

# 盘锦红海滩重金属与石油污染调查

樊晓茹<sup>1,2</sup>, 何洁<sup>1,2</sup>, 刘欢<sup>1,2</sup>, 刘远<sup>1,2</sup>, 魏海峰<sup>1,2</sup>, 陆文婷<sup>1,2</sup>, 卢希<sup>1,2</sup>

(1. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 近岸海洋环境科学与技术辽宁省高校重点实验室, 辽宁 大连 116023; 2. 辽宁省海洋生物资源恢复与生境修复重点实验室, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 本文选取了辽宁省盘锦市红海滩 6 个采样点的沉积物, 通过测定其中重金属和石油各组分的含量, 调查盘锦红海滩的重金属和石油的污染情况。结果表明, 各采样点中除退化区的 Cu 和茂盛区的 Pb 含量高于《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002) I 类标准外, 其他各区域重金属含量均低于 (GB 18668-2002) I 类标准。茂盛区的植物必需金属 Fe、Mg、K 含量在 36.9~46.1 g/kg 之间, 高于退化区和光滩区的 30.7~38.0 g/kg; 退化区和茂盛区的土壤样品含油浓度较高, 在 1.6~5.2 mg/kg 之间, 光滩区的土壤样品含油浓度较低, 为 2.5 mg/kg, 均远低于 (GB 18668-2002) I 类标准 500 mg/kg; 退化区的土壤中多环芳烃各组分含量在 0.4~51.8 ng/g 之间, 相比于其他地区的 0.2~25.0 ng/g 较高, 而光滩区土壤中多环芳烃各组分含量在 0.2~3.8 ng/g 之间, 相比于其他地区的 0.3~51.8 ng/g 较低; 不同区域土壤正构烃的组成(C<sub>10</sub>~C<sub>35</sub>)基本相同, 但是分布特征存在较大差别。

**关键词:** 红海滩; 重金属; 石油

中图分类号: X5      文献标识码: A      文章编号: 1000-3096(2018)07-0097-08  
DOI: 10.11759/hyxx20171025002

红海滩位于辽宁省盘锦市大洼县境内, 地处辽河三角洲湿地内, 总面积为 1.34 万 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 其优势种耐盐植物盐地碱蓬(*S. salsa* (L) Pall), 是盘锦重要的生态旅游资源<sup>[2]</sup>。但近年来, 盐地碱蓬出现大面积退化和枯死现象, 湿地的生态环境遭到严重破坏。沿海滩涂的污染不仅对湿地的退化影响巨大, 对人类的生存和发展也会构成威胁<sup>[3]</sup>, 研究显示, 重金属污染和石油污染是我国海滨湿地主要污染之一<sup>[4]</sup>。重金属是一类累积性污染物, 长期蓄积会破坏土壤的自净能力, 同时会对植物产生毒害作用, 从而造成植物生长发育迟缓、减产甚至死亡<sup>[5]</sup>。而植物必需金属的缺乏也会抑制植物的生长发育。范海等<sup>[6]</sup>发现, K 会使盐地碱蓬的含水量和肉质化程度降低。朱鸣鹤等<sup>[7]</sup>指出, 潮滩植物对常见重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 均具有累积作用。张静等<sup>[5]</sup>研究显示, 我国北方主要河流沉积物中重金属 Pb 污染最为严重, 海河的重金属富集程度最高, 周秀艳等<sup>[8]</sup>、张婧等<sup>[9]</sup>先后对辽东湾湿地重金属污染状况进行了评价, 认为辽河口地区重金属污染程度和潜在风险较高。石油烃具有疏水性, 会吸附在悬浮物上随潮流迁移, 最终沉淀在海底和潮间带的沉积物上, 从而改变土壤结构, 影响植物生长<sup>[10]</sup>。近十几年的中国海洋环境状况公报显示, 我国近海海域主要污染

物之一为石油类, 李胜勇<sup>[11]</sup>测定了渤海及其邻近海域表层沉积物中石油烃的含量, 结果表明, 渤海及邻近海域表层沉积物受到了石油污染, 辽河油田位于辽河下游, 油田的开采、运输等都可能造成红海滩的石油污染。

本文通过对盘锦红海滩各采样点进行取样, 测定其重金属和石油各组分的含量, 对红海滩的重金属和石油污染情况进行调查, 分析探讨盐地碱蓬(*S.salsa*(L)Pall)退化与湿地重金属和石油含量的关系, 为红海滩湿地生态修复提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

在盘锦红海滩区域共布设 6 个采样点, A、B 为

收稿日期: 2017-10-25; 修回日期: 2018-03-19  
基金项目: 盘锦红海滩湿地退化机制与生态修复技术研究与示范 (PHL-XZ-2017013-002); 辽宁省自然科学基金资助项目(2015020616) [Foundation: Research and Demonstration of Degradation Mechanism and Ecological Restoration Technology of Panjin Pink Beach Wetland, No.PHL-XZ-2017013-002; Natural Science Foundation of Liaoning, No.2015020616]  
作者简介: 樊晓茹(1993-), 女, 辽宁朝阳人, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态环境修复, 电话: 18840860153, E-mail: 1055125669@qq.com; 何洁, 通讯作者, 副教授, 研究方向为海洋生态环境修复, E-mail: hejie@dlou.edu.cn

