

中国寒旱区农村卫生旱厕技术调研及评价

范盛远, 王惠惠, 丁京涛, 贾懿曼, 沈玉君*, 程红胜, 周亚文, 李登科

(1. 农业农村部规划设计研究院, 北京 100121; 2. 农业农村部资源循环利用技术与模式重点实验室, 北京 100121)

摘要: 随着中国农村人居环境整治力度的不断增强, 农村厕所环境得到了极大改善。但中国寒冷、干旱地区受制于地理气候条件限制, 导致传统“水冲式厕所+污水处理厂”的处理模式无法大规模使用, 而传统旱厕又很难满足当前对粪污处理的卫生及无害化要求, 亟需研发建设适合于寒冷、干旱地区的卫生旱厕。该研究对全国 57 个县(市、区)进行了走访调研, 结合文献资料, 结果如下: 针对目前国内寒冷、干旱地区常用的卫生旱厕处理技术进行了归纳总结, 主要包括好氧发酵技术和兼氧贮存技术两种, 涵盖了堆肥式厕所、微生物降解式厕所、粪尿分集式厕所、双坑交替式厕所、太阳能干化式厕所 5 种类型厕所, 对 5 种类型厕所进行卫生学和经济学对比评价, 发现采用好氧发酵技术的微生物降解式厕所和生物堆肥式厕所对比其余 3 种采用兼氧贮存技术类型的厕所粪污处理效果显著, 尤其是在粪污病原微生物的处理效果方面, 具有灭活效果显著且处理时间短等优点。采用兼氧贮存技术的 3 种类型厕所在采购成本、运行成本及经济效益方面优势显著, 但粪污处理效果不够理想。以上结果为后续研究基础, 以期为中国农村“厕所革命”下一阶段厕所改造过程中卫生旱厕的选择提供参考。

关键词: 粪污; 好氧发酵; 卫生旱厕技术; 兼氧贮存

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.026

中图分类号: S2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-08-0225-09

范盛远, 王惠惠, 丁京涛, 等. 中国寒旱区农村卫生旱厕技术调研及评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(8): 225-233.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.026 <http://www.tcsae.org>

Fan Shengyuan, Wang Huihui, Ding Jingtao, et al. Technical investigation and evaluation of rural sanitary dry toilets in cold and arid regions of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(8): 225-233. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.08.026 <http://www.tcsae.org>

0 引言

厕所环境卫生与人类健康密切相关, 是精神文明进步的重要标杆^[1-2]。恶劣的卫生条件, 不合规的排放厕所粪污有污染人类食物和饮用水的风险, 是诱发肠道蠕虫、沙眼和血吸虫等疾病的主要原因, 全球每年约有 150 万儿童因此感染疾病^[3]。与城市居民相比, 农村居民因所在区域卫生基础设施差而遭受疾病的风险更高^[4]。2016 年联合国发布《联合国可持续发展目标(2016—2030)》对环境卫生提出了新的要求, 其中 SDG 目标 6.2 要求: 到 2030 年人人享有适当和公平的环境卫生和个人卫生, 杜绝露天排便, 特别注意满足妇女、女童和弱势群体在此方面的需求。因此改善农村地区卫生设施已成为一项全球目标^[5], 全球许多国家对此实施了一系列政策和计划, 以增加农村卫生厕所的数量, 提升卫生基础设施建设, 改善提高农村卫生情况^[6-7]。

2018 年, 中国政府印发了《乡村振兴战略规划

(2018—2022 年)》和《农村人居环境整治三年行动方案》, 将实施“厕所革命”作为实施乡村振兴战略的重要举措之一^[8-9]。经过有关部门共同努力, 截至 2020 年底, 中国农村卫生厕所普及率超过 68%^[10]。农村改厕主要技术模式以《农村户厕卫生规范》(GB 19379)^[11]推荐的 6 种无害化卫生厕所为主, 其中以农村三格式户厕、完整上下水道水冲式户厕、双瓮式户厕等水冲式厕所技术推广应用最多, 而粪尿分集式户厕、双坑交替式户厕等卫生旱厕技术, 推广应用范围相对较少, 主要集中在秦岭—淮河以北的寒冷、干旱地区。

随着农村改厕进程的推进, 越来越多的科研工作者投入到农村改厕技术研究中。针对水冲式厕所, 汪浩等^[12]对我国农村化粪池去污效果进行研究发现, 化粪池对化学需氧量、5 日生化需氧量、氨氮(NH₃-N)、总磷、动植物油具有良好削减效果。郑向群等^[10]针对三格化粪池应用现状研究发现, 三格化粪池结构简单、造价低廉, 是目前改厕关键和适宜技术之一, 但针对干旱、寒冷地区适应性较差。党成成等^[13]研究发现水冲式厕所会造成氮、磷元素回收困难, 同时浪费大量水资源增加污水处理负担。针对卫生旱厕, 余靖等^[14]对寒旱区卫生厕所技术进行研究, 发现卫生旱厕技术具有节水、防寒性能的同时可更好的实现粪污资源化利用, 但粪污无害化时间有所增加。黄涛等^[15]研究认为卫生旱厕具有无水冲、耐严寒等优点适用于中国干旱、寒冷地区, 但粪污处理效果仍需进一步提升。

综上所述, 水冲式厕所对粪污处理效果较佳, 但在

收稿日期: 2021-10-17 修订日期: 2022-01-23

基金项目: 农业农村部规划设计研究院自主研发项目: 我国寒旱区农村卫生厕所及粪污资源化关键技术产品研发与推广应用(项目编号: SP202103); 节能高效堆肥式卫生旱厕技术产品熟化与转化(项目编号: SH202108)

