

干热地区的干式堆肥厕所

Thomas Redlinger^{1*} Verónica Corella-Barud² Jay Graham² Raquel Avitia²
(El Paso 德克萨斯大学生物科学系¹与环境管理中心, El Paso, TX 79968)

联系地址

Dr. Thomas Redlinger

Department of Biological Sciences

University of Texas

El Paso, TX 79968

Tel: 915-747-6995, Fax: 915-747-5808, thomasr@utep.edu

引言

干式卫生系统的运行不需要水或者下水道设施,在缺乏水的地方是一个可行的替代方法。这种系统比传统的坑式厕所具有的优势在于:最少的环境污染;可减少粪便中病原体进入口中造成的疾病从而提高公共健康。

本研究包括两个阶段。第一阶段研究了约 90 个单坑式干式堆肥厕所⁽⁵⁾,并根据美国环境保护局制定的粪便大肠菌数的标准,将生物固体废物分为 A 和 B 两大类。这个阶段也确定了减少生物固体废物中粪便大肠菌的主要机制(生物降解或脱水)。这两个目的对于确定在墨西哥中北部和美国西南部干热气候地区这种厕所的适用性十分重要。在研究的第二阶段,我们建造了 4 种不同的生态卫生厕所系统(每种建 5 个):单坑式尿分流厕所;双坑式尿分流厕所;单坑式堆肥厕所;双坑式堆肥厕所;我们对这四个系统中,粪便中大肠菌减少的效率、厕所的建筑和成本、以及用户的满意度等方面进行了分析。

材料和方法

研究区位于墨西哥和美国边界的一个约有 140 万人口的墨西哥城市 Cd. Juárez, Chihuahua。这个研究地点包括 3 个缺乏公共供水和卫生设施的社区。大多数居民使用传统的坑式厕所;社会经济地位较低,年收入约为 3,300 美元。

第一阶段

在研究的第一阶段,一个当地的基金组织提供了从新技术集团(墨西哥 Naucalpan)获得的 300 套双坑太阳能加热堆肥厕所(SIRDOs,有机垃圾回收综合系统),并与卫生推动者协同参与了厕所的运行和管理。我们使用组群设计方法对 90 个使用 SIRDOs 的家庭进行了随机抽样。研究变量包括:粪便中大肠菌数量、生物固体废物样本中的湿度、堆肥堆的搅动(为了通风)、阳光照射、堆肥材料的温度、以及用户的维护等。在 3 个月和 6 个月时,收集和分析生物废料样本。对于三个月的样本,把积累的料堆推倒在第二个处理坑内,与新的粪便分开(见图一)。这是为期 3 个月的时期的开始,在此期间,必须每周搅拌堆肥堆 1-2 次,让其通风。在此 3 月期结束时,把在第二个处理区内的生物废料搬走废弃。3 个月的样本在粪便堆推倒时取样,而 6 个月的样本在生物固体废物搬走前取样。

粪便大肠菌的富集度估计采用了美国环保局制定的标准所规定的 A-1 介质(A-1 Medium)多管发酵反应方法 9221E(1)。最大可能数(MPN)的数据按照美国环保局制定的 A、B 类堆肥分成两类。根据这些分类(2),每克 A 类堆肥中粪便大肠菌最大可能数<1,000;每克 B 类堆肥中粪便大肠菌最大可能数>1,000 和 <2,000,000。最大可能数超过 2×10^6 的归于 C 类。本项研究中,仅以粪便大肠菌为指标性生物体。其它病原体,特

别是那些能形成孢子或者卵的不易受到生物降解和脱水的影响，可以在较长的一段时间内存活。

所有数据都采用 SPSS 统计软件分析，用 *Chi* 方 (square) 检验其相关显著性。在控制其它变量影响的情况下，采用逻辑回归分析方法，确定环境、家庭因素和生物固体废物质量之间的回归关系。

