

宁波杭州湾新区海域环境质量现状评价

王 姮^{1,2}, 张玉荣^{1,2}, 李子孟^{1,2}, 鲍静姣^{1,2}, 严 峻^{1,2}

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316021; 2. 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江舟山 316021)

摘要 依据 2018 年 4 月对宁波杭州湾新区附近海域的环境质量调查结果, 运用富营养化指数法、沉积物重金属富集系数法、潜在生态风险指数法分析海域水体富营养化程度和沉积物重金属污染程度。结果表明, 宁波杭州湾新区附近海域水质中除无机氮、活性磷酸盐站位超标率为 100% 外, 其他指标均符合海水水质 II 类标准。沉积物中除 Cu 的站位超标率为 4%, 其他指标均符合 I 类海洋沉积物质量标准。所有站位富营养化指数均大于 1, 该海域处于较为严重的富营养化状态。沉积物重金属综合潜在生态风险系数 (RI) 均值为 44.76, 潜在生态危害轻微。

关键词 环境质量; 海水水质; 富营养化; 重金属; 富集系数法; 潜在生态风险; 杭州湾

中图分类号 X 82 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)21-0059-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.21.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of the Current Situation of Environmental Quality in Hangzhou Bay New District, Ningbo

WANG Heng^{1,2}, ZHANG Yu-rong^{1,2}, LI Zi-meng^{1,2} et al (1. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan, Zhejiang 316021; 2. Key Lab of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resource of Zhejiang, Zhoushan, Zhejiang 316021)

Abstract Based on the environmental quality survey results of the area near Hangzhou Bay in Ningbo in April 2018, the eutrophication index method, sediment heavy metal enrichment factor method and potential ecological risk index method were used to analyze the eutrophication of the water and the heavy metal pollution in the sediment. The results showed that in addition to the inorganic nitrogen and activated phosphate stations exceeding the standard rate of 100% in the water quality near the Hangzhou Bay New District of Ningbo, all other indicators met the second category of seawater quality standards. The rate of Cu removal from the sediments in the sediment exceeded the standard rate of 4%, and other indicators met the quality standards of the first type of marine sediments. The eutrophication index of all stations was greater than 1, and the sea area was in a relatively serious eutrophication state. The average value of the comprehensive potential ecological risk coefficient of heavy metals in the sediment was 44.76, and the potential ecological harm was slight.

Key words Environmental quality; Seawater quality; Eutrophication; Heavy metals; Enrichment factor method; Potential ecological risk; Hangzhou Bay

宁波杭州湾新区地处浙江省宁波市慈溪市北部及杭州湾跨海大桥南岸, 是“一带一路”与长江三角洲区域一体化战略的交汇点, 总面积 703 km², 其中陆域面积占 353 km², 海域面积占 350 km²。杭州湾地处浙江省北面及上海市南面, 东临舟山新区, 钱塘江从西边汇入, 属于河口型海湾^[1]。杭州湾南岸拥有宽广的滩涂, 沿岸人口繁多, 工业和经济发展较快, 作为我国最大规模的化工产业基地每年排放的生活污水和工业废水都对湾内海域环境质量造成了不利影响。据相关文献报道, 自 1994 年后, 杭州湾海域就已经属于严重的富营养化状态^[2]。富营养化不仅会影响该海域的渔业资源和生物多样性, 还会破坏海域生态系统的平衡, 对海洋生态环境造成长远的影响。笔者根据 2018 年 4 月 25—28 日大潮期间对宁波杭州湾新区附近海域水质和沉积物调查情况, 结合当地所属海洋功能区划, 对水质富营养化现状、沉积物重金属富集程度和潜在生态危害效应进行分析评价, 为保护该海域海洋生态环境、制订污染防治的相关措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样 根据附近海域的潮流特征、海洋功能区的划分, 于 2018 年 4 月(春季)在宁波杭州湾新区附近海域布设 48 个水质调查站位、24 个沉积物调查站位开展外业工作。站位

分布详见图 1。

水质调查指标: 温度、pH、DO、COD、石油类、无机氮(包括 NO₃-N、NO₂-N、NH₃-N)、活性磷酸盐、硫化物和重金属(包括 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As)。沉积物调查指标: 石油类、有机碳、硫化物和重金属(包括 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As)。各指标均依据《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)^[3]、《海洋监测规范》(GB 17378.7—2007)^[4]、《近岸海域环境监测规范》(HJ 442—2008)^[5]等标准规范进行。

