

植物修复对石油污染土壤脱氢酶活性的影响

王建, 林发荣, 张壮壮, 赵小秦, 山宝琴, 祁迎春

(延安大学石油工程与环境工程学院, 陕西延安 716000)

摘要:为了解植物修复对石油污染土壤脱氢酶活性的影响, 分别设置 0、5、10、20、40 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 5 个石油污染水平土壤, 以沙打旺、草木犀、黄花蒿和紫花苜蓿为修复植物进行盆栽试验, 探讨不同石油污染水平下土壤脱氢酶活性特征。结果表明: 种植植物后不同浓度石油污染土壤脱氢酶活性在 5.4~21.2 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 都高于对照土壤 (4.8~7.9 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), 植物根系作用对土壤脱氢酶活性具有一定的促进作用; 土壤原始石油浓度 0~40 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内, 沙打旺、黄花蒿和草木犀修复后, 土壤脱氢酶的活性随土壤石油浓度增加而增加, 而紫花苜蓿修复后, 石油浓度为 20 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时土壤脱氢酶的活性最大, 为 13.7 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 相关性分析得出土壤脱氢酶活性与总有机碳在 0.01 水平上呈显著正相关, 相关系数为 0.626; 土壤脱氢酶活性与石油残留量间成正相关关系, 但相关性都不显著。

关键词: 石油污染; 植物修复; 脱氢酶活性

随着石油的生产和消费量的不断增加, 在开采、炼制、贮运、使用过程中石油及各种石油产品进入环境而造成的污染问题日益严重, 石油污染土壤的修复成为国际环境科学界的热点问题之一^[1,2]。植物修复由于其成本低、不破坏土壤和河流生态环境以及不引起二次污染等优点成为石油污染土壤修复的热点研究^[3~5]。

在土壤生态中, 土壤酶活性可以反映处理体系中微生物的量及其对有机物的降解能力, 能够在更短的时间里反映出土壤质量的变化。当土壤受到石油污染后, 土壤系统中酶活性会受到一定的影响^[6]。常学秀^[7]等研究发现土壤脱氢酶是微生物降解石油烃机制中的重要因素之一, 石油烃通过脱氢酶活化氢原子并传递给特定的受体, 实现石油烃的氧化和转化。其活性的大小可较敏感地反应土壤中生化反应的方向强度。张丽莉^[8,9]等发现土壤脱氢酶是存在于土壤中的生物催化剂, 可有效地促进土壤中的有机污染物进行净化。因此, 开展土壤脱氢酶活性与石油污染土壤修复之间相互关系的研究, 寻求适合的酶活参数越来越受到土壤环境工作者的重视。

本文通过盆栽试验研究不同浓度石油污染土壤经沙打旺、草木犀、黄花蒿和紫花苜蓿 4 种植物修复后土壤脱氢酶活性的变化, 并探讨土壤酶活性与石油污染物残留量之间的关系, 为植物修复工作及实现石油烃污染土壤的绿色修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为延安市宝塔区未受污染的农田表层土壤 (0~20 cm), 土样采集后, 在室内自然风干并磨碎过 4 mm 土壤筛, 保存备用。土壤 pH 值为 8.22, 有机质含量为 8.83 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

试验用原油采自延安宝塔区延长油田姚店镇张皮沟油井。

供试植物分别为沙打旺、草木犀、黄花蒿和紫花苜蓿, 其种子均采自未受污染的土壤上生长健壮的植株。

1.2 试验方法

1.2.1 实验设计 设置 0、5、10、20、40 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 共 5 个土壤石油质量浓度处理组, 各土壤石油浓度设一组对照组 (不种植物), 每组重复 3 次, 共计 75 个处理。实验时每盆栽土 2.5 kg, 种植植物 30 株, 在露天自然状态下培养 6 个月。试验期间每 2 天浇一次水, 保持土壤含水率达到 60% 以上, 并定期随机交换花盆的位置。在培养结束前后分别测定土壤的石油烃浓度, 并计算石油降解率。

1.2.2 油污土壤制备 每 kg (以烘干土计) 清洁土壤中加入 0、5、10、20、40 g 原油, 搅拌均匀并静置 7 天, 等土壤颗粒与石油充分接触后测定土壤石油烃 (TPH) 质量浓度。

1.3 测定方法

土壤石油烃 (TPH) 含量的测定采用非色散

收稿日期: 2017-04-20 修回日期: 2017-05-20

基金项目: 国家级大学生创新训练项目 (201610719019); 陕西省教育厅项目 (No. 16JK1855); 延安市科技创新团队项目 (2015CHTD-04)。

