

基于 Mann-Kendall 检验的浙江省近岸海域海洋环境变化趋势和对策研究

陈思杨, 宋琍琍, 刘瑞娟, 余骏

(浙江省海洋监测预报中心 杭州 310007)

摘要: 文章选取 2006—2015 年浙江省近岸海域的海洋环境监测数据, 基于 Mann-Kendall 检验方法, 分别分析水质、生物生态、江河入海污染物和海洋环境风险的时间序列变化趋势。根据研究结果, 提出浙江省海洋环境保护和生态建设的对策建议, 即加强近岸海域污染防治和陆海统筹污染控制、加强海洋生物多样性保护和海洋保护区建设、加强近岸海域生态修复和生态建设以及加强海洋环境风险防控和应急体系建设。

关键词: 海洋环境; 海水水质; 生物多样性; 入海污染物; 赤潮

中图分类号: X3; P76

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2018)02-0054-05

Trend Analysis and Countermeasure Research on Coastal Marine Environment Variation of Zhejiang Based on Mann-Kendall Test

CHEN Siyang, SONG Lili, LIU Ruijuan, YU Jun

(Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Based on the Mann-Kendall test, coastal marine environment monitoring data of Zhejiang from 2006 to 2015 was used to analyze the variation trend of sea water quality, biological ecology, pollutants discharged from river to sea and marine environmental risk. According to the result, the pointed countermeasure proposals for marine environmental protection and ecological construction were put forward, i. e., strengthening pollution prevention in coastal waters and overall planning for land and marine development, consolidating marine biodiversity conservation and marine reserve construction, strengthening coastal marine ecology restoration and construction, deepening marine environmental risk prevention and emergency system construction.

Key words: Marine environment, Sea water quality, Biodiversity, Pollutants to the sea, Red tide

浙江省海洋资源丰富, 为社会经济发展提供不可或缺的空间和基础条件, 海洋支柱产业包括海水利用业、海洋渔业、海洋交通运输业和滨海旅游业。

近年来, 海洋经济和区域经济的快速发展对浙江省近岸海域生态系统造成一定程度的损害。2015 年(夏季)浙江省近岸海域超一、二类海水水质标准的

收稿日期: 2017-06-06; 修订日期: 2018-01-29

作者简介: 陈思杨, 博士, 研究方向为海洋环境监测与评价

通信作者: 宋琍琍, 教授级高工, 研究方向为海洋环境监测监控

面积占 70% 以上,污染程度严重的区域主要分布在入海河口和主要港湾等,主要污染物为无机氮和活性磷酸盐;海水富营养化状况明显,重度富营养化主要集中在河口和港湾区域^[1]。

研究掌握海洋环境变化趋势,对于发展海洋经济、加强海洋环境保护和提升海洋防灾减灾能力具有重要意义。目前有一系列研究以海洋环境现状为基础并提出相应对策^[2-3],但缺乏具体的量化数据,即使有量化数据的文字阐述,由于研究对象不同,时间尺度也不统一。Mann-Kendall(M-K)检验是非参数统计分析方法,侧重于定性或半定量分析时间序列的变化趋势^[4-5],被广泛应用于水文和气象等时间序列的长期变化趋势分析^[6-8],对于内陆水域水质的分析也有涉及^[9]。时间序列长度对 M-K 检验判断变化趋势具有很大影响,时间序列过短则不能准确判断变化趋势,而过长则可能导致变化趋势的掩盖或抵消^[9]。本研究选取 2006—2015 年浙江省近岸海域的海洋环境监测数据,运用 M-K 检验,分析水质、生物生态、江河入海污染物和海洋环境风险的时间序列变化趋势,并提出相应对策建议,为浙江省海洋环境技术研究和提供科学依据。

1 研究区域、数据和方法

1.1 研究区域和数据

研究区域是浙江省近岸海域,北界为从浙沪交界的金丝娘桥向海延伸到领海的外部界线,南界为从浙闽交界的虎头鼻经七星岛(星仔岛)南端至 27°N 向东延伸到领海的外部界线,总面积约为 4.44 万 km²。

