

生态卫生的健康方面

Aussie Austin
CSIR 建筑和施工技术
P O Box 395 , Pretoria , 0001 South Africa
E-mail: Laustin@csir.co.za

1. 引言

生态卫生 (eco-san) 将人类排泄物当作一种可以再利用的资源, 而不是要丢弃的废物。循环再利用人类排泄物可以将养分回收给土壤和植物, 减少对化学肥料的需求, 并恢复土壤中有机的有益行为以保护植物 (Esrey 等 1998)。

为了种植提供我们食物的植物, 需要供给植物氮、磷、钾和其它大约 25 种元素 (Wolgast 1993)。然而, 随着农作物的收获, 田地中的养分就移走了。因此, 为了农业发展的可持续性, 需要将带走的等量养分返回土壤 (Jönsson 1997)。有人断言, 应该收集人类肥料, 用以培育下年的农作物 (Wolgast 1993)。

尽管人类排泄物有这样的益处, 它在农业上的再利用应尽可能不给人们带来传染疾病的风险。这样, 为再利用排泄物而设计厕所系统给工程师们提出了一个特殊的挑战, 要求他们研究出不会给公共卫生带来不可接受的风险的技术。

2. 再利用人类排泄物的潜力

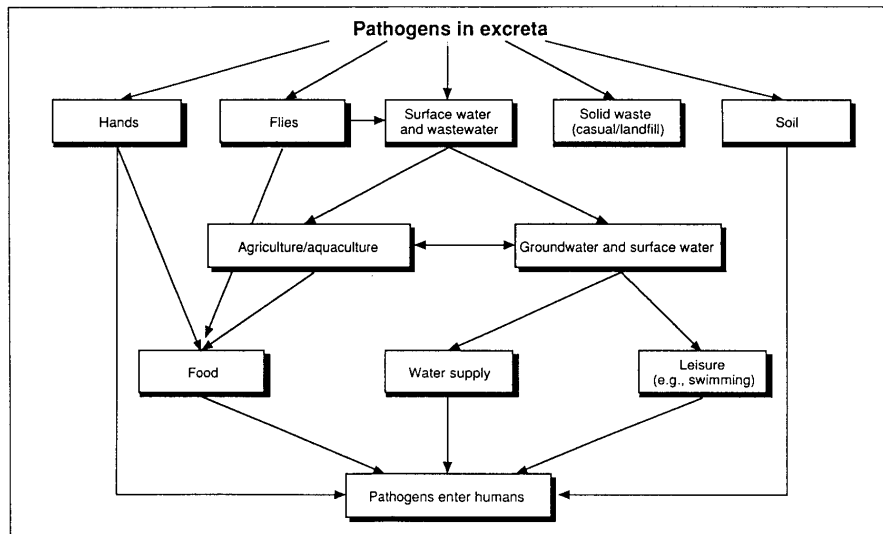
生态卫生厕所的关键特征是: 防止人类排泄物造成的污染和疾病; 将人类排泄物当作一种资源而不是废物; 恢复和再利用养分 (Esrey 等 1998)。每人每年可以产出大约 7.5 公斤的粪便肥料, 主要元素是氮、磷和钾, 足以种植 230 公斤谷物 (Wolgast 1993)。这些元素的 65%-90% 存在于尿中, 因此, 尿的肥效和等量的化肥中的植物养分相当 (Jönsson 1997)。

是一种有价值的土壤调节剂。通过脱水和/或降解方法消灭病原体后, 产生的无害物料可以施加到土壤中, 增加土壤的有机成分, 提高土壤持水能力, 增加养分的有效性。降解过程产生的腐殖质有助于维持有益土壤有机体的健康种群, 可以保护植物免受土壤携带的疾病。

3. 排泄物再利用的健康方面: 对文献的简要回顾

3.1 病原体的传播途径

与排泄物再利用有关的健康危害有两种: 粪便处理的职业危害; 再利用时受污染的产品以后再通过食用或处理感染人群或者动物 (Feachem 等 1983)。特别是在发展中国家, 与排泄物有关的疾病十分常见。排泄物因此含有大量病原体, 引起人的疾病。病原体有机物可以通过许多途径进入人体, 见图一。值得注意的是, 如图中所示的食物和手的途径, 不良的家庭和个人卫生常常减少甚至抵消了改善了排泄物的处理对社区健康的有益影响。如果社区卫生意识处于低水平的话, 技术本身不能切断疾病传播的循环和消除相伴而来的不健康。



