

调节渗沥液 pH 回灌对厌氧填埋的影响

江娟, 詹爱平, 冯斌

(华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要:通过2组模拟厌氧填埋试验,研究了经过40 d模拟降雨后将原渗沥液直接回灌和将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后进行回灌对填埋气、渗沥液生化指标、渗沥液生物毒性的影响。结果表明,模拟降雨阶段,垃圾迅速酸化,出流渗沥液 pH 值迅速降低为 5.21。将原渗沥液直接回灌,填埋层内酸化环境进一步恶化。调节渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌,垃圾迅速进入产 CH_4 阶段,第 80 d 时 CH_4 含量达到 64.8% 并形成良好的甲烷氛围,同时对有机物也有很好的去除效果,至 170 d 时渗沥液 BOD_5 、COD 去除率分别为 93.5%、89.1%,但回灌后期出流渗沥液可生化性变差。同时随着回灌的进行,渗沥液的生物毒性大大降低,四膜虫 24 h 半致死渗沥液浓度由 0.24% 增长为 3.27%。

关键词:渗沥液; pH 值; 厌氧填埋; 回灌; 生物毒性

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)10-2500-07

Effects of the Leachate Recirculation with pH Adjusted on Anaerobic Landfill

JIANG Juan, ZHAN Ai-ping, FENG Bin

(School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The landfill gas, biochemical indications of leachate and toxicity of leachate had been investigated in two simulated anaerobic bioreactors. After 40 days of simulated rainfall, one reactor was recharged with the original leachate directly while the other one was recharged with the adjusted leachate of which the pH was changed to 7.5. The results indicate that during the simulated rainfall the garbage is acidified rapidly with the pH value decreased to 5.21. Recharged with the original leachate, acidification of the landfill layer is deteriorated. Recirculation of the adjusted leachate, which can produce methane rapidly, can also remove organic pollutants significantly. At the 80th day methane production rate is up to 64.8%. After 170 days, the removal of BOD_5 comes to 93.5% while the removal of COD is 89.1%. Furthermore, the biological toxicity of leachate decreases significantly and the semi-lethal concentration of leachate to tetrahymena rises to 3.27% from 0.24% within 24 hours.

Key words: leachate; pH value; anaerobic landfill; recirculation; biotoxicity

随着城市 GDP 的快速增长,城市生活垃圾产量越来越大,传统的厌氧填埋已不能满足日益增长的土地填埋需求,而且新标准(生活垃圾填埋污染控制标准,GB 16889-2008)对出流渗沥液提出了更高的要求,使得渗沥液的处理费用更高。因此关于渗沥液回灌加速厌氧填埋系统稳定,降低渗沥液处理费用,使传统的厌氧填埋场变成可循环利用的生物反应器具有重要研究意义和工程应用价值。

回灌增加了厌氧填埋系统的含水率、生物量、营养物质和活性酶^[1,2],可以加速垃圾甲烷化进程。Reinhart 等^[3]的研究表明,渗沥液回灌可以使原需数年的稳定过程缩短至 2~3 a。文献[4~9]通过研究渗沥液回灌负荷对填埋垃圾产气效能的影响提出了最佳回灌比。也有研究表明,渗沥液原液直接回灌会导致 VFA 积累, pH 值低于 6,从而对产甲烷菌群产生毒性^[10,11]。回灌后期出流渗沥液可生化性变差,增加其后续处理难度,因此也出现了大量关于将渗沥液经预处理后回灌的研究,如采用好氧预处理后回灌、选用老填埋场渗沥液回灌以及人工配制回

灌渗沥液等^[12~14]。目前关于渗沥液回灌的研究较多,在美国、英国、加拿大、澳大利亚、日本等都已有良好的应用以及工程实践经验^[15,16],但将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后进行回灌的研究却鲜见报道。

目前国内外学者在渗沥液生物毒性方面也做了大量的研究^[17~21],但关于回灌后渗沥液生物毒性的研究鲜见报道。且目前关于渗沥液生物毒性试验研究所用的材料主要以蚕豆、鲫鱼、大鼠、大型水蚤和发光细菌等为主^[22~24],而这些试验材料相对于四膜虫具有生命周期长、反应不敏感等特性。四膜虫作为单细胞、个体较大的原生动物,其生长周期短,对毒物的响应比上述高等生物更为敏感、直接,是较理想的生物毒性试验材料^[25],因此本试验采用四膜虫作为回灌渗沥液生物毒性研究的试验材料具有一定的新意。

