

全封闭循环

有利于粮食保障的生态卫生系统



全封闭循环

有利于粮食保障的生态卫生系统

Steven A. Esrey
Ingvar Andersson
Astrid Hillers
Ron Sawyer

徐麟 徐华 译



联合国发展署



瑞典国际开发局



联合国儿童基金会



水与卫生
设施项目



Thrasher
研究基金



泛美卫生
组织

墨西哥, 2001

前言

经过二十年的共同努力,人类已有了适当的卫生设备、公共厕所和下水道来处理自身的排泄物。但是迄今为止,世界上仍有约一半人口(近30亿)无法得到这一服务。这也成为了数百万的儿童及其家人遭受痛苦甚至导致死亡的主要原因。而且许多享有这种卫生服务的人没有意识到由此产生的污染及水资源的浪费。

生态卫生厕所是在传统卫生设备基础上的一种新的选择,它试图解决一些非常紧迫的社会问题,如:传染病、环境退化 and 环境污染以及回收利用排泄物中的养分。生态卫生厕所有助于恢复土壤肥度、节约淡水资源,保护海洋环境,而这些都是水、食物和药品来源的重要保障。

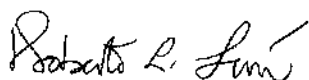
生态卫生厕所在考虑和处理排泄物的方式上不同于传统卫生设备。首先,使用生态卫生厕所是解决人类排泄物问题的生态系统方法。尿和粪便是极具价值的资源,它们对恢复土壤肥度和提高食物产量极为有效。因此,必须用模拟生态系统的方法来设计生态卫生厕所,以使人们的排泄物成为植物和食物生长所必需的微生物的来源。其次,生态卫生厕所也是一种在人们排泄时就消灭其中病原体的方法。这一方法与将排泄物当作污水冲走以致于无法利用其中的养分相比,能够更安全并更容易地再利用排泄物。再次,使用生态卫生厕所时不需要水,或者仅需要极少的水,因此在缺水地区利用这一方法更为可行。最后,生态卫生厕所与传统卫生设备相比,能够以低得多的价格提供卫生、便利的服务,因此,它能被广泛应用于发达国家与发展中国家。

采用与推广生态卫生系统可以激发当地的开创精神并能培养领导能力,包括在生产卫生设备的工厂以及生产粮食的家庭园地中进行创新。自《生态卫生系统》一书出版以后的两年内,生态卫生方面已经取得了许多重要的进展。该书抓住了这些进展中的许多重要内容,特别是在设计生态卫生厕所、回收利用排泄物以及城市农业与粮食保障等方面的经验

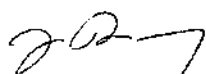
与进展。南南之间的交流主要依靠各方面的专家，这些专家涉及到卫生、公共健康、农业以及营养等方面，他们都积极投身于发展生态系统方法——有利于粮食保障的全封闭循环。

我们希望本书对联合国发展署与瑞典国际开发局所资助的项目能有所启发，从而使所有在有关水及卫生的活动中都能够考虑到生态卫生。

纽约和斯德哥尔摩，2000年10月



Roberto Lenton
联合国发展署
能源与环境可持续发展部
主任



Jerker Thunberg
瑞典国际开发局
自然资源与环境部
主任

内容提要

1999年10月17日至21日,在墨西哥库埃那瓦卡举行了一次国际性跨学科的专题研讨会。来自拉丁美洲、非洲、亚洲、北美和欧洲的研究生态卫生设施、公共健康及营养学与农业学的专家教授们济济一堂。

生态卫生系统代表了人们对排泄物的认识及行为方式的转变。

会议提出了生态卫生系统的模式,这代表了人们对排泄物的认识及行为方式的转变。该模式是一种进化的模式,是基于生态系统的解决方法。土壤生物制造了人们的食物及给人类带来益处,而人类排泄物内的养分和有机物,正是这些土壤生物的营养来源。研究卫生设施的专业人员必须与公共健康、农业及营养学相结合,从而以安全而无污染的方式来完成营养物循环。而且必须意识到人类的排泄物是可回收再利用的重要资源。

