

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化	祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)
基于重庆本地碳成分谱的 PM _{2.5} 碳组分来源分析	张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)
重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究	徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)
基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析	王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)
基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)
典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析	徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)
火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究	王占山, 潘丽波 (853)
国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性	楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)
稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)
河口湿地近地面大气 CO ₂ 浓度日变化和季节变化	张林海, 仝川, 曾从盛 (879)
三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量	李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)
施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH ₄ 、N ₂ O 和 NH ₃ 排放特征	万合峰, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)
干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响	张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)
长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究	吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)
汾河中游浮游藻类群落特征及水质分析	王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)
基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究	陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)
三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征	李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)
黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析	于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)
太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素	揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)
黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系	董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)
纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究	杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)
铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究	唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)
磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响	张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)
预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响	赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)
陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行	付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)
冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征	黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)
烷基多苷促进污泥水解产酸的研究	陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)
高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响	操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)
兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价	李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)
珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价	郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)
海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价	李飞, 徐敏 (1035)
再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险	吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)
瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估	李如忠, 邵阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)
三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价	张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)
基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价	陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)
干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究	薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)
缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入	孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)
三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响	韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)
黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)
天然林土壤有机碳及矿化特征研究	杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)
不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化	张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)
硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响	杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)
6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应	山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)
基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究	张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)
人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究	吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)
农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析	陈晓娟, 吴小江, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)
中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态	宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)
苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析	周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)
UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响	刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)
Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响	张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)
对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究	宋彩霞, 邓新平, 厉阍, 肖伟 (1176)
克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用	刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)
铅元素人为循环环境释放物形态分析	梁静, 毛建素 (1191)
污染排放与环境质量关系模型构建与应用	李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)
微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展	闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)
《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)	

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究

吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美*

(中国海洋大学化学化工学院, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 对长江口邻近海域进行调查, 分析沉积物中生物硅的空间分布特征, 探讨影响生物硅溶解以及保存的因素。结果表明, 生物硅含量的平面分布具有近岸高于远海的分布趋势, 陆源输入、沉积速率以及水动力条件是影响生物硅在沉积物中埋藏的主要因素。生物硅溶解速率常数随空间以及深度无明显变化规律, 间隙水中硅酸盐相对于生物硅溶解度的不饱和程度、有机外壳对生物硅的包裹以及间隙水中 Al 离子浓度等因素会影响生物硅的溶解进而会影响其在沉积物中的保存和间隙水中硅酸盐浓度的变化。

关键词: 生物硅; 沉积物; 溶解速率常数; 溶解行为; 长江口邻近海域

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0908-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.03.014

Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea

WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, LIU Su-mei

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Spatial distribution of biogenic silica (BSi) and factors influencing BSi preservation and dissolution in sediments were discussed based on the investigation in the Changjiang Estuary adjacent sea. The results showed that the contents of BSi were higher in nearshore sediments than those in offshore sediments. Terrestrial input, sediment accumulation rate and hydrodynamic conditions were the dominant factors affecting BSi preservation in sediments. BSi dissolution rate constant showed no obvious change with stations and sediment depth. BSi dissolution mainly depended on the following factors including undersaturation of silicic acid in pore water compared with BSi solubility, organic coating in BSi surface and aluminum concentration in pore water. And these factors can influence BSi preservation and the build-up of silicic acid in sediments.

Key words: biogenic silica; sediments; dissolution rate constant; dissolution behavior; Changjiang Estuary adjacent sea

溶解硅酸盐作为一种主要的营养盐, 支持了全球海洋中 30% ~ 40% 的初级生产力^[1], 而在近岸和富营养水体更是支持了高达 75% 的初级生产力^[2]。生物硅的埋藏和溶解在 Si 的生物地球化学循环中起重要的作用, BSi 在沉积物中的积累, 可用于反映不同历史时期水体的富营养化及溶解态 Si 的消耗情况^[3]。生物硅的溶解是全球 Si 循环的重要环节, 且 Si 循环与 C 循环关系密切。为此, 国际上开展了有关生物硅溶解动力学方面的研究。并且生物硅溶解行为的研究主要集中在深海沉积物中, 例如: 大西洋^[4-6]、赤道太平洋^[5]、阿拉伯海等^[7], 特别是对南大洋沉积物中生物硅溶解行为进行了深入的研究^[8-11]。硅质细胞结构及其硅化程度、温度、pH、盐度、有机以及无机外壳、水体硅酸盐的不饱和程度、生物硅比表面积以及黏土矿物是影响生物硅溶解的主要因素^[4-12]。许多海洋生态系统已经证明了硅限制的存在, 硅酸盐的再生对营养盐 Si 限制的海

区是重要的补给, 全球平均结果显示沉积物-水界面硅酸盐的再生量是河流输入量的 10 倍左右^[13]。硅酸盐的再生主要是通过生物硅的溶解, 为了更好地了解 Si 的再生, 因而有必要探究生物硅的溶解行为。由于大洋水体较深以及水体中溶解硅酸盐浓度远远小于硅藻细胞骨架的溶解度^[14], 最终只有 3% 的生物硅埋藏在沉积物中^[15,16]; 而对于近岸水体, 由于水深较浅, 上层水体形成的生物硅能快速到达沉积物表层; 近岸沉积物中由于含有较多的矿物碎屑, 其与生物硅的早期成岩作用致使铝硅酸盐自生矿物的沉积^[17,18]降低了生物硅表面反应活性, 导致溶解度和溶解速率的降低^[19,20]。同时生物扰动对于