研究数据来自 2006—2015 年海洋环境监测资料。其中,水质以优良水质比例(符合一类和二类海水水质标准)表征,选取 8 月的溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、石油类、pH 值、铜、铅、汞和镉 10 项指标,依据《海水质量状况评价技术规程》相关要求,采用改进的距离反比例法进行插值,获取符合一类和二类海水水质标准的海域面积,以主要污染物即无机氮和活性磷酸盐进行辅助说明;生物生态以典型海湾生态系统(杭州湾和乐清湾)的浮游植物和浮游动物的物种数表征;为确保数据的

可比性,江河入海污染物除 2008 年选取仅有的钱塘江、椒江和甬江数据,其余年份均选取钱塘江、椒江、甬江和鳌江数据,污染物包括化学需氧量、营养盐(氨氮和总磷)、油类和重金属;海洋环境风险以记录统计的近岸海域赤潮发生次数和面积表征。

1.2 研究方法

基于非参数 M-K 统计检验方法,对于具有 n 个样本量的时间序列 X_i ,构造统计量 S :

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(X_k - X_j)$$

$$\text{sgn}(X_k - X_j) = \begin{cases} 1, & X_k - X_j > 0 \\ 0, & X_k - X_j = 0 \\ -1, & X_k - X_j < 0 \end{cases}$$

式中: S 为检验统计量; X_k 和 X_j 为序列数; n 为序列数据个数; sgn 为函数符号。

在零假设下, S 近似呈正态分布,计算正态分布的 M-K 统计量:

$$\text{var}(S_i) = n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)/18$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases}$$

式中: Z 为标准方差; $\text{var}(S)$ 为方差。

在给定的 p 置信水平上,如 $|Z| \geq Z_{1-p/2}$,则拒绝原假设,认为序列 X_i 存在显著的上升或下降趋势;通常取显著性水平 $p=0.1$, $p<0.1$ 表示检验具有显著性水平。变化趋势用 r 表示, m 为可做比较的差值数据组个数之和,且

$$r = \frac{S}{m}$$

若 $r > 0$,表示呈上升趋势;若 $r < 0$,表示呈下降趋势。

2 浙江省近岸海域海洋环境的变化趋势

2.1 水质

优良水质比例最高的年份是 2008 年(62.7%),最低的年份是 2010 年(16.6%);“十二五”期间(2011—2015 年)优良水质比例相对稳定,除 2011 年和 2013 年分别为 43.6% 和 45.6%,其余 3 年均 30% 左右(图 1)。

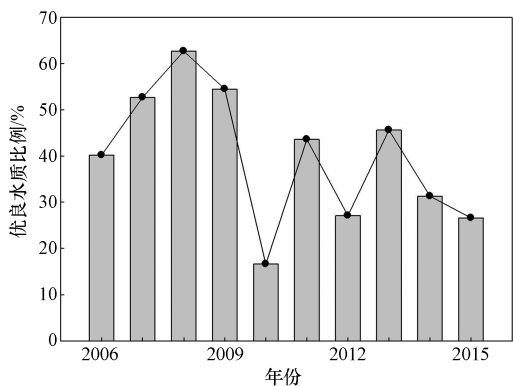


图1 浙江省近岸海域优良水质比例

海水主要污染物是无机氮和活性磷酸盐。2010年无机氮和活性磷酸盐的平均含量都达到最高值,均超过四类海水水质标准,也证实2010年优良水质比例最低;2011年活性磷酸盐的平均含量超过四类海水水质标准;2013—2015年无机氮和活性磷酸盐的平均含量呈递增趋势(图2)。

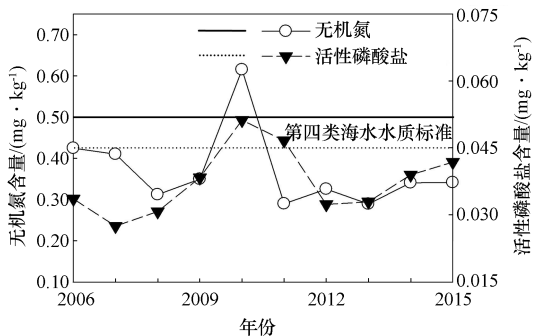


图2 浙江省近岸海域无机氮和活性磷酸盐平均含量

经 M-K 检验,优良水质比例以及无机氮和活性磷酸盐平均含量均无显著变化($p > 0.1$),表明浙江省近岸海域环境污染程度变化不大。

在研究期内,2010年浙江省海洋生产总值和沿海地区生产总值的增长率均为最高,海洋三次产业呈“三、二、一”结构^[10],而同年近岸海域水质最差,说明经济的快速增长可能对海洋环境产生不利影响。此外,在海陆交互作用地带,由于人为活动的影响,海岸线变化明显,人工岸线长度不断增加,自然岸线长度不断缩减,扩展岸线的比例较高^[11]。海岸线变化可改变潮流动力,降低污染物扩散能力,从而加剧污染物聚集。

