

# 不同堆料比对石油烃废弃物堆肥处理效率的影响\*

张甲耀 马 瑛 管筱武 罗宇煊

(武汉大学环境科学系, 武汉 430072 E-mail: envir @ whu. edu. cn)

**摘要** 采用高温好氧堆肥化技术, 研究了不同堆料比对石油烃废弃物堆肥处理效率的影响. 实验设计难降解有机物/易降解有机物(堆料比)分别为1:11、1:30和1:60, 结果表明, 1:30为最适堆料比, 在这一条件下, 废弃物中的石油烃经28d堆肥处理可达到59.12%的去除率.

**关键词** 堆肥化, 石油烃废弃物, 堆料比.

## Effect of Compost Material Ratio on the Composting of Petroleum Waste

Zhang Jiayao Ma Ying Guan Xiaowu Luo Yuxuan

(Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China E-mail: envir @ whu. edu. cn)

**Abstract** The efficiency of composting of petroleum waste was investigated at 1:11, 1:30 and 1:60 of compost material ratio (recalcitrant organic compound: degradable organic compound), using forced aeration composting technology at high temperature. The results showed that 1:30 was the optimum ratio. Under this condition, 59.12% of petroleum removal efficiency can be attained after 28d of compost.

**Keywords** composting, petroleum waste, compost material ratio.

易降解有机物在堆料中所占的比例对堆肥化处理有害废弃物的效率有很大影响, 可以为生物的生长提供充足的碳源和能源, 以维持堆料中的微生物活性和必要的高温. 多样的碳源为共代谢降解难降解污染物提供物质基础, 增强堆肥生物降解的潜力<sup>[1-3]</sup>. 但过多有机物将降低污染物的降解速度<sup>[4]</sup>. 因此确定一个适宜的范围, 找到最适堆料比有助于提高有害废弃物的工程化处理效率.

### 1 材料与方 法

#### 1.1 实验装置

实验用圆柱状反应器同文献[5], 有机玻璃制成, 体积12.5L, 筒长与直径比为2.2:1, 外源供热保温, 环境温度保持在25~35℃之间.

#### 1.2 实验材料

(1) 油泥(石油烃废弃物) 采自江汉油田潜江炼油厂, 为含有大量原油、泥浆等的废水经隔油池后下沉的含油污泥和浮选法上浮的废弃原油的混合物, 黑灰色半固体物. 经测定, 含水率为7.71%, pH3.67, 石油烃含量 $7.42 \times 10^5$ mg/kg干重.

(2) 土壤 采自武汉大学教四楼西侧花坛, 是肥沃的花园土, 可提供充足的微生物源. 风干后过20目筛, 备用.

(3) 木屑 取自武汉大学锯木厂木工车间, 风干后过20目筛, 备用.

(4) 食堂残余物 主要为剩饭和烂菜叶, 提供易降解有机物.

\* 湖北省自然科学基金课题  
张甲耀:男,53岁,副教授  
收稿日期:1999-01-02

### 1.3 实验方法

配制3种不同比例的堆料,如表1所示.将表中所述3种不同配比的堆料充分混匀,调整水分含量为50%~60%,C/N约30~35,分别投入3个反应器,采用Rutgers供氧机制<sup>[6]</sup>,以消除堆肥中温度的负反馈现象.通风量初定为 $0.3\text{m}^3/\text{h}$ ,时控开关:开18s,关42s.采用外源供热保温的高温堆肥方式.每2d取样分析含水率、总有机碳(TOC)、挥发性物质(VM)及石油烃含量的变化,温度每天记录.全部运行时间28d.

