

生物反应器-填埋场处理渗滤液的试验

何若, 沈东升 (浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029, E-mail: heruo@263.net)

摘要:采用生物反应器-填埋场系统处理垃圾渗滤液. 结果表明:该系统有助于渗滤液中有機污染物进行分相降解,产酸作用主要集中在填埋场,酸化率为 40%~50%,产甲烷作用集中在 UASB 生物反应器中;系统对渗滤液的处理效果明显优于普通的卫生填埋场和渗滤液单独处理系统,并且有利于甲烷气体的收集和利用.同时该系统也加速了垃圾的降解和填埋场的稳定化过程.

关键词:填埋场;生物反应器;渗滤液

中图分类号:X705 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)06-04-0099

Bioreactor-landfill Site for Leaching Solution Treatment

He Ruo, Shen Dongsheng (Department of Environment and Resource, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China E-mail: heruo.@263.net)

Abstract:The study utilizes the system combined bioreactor with landfill site to treat leachate. The results show that the system helped the degradation of the organic pollutants in the leachate to be divided into two phases, the hydrolytic fermentation and acid-production phases mainly occurred in the landfill site, the acidification rate was 40%~50%, the methane-production chiefly occurred in the bioreactor(UASB). It treated the leachate significantly and benefits the collection and utilization of methane gas. Also, the system accelerates the process of degrading municipal solid waste and stabilizing landfill site.

Key words:landfill site; bioreactor; leachate

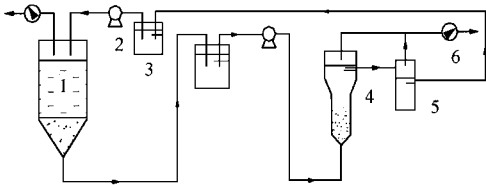
卫生填埋是目前我国城市生活垃圾处理的主要方式,而卫生填埋场产生的渗滤液是一种有毒有害的高浓度有机废水,如果不采取收集与处理措施,渗滤液将会对环境造成严重污染.因此,渗滤液处理是填埋场建设中一个非常关键的问题.通常采用厌氧好氧、缺氧好氧或氧化塘工艺处理渗滤液废水,但多未能取得满意的结果.目前,国内外开始研究用渗滤液直接回灌、喷洒到填埋场的方法来加速填埋场垃圾的分解和稳定化,取得了较满意的结果^[1-4],但未见填埋场对回灌渗滤液处理效果的研究.本文主要就生物反应器-填埋场处理渗滤液进行了试验研究.

1 试验方法与装置

1.1 试验装置

本试验采用的装置流程如图 1.生物反应器-填埋场由 2 部分组成,其中卫生填埋场采用圆形塑料桶,直径 28.7cm,高 65cm.生物反应器采用上流式厌氧污泥床(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB),反应器容

积为 6.28L,有效容积 5.50L,内径为 10cm,高 80cm,径高比 1:8.



1. 卫生填埋场 2. 蠕动泵 3. 集水瓶 4. UASB 生物反应器 5. 外置三相分离器 6. 气体流量计

图 1 生物反应器-填埋场装置流程

Fig.1 Schematic diagram of the bioreactor-landfill site

1.2 试验垃圾组成

参考全国生活垃圾组成成分数据,试验垃圾采用人工合成,其组成成分如表 1 所示.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59808012);浙江省自然科学基金资助项目(599127)

作者简介:何若(1975~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境生物技术.

收稿日期:2001-01-05

表 1 试验垃圾成分组成

Table 1 Component of experimental municipal solid waste

样品成分	厨余	纸类	橡皮塑料	织物	竹木	砖石沙子	金属玻璃
比例 / %	58.66	7.66	12.18	3.68	2.81	8.63	6.38

1.3 试验方法

整个试验分成 2 部分:卫生填埋场和 UASB 生物反应器.卫生填埋场底部垫一层厚约 5cm 的碎石,以便渗滤液顺利排出,各个卫生填埋场垃圾层厚 50cm,填埋垃圾密度控制在 0.5t/m³,上面铺 5cm 厚的沙子,剩

5cm 作气室.卫生填埋场在室内常温进行,试验开始时气温为 20℃左右,后来上升到 35℃左右.UASB 生物反应器试验在恒温室内进行,温度控制在 28±1℃.各个生物反应器-填埋场的试验条件如表 2.

