

土壤石油污染对植物种子萌发和幼苗生长的影响

刘继朝¹, 张燕平², 邹树增³

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001; 3. 桂林工学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了研究土壤石油污染对植物种子萌发和幼苗生长的影响, 选取中原油田地区的原油和潮土, 通过盆栽试验研究了不同石油污染水平条件下的植物种子发芽率、株高和鲜重。结果表明, 土壤中石油含量不同, 对黑麦草 (*Lolium perenne* L.)、高羊茅 (*Festuca arundinacea*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、白三叶草 (*Trifolium repens* L.)、红三叶草 (*Trifolium pratense*) 的各项生长指标影响不同, 当土壤中的石油含量较高时, 对植物的生长有抑制作用。向日葵 (*Helianthus annuus* L.)、棉花 (*Gossypium hirsutum* L.)、高丹草 (*Sorghum sudangrass*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 在试验设计石油污染水平范围内发芽率、株高及鲜重受影响较小, 能生长在石油污染的土壤上, 其中狗牙根, 生存能力强, 是试验中的最具有修复土壤石油污染研究潜力的植物。

关键词: 土壤石油污染; 种子萌发; 幼苗生长

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0123-04

中图分类号: X171.5

Effects of Oil-contaminated Soil on the Germination and Growth of Plant Seedling

LIU Ji-chao¹, ZHANG Yan-ping², ZOU Shu-zeng³

(1. Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China; 2. He'nan Institute of Geological Survey, Zhengzhou, He'nan 450001, China; 3. Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: In order to study the effects of oil-contaminated soil on the germination and growth of plant seedling, crude oil and fluvo-aquic soil in the oil extraction area of Zhongyuan Oil Field were selected to study seed germination, individual height, and fresh weigh germination under the condition of various oil concentration of soil by the pot-planting experiment. Results show that the variation of oil concentration of soil has different effects on each index of ryegrass, tall fescue, alfalfa, white clover, and red clover growth. Crude oil restrains growth of them when its content is high. All treatments have less effect on seed germination, individual height and fresh weight of sunflower, cotton, Bermuda grass, and sorghum sudanense. They can grow on oil-contaminated soil. Bermuda grass can be fit to grow on the crude oil-contaminated soils by itself and it is a plant with the biggest experimental potential to phytoremediation of oil-contaminated soils in this experiment.

Keywords: soil oil contamination; seed germination; growth of plant seedling

石油污染物排入环境会对水体、大气、土壤和生态造成影响^[1]。就土壤而言, 80% 以上的落地原油被截留在 50 cm 以上的表层土壤中^[2], 逐渐积累导致土壤结构的破坏, 影响土壤通透性, 并对农作物的生长和发育造成很大的负面影响^[3]。

在我国, 每年新污染土壤 $1.0 \times 10^5 \text{ t}^{[4]}$, 仅在濮阳市中原油田采油区就形成了超过 667 hm^2 的石油污染土地。土壤受污染后除了直接影响植物生长外, 石油类污染还可以通过根系吸收后残留在植物体内, 通

过食物链影响人体健康^[5]。20 世纪 80 年代以来, 土壤的石油烃类污染成为世界各国普遍关注的环境问题^[6-11]。

此次研究选取中原油田的原油作为土壤污染物, 以中原油田区广泛生长的向日葵 (*Helianthus annuus* L.)、棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 等 9 种植物为研究对象, 通过盆栽试验研究不同石油污染处理对植物种子萌发和幼苗生长的影响, 为进一步筛选确定修复土壤石油污染的植物提供科学依据。

1 材料与方法

油污土壤对种子萌发和植物生长发育的影响,不仅与石油种类和石油污染浓度有关^[12],还与植物种类以及土壤类型有关^[13]。实验采用中原油田采油厂的原油和中原油田采油区的未受污染土壤及该区常见物种进行试验确保了实验结果在中原油田植物法土壤修复中的实用性。