第一作者简介: 王建 (1982-), 男, 陕西延安人, 博士, 讲师, 主要从事环境监测方面的研究。

通信作者: 祁迎春 (1983-), 女, 青海乐都人, 硕士, 实验师, 主要从事土壤污染与治理方面的研究。

红外吸收法;土壤总有机碳采用总有机碳分析仪测定;土壤 pH 用 pH 计测定,水土比为 1:2.5;土壤脱氢酶活性采用 TTC 分光光度法测定,即以 TTC(2,3,5-氯化三苯基四氮唑)为受氢体,无色的 TTC 接受氢后变成红色的三苯基甲臜(TF),根据产生红色的色度进行比色定量分析,脱氢酶的活性用 TF($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)表示。

2 结果与分析

2.1 植物修复前不同浓度石油污染土壤理化性状

表 1 植物修复前不同浓度石油污染土壤理化性状

浓度/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH	含水率 /%	脱氢酶活性/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
0(对照)	2.76	8.24	1.44	4.78
5	2.87	8.26	1.27	5.60
10	3.20	8.23	1.23	6.49
20	3.56	8.23	1.19	5.41
40	4.49	8.25	1.19	7.93

2.2 土壤石油烃的降解率

图 1 是对照及植物修复 60 d 后土壤中石油烃的降解率。由图 1 可知,在未种植植物(对照组)和 4 种植物修复后,土壤中的石油污染物都会减少,但植物修复土壤石油烃的降解率明显大于未种植植物的对照土壤,植物修复能显著提高石油烃的降解率。黄花蒿对土壤石油烃的降解效果与对照组相差不大,说明黄花蒿对石油污染土壤

植物修复前不同浓度石油污染土壤的理化性状见表 1。由表 1 可知,随着石油浓度的增加,有机碳的含量也逐渐增减,对照土壤有机碳为 $2.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,相对于对照土壤,各浓度梯度的石油污染土壤有机碳分别增加了 $0.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;土壤 pH 值在 8.23~8.26 之间,随石油浓度的增加没有明显变化趋势;土壤含水率在 1.19%~1.44% 之间,石油浓度越高,含水率越低;对照土壤脱氢酶的活性为 $4.78 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,各处理土壤脱氢酶的活性在 $5.41 \sim 7.93 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,都高于对照土壤。

的降解作用不显著。由图 1 还可以看出,土壤初始石油污染浓度为 5 和 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,植物修复 60 d 后石油烃降解率较高,土壤初始石油污染浓度大于 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,石油降解率相对较低。主要是由于土壤中石油浓度的增加阻碍了植物根系的呼吸与吸收,进而影响到根部微生物活动与代谢,微生物代谢的减慢降低了石油烃降解的效果。

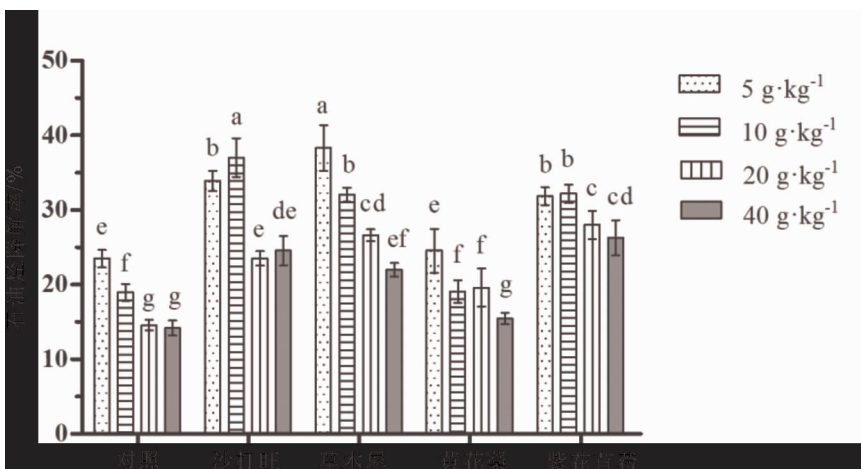


图 1 不同植物修复下土壤石油烃的降解率^[10]

2.3 植物修复对土壤脱氢酶活性的影响

图 2 为不同植物修复后土壤脱氢酶的活性,由图可知,在未种植植物的情况下(对照组),清洁

土壤脱氢酶的活性为 $4.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,不同石油污染水平土壤脱氢酶的活性在 $5.4 \sim 7.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,石油污染土壤脱氢酶的活性略高于清洁土壤,可能是由于石油污染物的添加为微

生物提供新的碳源,微生物活性有所增加^[11],而微生物的大量生长直接导致了微生物合成的脱氢酶活性增加。此外,不同石油污染水平下,对照组土壤脱氢酶的活性在 $4.8 \sim 7.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,而沙打旺、草木犀、黄花蒿和紫花苜蓿修复土壤脱氢酶的活性分别在 $7.1 \sim 21.2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $5.4 \sim 14.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $6.7 \sim 11.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $5.2 \sim 13.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,植物修复土壤脱氢酶的活性明显高于对照组(未种植植物),有研究表明,有植被覆盖的土壤中,细菌种类的丰富度比无植被土壤中要高得多^[12,13],而土壤微生物又是土壤酶的主要来源,因此,种植植物能显著提高土壤酶的活性。