排泄物是一种资源,而不是废物。

运用生态卫生厕所,排泄物可以在现场或现场外进行处理,直至完全消灭病原体以成为无害物。在产生排泄物的场所附近对粪便进行处理(堆肥或脱水),使其含有的有机物进入土壤以提高土壤结构、持水量及肥力。排泄物(主要在尿液中)包含有价值的养分,这些养分经过处理进入土壤有利于植物的健康生长。

生态卫生厕所是“全封闭循环方法”,它通过重新利用养分和有机物以防止污染。

“全封闭循环方式”是对卫生设施的全新思考:排泄物中的养分重新回到土壤中,而不是随水冲走或留在深坑。生态卫生厕所不仅仅是一种设计良好的茅坑,“全封闭循环方式”也是一个“零排放方法”,它保证了淡水及海水不受病原体的污染。

生态卫生厕所在全球都能被应用,从乡村到城市,不管是穷人还是富人。

与会专家介绍了生态卫生设施在各种自然及社会经济环境中的应用经验,如在墨西哥、津巴布韦、中国和瑞典。这清楚地说明,虽然在处理与利用人类排泄物上存在文化方面的障碍,但是,如果应用得当,该方法在文化上与社会习俗上都是可以接受的。当然,也的确存在进一步研究在不同文化系统中发展与利用适宜技术的需要、对经济与财政状况的更深入

理解的需要、以及进行更好的社会卫生教育与普及的需要。

生态卫生厕所仅需要极少量的水，甚至不需要水。

使用生态卫生厕所只需要非常少量的水，甚至于不需要水。它非常适用于缺水及供水无规律的地区。生态卫生厕所是分散的系统，基于家庭及社区管理，它的应用彻底降低了大规模基础设施建设及集中运行机构的投资费用。更少的下水道及深坑式厕所减少了对地下及地表水的污染威胁。

会议结果发现生态卫生系统对城市农业及减少贫穷有很大作用。家庭可以用此提高园地的产量，降低食物成本，栽种水果及蔬菜满足自身消费需求，并且提高孩子及其家人的营养状况。

大会报告总结了这一国际性跨学科的专题研讨会的思考。

Ingvar Andersson 先生介绍了专题研讨会和生态系统方法的基本情况。基于Peter Morgan先生的发言，在厕所设计部分的讨论主要围绕工作小组的商议及实地考察。生态卫生厕所不同于传统的厕所，它不仅在外观上，而且在功能上也与传统厕所有很多区别。墨西哥与津巴布韦的经验引起了高度关注。Thor-Axel Stenstom先生的报告提供了全球各地区消灭病原体的数据，并提出了评价这一方法的安全性等一般问题。与会专家从各种角度对尿液与粪便进行了讨论，包括安全管理、资源价值及再利用优势。Jac Smit先生与Steve Esrey先生介绍了生态卫生设施与城市农业、粮食保障的联系，他们提供了世界上几个不同地区的数据，并着重介绍了分析这些数据的关键统计方法。最后，大会报告总结了与会成员的思考，即如何提高墨西哥、各地区以及全世界对生态系统方法处理排泄物的认知度，以及如何将其应用于实践。

简介

1999年10月17日至21日，在墨西哥库埃那瓦卡举行了一次国际性跨学科的专题研讨会。来自拉丁美洲、非洲、亚洲、北美和欧洲的研究生态卫生系统、公共健康及营养学与农业的专家教授们济济一堂。

研讨会的目的是提高对如何发展更持久的卫生设施系统的理解（特别在城市及近郊），以及讨论卫生设施系统如何提高食物产量及营养。研讨会的具体目标有：

研讨会的目的是提高对如何发展更持久的卫生设施系统的理解。

- 围绕卫生设施、农业、营养和健康等方面提高对生态系统方法的共识及理解；
- 加强与会专家的多学科交叉间的联系；
- 确认在运用生态系统方法建立卫生设施与粮食保障方面的认知差距，并寻求填补这一差距的方法；
- 阐明建立完整的生态卫生设施的具体战略，特别针对拉丁美洲地区。