收稿日期: 2013-07-17; 修订日期: 2013-10-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2011CB409802); 国家自然科学基金项目 (40925017); 国际科技合作项目 (2010DFA24590)

作者简介: 吴彬 (1986 ~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为海洋生物地球化学, E-mail: wubin198603@163.com

* 通讯联系人, E-mail: sumeilu@ouc.edu.cn

生物硅的溶解和保存有影响,会使溶解硅酸盐在沉积物-水界面通量增加^[21,22],也会将表层的新鲜硅藻转移到沉积物内部达 20 cm^[6],而使得生物硅保存下来。

长江作为世界第 3 大河,由于工农业排污和筑坝等因素,导致长江口溶解无机氮浓度相对于 1960s 增加 3 倍^[23],而活性硅酸盐浓度显著降低,增加了 Si 限制的可能。并导致在长江口及其邻近海域硅藻占整个浮游植物群落的比例由 1984 年的 85% 下降到 2000 年的 60%,而从 2000~2005 年每年有 30~80 次的赤潮暴发^[24]。本研究通过批量培养实验(batch experiment)探讨长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2006 年 10 月,随“北斗号”科学考察船对长江口邻近海域进行了调查,于 16 个站位(见图 1)采用箱式采泥器采集了柱状沉积物,并在现场对柱状沉积物进行分层,分层后的沉积物样一份冷冻保存,回到实验室后采用 Christ® 冷冻干燥机干燥,并称量干燥前后的重量;另外一份用间隙水采样器 Rhizon Sample 采集间隙水样品,样品中加入饱和 HgCl₂,避光保存。

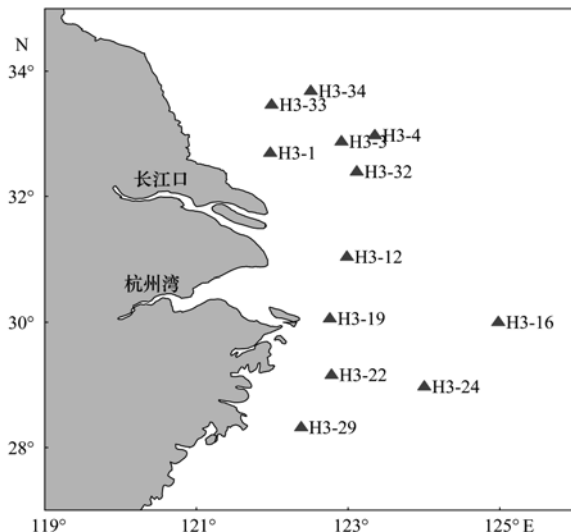


图 1 柱状沉积物采样站位示意

Fig. 1 Sampling stations of core sediments

1.2 生物硅批量培养实验

生物硅批量培养实验用于测定生物硅的溶解速率常数。称取一定量的沉积物放于盛有 200 mL 人工海水(0.7 mol·L⁻¹ NaCl, Tris + HCl pH = 8.0)的

50 mL 塑料离心管中,振荡并定时取 5 mL 样品使用 0.45 μm 津腾® 针头滤器过滤,保存到 10 mL 的带盖离心管中冷藏,样品用于测定溶液中的硅酸盐浓度以及溶解态 Al 的含量(因实验方法限制,只在最后时刻测定了溶解态 Al 浓度)。通过测定不同时刻硅酸盐浓度,可以获得硅酸盐浓度随时间的变化曲线(见图 2)。由图 2 可知批量培养实验过程溶液中硅酸盐含量的增加与时间呈现明显的对数关系,生物硅在培养前期快速溶出,硅酸盐浓度增加较快,后期生物硅溶出较慢直至硅酸盐的浓度达到平衡。

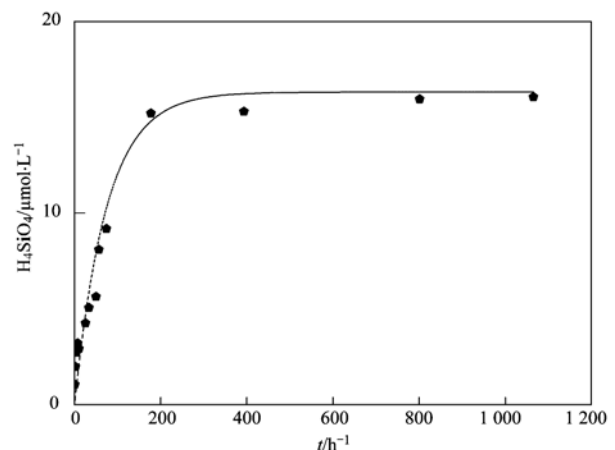


图 2 培养实验过程中,硅酸盐浓度随时间的变化曲线

Fig. 2 Changes of silicic acid concentrations during incubation periods

1.3 分析方法

1.3.1 沉积物中生物硅测定

沉积物中的生物硅采用改进的连续提取法:称取一定量的沉积物样品于 50 mL 的塑料离心管中。在连续提取前使用 HCl 和 H₂O₂ 处理^[25]沉积物样品以除去碳酸盐和有机相,加入去离子水离心清洗并干燥过夜,随后加入 40 mL 2 mol·L⁻¹ Na₂CO₃,在 85℃ 恒温水浴中连续提取 8 h^[26,27],并于每小时离心取 125 μL 上清液,测定其中溶解硅酸盐浓度。