收稿日期: 2010-01-15; 修订日期: 2010-05-25

基金项目: 武汉市重点科技攻关项目(20056002052)

作者简介: 江娟(1958~),女,工程师,主要研究方向为固体废物及生物技术, E-mail: jiangjuan168@126.com

本试验针对 2 组厌氧填埋装置,分别考察了经过 40 d 模拟降雨后将原渗沥液直接回灌和将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后进行回灌对填埋气和出流渗沥液各生化指标的影响,并通过渗沥液对四膜虫的 24 h 半致死浓度 (24 h-LC₅₀) 研究了原渗沥液直接回灌和将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后回灌对出流渗沥液生物毒性的影响,以期为渗沥液回灌工程应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 装置和材料

本试验由 2 个平行的模拟厌氧填埋装置组成,其结构如图 1 所示。该装置主体为圆柱形,直径 0.6 m,高度 1.2 m,外部包有保温石棉。反应装置内垃圾上部 and 下部均铺有滤网土工布以防堵塞。装置底部铺设 35 mm 厚砾石作为渗沥液导流层,收集的渗沥液贮存于调节池中,然后通过流量泵回流至顶部回灌池以备回灌用。反应装置内顶部 200 mm 厚的砾石可兼做导水层和导气层,其中铺设渗沥液布水管。装置顶部沼气收集管接气体流量计和沼气分析仪。侧壁不同高度设取样口和测温口。

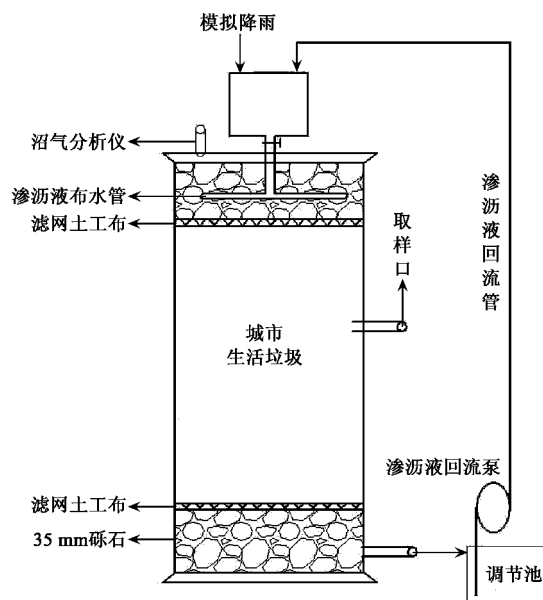


图 1 厌氧装置结构示意图

Fig. 1 Schematic of anaerobic bioreactor

试验所用垃圾取自陈家冲填埋场的新鲜垃圾,含水率为 50.2%,有机物含量为 58.5%,垃圾组分见表 1。首先手工分选出其中可回收利用资源,然后将垃圾破碎至粒径 < 0.8 cm 后填入厌氧填埋装置,

表 1 试验垃圾组分

Table 1 Components of experimental waste

组分	厨渣	纸张	织物	竹木	瓜果皮核	玻璃	塑料	金属	灰渣
质量分数/%	48.5	5.4	3.3	2.1	3.3	1.7	10.1	1.0	24.6

垃圾装填量约为 250 kg/个,压实密度接近 0.9 t/m³。

嗜热四膜虫由中国科学院武汉水生生物研究所原生动物组提供。

1.2 试验方法

在试验装置装填垃圾完毕后,第 1~40 d,每周分别向各试验装置内灌入清水 5.4 L 以模拟中部地区降雨,收集的渗沥液贮存于调节池。

从第 41 d 开始,取调节池中贮存渗沥液按照每周 1 次的频率进行回灌。回灌初期以相当于垃圾湿重 5.3% 的比例进行即每周回灌 13 L,当 2 套装置中任意 1 套装置填埋气中 CH₄ 的含量达到 60% 时,则 2 套装置均以 2.7% 的比例即每周 6.7 L 进行回灌,此回灌比参考了邓舟等^[8]提出的最佳回灌比。其中 2 号装置将收集的原渗沥液用 NaHCO₃ 调节 pH 值为 7.5 后进行回灌,1 号装置则用收集的原渗沥液直接回灌。

