

近 30a 来长江口海域生态环境状况变化趋势分析

杨 颖, 徐 韧

(国家海洋局 东海环境监测中心, 上海 200137)

摘要: 在过去近 30a 监测结果基础上, 对长江口海域生态环境变化趋势进行了分析。结果表明, 近 30a 来, 长江口海域水体中无机氮和活性磷酸盐呈现上升的趋势, 重金属(铜、铅、镉和总汞)在一定范围内波动; 浮游生物的种类数年际变化较大, 浮游植物中硅藻比例有所下降, 甲藻所占比例有所上升, 浮游动物中桡足类的比例下降。讨论了长江径流输沙量与环境因子之间的相关性, 发现硅酸盐的含量与输沙量呈显著正相关, 且硅酸盐的减少与海域硅藻比例的减少具有一定相关性。长江口及其邻近海域环境与生态状况有所下降, 特别是本世纪以来, 海域的主要污染物仍为无机氮和活性磷酸盐, 生物状态基本稳定在一个较低的水平上, 近年来虽偶有波动, 但没有明显改善的趋势。

关键词: 长江口海域; 生态环境; 变化趋势

中图分类号: X826 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2015)10-0101-07

doi: 10.11759/hyxx20141124001

长江口是我国最大的河口, 具有独特的河口生态系统。长江口及邻近海域也是东海区重点监测区域之一。近年来, 长江流域及长三角区域经济发展迅速、人口相对集中, 特别是大量污染物质经长江径流进入长江口及邻近海域, 加上过度捕捞、海上倾废、海洋运输及大型工程等所造成的污染和影响, 导致长江口及其近岸海域环境压力逐年加大, 对海域生态环境造成影响。对长江口及邻近海域生态环境研究众多^[1-12], 对海域生态环境的热点问题——海域富营养化状况、营养盐结构变化、赤潮状况、环境变化趋势以及环境要素与径流、悬沙的相关关系进行研究探索。上述研究一般基于特定航次、季节调查数据, 或短时间序列数据分析, 本文对近 30a 长江口及邻近海域环境及污染状况进行统计, 在较长时间序列上分析了长江口及邻近海域环境演变趋势, 并初步探讨了趋势变化成因及环境要素间的相关性, 为长江口区环境保护与管理、环境规划编制以及区域重大项目开发等提供基础依据。

监测范围为长江口及口外海域, 30°30'N~31°45'N, 121°30'E~123°00'E 海域, 面积约 1.4 万 km²(图 1)。其中 1984 年~1997 年在本区域内监测站位较少(20~30 个), 但可均匀覆盖; 1998 年~2003 年在本监测区域内站位较多, 选取了与图 1 中站位相近的进行统计; 2004 年~2014 年站位布设与图 1 一致。各站位数据采用了表层、中层和底层的平均值。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文中数据主要引用了国家海洋局东海环境监测中心历年长江口海域趋势性监测、长江口生态监控区专项监测, 以及上海海洋污染基线调查项目等丰水期(7 月~9 月)监测数据。限于各监测指标数据引用源略有不同, 数据统计年份也不完全相同。本文中

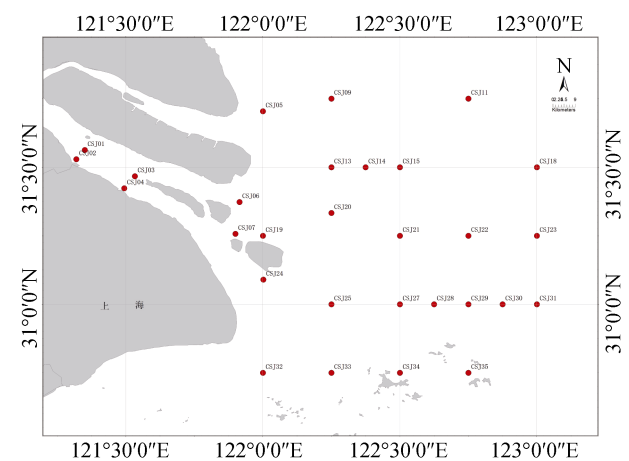


图 1 长江口海域监测区域与站位示意图

Fig.1 The monitoring area and spots in Changjiang estuary

收稿日期: 2014-11-24; 修回日期: 2015-04-25

基金项目: 海洋行业公益性专项(201105015-5); 上海市海洋局科研项目(沪海科 2013-01); 环保行业公益性科研专项(201309007)