与会人员包括卫生设施、公共健康、城市农业及营养学的专家。

与会的各个学科的专家一起工作，努力寻求一种完整又安全的方法以建立卫生设施。非正式的、人人参与的方法与正式报告、分组讨论、大会报告和实地考察有机地结合促进了相互的学习。与会代表包括在生态和传统卫生设施方面具有实际经验的专家、公共健康方面、城市农业方面的专家、营养学家及关注将生态卫生设施用于健康、农业的学术研究人员。政府、非政府组织和双边及多边代理机构也派代表参加了大会。

墨西哥和津巴布韦的经验引起了特别的关注。

选择库埃那瓦卡作为会议地点是为了实地学习墨西哥在应用生态卫生设施方面的丰富经验。研讨会也提供了世界上其它地区的生态卫生设施、再利用排泄物及堆肥、城市农业等方面的相关经验。特别是来自津巴布韦的专家与来自拉丁美洲的专家交流了他们的经验。津巴布韦生态卫生系统的发展有许多引人关注的方面。其它研究还涉及了“养分循环流”的许多方面，如：不同厕所的设计、健康问题、重复使用、城市农业和营养物。

专题研讨会由联合国发展署发起，由瑞典国际开发局、联合国儿童基金会、泛美健康组织、Thrasher研究基金会、世界银行水及卫生设施项目和联合国发展署墨西哥办事处协办。SARAR Transformacion，这个在墨西哥的国际性非政府组

织负责管理与协调研讨会的进行。

以下是专题研讨会的主要审议报告。

全封闭循环

人类有一半人口缺乏卫生设施，这导致了每年约200万至300万人的死亡。

受影响最深的是生活在受污染的环境中的儿童和穷人。

人类大约有一半人口(约30亿)缺乏安全的卫生设施。据估计，未来的20年里，将又有20亿生活在发展中国家的城市的人们需要安全的卫生设施。现在，每年有200万至300万人死于卫生设施不足、卫生保健缺乏和食物及水的污染。生活在环境被污染的地区的人们容易受到病原体、有害有机体的危害，导致传染病与其它疾病的传播。受影响最深的大都是穷人——那些生活在乡村边缘及城市贫民窟的人们。他们是恶性循环——即病原体循环的受害者，在这一循环中，病原体的制造者与受害者一起生活、工作并互相影响。富人有条件将它们的排泄物通过下水道冲走，污染环境并使病原体传播给生活在下游的人们。坑式厕所会泄漏排泄物或在暴雨天气中，其排泄物会被冲往其它地区，并使该地区的人们遭受传染病及其它疾病的威胁。(见图1)

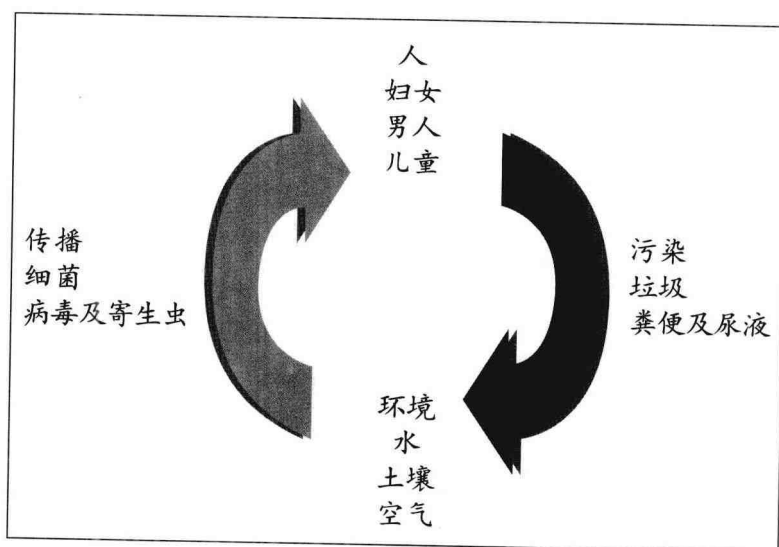


图1:
人们污染了环境并
自食其果。

为了打破“感染一再感染”的恶性循环，我们必须找出造成这一问题原因并采取防护措施以结束病原体循环。我们也必须进行排泄物安全管理并在排泄物污染环境之前快速消灭其中的病原体。简而言之，我们迫切需要一个不同于以往的卫生设施方法。

目前的情况是对人类尊严的放弃，我们必须马上行动起来。这就是为什么联合国发展署、联合国儿童基金会、双边代理处和非政府组织在他们的议程中都进行水、卫生设施及公共卫生教育的原因。