2.2 生物生态

2006—2015年杭州湾生态系统浮游植物物种数的变化范围为35~79,最大值出现在2007年,经 M-K 检验无显著变化($p > 0.1$);浮游动物物种数的变化范围为30~70,最大值出现在2007年,经 M-K 检验有明显下降趋势($p < 0.1, r < 0$)。乐清湾生态系统浮游植物物种数的变化范围为46~94,最大值出现在2008年,经 M-K 检验有明显下降趋势($p < 0.1, r < 0$);浮游动物物种数的变化范围为30~119,最大值出现在2008年,经 M-K 检验无显著变化($p > 0.1$)。浮游动物对浮游植物形成有效的下行控制^[12],二者共同维持着海洋生态系统的稳定。

海岸带地形地貌的变化可改变生态系统的自然属性,加快污染物在海域底栖环境聚集,使海洋生物栖息地片段化和单调化,加速降低生物多样性^[13]。杭州湾水体富营养化对浮游植物的影响较小,这是由于杭州湾水体透明度小,光是限制浮游植物群落生长的主要因素^[14]。有研究表明长江口浮游动物的生态分布与无机氮和活性磷酸盐含量呈负相关^[15],乐清湾浮游植物的物种数与活性磷酸盐含量呈显著负相关^[16]。

2.3 江河入海污染物

由于缺少鳌江的统计数据,2008年江河入海污染物总量最少;2006年江河入海污染物总量最多,约为194万t;2010—2012年江河入海污染物总量逐渐降低,2013年有所反弹,2014年和2015年均下降至100万t左右(图3)。

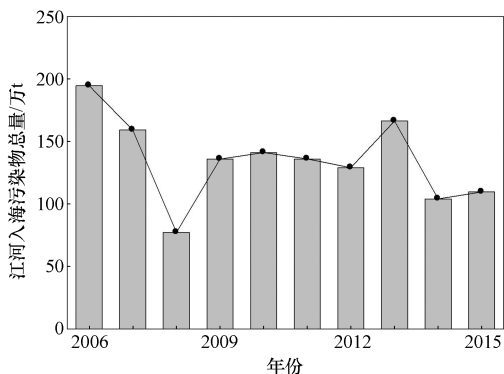


图3 浙江省近岸海域江河入海污染物总量

经 M-K 检验,江河入海污染物总量无显著变化($p > 0.1$)。各年的化学需氧量占比均超过94%,其

次是营养盐、油类和重金属;其中化学需氧量占比有明显上升趋势($p < 0.1, r > 0$),而营养盐、油类和重金属占比均有明显下降趋势($p < 0.1, r < 0$)。

入海江河水体中还原性物质污染程度较高,其中主要是有机污染物,可能来自有机肥料、农药和工业等^[17-18],可被底泥吸附沉积,对海洋生物和水环境造成持久的不良影响^[19]。此外,围填海工程会影响江河入海口的潮汐动力、流速和潮量^[20],对江河入海通量有一定的影响。

2.4 海洋环境风险

2007 年赤潮发生次数为 40 次,2008 年赤潮发生面积为 10 725 km²,二者为历年最高;大面积赤潮主要发生在 2006 年和 2008 年(图 4)。

