

通气对石油污染土壤生物修复的影响¹

丁克强 骆永明

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

孙铁珩 李培军

(中国科学院沈阳应用生态研究所)

摘 要 为了探讨石油污染土壤的生物修复的有效方法,本研究就通气对石油污染土壤生物降解的影响,在自制反应器中进行了为期 50 天的堆腐试验。结果表明,通气可为石油烃污染土壤中的微生物提供充足的电子受体,可保持土壤 pH 稳定,从而促进了微生物的生物活性,强化了它们对石油污染物的氧化降解作用。通过在反应器中,调控通气量使污染土壤中石油烃的降解率进一步提高,为石油污染土壤生物修复技术的应用奠定了科学基础。

关键词 通气;石油污染土壤;堆腐处理

随着石油工业的发展,在采油、炼油、运输与利用过程中,很难避免石油及其废弃物对土壤的污染,石油污染土壤的清洁势在必行。

90 年代以来,生物修复技术被认为是最有生命力^[1,2]的土壤清洁技术。在美国和欧洲污染土壤生物修复技术早已走出实验室,并在许多受有毒有害有机物污染的土壤修复计划中得到应用^[3]。生物修复技术,因其费用低,不产生二次污染而被视为一项具有广阔发展前景的高新技术。但该技术用于石油烃污染的土壤时,因其降解速度缓慢,一直是该技术发展的一个突出制约^[4-6]。我国土壤石油污染现状相当严重。国内利用生物降解石油烃的研究工作与国外相比,还有相当大的距离^[7]。

本文通过生物反应器,研究通气对土壤中石油烃污染物的微生物降解,为石油污染土壤的生物修复技术的发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 土壤 供试土壤为盐化草甸土。采自辽河油田大洼 38 号钻井的污染土壤和远离油井的未污染土壤。其理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的理化性质

样品	pH	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	CEC (cmol/kg)	有机质 (%)	含油量 (%)
污染油土	9.0	1.8	0.51	8.46	13.9	6.5
未污染土	7.4	1.4	0.47	12.4	1.8	/

1.1.2 供试微生物 黄孢原毛平革菌(*Phanerochaete chrysosporium*),作为供试菌经过 3 级培养制成固体菌剂。

¹ 中国科学院重大项目(KZ951-B1-207-01-03),国家自然科学基金重点项目(49831070),国家重点基础研究发展规划项目(G1999011807)和中国科学院南京土壤研究所土壤与环境联合开放研究实验室项目资助。

1.1.3 膨松剂 稻壳、锯末。

1.2 研究方法

1.2.1 处理方法 实验在反应器内进行 50 天处理。在待处理的石油污染土壤中，按比例加营养物、膨松剂和菌剂^[8]，接种量为 5%，充分搅拌均匀后放入反应器见图 1。油土 4000g，未污染土 1000g，尿素 350g，K₂HPO₄9.9g，环境温度为 25℃，在反应器内，水分调至 20%，通气量按表 2 设计，间隔 15min 通气 15min。重复 3 次。

1.2.2 真菌培养采用察氏培养基^[9]。石油烃 (TPH) 的测定采用重量法^[8]。

表 2 通气设计 (单位: m³/h)

处 理	A	B	C	D	E	F
通气量	0.0	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10

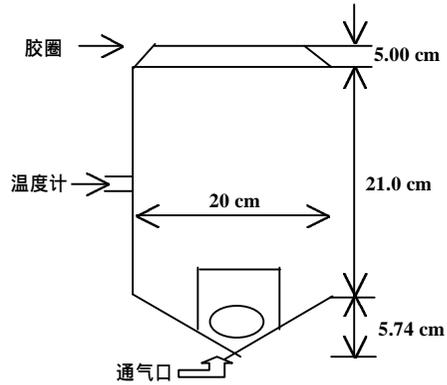


图 1 通气装置示意图

2 结果与讨论

2.1 通气量对石油降解率的影响

图 2 描述了实验运行过程中石油降解率随通气量的动态变化情况。在处理后的前 5 天的时间内，反应器土壤中的石油降解率接近于零，只有 D 处理 (通气量 0.06 m³/h)，其石油降解率为 0.15%。说明在这一期间，微生物还没有与通气条件相适应。微生物需要有一个在土壤中的适应过程，才能够大量繁殖，表现出其活性。