但我们必须回答一个基本的问题：我们已经采取了正确的措施吗？

线性流

“水冲式”和“非水冲式”

设计“水冲式模式”的前提是认为人类的排泄物只是废物。

用处理过的、可安全饮用的水来处理人类的排泄物是极不明智的。

传统的下水道解决办法是基于水冲式厕所的，即“水冲式模式”，它为极少一部分可以使用水冲式厕所的人成功地处理了排泄物。设计和建造“水冲式模式”的前提是人类的排泄物只是废物，而自然环境具有足够的能力以消化这些废物。但是这一模式无法成功解决发展中国家对卫生设施的需求。据估计，每年约有300亿美元投入到“现代化”的水处理及下水道系统建设，到2025年这一数字将高达750亿美元，这其中也包括日常维护费用。欧盟将花费1500亿至2150亿美元，在2010年建成下水道系统，美国在今后20年中将花费3250亿美元控制环境污染，其中的2000亿美元用于解决污水管溢水问题。而贫穷国家将无力承担这类费用。另外，“水冲式模式”还要求有规律的供水。水资源紧张的国家也面临其它资源缺乏的问题，用15000升处理过的、可安全饮用的水去处理年人均产生的35公斤粪便和500升尿液是不明智的。在发展中国家，超过90%的下水管内的污物未经处理就排入地表水，污染了河流、湖泊和沿海区域，造成了“饮用水传染疾病”的传播。（见图2）

水冲式

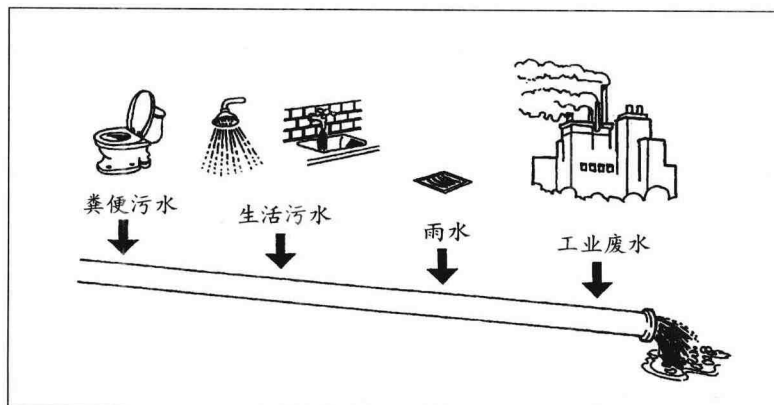


图2：
少量而危险的有害物质污染了大量的水。

坑式厕所内的病原体会污染地下水。



对于发展中国家的人们来说，传统的处理排泄物的方法是坑式厕所，即“非水冲式模式”，但也有其缺点，特别是在空间十分有限而人口密度非常大的地区。它也不能应用于无法渗透的地面、高水位的平原，以及洪水泛滥的地区。一个明显的威胁在于坑式厕所内的病原体将污染地下水，从而威胁到饮用水的供应。此外，一些疾病的带菌媒介，如苍蝇、蚊虫等在潮湿的坑内繁殖，导致了丝虫病、黄热病和虫媒病毒等多种疾病。研究发现，因坑式厕所发生泄露，使地下水的硝酸盐含量持续增高。正如其它没有适当地建设与管理卫生设施一样，坑式厕所也因其臭味与苍蝇等问题而遭到贬低。

我们必须承认，无论如何，那些成功的卫生设施处理方案保护了生命并减少了疾病的发生。将传统卫生设施与水供应的改善和卫生教育结合起来，已经挽救了非洲、亚洲和拉丁美洲的乡村及城郊的数以百万计的生命。

但是使用这一方法会导致其它问题的产生。当处理排泄物时，其中的养分和有机物被浪费了。因此，存在养分的巨大的线性流动，它首先以农作物的形式从乡村到城市，然后以排泄物及其它有机物的形式被水冲走或埋入深坑。正因为排泄物只是被当作废物，养分无法重新用于农作物的生产。

