

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究 ..... 苗红妍,温天雪,王丽,李杏茹,王跃思(1225)

鼎湖山 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子浓度特征分析 ..... 赵亚南,王跃思,温天雪,刘全(1232)

北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征 ..... 黄怡民,刘子锐,陈宏,王跃思(1236)

深圳市 PM<sub>2.5</sub> 化学组成与时空分布特征 ..... 云慧,何凌燕,黄晓峰,兰紫娟,李响,曾立武(1245)

福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究 ..... 易志刚,黄幸然,毕峻奇,郭萍萍,郑丽丽(1252)

河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征 ..... 丁中原,毛潇萱,马子龙,田慧,郭强,黄韬,高宏,李军,张干(1258)

淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算 ..... 薛文博,王金南,杨金田,雷宇,燕丽,贺晋瑜,韩宝平(1264)

香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析 ..... 黄文敏,朱孔贤,赵玮,余博识,袁希功,冯瑞杰,毕永红,胡征宇(1270)

变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响 ..... 赵微,林健,王树芳,刘记来,陈忠荣,寇文杰(1277)

基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析 ..... 邓欧平,孙嗣咏,吕军(1284)

西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探 ..... 郭威,李祥忠,刘卫国(1291)

滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应 ..... 郭怀成,向男,周丰,王永华,李发荣,朱翔,毛国柱,于书霞,李娜,盛虎,杨永辉,何成杰,王翠榆(1298)

三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算 ..... 牛凤霞,肖尚斌,王雨春,刘德富,黎国育,王亮,纪道斌,杨正健(1308)

海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况 ..... 辛成林,任景玲,张桂玲,郭亚平,张国玲,刘素美(1315)

黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征 ..... 吴斌,宋金明,李学刚(1324)

扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价 ..... 叶华香,臧淑英,张丽娟,张玉红(1333)

上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价 ..... 唐庆丽,程金平,高昊旻,姚磊,蒋真毅,吴旻,谢翠松,梁海,王鹤,皮帅帅,余朝毅(1340)

我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析 ..... 张灿,陈虹,余忆玄,王立军,韩建波,陶平(1345)

江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较 ..... 金涛,吕学敏,曾一凡,张冰冰,马鲲鹏,姜朴,唐非(1351)

北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋 ..... 周益奇,刘云霞(1357)

降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究 ..... 胡园园,杨娜,丁毅,徐文璐,陈秀荣,艾奇峰,陈善佳,王利鹏,黄华(1363)

渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险 ..... 安立会,张燕强,宋双双,刘玥,高俊敏,陈浩,赵兴茹,雷坤,郑丙辉(1369)

巨牡蛎(*Crassostrea* sp.)对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积 ..... 刘锡尧,袁东星,陈耀瑾(1374)

咪唑氯盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究 ..... 黄若男,范军杰,涂宏志,谭凌燕,刘惠君,徐冬梅(1380)

铝盐混凝除磷影响因素及机制研究 ..... 陈桂霞,胡承志,朱灵峰,童华卿(1386)

混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究 ..... 刘冰,余国忠,古励,赵承美,李清飞,翟慧敏(1392)

活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究 ..... 王佳裕,戴启洲,鱼杰,颜亦舟,陈建孟(1402)

氯酚溶液的  $\gamma$  辐照还原降解研究 ..... 彭云霞,何仕均,龚文琪,王建龙(1411)

C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析 ..... 袁怡,黄勇,邓慧萍,盛学敏,潘杨,李祥(1416)

以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究 ..... 翟晓峰,蒋成爱,吴光学,曾运涛(1421)

固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选 ..... 李斌,郝瑞霞(1428)

基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺 ..... 卢健聪,高大文,孙学影(1435)

多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟 ..... 周振,吴志超,王志伟,杜兴庄,蒋玲燕,邢灿(1442)

高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较 ..... 赵志瑞,马斌,张树军,李滨,白志辉,王晓辉,庄国强,张洪助(1448)

活性污泥絮体的分形结构分析 ..... 阮晓东,刘俊新(1457)

负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究 ..... 沈娜,杨昌柱,濮文虹,罗应东(1464)

预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响 ..... 熊光城,濮文虹,杨昌柱(1472)

同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究 ..... 张超,陈银广,顾国维(1479)

利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性 ..... 谢薇薇,袁伊,王志伟,孔繁翔,史小丽(1485)

阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用 ..... 郭亚丽,傅海燕,黄国和,高攀峰,柴天,严滨,廖欢(1492)

象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征 ..... 朱艺峰,黄简易,林霞,杨莹,邢超,严小军(1498)

环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究 ..... 王进,徐真,彭书传,夏明山,岳正波,陈天虎(1510)

铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解 ..... 史广宇,尹华,叶锦韶,彭辉,张娜,何宝燕(1517)

酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 的影响 ..... 黄翔峰,王凯,黎明霞,王彩林,陆丽君,刘佳(1524)

玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构 ..... 乔江涛,郭荣波,袁宪正,师晓爽,许晓晖,范晓蕾,邱艳玲(1531)

红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化 ..... 刘子旭,孙力平,李玉友,邱春生(1540)

4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究 ..... 杨宾,李慧颖,伍斌,杜晓明,李发生(1545)

污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源 ..... 姚林林,张彩香,李佳乐,廖小平,王焰新(1553)

呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价 ..... 郭伟,孙文惠,赵仁鑫,赵文静,付瑞英,张君(1561)

水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征 ..... 李苗苗,聂三安,陈晓娟,罗璐,朱捍华,石辉,葛体达,童成立,吴金水(1568)

亚热带不同稻田土壤微生物生物量碳的剖面分布特征 ..... 盛浩,周萍,袁红,廖超林,黄运湘,周清,张杨珠(1576)

施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响 ..... 刘翠英,蒋新(1583)

螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复 ..... 刘霞,王建涛,张萌,王力,杨亚提(1590)

不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响 ..... 蒋田雨,姜军,徐仁扣,周立祥,王世梅(1598)

绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究 ..... 蓝舟琳,彭丹,郭楚玲,朱超飞,薛秀玲,党志(1605)

改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 的脱除性能 ..... 邢坤,王海增(1611)

羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响 ..... 涂丽杏,朱能武,吴平霄,李平,吴锦华(1617)

新型生物质活性炭烟气脱硫研究 ..... 刘洁岭,汤争光,陈杰,蒋文举,江霞(1623)

城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用 ..... 毛建素,马兰(1628)

厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷 ..... 闫祯,崔胜辉,李桂林,任引,徐礼来(1636)

《环境科学》征订启事(1283) 《环境科学》征稿简则(1332) 信息(1350,1509,1582,1644) 专辑征稿通知(1523)

# 渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险

安立会<sup>1</sup>, 张燕强<sup>1</sup>, 宋双双<sup>1</sup>, 刘玥<sup>1</sup>, 高俊敏<sup>2</sup>, 陈浩<sup>1</sup>, 赵兴茹<sup>1</sup>, 雷坤<sup>1</sup>, 郑丙辉<sup>1\*</sup>

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 2. 重庆大学城市建设与环境学院, 重庆 400045)

**摘要:** 研究了渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的潜在生态风险。结果表明, 在大神堂海域和南排河海域野生脉红螺性畸变发生率分别为 12.5% 和 6.48%, 交接器指数分别为 9.61 和 12.45。脉红螺肌肉组织丁基锡和苯基锡浓度总和分别为 39.04  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  和 46.48  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , 消化腺组织中为 32.09  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  和 109.03  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。基于肌肉组织三丁基锡(TBT)浓度得出 TBT 对脉红螺种群的风险商为 0.024。以上结果表明, 渤海湾有机锡污染对野生脉红螺种群具有一定风险。

**关键词:** 渤海湾; 脉红螺; 性畸变; 有机锡; 生态风险

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1369-05

## Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk (*Rapana venosa*) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China

AN Li-hui<sup>1</sup>, ZHANG Yan-qiang<sup>1</sup>, SONG Shuang-shuang<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, GAO Jun-min<sup>2</sup>, CHEN Hao<sup>1</sup>, ZHAO Xing-ru<sup>1</sup>, LEI Kun<sup>1</sup>, ZHENG Bing-hui<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** The present study evaluated the potential ecological risk of organotin compounds (OTs) to wild veined rapa whelk (*Rapana Venosa*) population in Bohai Bay. The results showed that the imposex rate was 12.5% and 6.48% in Dashentang and Nanpaihe coastal areas, with relative penis size index of 9.61 and 12.45, respectively. The concentrations of butyltin compounds and phenyltin compounds were 39.04  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  dw and 46.48  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  dw in muscle tissues, and 32.09  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  dw and 109.03  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  dw in digest gland, respectively. Based on TBT levels in the muscles of all samples, a risk quotient of 0.024 was derived, indicating certain risk of OTs at current levels to wild veined rapa whelk populations in Bohai Bay.