表1 各堆料成分

堆料	泥肥 花园土 食堂残余物			木屑 (体积比)	难降解有机物 易降解有机物	
	/kg	/kg	/kg			
A	0.5	2.6	5.5	2 1	1	11
B	0.2	2.6	6.0	2 1	1	30
C	0.1	2.6	6.0	2 1	1	60

#### (1) 含水率、TOC、TN、VM 的测定

$\text{H}_2\text{O}\%$ 的测定:混匀样品于60℃烘至恒重<sup>[7]</sup>;TOC的测定:重铬酸钾消解容量法;TN的测定:克氏法<sup>[8]</sup>;VM的测定:烘干样品于马福炉中600~700℃加热2~3h<sup>[9]</sup>.

(2)石油烃含量的测定<sup>[10]</sup>将烘干的堆肥样品(50~60℃过夜),研碎后过80目筛除去木屑,称取一定质量的过筛堆料倒入滤纸筒中,于75℃水浴用氯仿(已重蒸)索氏提取6h,回收氯仿,残留物用石油醚(沸程60~90℃,已重蒸,透光率>90%)溶解,定容后备紫外测定.条件:752紫外分光光栅光度计, $\lambda=254\text{nm}$ ,1cm石英比色皿.

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥过程中温度、含水量及体积的变化

3种堆料在堆肥前后各参数的变化如表2所示,结果表明这种变化与堆肥的一般变化规律相符.

表2 不同比例堆料在堆肥前后各参数变化

项 目	堆肥前			堆肥后		
	A	B	C	A	B	C
$\text{H}_2\text{O}/\%$	52.47	55.32	57.57	42.88	36.87	50.11
TOC/ $\%$	33.57	28.22	27.49	23.84	17.45	22.87
TN/ $\%$	0.84	0.75	0.79	0.96	0.83	1.27
C/N	40.0	37.6	34.86	24.8	21.02	18
VM/ $\%$	39.20	41.62	42.36	27.23	27.38	28.08
pH	6.68	6.64	5.80	5.90	5.98	4.96
石油烃含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	83900.0	48075.0	24574.8	50709.5	19651.9	13009.4
体积/L	8.5	8.8	9.1	7.3	7.3	7.9

堆肥过程温度变化如图1所示.由图1可看出,3种不同堆料在外源供热、并维持环境温度为25~35℃的条件下,温度上升很快,第2d即达到40℃以上,这说明堆料中微生物充分利用易降解有机物产生热量,使堆温上升.但直到第12d,堆温都还只在40多度范围内波动,距很多研究认为的微生物活性的最适温度范围(52~60℃)<sup>[11]</sup>有一定差距,原因在于通气量

偏大,散发的热量大于产热,从而影响堆温上升.减小通气量至 $0.2\text{m}^3/\text{h}$ 后,发现从第13d开始3种堆料的温度均有不同程度提高,其中以B、C号堆温上升最快且最稳定,最高温度为55.5~58℃;A号在整个堆肥过程中温度要低一些,其最高温度53℃,且在堆肥的多数时期温度均低于50℃.单从温度曲线来看,似乎应该是B、C号堆料中微生物的代谢活性较高,

而 A 号稍低。

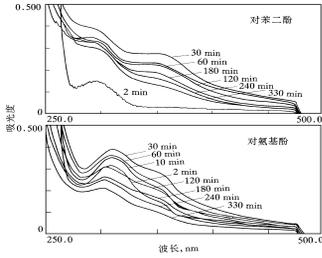


图 1 不同堆料比对堆肥过程温度变化的影响

图 2 描述了水分的变化过程。整个过程中水分均呈下降趋势。A、B、C 3 种堆料反应前后水分下降率分别为 18.28%、33.25% 和 12.96%。堆肥过程中产热量、温度、通风量及水分减少率之间存在复杂关系，水分的减少是因为堆肥过程中产生大量的热，而过量的热又通过通风而散发<sup>[12]</sup>。因此水分减少是生物活性和废弃物降解程度高低的反应<sup>[13-15]</sup>。3 种堆料反应前后体积的下降率分别为 14%、17% 和 13%，B 号堆料在堆肥前后的水分含量和固体体积的减少率最大，故初步认为 B 号堆料中的微生物活性最高。总体上，不同配比的堆料在堆肥过程中水分、体积的变化有所不同，但未见显著差异。