试验过程中,每 10 d 记录累计型气体流量计读

数,并采用沼气分析仪测定填埋气中 CH₄ 含量,同时测定渗沥液的 pH、VFA、BOD₅、COD、电导率等生化指标,测定方法均按照废水的国家标准分析方法进行。

此外每隔 10 d 取渗沥液用四膜虫 24 h-LC₅₀ 来测定其生物毒性。四膜虫的培养参考黄卫红等^[25]所采用的方法,首先将四膜虫培养至稳定期,然后在四膜虫处于稳定期的培养基中,加入一定体积的原渗沥液,使培养体系中渗沥液的浓度分别为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%,每个浓度设置 2 个平行样。每隔 2h 用原生动物计数框进行活体计数。

2 结果与讨论

2.1 调节 pH 值对填埋气的影响

厌氧装置内填埋气体产量及填埋气中 CH₄ 含量均标志着垃圾厌氧填埋过程中甲烷化进程,试验期间填埋气体产量及填埋气中 CH₄ 含量变化情况

如图2、图3所示.模拟降雨阶段,第1~40 d,2套装置操作条件相同,变化趋势也较为一致,填埋气产量及填埋气中 CH_4 含量均呈小幅增长,第40 d时填埋气累计产量约为400 L, CH_4 含量在13%左右.从第41 d起,采用原渗沥液直接回灌的1号装置所产生的填埋气体量仍呈小幅增长趋势,其 CH_4 含量则呈平缓上升趋势.将原渗沥液pH值调节为7.5后回灌的2号装置则迅速进入大量产气阶段,至第80 d时填埋气累计产量达5 600 L,填埋气中 CH_4 含量则高达64.8%,这比1号装置产气量、 CH_4 含量达到同等水平分别提前了40 d、60 d.

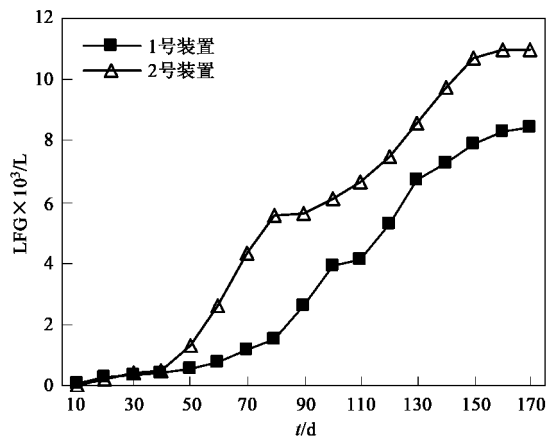


图2 各装置填埋气累计产量

Fig. 2 LFG quantities from simulated reactors

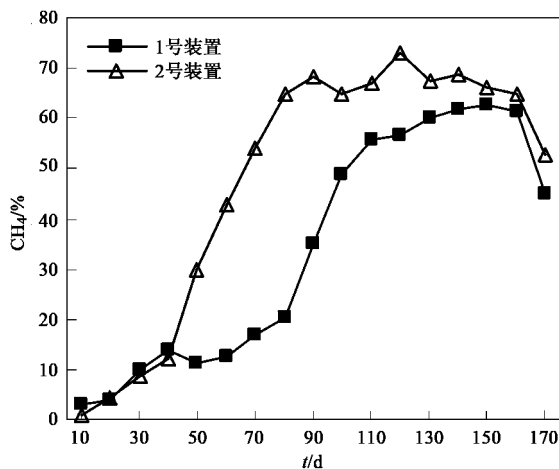
图3 填埋气中 CH_4 含量的变化

Fig. 3 Variations of methane percentage in LFG

第80 d时2号装置内 CH_4 含量达60%以上,此时回灌进入第二阶段,即2套装置均以2.7%的比例进行回灌.此后1号装置内填埋气产量呈缓慢增长趋势,2号装置则呈稳步快速增长趋势,至第170

d时2号装置填埋气累计产量达10 940 L,1号装置填埋气只有8 400 L,且2号装置 CH_4 含量一直维持在60%以上,1号装置 CH_4 含量则几乎没有超越60%.