**Key words:** Bohai Bay; veined rapa whelk (*Rapana venosa*); imposex; organotin compounds(OTs); ecological risk

有机锡化合物(organotin compounds, OTs)尤其是三丁基锡(tributyltin, TBT)对生物具有很强的内分泌干扰作用<sup>[1,2]</sup>,在微量水平(纳克级)就可以导致野生生物发生性畸变并对繁殖产生危害<sup>[3,4]</sup>,如已发现全世界 150 多种无脊椎腹足类发生性畸变<sup>[5]</sup>甚至不育<sup>[6]</sup>均与有机锡污染有直接关系。另外,有机锡对哺乳类动物免疫、神经系统也会产生毒性,甚至具有潜在致癌风险<sup>[7]</sup>。在我国,每年有机锡的使用量接近 7 500 t<sup>[8]</sup>,导致各种水域包括近海、海湾和河口区的有机锡污染严重<sup>[8,9]</sup>,生物性畸变现象也有发生<sup>[10]</sup>,但对于由此导致的潜在生态风险、尤其是渤海有机锡污染对海洋生态系统的风险还未开展有针对性研究。

本研究以渤海湾常见的腹足类脉红螺(veined rapa whelk, *Rapana venosa*)为对象,在调查其性畸变的基础上,分析组织中三丁基锡(tributyltin, TBT)、三苯基锡(triphenyltin, TPT)及其代谢产物二丁基

锡(dibutyltin, DBT)、一丁基锡(monobutyltin, MBT)、二苯基锡(diphenyltin, DPT)和一苯基锡(monophenyltin, MPT)这 6 种有机锡的污染特征,并对渤海湾有机锡污染对野生脉红螺种群的生态风险进行了分析,该结果对揭示渤海湾有机锡污染的潜在生态风险、加强有机锡的使用管理具有重要意义。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试剂

一丁基锡(MBT, 97%),二丁基锡(DBT, 96%),三丁基锡(TBT, 96.5%),一苯基锡(MPT, 98%),二苯基锡(DPT, 97%),三苯基锡(TPT,

收稿日期: 2012-07-25; 修订日期: 2012-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(21107147); 国家科技支撑计划项目(2010BAC69B02)

作者简介: 安立会(1975~),男,博士,副研究员,主要研究方向为水环境(生态)毒理与风险评估, E-mail: anlhui@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: zhengbh@craes.org.cn

96%)的氯化物标准品购自 Dr. Ehrenstorfer 公司(德国). 同位素内标一丁基锡-d9(MBT-d9, 98%)、三丁基锡-d27(TBT-d27, 98%)、一苯基锡-d5(MPT-d5, 98%)、三苯基锡-d15(TPT-d15, 96%)购自 C/D/N 公司(加拿大), 二丁基锡-d18(DBT-d18, 99.9%)、二苯基锡-d10(DPT-d10, 99.9%)购自林纯药工业株式会社(日本). 甲醇、乙醇、乙酸乙酯和正己烷(HPLC级)购自 J. T. Baker 公司(美国), 四乙基硼酸钠(98%)购自 Strem Chemicals 公司(美国), 四氢呋喃(HPLC级)购于 CNW 公司(德国). 其它试剂均为国产优级纯.

## 1.2 样品采集

考虑到渤海湾当前生物资源量匮乏现状, 某一确定地点无法捕获到足量的目标样品, 所以本研究以渤海湾近海域为调查核心区, 于 2010 年 8 月利用拖网方式以大神堂(39.105 6°N, 118.033 4°E)、驴驹河(38.810 9°N, 117.834 5°E)、南排河(38.569 4°N, 117.926 8°E)为中心、以 2~3 海里为半径、1~2 h 为作业间隔进行拖网(图 1). 每次拖网结束后, 将捕获的脉红螺置于大型塑料桶内在充气状态下运回码头后即刻处理.

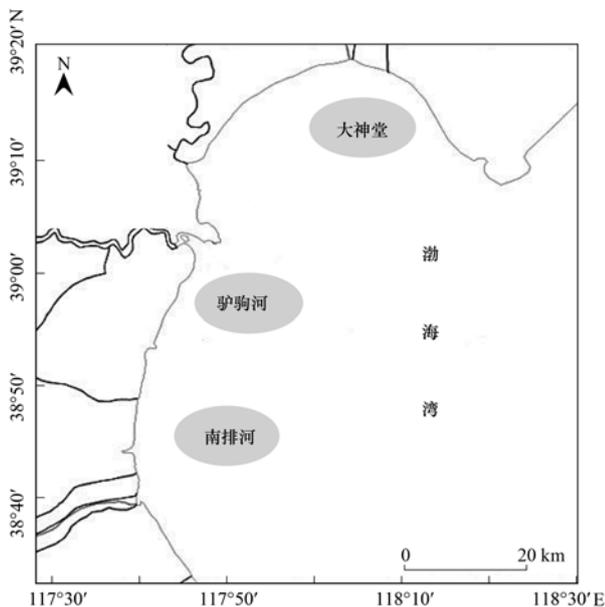


图 1 渤海湾野生脉红螺采样示意

Fig. 1 Sampling sites for wild veined rapa whelk (*Rapana Venosa*) in Bohai Bay

用游标卡尺精确测量每个样品的体重、壳高、壳宽, 然后破碎外壳取出软体部. 根据性腺颜色、是否具有交接器等特征判别雌雄和性畸变<sup>[11]</sup>: 雌性性腺呈杏黄色或橙黄色, 无交接器; 雄性性腺呈淡黄色或棕褐色, 具有明显的交接器; 性畸变螺则同