作者简介: 范盛远, 助理工程师。研究方向为农业废弃物资源化。

Email: fsy-hbau@foxmail.com

*通信作者: 沈玉君, 博士, 研究员, 研究方向为农业废弃物资源化。

Email: shenyj09b@163.com

干旱寒冷地区适应性较差,而卫生旱厕的使用可有效地改善农村卫生厕所缺水和防冻的问题,但使用过程中卫生情况和粪污无害化情况仍差强人意。2021 年中共中央一号文件提出,未来五年将持续实施农村人居环境整治提升行动,分类有序推进农村厕所革命,加快研发寒冷、干旱地区卫生厕所适用技术和产品,加强中西部农村户用厕所改造。可以看出,寒冷、干旱地区卫生旱厕的推广应用仍然任重道远亟需进一步提升。本文通过对全国 14 个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团农村卫生旱厕技术展开调研分析,并对厕所粪污样品进行了采集和分析,开展了卫生旱厕经济学和卫生学评价,为中国农村“厕所革命”卫生旱厕的选择提供参考。

1 调研方案及区划情况

1.1 调研方案

本研究主要采用实地走访调研方式和文献资料查阅相结合的综合分析方法。调研时间从 2020 年 5 月到 2021 年 8 月,组织调研人员 150 余人次,赴 14 个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团共计 57 个县(市、区)展开调研。调研对象主要为改厕农户、企业、政府等农村改厕全过程参与环节涉及到的关键对象。调研主要采用实地调研和座谈两种形式,共计形成省级调研报告 29 份,调研内容主要包括技术模式、建设施工、运行维护、卫生效果及经济成本等。对调研报告和文献资料进行整理分析,开展寒冷、干旱地区农村卫生旱厕技术研究及评价。

1.2 区划情况

中国幅员辽阔,经纬度跨越较广,气候类型各不相同。根据研究目标的不同,各区域的划分也各不相同。现阶段,在中国农村改厕领域,不同区域的划分暂无明确统一的标准。本研究参照余靖等人对高寒缺水地区划分的研究结果^[14]及文献总结对寒冷地区和干旱地区进行归纳,如表 1 所示,共涉及 18 个省(市、自治区)。

表 1 区划标准及地区^[16-18]

Table 1 Zoning standards and regions

区划名称 Zoning name	区划指标 Zoning indicators		覆盖地区 Covered regions
	主要指标 Main indicators	辅助指标 Auxiliary indicators	
寒冷地区 Cold area	$t_{\min \cdot m} \leq -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $145 \leq d_{\leq 5}$	$-10 \text{ }^{\circ}\text{C} < t_{\min \cdot m} \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $90 \leq d_{\leq 5} < 145$	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、新疆地区、青海、北京、天津、河北、山东、山西、宁夏、陕西、甘肃、河南、安徽、江苏北部、西藏南部
干旱地区 Arid area	年降水量 <200 mm 或 人均水资源量 <600 m ³	水资源风险, 水资源承载力	天津、河北、山西、北京、山东、宁夏、河南、甘肃、陕西、内蒙古、新疆地区

注: $t_{\min \cdot m}$ 为最冷月平均温度; $d_{\leq 5}$ 为日平均温度 $\leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数。

Note: $t_{\min \cdot m}$ is average temperature of the coldest month; $d_{\leq 5}$ is number of days with daily average temperature $\leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2 卫生旱厕技术

当前中国并无相关标准对卫生旱厕进行定义,所以本研究在《农村户用卫生规范》对无害化卫生厕所定义基础上,以是否使用水冲厕所为评价标准,将不使用水

冲的无害化卫生厕所定义为卫生旱厕。目前,从走访调研情况发现,中国寒冷、干旱地区卫生旱厕技术主要有好氧发酵旱厕和兼氧贮存旱厕 2 种类型^[19-20]。其中好氧发酵旱厕包括堆肥式厕所、微生物降解式厕所,兼氧贮存旱厕包括粪尿分集式厕所、双坑交替式厕所、太阳能干化式厕所等。

2.1 好氧发酵旱厕

2.1.1 堆肥式厕所

堆肥式厕所主要依靠自然界广泛分布的细菌、放线菌和真菌等微生物对有粪污进行降解,使粪污转化为类似腐殖物质,是处理有机固体废弃物的常用方法^[21-23]。目前堆肥式厕所主要类型有自然堆肥式厕所(图 1)和反应器堆肥式厕所(图 2) 2 种。

两种类型厕所在器具选择上差异不大,均是采用物理隔臭和重力落粪的方式实现臭气的封堵和粪污收集。区别在于粪污处理装置和方法的不同。自然堆肥式厕所一般采用储粪池进行粪污收集,定期进行清掏或搅拌,配以秸秆、木屑等含碳生物质原料进行混合堆肥处理,完成自然发酵和腐熟。此类型厕所结构较为简单建设成本较低,但粪污处理时间长(2~4 个月),易受天气等外界影响,效率低,堆肥时有臭味,无害化不彻底会对环境造成污染。适合在经济水平较低,对粪肥有使用需求的干旱地区使用^[23]。