线性解决方案导致了水资源污染、水资源缺乏、土壤肥力降低和缺乏食物保障等问题。

上述基于“水冲式”及“非水冲式”概念的“线性”解决方案已经解决了一些问题，但是他们也给当今社会带来了许多其它问题：水资源污染、水资源缺乏、土壤肥力的破坏与流失、粮食保障的缺乏。土壤肥力的持续下降已越来越引起关注，甚至保守的农学家也同意当今的耕作方式已无法维持。

用线性方案来解决非线性问题是不可能的，正如爱因斯坦曾说的，我们无法用产生问题的思考方式来解决这个问题。

环形流

养分从食物到人，再到食物

生态卫生系统是从排泄物中重新获得养分的安全方法。

人类的排泄物含有对粮食生产很有价值的资源，我们必须重新思考卫生设施的建设。以此为前提产生了生态卫生系统。生态卫生系统是从排泄物中重新获得养分，使其返回环

境并应用于粮食生产系统的一种安全的解决方法。(图 3)

直到最近，人类排泄物作为肥料重复利用是许多地区的惯例，20 世纪早期，欧洲和美国也采用这一方式。而将尿液与粪便依照病原体、养分含量及对土壤和植物有益程度等不同特征加以区分则是新的观点。粪便基本包含所有的病原体，肥料价值的 80% 在尿液中，它们以重要的植物养分的形式出现(N/P/K：氮、钾和磷)。通过使用“非混合”方法，提出了解决老问题的不同方法。

它代表了解决老问题的一个不同的方案。

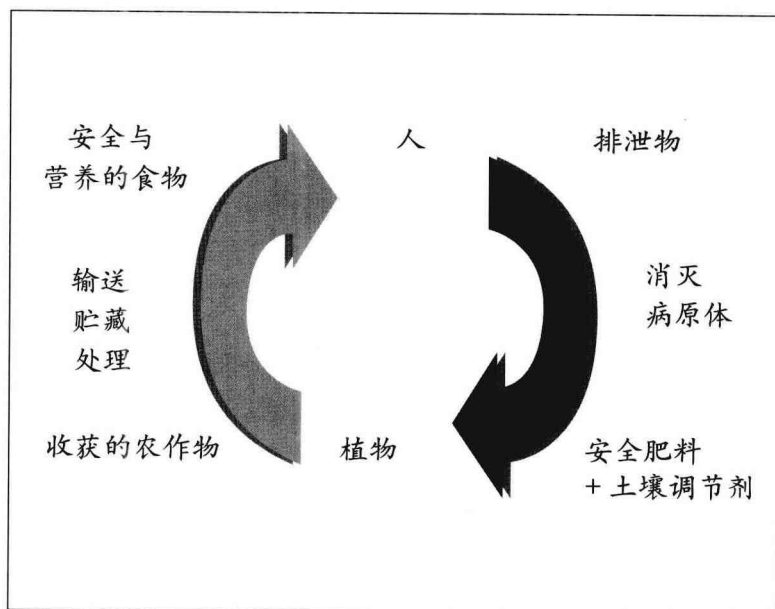
大部分生态卫生厕所产生两种不同的产品：尿液和干燥土壤调节剂，后者由干燥的粪便及其它堆肥原料组成。这样可以重新获得及使用养分，并使其回到土壤，提高食物产量和粮食保障。

生态卫生设施可以定义为一个系统，包括：

- ◆ 防止疾病和促进健康；
- ◆ 保护环境和保存水资源；
- ◆ 重新获得并利用养分及有机物。


清洁与再利用

图 3：
生态系统循环：排泄物  食物



生态卫生厕所的设计

生态卫生系统代表了一种不同的方法，即生态系统方法。这一生态系统方法在排泄物污染环境前就消灭其中的病原体，以防止疾病发生，能够重新获得并利用养分及有机物，从而实现了养分的循环。生态卫生厕所的设计必须以此为目标。而且，生态卫生厕所使用极少量的水，甚至不使用水，这将保存水资源及防止污染。另外，排泄物也不被水冲走或埋入深坑。这些特点有利于防止疾病发生、减少水的使用及污染、重新获得及利用植物养分。所有这些使得生态卫生厕所成为生态系统方法，或称为全封闭循环系统的一个重要组成部分。

