

石油烃污染对三种灌木植物生理及叶绿素荧光参数的影响

陆秀君¹, 许有博¹, 李常猛¹, 魏彪¹, 冯薇²

(1. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 本溪市城市绿化管理处, 辽宁 本溪 117000)

摘要: 通过盆栽试验, 研究了不同浓度的石油烃胁迫对连翘、大花水桤木、紫穗槐生理及叶绿素荧光特性的影响。结果表明: 在石油烃胁迫下, 3种植物的MDA含量、电导率和叶绿素荧光参数与对照相比均有显著变化。3种植物的生理指标和叶绿素荧光参数的变化存在种间差异。石油烃含量在3 g/kg土和6 g/kg土2个处理中, 连翘的生理指标和叶绿素荧光参数的变化幅度要小于大花水桤木和紫穗槐, 对石油烃胁迫的抗性更强; 石油烃含量在12 g/kg土时, 3种植物的生长均受到最大抑制。

关键词: 石油烃; MDA含量; 电导率; 叶绿素荧光; 木本植物

中图分类号: Q 945.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)08-0027-04

石油是由上千种化学性质不同的物质组成的复杂混合物, 主要包括饱和烃、芳香烃类化合物、沥青质、树脂类等^[1]。石油对环境的污染主要为: 破坏土壤结构, 影响土壤通透性, 损害植物根部, 阻碍根的呼吸与吸收, 最终导致植物死亡; 石油中某些污染物会被植物吸收, 从而进入食物链, 对人类的身体健康造成危害^[2,3]。试验研究选用3种根系发达抗性强的灌木植物连翘、大花水桤木、紫穗槐在模拟石油污染土壤中种植, 探讨木本植物对石油烃类污染物的耐性, 为石油污染土壤的修复标准提供参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

连翘(*Forsythia suspense*)和大花水桤木(*Hydrang*

ea paniculata)为1 a生扦插繁殖的幼苗, 紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)为1 a生实生苗, 由沈阳农业大学植物园苗圃提供。原油采至辽河油田大民屯采油场。原油基本理化性质见表1。

1.2 盆栽试验设计

采用野外盆栽试验, 于沈阳农业大学植物园内进行。所用土壤为农田土表土20 cm, 风干, 过2 mm筛子。用三氯甲烷溶解原油添加到土壤中, 搅拌均匀, 配制不同油污水平的土壤: 处理1(C1)、处理2(C2)、处理3(C3), 各处理的石油投加量为3、6、12 g/kg土, 并以不加石油的土壤为对照(CK)。盆的规格为直径30 cm×25 cm, 每盆盛土6 kg, 各处理培养60 d后定期取样测定。

表1 原油基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of crude oil

密度 Density / g·cm ⁻³	凝固点 Freezing point / °C	蜡含量 Waxy content / %	烷烃 Alkane / %	芳烃 / %	胶质+沥青 Pectin+Pitch / %	粘度 Stickness(50 °C)/ mps
0.95	8~15	4~9.2	27.18	22.23	32.40	3 680~11 052

1.3 测定方法

丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法, 电导率采用外渗电导法^[4], 叶绿素荧光参数的测定采用

美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合仪测定。

1.4 数据分析

采用SPSS 11.5统计软件进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 石油烃胁迫对植物叶片中MDA含量的影响

受不同浓度石油烃的影响, 3种植物的叶片中MDA含量均发生了一定变化。如表2所示, 在低浓度(3 g/kg土)石油处理下, 连翘叶片的MDA含量显著升高($P < 0.05$), 而大花水桤木、紫穗槐的MDA含量有极显著的升高($P < 0.01$), 升高幅度分别达到14.40%和9.64%; 随着石油浓度的增加, MDA含量在连翘叶片中升高的不明显, 而在大花水桤木、紫穗槐叶片中仍有持续的升

第一作者简介: 陆秀君(1966-), 女, 博士, 教授, 现主要从事苗木栽培及栽培生理生态方面的研究工作。E-mail: luxiujun1993@sina.com.

通讯作者: 许有博(1983-), 男, 硕士, 现从事苗木培育研究工作。E-mail: kexyb@163.com.

