

生物通风法修复柴油污染土壤模拟实验研究^①

刘沙沙^{1,2}, 陈志良^{1*}, 董家华¹, 彭晓春¹, 徐玉新²

(1 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655; 2 山东农业大学, 山东泰安 271018)

摘要: 通过生物通风技术修复不同柴油浓度污染土壤的土柱模拟实验, 研究了各土柱中土壤总石油烃(total petroleum hydrocarbon, TPH)的去除规律, 并对影响柴油去除效果的因素进行了分析, 结果表明: 经过 3 个月的生物通风后, 初始柴油浓度为 5(柱 I)、10(柱 II)、20(柱 III)、40(柱 IV) g/kg 的土柱柴油去除率为 II > I > IV > III, 柱 II 的修复效果最佳, 半衰期为 60.05 天, TPH 最终去除率达 65.3%; 挥发和生物降解作用影响土柱中柴油的去除, 由于重力引起的向下迁移作用只对柴油在土柱中的空间分布产生影响, 三者共同作用决定各土柱不同取样口柴油的去除规律; 在实验过程中, 各土柱土壤 pH 变化不大, 初始柴油浓度越高土柱水分损失率越小; 有效磷和速效氮含量均有所降低, 柱 II 降低率最大, 分别为 58.27% 和 31.87%, 柱 I 最小; 土柱上层土壤中的酶活性要低于下层, 过氧化氢酶和脱氢酶活性均呈现出先升高后降低的趋势。实验结果为研究各土柱中柴油的生物降解规律提供了依据。

关键词: 生物通风; 柴油污染土壤; 土柱实验; 影响因素; 初始浓度

中图分类号: X53

柴油的需求量随着社会经济的发展而逐渐增加, 柴油污染物进入土壤后不仅破坏土壤结构, 而且对人类和生物也造成严重危害^[1]。国内外学者对此类土壤的治理做了大量研究, 主要包括物理、化学和生物修复技术, 而生物通风法(bio-venting, BV)作为物理与生物修复法相结合的一种土壤修复技术对柴油污染土壤具有良好的治理效果^[2]。国外针对修复过程中污染物的去除机理、影响因素及实地应用已开展大量研究^[3-6], 国内主要通过室内土柱模拟实验研究了生物通风修复效果的影响因素(含水率、柴油浓度、土壤孔隙度、通风方式等)、污染物的衰减规律等, 还未见实现工程应用的报道^[7-9]。本实验在国内外研究经验的基础上, 利用比以往研究者所使用的更大规格的有机玻璃柱(Φ250×2×1000), 装填实地采取的不同深度的土样, 以期更好地模拟实地柴油污染土壤的生物通风修复过程, 对不同初始柴油浓度污染土壤的降解规律进行研究, 阐述各土柱不同取样口总石油烃(TPH)的变化规律, 并对其降解半衰期进行研究, 对柴油去除影响因素进行分析以明确不同作用在生物通风修复过程中所做的贡献, 以期生物通风的中试实验及现场工程应用提供参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

土壤取自广州市南沙区, 从同一取样点采集深度分别为 20 ~ 70 cm(土样 T)和 70 ~ 130 cm(土样 L)的土样, 去杂、风干后过 2 mm 筛备用。土样的基本理化性质见表 1。

表 1 实验用土的基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of tested soils

土样	密度 (g/cm ³)	pH	有机质 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)
T	1.18	5.56	9.9	131.7	114.21
L	1.19	7.92	11.3	53.3	42.02

实验用油为市售 0# 柴油。实验仪器主要包括有机玻璃柱、玻璃转子流量计(LZB-3WBF)、无油真空泵(AP-9925)、紫外可见分光光度计(UV759)、超声波清洗器(KQ3200DE)、水浴恒温振荡器。

1.2 实验装置

实验生物通风系统如图 1 所示, 有机玻璃柱内径 0.25 m, 高度 1 m, 在距土柱顶部 0.04 m 和底部 0.07 m 处设辐射板以保证均匀布气, 侧壁在距柱底 0.91、

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863 计划”项目(SQ2009AA06XK1482462)、环保公益科研专项(201009063)和环保公益项目(201109024)资助。

* 通讯作者(chenzhiliang@scies.org)

作者简介: 刘沙沙(1986—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事城市污染场地修复与生态学研究。E-mail: lss.1986.10@163.com

0.81、0.71、0.61、0.51、0.41、0.31、0.21 和 0.11 m 处分别设 9 个取样口,依次标记为 A、B、C、D、E、F、G、H、I,各取样口用橡胶塞密封。柱体顶部设有中央出气孔,经活性炭吸附瓶、玻璃转子流量计后与抽气泵相连;底部侧壁设有进气孔,与玻璃转子流量计相连,流量计的另一端接注气泵。