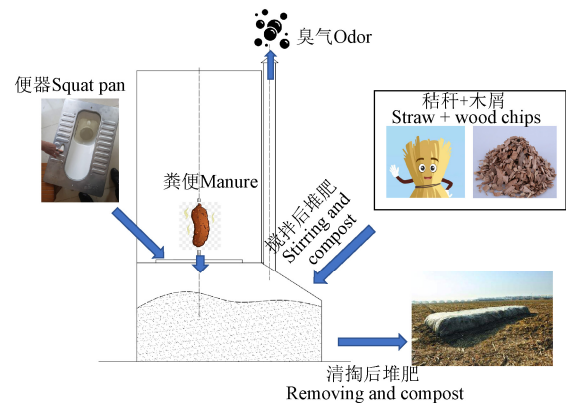


图 1 自然堆肥式厕所

Fig.1 Natural compost toilet

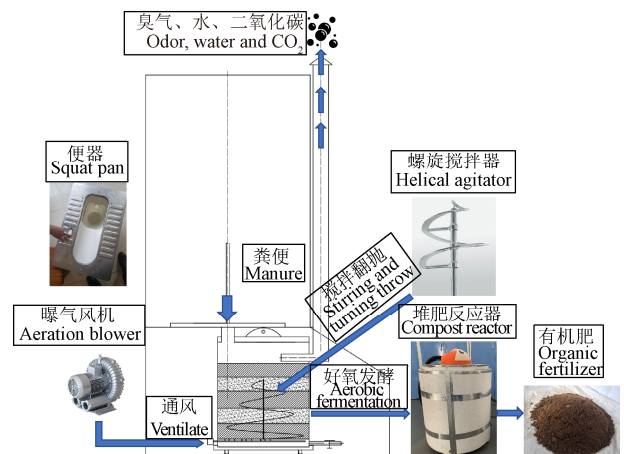


图 2 反应器堆肥式厕所

Fig.2 Reactor compost toilet

反应器式堆肥厕所则是在便器下方配套安装一体化粪污处理设备对粪污进行无害化处理。如侯善策等^[24]研制了一种负压抽吸进料-螺旋盘管曝气-辅助加热功能的农村户用厕污堆肥反应器，并进行了厕所粪污堆肥试验，经 15 d 堆肥后，发现堆肥高温期（50℃）可维持 5 d 以上，堆肥产物蛔虫卵死亡率可达到 100%，大肠菌值检测为 46 个/g（≤100 个/g），种子发芽指数为 88.4%，满足《粪便无害化卫生要求》。白帆等^[25]利用密闭式小型堆肥反应器装置，采用木屑为载体，在 35℃ 的温控条件下进行了人粪便的好氧堆肥试验，研究了堆肥过程中有机物去除率和微生物的变化规律，发现 COD（Chemical Oxygen Demand）、有机物 S_{org} 和 TOC（Total Organic Carbon）去除率可达到 70%，同时堆肥腐熟时间可达 10~12 d，基本完成有机物的降解，实现了通过中温好氧堆肥使粪污达到无害处理。颜瑾等^[26]将农村污泥、人粪便、生活垃圾进行混合堆肥发现，当人粪便含量在 38%~70% 时，可达到堆肥腐熟标准。由于堆肥法处理粪污的技术较为成熟，不易受环境影响，所以市场上各类型的厕污堆肥反应器种类较多，且对粪污的处理效果也较为理想，基本可以满足粪污无害化要求。

2.1.2 微生物降解式厕所

微生物降解式厕所（如图 3），工作原理是利用外源微生物^[27]（如酵母菌、芽孢杆菌、乳酸菌、芽孢菌和枯草菌等）强化作用提升粪污降解效率，将粪污在几小时内分解成水分子和二氧化碳并从排气管排出。此类设备大多自带恒温加热功能，可根据室外温度调节设备内温度，可在 -30℃ 以上环境中运行，一般单台设备可保证 5~8 口以下家庭正常使用，仅需定期添加微生物菌剂即可，单日耗电量 1~2 kW·h。此类型厕所在使用过程中无需用水，降低了厕所粪污处理量，同时集储存和处理于一身，避免了粪污运输和异地处理，特别适合用于无公共给排水设施的边远地区，目前此类设备在中国西北、东北地区应用推广较多。

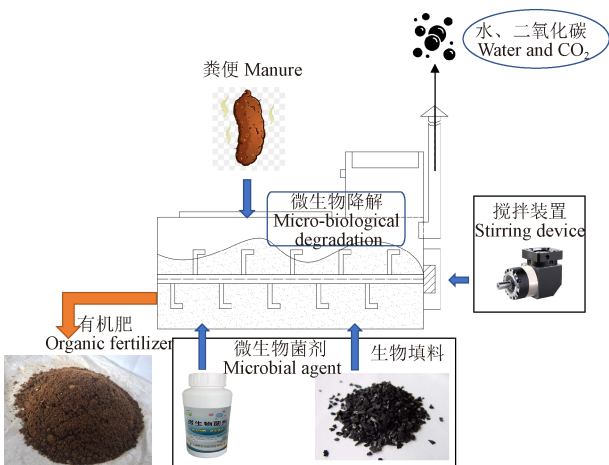


图 3 微生物降解式厕所
Fig.3 Microbial degradation toilet

此类型厕所也存在一定问题：一是由于降解粪污过程受较多因素限制，效果不甚稳定，如尿液比例过高、生物填料湿度过大等会影响菌群的生长活性和高效降解；二是此类设备处理能力有限，短时间的频繁使用会

降低粪污的处理效果；三是此类设备建设和使用成本较高。综上所述，这种类型技术产品的科学性、稳定性、适用性仍需进一步提升验证。

2.2 兼氧贮存旱厕

2.2.1 粪尿分集式厕所

粪尿分集式厕所（如图 4）是 20 世纪 90 年代从瑞典引进的一种生态旱厕，也称干封式粪尿分集式厕所。该类型厕所采用专用的粪尿分集式便器，将粪便和尿液分别收集到贮粪池和贮尿池中。使用过程中，如厕后粪便需要添加适量干灰（细砂土、草木灰、炉灰、秸秆粉等）覆盖，阻隔臭味扩散、脱水干化，形成干燥、偏碱性环境，从而实现粪便的无害化处理。尿液经过贮尿池短时间贮存后（一般存放 7~10 d）可兑水稀释用于农业施肥^[28]。