茂盛区, C、D、F 为退化区, E 为光滩区, 于 2017 年 4 月 13 日用采泥器采集表层(深度约 5 cm)沉积物样

品, 每个采样点采集 3 个平行样现场混匀, 装入自封袋, 并用 GPS 进行定位导航, 采样点位置见图 1。

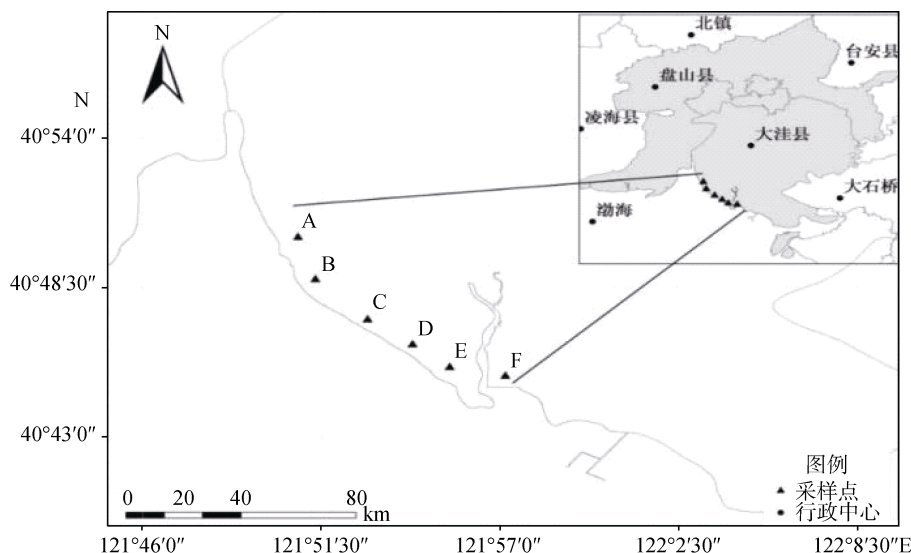


图 1 红海滩采样点分布示意图

Fig. 1 Sampling sites and location of Panjin Red Beach

## 1.2 方法

### 1.2.1 重金属的测定

土样的处理: 将采集的土样自然风干, 用研钵碾碎, 过 40 目尼龙筛, 分装备用。

采用火焰原子吸收分光光度法测定土壤中的 Cu、Pb、Zn、Fe、Ca、Mg、K; 采用石墨炉原子吸收分光光度法测定土壤中的 Cd; 采用二苯碳酰二肼分光光度法测定土壤中的 Cr。

### 1.2.2 石油浓度及各组分的测定

采用紫外分光光度法, 测定土壤样品石油浓度。

采用 GC-MS 测定土壤中石油的正构烃组分和多环芳烃组分: 称取 10 g 风干土样于 50 mL 玻璃离心管中, 加入适量经盐酸酸洗过的铜粉, 加入  $400 \times 10^{-6}$  的 PAHS 内标溶液, 加入 25 mL 正己烷和 25 mL 二氯甲烷, 进行超声萃取 30 min, 重复萃取 2 次。样品在 2 200 r/min 下离心 5 min, 将上清液转移至 200 mL 鸡心瓶, 进行旋转蒸发浓缩至 3~5 mL; 采用湿式填充柱法, 向层析柱中加入 80 mL 体积比为 1:1 的正己烷溶液和二氯甲烷溶液进行洗脱, 将洗脱液转移至 200 mL 鸡心瓶, 进行旋转蒸发浓缩至净干, 向鸡心瓶中加入 1 mL 正己烷定容, 转移至进样瓶待测。

## 2 结果与分析

### 2.1 红海滩各采样点重金属含量情况

图 2 和图 3 为红海滩各采样点的重金属含量情

况。从中可知, F 区 Cu 含量略超出(GB 18668-2002)I 类 Cu 的限值 35 mg/kg。Cu 对植物的毒害效应之一为抑制其生长, 有研究表明<sup>[12-13]</sup>过量的 Cu 会阻碍植物对二价铁的吸收, 从而导致植物缺铁病的发生, 植物缺铁会抑制叶绿素的形成, 因此, F 区中 Cu 对盐地碱蓬的生长可能有影响。Zn 在各采样点的含量均低于(GB 18668-2002)I 类限值 150 mg/kg, 而 E 区 Zn 的含量明显低于其它区域。李强等<sup>[14]</sup>通过试验发现, 小麦缺 Zn 是产量降低的主要因素之一。因此, E 区盐地碱蓬的生长状况可能与土壤缺乏 Zn 有关。同(GB 18668-2002)I 类限值相比较, B 区的 Pb 含量超过了限值 60 mg/kg; Pb 对植物产生毒害时会通过影响光合作用来抑制植物的生长<sup>[15]</sup>, 而 B 区的盐地碱蓬生长茂盛, 这可能说明盐地碱蓬对 Pb 有耐性。何洁等<sup>[16]</sup>的研究表明, 在高含量 Pb 的胁迫下, 盐地碱蓬对 Pb 表现出较强的耐毒性能力。各采样点 Cr 的含量均低于(GB 18668-2002)I 类标准 80 mg/kg; Cr 积累会使植物受害, 从而抑制植物的生长发育, 过量积累甚至可致植物死亡<sup>[17-18]</sup>。在 A 区中的 Cr 含量最低, 而 B 区 Cr 含量最高, F、E 区则次之, 说明这一区域 Cr 含量可能不是影响盐地碱蓬生长的主要因素。采样点各区域 Cd 含量均未超过(GB 18668-2002)I 类标准限值 0.5 mg/kg。Cd 的生物毒性较强, 而且含量较低时就可能会对植物产生危害, 如阻碍根系生长, 改变细胞膜透性, 抑制其对水分和养分的吸收<sup>[19]</sup>, 从而影