1.2 评价方法 采用环境质量单因子评价标准指数法^[6]进行海域水质及沉积物质量的现状评价, 如果评价因子的标准指数值>1, 则表明该因子超过了相应的水质评价标准, 已经不能满足相应功能区的使用要求; 反之, 则表明该因子能符合功能区的使用要求。

单项水质评价因子 i 在第 j 取样点的标准指数:

$$S_{ij} = C_{ij} / C_{si} \quad (1)$$

式中, C_{ij} 为水质评价因子 i 在第 j 取样点的实测浓度值 (mg/L); C_{si} 为水质评价因子 i 的评价标准 (mg/L)。

DO 的标准指数:

$$\begin{cases} S_{DOj} = 10 - 9DO_j / DO_s & DO_j \geq DO_s \\ DO_j < DO_s \end{cases} \quad (2)$$

式中, S_{DOj} 为饱和溶解氧在第 j 取样点的标准指数; DO_j 为饱和溶解氧浓度 (mg/L); DO_j 为 j 取样点水样溶解氧的实测浓度值 (mg/L); DO_s 为溶解氧的评价标准 (mg/L); T 为水温 (°C)。

pH 的标准指数:

基金项目 浙江省基础公益研究计划项目 (LGC19D060001)。
作者简介 王姮 (1994—), 女, 浙江舟山人, 在读硕士, 从事海洋环境监测与调查评价工作。
收稿日期 2020-04-22

$$S_{pH_j} = |pH_j - pH_1| / pH_2 \tag{3}$$
$$pH_1 = (pH_{su} + pH_{sd}) / 2 \tag{4}$$
$$pH_2 = (pH_{su} - pH_{sd}) / 2 \tag{5}$$

式中: S_{pH_j} 为 pH 在第 j 取样点的标准指数; pH_j 为 j 取样点水样 pH 实测值; pH_{sd} 为评价标准规定的下限值; pH_{su} 为评价标准规定的上限值。



图 1 海域环境现状调查站位
Fig. 1 Location of the marine environment status survey

1.3 评价标准 根据《浙江省海洋功能区划(2011—2020年)》^[7],宁波杭州湾新区附近海域功能区划为海盐农渔业区、杭州湾南岸农渔业区、杭州湾南岸保留区、杭州湾湿地海洋保护区等海洋功能区。根据海洋环境保护要求,依照就高不就低的原则,海域水质的现状评价对应《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[8]中的第二类要求,海域沉积物质量现状评价对应《海洋沉积物质量》(GB 18668—2002)^[9]中的第一类要求,具体信息见表 1。

表 1 调查海域海水水质标准、沉积物质量标准
Table 1 Seawater quality standards and sediment quality standards in surveyed area

评价指标 Evaluation index	第Ⅱ类海水水质标准 Class II seawater quality standards mg/L	第Ⅰ类海洋沉积物质量 Class I marine sediment quality
pH	7.8~8.5	—
DO	>5	—
COD	≤3	—
无机氮(以 N 计) Inorganic nitrogen(as N)	≤0.30	—
活性磷酸盐 Active phosphate	≤0.030	—
石油类 Petroleum	≤0.05	≤500.0 mg/kg
硫化物 Sulfide	≤0.05	≤300.0 mg/kg
铅 Pb	≤0.005	≤60.0 mg/kg
镉 Cd	≤0.005	≤0.50 mg/kg
铜 Cu	≤0.010	≤35.0 mg/kg
锌 Zn	≤0.050	≤150.0 mg/kg
铬 Cr	≤0.10	≤80.0 mg/kg
汞 Hg	≤0.000 2	≤0.20 mg/kg
砷 As	≤0.030	≤20.0 mg/kg
有机碳 Organic carbon	—	≤2.0%

指数法对宁波杭州湾新区海域进行营养状态评价。营养指数法评价公式如下:

$$E = \text{COD} \times \text{无机氮} \times \text{无机磷} \times 10^6 / 4\ 500 \tag{6}$$

其中,COD、无机氮、无机磷含量的单位皆为 mg/L。当 $E \geq 1$ 时,判断该水体处于富营养状态。 E 值愈大表明富营养化程度也愈严重。

该研究采用富集系数法和潜在生态风险指数法^[11]对调查海域的沉积物重金属进行质量评价与分析。

富集系数法公式如下:

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \tag{7}$$

其中, C_f^i 是重金属 i 的富集系数, C_s^i 是重金属 i 的实际测量结果, C_n^i 是重金属 i 的背景参考值(采用国际常见的全球最高背景值)。

潜在生态危害系数法公式如下:

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \tag{8}$$

$$RI = \sum_i^n E_r^i \tag{9}$$

其中, C_f^i 是重金属 i 的富集系数, T_r^i 是重金属 i 的毒性系数, E_r^i 是重金属 i 的潜在生态风险系数,RI 是多种重金属综合潜在生态风险系数。当潜在生态风险系数 E_r^i 小于 40 时属于轻微生态危害,当多种重金属综合潜在生态风险系数 RI 小于 150 时属于轻微生态危害。

2 结果与分析
2.1 水质现状与评价 在宁波杭州湾新区附近海域环境质量的现状调查(表 2~3)中,除无机氮、活性磷酸盐外,pH、DO、COD、石油类、硫化物、铜、锌、铅、镉、铬、汞、砷的含量均符合《海水水质标准》(GB 3097—1997)中第Ⅱ类海水水质标

该研究采用《近岸海洋生态健康评价指南》^[10]中的营养

准;其中无机氮、活性磷酸盐的站位超标率均为 100%。结果显示无机氮、活性磷酸盐超标是影响海水水质的主要指标。究其原因,宁波杭州湾新区沿海有多个养殖区和增殖放流区,使含大量氮、磷物质的水体汇入湾内,导致水体自身具备的净化能力远远不足以维持各营养元素之间的平衡。而网箱养殖所用到的饵料也会有 85%左右的磷、52%~95%的氮最后汇入海洋^[12]。该地水产养殖业快速发展的同时营养盐含量也呈上升趋势。

表 2 调查海域水质现状结果

Table 2 Results of surveying water quality status			mg/L
指标 Index	范围 Range	平均值 Mean	
pH	8.00~8.27	8.10	
DO	7.72~8.01	7.86	
COD	0.48~2.53	1.17	
石油类 Petroleum	ND~0.02	0.01	
无机氮 Inorganic nitrogen	0.86~1.65	1.26	
活性磷酸盐 Active phosphate	0.032~0.065	0.048	
硫化物 Sulfide	ND	—	
Cu	(1.8~3.9)×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³	
Zn	ND~0.052	0.18	
Pb	ND~2.1×10 ⁻³	9.1×10 ⁻⁴	
Cd	(6.2~11.0)×10 ⁻⁵	7.9×10 ⁻⁵	
Cr	(5.6~62.0)×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻³	
Hg	(3.9~66.0)×10 ⁻⁶	2.7×10 ⁻⁵	
As	(1.2~2.2)×10 ⁻³	1.78×10 ⁻³	

注:ND 为样品检测结果低于检出限
Note:ND means that the sample test result is below the detection limit

表 3 调查海域水质评价标准指数

Table 3 Index of water quality evaluation standards in the surveyed sea area

指标 Index	范围 Range	超标率 Exceeding standard rate/%
pH	0~0.43	0
DO	0.20~0.39	0
COD	0.16~0.84	0
石油类 Petroleum	0~0.38	0
无机氮 Inorganic nitrogen	2.87~5.51	100
活性磷酸盐 Active phosphate	1.07~2.17	100
硫化物 Sulfide	—	0
Cu	0.18~0.39	0
Zn	0~1.04	2
Pb	0~0.42	0
Cd	0.01~0.02	0
Cr	0.01~0.06	0
Hg	0.02~0.33	0
As	0.04~0.07	0

调查海域各站位的富营养化指数(*E*)详见图 2。48 个站位的富营养化指数(*E*)为 4.6~44.2,平均值为 16.8。所有站位的营养化指数均大于 1,该海域处于富营养化状态。整体来看,调查海域的西部水质富营养化程度较东部相比更为严重,北部较南部相比也更为严重。富营养化指数(*E*)最高点出现在 CX30 站位,最低点出现在 CX36 站位。