UASB 生物反应器接种污泥取自于杭州柠檬酸厂

表 2 各个生物反应器-填埋场的试验条件

Table 2 The experimental condition of each bioreactor-landfill site

生物反应器- 填埋场	接种株	湿度 / % (实验初加水调节)	回流液		
			前期(1~3 周)	中期(4~8 周)	后期(9~14 周)
R1	否	54	不回流	不回流	不回流
R2	否	75	渗滤液	渗滤液	渗滤液
R3	否	75	UASB 出水	UASB 出水	UASB 出水
R4	是	75	UASB 出水	UASB 出水	UASB 出水

和四堡污水处理厂,试验前先采用模拟废水对厌氧活性污泥进行活化培养,然后用渗滤液驯化启动 UASB 生物反应器,直至全部用渗滤液作为进水进行厌氧处理.经 UASB 生物反应器处理后的渗滤液直接再回流到卫生填埋场.

1.4 主要分析项目与方法

试验过程中,每天记录渗滤液产生量、pH 值和气体流量计的读数,并且每周采取渗滤液样品,分析测定渗滤液中 COD_{Cr}、挥发性脂肪酸(Volatile Fatty Acid, VFA)和 NH₃-N 浓度.其中 pH 值测定:pHS-3 型精密酸度计;COD_{Cr}浓度测定:标准重铬酸钾法;VFA 浓度测定:酸性乙二醇试剂光度法;NH₃-N 浓度测定:纳氏试剂光度法.

2 试验结果与讨论

2.1 UASB 生物反应器运行结果

(1) 有机物的去除 UASB 生物反应器对渗滤液

COD_{Cr}的处理效果如表 3 所示.综合表 3 的数据可以看出,UASB 生物反应器对渗滤液 COD_{Cr}的处理效果好,前期由于渗滤液量较小,UASB 生物反应器容积 COD_{Cr}负荷较低,因此 COC_{Cr}去除率较高,但当填埋场渗滤液量迅速增加时(4~9 周),UASB 生物反应器渗滤液 COD_{Cr}去除率有所下降,但仍可维持在 50%~65%,随着填埋时间的增长,UASB 生物反应器和填埋场中的微生物对渗滤液中有机的转化、分解,渗滤液 COD_{Cr}浓度下降,UASB 生物反应器容积 COD_{Cr}负荷也相应地下降,其 COD_{Cr}去除率迅速上升到 70%以上.这说明 UASB 生物反应器处理卫生填埋场渗滤液的较适容积 COD_{Cr}负荷应在 6.5~7.5kg/(m³·d).

(2) 产气量的变化 在本试验所述的 4 个生物反应器-填埋场中,R1 和 R2 生物反应器-填埋场产气量较小,其中 R1 生物反应器-填埋场到本试验结束也几乎未见有沼气产生,而 R3 和 R4 生物反应器-填埋场从第一周就开始产沼气,且主要集中在 UASB 生物反应器中.

表 3 UASB 生物反应器运行结果

Table 3 Operational properties of the UASB reactors

生物 反应器	时间	HRT / h	容积 COD _{Cr} 负荷 / kg·(m ³ ·d) ⁻¹	进水 COD _{Cr} 浓度 / g·L ⁻¹	出水 COD _{Cr} 浓度 / g·L ⁻¹	去除率 / %
R3	前期(1~3 周)	80~100	1.3~6.5	27~31	0.4~8	>75
	中期(4~8 周)	30~80	10~18	18~28	8~12	50~65
	后期(9~14 周)	40~50	0.3~8	0.9~13	0.12~3	>75
R4	前期(1~3 周)	80~100	1.3~5.1	25~31	0.5~4.5	>80
	中期(4~8 周)	30~80	8.5~14.0	17~27	7~14	45~70
	后期(9~14 周)	40~50	0.3~6.5	0.9~11	0.15~3.5	>70

图 2 为 UASB 生物反应器容积 COD_{Cr} 负荷和产气量的变化.从图 2 可以看出,UASB 生物反应器容积 COD_{Cr} 负荷和产气量有相似的变化曲线,统计分析两者之间的数据,可以得出,产气量近似成正比于容积 COD_{Cr} 负荷,线性相关系数 $R^2 > 0.7$.这可能是由于在 R3 和 R4 生物反应器-填埋场中垃圾渗滤液在填埋垃圾层微生物的反复作用下,使一些未水解的大分子有机物进一步水解产酸,提高渗滤液的酸化率(40%~50%)^[5],高的进水酸化水平使 UASB 生物反应器中产甲烷细菌成为优势菌,分相较为彻底.

渗滤液经过 UASB 生物反应器后,pH 值为中性或偏碱性,再回流到卫生填埋场,可以避免直接回流形成的 pH 梯度分布,保持填埋场垃圾层内微生物群系的生态平衡,维持系统内高效、稳定的生物降解性能.