作者简介: 杨颖(1976-), 女, 天津宁河人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为海洋环境监测、评价与光谱分析, Email: yy@eastsea.gov.cn

1.2 方法与标准

监测方法按照《海洋监测规范》(GB17378)和《海洋调查规范》(GB/T12763)中的相关方法执行。水质评价采用单项标准指数评价法,评价标准采用《海水水质标准》(GB3097-1997)。生物生态指标采用种类数、物种优势度、多样性指数等进行评价。

2 生态环境要素变化趋势分析

2.1 水环境状况

选择水环境中的营养指标(无机氮、活性磷酸盐、硅酸盐)和污染指标(COD_{Mn}、铜、铅、镉、总汞)来分析水环境变化状况。

2.1.1 无机氮

图 2a 为 1984 年~2014 年长江口及邻近海域丰水期无机氮的变化趋势图。近 30a 来无机氮总体上处于明显的上升趋势。其中 1987 年~1989 年 3 年之间出现了第 1 个明显跃升,无机氮浓度由低于 0.1 mg/L 跃升到 0.8 mg/L 左右;1990 年~2003 年基本在较高水平上波动,13 年平均值为 0.82 mg/L,1997 年和 2001 年上、下波动幅度较大;2003 年~2005 年出现了第 2 个跃升,无机氮浓度由 0.8 mg/L 左右跃升到 1.2 mg/L;2005 年~2014 年一直在高位震荡,10 年平均值为 1.25 mg/L。

2.1.2 活性磷酸盐

图 2b 为 1985 年~2014 年长江口及邻近海域丰水期活性磷酸盐的际年际变化趋势。近 30a 来活性磷酸盐含量呈现上升趋势。与无机氮的变化趋势相类似的,在 1987 年~1989 年和 2003 年~2005 年间出现两次跃升现象,其中第一次跃升幅度大于第二次跃升幅度。与无机氮的变化趋势不同的是,在 1990 年~2003 年间,活性磷酸盐仍然呈上升趋势,但上升幅度较缓慢,13 年平均值为 0.023 mg/L。2004 年~2014 年总体在高位震荡,10 年平均值为 0.045 mg/L,2014 年降幅较大,与 2004 年相当。

2.1.3 硅酸盐

图 2c 为 2002 年~2014 年长江口及邻近海域丰水期硅酸盐平均含量的际年际变化趋势。2002 年~2014 年,长江口水中硅酸盐平均含量总体呈现降低的趋势,其中与 2002 年、2003 年相比,2004 年水体中硅酸盐骤降 45%,2004 年~2014 年,硅酸盐含量比较平稳。

2.1.4 COD_{Mn}

图 2d 为 1993 年~2014 年长江口及邻近海域丰水期化学需氧量际年际变化图,除个别年份 COD_{Mn} 含量

较高(1999 年)和较低(1995 年)外,大多数年份稳定在 0.6~1.6 mg/L 之间,均符合第一类海水水质标准(<2mg/L)。COD_{Mn} 用来表征水体中有机污染物水平,20a 的连续监测数据表明,COD_{Mn} 含量一直较稳定,含量处于较低水平。

2.1.5 铜、铅、镉、汞

图 2e~图 2h 为长江口及邻近海域丰水期铜、铅、镉、汞的际年际变化图。

铜(图 2e)的变化趋势可以基本分为 3 个时段,1987 年~1997 年,10 年的平均值在 2.2 μg/L 上下波动;1999 年~2004 年略有升高,平均值为 3.2 μg/L;2005 年~2014 年近 10 年间,铜的平均含量有所下降,平均值为 1.8 μg/L。监测年份铜的平均含量均符合第一类海水水质标准(<5 μg/L),总体质量良好,变化趋势趋于下降。

铅(图 2f)的变化趋势总体趋于下降,少数年份的铅平均含量符合第一类海水水质标准(<1μg/L),大部分年份符合第二类海水水质标准(<5 μg/L)。

镉(图 2g)的变化趋势总体趋于下降,监测年份镉的平均含量均符合第一类海水水质标准(<1 μg/L),总体质量良好,除 1991 年、1993 年和 1999 年外,其余年份均低于 0.1 μg/L。