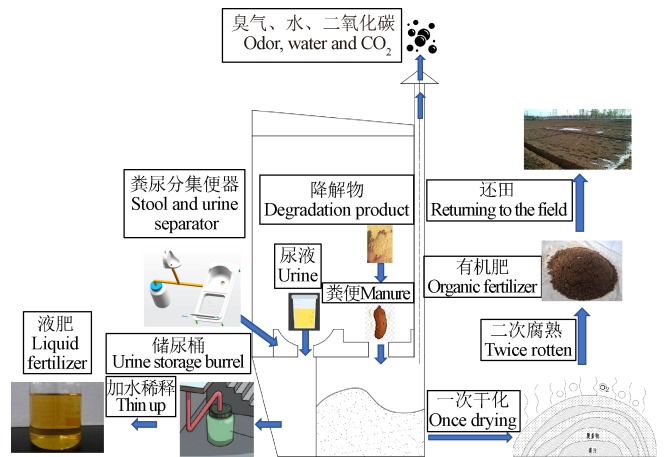


图 4 粪尿分集式厕所
Fig.4 The urine-diverting household toilet

粪尿分集式厕所作为非水冲式厕所能够大幅减少粪污的处理量，还能通过尿液将粪污中大量的氮磷钾等植物生长所需的营养元素固定，并以液肥方式施还土壤促进植物生长^[20,28]。此类型厕所建造成本较低，且使用过程中除洁厕使用少量水外全程无需用水，无需考虑低温结冰问题。但同时存在一定缺点，在于其使用和维护较为复杂，排便后需要人工进行加灰干燥，如不能及时覆盖或覆盖不完全会导致蚊蝇滋生，严重影响粪便无害化效果。

1998 年，全国爱卫办、瑞典国际开发署、儿童基金会联合在吉林省进行了粪尿分集式厕所粪污无害化效果研究，经过 1 年的检测检验，发现虽然吉林省冬季漫长，冬季时长近 6 个月，但经过 322 d 的粪污长时间贮存，其粪大肠菌群数 < 900 个/L，蛔虫卵死亡率 98.95%，pH 值为 10，含水率为 22.18%，各项指标已全部满足无害化标准要求^[29]。粪尿分集式厕所技术发展较为成熟，且迭代产品与技术正不断优化提升。中国一些地区对粪尿分集式厕所的设计和使用提出了优化方案，如江苏省要求如厕后在粪坑加入干灰，其用量为粪便的 2~3 倍，草木灰的覆盖时间不少于 3 个月，炉灰、锯末、黄土等的覆盖时间不少于 10 个月，厕坑潮湿时，需要加入干灰予以调整。山东省要求干封式粪尿分集式厕所的粪便要经过第二次堆肥处理，单独收集的尿液要经过集中曝气使其符合相关要求后才能用于农业生产。另外，研究表明在高寒地区

需要延长粪便贮存时间才能满足粪便无害化要求, 时间过长、过短都不利于满足粪便无害化要求, 不同覆盖料各项指标达到粪便无害化的时间也各不相同如表 2 所示。

表 2 不同覆盖料各项指标达到粪便无害化的时间^[30-31]

指标 Index	草木灰 Plant ash/d	炉灰 Ash/d	锯末 Sawdust/d	黄土 Loess/d
粪大肠杆菌 (达国标) Fecal Escherichia coli (up to national standard)	33	214	250	250
蛔虫卵 (达国标) Roundworm eggs (up to national standard)	55	214	250	303
噬菌体 (检不出) Bacteriophage (not detectable)	75	303	250	250

2.2.2 双坑交替式厕所

双坑交替式厕所 (如图 5) 是由传统的坑式旱厕改进而来, 由厕屋、两个相同便器和贮存池组成^[11]。不同于其他卫生厕所的是它具有两个便器, 每个便器对应 1 个独立的贮粪池。使用时, 同粪尿分集式厕所一样, 便后需要添加干灰进行覆盖, 起到吸收粪尿水分和隔绝空气的作用。两个贮粪池交替使用, 使用其中一个时另一个封闭做堆肥处理, 当用满时, 再将第一个贮粪池内的粪便清掏并启用, 实现双坑交替使用。为保证粪便的无害化处理效果, 设计时需要每个贮粪池的容量可供使用 6 个月以上, 如贮粪池清掏时间短于 6 个月, 则需要对清掏的粪污进行二次处理。该厕所结构简单, 易于在传统旱厕基础上加以改造, 造价低廉。在中国新疆、宁夏、云贵、川藏、山西、陕西和东三省等干旱、半干旱地区广泛使用。

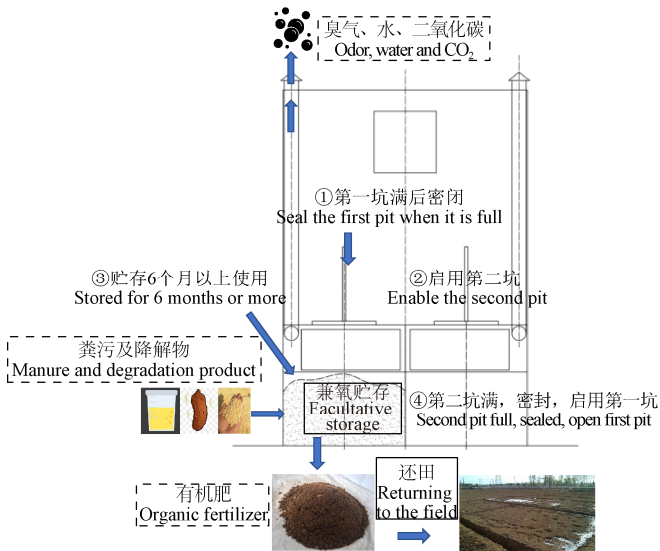


图 5 双坑交替式厕所
Fig.5 Double-pit alternating household toilet

陕西省爱卫办针对陕西某县双坑交替式户厕 4 个封存坑和 4 个使用坑进行了卫生学评价, 发现双坑交替式农村旱厕与单坑旱厕相比, 仅造价略有增长, 但卫生学意义显著, 对预防肠道传染病也会起到显著作用。检测的 64 件使用坑样品, 粪大肠菌群指数均值约为 1.54×10^8 , 菌值为