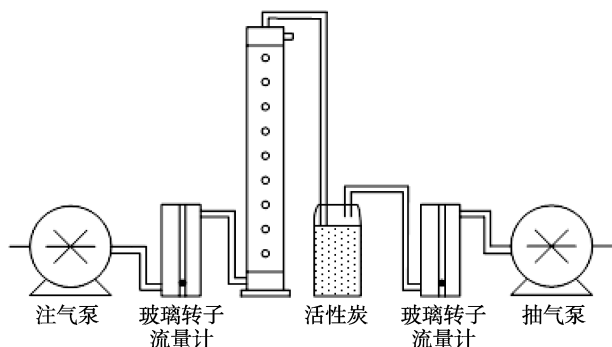


图 1 生物通风实验装置示意图

Fig. 1 Sketch of the bio-venting experimental device

1.3 实验过程

微生物菌悬液的配置 将从柴油污染土壤中分离筛选纯化得到的单菌株进行分子生物学鉴定,将其确定为 *Acinetobacter calcoaceticus*。将该菌株活化后再进行扩大培养,加入无菌水制成菌悬液。

将柴油与二氯甲烷按比例混合(每 100 g 柴油 + 25 ml 二氯甲烷的量比)后倒入实验需要的土壤中,搅拌使其混合均匀,待二氯甲烷挥发完毕,将营养物质溶解于蒸馏水并与微生物菌悬液混合,然后加入到油污土壤中,使土壤的初始含水率控制在 20% 左右,静置二周后装柱。柱底部辐射板上铺 3 层不锈钢丝网(防止筛孔被堵塞),然后分层装入 0.08 m 干净土样 L, 0.30 m 油污土 L, 0.44 m 油污土 T, 最后加盖 0.04 m 的干净土样 T,即各柱中 A~E 取样口处均为 T 土样, F~H 取样口处为 L 土样,土柱装填完成后立即开始实验。

本文通过设计对照实验来研究不同初始柴油浓度下污染物的去除规律,实验在室内自然条件(温度 $27^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 20\%$)下进行,实验采用抽气-注气相结合的通风方式,每天通风 8 h,通风速率均为 300 ml/min。实验设计 4 根土柱,初始含水率均为 20%, N:P 为 1.5:1,初始柴油浓度分别为 5(柱 I)、10(柱 II)、20(柱 III)、40(柱 IV)g/kg。定时从各取样口取土样测定土壤 TPH、pH、含水率、速效氮和有效磷、过氧化氢酶和脱氢酶活性。

1.4 样品分析与测定方法

由于土柱取样口较多,除对每个取样口的 TPH 浓度变化进行分析外,其他指标的值是对各个取样口

土样所测值求平均数,T 土样的值是 B、C、D 和 E 取样口数值的平均值,L 土样为 F、G、H 样口数值的平均值。

1.4.1 土壤 TPH 浓度的测定 取 0.5 g 土壤样品装入 40 ml 棕色样品瓶中,用移液管加入 10 ml 二氯甲烷,拧紧盖后放入恒温水浴振荡器中振荡 2 h(25°C , 160 r/min),然后离心 10 min(3 000 r/min),直接移取上清液或部分上清液于 10 ml 比色管中定容至刻度,以紫外分光光度计在 229 nm 波长处测定其吸光度,根据标准曲线确定土样 TPH 浓度,上清液的取出量取决于土壤柴油的浓度,应使稀释后溶液的吸光度处于标准曲线范围内^[7]。

1.4.2 土壤含水率和 pH、速效氮和有效磷含量的测定 利用烘干法测定土壤含水率,pH 采用酸度计进行测定,土水比为 1:5,混合 1 h 后以酸度计测定^[10]。以碱解扩散法测定速效氮含量^[11],有效磷的测定是以紫外可见分光光度计(UV759)采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[10]。

1.4.3 过氧化氢酶和脱氢酶活性的测定 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,用高锰酸钾溶液滴定过氧化氢分解反应剩余过氧化氢的量,以 20 min 后 1 g 土壤消耗的 0.02 mol/L 高锰酸钾体积数表示(以 ml 计)^[12-13]。脱氢酶活性采用改进的氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法进行测定,利用 TTC 作为受氢体,无色的 TTC 受氢后变成红色的 TPF,然后利用紫外可见分光光度计在 485 nm 波长处测定吸光度,用生成的 TF 数量或换算成氢的体积来表示脱氢酶的活性^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 土柱各取样口 TPH 浓度变化

柴油污染土壤后以非水相(NAPL)、气相和溶解相存在,并且通过物理、化学和生物过程发生着转移和相间的传质^[15]。通风过程中各柱土壤中的 TPH 分布和去除受到由重力产生的向下迁移作用、挥发和生物降解作用的影响,土壤中的微生物通过分解和转化柴油组分使污染物得到降解;三者相互制约,如果由于重力产生的向下迁移作用小于真空抽提负压产生的动力,那么污染物就可挥发去除;反之,则向下迁移作用占主导地位,其只是影响 TPH 在土柱中的空间分布,对其总量无影响^[3,9]。