图一：排泄物中病原体的传播途径 (Franceys, Pickford and Reed 1992)

3.2 消灭病原体

3.2.1 概述

由于排泄物中病原体的存亡是影响疾病传播的重要因素，所以必须消灭这些有机体，或者将其进行无害处理。原则上，病原体一旦排出体外，即会死亡，因为人体（寄主）外部的环境条件通常无益于它们的生存。主要的例外是那些在过渡阶段中在中间寄主中进行繁殖的病原体，比如埃及血吸虫 (Strauss and Blumenthal 1994)。还有一些病毒，虽然无法在合适的寄主细胞外繁殖，但是在一定的环境下可以存活许多个星期，特别是当温度较低的条件（ $<15^{\circ}\text{C}$ ）(Feachem 等 1983)。另一个重要因素是病原体的感染剂量，即在人体寄主内足以产生疾病的剂量。对于寄生虫、原动物和病毒而言，感染剂量较低（ $<10^2$ ），而细菌的感染剂量是从中度（ $\pm 10^4$ ）到高度（ $>10^6$ ）。

根据 Golueke (1976) 的研究，病原体死亡率重要的环境因素是：高温、低湿度和时间。特别是高温，是最应注意的。因为所有有生命的有机体，从最简单的到最复杂的，只能在一定的温度极限下存活。超过一定极限，它们就会死亡。对于湿度，在湿度为 12% 或者更低的时候，所有的生物行为将会停止，虽然远在达到这个湿度之前，生物行为就已大大减缓。一般讲，当湿度降至 35% 到 40% 时，它就成为一个十分重要的限制因素。同样，时间本身不会杀死微生物的；但是，持续不断地使微生物遭受不利的条件促使了它的死亡。

另一个重要的因素是 pH 值。比如，E. Coli（出血性大肠杆菌）存活的 pH 值界限介于 4.4 到 9.0 之间，最佳值介于 6.0 到 7.0 之间。通常，pH 值超过 9.0 对所有的微生物生长都有害 (Prescott, Harley and Klein 1990)。

3.2.2 尿中病原体

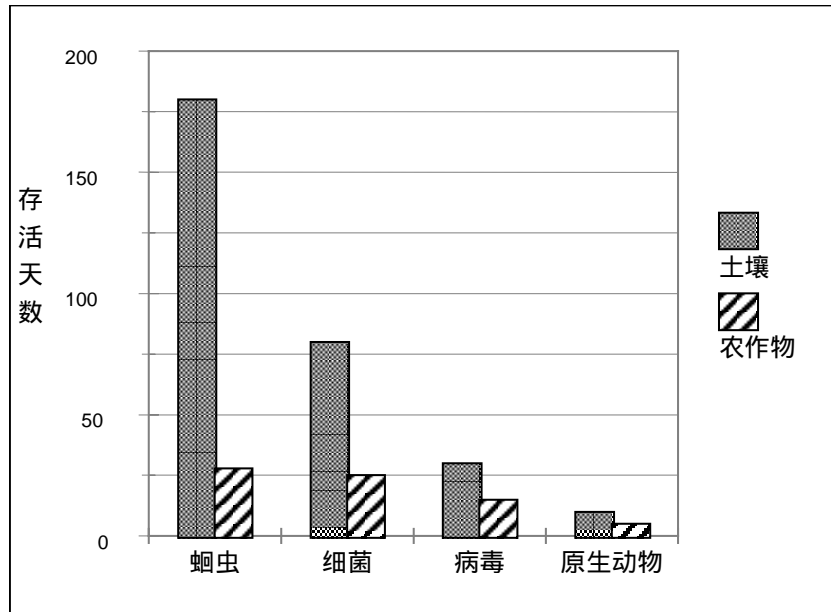
随尿排出的病原体对环境传播的影响小于粪便中的病原体。瑞典的实验已经肯定：如果在厕所处进行尿分流的系统中发生粪便污染，则只要存储 6 个月可能就足以杀死病原性有机体。然而，这也取决于尿混合液的温度和稀释度——低温和高稀释度可以延长

