

# 黄河三角洲生态区土壤石油污染及其对碱蓬萌发的生态影响

王传远<sup>1\*</sup>, 左进城<sup>2\*</sup>, 苗凤萍<sup>1</sup>, 杨翠云<sup>1</sup>, 宋忠国<sup>2</sup>

1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 鲁东大学生命科学院 山东 烟台 264025

**摘要:** 基于黄河三角洲生态区内的油田生产区中石油污染土壤的调查取样, 分析石油污染状况, 并在实验室人工控制条件下, 研究土壤中不同质量分数的石油污染对该区先锋植物——碱蓬 (*Salsola glauca* Bung) 的种子萌发影响。结果表明, 油田区土壤受到了不同程度的石油污染; 溢油处石油的质量分数最高达 6.230 g·kg<sup>-1</sup>。另外, 萌发实验说明在土壤污染情况下种子萌发率具有不确定性, 土壤石油污染质量分数为 5~40 g·kg<sup>-1</sup> 时, 对碱蓬种子的萌发无明显抑制作用。该研究对黄河三角洲生态区土壤石油类污染敏感指示指标的筛选和植物的生物修复具有重要意义。

**关键词:** 石油污染; 土壤; 碱蓬; 生态影响; 土壤生物修复; 黄河三角洲生态区

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0782-04

黄河三角洲有我国暖温带最完整、最年轻、最广阔的河口新生湿地生态系统。2009年11月, 国务院通过了《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》, 黄河三角洲的开发建设正式上升为国家战略。因此, 该地区的生态环境保护至关重要。黄河三角洲蕴藏着丰富的油气资源, 胜利油田部分油气资源区与黄河三角洲自然保护区在地域上交叉严重, 涉及油田11个<sup>[1]</sup>。在石油开采、试油、洗井、油井大修、堵水、松泵、下泵等井下作业和油气集输过程中, 均有原油洒落于地面, 造成石油污染<sup>[2]</sup>。石油污染将破坏土壤的结构, 改变营养成分的可利用性<sup>[3-4]</sup>, 影响生物的生长繁殖<sup>[5-6]</sup>, 降低整个湿地生态系统的质量, 对生物多样性造成严重破坏<sup>[7]</sup>。然而在石油污染区总能见到一些耐石油污染的植物, 这无疑对石油污染区域土壤的修复与改造提供了良好的研究材料。碱蓬 (*Salsola glauca* Bung) 是黄河三角洲滨海湿地的重要植被类型, 是陆地向滩涂延伸的先锋植物, 具有较高的生态价值和经济价值<sup>[8-9]</sup>。目前, 石油烃对碱蓬的生态影响国外报道较少, 而现有的国内研究尚不够深入和系统。因此, 除了研究修复区域土壤中石油烃的质量分数外, 进一步探讨碱蓬对原油的耐受范围、降解效果亦至关重要。为此, 本文拟通过实验室化学分析法评估黄河三角洲生态区土壤石油污染状况, 并结合不同石油质量分数条件下碱蓬种子的萌发试验探讨石油污染对碱蓬种子萌发的生态影响, 以期为该区域土壤环境的安全评价及石油污染土壤的治理与功能恢复提供一定的基础数据和背景资料。

## 1 实验和方法

### 1.1 土壤样品采集和分析

在黄河三角洲生态区的孤东油田、新滩油田、红柳油田随机选取3个油井(图1), 以放射状的方式在东、南、西、北4个方位距井口依次为0、20、100 m处分别采集0~20 cm深的表层土壤样品。采样点地形相对平坦、稳定, 具有代表性。为了对比分析, 样品还采集黄河三角洲生态区的核心区(大汶流管理站)的土壤样品。将采集的土壤样品自然风干, 研磨过100目筛后装袋。本研究基于传统索氏抽提法并采用重量法测定土壤总烃的质量分数(TPHs)。

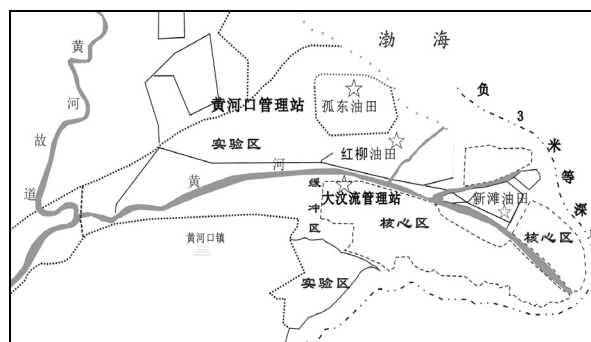


图1 采样点示意图 (☆为采样区域)