汞(图 2h)的变化趋势为波动中略有上升,但最高值出现在 1991 年。约 54%的监测年份汞的平均含量符合第一类海水水质标准(<50 ng/L),其余年份汞的平均含量符合第二类海水水质标准(<200 ng/L)。

2.2 营养盐结构

营养盐结构是宏观上不同营养盐之间的组成比例,即水体中氮、磷、硅的相对量。研究营养盐结构、探讨浮游植物初级生产过程中的营养盐限制因子对了解海洋生态环境起着重要的作用^[13]。

近 30a 来,长江口海域丰水期 N/P 比值范围为 42.03~107.79,均远大于 Redfield 比值(一般为 16),N/P 比值总体呈下降趋势(图 3),1987~2000 年 N/P 比值总体高于 2000 年以后。1997 年丰水期达到最高,2001 年为最低,但也均超过 40,N/P 比值一直处于失衡状态。

Si/N(Redfield 比值为 1)比值范围为 0.47~2.09,与 N/P 变化趋势基本相同,也呈现较明显下降趋势(图 4),与硅酸盐含量持续降低和无机氮含量缓慢上升的趋势相关。崔彦萍等^[14]研究也发现,在三峡水库三期蓄水前后,Si/N 由平均 2.1 下降为 0.53,其 2010 年~2011 年 3 个季度的监测结果均低于 Redfield 比值,