时具有雌雄的性特征. 测量正常雄螺和性畸变雌螺交接器长度, 交接器相对指数(relative penis size index, RPSI)根据公式(1)计算<sup>[12]</sup>:

$$RPSI = \frac{(\text{性畸变雌螺交接器平均长度})^3}{(\text{雄性螺交接器平均长度})^3} \times 100\% \quad (1)$$

统计各点数量、性比和畸变发生率, 将软体部分成肌肉和消化腺(性腺+肝胰脏)分别避光冷冻保存, 备用分析有机锡含量.

## 1.3 有机锡分析

分析生物样品有机锡的前处理和分析方法按照文献[9]并稍有改动. 称取 1 g 冻干的肌肉或消化腺组织样品研磨, 加入 100  $\mu\text{L}$  混合内标(200  $\text{ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ )和 25 mL 含有 1  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  HCl 的甲醇/乙酸乙酯(1:1, 体积比), 上下振荡后离心. 转移上清液至分液漏斗, 加入 100 mL 饱和氯化钠溶液和 30 mL 乙酸乙酯/正己烷(3:2, 体积比), 振荡并重复 2 次. 向混合液中加入 100 mL 正己烷, 静置后过滤. 旋蒸混合液至近干, 然后加入 10 mL 醋酸钠缓冲溶液(0.5  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , pH=5.0)和 200  $\mu\text{L}$  四乙基硼酸钠(5%, 溶于四氢呋喃)并振荡, 加入 40 mL 1  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  KOH-无水乙醇混合液进行皂化反应. 向反应液中加入 20 mL 正己烷, 然后旋蒸至少量过佛罗里硅土柱(Waters, 美国), 用正己烷/乙醚(9:1, 体积比)洗脱, 氮气吹干后定容.

利用安捷伦气相色谱(Agilent 7890)和质谱(Agilent 5975C)分析 3 种有机锡. 色谱柱为 HP5-MS 毛细管柱(30 m  $\times$  250  $\mu\text{m}$   $\times$  25  $\mu\text{m}$ ). GC 升温程序: 50 $^{\circ}\text{C}$  保持 3 min, 以 20 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至 140 $^{\circ}\text{C}$ , 恒温 15 min; 再以 20 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至 180 $^{\circ}\text{C}$ , 恒温 20 min; 再以 20 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升温至 280 $^{\circ}\text{C}$ , 恒温 7 min. 进样口温度为 270 $^{\circ}\text{C}$ , 检测器为 280 $^{\circ}\text{C}$ . 采用不分流进样方式, 进样量为 1  $\mu\text{L}$ .

## 1.4 TBT 对渤海湾脉红螺种群的生态风险

鉴于调查中发现渤海湾野生脉红螺已经发生性畸变, 因此根据脉红螺体内 TBT 浓度, 利用 Leung 等<sup>[12]</sup>描述的方法对渤海湾 TBT 的生态风险进行评价:

$$\text{风险商}(\text{risk quotient, RQ}) = \frac{\text{MTC}}{\text{PNETC}} \quad (2)$$

式中, MTC 是野生脉红螺肌肉组织中实测浓度( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , dw), PNETC(predicted no effect tissue concentration)是生物体组织的无效应浓度, 该浓度是水环境中的无效应浓度(PNEC)与生物富集系数

(bioconcentration factors, BCF) 的高值, 即  $PNETC = PNEC/BCF$ . 其中, PNEC 采用穆景利等<sup>[13]</sup> 推导的我国海水水质 TBT 基准低值 ( $2 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ), BCF 值采用腹足类文献值  $100\ 000$ <sup>[14,15]</sup>, 计算 TBT 对渤海湾脉红螺种群的 RQ 值. 为了减少分析的不确定性, 我们对所有数据采用蒙特卡罗重复采样处理, 即采用 bootstrap 方法进行 10 000 抽提采样, 并以几何均值作为有效值进行迭代计算. 如果  $RQ < 1$ , 说明 TBT 对脉红螺种群具有低风险; 如果  $RQ \geq 1$ , 说明 TBT 对脉红螺种群具有较高生态风险.