结合图4出流渗沥液pH值及图5出流渗沥液 BOD_5 、COD变化规律可以看出,填埋初期垃圾中有机物大量溶出,出流渗沥液pH值迅速降低,填埋层内垃圾酸化,用原渗沥液直接回灌进一步恶化了填埋垃圾层环境,不利于填埋场甲烷化进程.调节渗沥液pH值为7.5后回灌则能够有效调节垃圾层内环境,使之适宜产甲烷菌的生长,在甲烷菌群的作用下有机物迅速转化为 CH_4 ,垃圾产气速度明显加快,甲烷含量明显提高,形成了较好的产气氛围.本试验同时也验证了邓舟等^[13]的研究结果,较高的回灌量使得垃圾快速进入产甲烷阶段,较小的回灌量则有利于厌氧填埋的稳定化进程.

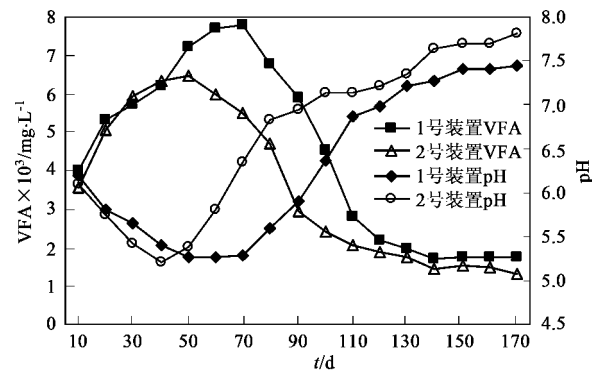
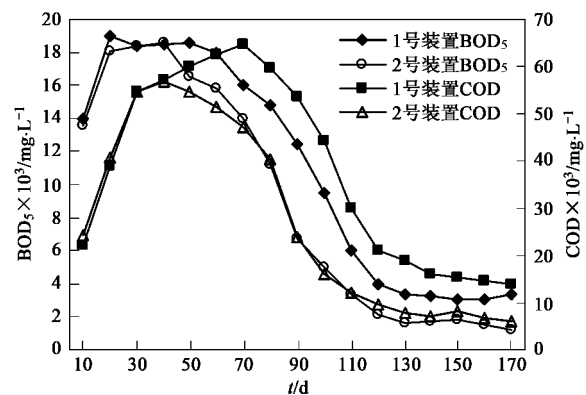


图4 渗沥液VFA、pH值的变化

Fig. 4 Variations of VFA and pH concentrations

图5 渗沥液 BOD_5 、COD的变化Fig. 5 Variations of BOD_5 and COD concentrations from simulated reactors

2.2 调节pH值对渗沥液的影响

渗沥液回灌的一个重要目的是对渗沥液进行预

处理,降低污染物浓度及后续处理费用,此外填埋系统稳定化进程也可以通过渗沥液有机污染物浓度来表征,因此渗沥液回灌过程中对各生化指标的全过程检测具有重要意义.

2.2.1 渗沥液产量的变化

各装置渗沥液回灌量以及渗沥液产生量随时间的变化情况如图 6 所示. 试验初期即模拟降雨阶段, 2 套装置渗沥液每周产量均大于模拟降雨量. 第 41 d 起, 试验进入回灌阶段, 2 套装置均以相当于垃圾湿重 5.3% 的比例进行即每周回灌 13 L. 回灌初期, 渗沥液产量大于回灌量, 第 9 周时渗沥液产量接近于回灌量. 第 81 d 起, 试验进入回灌的第二阶段, 2 套装置均以 2.7% 的比例进行即每周回灌 6.7 L, 开始渗沥液产生量大于回灌量, 15 周后渗沥液产量小于回灌量, 且趋于稳定. 整个试验过程中, 2 套装置渗沥液产量较接近, 变化规律趋于一致, 可以看出调节渗沥液 pH 值后回灌对渗沥液产量的影响不大.