5.6×10^{-5} 。蛔虫卵平均死亡率 86.38%。未检出肠道致病菌。封存坑封存三个月后粪大肠菌群指数均值为 3.57×10^6 , 菌值为 3.6×10^4 , 粪大肠菌灭活率为 98%, 封存坑蛔虫卵死亡率为 94.29% 存活率为 5.71%, 封存 135d (4 个半月) 后, 粪大肠菌群数为 $n \times 10^5$, 菌值为 4×10^{-3} , 蛔虫卵的死亡率上升至 96.8%, 届时已达到粪便无害化标准要求^[32]。

2.2.3 太阳能干化式厕所

太阳能干化式厕所 (如图 6) 的粪便处理方式是通过对水和降解, 或两种方法结合使用, 液体粪污的处理三种方式, 尿分离、分离水分和联合处理。具体流程: 人入厕所-排泄物如坑-加脱水或降解物 (木灰或者土-石灰混合物)-太阳能干燥-定期处理。此类型厕所在我国新疆、西藏等日照时间长空气湿度低的地区应用较为广泛。

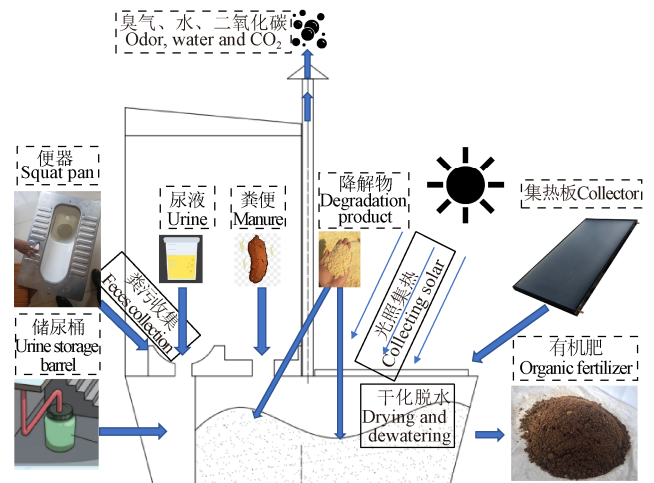


图 6 太阳能干化式厕所
Fig.6 Solar drying toilet

目前具有代表性的太阳能干化式厕所有萨尔瓦多型太阳能加热式厕所, 厄瓜多尔型双坑太阳能加热式厕所, 南太平洋型 CCD 厕所, 印度型双坑式蒸发-蒸腾床厕所等 (如图 7)^[33-34]。

萨尔瓦多型太阳能加热式厕所发源于坦桑尼亚, 在萨尔瓦多、墨西哥和越南逐步改进并推广使用。这种厕所与传统太阳能干化式厕所的区别是增设了尿液导流管和储粪池太阳能集热板, 通过尿液导流管将如厕过程中产生的尿液导流至厕所旁边单独修建的小渗坑中, 自然蒸发沉降, 通过此种方式可从源头上降低储粪池内粪污含水率。进一步的通过储粪池太阳能集热板吸收热量, 提高储粪池内温度, 加速水分蒸发, 提高干化效果^[34]。

厄瓜多尔型双坑太阳能加热式厕所是一种为解决高海拔地区 (3 500~4 000 m) 土壤肥力降低问题提出的太阳能干化式厕所, 在厄瓜多安第斯高原科托帕希省推广使用了 300 余套此类型厕所。此类型厕所与传统太阳能干化式厕所的区别在于, 由两套相互独立的便器与储粪池组成, 每个储粪池的盖子用木板做成, 表面覆盖一层刷黑的镀锌薄铁板, 用于吸收太阳能, 促进粪便脱水; 每个储粪池的盖子上均设置有通风孔让空气进去经通风管排出, 进一步加速粪便脱水。此类型厕所主要目的在

于加速粪污脱水干化最大程度上将粪污中养分固存在干化后产物中，继而进行还田利用。

南太平洋型 CCD 厕所是由大卫·戴尔·波特先生为太平洋岛国发明的卫生厕所，此类型厕所与厄瓜多尔型双坑太阳能加热式厕所较为相似，均是由储粪池对粪污进行收集干化处理，两个储粪池交替使用。不同之处在于此类型厕所在每个储粪池内悬挂着尼龙渔网，在渔网上铺有棕榈草垫，如厕产生的粪污先落入草垫上，液体自然渗滤，实现固液分离。定期通过排粪口加入木屑、

树枝或椰壳等填充物，为降解提供碳源，增加粪污堆体的孔隙度，使空气进入堆体内部，利于堆体发酵、干化。

印度型双坑使蒸发-蒸腾床厕所相较于以上几种太阳能干化式厕所差别之处在于配套安装了一个与储粪池联通的蒸发-蒸腾茅草床。由于当地地下水位较高，未经处理的粪污易污染地下水，在储粪池旁安装蒸发-蒸腾茅草床用以吸收粪液和洗手水，可以实现液体净化。蒸发-蒸腾茅草床几乎不需要维护，只要剪掉生长过旺的茅草，将它们切碎添加到储粪池中即可。