## 2 结果与讨论

### 2.1 脉红螺的性畸变

调查各点野生脉红螺数量、性比、性畸变发生率与交接器指数结果见表 1. 从中可以看出, 驴驹河海域野生脉红螺没有发生性畸变, 而大神堂和南排河海域野生脉红螺都发生了性畸变, 分别为 12.50% 和 6.48%, 其中大神堂的发生率约是南排

河的 2 倍, 但发生率均明显低于杨建敏在 2002 ~ 2003 年的调查结果 (77.14%)<sup>[16]</sup>.

从发生程度来看, 大神堂性畸变脉红螺的交接器指数 (RPSI) 为 9.61%, 低于南排河性畸变脉红螺的交接器指数 (12.45%), 但明显大于施华宏在 2000 ~ 2002 年的调查结果 (2.42%)<sup>[16]</sup>, 而 RPSI 与畸变发生率之间没有明显相关性. 研究表明, 当 RPSI 指数超过 13% 时, 即等同于输精管发展指数大于 4, 生物种群就会开始出现不育个体<sup>[10]</sup>. 而从性别比上看, 驴驹河海域野生脉红螺雌雄性比为 0.98, 接近自然状态下的雌雄比 (1:1)<sup>[17]</sup>. 大神堂和南排河海域野生脉红螺的雌雄性比分别为 0.82 和 0.66, 均向雄性偏移. 这与施华宏的调查结果一致<sup>[10]</sup>, 即当输精管发展指数大于 4 (相当于 RPSI 超过 13%), 性比开始小于 1, 自然种群中雄性个体占优势, 并且雌性个体因性畸变而存在不育的可能. 因此, 根据调查脉红螺 RPSI 和性别比结果, 说明渤海湾野生脉红螺种群已经具有了不育的潜在风险.

表 1 渤海湾野生脉红螺性畸变

Table 1 Imposox in wild veined rapa whelk (*Rapana venosa*) in Bohai Bay

站位	n	壳高 /mm	壳宽 /mm	全重 /g	性比 (F:M)	畸变发生率 /%	交接器平均指数 (RPSI)
驴驹河	164	70.44 ± 6.52	53.06 ± 5.76	59.16 ± 18.33	0.98	0	0
大神堂	213	69.42 ± 4.79	50.17 ± 3.78	55.53 ± 13.04	0.82	12.50	9.61
南排河	178	63.33 ± 3.20	47.72 ± 2.67	44.97 ± 5.59	0.66	6.48	12.45

### 2.2 脉红螺体内有机锡水平

本研究分析脉红螺有机锡的回收率分别为 MBT-d9 (42% ± 11%), DBT-d18 (87% ± 13%), TBT-d27 (104% ± 8%), MPT-d5 (35% ± 9%), DPT-d10 (87% ± 10%), TPT-d15 (92% ± 9%), 检测限分别为  $0.09 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (MBT),  $0.98 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (DBT),  $2.51 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (TBT),  $1.42 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (MPT),  $3.23 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (DPT) 和  $0.46 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  (TPT). 在对 3 个调查区域脉红螺肌肉和消化腺的有机锡分析结果表明, 肌肉中的苯基锡检出率达 100%, 丁基锡检出率在 83% ~ 97%; 消化腺中苯基锡的检出率在 70% ~ 100%, 丁基锡检出率在 83% ~ 100%.

渤海湾野生脉红螺体内有机锡水平 (干重) 见表 2. 从中可以看出, 3 个调查区脉红螺体内有机锡浓度水平没有明显差异, 即肌肉中丁基锡和苯基锡的浓度总和相近, 分别为  $39.04 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  ( $30.64 \sim 53.41 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 和  $46.48 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  ( $36.10 \sim 54.94 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ( $P > 0.05$ ), 其中丁基锡以 DBT ( $22.85 \sim 47.32 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )、苯基锡以 MPT ( $17.82 \sim 35.29$

$\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 为主; 而消化腺 (性腺 + 肝胰脏) 组织内有机锡尽管仍以 DBT 和 MPT 为主, 但苯基锡浓度 ( $109.03 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 明显高于丁基锡 ( $32.09 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) ( $P < 0.05$ ). 本调查结果表明, 渤海湾脉红螺体内中丁基锡浓度要高于厦门海域的疣荔枝螺 *T. clavigera*<sup>[18]</sup>, 但远低于香港海域疣荔枝螺 ( $< 0.05 \sim 1\ 458.1 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 和黄口荔枝螺 *T. luteostoma* 的丁基锡水平 ( $9.4 \sim 324.4 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[12]</sup>. 而与国外调查相比, 渤海湾脉红螺体内丁基锡浓度远低于贻贝 (表 3), 这可能与两种生物不同的滤水能力有关. 而渤海湾脉红螺肌肉苯基锡浓度要明显高于厦门海域的疣荔枝螺<sup>[18]</sup>.