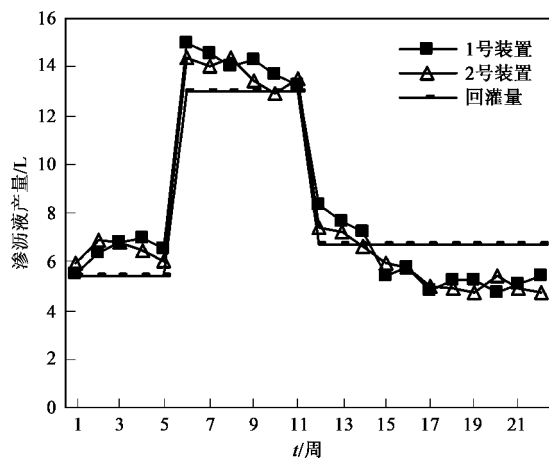


图 6 渗沥液产量的变化

Fig.6 Variations of leachate production

2.2.2 出流渗沥液 VFA、pH 值的变化

各装置出流渗沥液 VFA、pH 值随时间的变化情况如图 4 所示. 试验初期即模拟降雨阶段, 2 套装置出流渗沥液 VFA、pH 值随时间变化规律相同, 各装置出流渗沥液 VFA 浓度均呈上升趋势, pH 值均呈下降趋势. 第 40 d 时 VFA 浓度上升为 6 300 mg/L 左右, pH 值下降为 5.2 左右.

第 41 d 起, 试验进入回灌阶段, 1 号装置将原渗沥液直接回灌, 此后 1 号装置出流渗沥液 VFA 仍呈上升趋势, pH 值则仍持续下降, 第 70 d 时 VFA 浓度上升为最大值 7 800 mg/L, pH 值则下降为最低点 5.29. 71 d 后出流渗沥液 VFA 浓度才呈缓慢下降

趋势, pH 则逐步上升, 第 170 d 时 1 号装置出流渗沥液 VFA 浓度降低为 1 740 mg/L, pH 值则升高为 7.41.

2 号装置则将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后进行回灌, 此后出流渗沥液 pH 值迅速上升, VFA 浓度则在缓慢上升后急速下降, 至 170 d 时出流渗沥液 VFA 浓度、pH 值分别维持在 1 340 mg/L、7.8 左右.

根据各装置出流渗沥液 VFA、pH 值变化规律可以看出, 渗沥液的 pH 值与 VFA 浓度密切相关. 填埋初期垃圾迅速水解酸化产生大量 VFA, pH 值降低, 产甲烷菌群受到抑制, 而产酸菌群正常, 这样 VFA 继续积累, pH 值进一步下降. 这也是 1 号装置将原渗沥液直接回灌导致填埋层内酸化环境进一步恶化的原因, 而填埋后期出流渗沥液 VFA 浓度缓慢下降, pH 值缓慢上升, 这说明通过渗沥液回灌的方式填埋层内环境具有一定自我调节能力. VFA 既是填埋垃圾水解酸化的产物, 又是产甲烷菌群利用的底物, VFA 大幅下降表明甲烷化迅速形成. 结合图 2、图 3 试验证明通过调节回灌渗沥液 pH 值的方法, 可以有效改善填埋层内的酸化环境, 有效缓解 VFA 对填埋层产甲烷菌群的抑制, 从而缩短厌氧填埋水解酸化时间, 加速填埋甲烷化过程的形成.

2.2.3 出流渗沥液 BOD₅、COD 的变化

出流渗沥液 BOD₅、COD 浓度随时间变化曲线如图 5 所示. 模拟降雨阶段, 各装置出流渗沥液 BOD₅ 和 COD 浓度均呈快速增长趋势, 第 40 d 时分别高达 18 500 mg/L 和 57 000 mg/L. 这说明城市生活垃圾进入填埋装置后迅速进入水解酸化阶段, 即在水解酸化细菌的作用下, 垃圾中各种固态有机物转化为可溶性的物质.

第 41 d 起, 1 号装置采用原渗沥液直接回灌, 出流渗沥液 BOD₅ 呈缓慢下降趋势, COD 浓度则持续上升, 70 d 时出流渗沥液 COD 浓度上升为最大值 65 000 mg/L, 此后 COD 浓度才开始呈下降趋势. 2 号装置在调节原渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌, 出流渗沥液 BOD₅、COD 迅速下降, 第 40 d 到第 170 d 期间 BOD₅ 浓度由 18 610 mg/L 下降为 1 200 mg/L, 去除率为 93.5%. COD 浓度则由 56 800 mg/L 下降为 6 200 mg/L, 去除率为 89.1%.

由以上分析可以看出, 调节渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌取得了良好的试验效果, 对 BOD₅、COD 均有较高的去除率, 使得垃圾中有机物迅速转化为气态物质, 缩短了垃圾进入甲烷化时间, 降低了最终出流渗沥液 BOD₅ 和 COD 浓度.