2.2 沉积物现状与评价 宁波杭州湾新区附近海域沉积物质量调查结果见表 4,沉积物评价标准指数见表 5。调查海

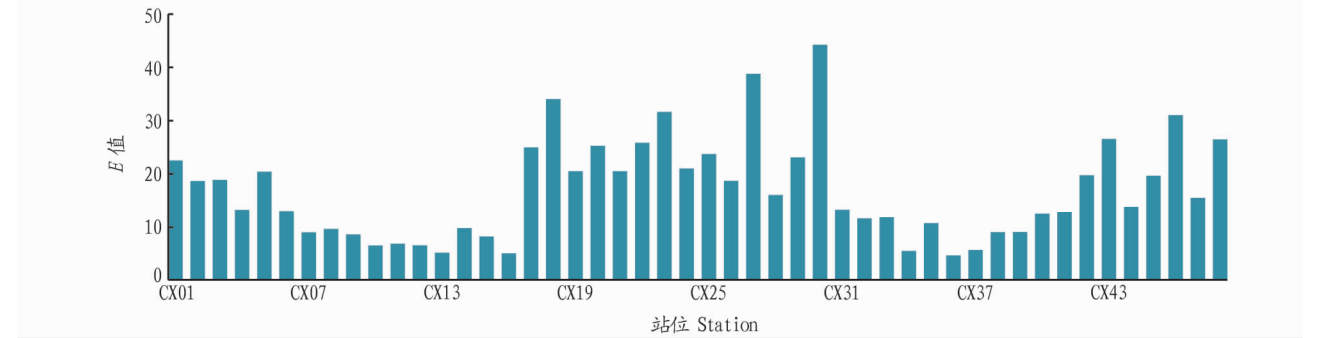


图 2 海域各站位富营养化指数(*E*)

Fig. 2 Eutrophication index of each station in the sea area

表 4 调查海域沉积物现状结果

Table 4 Results of sediment status in the surveyed sea area		
指标 Index	范围 Range	平均值 Mean
石油类 Petroleum//mg/kg	ND~11	5.35
有机碳 Organic carbon//%	0.32~0.54	0.43
硫化物 Sulfide//mg/kg	0.34~1.40	0.62
Cu//mg/kg	14~37	27
Zn//mg/kg	50~128	82
Pb//mg/kg	20~42	32
Cd//mg/kg	0.042~0.150	0.078
Cr//mg/kg	47~77	61
Hg//mg/kg	0.048~0.082	0.062
As//mg/kg	5.7~34.0	24

注:ND 为样品检测结果低于检出限
Note:ND means that the sample test result is below the detection limit

表 5 调查海域沉积物评价标准指数

Table 5 Evaluation index of sediments in surveyed sea areas		
指标 Index	范围 Range	超标率 Exceeding standard rate/%
石油类 Petroleum	0~0.022	0
有机碳 Organic carbon	0.16~0.27	0
硫化物 Sulfide	0~0.005	0
Cu	0.40~1.06	4
Zn	0.33~0.85	0
Pb	0.33~0.70	0
Cd	0.084~0.300	0
Cr	0.59~0.96	0
Hg	0.24~0.41	0
As	0.06~0.34	0

域 24 个站位的沉积物中,除站位超标率 4% 的 Cu 外,石油类、有机碳、硫化物、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As 的含量均符合海洋沉积物质量的 I 类标准。所有站位沉积物中的各指标变化范围不大,整体趋于稳定。部分站位重金属含量相对偏高可能是因为沉积物颗粒较细,更容易富集各类重金属。

从宁波杭州湾新区各重金属元素的平均富集系数和平均生态风险系数(表 6)可以看出,As、Pb、Zn 和 Cr 的富集系数均高于 1,表明其富集程度相对偏高。各重金属富集系数从大到小依次是 As、Pb、Zn、Cr、Cu、Hg、Cd。7 种重金属元素均属于轻微生态危害的污染程度。其中,Hg 和 As 的 E_r^i 值明显高于其他 5 类重金属,表明 Hg 和 As 对宁波杭州湾新区附近海域生态环境的潜在影响高于 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd。各重金属潜在生态风险系数 E_r^i 从大到小依次是 As、Hg、Pb、Cd、Cu、Cr、Zn。各站位 7 种重金属综合潜在生态风险系数 RI 平均值为 44.76,远小于 150,说明宁波杭州湾新区附近海域沉积物重金属的潜在生态风险轻微。

表 6 各重金属元素的背景参考值、毒性系数、富集系数、潜在生态风险系数

Table 6 Background reference values,toxicity coefficients,enrichment coefficients and potential ecological risk coefficients of each heavy metal element

重金属元素 Heavy metal element	背景参考值 Background reference values mg/kg	毒性系数 (T_r^i) Toxicity coefficients	富集系数 (C_f^i) Enrichment coefficients	潜在生态风险 系数(E_r^i) Potential ecological risk coefficients
Cu	30	5	0.90	4.50
Zn	80	1	1.02	1.02
Pb	25	5	1.28	6.40
Cd	0.5	30	0.16	4.80
Cr	60	2	1.02	2.04
Hg	0.25	40	0.25	10.00
As	15	10	1.60	16.00

3 结论

(1) 宁波杭州湾新区附近海域水质中 pH、DO、COD、石

(上接第 58 页)

