	21.57	1.87~6.36	3.49
2016	春季	0.730~0.830	0.76	0.052~0.080	0.051	10.93~36.37	19.14	4.11~5.72	4.57
	夏季	0.043~0.970	0.36	0.012~0.064	0.038	0.54~28.55	6.72	0.83~5.32	2.44
	秋季	0.520~0.850	0.70	0.044~0.049	0.047	14.17~35.52	25.34	3.66~5.32	4.57
	冬季	0.930~0.990	0.96	0.049~0.061	0.057	19.95~87.62	41.86	5.17~7.15	5.98
	全年	0.430~0.990	0.70	0.012~0.080	0.050	0.54~87.62	20.29	0.83~7.15	4.39

从 2014—2016 年的监测结果来看,2014—2016 年 DIN 年平均浓度分别为 1.34、0.87、0.70 mg/L;DIP 年平均浓度分别为 0.075、0.060、0.050 mg/L,可见,DIP 和 DIN 浓度呈逐年下降,其中以夏季的 DIN 浓度最低。

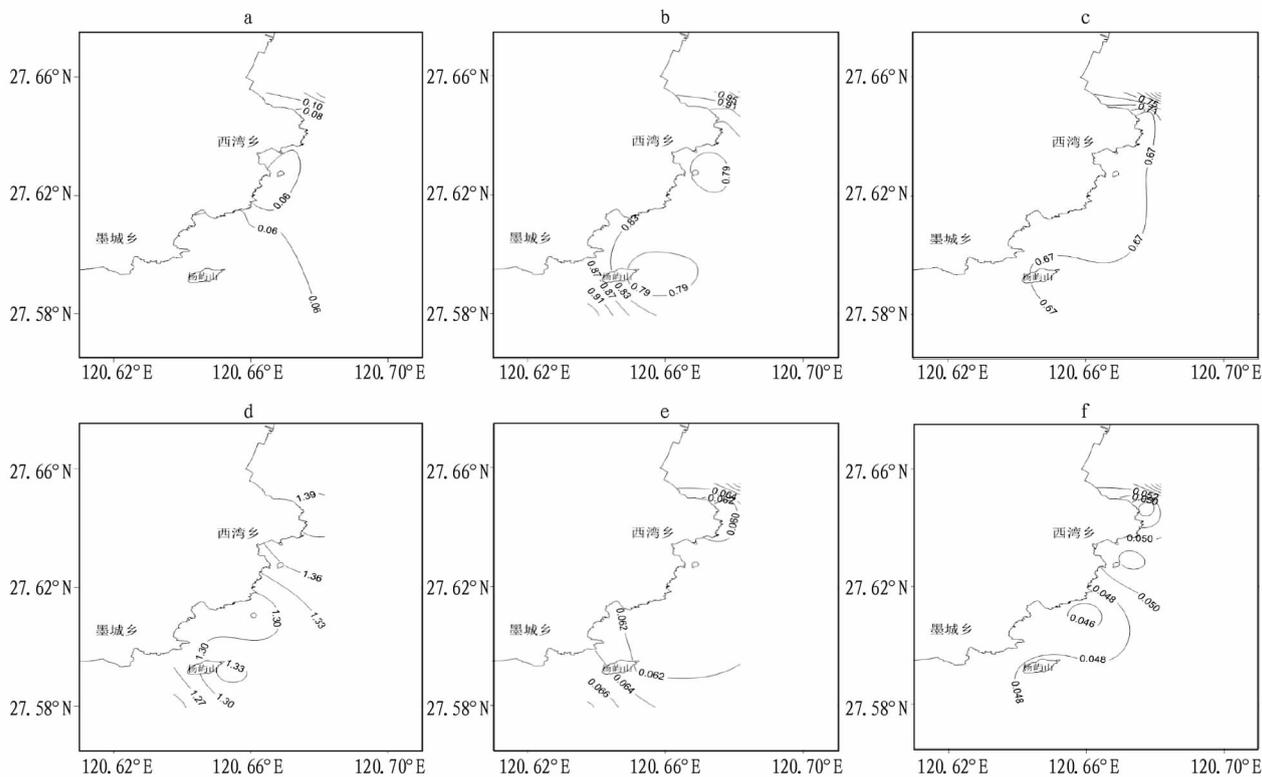
站位 B_1 靠近飞云江入海口,2014—2016 年监测的 DIN、DIP 浓度偏高(表 5); B_2 靠近围垦的堤坝闸门口,从空间上看,DIN、DIP 浓度由入海口向远海逐渐递减(图 2)。