2.2.4 出流渗沥液 BOD_5/COD 变化

出流渗沥液 BOD_5/COD 值随时间变化情况如图 7 所示. 模拟降雨阶段, 各装置出流渗沥液可生化性均较好, BOD_5/COD 维持在 0.33 ~ 0.65 范围内. 回灌后渗沥液可生化性均呈降低趋势, 70 d 后 1 号装置渗沥液 BOD_5/COD 值低于 0.3, 而 2 号装置 100 d 以内出流渗沥液 BOD_5/COD 值仍大于 0.3, 这说明调节渗沥液 pH 为 7.5 后回灌可有效改善渗沥液可生化性. 但 100 d 后 2 号装置出流渗沥液 $BOD_5/COD < 0.3$, 可生化性差.

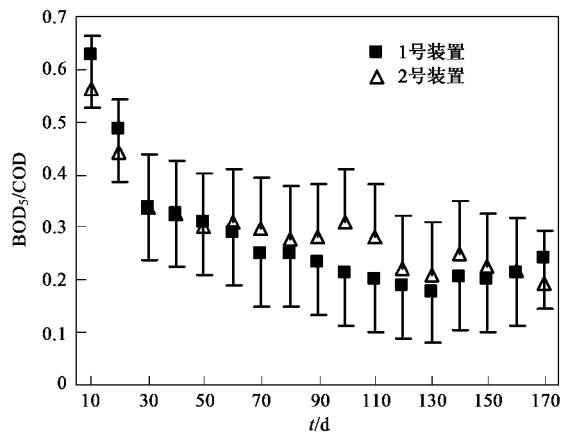


图 7 渗沥液 BOD_5/COD 值的变化

Fig. 7 Variations of BOD_5/COD value from simulated bioreactors

从以上分析结果可以看出, 调节渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌可以有效维持垃圾堆体降解系统的稳定, 对渗沥液有较好的预处理效果, 考虑到回灌经济因素以及后续处理成本等问题, 本模拟厌氧填埋试验将 pH 值调节为 7.5 的回灌时间控制在 100 d 以内较为合适.

2.2.5 出流渗沥液盐度变化

渗沥液盐度可采用电导率来表示. 从图 8 各装置出流渗沥液电导率变化趋势可以看出, 填埋初期各装置出流渗沥液电导率均呈上升趋势, 最高时电导率接近于 8 S/m, 此时出流渗沥液盐度最高. 回灌后渗沥液电导率均呈缓慢下降趋势, 且 2 套装置整个过程中电导率变化趋势及数值均大体相同, 这说明采用 $NaHCO_3$ 调节原渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌, 相对于采用原渗沥液直接回灌并没有对出流渗沥液盐度产生较大影响, 因而采用 $NaHCO_3$ 调节原渗沥液 pH 值不会对垃圾降解过程产生抑制.

3 调节 pH 值对渗沥液生物毒性的影响

渗沥液的生物毒性可采用渗沥液对四膜虫的

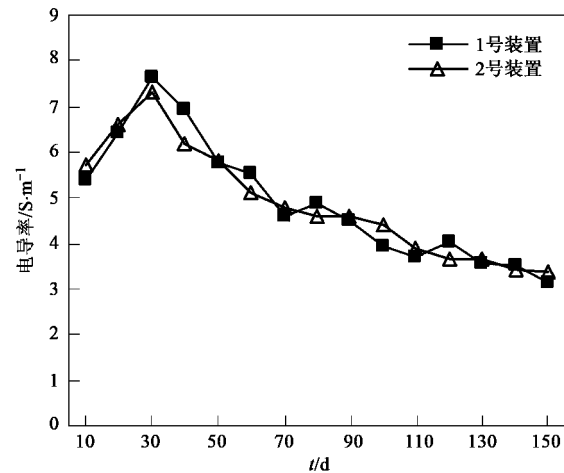


图 8 渗沥液的电导率变化

Fig. 8 Variations of conductivity from simulated bioreactors

24 h- LC_{50} 来表征. 试验通过测定出不同浓度渗沥液中四膜虫数量随时间的变化情况, 然后换算出四膜虫 24 h- LC_{50} . 根据换算结果各装置出流渗沥液四膜虫 24 h 半致死浓度随时间变化趋势如图 9 所示.