柱 I~IV 不同取样口处(B、C、D、E、F、G、H)TPH 浓度的变化规律如图 2 所示。从图 2 中可以看出,在实验初期(0~5 天)各土柱中 TPH 降低量较小,在靠近柱顶的 B 取样口下降最快,因为实验初期土壤中的

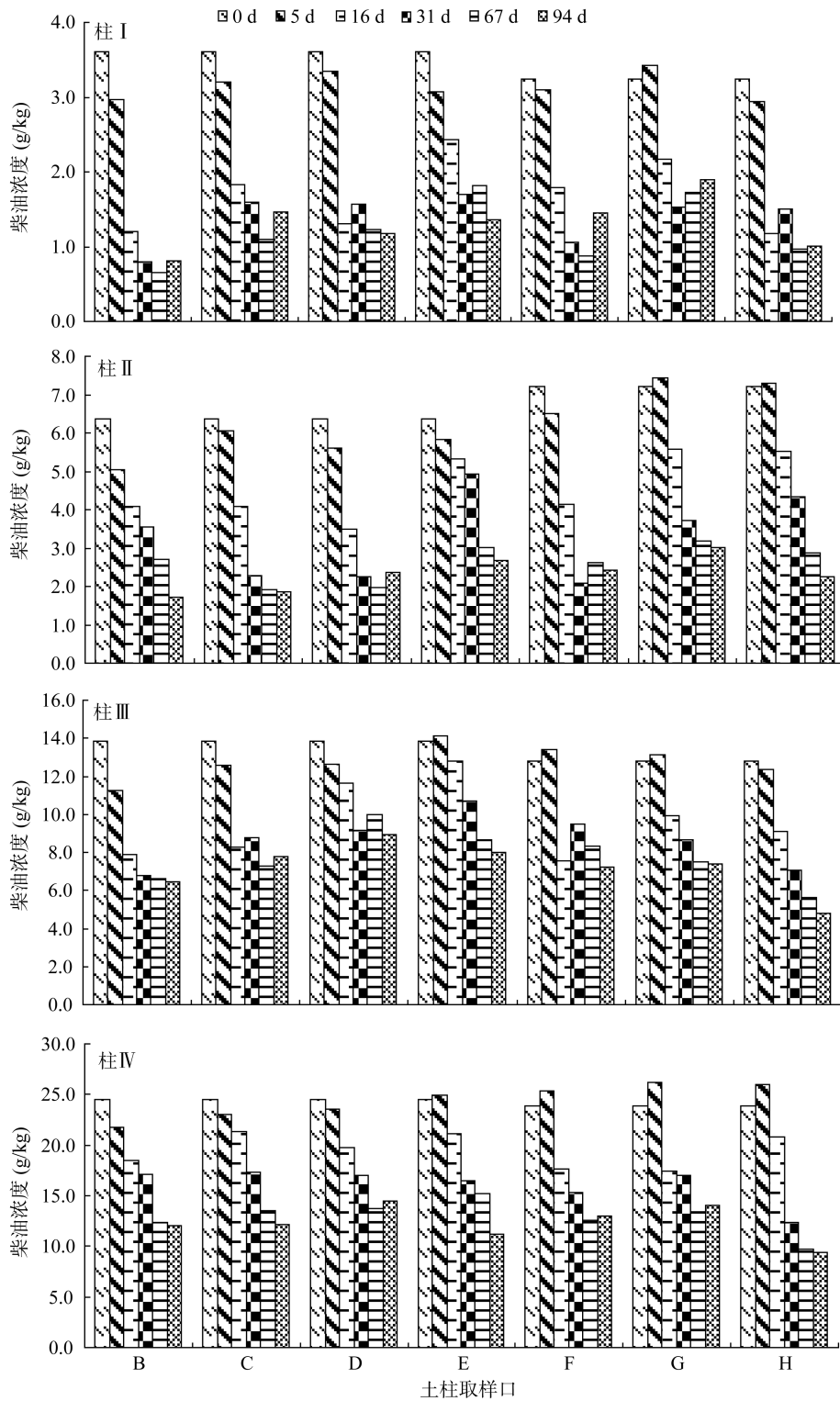


图 2 各柱不同取样口处 TPH 浓度变化规律

Fig. 2 Variation of TPH contents in soil column with time

微生物还未适应生存环境，污染物的去除主要依靠挥发作用，易挥发的物质在气流作用下从柱底部沿土壤孔隙传至顶部，沿管道经活性炭吸附后排放到空气中。初始柴油浓度越低的土柱 B 取样口 TPH 在前期的去除率越高 (I > II > III > IV)，由于重力作用一部分污染物从顶部向底部迁移，而导致各柱底部 TPH 去