病原体的存活时间 (Olsson 1996; Höglund 等 1998)

3.2.3 粪便中病原体

根据 Wheeler 和 Carrol 的研究, 使粪便变干燥可以最大程度地消灭肠道微生物体, 减少搬运过程产生的健康危害。他们还说, 根据实验数据, 粪便在干燥条件下存储最少一年通常大大改善其微生物学质量。

影响病原体随时间而死亡的主要因素是温度、干燥和紫外光 (Strauss and Blumenthal 1994; Feachem 等 1983)。图 2 显示在暖和气候条件下, 施加于土地的未经处理粪便污泥中病原体的平均生存期。



图二: 暖和气候条件下, 施加到田地中未经处理的粪便中病原体平均生存期。(Strauss and Blumenthal 1994)

寄生虫卵是在要处理和再利用的粪便中最具有耐受性的病原体。然而, 根据 Wheeler 和 Carrol 的研究, 如果存储期超过一年, 即使是这些病原体, 其数量也会大大减少。作者因此断言: 即使是最持久的虫卵, 比如蛔虫, 通常在温和条件下 (比如 25°C), 在污泥中存储超过一年后也将变得无法存活。

3. 3 目前污水和人排泄物再利用的导则

虽然在粪便和粪便污染的污水方面已经进行了广泛的研究, 过去几年来提出了各种导则, 但是, 脱水粪便再利用的研究则尚未达到同等深度。关于粪便储存时间方面存在一些经验性的规定, 但对此还缺乏详细的科学信息。以下是现有导则的简要说明, 这也是作者进行的研究背景。

3.3.1 废水和污泥的再利用

1989年，世界卫生组织出版了在农业上使用处理过的污水的导则（世界卫生组织1989）。对于不加限制条件的灌溉，建议如下：

肠道线虫类，如蛔虫、鞭虫类和钩虫
 （每升中的算术平均卵数）： # 1
 粪便大肠菌（每100毫升中的几何平均数）： # 10³

在一份国际垃圾处理资料中心的报告中，这些建议也得到了支持（Strauss and Blumenthal 1990）。该报告作者还作了解释，这些标准适用于污水中的污泥，即：

肠道线虫类（每1000克湿重中卵的算术平均数）： # 1
 粪便大肠菌（每100克湿重中的几何平均数）： # 10³

最近由伦敦与洛赫包罗环境卫生伙伴组织（WELL）出版的一份研究报告（Blumenthal等2000）提出，世界卫生组织关于每100毫升10³个粪便大肠菌（FC）值可同时适用于无条件和有条件的灌溉，而且只要一直采取附加的保护措施，在条件不足以达到上述标准时，该值还可以放宽到每100毫升10⁴个。WELL的研究进一步提出，当流出的废水有恒定的质量和较高的温度时，导则中每升1个线虫卵的标准仍然适用于保护食用喷洒方式灌溉的蔬菜的人，但对于出流物温度较低而采用地面式灌溉的情况下，保护食用蔬菜的人则并不必要。结论是：在货架上放置时间较短的作物（如凉拌用的蔬菜）生长的地区，每升1个线虫类卵的标准可能是合适的；但是为防止蛔虫的传播，应该采纳每升0.1个虫卵的更严格标准。

在南非，对不受限制条件地使用下水道污泥的标准如下（水研究委员会1997年）：

活性蛔虫卵（每10克干燥污泥）： 0
 沙门氏菌有机物（每10克干燥污泥）： 0
 粪便大肠菌（每10克干燥污泥）： 10³

进一步的限制是：最大应用数量不应超出8吨/年公顷（0.8千克/年平米），同时土壤pH值最好高于6.5。

3.3.2 脱水排泄物的再利用

Strauss和Blumenthal（1990）报导了根据危地马拉双坑式尿分流厕所的有限资料进行的观察。发现了在高pH值条件下细菌型病原体的死亡率较高，但即使在17~20°C的温度下，蛔虫卵依然具有很强的耐久性，存储1年后，蛔虫卵平均还有约300个/克。作者由此推断，在17~20°C的温度下，一年的存储期还不足以使蛔虫卵的存活率降得很低，或者将其完全消灭，即使与其它类厕所比较，厕所内的物料较干燥，pH值也较高。