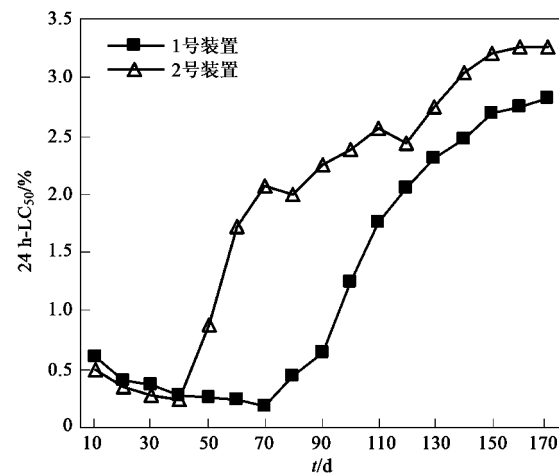


图 9 渗沥液对四膜虫 24 h 半致死浓度的变化

Fig. 9 Variations of $BF_{524} h-LC_{50}$ from simulated bioreactors

试验初期, 各装置出流渗沥液对四膜虫 24 h- LC_{50} 均呈持续下降趋势, 这表明模拟降雨阶段 2 套装置出流渗沥液的生物毒性均越来越大, 其原因可能是随着模拟降雨的进行, 垃圾中有毒有害物质也被淋入液相, 也可能垃圾中部分有毒有害物质在水解酸化细菌作用下分解溶入液相.

从第 41 d 起, 采用原渗沥液直接回灌的 1 号装置所产生的渗沥液 24 h- LC_{50} 仍呈下降趋势, 第 70 d 时渗沥液 24 h- LC_{50} 降为最小值 0.19%, 此时渗沥液生物毒性最大. 将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后回

灌的 2 号装置出流渗沥液 24 h-LC₅₀ 则呈快速上升趋势,即渗沥液的生物毒性越来越小,从第 40 d 到第 170 d 渗沥液对四膜虫的 24 h-LC₅₀ 由 0.24% 变为 3.27%,其浓度为最高毒性浓度的 13.6 倍.且 170 d 时 2 号装置出流渗沥液生物毒性小于 1 号装置.由此可见通过调节回灌渗沥液 pH 值的方式,可以提前并大大降低出流渗沥液的生物毒性.

为了进一步分析渗沥液生物毒性与各项生化指标的关系,采用 SAS 软件进行了相关性分析,结果发现本试验所测的渗沥液各项生化指标与渗沥液对四膜虫 24 h-LC₅₀ 无显著相关性.由此可见,垃圾渗沥液的常规生化指标并不能完全反映其对生态环境影响,所以在分析填埋场渗沥液对环境系统的综合影响时建议同时分析其生化指标和渗沥液的生物毒性.

4 结论

(1) 有机物含量高的城市生活垃圾进入厌氧填埋装置后极易酸化,模拟降雨阶段 pH 值迅速降为 5.21,采用原渗沥液直接回灌不利于厌氧填埋甲烷化的形成.调节渗沥液 pH 值为 7.5 后回灌,取得了较好的试验效果,垃圾快速进入产气阶段并形成了较好的甲烷氛围.

(2) 将原渗沥液 pH 值调节为 7.5 后回灌至垃圾层,对出流渗沥液 BOD₅、COD 均有较好的去除效果,去除率分别高达 93.5%、89.1%,但随着回灌的进行渗沥液可生化性越来越差.考虑回灌成本以及后期出流渗沥液可生化性,调节 pH 值为 7.5 的回灌时间控制在 100 d 以内为宜.

(3) 随着回灌的进行渗沥液生物毒性大大降低,调节 pH 为 7.5 后回灌,其最终渗沥液对四膜虫 LC₅₀ 为最高毒性时浓度的 13.6 倍.渗沥液各项生化指标与渗沥液生物毒性不存在相关性,渗沥液对生态环境的影响不仅要分析渗沥液的生化指标还应结合渗沥液的生物毒性进行综合分析.