Fig.1 Map of the study area and sampling locations

### 1.2 室内模拟实验

供试材料为采集于黄河三角洲自然保护区内的当年碱蓬种子; 发芽基质为沙土; 受试物所用石油为胜利油田原油。

称取一定量沙土和石油, 配制出石油质量分数

基金项目: 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放基金项目(200907); 中国科学院优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金(AJ0809xx-035)

作者简介: 王传远(1975年生), 男, 副研究员, 博士, 主要从事环境地球化学研究。

\*通讯作者, E-mail: wangchy6111@163.com; zuo2008@hotmail.com

收稿日期: 2010-01-13

为  $40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的土壤母液，然后利用母液添加沙土进行稀释，分别配制出  $5$ 、 $10$ 、 $20$ 、 $40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的石油质量分数。再设置  $0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  即纯沙土作为对照，共有  $5$  个梯度。将石油与土壤充分混合均匀，静置  $3$  日，使土壤与石油充分接触后待用。在每个处理中，分别取等量土壤分别盛放在  $4$  个相同的塑料碗中（底部透水），共计  $20$  个试验组。选取籽粒饱满的碱蓬种子  $600$  粒，每个试验组播种  $30$  粒种子，覆土  $1 \text{ cm}$  左右放在室内自然采光、自然通风、室温等条件基本一致下进行培养，每天进行观察，浇水。待发芽后去除报纸并进行出芽数、芽长的记录，芽长每隔  $3$  天进行测量。试验于  $4$  月  $24$  播种， $4$  月  $27$  日出苗， $5$  月  $13$  日收获。

盆栽试验期间进行正常的水管理，病虫害防治及外观指标的记录。从种子培养开始每  $12 \text{ h}$  观察纪录  $1$  次种子发芽数，每  $72 \text{ h}$  测量株高。实验结束后，对碱蓬生物性状测定所得的数值，如芽长、萌发数、干质量、湿质量等进行数据分析。其中，发芽势 = 发芽达到高峰时发芽种子数 / 供试种子数  $\times 100\%$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤石油污染状况

黄河三角洲受污染土壤面积占总面积的  $24\%$ ，落地油是最大的污染物，区域内石油类质量分数在  $9.2\sim 180.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间<sup>[10]</sup>；沉积物中多环芳烃的质量分数为  $0.0108\sim 0.252 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[11]</sup>。本次研究表明，调查区域土壤中石油的质量分数随空间分布呈现出一定的规律性（图 2）。土壤背景值为  $24\sim 67 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；实验区的新滩油田土壤中石油的质量分数范围为  $100\sim 4820 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，溢油泄漏区油泥石油烃的质量分数最高达  $6230 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；红柳油田为  $120\sim 1006.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；孤东油田为  $52\sim 720 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；而核心区的大汶流管理站仅为  $80\sim 220 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。同时，土壤中石油烃的质量分数具有距中心污染源向外递减辐射的趋势。

### 2.2 种子萌发实验分析

土壤中不同石油的质量分数对碱蓬种子发芽率的差异不明显，但发芽势的差异较明显。碱蓬的发芽势先是随着石油的质量分数变大而增大，之后随着石油质量分数继续增大到  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  而呈下降趋势；但即使下降其发芽势也比对照组的发芽势高（图 3-b）。例如， $5$  月  $1$  日时发芽率达到高峰时石油质量分数为  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的土壤，发芽势最高为  $30.8\%$ ，对照组的发芽势最低为  $13.3\%$ ，两者相差  $17.5\%$ 。由此可以看出，石油对碱蓬萌发具有一定的促进作用。当土壤石油质量分数为  $5$ 、 $20$ 、 $40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时，碱蓬种子的发芽势分别为  $28.3\%$ 、 $21.7\%$ 、 $22.5\%$ ，比石油质量分数为  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时分别低  $2.5\%$ 、 $9.1\%$ 、 $8.3\%$ 。