采用本研究的方法测定了太平洋深海沉积物样品,其生物硅含量为 7.27% ± 0.057% (以 SiO₂ 计),方法的精密度的 ≤ 2.01% (n = 5)。

1.3.2 硅酸盐浓度的测定

间隙水、培养液以及提取液中的硅酸盐浓度采用硅钼蓝法^[28]测定,提取液测定前先加入 17.5 mL 钼酸铵于比色管中消除干扰,方法的精密度的 ≤ 1.64% (n = 7)。

1.3.3 溶解态 Al 浓度的测定

Al 浓度的测定采用 Ren 等^[29]改进后的铝-荧光

镓 (Al-LMG) 络合荧光光度法^[30].

2 结果与讨论

2.1 生物硅含量的平面分布

生物硅含量在不同深度沉积物中的空间分布如图 3 所示, 在 0 ~ 0.5 cm、0.5 ~ 1 cm、1 ~ 1.5 cm、1.5 ~ 2 cm 沉积物中生物硅含量的平均值分别为: 0.68%、0.63%、0.58%、0.62%。具有近岸含量高于远海的分布趋势, 与宁修仁等^[31]报道的黄、东海初级生产力分布相似。Romero 等^[32]指出在秘鲁-智利上升流区域沉积物中生物硅和上层水体中初级生产力有比较好的正相关关系。在长江口邻近海域、长江口西北部以及浙闽沿岸海域生物硅含量较高, 这与长江冲淡水向东海近岸输入大量的营养盐相关, 同时也和沉积物类型、沉积速率有关^[33]。位于近岸泥质区的站位, 受大量陆源输入的影响, 营养盐充足, 初级生产力较高, 沉积速率为 1 ~ 2 cm·a⁻¹^[34], 且沉积物类型以黏土为主, 颗粒物较细, 细颗粒沉积物对有机物有着较大的富集能力^[35], 有机碳含量相对较高, 有机碳含量高的沉积物有利于生物硅的保存^[36]。DeMaster 等^[37]对罗斯海沉积物

中生物硅的研究发现, 生物硅在沉积物中的保存效率和沉积速率有比较好的正相关关系, 沉积速率高的海域生物硅在水柱中的逗留时间较短, 生物硅来不及溶解而被有效地埋藏到沉积中, 沉积速率是影响生物硅在沉积物中保存的因素之一。离岸较远的站位, 初级生产力比较低, 且沉积物类型为砂质沉积, 沉积物颗粒较粗, 其渗透性强, 有机碳含量低, 沉积速率较小, 生物硅溶解较快, 进而导致生物硅含量具有低值^[38]。

2.2 间隙水中硅酸盐随深度的分布

长江口沉积物间隙水中硅酸盐随深度的分布如图 4 所示, 大多数站位间隙水中硅酸盐都维持在 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 除了 H3-1 与 H3-16 两个站位。H3-1 站间隙水中硅酸盐由 0.5 cm 层的 159.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 急剧增加至 4.5 cm 层处的 492.80 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 可能是由于 0.5 cm 层间隙水中硅酸盐相对于生物硅溶解度的不饱和程度较大为 0.84 [不饱和程度为间隙水中硅酸盐浓度和生物硅溶解度的差值与生物硅溶解度的比值。合成硅在 2℃ 海水中的溶解度 (~900 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[39]) 或是被酸清除有机质外壳硅的残骸在 4℃ 海水中的溶解度 (~1 000