由图 2 还可以看出,土壤石油浓度不同,土壤脱氢酶活性也有所不同,沙打旺、黄花蒿和草木犀

修复石油污染土壤后,土壤脱氢酶的活性随土壤石油浓度增加而增加,其中,沙打旺修复土壤脱氢酶活性增加幅度最大,土壤石油浓度为 $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时脱氢酶活性达到 $24 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;这与时腾飞等^[14]人得出的石油污染对土壤脱氢酶活性呈单调促进作用研究结果一致。主要原因是石油中的烃类、酚类等物质为脱氢酶提供了营养物质。此外,kirk 等^[15]人研究表明,石油污染后黑麦草根际异养菌和石油烃降解菌的数量是对照的 233.37 倍;陈嫣等^[16]研究表明,石油污染后紫花苜蓿和披碱草的根际微生物数量要高出对照 1~2 个数量级,根际环境中植物根系的分泌物促使了根际微生物群体的增加和活性的提高,从而提高了土壤脱氢酶的活性。

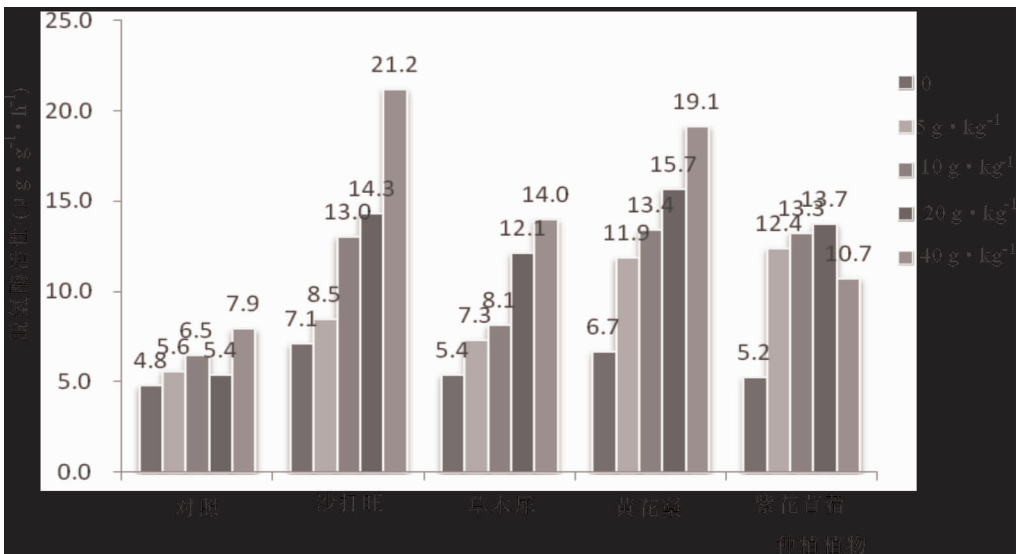


图 2 不同植物修复后土壤脱氢酶活性

紫花苜蓿修复石油污染土壤时脱氢酶的变化表现为:土壤石油浓度小于 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,土壤脱氢酶的活性随着石油浓度的增加而升高,由 $5.2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 升高到 $13.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,当石油浓度为 $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,土壤脱氢酶的活性又降至 $10.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,可能是由于在紫花苜蓿修复后期易降解污染物减少,难降解物质积累以及有毒代谢产物增加,导致微生物活性降低^[17]。

2.4 土壤脱氢酶活性与石油烃降解率之间的关系

为了研究土壤脱氢酶活性与石油烃降解率之间的关系,通过 spss18.0 对土壤的 pH 值、总有机碳、降解率与土壤脱氢酶活性做相关性分析。结果见表 2,土壤脱氢酶活性与总有机碳在 0.01 水平上呈显著正相关,相关系数为 $P=0.626$,说明土壤脱氢酶活性随着有机碳含量的增加而增

加,土壤有机碳的增加对脱氢酶的活性有促进的作用,这也证实了王靖^[10]等人的结论。除此之外,土壤脱氢酶活性与 pH、石油烃降解率间相关性均不显著。张晶等^[18]研究得出的土壤脱氢酶与土壤 TPH 和 PAHs 含量呈极显著正相关,王华金等^[19]研究得出脱氢酶活性与石油烃残留量呈极显著负相关性,本研究得出土壤脱氢酶与石油烃降解率之间相关性不显著,但可以看出土壤脱氢酶活性与降解率之间呈负相关关系,即土壤脱氢酶活性与石油残留量间成正相关关系。由此可见,恢复污染土壤原有生态功能和状态是一个长期而复杂的系统生态过程^[20],还有待于进一步研究。