除率较低，柱 I 的 G 取样口，柱 II 的 G 和 H 取样口，柱 III 的 E、F、G 取样口，柱 IV 的 E、F、G、H 取样口 TPH 值均比初始值高^[2]。

随着实验的进行各土柱中的 TPH 含量均呈现不同程度的降低，去除速率明显提高，微生物逐渐适应土壤环境，生物降解作用占主导地位，尤其是位

于土柱中部的取样口(D、E、F), TPH 降解率大幅度提高。柱 III 和 IV 的去除率要明显低于柱 I 和 II, 高浓度柴油会对微生物的生长产生抑制作用, 阻碍其对污染物的降解。实验进入拖尾期后, 微生物可利用的营养物质被消耗殆尽, 且其在降解过程中产生的一些毒害产物的积累会阻碍微生物的生长繁殖, 土壤中残留的大部分是难挥发的 TPH 组分, 因此后期污染物去除率降低。经过 3 个多月的生物通风, 四根土柱各取样口的 TPH 含量整体呈现下降趋势, 各柱的 B 取样口去除效果最佳, H 口次之, 中间各取样口相差不大, 因为实验采用抽气-注气相结合的通风方式, 管道分别连接于柱子的顶部和底部进气口, 使靠近顶部和底部的取样口处污染物更容易挥发去除。

2.2 柴油去除的半衰期

一级动力学模型是关于实验时间和土壤中柴油浓度的自然对数之间关系的线性回归, 经常被用来描述污染物的降解, 是评价污染物修复效率和土壤功能恢复程度的一个重要指标^[16-19]。用一级动力学模型拟合各土柱的污染物去除半衰期, 其一级反应速率常数(K_t)、 R^2 和半衰期($T_{1/2}$)见表 2。 K_t 反映出柱 I 和 II 的污染物去除速率要明显大于柱 III 和 IV, 柱 I 和 II 的顶部 T 土样的半衰期要小于底部 L 土样, 而柱 III 和 IV 却恰恰相反, 其顶部 T 土样要大于底部 L 土样。因为污染物浓度过高致使土壤颗粒吸附量达到饱和, 过量的柴油留存于土壤空隙中, 而使挥发作用受到限制, 向下迁移作用占主导地位。从整个土柱分析, 柱 II 的半衰期最短, 其最终去除率最高, 柱 I 的去除率次之, 污染物浓度过高抑制微生物活性; 而浓度过低不能给微生物提供足够的碳源, 使微生物分解能力降低, 均导致去除率降低; 柱 II 的柴油浓度适中, 微生物能够正常生长繁殖, 近而能更好地发

挥生物降解作用, 因此初始柴油浓度为 10 g/kg 的去除率最高。

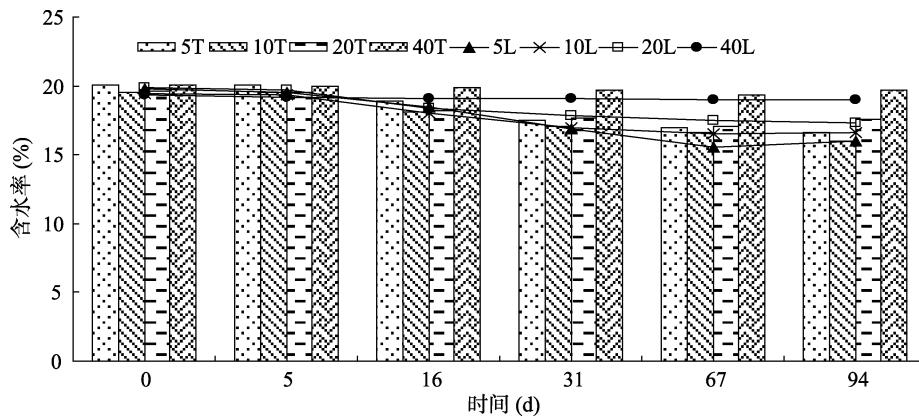
表 2 柴油降解的速率常数和半衰期
Table 2 Specific degradation rate and half life

处理	土样	$K_t(d^{-1})$	R^2	$T_{1/2}(d)$	最终去除率(%)
柱 I	T	0.011 1	0.669 8	62.4	66.69
	L	0.008 8	0.529 8	78.8	55.28
柱 II	T	0.011 6	0.885 5	59.8	66.22
	L	0.011 5	0.836 5	60.3	64.37
柱 III	T	0.005 8	0.776 2	119.5	43.71
	L	0.007 3	0.813 8	95.0	49.45
柱 IV	T	0.007 5	0.927 4	92.4	49.13
	L	0.008 2	0.788 2	84.5	48.94

2.3 柴油去除影响因素的变化规律

生物通风修复柴油污染土壤的效果受到土壤性质、污染物和微生物因素及空气流速等多方面的影响, 本实验土柱通风流速均控制在 300 ml/min, 因此对空气流速对柴油去除的影响未作讨论, 仅对土壤含水率、pH、速效磷、有效氮、过氧化氢酶和脱氢酶活性的变化规律进行分析。

