

# 越南尿分流式生态卫生厕所粪便中微生物驻留时间的生物学研究

1. Bui Trong Chien, Dông Trong Phi, Bui Chi Chung  
Nhatrang 巴氏研究所, 10 Tran Phu St, Nhatrang Viet Nam
2. Nguyen Huy Nga  
越南卫生部, 138A Giang Vo St., Ha Noi, Viet Nam.
3. Thor Axel Stenstrom, Anneli Carlander, Therese Westrell.  
瑞典传染病控制研究所; SE-17182 Solna, Sweden.
4. Uno Winblad  
国际 WKAB 咨询集团, Stockholm, Sweden

## 1. 引言

许多越南人生活在农村地区，那里只有 17% 的家庭有卫生厕所。几种风险因素和不良的习惯导致了比较高的寄生虫病（60%~80%）和腹泻的发生率（1240 病例/每年/100000 人）。肠道传染病的潜在风险十分常见。

常用的厕所是挖一个坑洞和传统的越南式双坑厕所。过去的 15 年里，在农村推广了双坑倒水冲洗的厕所。这些厕所在保护人们健康和环境方面存在一些缺点。在瑞典国际发展署（SIDA）资助的卫生研究计划（SANRES）项目、Nhatrang 巴氏研究所和卫生部预防卫生司的支持下，在越南的 Cam Duc 进行了一个生态卫生厕所试点项目。

Cam Duc 是越南 Khanh Hoa 省 Cam Ranh 地区的公社。这是一个气候炎热，阳光充沛的地方，每年至少有 8 个月的旱季。公社有 1831 户人家，9940 个居民，主要从事农耕。1/3 的家庭有卫生厕所，挖了井，而超过一半以上的井受到粪便污染。当前，寄生虫病的传染率为 65%，腹泻的发生率是每年 100000 人群中 1100 次。

从 1956 年到现在，越南一直使用双坑式厕所。1985 年以来，所有类型的厕所，如倒水冲洗式，化粪池式或双坑式厕所都是允许的。但是，有些环境专家仍然认为双坑式厕所并不卫生。因此，我们的研究目标是估计粪便在作为肥料进入循环利用前，在厕所需要滞留的时间，以使发生疾病与粪便有关病原体感染的风险减少到最小。

Cam Duc 试点项目的成果将应用到越南的其他农村地区。

## 2. 材料和方法

建造了 5 个不同设计的 6 种生态卫生厕所系统。采用砖块和水泥砂浆建造，用镀锌铁皮或石棉水泥板作屋顶。每个太阳能加热器（如果有的话）都由铁板制成，且固定在铁或木质框架上，并涂以焦油。两个越南式的双坑式厕所作为试验对照。所有厕所都装有尿分流装置。有以下几类：

类型 1：越南传统双坑式脱水型厕所（VDVDT）；

类型 2：有通风设备的双坑式脱水型厕所（类型 1，但有一通风管）；

类型 3：通风的双坑式脱水型厕所，带有太阳能加热器；

类型 4：通风的双坑式脱水型厕所，并带有可移动的遮板（类型 2，但带有可移动式用轻质材料做的上部结构，其蹬板未遮盖的部分作为太阳能加热器）；

类型 5：通风的单桶双坑式脱水型带有太阳能加热装置；

类型 6：通风的多桶单坑式带有太阳能加热装置。

每个家庭成员在使用厕所前都会得到一个简单的使用指南。在所有厕所都使用了至少 6 个月，我们选择每种类型 2 个、共 12 个厕所，进行厕所处理室中指示性生物体的存活时间测试。采用了两种指示性生物体：即鼠伤寒沙门氏噬菌体 28B 和猪蛔虫卵。实

实验室测试是由瑞典传染病控制研究院改进和介绍引进的。

噬菌体以  $1 \times 10^8$  p 群组形成单位/克 (pfu/g) 的浓度与粪便料混合。卵放在聚酰胺作成的“茶袋”中，每袋  $10^4$  卵。所有这些都放在直径为 11~14 厘米的不锈钢圆筒中，筒壁开有大量直径为 2 毫米的小孔。圆筒放在 12 个厕所坑室或粪桶中，并在两周的中间时候测定噬菌体和蛔虫卵的存活时间。

在取样同时测定 pH 值，湿度和温度。

### 3. 结果和讨论

#### 湿度

在实验开始时的初始湿度取决于使用者在排便后加入灰的数量，湿度范围为 25.4%~58.5%，中值为 34.9%。湿度的减少与存储的时间成线性关系，减少速度用最小二乘法得出的湿度与时间直线的斜率估计，见表 1。