1.1 试验材料

供试石油取自中原油田。供试土壤是取自中原油田采油区周边 0~20 cm 的无污染潮土。其有机质、碱解氮、有效磷、有效钾含量及 pH 值分别是 22.3, 60.5, 67.0, 682.6, 7.9 mg/kg。供试植物是向日葵、棉花、高丹草 (*Sorghum sudangrass*)、黑麦草 (*Lolium perenne* L.)、高羊茅 (*Festuca arundinacea*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.)、白三叶草 (*Trifolium repens* L.)、红三叶草 (*Trifolium pratense*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)，购自市场。

1.2 试验方法

实地调查中原油田采油区土壤环境表明,采油区

内原油污染物含量呈不均匀分布状态,最大值在 45 g/kg 左右。

此次试验根据中原油田采油区土壤原油污染实际情况结合前人的研究成果,设计的土壤(干重)污染水平为 0, 5, 15, 25, 35, 45 g/kg。试验于 2008 年夏季在新乡野外实验场进行。选用深 20 cm, 直径 26 cm, 面积 530.66 cm² 的陶盆作为容器,将过了 2 mm 筛的土壤充分混匀后每盆装入 4 kg(干重)。按照设计的土壤(干重)污染水平采用完全混合的方式分别添加原油。

土壤与原油混均时不使用任何有机溶剂。浇水后静置 5 d,使原油、土壤充分混合稳定后播种。棉花、向日葵、高丹草种子较大,每盆播种 50 粒,其它的植物播种量均为每盆 100 粒,每个处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 土壤石油污染对种子发芽的影响

以播种后 20 d 时发芽种子数与播种种子总数的百分比来统计在石油类污染物不同水平下,各供试植物发芽率。试验结果见表 1。

表 1 在不同石油污染水平条件下的种子发芽率

供试植物	石油污染水平/(g·kg ⁻¹)						%
	0.0	5.0	15.0	25.0	35.0	45.0	
向日葵	86.7 ±3.1	83.3 ±2.3	82.0 ±2.0	81.7 ±1.2	80.7 ±3.1	78.7 ±3.1	
棉花	85.3 ±3.1	82.0 ±2.0	81.3 ±1.2	80.3 ±3.1	77.3 ±3.1	75.7 ±3.1	
高丹草	80.7 ±1.2	77.3 ±2.3	76.0 ±2.0	75.3 ±2.3	74.3 ±1.2	72.3 ±3.1	
黑麦草	74.0 ±1.0	70.7 ±3.1	65.7 ±0.6	60.0 ±1.0	54.3 ±1.5	49.0 ±2.6	
高羊茅	71.7 ±1.5	68.0 ±2.0	63.0 ±1.0	57.0 ±1.7	52.3 ±2.1	45.7 ±1.5	
紫花苜蓿	56.3 ±1.5	54.0 ±1.0	50.3 ±2.1	45.7 ±2.5	41.3 ±1.5	37.7 ±2.1	
白三叶草	54.7 ±1.5	54.0 ±1.0	51.7 ±0.6	45.7 ±1.5	39.0 ±2.6	25.3 ±3.1	
红三叶草	53.0 ±1.7	53.0 ±1.0	48.3 ±2.1	44.0 ±1.7	32.7 ±1.5	22.7 ±2.5	
狗牙根	75.3 ±2.5	75.0 ±1.0	74.0 ±1.7	73.3 ±1.5	72.3 ±1.5	70.0 ±2.0	

表 1 中的石油污染水平为 0 g/kg(对照组)的试验数据显示,受种子自身条件的影响,不同的供试植物种子之间发芽率存在较大的差异。统计表明,向日葵、棉花、高丹草的发芽率较高,均达到 80% 以上;黑麦草、狗牙根、高羊茅,发芽率在 71.7%~75.3% 之间;红三叶草、白三叶草、紫花苜蓿的发芽率最低,仅为 53.0%~56.3%。