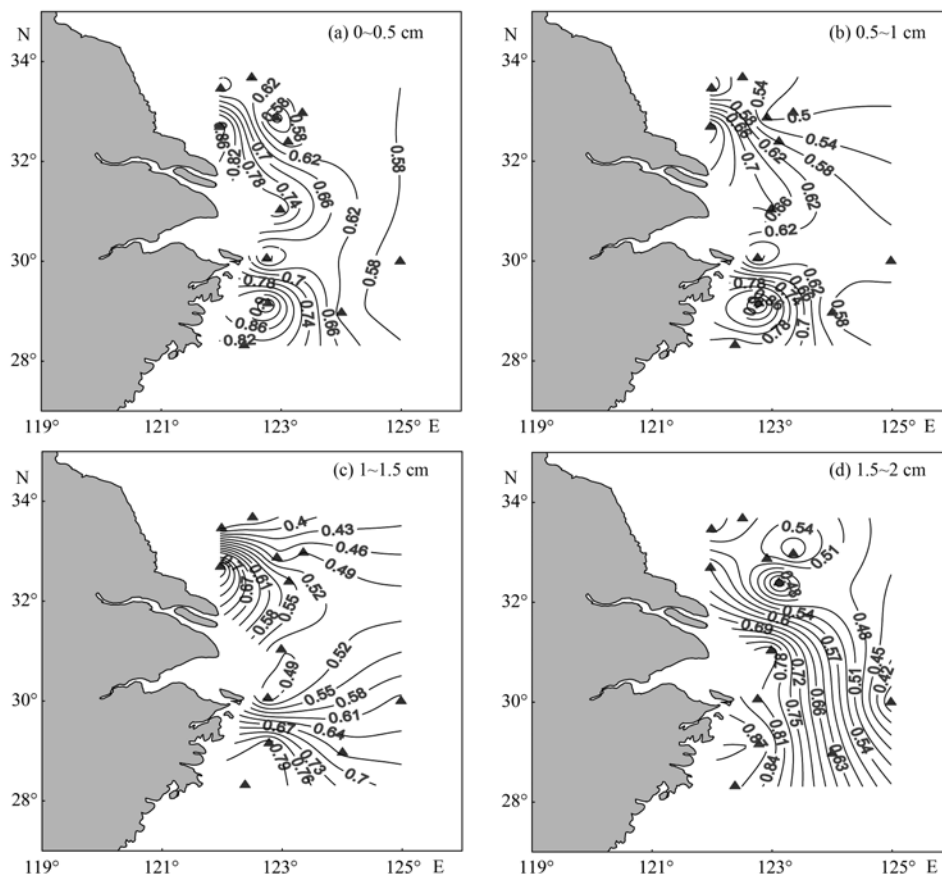


图 3 不同深度沉积物中生物硅含量 ($\text{SiO}_2\%$) 的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of biogenic silica ($\text{SiO}_2\%$) in sediments of different depths

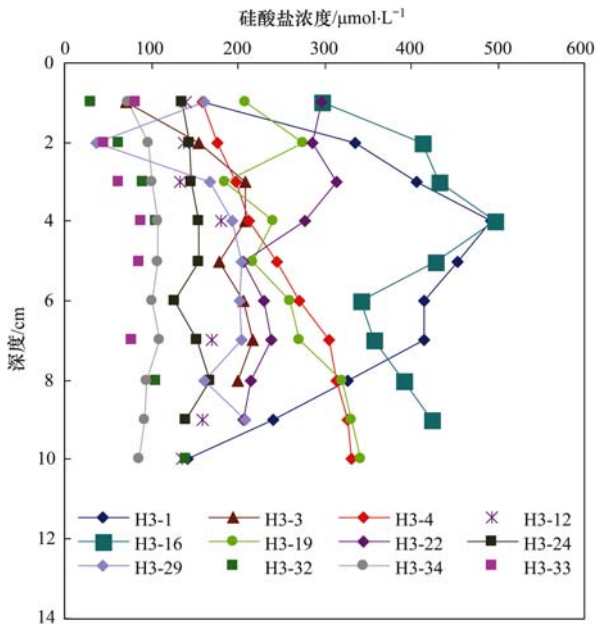


图4 间隙水中硅酸盐随深度的分布

Fig. 4 Vertical distribution of silicic acid in pore water

$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ [40]) 被定义为生物硅的溶解度 [7], 本研究选择后者作为生物硅的溶解度] 促进了生物硅的溶解, 并随着生物硅溶解过程的进行, 0.5 cm 层以下间隙水中硅酸盐相对于生物硅溶解度的不饱和程度减小为 3.5 cm 层的 0.51, 这也和图 5 中该站生物硅的溶解速率常数随深度增加而递减相对应; 4.5 cm 层以下硅酸盐呈现减小的趋势, 该站沉积物类型为砂质沉积并受到苏北沿岸流的影响, 沉积环境不稳定, 导致间隙水中硅酸盐变化比较剧烈. 对于间隙水中硅酸盐含量较高的 H3-16 站, 各层次的硅酸盐浓度变化不大, 大都在 $300 \sim 450 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 该站位于杭州湾的外海, 生物硅含量较低, 该站属于砂质的沉积类型 [41], 黏土含量较少, 这些因素有利于生物硅的溶解, 致使间隙水中硅酸盐的浓度具有高值.

间隙水中硅酸盐随深度的递增呈现增加的趋势, 说明间隙水中硅酸盐未达到生物硅的溶解度, 以生物硅的溶解作用为主, 生物硅的溶解过程控制间隙水中硅酸盐具有这种分布趋势. 相反间隙水中硅酸盐随深度的递增呈现减小的趋势, 可能是由于大量陆源碎屑的输入, 陆源碎屑作为间隙水中 Al 离子的来源, 为间隙水提供了丰富的 Al 离子, Al 离子会吸附到生物硅矩阵的表面取替 Si 原子, 减少生物硅表面的反应位点并与硅酸盐共沉淀形成硅铝酸盐, 从而阻碍生物硅的溶解 [11], 此时共沉淀作用控制间隙水中硅酸盐浓度的变化. 同时本研究海域受到黄

海沿岸流、台湾暖流、浙闽沿岸流以及长江冲淡水的影响, 沉积环境不稳定, 导致各站间隙水中硅酸盐浓度变化比较剧烈. 不同站间隙水中硅酸盐分布趋势变化也比较大, 这可能与碎屑与生物硅含量比值的不同有关 [12].