2.3.1 土壤含水率和 pH 的变化 土壤含水率和 pH 是影响微生物活性的重要因素, 进而影响生物降解作用对柴油的去除, 含水率 15%~20%, pH 5~9 时最适宜微生物生长。本实验中各柱土壤中的初始含水率均调节为 20% 左右, 从图 3、图 4 中可以看出, 随着时间的推移, 各个土柱中 T 和 L 土样的含水率出现不同幅度的降低, 但损失率并不大, 整个实验过程中含水率维持在 16%~20%, 因为土壤为黏性土壤, 持水能力比较强, 挥发的水分比较少。各土柱水分损失的程度为柱 I > 柱 II > 柱 III > 柱 IV, 损失率最大达到 19.12%(5 L, 表示柴油浓度为 5 g/kg 处理土柱的土样 L; 下文以此类推), 最小的为 1.49%(40 L)。



(图例中的 5T 表示柴油浓度为 5 g/kg 处理土柱的土样 T, 其余与此类同; 下同)

图 3 土壤含水率变化规律

Fig. 3 Variations of soils water content

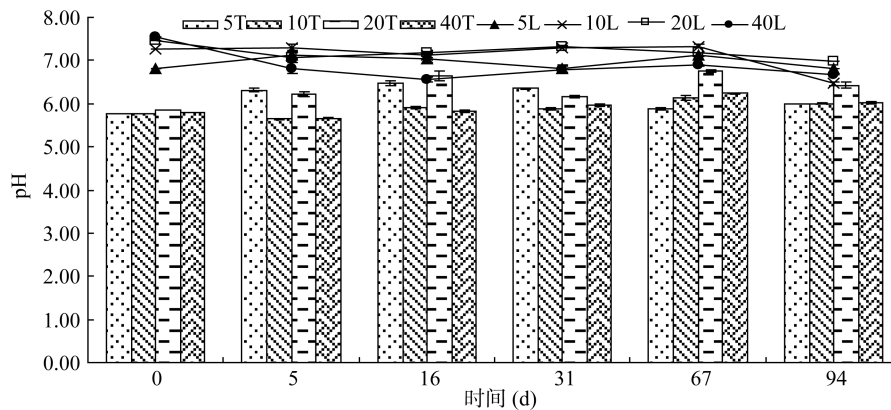


图 4 土壤 pH 变化规律
Fig. 4 Variations of soils pH

童玲等^[20]的研究结果表明污染土壤毛细水上升高度和上升速率均随柴油浓度的增加而减小,而且高浓度柴油使土壤孔隙堵塞,抑制挥发作用,因此柴油浓度越高其水分损失率越小。在实验过程中,各个土柱土壤的 pH 没有发生明显变化,不同初始柴油浓度土柱之间差别不大,T 和 L 土样的 pH 分别在 5.65 ~ 6.76 和 5.84 ~ 7.54 范围内波动,微生物可以正常生存。

2.3.2 土壤速效氮和有效磷的变化 微生物可直接利用土壤中的有效磷和速效氮,其含量决定了可供微生物生长增殖的养分水平^[10,21],进而影响污染土壤中柴油的生物降解效率。从图 5 中可以看出,各土柱中有效磷和速效氮的含量随着实验进行呈下降趋势,实验刚开始时降低幅度很小,5 天后两者的含量急剧下降,微生物适应了生存环境,开始利用氮磷等营养物质大量繁殖,生物降解占主导地位。实验进行到 16 天后有效磷的降低幅度减缓,甚至出现升高的现象;除个别柱外速效氮含量降低率均在 31 天后才开始减缓,一些土柱也出现升高现象,因为土壤中其他形态的磷和氮随着实验过程中环境条件的变化而转变成为可供微生物利用的有效磷和速效氮。

在同一柱中土样 L 有效磷和速效氮的降低率要比 T 高,说明在土柱下层土壤中的生物降解作用要大于上层,这与土壤的性质有关,下层土壤为实地 70 ~ 130 cm 的土样,上层为 20 ~ 70 cm 的土样,下层土样更利于微生物的生长,因此大量消耗土壤中的氮磷。通过对整个土柱的变化规律分析发现柱 III 的速效氮(31.87%)和有效磷(58.27%)降低率最大,柱 I 最小,分别为 22.51% 和 31.99%,而前面的分析结果表明柱 II 和 I 的 TPH 去除率较高,因为土壤中 TPH 的去除不仅仅依靠生物降解作用,还包括挥发作用。