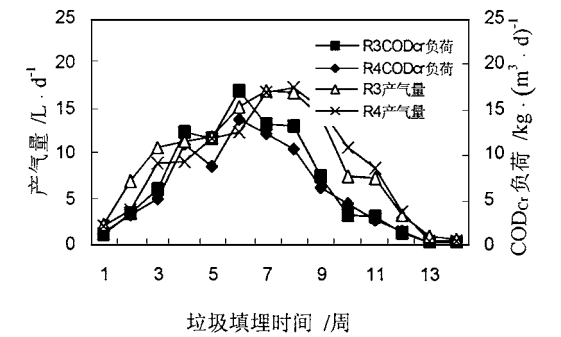


图 2 UASB 反应器容积 COD_{Cr} 负荷和产气量变化
Fig.2 The variation of COD_{Cr} volume load and the amount of gas produced in UASB reactors

2.2 渗滤液水质的变化趋势

渗滤液水质的变化,直接反映填埋场内垃圾中有有机物在微生物作用下生物降解的过程.由于试验生物反应器-填埋场控制条件的不同,填埋中垃圾降解的速率也不一样,从而导致其渗滤液水质的变化也各异,图 3~图 6 为试验期间各反应器填埋场渗滤液水质变化的情况.

分析图 3~图 5 及有关试验数据,可以发现:

(1)在整个实验期间,对照 R1 反应器填埋场渗滤液 COD_{Cr} 浓度一直在 40000 mg/L 上下,变化不明显;而 NH_3-N 和 VFA 浓度则随着填埋时间的增长有增大的趋势.这说明在该填埋场中,填埋垃圾已发生一定的降解,但主要是大分子物质水解为挥发性脂肪酸等小分子物质进入渗滤液,并没有发生彻底分解,最终因填埋场垃圾的酸化而抑制其进一步的降解.

(2)渗滤液直接回流的 R2 反应器填埋场渗滤液 COD_{Cr} 和 VFA 浓度经历了一个由低到高,再由高到低

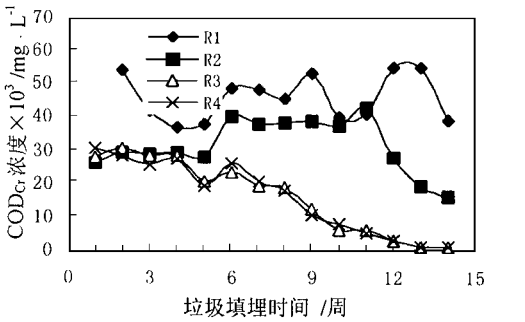


图 3 不同填埋场渗滤液 COD_{Cr} 浓度变化
Fig.3 The variation of COD_{Cr} concentrations in each landfill leachate

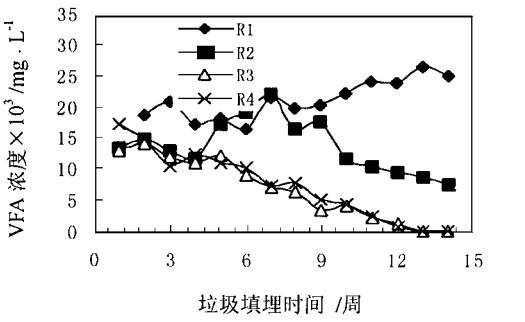


图 4 不同填埋场渗滤液 VFA 浓度变化
Fig.4 The variation of VFA concentrations in each landfill leachate

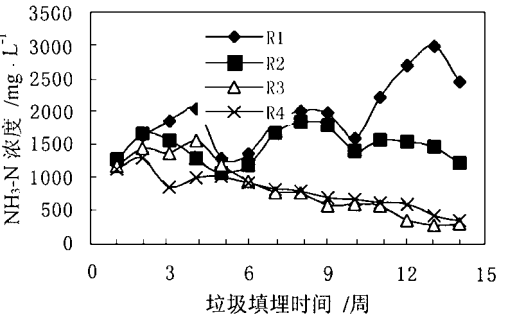


图 5 不同填埋场渗滤液 NH_3-N 浓度变化
Fig.5 The variation of NH_3-N concentrations in each landfill leachate

的过程.试验初期, COD_{Cr} 和 VFA 浓度基本稳定,分别在 27000 mg/L 和 13000 mg/L 左右.到了第 5 周, COD_{Cr} 和 VFA 浓度开始上升,分别达到 40000 mg/L 和 18000 mg/L,然后一直维持在这个高浓度水平,至第 10~11 周开始下降;渗滤液中 NH_3-N 值从低到高,再从