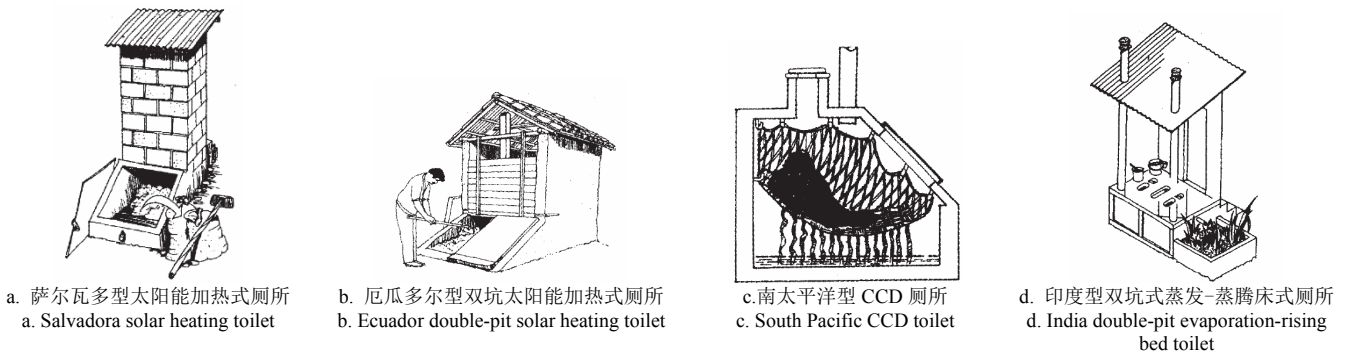


图 7 典型太阳能干化式厕所
Fig.7 Typical solar-powered dry toilet

3 卫生旱厕技术评价

在农村改厕过程中，厕所类型的选取不仅要选择适用的技术模式，也要综合考虑厕所系统的卫生效果、粪污无害化效果以及建设使用成本，本研究从卫生学与经济学两个角度对我国农村卫生旱厕类型进一步对比分析。

3.1 卫生学评价

根据《农村户厕卫生规范》（GB 19379—2012）对卫生厕所状况与粪便处理的卫生要求，对 5 种类型厕所的卫生状况与粪便处理情况进行检测和采样分析。调研过程中对每种类型厕所随机选取 10 座进行合格率检测，如表 3 所示。

表 3 卫生状况与粪便处理的卫生要求达标情况^[9]
Table 3 Hygiene status and compliance with sanitation requirements for excrement treatment

厕所类型 Type of toilet	合格率 Pass rate/%					备注 Remark
	成蝇 Adult fly	蝇蛆 Fly maggot	臭味强度 Odor intensity	粪大肠菌值 Fecal coliform value	蛔虫卵死亡率 Ascaris egg mortality	
标准 Standard	0	0	≤2	>10 ²	≥95	—
堆肥式 Compost	90	90	90	80	90	堆肥时间≥30 d
微生物降解式 Microbial degradation	100	100	100	90	90	处理时间<24 h
粪尿分集式 Urine diversity	50	60	80	50	60	贮存时间>300 d
双坑交替式 Alternate double pit	60	70	90	60	60	贮存时间>135 d
太阳能干化式 Solar drying type	40	50	70	30	30	—

3.1.1 成蝇与蝇蛆

成蝇与蝇蛆有无是判断厕所卫生情况最直接的反应指标。堆肥式厕所和微生物降解式厕所成蝇与蝇蛆合格率可达 90%及以上，其他 3 种类型厕所合格率不足 60%。分析原因是堆肥式厕所和微生物降解式厕所一般采用一体化处理反应器，密闭效果良好，阻断了苍蝇与粪污接触避免了蝇蛆的滋生，而其他 3 种类型厕所厕具密闭情况不佳且在使用过程中农户不能及时有效添加覆盖阻断蝇蛆与粪污接触。

3.1.2 臭味强度

臭味强度直接影响如厕者的使用意愿，且臭味强度超过一定阈值会对人身体造成一定伤害。《农村户厕卫生规范》中对臭味强度等级进行了划分，以人体感觉出

气味为 2 级臭味阈值，不大于此臭味阈值均符合臭味强度标准。在臭味强度方面以上几种类型厕所处理效果相对较好，尤其是微生物降解式厕所，由于该类型厕所在采用了强制通风方式，使厕污散发的臭气可以大部分通过排气管排出室外，厕具内气味在正常气压下基本不会散发到屋内。

3.1.3 粪大肠菌值与蛔虫卵死亡率

粪大肠菌和蛔虫卵的灭活效果的好坏直接影响着粪-口疾病的传播，《农村户厕卫生规范》中要求粪大肠菌值要≤10²，蛔虫卵死亡率≥95%。在以上 5 种类型厕所对比分析中发现，微生物降解式厕所和堆肥式厕所对粪大肠菌和蛔虫卵的灭杀效果最好，基本可以在较短时间内实现对病原微生物的有效灭活。其他类型厕所对病原微生物灭活

效果一般。究其原因是微生物降解式厕所和堆肥式厕所采用的好氧发酵技术,且不同程度的增加了通风曝气、保温加热等功能,可以实现粪污短时间内提升温度 55℃以上并维持较长时间。有研究表明^[35],在温度 50℃下灭活两小时蛔虫卵杀灭率可达 100%,对病原微生物有较好的灭活效果,这与两种厕所的使用效果相一致。

3.2 经济学评价

从建设成本、运行成本和经济效益三个维度对 5 种类型厕所进行比较分析,结果如表 4 所示。

3.2.1 建设成本

在建设成本方面,主要包括采购费和人工建设费。对以上几种类型厕所的建设成本进行对比,发现以上 5 种类型厕所中微生物降解式厕所和堆肥式厕所建设成本

最高价均超过了 5 000 元,而其余几种类型厕所建设成本相对较低,基本不超过 4 100 元。建设成本差异的主要原因是由于使用的粪污处理技术和材料加工技术的不同。采用好氧发酵技术的厕所往往为一体化设备或模块化组装设备,此类设备一般均集成了加热、保温、搅拌等功能,所实现的功能越复杂相应配套设备成本更高。而采用兼氧贮存技术的 3 种类型厕所往往是使用聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等塑料材质进行加工制造,塑料成本很低,且当加工数量达到一定规模生产成本还可进一步降低。除此之外,值得注意的是,虽然微生物降解式厕所的建设成本为几种类型厕所中最高,但是其在人工建设费用是最少的仅为其他几种费用类型的一半,主要因为其无地下施工部分,安装简单快捷。