第二阶段

第二阶段研究的目的是评价 4 个不同类型的生态卫生厕所系统以确定哪个系统最适合于墨西哥中北部和美国西南部的干热气候。所有的系统都利用当地可以获得的材料就地建造。4 种厕所是：(1) 单坑式堆肥型；(2) 双坑式堆肥型；(3) 双坑式脱水型；(4) 单坑式脱水型。

单坑式堆肥厕所的设计和第一阶段研究的 SIRDO 一样。这个系统利用一个自然循环式太阳能板来加热坑室。在坑室中的尿粪里加入锯屑和卫生纸等吸水性物质，用以调节湿度和碳氮比例 (C:N)。适温喜氧细菌的生长有助于病原体的生物降解。必须每周混合堆肥物质给堆肥堆充氧。

双坑式堆肥厕所类似于单坑式堆肥厕所，只不过它有两个处理室。一个用来存放新鲜粪便，而另一个用来堆肥。当一个室充满之后，用户就开始使用另一个。充满粪便的坑室要在不接触新鲜粪便情况下进行堆肥。该系统有两个自然循环式太阳能板，需要加入锯屑调节湿度和碳氮比例，以达到最佳堆肥。(见图 2b)

双坑式脱水厕所利用一个尿分流池以减少进入处理坑室的水分(见图 2b 和 2d)。尿引到厕所外一个充满沙和砾石的吸水坑中。当一个坑室使用时，另一个坑室中的粪便就有时间进行脱水使之干燥以减少病原体。加入土壤和石灰的混合物有助于干燥过程，并可以提高 pH 值，有利于减少病原体。

单坑式脱水厕所十分类似于双坑式脱水厕所，它利用脱水和提高 pH 值的方法，减少堆肥坑室中的病原体。尿分流池可减少进入处理坑室的水分。这个系统没有另外的坑室，所以新鲜粪便和正在脱水的粪便之间没有阻隔。这个系统利用自然循环式太阳能板提高坑室温度和加快脱水速度。和双坑式脱水厕所一样，也需要加入土壤和石灰的混合物。

系统的建筑过程是在当地建筑工程师监督下进行的。有两种基本的设计类型：单坑式和双坑式。双坑式系统的外部尺寸(宽、长、高)是：基础 170 x 200 x 60 厘米；上部结构 170 x 130 x 200 厘米。单坑式系统的外部尺寸(宽、长、高)是：基础 120 x 190 x 60 厘米；上部结构 120 x 130 x 200 厘米。除双坑式脱水厕所外，其它 3 种设计都有太阳能板。单坑式和双坑式系统的建筑材料成本分别约为 510 美元和 600 美元。因为两种系统都需要安装金属门、金属顶和金属阶梯，它们构成了系统的主要费用，因此即使双坑式系统尺寸较大，但建筑费用差别不大。所有系统在其建筑外部都装有廉价的使用少量水的洗手设备，包括一个带有水龙头的塑料桶。(见图 2c)

结果和讨论

第一阶段

第一阶段研究时，在约 90 个 SIRDOs 中分析了粪便大肠菌的减少，并确定这种减少的原因是由于干燥还是生物降解。结果显示，6 个月后的 A 类堆肥(高等级)仅在 35.8% 的 SIRDOs 中有大肠菌存在。发现粪便大肠菌减少的主要原因是干燥，而不是生物降解。堆肥分类和生物固体样本的湿度之间有显著的相关性 ($p=0.008$): 样本愈干燥，划归 A 类的比例愈高(见表一)。利用逻辑回归分析估计环境因素和用户维护对 A 类生物固体的作用(见表二)。太阳光的照射可能使 A 类生物固体的发生率提高了 10.2 倍。低

湿度是 A 类型生物固体的另一个影响指标，优势率为 3.6。温度和堆肥堆的通风都与 A 类生物固体没有显著相关。“时间”变量（3 个月和 6 个月）是在此模型中为控制 3 月和 6 月样本之间有任何可能差异而设的，但它的影响不显著。Hosmer-Lemeshow 检验显示了这个模型符合良好（H-L 的符合良好度 $\chi^2=3.98, p=0.86$ ）。