由图 3-a 可见，石油的质量分数为  $5$ 、 $10$ 、 $20$ 、 $40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时，碱蓬种子的最终萌发率很接近，分别为  $36.7\%$ 、 $35.0\%$ 、 $35.0\%$ 、 $35.8\%$ ，这与发芽势相比差异性不大。说明高质量分数的石油对碱蓬种子的萌发，尽管最终结果相比很接近，但需要一个适应过程，即种子的适应性。由图 3 还可以看出即使在石油质量分数为  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  即发芽势达到最高峰时，碱蓬种子的发芽势也仅仅是  $30.8\%$ ，没有达到  $50\%$ ，这与碱蓬种子本身萌发率低的原因有关，因为萌发率最高也只有  $36.7\%$ 。

### 2.3 石油污染对碱蓬的生态影响

土壤中石油烃质量分数随土层显著递减，大部分集中在  $20 \text{ cm}$  以上的土壤表层。石油污染使土壤有机质显著增加、 $\text{pH}$  显著降低<sup>[12]</sup>、土壤中的碳含量大幅度增加，氮、磷含量严重不足<sup>[13]</sup>。油侵入土壤，会产生堵塞作用，不利于土壤中水分及空气的渗透，影响作物生长。原油对植物的危害大部分是植物表面覆盖，以吸附为主。石油污染物对植物的危害，低分子烃比高分子烃强，主要是因为它能渗透到植物的组织内部，破坏正常的生理机能；高分子烃可能因分子较大而穿透能力差，但其易在植物表面形成一层薄膜，影响植物的蒸腾和呼吸作用<sup>[14-15]</sup>。

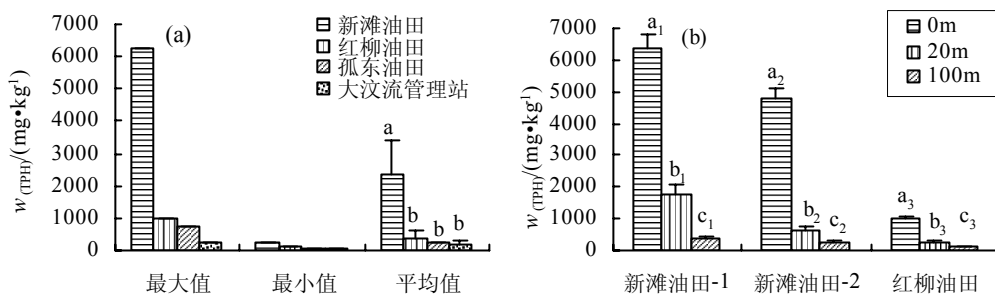


图 2 研究区不同油田土壤石油烃分布 (a) 和距中心污染源不同距离 (0、20、100 m) 的石油烃质量分数化规律 (b)  
Fig.2 Oil concentration in the soil of the studied area (a) and its variety with different distance from the center of pollution source (b)

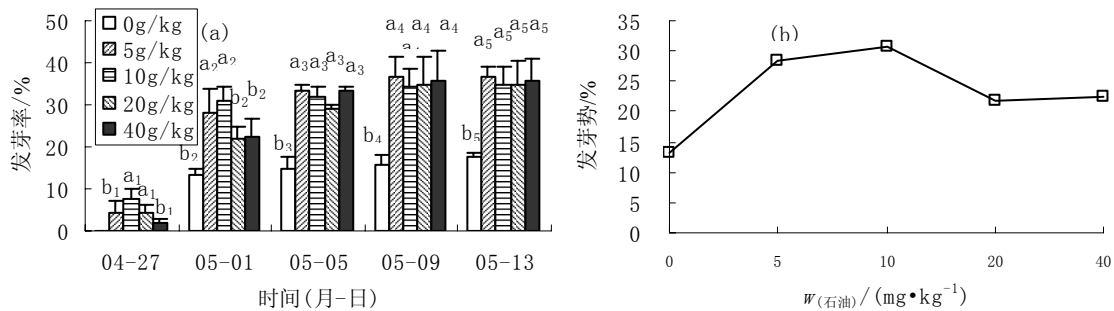


图3 不同质量分数石油烃对碱蓬发芽率(a)和发芽势(b)的影响

Fig.3 Effect of petroleum pollution on the seed germination rate (a) and germinating potentiality (b) of *S. glauca* under the conditions of different concentrations