表 4 卫生旱厕成本分析
Table 4 Cost analysis of sanitary dry toilets

粪污处理技术 Manure treatment technology	厕所类型 Type of toilet	成本 Cost/Yuan				运行 Operating	经济效益 Economic benefit
		建设 Construction					
		厕屋 Toilet house	便器 Squat pan	粪污处理池 Manure treatment pond	人工 Labor		
好氧发酵 Aerobic fermentation	堆肥式	500~1 000	200~500	2 500~3 000	600	清掏: 200 (4 次)元·a ⁻¹ 耗电: 150 kW·h·a ⁻¹ , 约 75 元	产物可做有机肥, 产量 0.1~0.2 t·a ⁻¹ , 50~100 元·a ⁻¹
	微生物降解式	500~1 000	一体化设备 3 500~4 000		300	清掏: 50 (1 次)元·a ⁻¹ 菌剂及辅料: 100 (1 次)元·a ⁻¹ 耗电: 200 kW·h·a ⁻¹ , 约 100 元	基本无污染物产生, 不影响环境
兼氧贮存 Facultative storage	粪尿分集式	500~1 000	200~500	500~2 000	600	清掏: 200 (4 次)元·a ⁻¹	产物可做有机肥, 产量 0.1~0.2 t·a ⁻¹ , 50~100 元·a ⁻¹
	双坑交替式	500~1 000	200~500	500~2 000	600	清掏: 200 (4 次)元·a ⁻¹	
	太阳能干化式	500~1 000	200~500	500~1 500	600	清掏: 200 (4 次)元·a ⁻¹	

注: 厕所均为独立式户厕,按 3 口人标准建设使用。

Note: The toilets are all free-standing household toilets, which are built and used according to the standard of 3 people.

3.2.2 运行成本

运行成本方面,主要包括人工清掏费、材料(菌剂及辅料)费和电费。人工清掏费方面,微生物降解式厕所因其较好的粪污处理能力使其每年仅需清掏 1 次用以提高并维持其处理效果,清掏费用为 50 元,其他几种类型则需要根据使用情况每年进行清掏 2~4 次,费用约为 100~200 元/a。在材料费方面,几种类型厕所在保修时间范围内,除微生物降解式厕所外,均不产生材料费,使用过程中消耗或使用的覆料均可在农村广泛获得。而微生物降解式厕所则需要每年进行菌剂补充,以调节微生物活性,费用约为 100 元/a。电费方面,由于微生物降解式厕所为维持微生物活性需要 24 h 稳定运行,年耗电量约 200 kW·h 左右,电费大约为 100 元/a。生物堆肥式设备一般为定期运行,无需 24 h 供电,耗电量约为微生物降解式厕所的 75%,电费约 75 元/a,略低于微生物降解式厕所。其余几种类型厕所均具有一定的粪污处理能力,使用者仅需按照使用要求定期清掏并进一步堆肥处理或另作他用即可,无电费产生。

3.2.3 经济效益

除微生物降解式厕所可将大部分粪污完全降解,产物较少,不足以产生经济效益。其余 4 种类型厕所产生粪污均可做堆肥处理,产生的有机肥价值约 50~100 元/a,小有收益。

4 展望分析

本研究通过系统调研总结中国寒冷、干旱地区农村卫生旱厕技术模式,结合中国农村改厕实际面临的实际问题,深入分析现有农村卫生旱厕的优点与不足,发现持续稳固的提升寒冷、干旱地区农村卫生旱厕技术水平及运行效果,仍需在以下几个方面研究提升。

4.1 完善标准

随着农村改厕工作的持续推进,农村卫生旱厕从数量到效果均有了稳固提升,但仍然存在部分问题,这其中包括卫生旱厕的技术模式选取不合理、施工建设质量不达标、运行维护不到位等。究其原因是,目前我国农村卫生厕所相关标准缺失,农村卫生厕所建设与管护标准体系不够完善。据不完全统计,我国现阶段与农村厕所相关现存和修订标准仅 22 项,针对我国干旱、寒冷地区农村卫生旱厕标准数量为 0。标准的缺失导致改厕各环节的相关约束的缺失,严重阻碍了农村卫生旱厕改造行业的发展与进步^[36-37]。未来应在标准建设方面,针对当前农村旱厕改造工作的主要问题和薄弱环节,聚焦重点难点,抓紧编制急需的相关标准,立足实际,循序渐进,采用科学手段和方法逐步完善标准体系。

4.2 提升技术装备

农村改厕工作对相关行业的发展起到了一定的促进

作用, 据了解 2018—2019 年内农村改厕企业从几百家增加到 2 万多家, 农村改厕市场主体异常活跃。但相应产生的问题是针对农村旱厕的技术装备却未能取得与之匹配的进步发展。尤其是针对干旱、寒冷地区冬季结冰、干旱缺水导致的卫生厕所无法使用问题仍未得到有效改善。市场技术产品同质化严重, 相互抄袭模仿。其主要原因是技术产品研发投入不足, 未意识到干旱、寒冷地区面临的主要技术问题。针对本文所研究的 5 种卫生旱厕技术产品, 本研究认为:

1) 针对采用好氧发酵技术的技术产品, 应向产品一体化、智能化、节能化、小型化、高质量化方向发展。如将产品的结构改进为一体化结构, 增加相应智能化传感器、改善供能方案, 缩小整体结构尺寸, 研发高效能耐低温发酵菌剂等以提升卫生旱厕的整体使用效果并降低成本与能耗。