2.2 海域水体富营养化状态评价 由表 4 可知,2014 年 E 值为 2.36 ~ 82.08,均值为 23.05;2015 年 E 为 2.44 ~ 114.33,均值为 21.57;2016 年 E 值为 0.54 ~ 87.62,均值为 20.29,2014—2016 年平阳西湾海区表层水质全年的 E 值 >9 ,为重度富营养化,富营养化程度表现为逐年下降。连续 3 年夏季的富营养化最低,这可能是由于夏季浮游植物丰度较高^[3],浮游生物的生长吸收了营养盐,从而降低了富营养化。由表 5 可知, B_1 (靠近飞云江入海口)、 B_2 (靠近堤坝闸门口)、 B_6 (靠近鳌江口)的 E 值高,表现为近岸高,远海低,这与 2014—2016 年温州市海洋环境质量公报^[17-19]及平阳县海洋环境公报^[20-22]的结论相符。

表 5 2014—2016 年各站点的 DIN、DIP、 E 、 A 年均值

Table 5 Annual results of DIN, DIP, E , A in each sites during 2014 - 2016

年份 Year	站位 Sites	DIN 浓度 DIN concentration//mg/L	DIP 浓度 DIP concentration//mg/L	E	A
2014	B_1	1.386	0.160	36.90	10.0
	B_2	1.415	0.063	27.05	6.59
	B_3	1.386	0.059	20.86	6.33
	B_4	1.277	0.060	17.29	6.10
	B_5	1.358	0.053	17.21	6.13
	B_6	1.229	0.052	17.81	5.645
2015	B_1	1.038	0.072	36.54	5.02
	B_2	0.843	0.058	19.09	3.13
	B_3	0.773	0.061	19.14	3.03
	B_4	0.830	0.060	26.05	3.22
	B_5	0.750	0.062	13.29	2.40
	B_6	0.986	0.069	39.97	4.15
2016	B_1	0.859	0.062	27.20	5.27
	B_2	0.655	0.044	34.26	4.73
	B_3	0.666	0.053	16.25	4.18
	B_4	0.654	0.045	15.87	4.00
	B_5	0.681	0.049	16.41	4.03
	B_6	0.656	0.048	29.60	4.14



注:a,b,c 分别为 2014、2015、2016 年的 DIN 浓度(mg/L);d,e,f 分别为 2014、2015、2016 年的 DIP 浓度(mg/L)

Note:a,b,c represent DIN concentration in 2014,2015,2016, respectively;d,e,f represent DIP concentration in 2014,2015,2016, respectively

图 2 2014—2016 年平阳西湾表层海水 DIN、DIP 浓度的平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of DIN, DIP concentration of surface sea water in Pingyang West Bay during 2014 - 2016

由表 4 可知,2014 年 A 值为 1.64 ~ 16.91,均值为 6.80,四季 A 值 >4 ,为严重污染;2015 年 A 值为 1.87 ~ 11.59,均值为 3.49,夏季和秋季 $2 < A < 3$,属轻度污染,春季和冬季 A 值 >4 ,为严重污染;2016 年 A 值 0.83 ~ 7.15,均值为 4.39,夏季 $2 < A < 3$,属轻度污染,其余 3 季 A 值 >4 ,为严重污染。由