表 1：在处理坑室中粪便的干燥速度

类型	1		2*		3**		4**		5**		6**	
厕所编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11***	12
干燥速度	0.07	0.08	0.18	0.12	0.16	0.16	0.12	0.21	0.08	0.10	0.25	0.08

(\*) 通风；(\*\*) 通风和太阳能加热；(\*\*\*) 最强照射。

太阳能加热厕所的干燥速度一般都大于传统厕所。不过它们的位置会影响效率。而充分照明的厕所第 11 号干燥得很快。

#### 温度

在太阳能加热的厕所中，坑中的平均温度为  $34.7^\circ\text{C}$ ，物料的平均温度为  $33.9^\circ\text{C}$ （最高为  $40.1^\circ\text{C}$ ），而取样时屋外的温度是  $32.4^\circ\text{C}$ 。粪堆中的温度不足以杀死病原体，但对缩短它们的寿命有作用。例如，编号 6、11 的太阳能加热厕所受到阳光充分照射，两种指标生物体的寿命都非常短。

#### pH 值

粪便的 pH 值依赖于加入灰的类型和数量。灰的使用量大约为 100~300ml。木炭灰的 pH 为 11.3，而稻壳灰的 pH 最低。在我们的实验中，pH 值似乎是控制有机体死亡最重要的因素。（见下面）

#### 杀灭作用

猪蛔虫卵的杀灭过程通常比鼠伤寒沙门氏噬菌体长。它们最短的杀灭时间分别为 51 天和 23 天，最长为 169 天和 154 天。

虽然从理论上讲，存活期应受 pH 值，温度和湿度的影响，但实验结果表明，pH 值影响最大。事实上，每种指标性生物体的存活时间和 3 个变量（%湿度， $T^\circ\text{C}$ ，pH 值）关系的统计学分析证实了这点（见表 3）。

对物料最高温度的统计学分析也给了我们相似的结论。因此，我们可以得出：当 pH 值范围在 8.4~10.3，温度范围在  $30.7\sim 40.1^\circ\text{C}$  和湿度范围 25.4~58.8% 时，两种指示物的存活时间可以由下面的公式估计，可信度为 95%：

$$Y_{phages} = -78.96pH - 5.328T^\circ\text{C} - 0.918M + 1026$$

$$P_{hages} = -49.96pH - 0.684T^\circ\text{C} - 1.859M + 646$$

在临界概率为 0.05 时，只有 pH 的系数属于显著相关的。

表 2：蛔虫卵和鼠伤寒沙门氏噬菌体的存活时间与 3 个典型参数关系

厕所编号	存活时间		粪便中的 平均 pH 值	粪便中的 平均温度 T <sup>0</sup> C	粪便中的 初始湿度 (%)
	噬 菌 体 (天)	蛔 虫 卵 (天)			
1	37	79	9.8	31.2	35.6
2	79	65	9.6	31.2	41.5
3	37	65	10.0	30.7	34.1
4	37	169	10.1	30.7	40.4
5	154	129	8.4	32.8	34.0
6	23	65	10.1	34.8	28.8
7	93	65	8.8	34.2	58.5
8	114	142	9.0	35.3	39.8
9	23	65	10.3	31.4	32.1
10	23	51	10.3	32.5	25.4
11	30	51	9.5	36.2	49.9
12	30	65	9.7	33.4	32.6