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(20072125); 辽宁省“百万人才工程”资助项目(2008921057)。

收稿日期: 2009-03-24

高, 在高浓度(12 g/kg 土)胁迫下达到最大值。3种植物在石油烃胁迫下, 膜脂过氧化程度均表现出不同程度变化, 但连翘相对于大花水桤木和紫穗槐变化的幅度要小。

2.2 石油烃胁迫对植物叶片电导率的影响

由表 3 可知, 3种植物的电导率随着石油浓度的升高均有所升高。在低浓度(3 g/kg 土)胁迫下, 3种植物只有大花水桤木的相对电导率相对于 CK 增加了 22.56%, 其余均无显著变化; 在中度(6 g/kg 土)石油污染水平下, 大花水桤木和紫穗槐的相对电导率比 CK 分别增加了 61.03%和 58.65%; 在高浓度(12 g/kg 土)污染水平下, 3种植物的电导率都达到了最大值, 相对于 CK 均表现出显著的升高。说明 3种植物在高浓度(12 g/kg 土)石油烃胁迫下生长均受到抑制, 而在中低浓度

(3 g/kg 土、6 g/kg 土)石油污染下, 连翘的生长情况比大花水桤木和紫穗槐更好。

表 2 石油烃胁迫对植物叶片中 MDA 含量的影响

Table 2 Effect of petroleum hydrocarbon contamination on MDA content in leaves of plants nmol/g

处理 Treatment	连翘 <i>Forsythia suspense</i>	大花水桤木 <i>Hydrangea paniculata</i>	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>
CK	112.274±7.914Ab	718.745±1.951Bd	221.418±8.104Cd
C1	127.359±1.738Aa	729.097±1.100Bc	242.766±7.428Bc
C2	124.838±3.739Aa	768.469±6.073Ab	254.089±1.950Bb
C3	126.112±6.159Aa	821.397±5.662Aa	303.550±3.798Aa

注:表中数据为 3 次重复的平均值±标准偏差。同列数据后附不同大写字母者表示差异达 0.01 显著水平, 不同小写字母者表示差异达 0.05 显著水平, 下同。

Note: The data in Table was the average of times duplicate±standard deviation. Data with different capital letters were significant differences in the level of 0.01, different lowercase letters indicated significant difference at level of 0.05, the same as following.

表 3 石油烃对植物叶片电导率的影响

Table 3 Effect of petroleum hydrocarbon contamination on the electrical conductivity in leaves of plants

处理 Treatment	连翘 <i>Forsythia suspense</i>		大花水桤木 <i>Hydrangea paniculata</i>		紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	
	电导率	相对电导率/%	电导率	相对电导率/%	电导率	相对电导率/%
CK	0.67±0.01Bd	3.08±0.06Ac	0.41±0.03Bc	1.95±0.08Cd	0.18±0.02Ab	1.04±0.03Bb
C1	0.71±0.04Bcd	3.72±0.57Abc	0.41±0.02Bc	2.39±0.32Cc	0.19±0.03Aab	1.04±0.17Bb
C2	0.78±0.06ABbc	5.16±0.80Ab	0.44±0.26Bbc	3.14±0.19Bb	0.19±0.05Aab	1.65±0.37Aa
C3	0.90±0.07Aa	6.09±0.89Aa	0.57±0.05Aa	4.04±0.08Aa	0.25±0.02Aa	2.00±0.08Aa

2.3 石油烃胁迫对植物叶片荧光参数的影响

从表 4、5、6 可以看出, 3种植物在石油烃胁迫下叶片荧光参数的变化情况。在低浓度(3 g/kg 土)石油烃胁迫下, 3种植物叶片的 F_o 显著高于 CK 处理, 而 F_v 显著低于 CK 处理($P < 0.01$), 表明 PS II 反应中心被破坏或可逆失活, 但随着石油烃浓度升高, F_o 、 F_v 变化不明显; 中度(6 g/kg 土)污染下, 紫穗槐的 F_m 下降了 13.42%; 高浓度(12 g/kg 土)污染条件下, 连翘、大花水桤木、紫穗槐的 F_m 相对于 CK 均有显著下降, 下降幅度分别为 13.00%、18.76%、16.77%。

表 4 石油烃胁迫对连翘叶片荧光参数的影响

Table 4 Effect of petroleum hydrocarbon contamination on chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Forsythia suspense*

处理	F_o	F_v	F_m	F_v/F_m
CK	51.241±3.337Bb	305.507±14.948Aa	356.749±17.731Aa	0.856±0.005Aa
C1	106.350±24.223Aa	235.925±15.116Bbc	342.275±35.258Aab	0.692±0.039Bc
C2	115.155±10.990Aa	206.175±10.086Bcd	321.330±9.822Aab	0.682±0.030Bd
C3	98.901±29.653Aa	216.484±20.870Bd	310.385±39.249Ab	0.698±0.050Bbc

注:表中数据为 5 次重复的平均值±标准偏差。同列数据后附不同大写字母者表示差异达 0.01 显著水平, 不同大小写字母者表示差异达 0.05 显著水平, 以下各表同。

Note: The table data is 5 times of the average of duplicate ± standard deviation. Data with different capital letters were significantly differences in the level 0.01, different lowercase letters indicated significant difference at level of 0.05, the same as following.