响作物的产量和品质。程旺大等<sup>[20]</sup>研究发现, Cd 胁迫下会使水稻的产量以及品质显著降低。各采样点中的 Cd 含量分布都比较均匀, 与盐地碱蓬的生长状况并没有表现出明显的相关性。

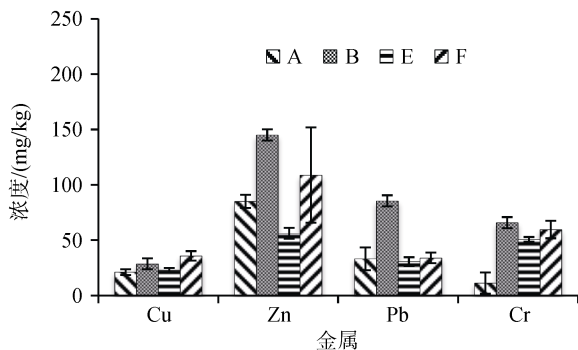


图 2 不同区域 Cu、Zn、Pb、Cr 含量

Fig. 2 content distribution of Cu, Zn, Pb and Cr in different regions

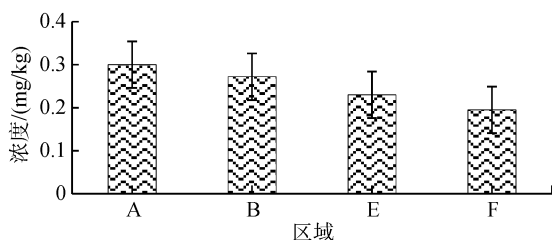


图 3 不同区域 Cd 含量

Fig. 3 distribution of Cd content in different regions

## 2.2 红海滩各采样点植物必需金属含量情况

图 4 为各区域植物必需金属含量情况, 可看出 Fe 在 B 区的浓度较高, 在 E 区较低。Fe 是植物合成叶绿素所必需的, 植物缺 Fe 会影响其生长和发育。吕秀平等<sup>[21]</sup>的研究表明, 铜绿微囊藻叶绿素 a 的生物合成离不开 Fe, 缺 Fe 会使叶绿素 a 大幅度降低, 减少植物对光能的吸收利用, 从而导致细胞光合作用能力下降。因此, Fe 可能是这一区域限制盐地碱蓬生长的因素之一。Mg 是叶绿素的重要组成部分, 会影响植物的光合作用。Mg 在 B 区含量最高, 而 A 区中 Mg 的含量与 E、F 区相当, 且 A 区 Fe、K 含量也均比 B 区的低, 由此可得出 A 区盐地碱蓬存在可能会退化的危险。K 是植物必需营养元素之一, 对植物的生长、发育与生理代谢等起着重要作用, K 充足时, 植物的抗病能力也可得到增强。K 在 B 区含量最高, 而在 E、F 区中, K 含量则相对较低。说明 K 含量的大小可能与盐地碱蓬的生长状况有一定的关系。Ca 是植物体内一些酶的组分和活化剂, 缺 Ca 会抑制

植物芽或根的生长。从图中可以看出 B 区中 Ca 含量最低, 在 E 区中含量最高, 因此, 可认为 Ca 含量的大小可能对盐地碱蓬的生长状况无影响。

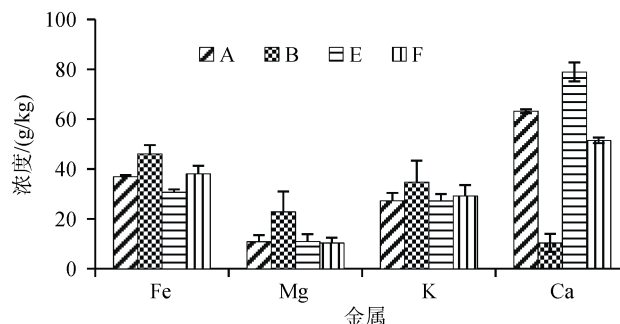


图 4 不同区域植物必需金属含量

Fig. 4 essential metal content of plants in different regions

## 2.3 红海滩各区域土壤石油浓度情况

图 5 为各区域土壤石油浓度情况, 从中可以看出, C 区石油含量较低, D 区石油浓度较高, 其他各区域石油浓度均无明显差异, 但都远低于 (GB 18668-2002) I 类标准 500 mg/kg。D 区石油浓度较高, 可能原因为, D 区的地表径流受到了石油污染, 使该区域石油浓度较高, 而 C 区的土壤潮湿, 含水率较高, 使得石油浓度较其它区域低。程国玲等<sup>[22]</sup>发现土壤中含有低浓度的矿物油会促进植物的生长。A、B 区的石油浓度高于 C、F 区, 且属于茂盛区, 土壤中含有一定浓度的石油可能会促进盐地碱蓬的生长。