图 1：在 12 个测试厕所中鼠伤寒沙门氏噬菌体 28B 的浓度

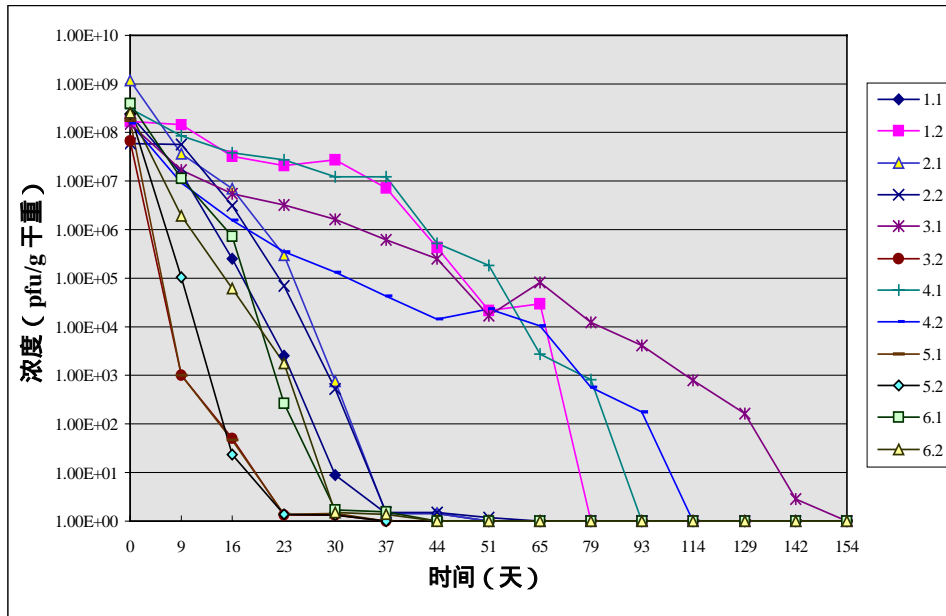


图2：在测试的厕所中猪蛔虫卵的存活时间

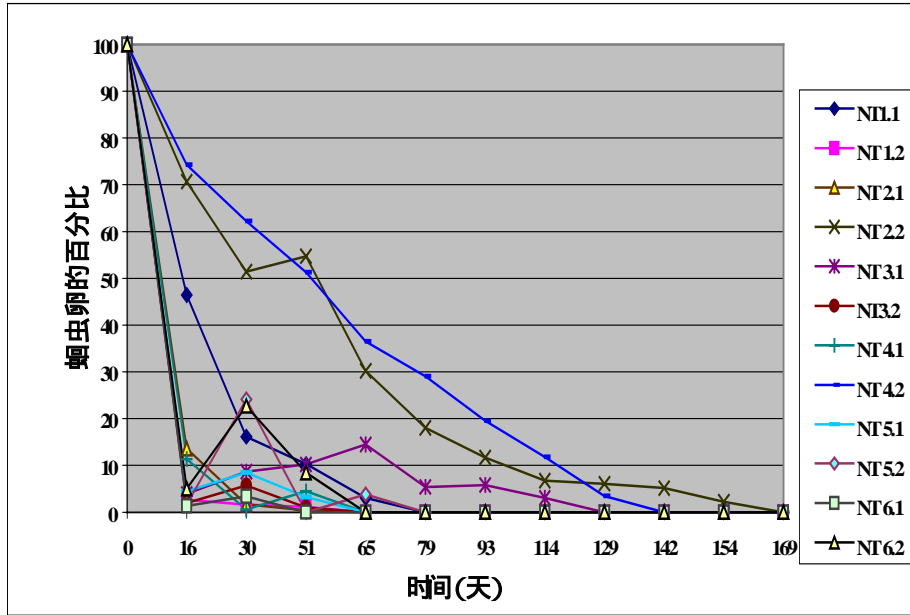


表3：由 Excel LINEST 函数得出的结果，噬菌体和蛔虫卵的存活时间与湿度、T°C、pH 的关系（设它们的关系服从下面的公式）：

$$\text{存活时间} : Y = m_1 M + m_2 T^{\circ}C + m_3 pH + b$$

指示物	m <sub>1</sub> (湿度)	m <sub>2</sub> (T°C)	m <sub>3</sub> (pH)	b	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> 的 F-检验	
						F-观测值	F-临界
沙门氏噬菌体	-0.918 (/t/=0.678)	-5.328 (/t/=1.797)	-78.96 (/t/=8.314) *	1026	0.9188	26.4	4.76 (P=0.05)
猪蛔虫卵		-0.684 (/t/=0.181)	-49.694 (/t/=4.103) *	645.7	0.795	5.695	4.76

(\*) 在置信度 p=0.05 时，t-临界=2.365

在 6 类测试厕所粪便中氮的形成数量 (% 干重)

	总氮 (%)	无机氮 (%)	无机氮/总氮 (%)
厕所 1.1 + 1.2	0.84	0.01	1.20
厕所 6.1 + 6.2	0.94	0.005	0.05
平均 (n=6)	0.74	0.016	2.20

由上表中的数据可以看出，粪便中的氮含量不高。这就说明为什么我们应采用尿分流式厕所。

干式厕所的粪便产物不是混合的，分解作用并不显著，这将主要发生在田间。

#### 4. 结论和建议

- pH 值对杀死粪便中的微生物作用最大。
- 温度低于 40°C 时，pH 和湿度对于噬菌体的减少有极大影响。试验中的温度还不够高，对于杀死微生物作用不大。
- 要使测试的厕所中的粪便变成绝对安全的产物，需要 6 个月的存储时间。
- 木灰是缩短厕所中微生物和寄生虫存活时间和去除恶臭的最好添加材料，这种灰在每个越南农村家庭中随手可得。
- 虽然大多数带太阳能加热器的厕所中指标性生物的存活时间较短，但这些厕所的操作不很方便，建造较困难。
- 用直径 10 厘米、伸出厕所顶 50 厘米的通风管，可以有效去除恶臭和控制苍蝇。
- 正确使用是保证这些厕所功能良好的重要因素。
- 在实验厕所中并不发生分解过程。粪便产品作为肥料还不够好。