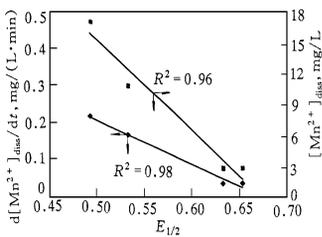


图 2 不同堆料比堆肥过程水分含量变化

## 2.2 堆肥过程 VM 及 TOC 的变化

对于给定的堆料，堆料中挥发性成分和 TOC 的变化率可以作为堆肥进行程度的参考指标<sup>[16]</sup>。由图 3、4 可见 VM、TOC 在整个堆肥过程中是不断下降的，A、B、C 3 种堆料的 VM 和 TOC 下降率分别是：30.54%、34.21%、33.71% 和 29.98%、38.16%、16.81%。但从总的变化过程看，未见显著差异。

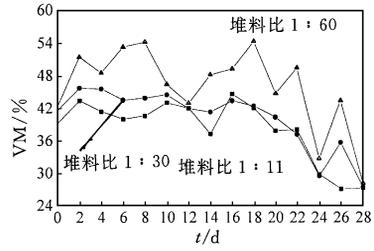


图 3 不同堆料比堆肥过程中 VM 含量变化

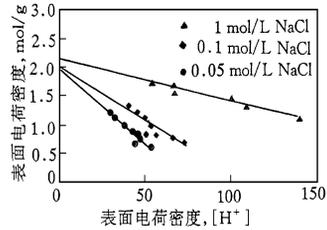


图 4 不同堆料比堆肥过程中 TOC 变化

## 2.3 不同堆料比对石油烃堆肥降解效率的影响

3 种不同比例的堆料在堆肥过程中，石油烃含量随时间的变化曲线如图 5 所示。石油烃废弃物中油含量经 28d 堆肥处理后分别降解了 39.56%、59.12% 和 47.06%。B 号堆料中石油烃降解率最高，说明当易降解有机物/难降解有机物在 1:30 的比例条件下，堆肥降解的效率最高。当堆料比为 1:11 时(A 号)，石油烃降解率最低。这应当与 A 号堆料中石油烃的高含量有关。83900mg/kg 的含油量可能对微生物产生了一定的毒性效应，抑制其生长并降低微生物的降解效率。但堆肥降解率并不一定随堆料中石油烃含量的减少而增强，C 号堆料中尽管油含量只有 24574.8mg/kg，但其降解率反倒低于石油烃含量为 48075mg/kg 的 B 号堆料。原因可能在于 C 号堆料中易降解有机物所占比例过高(1:60)，对堆料中少量的油泥产生强吸附性，使污染基质与微生物接触的机会减少，从而降低了堆料中石油烃的降解效率。

观察图 5 发现，A、B、C 3 种堆料中石油烃的降解率均在前 2d 最高，而后趋于平缓。因为微生物对有毒物的降解必然有一个先适应再降解的过程，而这一过程应不会在 2d 内就完成，

所以此现象可能是由于测定值偏差所致. 因为土壤颗粒的大小并不严格均一, 油泥作为固体污染物, 其本身油含量的分布也不一定均匀, 再加上人工混匀的条件限制, 必然会导致混合堆料中油含量的不一致. 此外, 堆体各不同部位由于其温度、获氧量及微生物数量等的差异也会导致处理水平的不同, 这同样会为取样分析的均匀性带来困扰<sup>[17]</sup>.

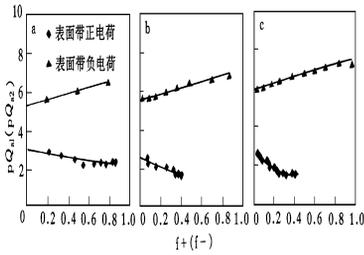


图5 不同堆料比堆肥过程中石油烃含量的变化曲线

### 3 结论

(1) 在石油烃废弃物的堆肥过程中, 温度、含水量、体积的变化以及 VM、TOC 的下降和一般有机堆肥过程各参数的变化规律相似, 说明难降解有机物可通过共代谢机制得到降解.