2.3.3 土壤酶活性的变化 土壤酶活性是表征土壤微生物活性的重要指标,反映了土壤中进行的各种

生物化学过程的动向和强度^[22-23],本实验选取过氧化氢酶和脱氢酶进行研究^[24]。从图 6、图 7 中可以看出,T 和 L 土样的脱氢酶和过氧化氢酶活性整体均呈现出先升高后降低的变化趋势。实验开始后微生物逐渐适应环境,并利用土壤中的营养物质大量繁殖,因而其酶活性逐渐增大,基本上在 31 天达到最大值,随后微生物生长进入衰亡期,可供其利用的营养物质和碳源也减少,导致土壤酶活性降低。在各土柱中 L 土样的脱氢酶和过氧化氢酶活性均比 T 土样处高,这与前面描述的同一土柱中有效磷和速效氮的变化规律相同,再次证明了 L 土样的环境条件更适合微生物的生长,因此酶活性较高。

从单个土柱来看,T 土样处柱 I 过氧化氢酶活性最低,柱 III 最高,柱 II 和柱 IV 相差不大;柱 I 脱氢酶活性最低,柱 IV 次之,柱 II 和柱 III 相差不大,活性最高。L 土样各柱过氧化氢酶活性相差不大,前期(0 ~ 30 天)柱 I 活性最高,随后柱 II 和柱 III 较高;脱氢酶活性在实验开始时柱 I 最高,进行一段时间后柱 III 和 IV 逐渐超过柱 I,柱 III 值最高。以上分析说明高柴油浓度可以为微生物生长提供碳源,但是浓度过高反而会对其活性产生抑制作用,浓度过低降低了污染物和微生物相互作用的几率,也会影响微生物的降解率。通过对过氧化氢和脱氢酶活性进行相关性统计分析,两者呈正相关,相关系数为 0.952;而两者与 TPH 去除率相关性比较低,仅为 0.383、0.352。因为实验过程中污染物的去除是挥发和生物降解共同作用的结果,生物降解只是发挥一部分作用,并不是起完全作用;而且土壤中营养物质的含量对酶活性产生影响,应该综合各个因素来对修复效果进行评价。