表 5 可知,靠近飞云江入海口的 B_1 站位 A 值 >4 ,连续 3 年最高,为严重污染。从空间上看, E 、 A 由入海口向远海逐渐递减(图 3)。

2014 年春季 $DIN > 0.3$, DIN/DIP 为 30.55 ($N/P > 30$),为磷中度限制潜在性营养,夏季 $DIP > 0.045$, DIN/DIP 的

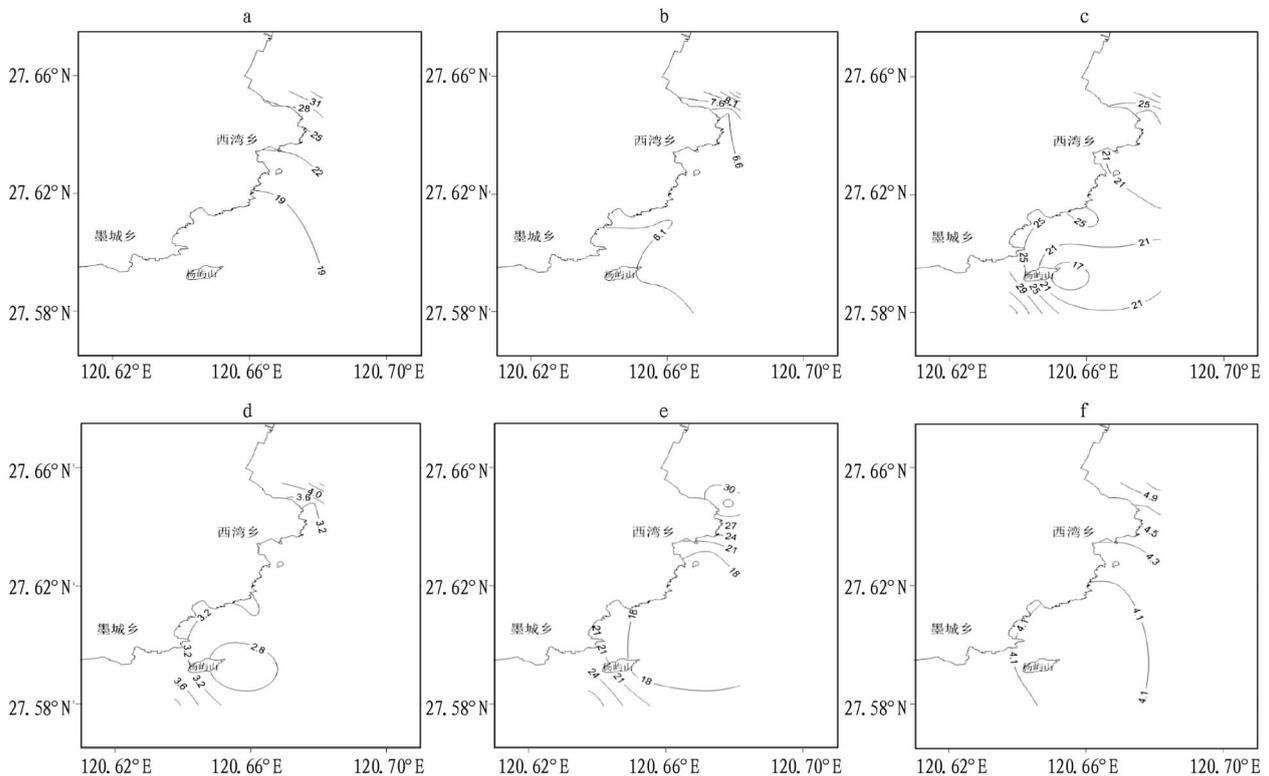
3.57 ($N/P < 4$), 为氮限制潜在性富营养, 秋冬季潜在性富营养评价是 III 级富营养, 全年潜在性富营养评价为 III 级富营养; 2015 年春季 $DIN > 0.3$, DIN/DIP 的值为 31.02 ($N/P > 30$), 为磷中度限制潜在性营养, 秋季 $DIP > 0.045$,