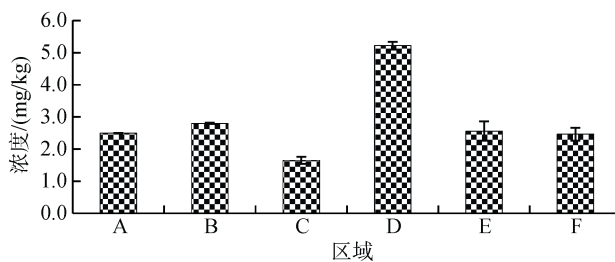


图 5 各区域土壤石油浓度情况

Fig. 5 petroleum content of soil in different regions

## 2.4 红海滩各区域土壤正构烃各组分情况

图 6 为各区域土壤中正构烃各组分含量, 从中可看出, 本次实验在沉积物样品中检测出的正构烷烃的范围为  $C_{10} \sim C_{35}$ , 与其它成分相比, 高碳基数烷烃 ( $C_{25} \sim C_{35}$ ) 占优势。图 7 为各区域沉积物正构烃分布图, 能够看出, 正构烷烃含量在 161.68~901.31 ng/g 之

间, 正构烃组分含量最高的区域为B区, 为901.31 ng/g, 含量最低的为C区, 为161.68 ng/g。盘锦红海滩各区域土壤石油正构烷烃组分为  $C_{10}\sim C_{35}$ , 同其它组分相比,  $C_{25}\sim C_{35}$  含量较高, 可能原因为红海滩的石油污染物是前峰较低后峰较高的类型, 李胜勇<sup>[9]</sup>的研究也表明渤海及邻近海域表层沉积物正构烷烃链长

分布范围为  $C_{11}\sim C_{36}$ , 前峰群含量较高的是  $C_{16}$  和  $C_{21}$ , 后峰群含量较高的是  $C_{29}$  和  $C_{31}$ 。还可能因为随着碳链的增加, 土壤中的微生物对正构烃组分的降解速度减小, 何云馨<sup>[23]</sup>通过土壤微生物对石油烃污染物进行去除, 研究表明随着碳数的增加, 正构烷烃的降解速度逐渐变小。