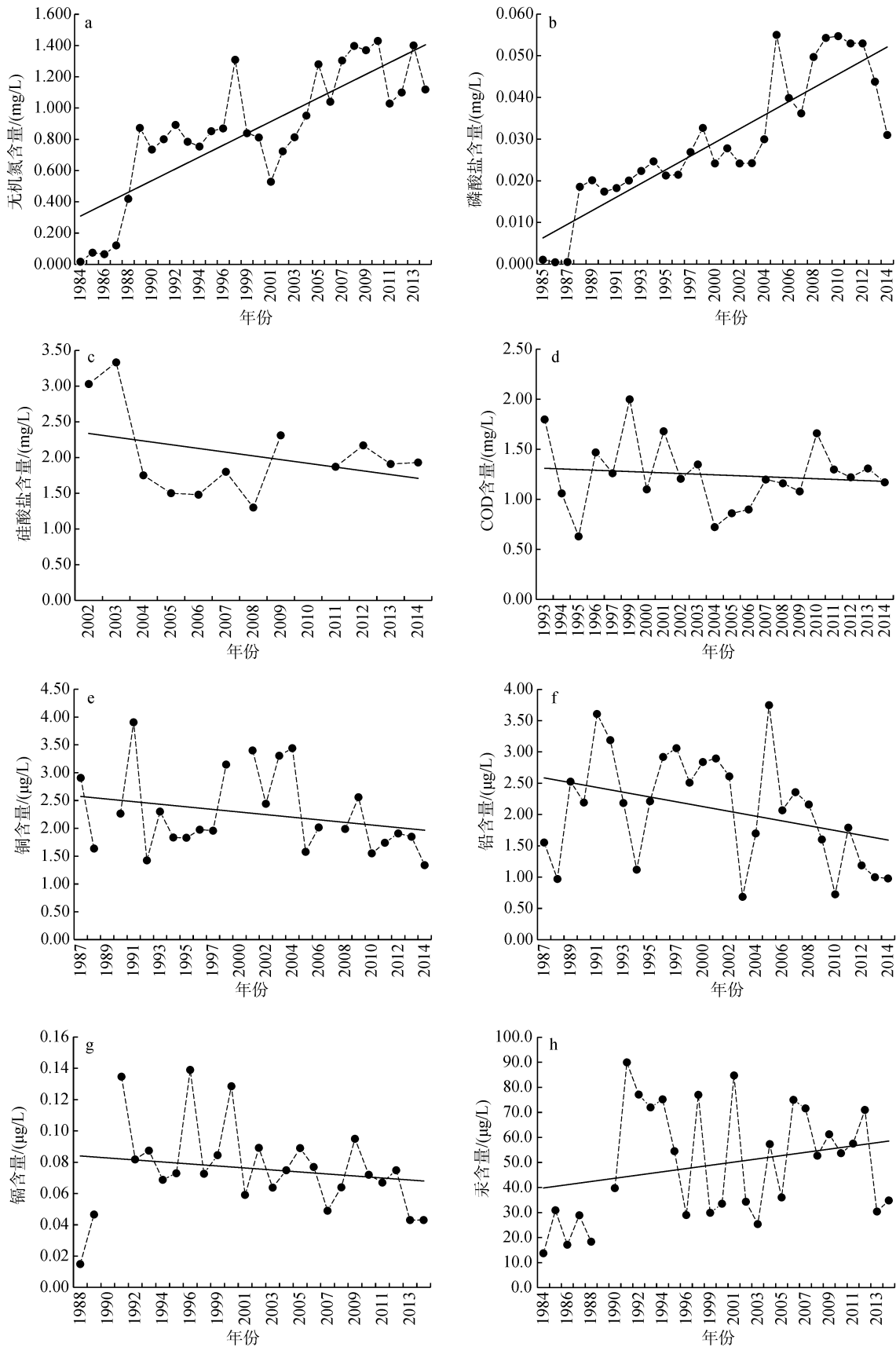


图2 长江口海域各监测因子平均含量年际变化

Fig.2 Monitoring factors' concentration variation trend in Changjiang estuary water