在无污染 CK 条件下, 3种植物的 F_v/F_m 都维持在 0.85 左右, 没有明显差异, 在石油烃胁迫下, 3种植物均发生显著变化($P < 0.01$), 说明在石油烃胁迫下 3 种树种叶片 PS II 的原初光化学效率和从天线色素到 PS II 反应中心的传能效率均明显受到石油烃污染影响; 在中

度污染(6 g/kg 土)时, 连翘的 F_v/F_m 下降到了最低点, 比 CK 降低了 20.33%。大花水桤木和紫穗槐分别降低了 19.11%和 17.21%; 在高浓度时(12 g/kg 土), 大花水桤木和紫穗槐的 F_v/F_m 下降到了最低点, 分别比 CK 降低了 23.08%和 20.26%, 连翘下降了 18.46%。可见 3种植物中连翘受抑制程度最小, 荧光参数变化的幅度要低于其它 2 个树种。

表 5 石油烃胁迫对大花水桤木叶片荧光参数的影响

Table 5 Effect of petroleum hydrocarbon contamination on chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Hydrangea paniculata*

处理	F_o	F_v	F_m	F_v/F_m
CK	48.815±3.535Bb	295.946±21.512Aa	344.761±24.987Aa	0.858±0.002Aa
C1	97.447±15.589Aa	221.093±23.725Bbc	318.541±30.361Aa	0.694±0.039Bbc
C2	100.436±15.984Aa	210.664±24.104Bd	311.1±20.503Aab	0.676±0.052Bc
C3	95.208±9.337Aa	184.885±17.299Bcd	280.093±24.178Ab	0.660±0.019Bc

表 6 石油烃胁迫对紫穗槐叶片荧光参数的影响

Table 6 Effect of petroleum hydrocarbon contamination on chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Amorpha fruticosa*

处理	F_o	F_v	F_m	F_v/F_m
CK	51.609±2.112Bb	300.951±5.255Aa	352.560±5.082Aa	0.854±0.006Aa
C1	97.166±8.271Aa	224.056±12.164Bbc	321.221±26.795Abe	0.699±0.037Bc
C2	89.278±6.895Aa	215.962±17.001Bcd	305.240±17.097Acd	0.707±0.025Bbc
C3	93.891±18.258Aa	199.528±17.108Bd	293.420±26.045Ad	0.681±0.043Bc

3 讨论

石油烃胁迫下, 多种植物生长受到抑制, 生理生化指标发生变化^[5-7]。MDA 是膜脂过氧化作用的最终产物, 也是膜系统受害的一个重要指标^[8], 能与细胞内各种成分发生反应, 从而导致蛋白质、核酸和膜脂分子等

的氧化破坏,叶细胞内 MDA 含量越高,表明细胞膜受害程度越大。该试验结果表明,3 种植物 MDA 含量随着石油烃浓度的增加均出现显著升高的趋势,说明植物细胞膜受到了一定的伤害。而连翘无论在低浓度(3 g/kg 土)还是中高浓度(6 g/kg 土、12 g/kg 土)污染下,MDA 的升高幅度都没有大花水桤木和紫穗槐明显,说明连翘受污染胁迫的影响较小。

植物细胞膜对维持细胞的微环境和正常的代谢起着重要的作用,细胞膜对物质具有选择透性能力。当植物受到逆境影响时,细胞膜遭到破坏,膜透性增大,从而使细胞内的电解质外渗,以致植物细胞浸提液的电导率增大^[9]。相关研究表明,细胞膜透性是评定植物对污染物的反应的方法之一,细胞外渗液的电导率与污染物质含量成正相关^{[10][11]}。该试验结果表明,在中低浓度(3 g/kg 土、6 g/kg 土)污染下,连翘的电导率变化幅度低于大花水桤木和紫穗槐,而在高浓度(12 g/kg 土)的石油烃胁迫对 3 种植物的电导率均达到最大值,生长受到显著的抑制作用。