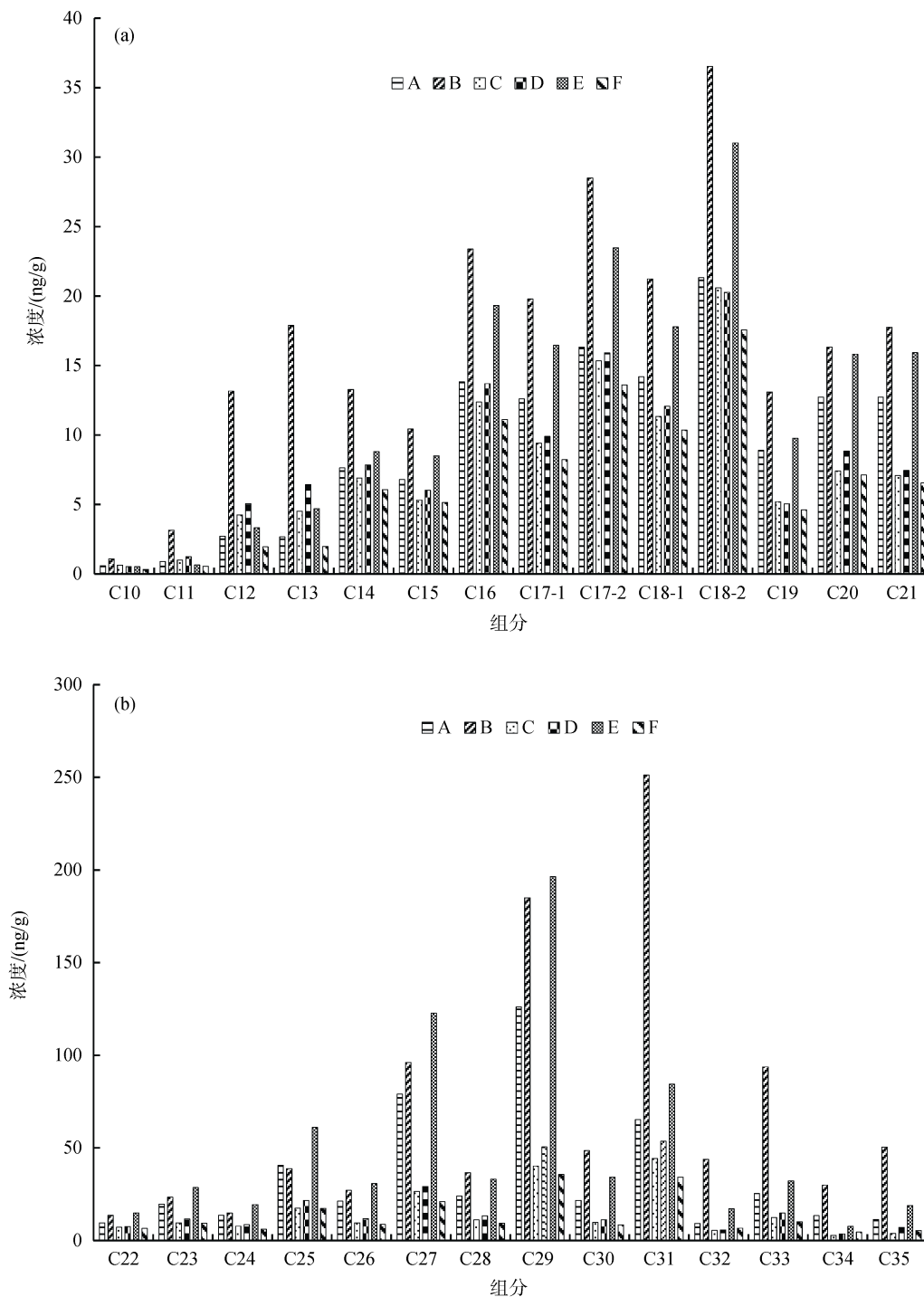


图6 各区域土壤中正构烃各组分含量

Fig. 6 content of composition of normal hydrocarbon in soil in different regions

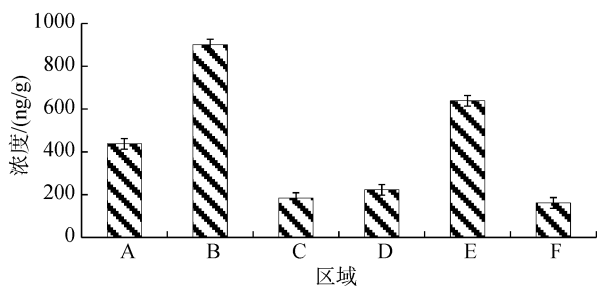


图 7 各区域土壤正构烃分布图

Fig. 7 map of soil normal hydrocarbon distribution in different regions

## 2.5 红海滩各区域土壤多环芳烃各组分情况

图 8 为土壤中多环芳烃各组分含量,可以看出,与其他区域相比, C 区土壤中多环芳烃各组分含量相对较高, E 区土壤中多环芳烃各组分含量相对较低, C、D、F 区的多环芳烃各组分的含量均大于 A、B 区, 孙铁珩<sup>[24]</sup>通过种植苜蓿草, 发现可以提高土壤中多环芳烃各组分的降解率。因此可认为茂盛区的多环芳烃的低含量是由于盐地碱蓬对其各组分的降解作用。不同区域土壤的多环芳烃各组分中, 菲、荧