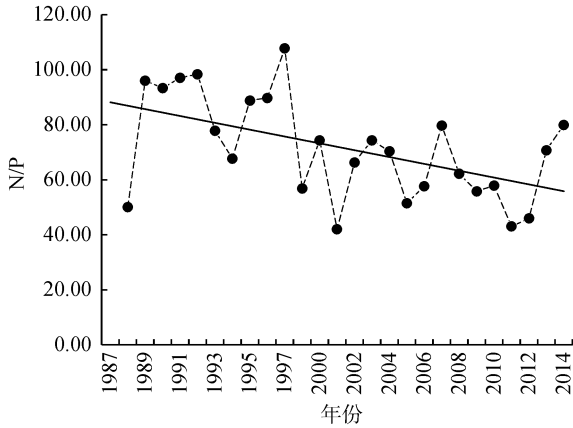


图3 长江口海域水质 N/P 比值的年际变化

Fig. 3 The N/P ratio variation trend in Changjiang estuary water

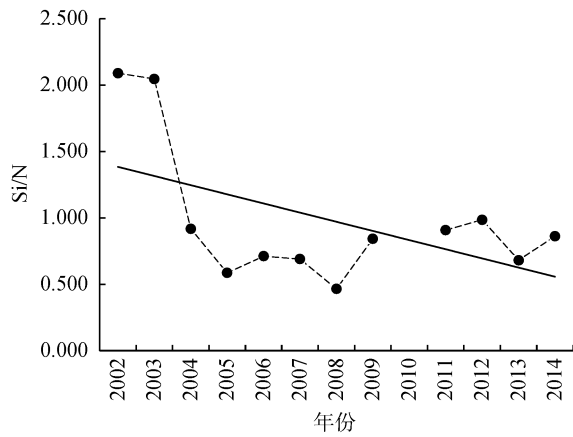


图4 长江口海域水质 Si/N 比值的年际变化

Fig. 4 The N/P ratio variation trend in Changjiang estuary water

主要与硅酸盐减少有很大关系。近 10a 来, Si/N 总体仍处于较适宜的范围, 未来若无机氮仍持续上升,

或硅酸盐持续下降, 则会出现硅限制。

2.3 生物生态状况

选择浮游植物、浮游动物指标表述长江口生态系统中生物生态要素的变化趋势。

2.3.1 浮游植物

自 20 世纪 80 年代起, 浮游植物密度年际变化波动较大。总体趋势呈现先下降后上升的特点。1984 年~2009 年总体处于下降趋势, 2009 年之后波动上升(图 5)。近 30a 年来长江口区浮游植物群落结构不断演变, 种类组成趋向简单, 种类个体数量分布不均匀, 少数优势种类(如中肋骨条藻)在环境条件合适时易大量增殖形成赤潮。群落结构中硅藻为浮游植物中主要类群, 数量上占绝对优势, 但多年来其所占比例呈缓慢下降趋势, 甲藻种类所占比例缓慢增加。叶属峰等研究发现^[12]21 世纪以来, 长江口及其邻近海域赤潮生物种由 20 世纪 80 年代、90 年代以中肋骨条藻等硅藻类赤潮为主的趋势正在下降, 近岸赤潮生物逐渐由中型硅藻类向小型和微型甲藻类发展, 东海原甲藻、亚历山大藻等甲藻赤潮发生频率有所上升。2013 年, 长江口及其邻近海域共发现 7 起赤潮, 其中有 6 起为甲藻赤潮。甲藻赤潮中有 5 起赤潮生物优势种为东海原甲藻, 1 起米氏凯伦藻^[15]。

2.3.2 浮游动物

浮游动物种类、密度和生物量年际波动较大, 1982 年~2014 年, 浮游动物的种类数呈现先上升后下降的趋势, 2008 年种类数达到了 186 种, 为历年最高, 后逐渐下降。浮游动物群落结构相对稳定, 优势种以桡足类为主, 但桡足类的种类数所占百分比近年来呈现缓慢下降的趋势(图 6)。2004 年, 桡足类占

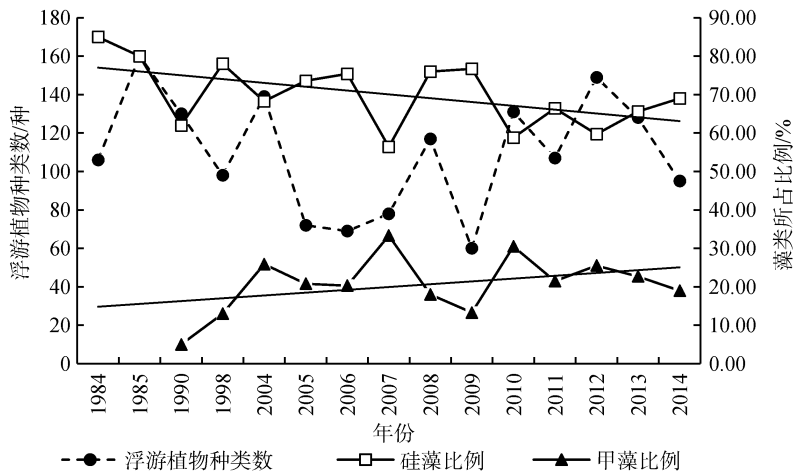


图5 长江口海域浮游植物种类数、硅藻和甲藻比例变化

Fig. 5 Phytoplankton species, the variation trend of diatoms and pfiesteria ratios in Changjiang estuary

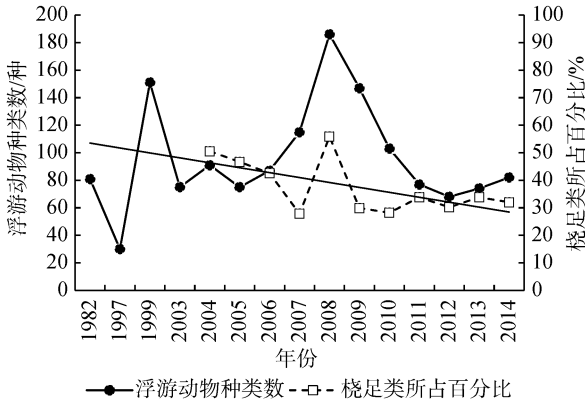


图 6 长江口海域浮游动物种类数和桡足类比例变化
Fig. 6 Zooplankton species and the variation trend of copepods ratio in Changjiang estuary

浮游动物种类数的 50%，2005、2006 年分别降至 46% 和 42%，2007 年降至 30% 以下，2008 年因种类数、生物量和密度均较大幅度升高，桡足类比例也有所反弹，2009 年之后一直在较低水平波动。桡足类是一类小型的甲壳动物，体长不超过 3 mm，隶属于节肢动物门、甲壳纲、桡足亚纲，是浮游生物的主要组成类群之一，种类丰富，数量很大。桡足类具有很高的利用价值，既可以作为鱼类的优质饵料，所有鱼类的幼鱼都以桡足类为食，在水域食物链中起着重要的作用；又可作为环境监测的重要指示生物类群，可用于海洋水文的监测，海洋浮游桡足类中有些种类是海流或水团的指标。桡足类在浮游动物中所占百分比的降低，显示浮游动物的群落结构正逐渐发生变化。