传统的厕所设计为废弃排泄物，把它们冲到水里或埋入深坑。

厕所的设计是生态卫生设施的关键。传统的厕所设计为废弃排泄物。最简单的方法就是将尿液与粪便一起冲走或埋入深坑。试图更新、改进现有厕所的努力将只是花费更多的金钱而使问题没有结果。改型(或称“管道未解决方案”)将使清洁排泄物、重新获得养分和防止污染十分困难，花费巨大。为了达到生态卫生设施的目标，我们需要新的设计方法。

生态卫生厕所将能防止疾病、保存水资源和重新获得并利用营养物。

在报告的余下部分，我们用生态卫生厕所，或厕所，来代表图4所描述的整个结构。我们用“厕所”这一词语的目的只是因为它的功能，而非它的外观。所有的生态卫生厕所必须设计为防止疾病(详见“生态卫生厕所和健康”部分)，重新获得和利用养分(详见“人类排泄物的回收再利用”部分)和减少水资源的利用与污染。

生态卫生厕所也设计成有利于消灭病原体。

每个厕所至少由三部分组成：一个坐便器或蹲式马桶，一块厚平板和一个小池，有时还会加上地面建筑(见图4)。这些部分可以互相分开，也可永久地结合在一起。小池位于厚平板之下，它是贮存排泄物(粪便和尿液可以分开)的地方。可以有一到两个小池，可以在地面之上或之下，可以是移动的或被永久固定的。如果厕所安装在房间内，它也许完全在地板上。地面建筑位于厚平板之上，可以用永久性的墙壁来精心制作，也可以简单地用没有屋顶的茅草墙壁围住，或者任何其它材料围起来。可以使用带有过滤器的通风管。在粪尿分