有研究发现土壤石油烃质量分数为  $0.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时促进碱蓬种子的发芽率,而在  $1\sim 30 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时抑制碱蓬的萌发<sup>[16]</sup>。我们的实验结果与之不一致,这可能是由于我们实验所采用的碱蓬种子生长在油田附近,对石油的耐受性、适应性较强。从整个试验结果看,碱蓬种子的萌发率很低,最高也只有36.7%。碱蓬产种子的量非常大,这往往表现为种子的萌发率不高,这是生物对大自然的适应性。另外,不同石油质量分数下的碱蓬种子萌发率比对照组分别高19.2%、17.5%、17.5%、18.3%。对照组萌发率最差的原因可能是由于发芽基质为取于山上的沙土,营养成分不足或雨水导致所需离子的流失,萌发较差,而石油在某种程度上提供碱蓬萌发所需物质,促进碱蓬的萌发。而不同质量分数的石油对碱蓬萌发差异性不大,说明碱蓬种子对石油质量分数的适应性范围较广。

土壤石油污染物的质量分数为  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  时,对向日葵 (*Helianthus annuus*) 生理、产量、性状、农艺性状及籽仁质量有影响<sup>[17]</sup>。黄豆 (*Glycine max*) 生长土壤中石油烃污染的安全限量为  $5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[18]</sup>。由此还可说明不同植物的生长特性对石油污染有着不同的表现。碱蓬对石油污染适应性强,故可以利用碱蓬对石油污染区进行土壤修复与利用。种子发芽过程不仅受外界环境的影响,而且可以从胚根内得到养分供给,其中水分是种子萌发期最重要的限制因子。此外,种子的结构具有多种物理生化防范功能,能够有效阻止有毒物质的进入,因而土壤污染对种子发芽的毒害作用在一定范围内仅表现为部分抑制,只有土壤污染严重时种子发芽才能完全被抑制。

### 3 结论

黄河三角洲生态区石油污染严重,研究区石油烃质量分数为  $52\sim 6230 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且具有距中心污染源向外递减辐射的趋势;而核心区的大汶流管理站仅为  $80\sim 220 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

在一定范围内,石油污染促进碱蓬种子的萌发,且不同质量分数间的差异不明显,说明碱蓬种子对石油的耐受性与适应性较强。虽然实验中石油质量分数对碱蓬种子发芽率的影响不甚明显,但对发芽势的影响较大。不同植物的生长特性对石油污染有着不同的表现,碱蓬对石油污染适应性强,我们可以利用碱蓬对黄河三角洲生态区内石油污染区域进行土壤修复与利用。

### 参考文献:

- [1] 陶思明. 黄河三角洲湿地生态与石油生产: 保护 冲突和协调发展[J]. 环境保护, 2000, 6: 26-28.  
TAO Siming. Conflict and coordination development of wetland conservation and petroleum production in the Yellow River Delta[J]. Environmental Protection, 2000, 6: 26-28.
- [2] 任磊, 黄廷林. 土壤的石油污染[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 360-363.  
REN Lei, HUANG Tinglin. Contamination of soils by petroleum[J]. Journal of Agriculture Science, 2000, 19(6): 360-363.
- [3] GREER C W, FORTIN N, ROY R, et al. Indigenous sediment microbial activity in response to nutrient enrichment and plant growth following a controlled oil spill on a freshwater Wetland[J]. Bioremediation Journal, 2003, 7(1): 69-80.
- [4] KISIC I, MESIC S, BASIC F, et al. The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops[J]. Geoderma, 2009, 149(3-4): 209-216.
- [5] ADAM G, DUNCAN H. Influence of diesel fuel on seed germination[J]. Environmental Pollution, 2002, 120(2): 363-370.
- [6] SMITH M J, FLOWERS T H, DUNCAN H J, et al. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues[J]. Environmental Pollution, 2006, 141(3): 519-525.
- [7] WALKER T R, CRITTENDEN P D, YOUNG S D, et al. An assessment of pollution impacts due to the oil and gas industries in the Pechora basin, north-eastern European Russia[J]. Ecological Indicators, 2006, 6(2): 369-387.
- [8] 张学杰, 樊守金, 李法曾. 中国碱蓬资源的开发利用研究状况[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(2): 1-3.  
ZHANG Xuejie, FAN Shoujin, LI Fazeng. Development and utilization