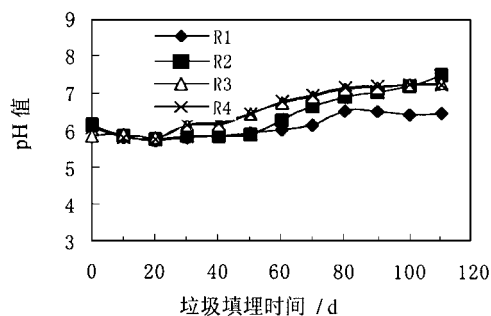


图 6 不同填埋场渗滤液 pH 值变化

Fig. 6 The variation of pH in each landfill leachate

高到低的过程不明显,一般都在 1300 mg/L 上下波动。这说明渗滤液直接回流初期并不能促进垃圾的降解,填埋垃圾层微生物对渗滤液中的有机物也仅主要发生水解作用,产酸细菌大量繁殖,使渗滤液中有有机酸产生积累,导致 pH 值下降,垃圾层微生物群系的生态平衡遭到破坏。随着渗滤液不断循环和垃圾层微生物的活动,渗滤液 pH 值逐渐上升,产甲烷细菌有所生长。

(3) R3 和 R4 生物反应器-填埋场渗滤液 COD_{Cr} 和 VFA 浓度一直处于下降趋势,没有出现高峰值,并且 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值也有明显的下降,到试验结束时,其渗滤液的 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 VFA 浓度已分别降至 800 mg/L 、 400 mg/L 和 300 mg/L 左右。由图 3 ~ 图 5 的结果可以得出,垃圾渗滤液厌氧处理后再回流到卫生填埋场中,把厌氧生物处理分成两段进行,在填埋场垃圾渗滤液主要发生水解产酸作用,在 UASB 生物反应器中主要发生产甲烷作用,这可以使水解产酸细菌和产甲烷细菌在各自适宜的环境中得到较快的生长繁殖,使垃圾渗滤液水质在最短时间里达到稳定化。

各个反应器填埋场渗滤液出水水质 pH 值的变化状况(图 6)进一步证实了以上的推测。在填埋前期,由于有机物的水解产酸,渗滤液中有有机酸大量积累,导致 pH 值下降,各反应器填埋场渗滤液 pH 值都为 6.0 左右。经 20 天后,生物反应器-填埋场 R3 和 R4 渗滤液 pH 值开始上升,到第 60 天 pH 值为 7,而 R2 反应器填埋场渗滤液经 50 天后 pH 值才开始上升,比 R3 和 R4 生物反应器-填埋场迟 1 个月左右到达 pH7。对照 R1 填埋场渗滤液 pH 值上升更慢,直到本试验结束时仍为酸性。这主要是含有大量有机酸(VFA)的渗滤液经过 UASB 生物反应器处理后,渗滤液 pH 值为中性或偏碱

性,当它再回流到卫生填埋场中时,减少了酸性 pH 值对垃圾层中中性微生物(产甲烷细菌)的抑制,有利于垃圾层中微生物种群综合协调的代谢,加速了垃圾的稳定化过程和渗滤液中有机的进一步降解。

本试验中,未接种的 R3 生物反应器-填埋场和接种降解菌株的 R4 生物反应器-填埋场渗滤液水质及其变化相差不大,这表明,尽管接种菌株的垃圾填埋场垃圾层微生物种类和数量比不接种的垃圾层多,有利于填埋场中垃圾的降解,且 R4 填埋场垃圾的沉降速度也比 R3 快 20% ~ 30%,但一次接种对渗滤液水质的影响并不明显。

3 结论

(1) UASB 生物反应器对渗滤液 COD_{Cr} 去除效果比较好,在容积 COD_{Cr} 负荷高达 $18 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, COD_{Cr} 去除率也在 50% 以上。

(2) 生物反应器-填埋场有助于高浓度有机物降解微生物菌群(产酸细菌和产甲烷细菌)的生长优势,最大程度地降低渗滤液中有有机物浓度,加快填埋场和渗滤液的稳定化过程,减轻填埋场渗滤液的后处理负荷和处理难度。

(3) 生物反应器-填埋场可以使产甲烷细菌优势生长区明显,产甲烷作用主要集中在 UASB 生物反应器中,有利于沼气的收集和利用。

(4) 生物反应器-填埋场是一种比较有发展前途的城市生活垃圾及其填埋场渗滤液有效处理的方法。

参考文献:

- 1 卢成洪,徐迪民.回灌法处理城市垃圾填埋场渗滤液.上海环境科学,1997,16(1):38~40.
- 2 Debra R et al. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operation characteristics. Waste Management & Research, 1996, 14:337~346.
- 3 Townsend T G et al. Acceleration of landfill stabilization using leachate recycle. Journal of the Environmental Engineering, 1996, 122(4):263~268.
- 4 Bae J H et al. Effect of leachate recycle and anaerobic digester sludge recycle on the methane production from solid wastes. Water Science & Technology, 1998, 38(2):159~168.
- 5 管运涛等.两相厌氧膜生物系统处理有机废水的研究.环境科学,1998,19(6):56~59.