深海沉积物间隙水中的硅酸盐浓度随深度增加呈现增加的趋势, 一般在 10 cm 左右硅酸盐浓度达到一个渐近值 [42], 该深度以下硅酸盐浓度基本不变. 长江口邻近海域间隙水中硅酸盐浓度相对于南大洋、赤道太平洋深海海域值偏小, 随深度并不是都呈现典型增加的趋势, 这可能与近岸沉积环境不稳定以及高的陆源碎屑输入相关, 陆源碎屑与生物硅发生早期成岩作用阻碍生物硅的溶解 [9, 11, 15], 使得本研究区域间隙水中硅酸盐浓度较低.

Ehrenhauss 等 [43] 对北海不同渗透性的沉积物间隙水中营养盐研究中发现, 间隙水中硅酸盐浓度随沉积物类型渗透性的增强而递减, 但是对于本研究海域并没有这种分布趋势, 分析可能是由于间隙水中的 Al 或是陆架海水深较浅沉积环境不稳定造成本研究海域间隙水中硅酸盐具有随深度递增增大和减小的分布趋势.

2.3 生物硅溶解速率常数的平面分布

Truesdale 等 [44] 给出了批量培养实验中溶出的 DSi 随时间变化的关系式 (用来解释批量培养实验中溶解速率常数的变化):

$$c_t = A(1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

式中, c_t : t 时刻培养液中溶解硅酸盐的浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); t : 培养时间 (d); A : ∞ 时刻培养液中溶解硅酸盐的浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); k : 生物硅的溶解速率常数 (d^{-1}).

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解速率常数在 $0 \sim 0.5 \text{ cm}$ 、 $0.5 \sim 1 \text{ cm}$ 、 $1 \sim 1.5 \text{ cm}$ 、 $1.5 \sim 2 \text{ cm}$ 沉积物中变化范围分别为: $0.58 \sim 3.90 \text{ d}^{-1}$ 、 $0.70 \sim 2.50 \text{ d}^{-1}$ 、 $1.36 \sim 2.90 \text{ d}^{-1}$ 、 $0.83 \sim 2.30 \text{ d}^{-1}$; 随空间以及深度无明显规律 (见图 5).

在 H3-1 和 H3-4 站沉积物 $0 \sim 0.5 \text{ cm}$ 层生物硅的溶解速率常数具有高值, 比其它站高 1 ~ 6 倍, 这可能是由于沉积物表层间隙水中硅酸盐浓度相对于生物硅溶解度的不饱和程度大都为 0.84, 从而加速了生物硅的溶解, 也可能是由于这两个站沉积物表层有新鲜硅藻的沉积, 新鲜的硅藻具有高的比表面积和反应位点, 在表层快速溶解. H3-1 站生物硅的溶解速率常数随深度增加而递减, 从该站间隙水中硅酸盐的剖面图 (图 4) 可以看出, 前 2 cm

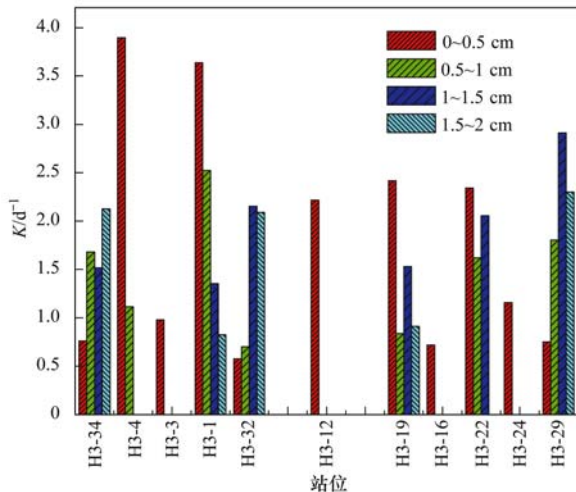


图5 生物硅溶解速率常数随深度和站位变化

Fig. 5 Variations of BSi dissolution rate constant with stations and sediment depth

硅酸盐急剧增加,硅酸盐相对于生物硅溶解度的不饱和程度减小由 0.84 减为 0.67,使得生物硅的溶解变慢. 对于生物硅的溶解速率常数随深度增加有递增趋势的站位来说,分析可能是因为包裹在生物

硅外面的有机外壳被浮游植物的摄食活动和微生物降解所清除^[45],从而加速了生物硅的溶解,也可能是由于间隙水中 Al 随深度增加有减小的趋势,此时生物硅的溶解过程占主导. 通过图 6 不同站位表层沉积物培养液不同时刻硅酸盐与最后培养液中溶解态 Al 浓度的变化关系可以看出, Al 离子会影响生物硅的溶解行为,培养液中溶解态 Al 浓度较高的样品,其培养液中的硅酸盐浓度低. 说明在培养过程中铝会通过结合溶液中的溶解态硅形成铝硅酸盐降低硅酸盐的溶出速率,从而降低培养液中硅酸盐的浓度,这和 H3-22 站位具有高浓度的溶解态 Al,但是其生物硅溶解速率常数具有低值相对应. Rickert^[7]测定了不同 Al 浓度条件下生物硅的溶解速率,结果表明当溶解态 Al 浓度高时,溶解态 Al 和硅酸盐发生早期成岩作用,降低了生物硅表面活性,使得生物硅溶解生成的硅酸盐浓度和生物硅溶解速率低.