同一植物在不同石油污染水平条件下的发芽率数据表明,随着土壤中石油污染水平的增加,各供试植物的种子发芽率均呈现出不同程度的下降趋势,从

而证明石油对供试植物种子萌发有抑制作用。与对照组的发芽率相比,在 5.0~45 g/kg 的污染水平范围内向日葵、棉花、高丹草、黑麦草、高羊茅、紫花苜蓿、白三叶草、红三叶草、狗牙根的发芽率分别下降了 3.4%~8.0%, 3.3%~10.4%, 3.4%~8.4%, 3.3%~24.0%, 3.7%~26.0%, 2.3%~18.6%, 0.7%~29.9%, 0.0~30.3%, 0.3%~5.3%。参考方差分析资料认为,试验设计的所有污染水平对向日葵、棉花、高丹草、狗牙根发芽率影响差异不显著;对于黑麦草、高羊茅、苜蓿、白三叶草、红三叶草,当污染水平为

5.0 g/kg 时对发芽率影响不显著;当石油污染水平为 15, 25, 35, 45 g/kg 时对发芽率影响显著。

本文通过分析认为,是供试植物自身对石油污染物反应的敏感性不同决定了其在不同污染水平条件下种子发芽率的差异。向日葵、棉花、高丹草、狗牙根发芽率高,且对石油污染反应不敏感,对土壤石油污染适应能力强。

2.2 采油区土壤对植物幼苗生长发育的影响

石油污染对植物的生长发育的影响与植物的种类有关。除了同一植物对不同石油污染水平条件下生长发育状况不相同之外,同一石油污染水平对不同植物的生长发育会产生不同的影响。

2.2.1 石油污染物对株高的影响 播种后 50 d 时测量供试植物土壤表面至叶片尖端的最大高度,结果见表 2。表 2 中对照组数据表明,在不受污染时供试植物株高种间差异显著,株高由高到低的排列顺序为:向日葵 > 狗牙根 > 高丹草 > 棉花 > 紫花苜蓿 > 高羊茅 > 黑麦草 > 红三叶草 > 白三叶草。对比各供试植物不同污染水平的株高数据方差分析结果,可以看出随着石油污染水平的增加,各供试植物的株高呈下降趋势。

以对照组的株高为参照,在 5.0 ~ 45 g/kg 的污染水平范围内,向日葵、狗牙根、高丹草、棉花受到的影响相对较小,株高分别下降了 5.9% ~ 15.9%, 2.7% ~ 10.7%, 1.9% ~ 11.6%, 7.7% ~ 32.3%;其它几种植物的株高受影响相对较大,黑麦草株高下降了 12.5% ~ 68.0%,高羊茅株高下降了 11.3% ~ 58.2%,紫花苜蓿株高下降了 12.7% ~ 68.0%,白三

叶草株高下降了 11.1% ~ 63.9%,红三叶草株高下降了 13.6% ~ 72.0%。

分析认为,向日葵、狗牙根、高丹草、棉花不但品种自身植株相对高大,而且随着石油污染水平的增加植株高度受影响较小,株高随石油污染水平增加降低较慢,对土壤石油污染环境适应能力强。紫花苜蓿、高羊茅、黑麦草、红三叶草、白三叶草受品种自身限制植株相对矮小,石油对株高生长的影响较大,株高随石油污染水平增加降低较快,对土壤石油污染环境适应能力弱。

2.2.2 石油污染物对鲜重的影响 播种后 50 d 时称量供试植物鲜重结果见表 3。对照组资料显示,供试植物鲜重种间差异显著。供试植物鲜重由大到小的排列顺序为:向日葵 > 棉花 > 高丹草 > 狗牙根 > 紫花苜蓿 > 黑麦草 > 高羊茅 > 红三叶草 > 白三叶草。对比各供试植物不同污染水平条件下的鲜重数据可以看出,随着石油污染水平的增加,各供试植物的鲜重呈下降趋势。