- tion of *Suaeda salsa* in China[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2003, 22(2): 1-3.
- [9] 于海芹, 张天柱, 魏春雁, 等. 3种碱蓬属植物种子含油量及其脂肪酸组成研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2077-2082.  
YU Haiqin, ZHANG Tianzhu, WEI Chunyan, et al. Fat contents and fatty acid composition in the seeds of three species of *Suaeda*[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2005, 25(10): 2077-2082.
- [10] 何庆成. 黄河三角洲地质环境与可持续发展[M]. 北京: 地质出版社, 2006.  
HE Qingcheng. Sustainable Development and Major Geo-environmental Problems in the Yellow River Delta[M]. Beijing: Geological Press, 2006.
- [11] Hui Yamei, Zheng Minghui, Liu Zhengtao, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Yellow River Estuary and Yangtze River Estuary, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21: 1625-1631.
- [12] 刘五星, 骆永明, 滕应, 等. 石油污染土壤的生态风险评价和生物修复 II. 石油污染土壤的理化性质和微生物生态变化研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 848-853.  
LIU Wuxing, TUO Yongming, TENG Ying, et al. Eco-risk assessment and bioremediation of petroleum contaminated soil II. Changes in physico-chemical properties and microbial ecology of petroleum contaminated soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(5): 848-853.
- [13] GREER C W, FORTIN N, ROY R, et al. Indigenous sediment microbial activity in response to nutrient enrichment and plant growth following a controlled oil spill on a freshwater Wetland[J]. Bioremediation Journal, 2003, 7(1): 69-80.
- [14] 孙清, 陆秀君, 梁成华. 土壤的石油污染研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(5): 390-393.  
SUN Qing, LU Xiujun, LIANG Chenghua. Progress on contamination of soils by petroleum[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2002, 33(5): 390-393.
- [15] ADAM G, DUNCAN H. Influence of diesel fuel on seed germination[J]. Environmental Pollution, 2002, 120(2): 363-370.
- [16] 张丽辉, 刘爽, 赵骥民. 土壤石油污染对 2 种藜科植物种子发芽率的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 10995-10996.  
ZHANG Lihui, LIU Shuang, ZHAO Jimin. Effects of petroleum contaminated soil on seed germination rate of 2 kinds of Chenopodiaceae plant[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2007, 35(34): 10995-10996.
- [17] 李春荣, 王文科, 曹玉清, 等. 石油污染土壤对向日葵生长的影响[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(4): 97-99.  
LI Chunrong, WANG Wenke, CAO Yuqing, et al. Influences of petroleum contaminated soil on growth of sunflower[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(4): 97-99.
- [18] 李春荣, 王文科, 曹玉清, 等. 石油污染土壤对黄豆生长的生态毒性效应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(1): 116-120.  
LI Chunrong, WANG Wenke, CAO Yuqing, et al. Eco-toxicity of petroleum contaminated soil on the growth of soybean[J]. Journal of Northwest A & F University: Nat. Sci. Ed., 2008, 36(1): 116-120.

## Oil pollution of soil and its ecological impact on seed germinate of *Salsola glauca* Bunge in the Yellow River Delta Swamp, China

WANG Chuanyuan<sup>1</sup>, ZUO Jincheng<sup>2</sup>, MIAO Fengping<sup>1</sup>, YANG Cuiyun<sup>1</sup>, SONG Guozhong<sup>2</sup>

1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003, China; 2. College of Life Science, Ludong University, Yantai 264025, China

**Abstract:** Oil pollution of soil in different area of Yellow River Delta Swamp, China, was analyzed and the seed germination rate of pioneer plant in the area-*Salsola glauca* Bunge under different soil contamination condition was also investigated in detail in this research. The results indicated that the soil in Yellow River Delta Swamp were polluted by petroleum, with the highest oil content reaching 6 230 g·kg<sup>-1</sup>. When the petroleum pollution concentration in soil was 5~40 g·kg<sup>-1</sup>, it had some promoting effect on seed germination of *Salsola glauca* Bunge. The study can contribute to screening the sensitive indicator indices of petroleum pollution in soil and ascertaining bioremediation plants in soil contaminated by petroleum.

**Key words:** Oil pollution; *Salsola glauca* Bunge; Seed germination; Ecological zone of Yellow River Delta.