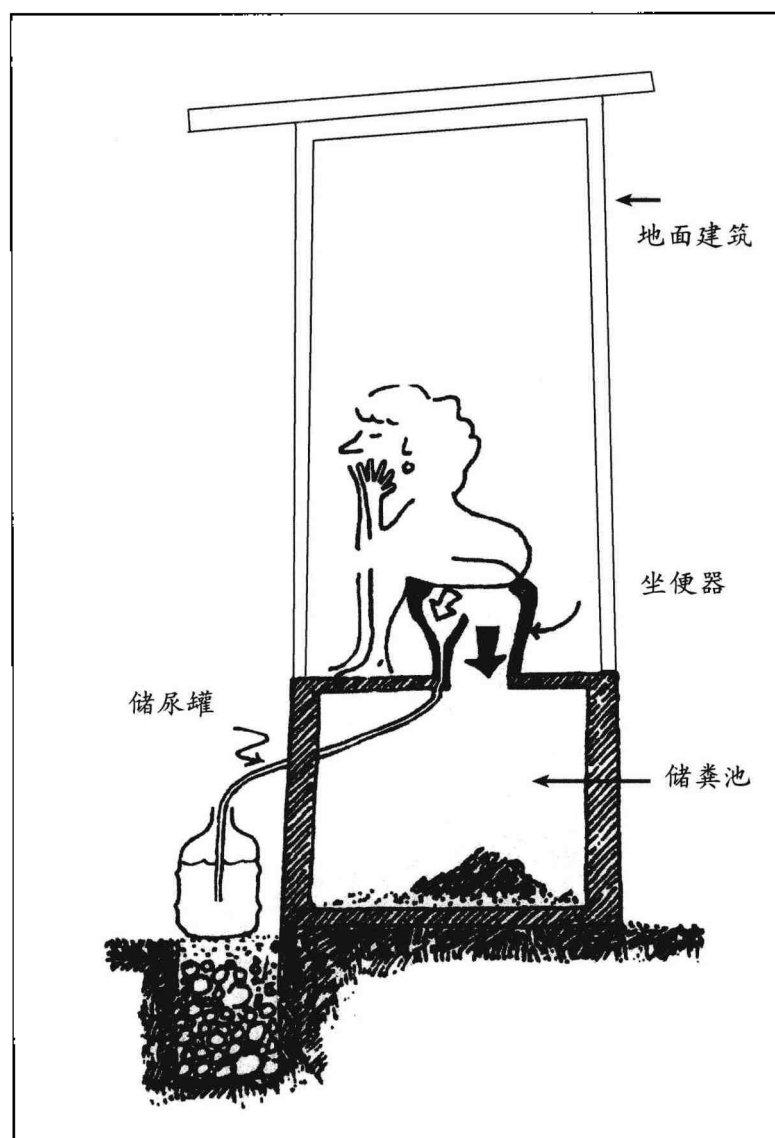


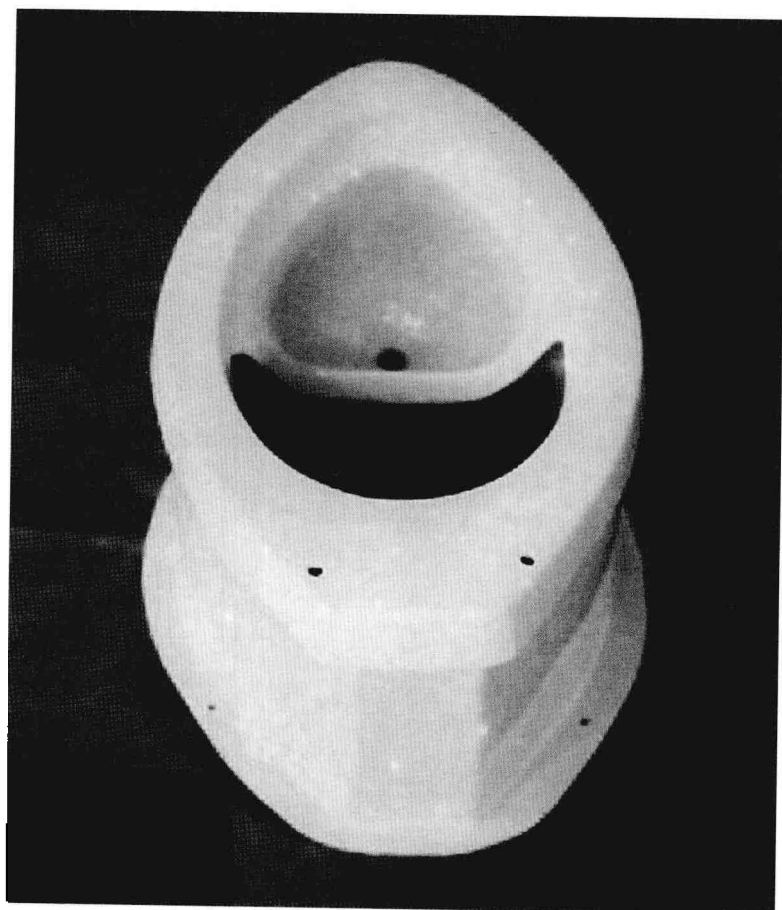
图 4:
生态卫生厕所的几个组成部分。

集式厕所，可安装一个单独的小便池，这样，可以从单独的小池或管道收集尿液。

粪尿分集式厕所通过干燥、提高PH值和提升温度来消除粪便中的有害物质。

已经有多种生态卫生厕所投入使用，主要分为“粪尿分集式厕所”和“非粪尿分集式厕所”。粪尿分集式厕所(图5)通过一个或多个不同步骤来消除粪便中的有害物质：干燥，提高PH值或提升温度。非粪尿分集式厕所采用“潮湿的”处理方式，例如对排泄物进行堆肥或联合堆肥。生态卫生厕所是最初的处理排泄物的地方，其它的处理方式可以在储粪池外进行。

图 5:
用玻璃纤维制成的
“粪尿分集式厕所”
的基座。



尽管不同生态卫生设施的工作方式有着根本的不同，但它们都达到了共同的目标：安全地处理人类排泄物、节约水资源、重新利用养分以及将对环境的负面影响减少到最小。所有专门设计的方法都需要灵活、可行、并考虑到当地具体条件与习惯、重视社会经济及其它条件并根据城市与乡村的差异来进行。

在粪尿分集式厕所中，尿液通过收集、稀释，直接用于植物

使用得最普遍的生态卫生厕所是“粪尿分集式厕所”。尿液通过专门设计的坐便器与粪便分离，小便池也单独安装。尿液收集后用水稀释，无需进一步处理就可直接用作植物肥料。除了一些特例，尿液通常是无菌的(见“生态卫生设施与健康”部分)。在每一次使用厕所后，粪便在储粪池通过烘干处理及另外加入石灰、泥土、木灰或其它材料进行净化。石灰可以提高PH值，这将加速消灭病原体。通常有两个可供选择的储