表2 土壤 pH、总有机碳、降解率与脱氢酶活性的相关性

	脱氢酶活性/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	pH	总有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
pH	0.245		
总有机碳	0.626**	-0.075	
降解率	-0.358	0.470	-0.459

注: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

(1)不同石油污染水平下,未种植植物土壤脱氢酶的活性在 $4.8 \sim 7.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,沙打旺、草木犀、黄花蒿和紫花苜蓿修复土壤脱氢酶的活性在 $5.4 \sim 21.2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,植物修复能显著提高土壤脱氢酶的活性。

(2)土壤原始石油浓度 $0 \sim 40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内,沙打旺、黄花蒿和草木犀修复后,土壤脱氢酶的活性随土壤石油浓度增加而增加,紫花苜蓿修复后土壤脱氢酶活性随土壤石油浓度的增加表现为先增加后减小,石油浓度为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,土壤脱氢酶的活性最大,为 $13.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(3)相关性分析得出土壤脱氢酶活性与总有机碳在 0.01 水平上呈显著正相关,相关系数为 0.626;土壤脱氢酶活性与石油残留量间成正相关关系,但相关性都不显著。

参 考 文 献:

[1] 刘世亮,骆永明,丁克强,等. 土壤中有机污染物的植物修复研究进展[J]. 土壤学报,2003,35(03):187-192.

[2] 滕应,黄昌勇,龙健,等. 铜尾矿污染区土壤酶活性研究[J]. 应用生态学,2003,14(11):1976-1980.

[3] 秦晓,唐景春,张清敏,等. 两株真菌的分离及其在石油污染土壤修复中的作用[J]. 农业环境科学学报,2010,29(10):1999-2004.

[4] Schwab A P, Banks M K. Phytoremediation of petroleum contaminated soils. In: Adriano D C, ed. Bioremediation of Contaminated Soils[J]. Madison: American Society of Agronomy, 1999, 5(02):123-122.

[5] 孙铁街,宋玉芳,许华夏,等. 植物法生物修复 PAHs 和矿物油污染土壤的调控研究[J]. 应用生态学报,1999,10(02):225-229.

[6] 吕桂芳,赵吉,赵利,等. 应用土壤酶活性评价草原

石油污染的初步研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),1997,28(05):687-691.

[7] 常学秀,文传浩,沈其荣. 锌厂 Pb 污染农田小麦根际与非根际土壤酶活性特征研究[J]. 生态学杂志,2001,20(04):5-8.

[8] 张丽莉,陈利军,刘桂芬,等. 污染土壤的酶学修复研究进展[J]. 应用生态学报,2003,14(12):2342-2346.

[9] 魏丹. 土壤酶对改土培肥和土壤有机污染物的净化作用[J]. 黑龙江农业科学,1991,(04):48-50.

[10] 王建,祁迎春,冯琦,等. 黄土高原油污土壤植草恢复与土壤 CAT 活性的关系[J]. 陕西农业科学,2016,62(06):6-11.

[11] 王靖,张忠智,苏幼明,等. 石油污染土壤植物修复根际效应研究[J]. 石油化工高等学校学报,2008,21(06):36-40.

[12] 夏北成. 植被对土壤微生物群落结构的影响[J]. 应用生态学报,1998,(03):296-300.

[13] Douglas C L, Allmaras R R, Rasmussen P E, et al. Wheat straw composition and placement effects on de-composition in dryland agriculture of the pacificnorthwest[J]. Soil Science Society of America Journal,1980,44(04):833-837.

[14] 时腾飞,刘增文,田楠,等. 黄土区石油污染对土壤及豆科灌草植物的潜在影响[J]. 草地学报,2013,21(02):296-301.

[15] Kirk J L, Klironomos J N, Lee H, et al. The effects of perennial ryegrass and alfalfa on microbial abundance and diversity in petroleum contaminated soil[J]. Environmental pollution,2005,133(03):455-466.

[16] 陈嫣,李广贺,张旭,等. 石油污染土壤植物根际微生态环境与降解效应[J]. 清华大学学报,2005,45(06):784-787.

[17] 戴伟,白红英. 土壤过氧化氢酶活度及其动力学特征与土壤性质的关系[J]. 北京林业大学学报,1995,17(01):37-41.

[18] 张晶,张惠文,张勤,等. 长期石油污水灌溉对东北旱田土壤微生物生物量及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报 2008,16(01):67-70.

[19] 王华金,朱能武,杨崇,等. 石油污染土壤生物修复对土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报 2013,32(06):1178-1184.

[20] 宋玉芳,宋雪英,张薇,等. 污染土壤生物修复中存在问题的探讨[J]. 环境科学,2004,25(02):129-133.