生物反应器中的土壤堆腐法是好氧生物修复过程。微生物在有氧条件下，利用石油烃污染物作为碳源和能源进行代谢合成自身的物质，提供充分的氧能够促进石油污染物的生物降解率的提高。

经过 48 天实验运行，发现 6 个处理的降解率有明显的变化。在没有通气的对照处理中，石油的降解率只有 0.47%，在通气的处理中，石油降解率高于对照，经过 48 天的生物处理，其降解率变幅在 8.9~70.2% 的范围，在第 10 天 A、B、C、D、E、F 6 个处理的石油烃都有减少，降解率分别为 0.05%、0.80%、5.88%、7.68%、5.13%、5.04%。在第 17 天石油烃的降解率比第 10 天增加了近 1 倍，D 处理的降解率最高为 14.23%，对照最低，只有 0.10%。可以说，通气对石油烃的降解有明显的作

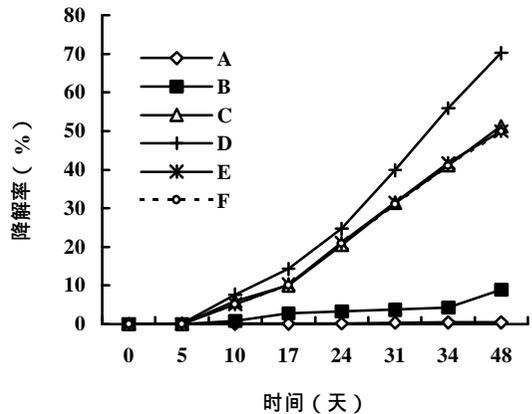


图 2 不同通气条件下石油降解率的动态

用。在 48 天石油烃的降解率分别为，0.47%、8.92%、51.27%、70.19%、50.00%、49.95%，堆腐中的石油烃的含量从 44.6 g/kg 土相应地下降到 44.2 g/kg、40.4 g/kg、21.7 g/kg、13.3 g/kg、22.3 g/kg、22.3 g/kg，其顺序为 D

>C>E>F>B>A。其中D处理效果最高,其通气量为 $0.06\text{ m}^3/\text{h}$,土壤石油烃的降解率达到70.19%。这说明,微生物对石油烃的降解是好氧过程,提供足够的氧气能够促进微生物在土壤中的活性,使降解率提高。本试验结果还表明,通气量的不同,其降解率不同;通气量太高不利于微生物的活性,这可能是太高的通气量影响土壤温度,使微生物分解有机物释放的能量不足补偿通气对温度降低的作用,使降解率降低。Hunt^[10]认为低温导致低的石油烃降解率。在高温时,烃的毒性不断增大,从而可能抵消高温对代谢的促进作用^[11]。

2.2 通气对微生物降解石油的强化作用

为了深入探讨通气对改善石油污染土壤微生物治理效果的作用机制,进行了通气对土壤微生物数量的影响研究。结果见图3表明,当通气为 $0.06\text{ m}^3/\text{h}$ (D处理)时,土壤中的活菌数提高了一个以上数量级。土壤中活菌数的增加,必然会加快烃类污染物的微生物降解速率。

通气的能促进微生物生长的部分原因,可能是由于石油微生物的干菌体中氧的含量较高^[12],而土壤中的氧不足以供给微生物的生长利用时,进行通气处理使土壤中的氧的浓度提高,增强了微生物的活性,增加了利用石油烃的微生物的数量,从而提高了石油污染土壤的微生物治理的效果。