粪池，当一个被利用时，另一个则用于贮存粪便。尿液能够作为安全的植物肥料立即使用，或经过一段很短的贮存时间后用于农作物。而粪便只有在经过处理和(或)至少贮存几个月之后才是安全的，这将确保消灭粪便中的病原体。(见“生态卫生设施与健康”部分)

在堆肥型厕所中，必须保证适当的湿度和空气流动。

堆肥型厕所是用另一种生态学方法，使植物中的养分返回到土壤中。典型的堆肥型厕所不分离尿液，但如果它们分离尿液，效果会更好。为了使排泄物降解程度达到最佳，堆肥池内必须保证适当的湿度和空气流动。其产品——腐殖质，将返回到土壤，改善园地并提高粮食产量(见“生态卫生设施和粮食保障”部分)，从而完成了养分和有机物的全封闭循环。

生态卫生厕所能用于典型的中产阶级家庭的浴室之中。

生态卫生厕所已在世界上许多不同社会文化的国家及地区使用，例如：印度、中国、越南、墨西哥、中南美(玻利维亚、智利、厄瓜多尔和秘鲁)和东非及南非(埃塞俄比亚、肯尼



图 6:
墨西哥家庭中使用的
粪尿分集式厕所

亚、莫桑比克和南非)。根据瑞典当代浴室设计，生态卫生厕所将建在瑞典人的家庭内。它们同样已被墨西哥(图6)、印度、萨尔瓦多及中国的家庭采用。

墨西哥的生态卫生厕所

干燥的粪便至少要在储粪池中贮存半年。

墨西哥使用生态卫生厕所的主要动机是有限的水资源及下水道不起作用或不存在。

墨西哥的粪尿分集式厕所模式是对越南双坑式厕所的修正。尿液被分离并用作液体肥料(大约按1:5至1:10的比例用水稀释)。粪便通过干燥处理及添加石灰以提高其PH值到9.0,在取出利用前,干燥的粪便必须在储粪池中至少贮存6个月。它们可以与其它有机物联合堆肥进行后处理,也可以作为土壤调节剂直接使用。调查病原体消灭情况的研究一直在进行,结果表明,在经过以上描述的贮存及处理后,病原体将完全消失。

墨西哥的粪尿分集式厕所由一个名为Cesar Anorve的家庭工厂用混凝土或玻璃纤维制造,或是由其它经Cesar培训及配备的工厂制造(图7)。厕所坐便器的价格包含了正确使用厕所的跟踪服务及建议的费用,建议包括适当地准备及使用石灰粉及泥土。同样的厕所模型已出口到南非、乌干达和津巴布韦,在那里,人们将厕所模型做了些微改动就大量生产。



图7:
粪尿分集式坐便器
家庭生产作坊

墨西哥使用粪尿分集式厕所sanitario seco或干厕的主要动机是有限的水资源及不实用的公共厕所。其它原因,例如保护环境 and 利用其产品作为肥料和使用于城市农业,目前来讲是非常有限的。

在墨西哥的第一次实地考察

专题研讨会成员参观了墨西哥Morelos州的三个地方,以便对墨西哥干厕的发展情况有一个大概的了解。

生态卫生厕所出现在家庭与学校。

在Cesar Anorve的家中,代表们看到了在中产阶级家庭中,干厕与洗脸台、浴缸一起组成的浴室。另外,在他家附近的一个小型工厂内,Cesar描述了粪尿分集式干厕系统在墨西哥的历史及演变概况,并以粪尿分集式干厕的玻璃纤维坐便器为例描述了其设计与制造过程。

在Tepoztlan自治市附近,代表们参观了一所小学。那里的厕所是由当地的两个非政府组织,CITA和Luna Nueva(新月),与墨西哥教育部进行的一个特殊的合作项目,即为小学老师建立示范干厕(图8)。这一厕所建设项目,一般包括钢筋



图 8:
墨西哥的小学教师
使用的生态卫生厕
所。