3 生态环境要素相关性分析

根据多年监测结果，长江口及邻近海域水体中的 COD_{Mn} 、铜、镉均符合第一类海水水质标准；铅和汞符合第二类海水水质标准；无机氮和活性磷酸盐含量较高，大部分海域劣于第四类海水水质标准，水体富营养化程度较高，营养盐结构失衡。生态系统趋于脆弱，浮游生物群落结构处于不断变化状态，浮游植物多样性较差，主要种类为硅藻，其次为甲藻，但甲藻种类组成比例呈现上升趋势，硅藻种类组成处于下降状态；浮游动物多样性尚好，以桡足类为主，但桡足类的组成比例也呈下降趋势。

根据水体环境因子及生态变化情况，分析长江口海域海水中环境因子与长江入海径流输沙量，以及生态变化之间的相关性，分析引起环境变化的原因。

3.1 入海径流泥沙变化及与营养盐、重金属含量的相关性分析

长江径流携带入海的大量泥沙在长江河口悬浮、沉积，不但塑造了长江口各类岸滩地貌、潮间带地貌、水下地形等形态，是长江河口水体自净能力的源泉，也是维持整个长江口生态系统结构稳定的重要因素。分析长江口输沙量的长期变化趋势对分析长江口生态系统结构的稳定性具有重要意义。据统计^[16]，上世纪 50 年代至今，长江径流总量呈现波动变化，没有明显的变化趋势。1951 年~2000 年，长江平均输沙量为 4.33 亿 t/a，其中 20 世纪 50 年代~80 年代的平均输沙量为 4.68 亿 t/a，90 年代则均值为 3.52 亿 t/a，减少了约 25.0% (图 7)。总体来看自 1950 至今长江输沙量呈明显的减低趋势。

讨论了长江径流 2002 年~2012 年输沙量与营养盐含量的相关性(取 0.1 置信水平， $r > 0.582$ 时，表明检验的两者之间具有显著性相关性)，发现无机氮、磷酸盐与径流输沙量无显著相关，无机氮与输沙量的相关系数 $r = 0.557$ ，为弱相关，磷酸盐与输沙量的相关系数 $r = 0.152$ ，为不相关。与氮、磷表现不同，输沙量与水体硅酸盐的含量呈现显著正相关(图 8)，相关系数 $r = 0.748$ ，即海域水体硅酸盐的减少与径流输沙量减少有关。表明硅酸盐、无机氮和磷酸盐在长江口海域有不同的来源，硅酸盐主要与径流含沙量有关，无机氮和活性磷酸盐的来源应与面源污染、排污以及海域的营养盐再生有关。余力华等^[17]研究发现，无机氮浓度的增加，与农田无机氮肥施用和流失以及污水排放有关，1962~1998 年间无机氮肥使用量与长江大通站无机氮输送通量的变化趋势一致。

统计重金属(铜、铅、镉、总汞)与径流输沙量的相关性，发现铜、铅、镉和总汞的相关系数 r 分别为 0.447、0.026、0.083 和 -0.356。结果表明，海域水体中铜的含量与输沙量具有弱相关性，部分铜来源于地表径流；铅与镉的含量与输沙量无相关性；总汞与输沙量呈现一定的负相关性，即输沙量减少，海域总汞含量有一定上升，可能与悬浮泥沙减少，水体自净能力减弱有关。

3.2 硅酸盐含量与浮游植物种类组成的相关性分析

讨论了水体硅酸盐含量与硅藻所占浮游植物百分比的相关性(取 0.1 置信水平， $r > 0.582$ 时，表明检验的两者之间具有显著性相关性)，发现硅酸盐含量的变化对硅藻的种类组成比例有一定的影响(图 9)，