Van Cappellen 等^[8,9]在对南大洋沉积物中生物硅溶解动力学研究中强调了间隙水中痕量元素

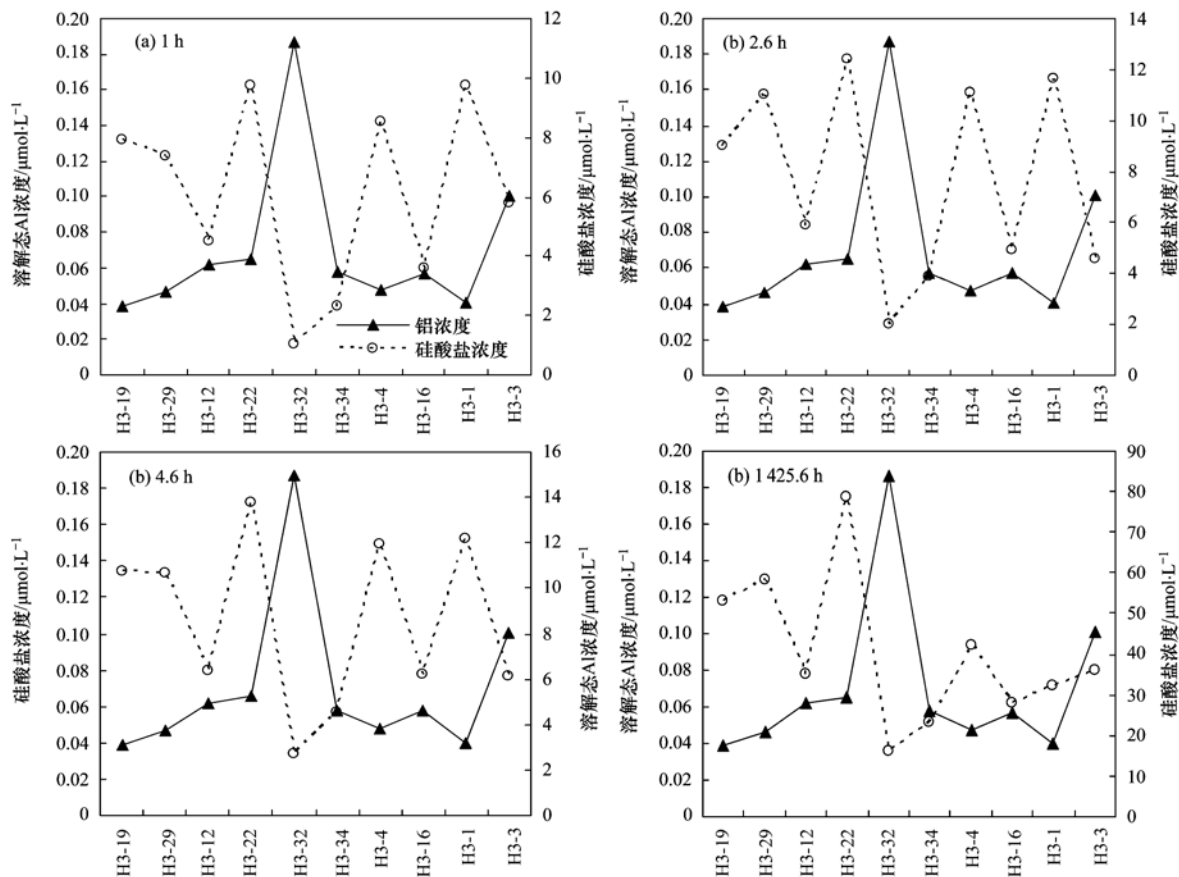


图6 各站位表层沉积物培养过程中不同时刻的硅酸盐浓度和最后时刻溶解态 Al 关系图

Fig. 6 Relationship between the temporal variations of silicic acid concentration and the final dissolved aluminum in surface sediments during the incubation period

Al 对硅酸盐分布的影响,对于陆架边缘海而言,河流的输入是海水中 Al 的主要来源,其浓度相对于大洋海域较高,间隙水中 Al 浓度要远远高于上层水体中 Al 的浓度,闫丽等^[46]对同航次的 Al 进行了研究,高值区主要分布在长江口以及舟山群岛附近,间隙水中 Al 主要来源于陆源碎屑的溶解,Al 离子会吸附到生物硅的表面,阻碍其溶解,对本研究海域而言可能是由于间隙水中的 Al 浓度造成了生物硅溶解速率常数具有这种分布趋势,对其影响机制还需要进行深入的研究。

3 结论

(1)长江口邻近海域沉积物中生物硅含量的水平分布呈现出近岸高于远海,南部海域高于北部海域的分布趋势,与初级生产力的分布趋势相似。沉积物类型以及沉积速率会影响生物硅在沉积物中的保存。