### 2.3 TBT 对野生脉红螺种群的生态风险

为了从整体上分析渤海湾有机锡污染对野生脉红螺种群的生态风险, 本研究计算 RQ 时将 3 个海域 (大神堂、驴驹河和南排河) 采集的脉红螺分析数据进行统一分析. 根据脉红螺软体部 TBT 浓度, 经过 10 000 次抽提迭代计算 RQ 值为 0.024 3 (图 2). 需要指出的是, 因缺少脉红螺对 TBT 的 BCF 值, 因

表 2 渤海湾野生脉红螺体内有机锡浓度/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $n=6$ )

Table 2 Concentrations of organotins in wild veined rapa whelk (*Rapana venosa*) from Bohai Bay ( $n=6$ )/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

位置	地点	MBT		DBT		TBT	
		雌	雄	雌	雄	雌	雄
消化腺(性腺+肝胰脏)	驴驹河	2.39 ± 0.92	4.01 ± 2.21	6.16 ± 1.47	20.20 ± 2.52	8.61 ± 1.94	11.36 ± 0.84
	大神堂	5.12 ± 3.00	3.04 ± 0.21	13.33 ± 2.17	18.42 ± 1.95	10.26 ± 1.94	7.16 ± 2.71
	南排河	5.52 ± 0.99	5.36 ± 1.48	23.14 ± 13.17	21.05 ± 4.15	14.36 ± 10.01	13.02 ± 5.91
肌肉	驴驹河	4.03 ± 1.01	3.61 ± 0.73	47.32 ± 3.88	37.75 ± 16.53	2.06 ± 0.83	3.00 ± 0.69
	大神堂	1.97 ± 0.30	2.22 ± 0.27	28.03 ± 1.52	31.77 ± 6.00	3.60 ± 1.73	6.01 ± 1.34
	南排河	3.40 ± 1.44	2.22 ± 1.08	22.85 ± 4.03	25.58 ± 3.73	4.39 ± 1.22	4.45 ± 1.09

位置	地点	MPT		DPT		TPT	
		雌	雄	雌	雄	雌	雄
消化腺(性腺+肝胰脏)	驴驹河	87.71 ± 14.59	154.27 ± 73.99	ND	ND	35.24 ± 17.98	27.70 ± 13.89
	大神堂	51.21 ± 11.35	40.05 ± 6.15	9.02 ± 9.18	5.35 ± 4.84	28.97 ± 8.29	10.78 ± 4.26
	南排河	44.00 ± 8.25	49.85 ± 7.93	9.61 ± 0.54	5.87 ± 4.78	51.14 ± 14.21	43.41 ± 14.63
肌肉	驴驹河	32.26 ± 10.91	26.88 ± 7.59	3.99 ± 0.28	3.04 ± 1.19	17.79 ± 6.18	17.40 ± 7.54
	大神堂	21.54 ± 5.90	33.19 ± 25.06	2.57 ± 1.85	2.83 ± 1.56	11.99 ± 1.97	11.81 ± 2.69
	南排河	17.82 ± 12.81	35.29 ± 23.06	3.81 ± 2.56	5.08 ± 2.55	17.02 ± 4.48	14.57 ± 1.88

表 3 不同生物组织中丁基锡浓度比较<sup>1)</sup>/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 3 Butyltin concentrations in muscles of different organisms/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

项目	地点	MBT	DBT	TBT	文献
贻贝 <sup>2)</sup> <i>M. edulis</i>	加拿大	nd ~ 708	nd ~ 1 062	20 ~ 1 198	[19]
	荷兰	6 ~ 277	3 ~ 174	53 ~ 944	[20]
	意大利	600 ~ 2 190	690 ~ 3 720	730 ~ 5 790	[21]
	葡萄牙	7.9 ~ 41	2.5 ~ 18	5.7 ~ 489	[22]
	西班牙	10 ~ 204	4 ~ 1 094	1 ~ 1 151	[23]
脉红螺 <sup>3)</sup>	渤海湾	2.87(1.97 ~ 4.03)	32.54(22.85 ~ 47.32)	3.91(2.06 ~ 6.01)	本研究

1) nd: 未检出; 2) 软体部; 3) 肌肉

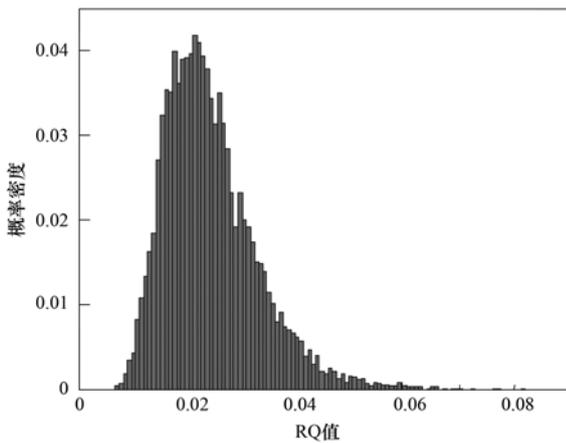


图 2 渤海湾 TBT 污染对野生脉红螺种群生态风险分布

Fig. 2 Distribution of the calculated risk quotient generated from Monte Carlo simulation of TBT for veined rapa whelk *Rapana venosa* population in Bohai Bay