参考文献:

- [1] Chan G, Chu L M, Wang M H. Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment [J]. Environmental Pollution, 2002, **118**(3): 393-399.
- [2] Sanphoti N, Towprayoon S, Chaiprasert P. The effects of leachate recirculation with supplemental water addition on methane production and waste decomposition in a simulated tropical landfill [J]. Journal of Environmental Management, 2006, **81**(1): 27-35.
- [3] Reinhart D R, Al-Yousfi A B. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics [J]. Waste Management Research, 1996, **14**(4): 337-346.
- [4] Chugh S, Clarke W, Pullammanappallil P, et al. Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation [J]. Waste Management Research, 1998, **16**(6): 564-573.
- [5] Sponza D T, Ağdağ O N. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors [J]. Process Biochemistry, 2004, **39**(12): 2157-2165.
- [6] Şan I, Onay T T. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation [J]. Journal of Hazardous Materials, 2001, **87**(34): 259-271.
- [7] 欧阳峰,李启彬,刘丹. 生物反应器填埋场渗滤液回灌影响特性研究[J]. 环境科学研究, 2003, **16**(5): 52-54.
- [8] 邓舟,蒋建国,杨国栋,等. 渗滤液回灌量对其特性及填埋场稳定化的影响[J]. 环境科学, 2006, **27**(1): 184-188.
- [9] 杨国栋,蒋建国,黄云峰,等. 渗滤液回灌负荷对填埋场垃圾产气效能的影响[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 2129-2134.
- [10] 邹尔泉,何晶晶,邵立明. 回灌对垃圾填埋初期渗滤液化学需氧量的影响[J]. 环境污染与防治, 2004, **26**(4): 241-243.
- [11] Ledakowicz S, Kaczarek K. Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste [J]. Journal of Environmental Science and Health, 2004, **39**(4): 859-871.
- [12] 邵立明,何晶晶,瞿贤. 回灌渗滤液 pH 和 VFA 浓度对填埋场初期甲烷化的影响[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(9): 1451-1457.
- [13] 邓舟,蒋建国,黄中林,等. 渗滤液回灌对其最终处理的影响中试研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(6): 1240-1243.
- [14] 郭辉东,何晶晶,邵立明,等. 渗滤液回灌的氨氮和凯氏氮变化规律[J]. 中国给水排水, 2004, **20**(1): 18-21.
- [15] Reinhart D R. Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: case studies [J]. Waste Management Research, 1996, **14**(4): 347-365.
- [16] Yuen S T S. Bioreactor landfills: Do they work? [A]. In: Geoenvironment 2001. 2nd ANZ Conference on Environmental Geotechnics[C]. Australia: Newcastle, 2001. 28-30.
- [17] Chen C M, Liu M C. Ecological risk assessment on a cadmium contaminated soil landfill—a preliminary evaluation based on toxicity tests on local species and site-specific information [J]. Science of the Total Environment, 2006, **359**(1): 20-129.
- [18] Wik A, Dave G. Acute toxicity of leachates of tire wear material to *Daphnia magna*—Variability and toxic components [J]. Chemosphere, 2006, **64**(10): 1777-1784.
- [19] Pivato A, Gaspari L. Acute toxicity test of leachates from traditional and sustainable landfills using luminescent bacteria [J]. Waste Management, 2006, **26**(10): 1148-1155.
- [20] Feng S, Wang X, Wei G, et al. Leachates of municipal solid waste incineration bottom ash from Macao: Heavy metal concentrations and genotoxicity [J]. Chemosphere, 2007, **67**

- (6): 1133-1137.
- [21] Seco J, Fernández-Pereira C, Vale J. A study of the leachate toxicity of metal-containing solid wastes using *Daphnia magna* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, **56**(3): 339-350.
- [22] Clément B, Merlin G. The contribution of ammonia and alkalinity to landfill leachate toxicity to duckweed [J]. *Science of the Total Environment*, 1995, **170**(1): 71-79.
- [23] 于云江, 王红梅, 赵秀阁, 等. 垃圾渗滤液所致大鼠肝毒性研究[J]. *毒理学杂志*, 2008, **22**(1): 38-39.
- [24] Deguchi Y, Toyozumi T, Masuda S, *et al.* Evaluation of mutagenic activities of leachates in landfill sites by micronucleus test and comet assay using goldfish [J]. *Mutation Research*, 2007, **627**(2): 178-185.
- [25] 黄卫红, 陆晓华. 六氯苯对原生动动物四膜虫的生物毒性试验室研究[J]. *环境科学与技术*, 2006, **29**(12): 11-13.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102, 010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjkx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjkx.ac.cn