3 结论

(1) 挥发和生物降解作用及由重力引起的向下

迁移作用对柴油污染物的去除及在土柱中的空间分布产生影响，三者共同作用决定各柱不同取样口柴

油的去除规律，初始柴油浓度的高低影响三者发挥作用的大小。

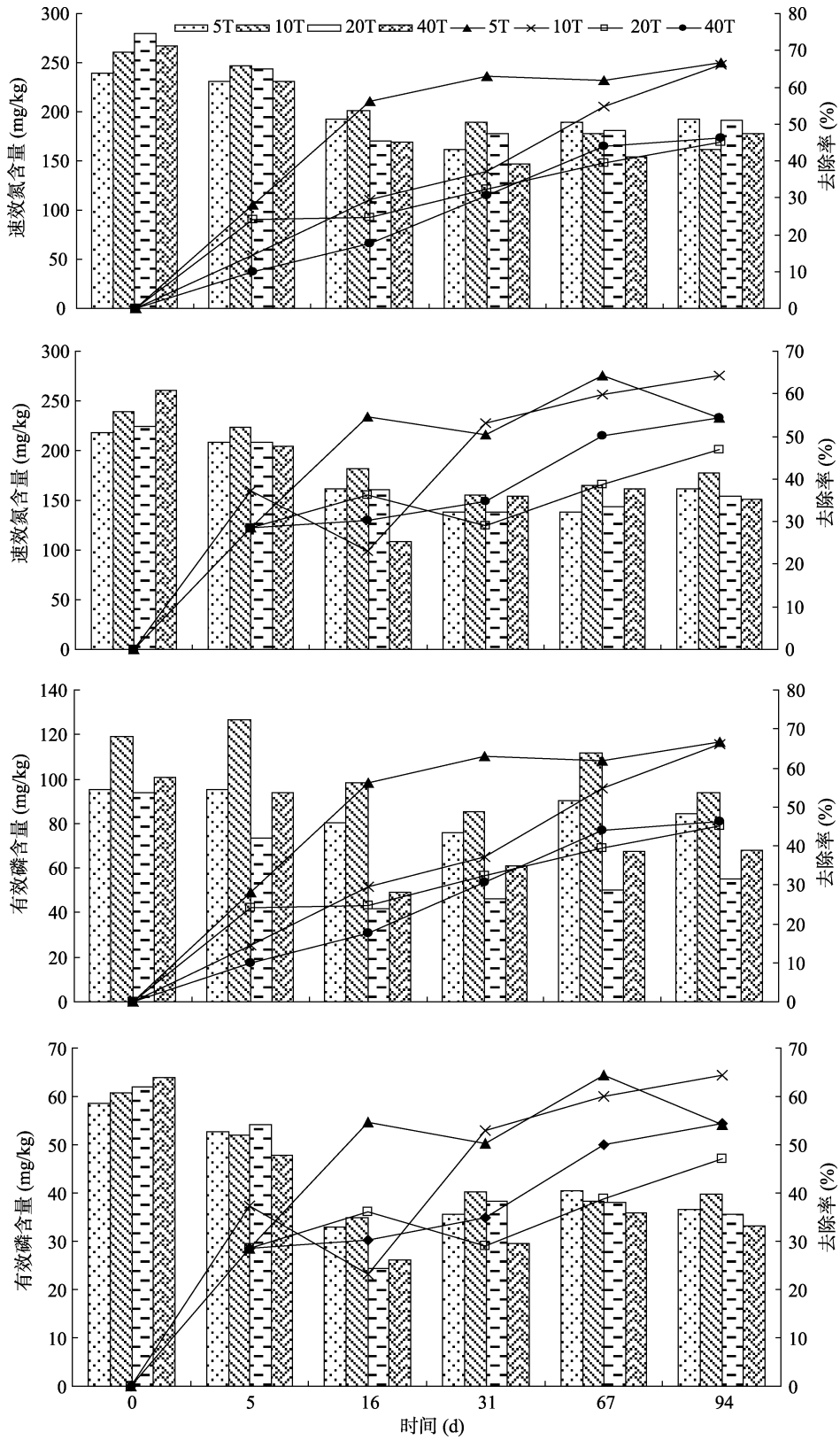


图 5 土壤速效氮和有效磷含量变化规律
Fig. 5 Variations of rapid available nitrogen and available phosphorus

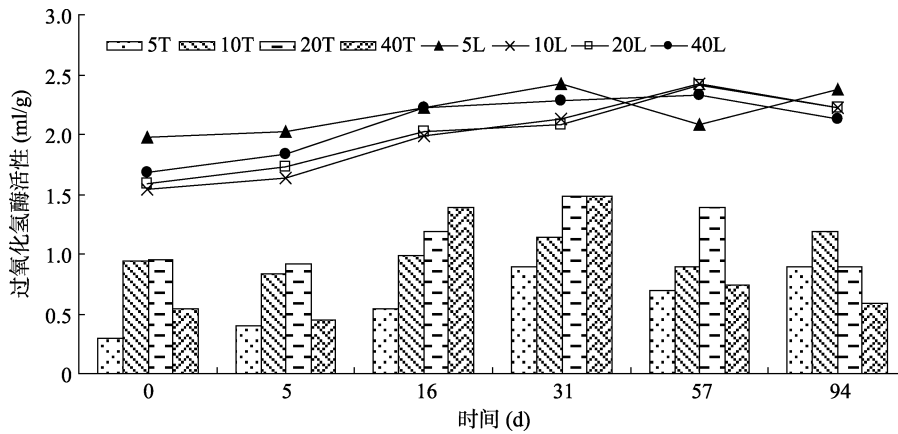


图 6 土壤过氧化氢酶活性变化规律
Fig. 6 The catalase activity curves in soils

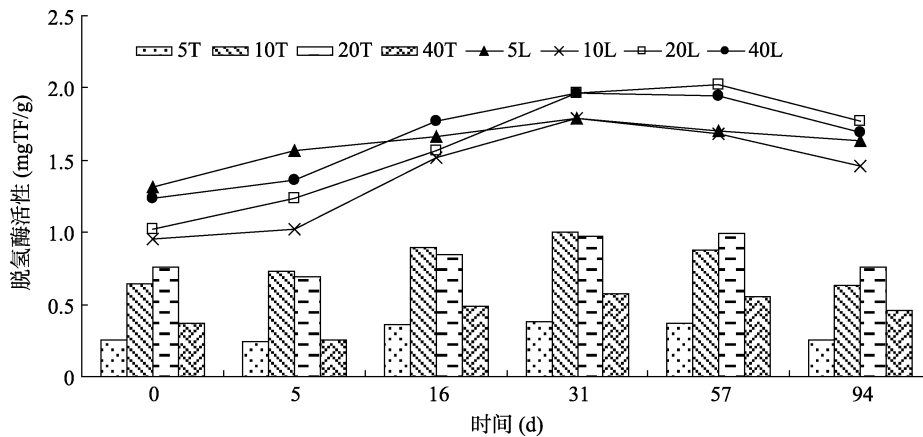


图 7 土壤脱氢酶活性变化规律
Fig. 7 The dehydrogenase activity curves in soils

(2) 经过 3 个月的生物通风,土柱中的 TPH 含量均出现不同程度的降低,去除率柱 > > >,在初始柴油浓度为 10 g/kg 时三者能够协调发挥最大作用,使污染物得到很好的去除。

(3) 在实验中各柱土壤含水率降低幅度较小,pH 也没有发生明显变化,保证了微生物的正常生存;有效磷和速效氮随着实验的进行总体呈降低趋势,说明微生物利用其作为营养源进行生物降解作用;土壤过氧化氢酶和脱氢酶活性呈现出先升高后降低的趋势,说明微生物经过一段调整期后开始大量生长繁殖,然后逐渐进入衰退期;但在不同土柱中各个影响因素的降低幅度有所差异,这为研究各柱中柴油的生物降解规律提供依据。