研究发现，SIRDOS 太阳能板的朝向（阳光照射）和堆肥的较高类别（较低的粪便大肠菌数）之间有十分显著的相关性。其原因是阳光照射提高了 SIRDOS 坑室温度使之干燥而促进了粪便大肠菌的减少。因此，粪便大肠菌减少的主要原因是干燥，而主要不是因阳光照射提高了堆肥温度，促使喜氧的生物降解。试验结果表明，3 个月时一半以上的生物固体堆的湿度已降低到 40% 以下。

第二阶段

由于第一阶段中生物降解（堆肥）对病原体的减少效果不大，试点试验了其它生态卫生厕所对减少粪便大肠菌的效率。对堆肥堆的湿度而言，研究区的环境因素对堆肥堆的湿度是一个关键的变量。夏季干热，冬季阳光充足、干燥且凉爽。整年都是干燥气候，堆肥堆中的湿度比潮湿的热带环境下可能预期的要低。在墨西哥中北部的干燥地区，也许脱水干燥是干式生态卫生厕所的最好机制。因此，在研究的第二阶段，正在比较带有生物降解系统的脱水干燥作用，以便确定何种系统比较适合这种气候。所有的系统都已经建立起来，数据也在收集过程中。在 1 年时间内，每两个月收集一次样本。当 4 个系统准备启用时，已经开了培训会议和进行了用户满意度的首次调查。第二次调查将于六个月后完成。第二阶段研究将于 2002 年 6 月完成。

表 1：生物固体样本类型率和 6 个月时湿度的关系^a (n=139)

湿度百分比	分类		
	类型 A % (绝对数)	类型 B % (绝对数)	总体 % (绝对数)
< 40	73.8 (31)	45.4 (44)	54.0 (75)
40-60	9.5 (4)	21.6 (21)	18.0 (25)
> 60	16.7 (7)	33.0 (32)	28.1 (39)

^a $\chi^2 p$ 值=0.008

表 2. A 类生物固体预测值的逻辑回归分析

	概率值 ^e	优势率	95% 置信区间
阳光照射	0.011	10.22	2.2, 47.6
低湿度 ^a	0.057	3.66	1.5, 9.1
时间 ^b	0.471	1.20	0.9, 1.6
通风 ^c	0.771	0.79	0.3, 1.9
温度 ^d	0.984	0.95	0.9, 1.1

^a<40%.

^b6 月和 3 月，3 月作为对照。

^c堆肥堆未搅拌。

^d环境温度和堆肥堆温度的差别。

^eH-L 符合良好度 $\chi^2=3.98, p=0.86$.

鸣谢

本研究得到了美国环境保护局环境资源管理中心的 CX 827-370-01 赠款和 Paso del Norte 健康基金会的边界健康研究中心的资助，特此感谢。

参考资料

1. Clesceri, L., A. Greenberg, and A. Eaton (eds.) 1998 Standard Methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. APHA, United Book Press, Baltimore MD.
2. EPA 1994. A plain English guide to the EPA part 503 biosolids rule. Office of Wastewater Management, Washington DC.
3. Esrey, S., J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hebert, J. Vargas, and U. Windlad 1998. Ecological Sanitation. Sida, Stockholm.
4. Harper, P., and L. Halestrap 1999. Lifting the lid. Biddles, Ltd, London.
5. Redlinger, T., J. Graham, V. Corella-Barud, and R. Avitia 2001. Survival of fecal coliforms in dry-composting toilets Appl Environ Microbiol. 67:1-5.
6. Strandridge, J., and J. Delfino 1981. A-1 medium: alternative technique for fecal coliform organism enumeration in chlorinated wastewaters. Appl Environ Microbiol. 42:918.