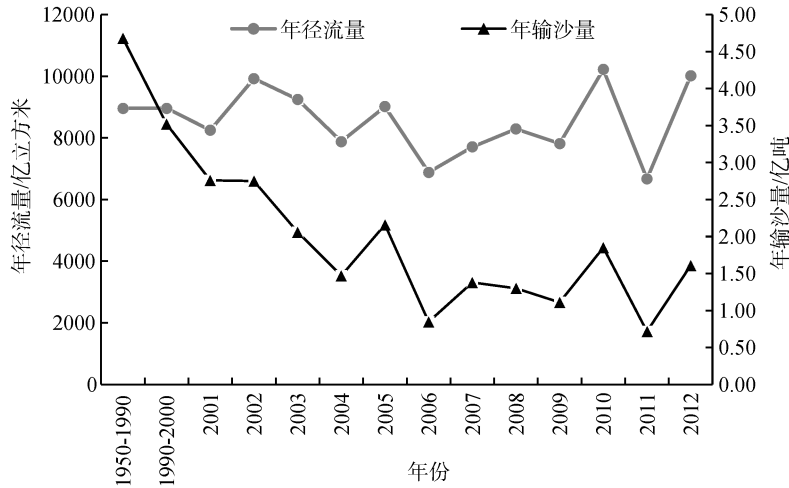


图7 长江(大通站)多年径流量与输沙量

Fig.7 The flow and sediment discharge to Changjiang estuary

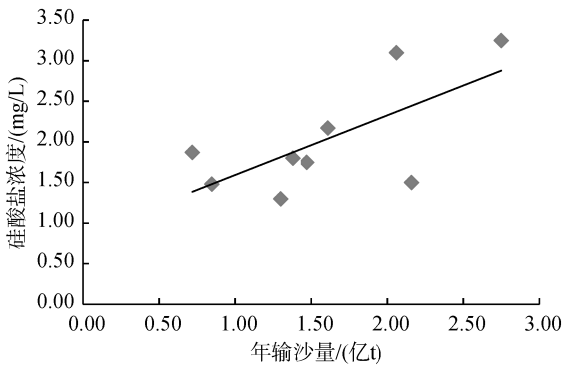


图8 长江口海域水体硅酸盐含量与径流输沙量相关性分析

Fig.8 The relativity between silicate and discharge of landslide in Changjiang estuary water

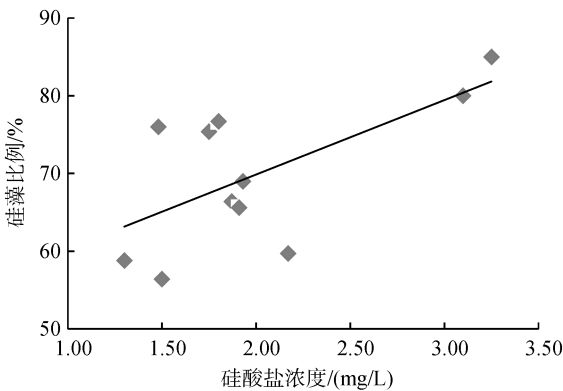


图9 长江口海域水体硅酸盐含量与硅藻比例的相关性分析

Fig.9 The relativity between silicate and diatoms in Changjiang estuary water

硅酸盐含量与硅藻比例的相关系数 $r=0.639$, 具有显著相关性, 即硅藻在浮游植物中所占比例的减少, 与海域硅酸盐含量下降有一定的关系。孙凌等^[18]研

究了在围隔水体中硅对富营养化水体浮游藻类群落生长及演替的影响, 结果表明, 随着硅酸盐浓度的增加, 硅藻的生物量提高, 其种类所占比例明显增加。杨东方等^[19]研究表明, Si 的限制会使浮游植物的藻类结构从硅藻类转为非硅藻类; 在氮、磷过剩与硅缺少的环境下, 改变了水体中营养盐结构, 改变了食物链基础。多年监测发现, 长江口海域赤潮以硅藻赤潮为主逐渐过渡到以甲藻赤潮为主也进一步验证了这一相关性。

4 小结

根据历年监测结果, 近 30a 来, 长江口海域无机氮和活性磷酸盐含量不断升高, 由 20 世纪 80 年代的一类水体逐渐变成劣四类水体。受水体含沙量下降的影响, 海域硅酸盐含量明显下降。水体中营养盐比例发生变化。COD_{Mn} 含量和重金属(铜、铅、镉、汞)总体稳定, 在一定范围内上下波动。近 30a 来长江口区域浮游植物群落结构不稳定, 硅藻比例有所下降, 甲藻比例逐渐上升。浮游动物密度和生物量年际波动较大, 群落结构相对比较稳定, 但其结构也趋向简单化, 优势种以桡足类为主, 但桡足类的组成比例有下降趋势。

参考文献:

- [1] 周淑青, 沈志良, 李峥, 等. 长江口最大浑浊带及邻近水域营养盐的分布特征[J]. 海洋科学, 2007, 31(6): 34-42.
- [2] 李峥, 沈志良, 周淑青, 等. 长江口及其邻近海域磷的分布变化特征[J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 28-36.