此计算 RQ 时的 BCF 值采用蚬岩螺 *Thais clavigera* 和狗峨螺 *Nucella lapillus* 的文献调查值<sup>[14,15]</sup>. 但由于物种的差异可能导致 RQ 值与实际存在一定偏差,这在今后的研究中随着脉红螺研究数据增加将对其 BCF 值加以修正,以便得出更加真实的风险

值. 同时由调查的实际发生来看,总共有 5 只性畸变脉红螺的 RPSI 大于 13,意味着渤海湾 0.90% 的野生脉红螺种群中具有潜在不育风险. 综合计算值和实际发生值,说明渤海湾有机锡污染对野生脉红螺繁殖产生了不利影响,这对渤海湾的生态系统稳定具有潜在风险.

目前,在欧洲、亚洲、北美、澳大利亚和地中海等地区的 63 个属 150 余种腹足类中都发现了性畸变现象<sup>[24]</sup>,说明海产腹足类性畸变的问题已经非常严重. 为此,国际海事组织在 2001 年通过、并于 2008 年 9 月 17 日正式生效的《国际控制船舶有害防污底系统公约》(AFS 公约)将严格禁止有机锡涂料用于船舶防污涂料<sup>[25]</sup>,这对减少有机锡使用、保护海洋生态系统起到了积极作用. 在我国,施华宏<sup>[10]</sup>发现 8 科 30 种野生螺类包括脉红螺发生了性畸变,杨建敏<sup>[16]</sup>在我国渤海和黄海海域发现野生脉红螺发生了性畸变. 结合本研究的调查结果,说明有机锡污染不仅导致了以腹足类如脉红螺为代表的海洋无脊椎动物广泛发生性畸变,并对其它生物也会造成潜在风险. 然而,尽管我国交通部门在 2008

年就建议在船舶防污处理上减少使用有机锡<sup>[26]</sup>,但直到目前为止,海洋和环境管理部门还未制定有关禁止在海洋交通运输船舶上使用有机锡的法律法规,也没有开展有针对性的污染风险控制管理.因此,针对有机锡污染导致我国海洋腹足类普遍发生性畸变的现状,如何尽早地限制有机锡使用是摆在我国相关管理部门面前亟待解决的环境科学问题.

### 3 结论

(1) 渤海湾野生脉红螺发生性畸变(0 ~ 12.5%),肌肉和消化腺组织中具有较高水平的有机锡,并且苯基锡浓度水平明显高于丁基锡.

(2) TBT 对野生脉红螺种群的风险商为 0.024,表明渤海湾有机锡污染对野生脉红螺种群造成一定的风险.