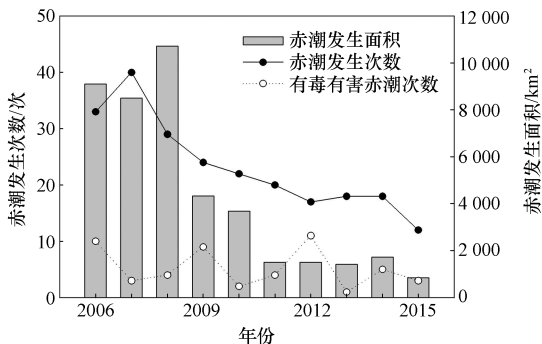


图4 浙江省近岸海域赤潮发生情况

经 M-K 检验,赤潮发生次数和面积均有明显下降趋势($p < 0.1, r < 0$),有毒有害赤潮次数无显著变化($p > 0.1$)。主要赤潮生物为米氏凯伦藻(有害)和赤潮异弯藻(有害),偶有发现短凯伦藻(有毒)、多环旋沟藻(有害)和亚历山大藻(有毒)。据相关资料,2010 年、2011 年、2012 年和 2014 年均由赤潮引发的养殖经济损失,其中 2012 年温州南麂、洞头和舟山嵊泗相继发生米氏凯伦藻赤潮,造成真鲷、大黄鱼、美国红鱼、黑鲷、鲍鱼和扇贝等养殖生物死亡,受灾面积达 320 km²,直接经济损失约 405 万元。

影响赤潮生物生长的环境因素有很多,其中水温的影响最为显著,不同赤潮生物的适温范围不同^[21-22]。此外,营养盐和微量元素能有效促进赤潮生物的生长^[23],当陆源输入的氮相对于磷过剩时,易引发有毒藻的出现^[24]。

3 对策建议

3.1 加强近岸海域污染防治和陆海统筹污染控制

加强对沿海地区氮磷、重金属和有机污染物排放的监控,尤其加强入海江河和排污口的污染物总量控制,建立陆海统筹污染物协同控制机制。深化入海污染源普查,综合治理重点海湾污染,加强陆源入海污染物的损害和生态补偿研究。加强港口和船舶污染防治,实施船舶排放控制区制度,加强对船舶使用合格燃油的检查力度。改进海水养殖技术,防止或减轻对水质和底质的腐坏,增加具有水质净化作用的养殖品种,并合理确定养殖密度。优化海洋产业结构,加强对海洋开发利用活动的监控,尽可能地减少自然生态环境的破坏。发展海洋卫星遥感技术,对赤潮灾害、突发环境污染事故、陆源物质迁移扩散、养殖区生态环境、海洋中尺度过程和下水环境参数等进行监视和识别,加强对高分辨率海洋卫星遥感监测数据的应用研究,应用大数据助力环境污染防治。

3.2 加强海洋生物多样性保护和海洋保护区建设

浙江省海岸带受自然条件、近海养殖和滩涂围垦等的影响较大,人工岸线的剧增将扰乱原有的自然生物群落。2016 年全省新建象山花鸟岛、玉环和普陀 3 个国家级海洋公园,至此已建成国家级海洋公园 6 个和国家级海洋保护区 9 个,涵盖典型海洋生态类型,有效保护珍稀濒危生物。应加强海洋生物多样性保护和海洋保护区建设,依据区域布局开展海洋保护区和海洋生物多样性的调查评估,加大对人类活动的监控力度,完善保护区的规范化管理和标准化体系。构建包含海洋生物多样性基础信息、评估系统、相关标准和管理制度的全省海洋保护区综合管理平台。加强管理人员的业务水平,提高公众海洋生态保护意识,统筹海洋生态文明建设和生物多样性保护。

3.3 加强近岸海域生态修复和生态建设

浙江省在全国率先探索建立围填海计划指标差别化管理和岸线“占补平衡”等机制,启动“美丽黄金海岸带”整治修复和海洋牧场建设,开展省级海洋生态建设示范区创建工作并制定实施方案、管理办法和指标体系等配套制度和评价标准等。深

化近岸海域生态修复和生态建设,加强对陆源入海污染物的管控,加强对河口岸滩稳定性的监控,选择适宜区域开展退养还滩、植被恢复、海岸生态防护和生态廊道建设。对于大力提倡的生态养殖和人工鱼礁等海洋牧场生态建设措施,应加强多学科紧密合作的技术研发,设计科学合理的试验场,尽可能地减少网箱底部沉积对海域环境的影响和人工鱼礁对区域海洋水文动力的影响。设计合理的红树林种植密度,避免过度集中种植导致局部厌氧而产生有害气体,破坏其他生物的栖息环境。