- [3] 纪焕红, 叶属峰, 刘星. 基于 ASSETS 的长江口海域富营养化评价——2002 年以来人为影响压力趋势分析[J]. 海洋环境科学, 2008, s1: 201-208.
- [4] 屠建波, 王保栋. 长江口及其邻近海域富营养化状况评价[J]. 环境科学进展, 2006, 24(4): 532-538.
- [5] 唐峰华, 伍玉梅, 樊伟, 等. 长江口浮游植物分布情况及与径流关系的初步探讨[J]. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2934-2940.
- [6] 李云, 李道季, 唐静亮, 长江口及毗邻海域浮游植物的分布与变化[J]. 环境科学, 2007, 28(4): 719-729.
- [7] 申力, 许惠平, 吴萍. 长江口及东海赤潮海洋环境特征综合探讨[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(5): 631-635.
- [8] 朱银海, 许卫忆, 朱德弟, 等. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1135-1139.
- [9] 何青, 孙军, 栾青杉, 等. 冬季长江口及其邻近水域的浮游植物[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(4): 360-365.
- [10] 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 等. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3): 246-251.
- [11] 赵艳芳, 俞志明, 宋秀贤, 等. 营养盐对长江口 2 种主要赤潮原因藻光合色素和光合作用影响的比较研究[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 700-706.
- [12] 叶属峰, 纪焕红, 曹恋等. 长江口海域赤潮成因及其防治对策[J]. 海洋科学, 2004, 28(5): 26-32.
- [13] 张辉, 石晓勇, 张传松等. 北黄海营养盐结构及限制作用时空分布特征分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(4): 773-780.
- [14] 崔彦萍, 王宝栋, 陈求稳, 等. 三峡水库三期蓄水前后长江口硅酸盐分布及其比值变化[J]. 环境科学学报, 2013, 33(7): 1974-1979.
- [15] 龚婉卿. 2013 年东海区赤潮监视监测年度报告[R]. 上海: 国家海洋局东海环境监测中心, 2013.
- [16] 水利部长江水利委员会. 2012 年长江泥沙公报 [R]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2012.
- [17] 余立华, 李道季, 方涛, 等. 三峡水库蓄水前后长江口水域夏季硅酸盐、溶解无机氮分布及硅氮比值的变化[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2817-2826.
- [18] 孙凌, 金相灿, 杨威, 等. 硅酸盐影响浮游藻类群落结构的围隔试验研究[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2174-2179.
- [19] 杨东方, 于子江, 张珂, 等. 营养盐硅在全球海域中限制浮游植物的生长[J]. 海洋环境科学, 2007, 5: 547-553.

The environment variation trend in the Changjiang River Estuary in the past 30a

YANG Ying, XU Ren

(East China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Shanghai 200137, China)

Received: Nov., 24, 2014

Key words: Changjiang River Estuary; marine environment Trend; Variation Trend

Abstract: This paper analyzed the environment variations trend in the Changjiang River estuary based on the monitoring results during about 30a. It indicates that during the past 30a, the inorganic nitrogen (DIN) and inorganic phosphate (DIP) concentrations increased, and the heavy metal elements (copper, lead, cadmium and total mercury) fluctuated. Plankton species changed largely, the diatoms proportion declined, and the pfiesterias proportion rose. The copepod proportion of the zooplankton declined, but the community structure kept stable. Analysis of the correlation between the environmental factors (DIN, DIP, DSi) and sediment discharge showed that the DSi concentration positively correlated with sediment discharge, and positively correlated with diatoms proportion. The quality of the ecological environment in Changjiang estuary declined, particularly in this century, and DIN and DIP were the main pollutants.

(本文编辑: 康亦兼)