参考文献：

[1] 武金装. 柴油降解菌的筛选、降解条件优化及其降解机理研究(硕士学位论文)[D]. 长沙: 湖南大学, 2008
[2] 何炜. 汽油和柴油污染土壤通风修复试验研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2007

[3] 焦立娜, 赵勇胜, 屈智慧, 王冰, 李博, 孙超, 穆丹丹, 丛藜涵, 孙家强. 柴油污染包气带的气相抽提影响因素[J]. 环境工程学报, 2012, 6(7): 2 406-2 410
[4] Dupont RR. Fundamentals of Bioventing Applied to Fuel Contaminated Sites[J]. Environmental Progress, 1993, 12(1): 45-53
[5] Byun IG,Nam HU,Song SK. Monitoring of bioventing process for diesel-contaminated soil by dehydro-genase activity, microbial counts and the ratio of N-alkane/isoprenoid. Korean Journal of Chemical Engineering, 2005, 22(6): 917-921
[6] Lee MD, Swindoll CM. Bioventing for in Situ Remediation [J]. Hydrological Science, 1993, 38(4): 273-282
[7] 王春艳. 强化生物通风修复柴油污染土壤的正交试验(硕士学位论文)[D].北京: 中国地质大学, 2009
[8] 杨金凤. 生物通风修复柴油污染土壤实验及柴油降解菌的降解性能研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2009
[9] 杨金凤, 陈鸿汉, 王春艳, 杨正礼. 生物通风技术修复柴油污染土壤的土柱模拟实验[J]. 环境工程学报, 2012, 6(2): 653-657
[10] 毛丽华. 石油污染土壤生物通风堆肥修复研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2006

- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-58
- [12] 张世远. 铜和铬对小麦生理生化特性和土壤酶活性的影响研究(硕士学位论文)[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009
- [13] 关崧萌. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 321-333
- [14] 刘志卿, 刘建荣, 吴国庆. TTC-脱氢酶活性测定方法的改进[J]. 微生物学通报, 1994, 21(1): 59-61
- [15] 王喜. 汽油在土壤中运移规律研究(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2009
- [16] Michael Prince. Bioremediation of petroleum waste from the refining of lubricant oils[J]. Environmental Progress, 1993, 12(1): 5-11
- [17] Jonge HD. Relation between bioavailability and fuel oil hydrocarbon composition in contaminated Soils[J]. Environmental Science and Technology, 1996, 30(5): 215-224
- [18] Vassallo AM. Study of the oxidation of oil shale and kerogen by fourier transform infrared emission spectroscopy [J]. Energy Fuels, 1998,12(4): 682-688
- [19] 朱春芳. 汽油污染土壤的物理通风实验室模拟研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2007
- [20] 董玲, 陈伟胜, 郑西来, 李梅. 柴油污染土壤中毛细水上升规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 131-134
- [21] 曹冠楠. 油污土中降解柴油细菌的分离鉴定及降解能力的研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2010
- [22] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 249-251
- [23] 崔爱玲. 石油降解菌对石油烃的降解作用及应用研究(硕士学位论文)[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006
- [24] 胥九兵, 迟建国, 邱维忠, 王加宁, 高永超, 张强. 微生物菌剂对石油污染土壤的修复研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(6): 1414-1418

Simulation Experiment for Remediating Diesel Fuel Contaminated Soil by Bio-venting Technology

LIU Sha-sha^{1,2}, CHEN Zhi-liang^{1*}, DONG Jia-hua¹, PENG Xiao-chun¹, XU Yu-xin²

(1 South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China;

2 Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: The bio-venting experiment was investigated in the laboratory using diesel as a model contaminant, performed in columns filled with soils. The removal of TPH and the factors in affecting the efficiency of diesel degradation were studied. The results showed that: 1) after three month bio-venting, the removal rate of the four different columns was $> > > >$, the initial diesel concentration was 5 g/kg (Column), 10 g/kg (Column), 20 g/kg (Column) and 40 g/kg (Column), respectively. The optimal bio-venting velocity was column , whose half life was 60.05 d, the removal rate of TPH was 65.3%. 2) The diesel removal in the column was influenced by volatilization and biodegradation. The downward migration impact which caused by the gravity influenced the diesel's distribution on the space in column. The removal rule of diesel columns with different sampling port was decided by the three actions together. 3) The change of pH was very little in the process of experiment; the loss of water was less when the initial diesel concentration was higher. Available phosphorus and available nitrogen contents were reduced, but the degrees varied from each other. The reduction rate of column was maximum, they were 58.27% and 31.87% respectively. The column was least. The soil enzyme activities in upper soils were less than those in lower soils, the activities of catalase and dehydrogenase increased firstly and then decreased, which provided an important basis for the research of the diesel biodegradation in each column.

Key words: Bio-venting, Diesel contaminated soil, Column experiment, Influence factors, Initial concentration