3.4 加强海洋环境风险防控和应急体系建设

全面构建“省级能预警,市级能应急,县级能监测”的海洋环境监测网络体系。深入开展海洋赤潮灾害监测,兼顾生态监测和总量控制监测,建设专业技术人员与志愿者相结合、多种监测技术手段相结合的赤潮风险防控和应急体系。开展赤潮预警报和防控治理的技术研究,提高遥感卫星精度,增强航空监视频次,提高现场验证能力。在赤潮高发区重点建设具有可行性和代表性的站点浮标,结合海洋水文动力情况实时监控和预警赤潮灾害风险。加强公众宣传教育,提高对赤潮灾害的防范意识。构建适于业务化运作的赤潮信息基础数据库、赤潮海域相关环境因素或人为活动信息数据库、风险评估系统和信息发布传输系统。健全赤潮藻种鉴定技术和标准,研究赤潮生物实时远程诊断技术以及有毒有害赤潮和贝类毒素监测技术。与渔业和水产品安全等相关部门建立长效沟通机制,为政府部门的预警和应急提供决策依据。

参考文献

[1] 浙江省海洋与渔业局.2015 年浙江省海洋环境公报[Z].2016.

[2] 崔彩霞,魏爱泓,徐虹,等.江苏省海洋环境现状与保护措施[J].海洋环境科学,2008,27(S1):103-108.

[3] 厉丞烜,张朝晖,陈力群,等.我国海洋生态环境状况综合分析[J].海洋开发与管理,2014,31(3):87-95.

[4] MANN H B.Nonparametric tests against trend[J].Econometrica,1945,13:245-259.

[5] KENDALL M G.Rank correlation methods[M].London:Griffin,1975.

[6] DOUGLAS E M, VOGEL R M, KROLL C N.Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial

correlation[J].Journal of Hydrology,2000,240:90-105.

[7] PARTAL T, KAHYA E.Trend analysis in Turkish precipitation data[J].Hydrological Processes,2006,20:2011-2026.

[8] 彭飞,韩增林.环渤海沿海城市气候变化特征及其对城市发展的响应[J].海洋开发与管理,2013,30(11):30-34.

[9] 孙松.季节性 Kendall 检验法在黄坛水库水质趋势分析中的应用[J].广州环境科学,2011,26(2):580-585.

[10] 王志文,谢寿华.浙江省海洋经济发展现状分析[J].海洋经济,2014,4(3):29-37.

[11] 毋亨,侯西勇.1940 年以来中国大陆岸线变化的趋势分析[J].生态科学,2017,36(1):80-88.

[12] 邱东茹,吴振斌.生物操纵、营养级联反应和下行影响[J].生态学杂志,1998,17(5):27-32.

[13] 贾海波,唐静亮,胡颖琰.1992-2012 年杭州湾海域生物多样性的变化趋势及原因分析[J].海洋学报,2014,36(12):111-118.

[14] 宁修仁,史君贤,蔡昱明,等.长江口和杭州湾海域生物生产力锋面及其生态学效应[J].海洋学报,2004,26(6):96-106.

[15] 纪焕红,叶属峰.长江口浮游动物生态分布特征及其与环境的关系[J].海洋科学,2006,30(6):23-30.

[16] 高瑜,江志兵,杜萍,等.乐清湾春季浮游生物群落和环境因子分布特征[J].水生态学杂志,2012,33(6):82-89.

[17] 肖文精,王学东.典型有机污染物绿色环保分析技术与降解研究[D].上海:华中师范大学,2011.

[18] 唐访良,张明,徐建芬,等.钱塘江(杭州段)水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评估[J].环境科学学报,2015,35(11):3595-3603.

[19] 彭素芬,张玲,张爱茜,等.部分有机物在长江底泥上的吸附-解吸行为研究[J].污染防治技术,2009(2):18-19.

[20] 陈道信,陈木永,张弛.围垦工程对温州近海及河口水动力的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2009,37(4):457-462.

[21] 彭模,梁晓红,赵爱博.连云港海州湾海域赤潮发生与水文气象环境因子特征分析[J].海洋开发与管理,2010,27(9):48-53.

[22] 朱德第,陆斗定,王云峰,等.2005 年春初浙江近海的低温特征及其对大规模东海原甲藻赤潮发生的影响[J].海洋学报,2009,31(6):31-39.

[23] 洛昊,马明辉,梁斌,等.中国近海赤潮基本特征与减灾对策[J].海洋通报,2013,32(5):595-600.

[24] SOUTO M L, FERNANDEZ J J, NORTE M, et al.Influence of amino acids on okadaic acid production[J].Toxicon,2001,39(5):659-664.