DIN/DIP 为 7.19 ($4 < N/P < 8$), 为氮中度限制潜在性富营养, 夏冬两季潜在性富营养评价是 III 级富营养, 全年潜在性富营养评价为 III 级富营养; 2016 年全年潜在性富营养评价为 III 级富营养(表 6)。

表 6 2014—2016 年平阳西湾海域水质四季的 E 、 A 、 N/P 值及评价

Table 6 E 、 A and N/P value and evaluation of sea water quality at all seasons of Pingyang West Bay during 2014–2016

年份 Year	季节 Seasons	E		A		N/P	
		均值 Average	评价 Evaluation	均值 Average	评价 Evaluation	均值 Average	评价 Evaluation
2014	春季	13.90	重度富营养化	6.21	严重污染	30.55	磷中度限制潜在性营养
	夏季	10.04	重度富营养化	4.73	严重污染	3.57	氮限制潜在性富营养
	秋季	56.63	重度富营养化	10.52	严重污染	27.27	III
	冬季	10.84	重度富营养化	5.75	严重污染	23.42	III
	全年	23.05	重度富营养化	6.80	严重污染	21.20	III
2015	春季	50.76	重度富营养化	8.16	严重污染	31.02	磷中度限制潜在性营养
	夏季	6.20	中度富营养化	2.56	轻度污染	8.77	III
	秋季	6.82	中度富营养化	2.59	轻度污染	7.19	氮中度限制潜在性营养
	冬季	38.93	重度富营养化	5.67	严重污染	8.54	III
	全年	25.68	重度富营养化	4.75	严重污染	13.88	III
2016	春季	19.14	重度富营养化	4.57	严重污染	12.93	III
	夏季	6.72	中度富营养化	2.45	轻度污染	9.50	III
	秋季	25.34	重度富营养化	4.57	严重污染	14.88	III
	冬季	41.86	重度富营养化	5.98	严重污染	16.79	III
	全年	23.27	重度富营养化	4.39	严重污染	13.53	III



注: a、c、e 分别为 2014、2015、2016 年的 E 值; b、d、f 分别为 2014、2015、2016 年的 A 值

Note: a, c, e represent E value in 2014, 2015, 2016, respectively; d, e, f represent A value in 2014, 2015, 2016, respectively

图 3 2014—2016 年平阳西湾海水 E 、 A 值的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of E and A value in Pingyang West Bay during 2014–2016

2.3 富营养化的原因 引起海水富营养化的原因可分为两大类: 自然因素和人为因素, 由自然因素引起的富营养化情况很少^[23]。随着经济的发展, 工业废水、生活污水等随着支流进入海洋; 围垦工程吹填施工, 引起沉积物再悬浮造成氮、

磷等物质的释放, 改变了生态平衡。

浙江省近岸海域受长江影响明显, 沿岸有钱塘江、甬江等八大水系入海, 每年由这些径流带来的大量营养盐及有机物^[24], DIN 、 $PO_4^{3-}P$ 和 COD 是河口海湾富营养化特征的第一

主成分^[25],是导致海域富营养化的重要原因之一^[26-28]。

平阳西湾处于处于飞云江与鳌江之间,据 2014—2016 年温州市海洋环境质量公报和平阳县海洋环境公报,平阳县用海工程施工对周围海域水质环境影响不明显,但对生态环境产生了一定影响,主要表现为底栖生物和潮间带生物群落有所改变;甌江、飞云江、鳌江的污染物排海监测数据见表 7。由表 7 可知,3 年来由 3 条江河携带入海的 COD、氨氮、总磷逐年减少,这与平阳西湾海域 DIN、DIP、E 值 3 年的变化趋势一致,说明影响平阳西湾海域的富营养化主要是入海径流携带的污染物。