基础荧光(F_0)表示 PS II 反应中心全部开放即原初电子受体(QA)全部氧化时的荧光水平;最大荧光(F_m)是 PS II 反应中心完全关闭时的荧光产量,反映了通过 PS II 的电子传递情况;可变荧光(F_v)反映 PS II 原初电子受体 QA 的还原情况,与 PS II 的原初反应过程有关,代表着 PS II 光化学活性的大小; F_v/F_m 代表 PS II 原初光能转化效率,非环境胁迫条件下 F_v/F_m 极少变化,一般维持在 0.85 左右且不受物种的影响^[12]。慈敦伟等^[13]研究表明,在镉毒下,小麦叶片光系统II(PS II)明显受损,叶绿素荧光参数 F_v 、 F_m 和 F_v/F_m 随着镉浓度的升高而显著下降。黄俊华等^[14]报道,大气二氧化硫污染条件下,7 种园林植物的 F_v/F_m 平均为 0.78,说明存在一定的生长胁迫。王泽港等^[15]研究表明,有机污染物 1,2,4-三氯苯和萘胁迫下,水稻抽穗期叶片的 F_v/F_m 明显下降趋势。该研究结果表明,在低浓度(3 g/kg 土)石油烃胁迫下,3 种植物的叶片荧光参数 F_v 、 F_v/F_m 和 F_m 呈现显著上升趋势, F_0 呈显著下降趋势,这说明 3 种植物的光合作用均受到一定程度的抑制,而连翘的受抑制程度相对较小;在中度(6 g/kg 土)污染胁迫时,紫穗槐的 F_m 下降最显著;在高浓度(12 g/kg 土)胁迫下,3

种植物的荧光参数变化都很明显。

不同的植物种类,其受到石油烃污染物抑制效果不一样。3 种植物随着石油烃浓度的增加均出现不同程度的变化趋势,而在高浓度(12 g/kg 土)水平下变化最显著。由此可以说明 3 种植物对石油烃污染较为敏感,不适宜在石油烃污染较严重的地区栽培。而连翘在中低浓度(3 g/kg 土、6 g/kg 土)污染胁迫下的各项生理指标变化没有大花水桤木和紫穗槐显著,可能更适于在污染较轻的地区栽培。

参考文献

- [1] 陆光华,万蕾,苏瑞莲.石油烃类污染土壤的生物修复技术研究进展[J].生态环境,2003,12(2):220-223.
- [2] 许端平,王波.土壤中石油烃类污染物对高粱玉米生长的影响研究[J].矿业快报,2006(12):10-13.
- [3] 刘晓冰,邢宝山,周克琴,等.污染土壤植物修复技术及其机理研究[J].中国生态农业学报,2005,13(1):134-138.
- [4] 郝建军,刘延吉.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
- [5] Bailly C, Benamar A, Corbineau F, et al. Changes in malondialdehyde content and superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging [J]. Plant Physiology, 1996, 97: 104-110.
- [6] 蒋明义,荆家海.植物体内羟自由基的产生及其与脂质过氧化作用启动的关系[J].植物生理学通讯,1993,29(4):300-305.
- [7] 黄伟,贾志宽,韩清芳.蚜虫(*Aphis medicaginis* Koch)危害胁迫对不同苜蓿品种体内丙二醛含量及防御性酶活性的影响[J].生态学报,2007,27(6):2177-2183.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [9] 赵先军,傅庆林,丁能飞,等.盐胁迫对两种茄子的生长和离子吸收的影响[J].浙江农业学报,2008,20(3):186-189.
- [10] 江海东,周琴,李娜,等.Cd对油菜幼苗生长发育及生理特性的影响[J].中国油料作物学报,2006,28(1):39-43.
- [11] 曾建忠,李晓红,李耀,等.蛇莓对铝胁迫的生理响应[J].安徽农业科学,2008,36(2):426-428.
- [12] 郭春芳,孙云,李伟,等.聚乙二醇胁迫对茶树幼苗叶片叶绿素荧光特性的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2008,37(1):42-46.
- [13] 史正军,樊小林.干旱胁迫对不同基因型水稻光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):123-126.
- [14] 黄俊华,洪渊,张冬鹏.深圳 7 种园林植物叶绿素荧光特性及其对大气 SO_2 浓度的响应[J].生态科学,2007,26(1):22-26.
- [15] 王泽港,骆剑峰,高红明,等.1,2,4-三氯苯和萘对水稻抽穗期叶片光合特性的影响[J].中国农业科学,2005,38(6):1113-1119.