以对照组植物的株高为参照标准,在 5.0 ~ 45 g/kg 的污染水平范围内,向日葵、棉花、狗牙根、高丹草受石油污染的影响不大,其鲜重分别下降了 0.2% ~ 11.1%, 3.4% ~ 20.6%, 3.2% ~ 8.6%, 1.2% ~ 10.8%。

其它几种植物的鲜重受影响相对较大。具体情况是黑麦草减小了 12.5% ~ 68.0%,高羊茅减小了 11.3% ~ 58.2%,紫花苜蓿减小了 12.7% ~ 68.0%,白三叶草减小了 11.1% ~ 63.9%,红三叶草减小了 13.6% ~ 72.0%。

表 2 在不同石油污染水平条件下的株高

供试植物	石油污染水平/(g·kg ⁻¹)						cm
	0.0	5.0	15.0	25.0	35.0	45.0	
向日葵	33.9 ±2.0	31.9 ±1.8	30.6 ±1.3	29.5 ±0.8	28.6 ±0.9	28.5 ±0.5	
棉花	15.5 ±0.6	14.3 ±1.6	13.6 ±1.7	11.3 ±0.8	10.8 ±0.5	10.5 ±0.5	
高丹草	20.7 ±0.3	20.3 ±0.3	20.0 ±0.5	19.5 ±0.6	19.0 ±0.5	18.3 ±0.5	
黑麦草	12.8 ±1.4	11.2 ±1.9	9.4 ±1.9	7.4 ±1.9	5.6 ±1.9	4.1 ±1.2	
高羊茅	14.1 ±1.5	12.5 ±2.3	10.6 ±1.6	8.9 ±1.6	7.3 ±1.8	5.9 ±1.1	
紫花苜蓿	15.0 ±1.0	13.1 ±2.5	10.7 ±3.0	8.3 ±1.8	6.2 ±2.0	4.8 ±1.6	
白三叶草	10.8 ±1.1	9.6 ±1.5	8.2 ±1.4	6.8 ±1.4	5.2 ±1.9	3.9 ±1.3	
红三叶草	11.8 ±1.4	10.2 ±1.9	8.2 ±2.1	6.3 ±1.8	4.5 ±1.6	3.3 ±1.2	
狗牙根	26.1 ±1.0	25.4 ±0.9	24.5 ±0.6	24.0 ±0.7	23.6 ±0.3	23.3 ±0.4	

表 3 在不同石油污染水平条件下的单株鲜重

g

供试植物	石油污染水平/(g·kg ⁻¹)					
	0.0	5.0	15.0	25.0	35.0	45.0
向日葵	3.21 ±0.07	3.20 ±0.03	3.15 ±0.08	3.04 ±0.14	2.92 ±0.11	2.85 ±0.05
棉花	0.93 ±0.01	0.90 ±0.04	0.85 ±0.06	0.80 ±0.04	0.76 ±0.03	0.74 ±0.02
高丹草	0.83 ±0.01	0.82 ±0.01	0.79 ±0.02	0.77 ±0.01	0.76 ±0.01	0.74 ±0.01
黑麦草	0.45 ±0.02	0.42 ±0.03	0.38 ±0.05	0.32 ±0.07	0.25 ±0.08	0.20 ±0.03
高羊茅	0.37 ±0.03	0.34 ±0.04	0.31 ±0.03	0.27 ±0.05	0.22 ±0.06	0.19 ±0.05
紫花苜蓿	0.57 ±0.04	0.53 ±0.05	0.46 ±0.08	0.37 ±0.10	0.27 ±0.08	0.21 ±0.04
白三叶草	0.29 ±0.03	0.27 ±0.03	0.23 ±0.03	0.20 ±0.02	0.16 ±0.04	0.15 ±0.03
红三叶草	0.30 ±0.04	0.26 ±0.03	0.22 ±0.03	0.19 ±0.03	0.15 ±0.03	0.13 ±0.02
狗牙根	0.68 ±0.03	0.66 ±0.02	0.64 ±0.01	0.64 ±0.01	0.63 ±0.01	0.62 ±0.01