表 7 2014—2016 年入海 COD、氮、磷污染物总量

Table 7 The quality of COD, N, P pollution flowed into the sea during 2014 - 2016

年份 Year	COD	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 Total phosphorus
2014	1 169 773	27 793	53 895
2015	1 102 359	10 471	19 848
2016	917 024	6 504	18 140

3 结论

(1) 2014—2016 年平阳西湾海域表层海水水质全年的 DIN、DIP 浓度为劣于四类海水水质标准, DIP 和 DIN 浓度逐年下降,夏季的 DIN 浓度最低。

(2) 2014—2016 年平阳西湾海区表层水质全年的 E 均值 > 9, 为重度富营养化, 富营养化程度表现为逐年下降。2014 年全年 A 值 > 4, 为严重污染; 2015 年夏季和秋季 2 < A < 3, 属轻度污染, 春季和冬季 A 值 > 4, 为严重污染; 2016 年夏季 2 < A < 3, 属轻度污染, 其余 3 季 A 值 > 4, 为严重污染。靠近飞云江入海口的 B₁ 站位 A 值 > 4, 连续 3 年最高, 为严重污染。

(3) 平阳西湾海区表层水质潜在性富营养化评价 2014 年春季是磷中度限制潜在性营养, 夏季是氮限制潜在性富营养, 秋冬季是 III 级富营养, 全年潜在性富营养化评价为 III 级富营养; 2015 年春季是磷中度限制潜在性营养, 秋季是氮中度限制潜在性富营养, 夏冬潜在性富营养化评价是 III 级富营养, 全年是潜在性富营养化评价为 III 级富营养; 2016 年全年潜在性富营养化评价为 III 级富营养。