对于在一些国家中实际上还在实施的最低6个月的存储期，Strauss和Blumenthal（1990）提出如下建议：

存储条件	坑中需要存储的时期	
	存储后不用太阳晒干	存储后用太阳晒干
平均17~20°C (高地, 亚热带):	18月	12月
平均28~30°C (高地, 热带):	10~12月	8~10月

作者进一步作出结论：不会有保护健康的单一的最佳措施；不同情况应有不同的适

合自身特点的方法。其它的健康保护措施，如对作物的限制或者防止人沾污病菌等。

4. 具体问题的研究

1998年，在南非东Cape省的一个项目中，作者从不同的尿分流厕所中提取粪便进行实验。每次便后，厕所使用者在排泄物中撒上木灰，除了少数情况外，厕所的运用和维护都很好。排泄物存储在坑内的一个塑料容器中。经过10个月的隔离存储后，提取粪便样本并测试。然后，将其中一个样本在阳光下干燥3星期后再次测试。之后，再在室温下存放12个月后再测试。再后，在一个罐中将它与表层土混合，并用消毒水湿润并存储6天后再次测试。在此时期内，天气从热变到冷。

表一显示了这些结果（注：蛔虫通常不存在，所以没有列出）：

表一：取自不同尿分流厕所的排泄物（注：+表示“存在”）

大肠菌总数(每克)	粪便大肠菌(每克)	粪便链球菌(每克)	沙门氏菌	梭菌	大肠杆菌噬菌体(每克)	湿度(%)	pH值
-----------	-----------	-----------	------	----	-------------	-------	-----

第一组: 存储 10 天后的排泄物中

$10^2 \sim 10^6$	$10^2 \sim 10^6$	$10^2 \sim 10^5$	+	+	$0 \sim 10^3$	4 ~ 40	8.6 ~ 9.4
------------------	------------------	------------------	---	---	---------------	--------	-----------

第二组: 再用阳光干燥 3 周后的粪便

3.8×10^5	3.1×10^2	1.1×10^6	+	+	5	1.4	
-------------------	-------------------	-------------------	---	---	---	-----	--

第三组: 室温下再储存 12 个月的粪便

0	0	5.4×10^4	-	1.0×10^3	5	0.8	
---	---	-------------------	---	-------------------	---	-----	--

第四组: 花园土壤

1.9×10^2	1.4×10^2	5.5×10^3	+	0	5	18.4	
-------------------	-------------------	-------------------	---	---	---	------	--

第五组: 第三组和第四组的混合物湿润 6 天后

3.1×10^6	9.9×10^4	1.3×10^5	+	85	-	100	
-------------------	-------------------	-------------------	---	----	---	-----	--

2001年，为了进一步弄清在不同条件下的尿分离厕所中病原体的死亡情况，作者进行了进一步的实验。为此选择四个维护良好的尿分离厕所。其中两个厕所继续使用塑料容器收集粪便，另两个任粪便掉在坑中混凝土地面上，每周翻动两次以通风。存储两个月后，天气从温和变到寒冷，测试所有的参数表明，粪便掉在坑中混凝土地面上的厕所的结果要显著好得多。

表二：采自尿分流厕所中的粪便；每周翻动粪便堆。

大肠菌总数(每克)	粪便大肠菌(每克)	粪便链球菌(每克)	沙门氏菌	梭菌	大肠杆菌噬菌体(每克)	湿度(%)	pH值
-----------	-----------	-----------	------	----	-------------	-------	-----

5.8~6.6 × 10 ²	5.1~5.9 × 10 ²	1.0~5.8 × 10 ²	-	1.1~1.7 × 10 ²	0	4.1~ 8.9	8.4~8.6
------------------------------	------------------------------	------------------------------	---	------------------------------	---	----------	---------

为了进一步确定某些有机体的耐久性，将一些样本置于 50°C 条件下 48 个小时，而湿度保持不变。

表三：原有湿度下，50°C 条件下 48 个小时后的粪便

大肠菌总数 (每克)	排泄物大肠菌 (每克)	排泄物链球 菌(每克)	沙门氏 菌	梭菌	大肠杆菌噬菌 体(每克)
0	0	50	-	2.3 × 10 ²	0

5. 结论

以上介绍的实验项目表明，不应一般化地说只要存储时期足够就可保证病原体的充分死亡。这将取决于使用者的健康状况、气候和运行因素等。不过，以下几点可适用于大多数的尿分流厕所系统和它们的粪便产物的再利用。