(2)不同站位间隙水中硅酸盐的分布趋势并不相同,随深度并不是都呈现典型增加的趋势,且各站位硅酸盐浓度都在 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,这可能和近岸沉积环境不稳定以及高的陆源碎屑输入相关,陆源碎屑与生物硅发生早期成岩作用阻碍生物硅的溶解,使得本研究区域间隙水中硅酸盐浓度较低。

(3)沉积物中生物硅溶解速率常数,随空间以及深度无明显规律,间隙水中硅酸盐相对于生物硅溶解度的不饱和程度以及痕量元素 Al 会影响本研究海域生物硅的溶解。

致谢:感谢“北斗号”船员在调查期间给予的帮助,感谢中国海洋大学海洋生物地球化学实验室同学们的帮助,尤其曹璐在实验中给予的帮助。

参考文献:

- [1] Buesseler K O. The decoupling of production and particulate export in the surface ocean[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, **12**(2): 297-310.
- [2] Liu S M, Ye X W, Zhang J, *et al.* The silicon balance in Jiaozhou Bay, North China[J]. *Journal of Marine Systems*, 2008, **74**(1-2): 639-648.
- [3] Schelske C L, Conley D J, Stoermer E F. Biogenic silica and phosphorus accumulation in sediments as indices of eutrophication in the Laurentian Great Lakes[J]. *Hydrobiologia*, 1986, **143**(1): 79-86.
- [4] Ragueneau O, Gallinari M, Corrin L, *et al.* The benthic silica cycle in the Northeast Atlantic: annual mass balance, seasonality, and importance of non-steady-state processes for the early diagenesis of biogenic opal in deep-sea sediments[J]. *Progress in Oceanography*, 2001, **50**(1-4): 171-200.
- [5] Gallinari M, Ragueneau O, Corrin L, *et al.* The importance of water column processes on the dissolution properties of biogenic silica in deep-sea sediments I. Solubility[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, **66**(15): 2701-2717.
- [6] Gallinari M, Ragueneau O, DeMaster D J, *et al.* Influence of seasonal phytodetritus deposition on biogenic silica dissolution in marine sediments-Potential effects on preservation[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2008, **55**(22-23): 2451-2464.
- [7] Rickert D. Dissolution kinetics of biogenic silica in marine environments[D]. Germany: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 2000. 1-234.
- [8] Van Cappellen P, Qiu L. Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean. I. Solubility[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, **44**(5): 1109-1128.
- [9] Van Cappellen P, Qiu L. Biogenic silica dissolution in sediments of the Southern Ocean. II. Kinetics[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, **44**(5): 1129-1149.
- [10] Van Cappellen P. Reactive surface area control of the dissolution kinetics of biogenic silica in deep-sea sediments[J]. *Chemical Geology*, 1996, **132**(1-4): 125-130.
- [11] Dixit S, Van Cappellen P, Van Bennekom A J. Processes controlling solubility of biogenic silica and pore water build-up of silicic acid and pore water build-up of silicic acid in marine sediments[J]. *Marine Chemistry*, 2001, **73**(3-4): 333-352.
- [12] Rickert D, Schlüter M, Wallmann K. Dissolution kinetics of biogenic silica from the water column to the sediments[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, **66**(3): 439-455.
- [13] Tréguer P J, De La Rocha C L. The world ocean silica cycle[J]. *Annual Review of Marine Science*, 2013, **5**(1): 477-501.
- [14] Hurd D C. Interactions of biogenic opal, sediment and seawater in the Central Equatorial Pacific[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, **37**(10): 2257-2266.
- [15] Nelson D M, Tréguer P, Brzezinski M A, *et al.* Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, **9**(3): 359-372.
- [16] Tréguer P, Nelson D M, Van Bennekom A J, *et al.* The silica balance in the world ocean: a reestimate[J]. *Science*, 1995, **268**(5209): 375-379.
- [17] Michalopoulos P, Aller R C, Reeder R J. Conversion of diatoms to clays during early diagenesis in tropical, continental shelf muds[J]. *Geology*, 2000, **28**(12): 1095-1098.
- [18] Michalopoulos P, Aller R C. Early diagenesis of biogenic silica in the Amazon delta: Alteration, authigenic clay formation, and storage[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, **68**(5): 1061-1085.
- [19] Van Bennekom A J, Fred Jansen J H, Van der Gaast S J, *et al.* Aluminium-rich opal: an intermediate in the preservation of