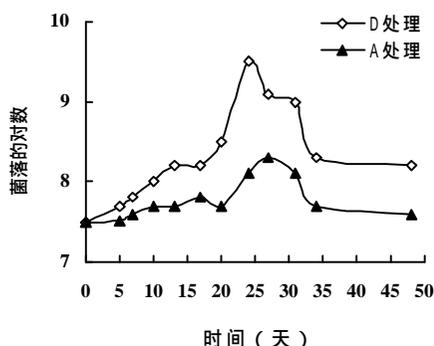


图3 通气对土壤微生物数量的影响

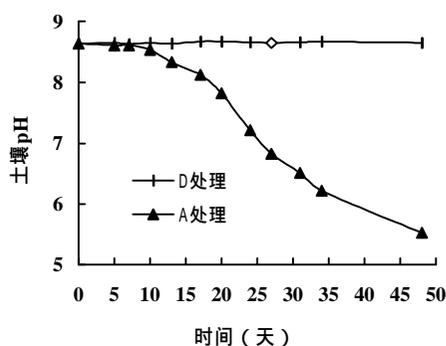


图4 通气条件下对土壤pH的影响

2.3 通气对石油污染土壤pH的影响

微生物的生长有适宜的pH值。当生存环境中的pH值不适宜时,微生物的生长会受到影响。因此,本实验选择在最佳通气条件下(通气为 $0.06\text{ m}^3/\text{h}$),污染土壤中pH值的变化情况。试验结果图4表明,在未通气的对照中,经过48天的处理,污染土壤中pH值有了明显的下降;而在最佳通气条件的处理中,污染土壤中的pH值却没有发生明显的变化。前者可能是在缺乏电子受体的情况下,微生物对脂肪酸的氧化难于进行,不能将烃类化合物完全氧化,从而使一些短链烃的脂肪酸在土壤中积累,致使土壤中的酸性增加,土壤pH值下降;进行通气处理后,为微生物的氧化烃类化合物提供了充足的电子受体 O_2 ,可能使微生物将烃类物质完全氧化为 CO_2 和 H_2O ,从而避免了土壤中酸类物质的积累,使土壤中的pH值保持稳定。

上述结果说明,石油污染土壤中的pH值保持稳定,有利于微生物的生长繁殖,增强了微生物的活性,促进了石油烃的降解。因此,通气对污染土壤pH值的稳定作用,也是提高石油污染土壤微生物治理效果的原因之一。

3 结论

在石油污染土壤的微生物处理中,进行通气处理,可以明显提高微生物对烃类化合物的去除效果,加快石油污染土壤的清洁速度。

通气供氧改善石油污染土壤微生物处理效果机制可能包括两个方面:一是直接氧化作用,加入到土壤中的氧气可以直接氧化一部分污染土壤中的烃类化合物;二是对降解烃类物质微生物的促进作用,加入到土壤中的氧气为微生物的繁殖及对烃类物质的降解过程提供充足的电子受体,同时还可以控制土壤中酸度的变化,防止土壤中酸类物质的积累,较好地保持了污染土壤中 pH 值稳定,从而提高了微生物的活性及其降解烃类物质的能力,促进石油污染土壤的快速生物修复。

参 考 文 献

- 1 郑远扬. 石油污染生化治理进展. 国外环境科学技术, 1993, 3: 46~50
- 2 Carraaway J.W. *et al.* J.Tappi, 1991, 74: 113~118
- 3 马文漪等. 环境微生物工程[M]. 南京: 南京大学出版社, 1998, 226~267
- 4 沈德中. 污染物的原位生物处理-生物清消技术. 环境科学进展, 1993, 1(15): 56~59
- 5 丁克强等. 石油污染土壤的生物修复技术. 生态学杂志, 2000, 19(2): 50~55
- 6 何良菊等. 土壤微生物处理石油污染的研究. 环境科学进展, 1999, 7(3): 110~115
- 7 许华夏等. 微生物降解石油污染的土壤. 辽宁城乡环境科技, 1998, 18(6): 22~24
- 8 姜昌亮等. 石油污染土壤长料堆式异位生物修复技术研究. 应用生态学报, 2001, 12(2): 279~282
- 9 许华夏等. 生物泥浆反应器中多环芳烃微生物降解调控因子研究. 生态学杂志, 2001, 20(2): 23~26
- 10 Hunt P.G. AD Report, 1972, 74(2): 674~678
- 11 Dibble J.T. *et al.* Appl. Environ. Microbiol., 1979, 37(4): 729~734
- 12 Deinng J.S. *et al.* Hazardous Waste and Hazardous Materials, 1989, 6(4): 421~425