分析认为,向日葵、狗牙根、高丹草、棉花随着石油污染水平的增高鲜重量受影响较小。鲜重随石油污染水平增加减小缓慢,生长过程中对石油污染的危害自我调节能力强。紫花苜蓿、高羊茅、黑麦草、红三叶草、白三叶草,石油污染对其株高生长的影响较大,鲜重随着石油污染水平增加减小迅速,生长过程中对石油污染的危害自我调节能力弱。

3 结论

植物对土壤石油污染环境的适应能力可以用发芽率、株高及生物量等指标进行衡量。种子发芽率可以保证植物的繁衍必要条件;株高是获取阳光进行光合作用保障绿色植物正常生长发育关键;生物量是修复石油污染速度的指示指标,一般认为相同时间内植物生长发育形成的生物量越大修复效果越好。观测向日葵、棉花、高丹草、黑麦草、高羊茅、紫花苜蓿、白三叶草、红三叶草、狗牙根在试验设计的石油污染水平条件下的发芽及生长发育情况发现,向日葵、棉花、高丹草、狗牙根具有发芽率高,同一时间内株高生长相对较快,单株生物量大,对石油污染物不敏感等特性。在试验设计石油污染水平范围内发芽率、株高及鲜重受影响较小,是供试植物中对土壤石油污染环境适应能力较强的植物。从成本角度来说,采用向日葵、棉花、高丹草进行土壤石油污染修复需要每年进行人工种植和管理,经济成本较高;而狗牙根在中原油田地区有野生种群存在,生命力强,不怕践踏,繁殖迅速,蔓延快,成片生长生物量大,适应粗放型种植和管理,经济成本较低,是供试植物中的最具有修复石油污染研究潜力的植物。

[参 考 文 献]

- [1] 张兴儒,张士权. 油气田开发建设与环境影响[M]. 北京:石油工业出版社,1998:1-2.
- [2] 陈鹤建. 原油在土壤中的渗透及降解规律[J]. 油气田环境保护,2000,10(4):14-15.
- [3] 吕志萍,程龙飞. 石油污染土壤中石油含量对玉米的影响[J]. 油气田环境保护,2001,11(1):36-37.
- [4] 蔺昕,李培军,台培东,等. 石油污染土壤植物—微生物修复研究进展[J]. 生态学杂,2006,25(1):93-100.
- [5] 孙铁珩,周启星,李培军. 污染生态学[M]. 北京:科学出版社,2001:309-368.
- [6] 卢丽丽,石辉. 植物修复石油污染土壤的研究进展[J]. 化工环保,2007,27(3):245-249.
- [7] Muratova A Y, Turkovskaya O V, Hübner T, et al. Studies of the efficacy of alfalfa and reed in the phytoremediation of hydrocarbon-polluted soil[J]. Appl Biochem Microbiol,2003,39(6):599-605.
- [8] Merkl N, Schultze-kraft R, Infante C. Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils[J]. Water, Air and Soil Pollution,2005,165(1):195-209.
- [9] Li X, Feng Y, Sawatsky N. Importance of soil water relations in assessing the endpoint of bioremediated soils: I. Plant growth[J]. Plant and Soil,1997,192:219-226.
- [10] 张松林,赵首彩. 紫花苜蓿在石油污染土壤中的萌发状况[J]. 生态环境,2004,13(4):569-571.
- [11] 李春荣,王文科,曹玉清. 石油污染土壤对黄豆生长的影响[J]. 安全与环境学报,2007,7(4):28-30.
- [12] Ogboghodo IA, Iruaga E K, Osemwota IO, et al. An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties, germination and growth of maize (*Zea mays*) using two crude types-forcados light and escravos light[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2004,96:143-152.
- [13] 孙铁珩,宋玉芳. 土壤污染的生态毒理诊断[J]. 环境科学学报,2002,22(6):689-695.