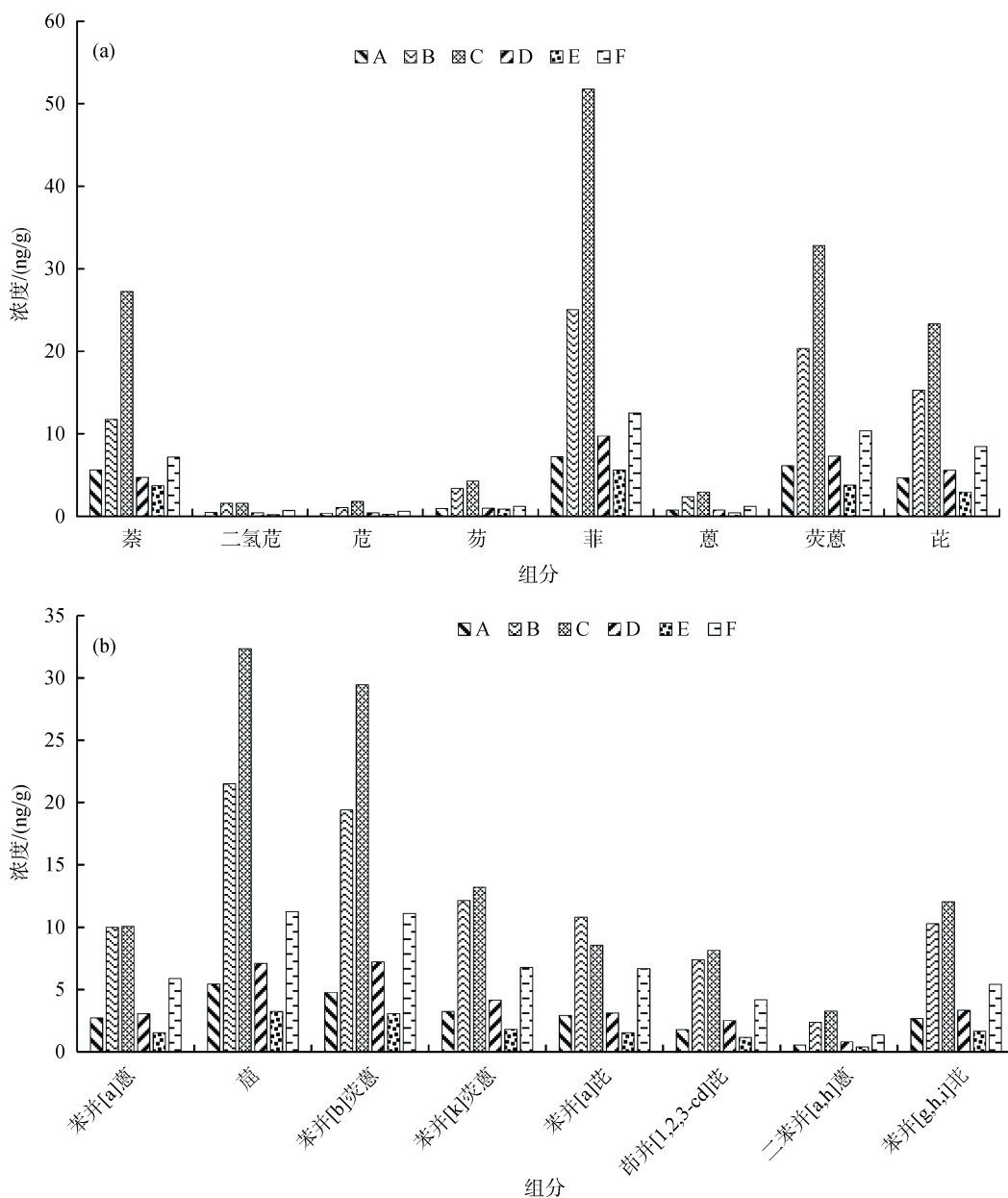


图 8 土壤中多环芳烃各组分含量

Fig. 8 content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil

蒽、苯并[b]荧蒽、萘、蒎的含量相对较高,且菲含量较高的区域,其它组分含量也较高,这可能与菲的增溶作用有关,有研究表明,菲具有较强的增溶作用<sup>[25]</sup>,能影响土壤中有机污染物浓度、土壤的吸附-解吸能力,能制约土壤中有机污染物的传质速率和降解、迁移和转化等一系列生物、化学过程<sup>[26]</sup>,还有可能与污染源有关,任建新等<sup>[27]</sup>的研究表明胶州湾南部海域表层沉积物中的菲、蒽、苯并[a]蒽等多环芳烃主要来自石油及其产品的输入,张娇等<sup>[28]</sup>研究的结果发现,黄河口北断面沉积物中的多环芳烃来自热解源和石油污染,南断面沉积物中多环芳烃的来源主要为热解源。C区和B区中菲和荧蒽的含量均超过了《土壤环境质量标准》(GB 15618-2008)中土壤有机污染物的一级标准限值 0.020 mg/kg, 0.015 mg/kg, 荧蒽对植物根系长度和表面积的增加有抑制作用,并且随着荧蒽浓度的增加,抑制作用也随之增强<sup>[29]</sup>。因此B区很可能会转变为退化区。退化区中苯并[b]荧蒽的含量超过了标准限值 0.010 mg/kg, 苯并[b]荧蒽对植物有毒害作用,会导致植物死亡,因此,高含量的苯并[b]荧蒽可能会使盐地碱蓬的数量减少。C区萘的含量超过了限值 0.015 mg/kg, 其他区域萘含量与盐地碱蓬的生长之间无明显关系;蒎在B、C、F区的含量均高于限值 0.010 mg/kg, 但均无明显差异,因此土壤中萘和蒎含量的多少可能不是影响盐地碱蓬生长的主要因素。

### 3 结论

根据(GB 18668-2002),红海滩土壤适用于I类。Pb在B区和Cu在F区的含量均超过了限值,而其它重金属Zn、Cr、Cd则在其规定的范围内。Cu、Pb、Zn、Cr、Cd的含量与盐地碱蓬生长并没有表现出明显相关性。Fe、Mg、K在B区,即茂盛区的含量,均高于退化区和光滩区,植物必需金属的缺乏可能是盐地碱蓬退化的原因之一。

退化区和茂盛区的土壤含油浓度高于光滩区,但都远低于(GB 18668-2002)I类标准 500 mg/kg。红海滩盐地碱蓬退化与土壤含油关系不明显。红海滩各区域土壤检测出的正构烷烃范围为C<sub>10</sub>~C<sub>35</sub>,且C<sub>25</sub>~C<sub>35</sub>占主要作用。不同区域土壤的多环芳烃各组分中,菲、荧蒽、苯并[b]荧蒽、萘、蒎的含量相对较高,且菲含量较高的区域,其它组分含量也较高。土壤中菲、荧蒽、苯并[b]荧蒽可能影响盐地碱蓬的生长。