#### 参考文献:

- [1] Spooner N, Gibbs P E, Bryan G W, *et al.* The effect of tributyltin upon steroid titres in the female dogwhelk, *Nucella lapillus*, and the development of imposex [J]. *Marine Environmental Research*, 1991, **32**(1-4): 37-49.
- [2] Svavarsson J. Imposex in the dogwhelk (*Nucella lapillus*) due to TBT contamination: Improvement at high latitudes [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, **40**(11): 893-897.
- [3] Oehlmann J, Fioroni P, Stroben E, *et al.* Tributyltin (TBT) effects on *Ocenebrina aciculata* (*Gastropoda: Muricidae*): Imposex development, sterilization, sex change and population decline [J]. *Science of the Total Environment*, 1996, **188**(2-3): 205-223.
- [4] Hu J Y, Zhang Z B, Wei Q W, *et al.* Malformations of the endangered Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, and its causal agent [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, **106**(23): 9339-9344.
- [5] De Fur P L, Crane M., Ingersoll C., *et al.* (Eds.), *Endocrine Disruption in Invertebrates: Endocrinology Testing and Assessment* [C]. SETAC Press, Pensacola, FL, 1999, 199-270.
- [6] Bryan G W, Gibbs P E, Hummerstone L G, *et al.* The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around south-west England: evidence for the effect of tributyltin from antifouling paints [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1986, **66**(3): 611-640.
- [7] Karl F. Ecotoxicology of organotin compounds [J]. *Critical Reviews in Toxicology*, 1996, **26**(1): 3-117.
- [8] Jiang G B. Current status of organotin studied in China and abroad [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2001, **30**(1): 1-3.
- [9] Hu J Y, Zhen H J, Wan Y, *et al.* Trophic magnification of triphenyltin in a marine food web of Bohai Bay, North China: comparison to tributyltin [J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, **40**(10): 3142-3147.
- [10] 施华宏. 中国沿海海产腹足类性畸变及有机锡污染的生物监测 [D]. 广州: 暨南大学, 2003.
- [11] 吕豪. 贝类的形态解剖 [M]. 大连水产学院贝类学实验指导自编讲义, 1996. 68-73.
- [12] Leung K M Y, Kwong R P Y, Ng W C, *et al.* Ecological risk assessments of endocrine disrupting organotin compounds using marine neogastropods in Hong Kong [J]. *Chemosphere*, 2006, **65**(6): 922-938.
- [13] 穆景利, 王莹, 王菊英. 我国海水水质基准的构建: 以三丁基锡为例 [J]. *生态毒理学报*, 2010, **5**(6): 776-786.
- [14] Oehlmann J, Stroben E, Schulte-Oehlmann U, *et al.* Imposed development in response to TBT pollution in *Hinia incrustata* (Ström, 1768) (Prosobranchia, Stenoglossa) [J]. *Aquatic Toxicology*, 1998, **43**(4): 239-260.
- [15] Gibbs P E, Bryan G W, Pascoe P L, *et al.* The use of the dogwhelk, *Nucella lapillus*, as an indicator of tributyltin (TBT) contamination [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1987, **67**(3): 507-523.
- [16] 杨建敏. 中国沿海脉红螺遗传多样性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [17] 魏利平, 邱盛尧, 王宝钢, 等. 脉红螺繁殖生物学的研究 [J]. *水产学报*, 1999, **23**(2): 150-155.
- [18] 谢卫, 王新红, 郑金树, 等. 厦门海域疣荔枝螺 (*Thais clavigera*) 体内有机锡化合物含量与分布特征 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 1072-1078.
- [19] Chau Y K, Maguire R J, Brown M, *et al.* Occurrence of butyltin compounds in mussels in Canada [J]. *Applied Organometallic Chemistry*, 1997, **11**(10-11): 903-912.
- [20] Ritsema R, Laane R W P M, Donard O F X. Butyltins in marine waters of The Netherlands in 1988 and 1989; concentrations and effects [J]. *Marine Environmental Research*, 1991, **32**(1-4): 243-260.
- [21] Rivaro P, Pensiero G, Frache R. Occurrence of butyltin compounds in water and mussel samples collected in an oil port [J]. *Applied Organometallic Chemistry*, 1999, **13**(10): 727-732.
- [22] Diez S, Lacorte S, Viana P, *et al.* Survey of organotin compounds in rivers and coastal environments in Portugal 1999-2000 [J]. *Environmental Pollution*, 2005, **136**(3): 525-536.
- [23] Morcillo Y, Porte C. Monitoring of organotin compounds and their effects in marine molluscs [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 1998, **17**(2): 109-116.
- [24] Oehlmann J, Di Benedetto P, Tillmann M, *et al.* Endocrine disruption in prosobranch molluscs: evidence and ecological relevance [J]. *Ecotoxicology*, 2007, **16**(1): 29-43.
- [25] MEPC. International convention on the control of harmful anti-fouling systems on ships [R]. London: IMO, 2001.
- [26] 中华人民共和国交通部. 《不宜在船舶有害防污底系统中使用充当杀虫剂的有机锡化合物》的公告 [EB/OL]. <http://www.moc.gov.cn/2006/05gongzuo/guojijiezuo/guojity/t20031120-15302.html>, 2008-01-01.

## CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan .....	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM <sub>2.5</sub> at Dinghu Mount .....	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing .....	HUANG Yi-min, LIU Zi-ru, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> Species in Shenzhen .....	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou .....	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China .....	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City .....	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors .....	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method .....	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changlu River .....	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City .....	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed .....	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorus in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter .....	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan .....	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary .....	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland .....	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai .....	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas .....	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province .....	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China .....	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Floes .....	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk ( <i>Rapana venosa</i> ) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China .....	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System .....	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm .....	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process .....	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon .....	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon .....	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation .....	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process .....	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon .....	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter .....	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX .....	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process .....	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System .....	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Floes .....	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method .....	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules .....	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery .....	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes .....	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i> .....	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay .....	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment .....	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 .....	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities .....	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation .....	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media .....	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil .....	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot .....	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density .....	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils .....	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils .....	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant .....	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils .....	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills .....	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide .....	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC .....	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon .....	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application .....	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China .....	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

# 《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)

2013年4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 15, 2013

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