(2) 不同堆料比的堆料在堆肥过程中含水量、VM、TOC 的变化未见显著差异, 但 1:30 和 1:60 的堆温较 1:11 的要高一些.

(3) 难降解有机物/易降解有机物比例过高, 会对微生物产生毒性, 降低堆肥效率; 比例过低, 又会因为有机质的吸附性, 阻碍微生物与污染基质间的作用, 影响降解效率. 本实验结果表明, 1:30 的堆料比可取得比 1:11、1:60 的堆料比更好的堆肥降解效果, 经 28d 处理, 石油烃去除率可达 59.12% (去除负荷为 1015.1 mg/kg · d).

### 参 考 文 献

- Kevin J Davis and David J Russell. Soil Treatment Technologies Combined. Pollution Engineering, 1993, 25(12): 54 ~ 58
- Hans F Stroo. Biotechnology and Hazardous Waste Treatment. J. Environ. Qual., 1992, 21(2): 167 ~ 175
- J Keck et al. Evidence for Co-oxidation of Polynuclear

- Aromatic Hydrocarbons in Soils. Wat. Res., 1989, 23(12): 1467 ~ 1476
- Ogram A V et al. Effects of Sorption on Biological Degradation Rates of (2, 4-dichlorophenoxy) Acetic Acid in Soils. Appl. Environ. Microbiol., 1985, 49(3): 582 ~ 587
- 马瑛等. 堆肥化生物修复技术处理有毒有害固体废物模拟研究. 环境科学, 1997, 18(4): 65 ~ 69
- Kuter G A et al. Effects of Aeration and Temperature on Composting of Municipal Sludge in a Fullscale Vessel System. Journal WPCF, 1985, 57(4): 309 ~ 315
- Vicky L McKinley and J R Vestal. Biokinetic Analyses of Adaption and Succession: Microbial Activity in Composting Municipal Sewage Sludge. Appl. Environ. Microbiol., 1984, 47(5): 933 ~ 941
- 于天仁等. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 1988. 62 ~ 65
- 陈世和等. 城市垃圾堆肥原理与工艺. 上海: 复旦大学出版社, 1990. 108 ~ 109
- 谢重阁. 环境中石油污染物的分析技术. 北京: 中国环境科学出版社, 1987. 72 ~ 74
- Dye M H and H P Rothbaum. Self-heating of Damp Wool. Part 2. Self-heating of Damp Wool Under Adiabatic Conditions. N. I. J. Sci., 1964, 7: 97 ~ 118
- MacGregor S T et al. Composting Process Control Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature. Appl. Environ. Microbiol., 1981, 41(6): 1321 ~ 1330
- Finstein M S et al. Composting Ecosystem Management for Waste Treatment. Biotechnol., 1983, 1: 347
- Miller F C and Finstein M S. Economic and Technical Analysis of Drying Sludge Through Composting and Air Drying in Indust. Waste: Proc. 17th Mid-Atlantic Conf. I J Kugelman (Ed.). Lancaster, Renn: Tech-nomic and Basel, 1985, 509
- Miller F C and Finstein M S. Materials Balance in the Composting of Wastewater Sludge as Affected by Process Control Strategy. J. Water Pollut. Control Fed., 1985, 57(1): 122
- Finstein M S et al. Monitoring and Evaluating Composting Process Performance. J. Water Pollut. Control Fed., 1986, 58(4): 272 ~ 278
- James G S et al. Physical Conditioning to Enhance Bioremediation of Excavated Hydrocarbon Contaminated Soil at McClellan Air Force Base. Environmental Progress, 1995, 14(2): 104 ~ 109