Effect of Petroleum Hydrocarbon Contamination on Physiological and Chlorophyll Fluorescence Response of Three Bush Plants

LU Xiu-jun¹, XU You-bo¹, LI Chang-meng¹, WEI Biao¹, FENG Wei²

(1. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China; 2. Benxi City Ministry of Afforestation, Benxi, Liaoning 117000, China)

两种包膜尿素的氮释放特性及对高羊茅生长的影响

沙之敏¹, 边秀举¹, 艾文静², 武良¹, 杨丽丽¹

(1. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071001; 2. 三河市环境保护局, 河北 廊坊 065200)

摘要: 采用水浸泡法对2种包膜尿素(CU-1和CU-2)的初期溶出率和微分溶出率进行测定。2种包膜尿素的初期溶出率分别为9.5%和1.36%,符合国际上公认的缓/控释肥的初期溶出率小于15%的指标,而微分溶出率分别为2.48%和1.72%,也符合国际上公认的缓/控释肥的微分溶出率(0.25%~2.5%)的指标。通过盆栽试验研究了普通尿素(S1)、包膜尿素(H1和H2)以及二者配比(F1、F2、F3和F4)对高羊茅建植期生长的影响。结果表明:单一施用CU-2处理以及CU-2配施50%普通尿素处理明显促进了高羊茅地上部与地下部生物量的积累,促进了高羊茅对氮的吸收,尤其是生长后期,叶片中氮含量显著高于尿素与空白处理。另外,包膜尿素的应用减小了草坪生长速率的波动。

关键词: 包膜尿素; 高羊茅; 建植期; 氮素释放速率

中图分类号: S 688.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2009)08-0030-04

随着园林绿化的建设及体育运动的发展,草坪的建植显得尤为重要。因此,如何快速建植高质量的草坪成为草坪工作者的研究重点。在诸多措施中,施肥是维持草坪持久性及保持其景观效果的最有效措施,同时,施肥也是缩短草坪成坪时间的最有效措施之一^[1]。

与速效氮肥相比,缓效肥由于具有氮素释放和供应时间长、渗漏与挥发损失危险低等特点,一次大量施用而不易产生肥料烧苗,同时可节约用工、节省成本等优

点,倍受草坪管理者的青睐^[2-3]。尤其在近几年来我国草坪业发展迅速,缓控释肥料在草坪上应用的研究也越来越多,但是涉及施肥对草坪建植期生长影响的研究则很少。因此,该研究旨在通过盆栽试验,探讨不同施肥配方对高羊茅草坪生长的影响,为高羊茅草坪的科学建植提供理论依据。

1 材料与设计

1.1 包膜尿素养分溶出率测定

包膜尿素溶出曲线: 水浸提法,采用国际上常用的肥水比1:20,温度25℃,进行连续浸提试验。

初期溶出率: 称取供试肥料样品5g浸入100mL去离子水中,在30℃的恒温箱中放置24h后,测定其养分溶出率。其计算公式为:初期溶出率(%)=24h溶出的养分量/试样中该养分的量×100%;**微分溶出率:** 测定在30℃恒温7d后的溶出率,计算出第2~7天的每天

第一作者简介:沙之敏(1983-),女,河北省赤城县人,在读硕士,研究方向为园林植物及土壤肥料。E-mail: shazhimin@126.com。

通讯作者:艾文静(1983-),女,河北三河人,现主要从事环境保护及节能减排研究工作。E-mail: sanhewukong@sina.com。

基金项目:中加合作项目(IPND)平衡施肥示范计划资助项目。

收稿日期:2009-03-25

Abstract: Pot experiments were carried out to study the effect of petroleum hydrocarbon pollutants in soil on physiological and chlorophyll fluorescence response of *Forsythia suspense*, *Hydrangea paniculata* and *Amorpha fruticosa*. The results showed that under petroleum hydrocarbon stress the MDA, the electrical conductivity and chlorophyll fluorescence parameters in the three plants increased significantly compared with the controls; Variation tendencies in physiological characteristics and chlorophyll fluorescence parameters differed along species. In the concentration of petroleum hydrocarbon 3 g/kg and 6 g/kg, *Forsythia suspense* had the less variation breadth of physiological characteristics and chlorophyll fluorescence parameters compared with *Hydrangea paniculata* and *Amorpha fruticosa*, and had higher tolerance to petroleum hydrocarbon stress. In the concentration of petroleum hydrocarbon 12 g/kg, the growth of all the three plants would be restrained significantly.

Key words: Petroleum hydrocarbon; Content of MDA; Electrical conductivity; Chlorophyll fluorescence; Woody plant