### 参考文献:

- [1] 徐波. 红海滩湿地生态环境保护与措施[J]. 生态农林, 2017, 12: 71-72.  
Xu Bo. Ecological environment protection and measures of red beach wetland[J]. Ecological agroforestry, 2017, 12: 71-72.
- [2] 赵强, 李忠波. 盘锦“红海滩”退化与翅碱蓬耐盐性探讨[J]. 北方水稻, 2003, 5: 42-44.  
Zhao Qiang, Li Zhongbo. Degradation of red beach in Panjin and salt tolerance of Suaeda heteroptera[J]. Northern Rice, 2003, 5: 42-44.
- [3] 王刚. 沿海滩涂退化及影响因素分析[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(1): 53-58.  
Wang Gang. Degradation of tidal flat and its influencing factors[J]. Chinese fisheries economy, 2014, 32(1): 53-58.
- [4] 江洪友, 刘宪斌, 张秋丰, 等. 天津近岸海域沉积物重金属及砷分布与生态风险分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(9): 82-89.  
Jiang Hongyou, Liu Xianbin, Zhang Qiufeng, et al. Distribution and risk analysis of heavy metals and As in the surface sediment of Tianjin offshore area[J]. Marine Sciences, 2013, 37(9): 82-89.
- [5] 张静, 时伟宇, 陈怡平. 中国北方河流沉积物中重金属污染现状、来源及治理对策[J]. 地理环境学报, 2013, 4(4): 1393-1398.  
Zhang Jing, Shi Weiyu, Chen Yiping. Heavy Metals in Sediments of the River in North China: Status, Sources and Remediation[J]. Journal of Earth Environment, 2013, 4(4): 1393-1398.
- [6] 范海, 赵可夫. K<sup>+</sup>抑制盐生植物碱蓬生长机理的研究[J]. 山东师大学报(自然科学版), 1996, 4: 88-92.  
Fan Hai, Zhao Kefu. Study of the Inhibitory Effect of K<sup>+</sup> on the Growth of Suaeda Salsa[J]. Journal of Shandong Normal University (Natural Science), 1996, 4: 88-92.
- [7] 朱鸣鹤, 丁永生, 郑道昌, 等. 潮滩植物翅碱蓬对Cu、Zn、Pb和Cd累积及其重金属耐性[J]. 海洋环境科学, 2005, 2: 13-16.  
Zhu Minghe, Ding Yongsheng, Zheng Daochang, et al. Accumulation and tolerance of Cu, Zn, Pb and Cd in plant Suaeda Heteroptera Kitag in tideland[J]. Marine Environmental Science, 2005, 2: 13-16.
- [8] 周秀艳, 李宇斌, 王恩德, 等. 辽东湾湿地重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(5): 60-62.  
Zhou Xiuyan, Li Yubin, Wang Ende, et al. Heavy Metals Pollution and Relevant Ecological Risk Evaluation in Wetlands of Liaodong Gulf Area[J]. Environmental Science and Technology, 2004, 27(5): 60-62.
- [9] 张婧, 王淑秋, 谢琰, 等. 辽河水系表层沉积物中重