1. 木灰是一种良好的添加物，因为它具有较高的 pH 值，有助于病原体的死亡。它也可以有效的去除气味和避免苍蝇孳生，使得厕所更卫生。
2. 粪便的脱水有助于病原体的死亡。把它们收集后堆成一堆，不时翻动要比储存在封闭的容器或者房间中好。建筑和运行都应注意这点。
3. 排便后的一年或更长时间后，粪便大肠菌（包括病原性细菌）还会大量存在（数量超过目前的标准）。
4. 粪便链球菌对于不利环境条件的巨大抵抗力十分显著。这些生物体是腐败粪便物质的指示物。
5. 沙门氏菌是存在于粪便中的一种细菌，可以导致严重的胃肠炎。这些生物体也相对比较顽固。然而，它也能在鸟类粪便找到，因此，普通土壤中也常存在。
6. 阳光（紫外线）对病原体有良好的破坏作用。
7. 干燥粪便再湿润后会导致许多生物体的再次存活。

从事农业和卫生计划的人普遍都认为人粪便的再利用是一个理想的目标，只要粪便能够卫生化处理的话。然而，世界上许多地方的问题不在于再利用，而是在于如何去说服人们：额外的处理步骤、确保处理粪便所需要增加的时间和费用对他们的健康十分重要。因此，正确的进行教育和加强卫生意识是促进排泄物再利用这一策略的关键点（Feachem 等 1983）。

6. 参考资料

Blumenthal, U J, Peasy, A, Ruiz-Palacios, G and Mara, D D (2000). *Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence*. WELL Study, Task no 68, Part 1. LSHTM and WEDC, UK.

Esrey, S, Gough, J, Rapaport, D, Sawyer, R, Simpson-Hébert, M, Vargas, J and Winblad, U (ed) (1998). *Ecological sanitation*. Sida, Stockholm.

Feachem, R G, Bradley, J B, Garelick, H and Mara, D D (1983). *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley & Sons (published for the World

Bank), Washington DC.

Franceys, R, Pickford, J and Reed, R (1992). *A guide to the development of on-site sanitation*. World Health Organisation, Geneva.

Golueke, C G (1976). Composting: A review of rationale, principles and public health. *Compost Science*, Summer edition.

Hanaeus, J, Hellström, D and Johansson, E (1997). A study of a urine separation system in an ecological village in northern Sweden. *Wat. Sci. Tech.* Vol 35 no 9, Elsevier Science Ltd, UK.

Höglund, C, Stenström, T A, Jönsson, H and Sundin, A (1998). Evaluation of faecal contamination and microbial die-off in urine separating sewage systems. *Wat. Sci. Tech.* Vol 38, no 6. Elsevier Science Ltd, UK.

Jönsson, H (1997). *Assessment of sanitation systems and reuse urine*. Sida Sanitation Workshop, Balingsholm, Sweden.

Olsson, A (1996). Occurrence and persistence of faecal microorganisms in human urine from urine-separating toilets. *Environmental Research Forum*. Vols 5 - 6, Transtec Publications, Switzerland.

Prescott, L M, Harley, J P and Klein, D A (1990). *Microbiology*. W C Brown Publishers, Dubuque, USA.

Strauss, M and Blumenthal, U J (1990). *Human waste use in agriculture and aquaculture: utilization practices and health perspectives*. International reference Centre for Waste Disposal, Duebendorf, Switzerland.

Strauss, M and Blumenthal, U J (1994). Health implications of excreta and wastewater use. *Hubei Environmental Sanitation Study, 2nd Workshop*, Wuhan, China, March 3-4.

Water Research Commission (1997). *Permissible utilisation and disposal of sewage sludge*. Water Research Commission, Pretoria, South Africa.

Wheeler, D and Carroll, R F (1989). *The minimisation of microbial hazards associated with latrine wastes*. *Wat. Sci. Tech.* vol 21 no 3. Elsevier Science Ltd, UK.

Wolgast, M (1993). *Recycling system*. Brochure produced by WM-Ekologen ab, Stockholm, Sweden.

WHO Scientific Group (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Technical Report Series 778, World Health Organization, Geneva.