综合表现最好,具体表现为株高 47.5 cm,球纵径为 9.4 cm,球横径为 14.3 cm,单球重 0.7 kg,开展度为 43 cm。其次是种植密度为 4.50 万株/hm²,各农艺性状综合表现较好,具体表现为株高 47.9 cm,球纵径为 9.5 cm,球横径为 14.5 cm,单球重 0.7 kg,开展度为 43 cm。该研究中,种植密度最大时,花椰菜各农艺性状综合表现最差,也说明种植密度过密,并不利于高海拔冷凉山区反季节栽培花椰菜综合性状的形成^[10]。

参考文献

[1] 古瑜,孙德岭,宋文芹. 生物技术在花椰菜遗传育种中的应用[J]. 天津农业科学,2007,13(2):14-19.

油类、硫化物、Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As 均符合二类海水水质标准,活性磷酸盐和无机氮全部站位均超标。各站位的富营养化指数为 4.6~44.2,整体海域均处于富营养化状态,部分站位较为严重。

(2) 宁波杭州湾新区附近海域沉积物中石油类、有机碳、硫化物、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As 的含量均符合海洋沉积物质量的 I 类标准,有一个站位的 Cu 超标。各重金属富集系数从大到小依次是 As、Pb、Zn、Cr、Cu、Hg、Cd,潜在生态风险系数从大到小依次是 As、Hg、Pb、Cd、Cu、Cr、Zn。As、Pb、Zn 和 Cr 的富集程度相对较高,Hg、As 对海域生态环境的潜在影响相对偏大。

(3) 宁波杭州湾新区附近海域已具有一定程度的环境风险,减少沿岸化工基地企业的工业废水和居民生活污水的排放,推动宁波杭州湾新区海洋环境保护工作极有必要。

参考文献

[1] 邱纪时,钟惠英,祝翔宇,等. 杭州湾南岸海水中的氯酚类化合物的污染特征及生态风险评价[J]. 海洋环境科学,2016,35(2):231-237.
[2] 贾海波,邵君波,曹柳燕. 杭州湾海域生态环境的变化及其发展趋势分析[J]. 环境污染与防治,2014,36(3):14-19.
[3] 国家质量技术监督局. 海洋调查规范:GB 12763—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
[4] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范:GB 17378.7—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
[5] 环境保护部. 近岸海域环境监测规范:HJ 422—2008[S]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
[6] 生态环境部. 环境影响评价技术导则 地表水环境:HJ 2.3—2018[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.
[7] 浙江省自然资源厅办公室.《浙江省海洋功能区划(2011—2020 年)》(2018 年修订版)正式发布[J]. 浙江国土资源,2018(11):13.
[8] 国家环境保护局. 海水水质标准:GB 3097—1997[S]. 北京:环境科学出版社,1997.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋沉积物质量:GB 18668—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
[10] 中华人民共和国国家海洋局第三研究所. 近岸海洋生态健康评价指南:HY/T 087—2005[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[11] HÅKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water research,1980,14(8):975-1001.
[12] 刘家寿,崔奕波,刘建康. 网箱养鱼对环境影响的研究进展[J]. 水生生物学报,1997,21(2):174-184.

[2] 朱伯华,朱德雄,汪坤乾,等. 优质早熟耐热花椰菜新品种大暑的选育[J]. 湖北农业科学,2014,53(12):2832-2834.
[3] 胡立敏,陶兴林,朱惠霞,等. 6 个花椰菜新品种在兰州的适应性评价[J]. 甘肃农业科技,2015(8):1-2.
[4] 吴克顺. 12 个花椰菜品种在平凉川水地的引种表现[J]. 甘肃农业科技,2016(10):32-35.
[5] 邓聚龙. 农业系统灰色理论与方法[M]. 济南:山东科学技术出版社,1988.
[6] 李锋,杨红疆,王伟,等. 灰色关联分析法在辣椒密度上的应用[J]. 新疆农垦科技,2006(5):20-22.
[7] 唐阳. 花椰菜产量构成因素探讨[J]. 农村科技,2000(6):21.
[8] 高小丽,廖文华,王姗姗,等. 豌豆主要农艺和品质性状的相关性及灰色关联度分析[J]. 作物杂志,2016(5):56-60.
[9] 姚雪雁,关周博,田建华,等. 高含油量甘蓝型油菜产量与农艺性状的灰色关联度分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(16):6-7,10.
[10] 林梓桦,黄文婷,范悦敏. 种植密度对高山反季节花椰菜产量影响研究[J]. 河北农机,2016(9):33.