- 金属分布及污染特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2413-2418.
- Zhang Jing, Wang Shuqiu, Xie Yan, et al. Distribution and Pollution Character of Heavy Metals in the Surface Sediments of Liao River[J]. Environmental Science, 2008, 29(9): 2413-2418.
- [10] 吕双燕. 黄河三角洲滨海湿地石油烃和重金属空间分布规律与潜在生态风险研究[D]. 烟台: 鲁东大学, 2017.
- Lv Shuangyan. Spatial Distribution and Potential Ecological Risk of Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals in Coastal Wetlands of the Yellow River Delta[D]. Yantai: Ludong University, 2017.
- [11] 李胜勇. 渤海及邻近海域表层沉积物中石油烃的分布特征及来源研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- Li Shengyong. A study on the distribution and source apportionment of petroleum hydrocarbons in surface sediments from the Bohai Sea and adjacent area[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [12] Baron A M. Activities of Cu-containing proteins in cudepletedpealeave[J]. Physiol plant, 1998, 72: 801-806.
- [13] Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants[J]. Photosynthetica, 1997, 34(3): 321-342.
- [14] 李强. 锌对小麦生长及产量的影响[J]. 土壤肥料, 2004, 1: 16-17.
- Li Qiang. Response of lack of nitrogen, phosphorus, potassium to ginger[J]. Soil Fertilizer, 2004, 1: 16-17.
- [15] 王欣若. 土壤重金属 Pb、Cd 污染对植物的影响[J]. 节能环保, 2015, 6: 133.
- Wang Xinruo. Effects of Heavy Metal Pb and Cd Pollution on Plants in Soil[J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2015, 6: 133.
- [16] 何洁, 陈旭, 王晓庆, 等. 翅碱蓬对滩涂湿地沉积物中重金属 Cu、Pb 的累积吸收[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 6: 539-545.
- He Jie, Chen Xu, Wang Xiaoqing, et al. The absorption and accumulation of heavy metals Cu, and Pb in tidal wetland sediments by plant *Suaeda heteroptera Kitag*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2012, 6: 539-545.
- [17] 黄敏. 重金属 Cr<sup>6+</sup>对菹草无菌苗的毒害机制研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2014.
- Huang Min. Study on the Toxicity Mechanism of Heavy Metal Cr<sup>6+</sup> to Alfalfa Sterile Seedlings[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014.
- [18] Choudhury S, Panda S K. Induction of oxidative stress and ultrastructural changes in moss taxitheliu mnepalense under lead and arsenic phytotoxicity. Current Science, 2004, 87: 342-347.
- [19] 俞萍. 镉对植物生长的影响和植物耐镉机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(11): 89-95.
- Yu Ping. Effect of Cd on Plant Growth and Its Tolerance Mechanism[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(11): 89-95.
- [20] 程旺大, 姚海根, 张国平, 等. 镉胁迫对水稻生长和营养代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 3: 528-537.
- Cheng Wangda, Yao Haigen, Zhang Guoping, et al. Effect of Cadmium on Growth and Nutrition Metabolism in Rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 3: 528-537.
- [21] 吕秀平, 张栩, 康瑞娟, 等. Fe~(3+)对铜绿微囊藻生长和光合作用的影响[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2006, 1: 27-30.
- Lv Xiuping, Zhang Xu, Kang Ruijuan, et al. Effects of Fe<sup>3+</sup> on growth and photosynthesis of microcystis aeruginosa[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2006, 1: 27-30.
- [22] 程国玲, 李培军. 矿物油对小麦、苜蓿种子萌发和生长的影响[J]. 种子, 2007, 26(6): 24-27.
- Cheng Guoling, Lei Peijun. Effects of Petroleum on the Seed Germination and Growth of Wheat and Alfalfa in Soil[J]. Seed, 2007, 26(6): 24-27.
- [23] 何云馨. 不同类型溢油污染潮间带生物修复可行性现场中试研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- He Yunxin. On-site pilot study on the feasibility of bioremediation of different types of oil spills in intertidal zone [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [24] 孙铁珩. 污染土壤中多环芳烃生物降解的调控研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 640-644.
- Sun Tieheng. Regulation of polycyclic aromatic hydrocarbons biodegradation in contaminated soil[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(6): 640-644.
- [25] 宋玉芳, 区自清, 孙铁珩, 等. 土壤-植物样品中多环芳烃分析方法研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 92-96.
- Song Yufang, Qu Ziqing, Sun Tieheng, et al. A primary discussion on agroecosystem diversity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1995, 6(1): 92-96.
- [26] Nelson E B, Thomas P P. Relationship of lipophilicity to influx and efflux of triazineherbicides in oat roots. Pesticide biochemistry and Physiology, 1998, 30: 228-237.
- [27] 任建新, 马启敏, 杨雪娜, 等. 胶州湾表层沉积物中烃类有机物特征参数研究[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(2): 216-221.
- Ren Jianxin, Ma Qimin, Yang Xuena, et al. Characteristic parameters of organic hydrocarbons in the surface sediments of Jiaozhou bay[J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(2): 216-221.
- [28] 张娇, 张龙军, 宫敏娜. 黄河口及近海表层沉积物中烃类化合物的组成和分布[J]. 海洋学报, 2010, 32(3): 23-30.

Zhang Jiao, Zhang Longjun, Gong Minna. The distribution of hydrocarbons in the surface sediments from the Huanghe Estuary and adjacent area[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(3): 23-30.

[29] Noiraud N, Maurousset L, Lenoine R, et al. Sugar transporters in higher plants-a diversity of roles and complex regulation. Trends in Plant Science, 2000, 5(7): 283-290.

## Investigation of heavy metals and petroleum of red beach in Panjin

FAN Xiao-ru<sup>1, 2</sup>, HE Jie<sup>1, 2</sup>, LIU Huan<sup>1, 2</sup>, LIU Yuan<sup>1, 2</sup>, WEI Hai-feng<sup>1, 2</sup>,  
LU Wen-ting<sup>1, 2</sup>, LU Xi<sup>1, 2</sup>

(1. School of Marine Technology and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Key Laboratory of Nearshore Marine Environmental Science and Technology in Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Received:** Oct. 25, 2017

**Key words:** Red Beach; heavy metals; petroleum

**Abstract:** This paper chooses the soil at red beach in six sampling sites of Panjincity, Liaoning Province. It studied the pollution of heavy metals and oil in red beach by measuring the content of heavy metals and petroleum in sampling sites area. The results showed that the content of Cu in degraded areas and Pb in lush areas were higher than that of marine sediment quality standard (GB 18668-2002) class I standard, the heavy metals content in other areas is lower than (GB 18668-2002) Class I standard. The content of plant essential metals Fe, Mg and K in the flourishing area is between 36.9~46.1 g/kg, which is higher than that of the degraded area and the light beach area of 30.7~38.0 g/kg. The oil concentration of soil samples in degraded area and luxuriant area is higher, between 1.6 and 5.2 mg/kg, and the oil concentration of soil samples in floodplain is generally low, was 2.5 mg/kg, but they are far lower than (GB 18668-2002) class I standard 500 mg/kg. The content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil was between 0.4 and 51.8 ng/g in degraded area is relatively higher than that of other areas of 0.2 to 25.0 ng/g, but the content of PAHs in the soil of luxuriant areas was 0.2~3.8 ng/g, which was relatively lower than that in other areas between 0.3 and 51.8 ng/g. The composition of soil normal hydrocarbon in different areas is basically the same (C<sub>10</sub>~C<sub>35</sub>), but the distribution characteristics are quite different.

(本文编辑: 康亦兼)