(4) 从空间上看, 平阳西湾海区表层海水 DIN、DIP、E、A

的平面分布是由入海口向远海逐渐递减的趋势。

(5) 影响平阳西湾海域的富营养化主要是入海径流携带的污染物。

参考文献

- [1] 单慧洁, 张钊, 汪一航, 等. 温州鳌江近海建设工程环境影响潮汐潮流数值模拟[J]. 海洋通报, 2014, 33(3): 250 - 258.
- [2] 宋伟华, 许恒福, 金矛, 等. 飞云江口海域环境质量现状分析与评价[J]. 科技创新导报, 2014(29): 131 - 134.
- [3] 刘述扬, 孙淑艳, 王真良, 等. 飞云江与鳌江口海域夏、秋季环境因子与浮游生物分布变化[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 430 - 437.
- [4] 董开兴, 徐兆礼. 飞云江口附近海域浮游动物群落特征[J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 744 - 752.
- [5] 邢星亮, 郑晓庆, 童雪亮. 飞云江中上游水体污染治理机制初探[J]. 水利发展研究, 2011, 11(8): 71 - 74.
- [6] 赵鑫, 卢成标, 周华民. 外海围涂工程对临江水动力的影响初析: 以鳌江为例[J]. 浙江水利科技, 2015(6): 1 - 4.
- [7] 刘亚林, 姚伟民, 张树刚, 等. 2008 年夏季飞云江口浮游植物分布特征及与环境因子的相关性[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(S11): 31 - 34.
- [8] 国家海洋局. 海洋监测规范: GB 17378—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 海洋调查规范: GB/T 12763—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [10] 国家环境保护局. 海水水质标准: GB 3097—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [11] 钱健, 贾怡然, 丰卫华, 等. 椒江口海域营养盐及富营养状况的时空变化[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(5): 743 - 749.
- [12] 黄亚楠, 吴孟孟. 富营养化指数法在中国近岸海域的应用[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(2): 316 - 320.
- [13] 曹维, 蔡燕红, 张海波, 等. 东海区典型断面营养盐潜在性富营养化评价[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(3): 251 - 256.
- [14] 蒋国昌, 王玉衡, 董恒霖, 等. 浙江沿海富营养化程度的初步探讨[J]. 海洋通报, 1987, 6(4): 40 - 48.
- [15] 陈利红, 张荣保, 叶茂森, 等. 椒江口海域环境质量现状监测与评价[J]. 科技创新导报, 2014(26): 109 - 114.
- [16] 过锋, 陈聚法, 张艳, 等. 黄岛区南部海域营养水平和有机污染状况分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(4): 44 - 50.
- [17] 温州海洋与渔业局. 2014 年温州市海洋环境监测公报[R]. 2015.
- [18] 温州海洋与渔业局. 2015 年温州市海洋环境监测公报[R]. 2016.
- [19] 温州海洋与渔业局. 2016 年温州市海洋环境监测公报[R]. 2017.
- [20] 平阳县海洋与渔业局. 2014 年平阳县海洋环境公报[R]. 2015.
- [21] 平阳县海洋与渔业局. 2015 年平阳县海洋环境公报[R]. 2016.
- [22] 平阳县海洋与渔业局. 2016 年平阳县海洋环境公报[R]. 2017.
- [23] 王云龙. 近岸海域海水富营养化的成因与影响[J]. 山东环境, 2000(6): 33 - 34.
- [24] 唐静亮, 胡颖璇, 毛宏跃, 等. 浙江省近岸海域富营养及赤潮发生特征初步探讨[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2004, 23(2): 99 - 102, 106.
- [25] 李俊龙, 郑丙辉, 张铃松, 等. 中国主要河口海湾富营养化特征及差异分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(2): 506 - 516.
- [26] 高生泉, 卢勇, 曾江宁, 等. 乐清湾水环境特征及富营养化成因分析[J]. 海洋通报, 2005, 24(6): 25 - 32.
- [27] 尹艳娥, 沈新强, 蒋玫, 等. 长江口及邻近海域富营养化程度评价及其时空分布特征[C]//2014 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 长沙: 中国水产学会, 2014.
- [28] 李磊, 夏培艳, 唐峰华, 等. 舟山附近海域富营养化的时空分布及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 771 - 777.
- [11] 许冲, 徐锡伟, 于贵华. 基于证据权方法的玉树地震滑坡危险性评价[J]. 地震地质, 2013, 35(1): 151 - 164.
- [12] 范强, 巨能攀, 向喜琼, 等. 证据权法在区域滑坡危险性评价中的应用: 以贵州省为例[J]. 工程地质学报, 2014, 22(3): 474 - 481.
- [13] 贾韶辉. 基于 RS 与 GIS 技术宣汉县天台山乡滑坡灾害危险性评价[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.
- [14] 王超. 基于 RS&GIS 的宁强县滑坡危险性评价[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [15] 马来坤, 马宏伟. 基于 AHP 的大学生从众行为影响因素研究[J]. 中国制造业信息化, 2010, 39(9): 81 - 84.
- [16] 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010, 42(5): 10 - 19.

(上接第 54 页)

- [5] 邢秋菊, 赵纯勇, 高克昌, 等. 基于 GIS 的滑坡危险性逻辑回归评价研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3): 49 - 51.
- [6] 许冲, 徐锡伟. 逻辑回归模型在玉树地震滑坡危险性评价中的应用与检验[J]. 工程地质学报, 2012, 20(3): 326 - 333.
- [7] 光磊. 基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用[J]. 地质与资源, 2005, 14(3): 231 - 233.
- [8] 罗真富, 蒲达成, 谢洪斌, 等. 基于 GIS 和信息量法的泥石流流域滑坡危险性评价[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(11): 144 - 150.
- [9] 张重, 沈晓华, 邹乐君, 等. 滑坡危险性评价模型中的量化方式研究: 以永嘉县为例[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(3): 16 - 20.
- [10] 赵甜. 基于人工神经网络的滑坡危险性评价方法研究[J]. 城市建筑, 2013(20): 306 - 307.