- biogenic silica in the Zaire (Congo) deep-sea fan[J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1989, **36** (2): 173-190.
- [20] Van Bennekom A J, Buma A G J, Nolting R F. Dissolved aluminium in the Weddell-Scotia Confluence and effect of Al on the dissolution kinetics of biogenic silica[J]. Marine Chemistry, 1991, **35**(1-4): 423-434.
- [21] Ragueneau O, Chsuvau L, Leynaert A, *et al.* Direct evidence of a biologically active coastal silicate pump: Ecological implications[J]. Limnology and Oceanography, 2002, **47**(6): 1849-1854.
- [22] Ragueneau O, Chauvaud L, Leynaert A, *et al.* Biodeposition by an invasive suspension feeder impacts the biogeochemical cycle of Si in a coastal ecosystem (Bay of Brest, France) [J]. Biogeochemistry, 2005, **75**(1): 19-41.
- [23] Li M T, Xu K Q, Watanabe M, *et al.* Long-term variations in dissolved silicate, nitrogen, and phosphorus flux from the Yangtze River into the East China Sea, and impacts on estuarine ecosystem[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, **71** (1-2): 3-12.
- [24] Zhou M J, Shen Z L, Yu R C. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River[J]. Continental Shelf Research, 2008, **28**(12): 1483-1489.
- [25] Mortlock R A, Froelich P N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments[J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1989, **36**(9): 1415-1426.
- [26] Liu S M, Ye X W, Zhang J, *et al.* Problems with biogenic silica measurement in marginal seas[J]. Marine Geology, 2002, **192** (4): 383-392.
- [27] Liu S M, Zhang J, Li R X. Ecological significance of biogenic silica in the East China Sea[J]. Marine Ecology Process Series, 2005, **290**: 15-26.
- [28] Strickland J D H, Parsons T R. Determination of reactive nitrite. In: A Practical Handbook of Seawater Analysis[M]. Ottawa, Fisheries Research Board of Canada, 1968. 71-75.
- [29] Ren J L, Zhang J, Luo J Q, *et al.* Improved fluorimetric determination of dissolved aluminium by micelle-enhanced lumogallion complex in natural waters[J]. Analyst, 2001, **126** (5): 698-702.
- [30] Hydes D J, Liss P S. Fluormetric method for the determination of low concentrations of dissolved aluminium in natural waters[J]. Analyst, 1976, **101**: 922-931.
- [31] 宁修仁, 刘子琳, 蔡显明. 我国海洋初级生产力研究二十年[J]. 海洋学研究, 2000, **18**(3): 13-20.
- [32] Romero O, Hebbeln D. Biogenic silica and diatom thanatocoenosis in surface sediments below the Peru-Chile Current: controlling mechanisms and relationship with productivity of surface waters [J]. Marine Micropaleontology, 2003, **48**(1-2): 71-90.
- [33] Bernárdex P, Francés G, Prego R. Benthic-pelagic coupling and postdepositional processes as revealed by the distribution of opal in sediments: The case of the Ría de Vigo (NW Iberian Peninsula) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, **68**(1-2): 271-281.
- [34] Liu J P, Li A C, Xu K H, *et al.* Sedimentary features of the Yangtze River-derived along-shelf clinoform deposit in the East China Sea[J]. Continental Shelf Research, 2006, **26**(17-18): 2141-2156.
- [35] 王华新, 线薇薇. 长江口表层沉积物有机碳分布及其影响因素[J]. 海洋科学, 2011, **35**(5): 24-31.
- [36] DeMastr D J. The accumulation and cycling of biogenic silica in the Southern Ocean: revisiting the marine silica budget [J]. Deep Sea Research Part II, Topical Studies in Oceanography, 2002, **49**(16): 3155-3167.
- [37] DeMaster D J, Ragueneau O, Nittrouer C A. Preservation efficiencies and accumulation rates for biogenic silica and organic C, N, and P in high-latitude sediments: The Ross Sea [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1996, **101** (C8): 18501-18518.
- [38] 李学刚, 宋金明, 袁华茂, 等. 胶州湾沉积物中高生源硅含量的发现——胶州湾浮游植物生长硅限制的证据[J]. 海洋与湖沼, 2005, **36**(6): 572-579.
- [39] Willey J D. Effects of aging on silica solubility: a laboratory study[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, **44** (4): 537-578.
- [40] Hurd D C. Interactions of biogenic silica, sediment and seawater in the Central Equatorial Pacific [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1973, **37**(10): 2267-2282.
- [41] 于培松, 薛斌, 潘建明, 等. 长江口和东海海域沉积物粒径对有机质分布的影响[J]. 海洋学研究, 2011, **29**(3): 202-208.
- [42] Rabouille C, Gaillard J, Tréguer P, *et al.* Biogenic silica recycling in surficial sediments across the Polar Front of the Southern Ocean (Indian Sector) [J]. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 1997, **44** (5): 1151-1176.
- [43] Ehrenhauss S, Witte U, Bühring S L, *et al.* Effect of advective pore water transport on distribution and degradation of diatoms in permeable North Sea sediments [J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, **271**: 99-111.
- [44] Truesdale V W, Greenwood J E, Rendell A. The rate-equation for biogenic silica dissolution in seawater-new hypotheses [J]. Aquatic Geochemistry, 2005, **11**(3): 319-343.
- [45] Patrick S, Holding A J. The effect of bacteria on the solubilization of silica in diatom frustules[J]. Journal of Applied Bacteriology, 1985, **59**(1): 7-16.
- [46] 闫丽, 任景玲, 罗建, 等. 长江口邻近海域溶解态铝的分布及季节变化[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, **41**(增刊): 259-266.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron; Debromination Kinetics and Pathway	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangmu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Yong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行