2) 针对采用兼氧贮存技术的技术产品, 应瞄准厕所保温、卫生环境、通风改良、粪污无害化等方向重点突破, 如利用西部日照时间长、光线充足的优势为厕所产品增加太阳能循环保温加热装置、改善厕室内相应清洁设施的配套、优化厕所通风管道结构、研发新型粪污无害化贮存工艺技术等。

5 结 论

1) 本研究基于中国寒冷、干旱地区水冲式厕所不适宜的问题, 对目前国内寒冷、干旱地区常用的卫生旱厕处理技术进行了归纳总结, 主要包括好氧发酵技术和兼氧贮存技术两种, 涵盖了堆肥式厕所、微生物降解式厕所、粪尿分集式厕所、双坑交替式厕所、太阳能干化式厕所 5 种类型厕所。

2) 对 5 种类型厕所进行卫生学和经济学对比评价, 发现采用好氧发酵技术的微生物降解式厕所和生物堆肥式厕所对比其余 3 种采用兼氧贮存技术类型的厕所粪污处理效果显著, 尤其是在粪污病原微生物的处理效果方面, 具有灭活效果显著且处理时间短等优点。采用兼氧贮存技术的 3 种类型厕所在采购成本、运行成本及经济效益方面优势显著, 但粪污处理效果不够理想。

3) 对中国目前农村改厕领域涉及到的未来发展方向展开了展望分析, 提出了我国接下来一段时间在农村卫生旱厕领域应重点完善相关标准, 提升技术装备质量的建议。

【参 考 文 献】

[1] 臧珊, 栾峰. 人口回流与新型发展要素嵌入: 对传统欠发达中部乡村地区新发展现象的思索[J]. 上海城市规划, 2016, 129(4): 17-21.
Zang Shan, Luan Feng. Return migration and embedding of new development factors: Thoughts about new development phenomenon of traditional underdeveloped central rural areas[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2016, 129(4): 17-21. (in Chinese with English abstract)

[2] 王永生, 刘彦随, 龙花楼. 我国农村厕所改造的区域特征及路径探析[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 553-560.
Wang Yongsheng, Liu Yansui, Long Hualou. Regional characteristics and pathway optimization of China's rural

toilet improvement[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2019, 36(5): 553-560. (in Chinese with English abstract)

[3] 陈泽茹. 《2018 年世界卫生统计—针对可持续发展目标的健康监测》(节选) 英译汉实践报告[D]. 济南: 山东大学, 2020.
Chen Zeru. A Report on the E-C Translation of World Health Statistics 2018: Monitoring Health for the SDGs(Excerpts)[D]. Jinan: Shandong University, 2020. (in Chinese with English abstract)

[3] Tong Y, Bu X, Chen C, et al. Impacts of sanitation improvement on reduction of nitrogen discharges entering the environment from human excreta in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 593: 439-448.

[4] Snehalatha M, Anitha V. India's total sanitation campaign: Is it on the right track? progress and issues of TSC in Andhra Pradesh[J]. Journal of Rural Development, 2012, 32(2): 173-192.

[5] Caroline M, Meine P, Van D. Emptying, transportation and disposal of faecal sludge in informal settlements of Kampala Uganda: The economics of sanitation[J]. Habitat International, 2014, 42: 69-75.

[6] Mohammad R, Debapratim P. Determination of appropriate service quality attributes for household toilets in rural settlements of India based on user perception[J]. Environment, Development and Sustainability, 2017, 19(4): 1381-1406.

[7] Roni P, Barbara J W, Linda S, et al. Review of synthetic human faeces and faecal sludge for sanitation and wastewater research[J]. Water Research, 2018, 132: 222-240.

[8] 黄国勤. 论乡村生态振兴[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(2): 190-197.
Huang Guoqin. A look at rural ecological revitalization[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(2): 190-197. (in Chinese with English abstract)

[9] 沈峥, 刘洪波, 张亚雷. 中国“厕所革命”的现状、问题及其对策思考[J]. 中国环境管理, 2018, 10(2): 45-48.
Shen Zheng, Liu Hongbo, Zhang Yalei. The Current situation, issues and strategies of “Toilet revolution” in China[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2018, 10(2): 45-48. (in Chinese with English abstract)

[10] 郑向群, 高艺, 徐艳, 等. 三格化粪池在我国农村改厕中的应用现状及模式类型[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 209-219.
Zheng Xiangqun, Gao Yi, Xu Yan, et al. Application status and model types of three-compartment septic tanks in rural toilet reform in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(2): 209-219. (in Chinese with English abstract)

[11] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 农村户厕卫生规范: GB 19379—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[12] 汪浩, 王俊能, 陈尧, 等. 我国农村化粪池污染物去除效果及影响因素分析[J]. 环境工程学报, 2021, 15(2): 727-736.
Wang Hao, Wang Junneng, Chen Yao, et al. Pollutant-removal performance of rural septic tank and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(2): 727-736. (in Chinese with English abstract)

[13] 党成成, 谢国俊, 邢德峰, 等. 无水冲生态厕所的类型和发展应用[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(7): 28-32.
Dang Chengcheng, Xie Guojun, Xing Defeng, et al. Types and development applications of non-flushing ecological Toilets[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021,

- 39(7): 28-32. (in Chinese with English abstract)
- [14] 余靖, 张超杰, 周琪, 等. 典型高寒缺水农村地区厕所现状及改厕技术[J]. 环境卫生工程, 2021, 29(1): 1-8, 13. Yu Jing, Zhang Chaojie, Zhou Qi, et al. Current situation of toilets in alpine-cold and water shortage rural regions and toilet renovation technology[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2021, 29(1): 1-8, 13. (in Chinese with English abstract)
- [15] 黄涛, 田时雨, 马鲁铭, 等. 农村厕所粪污治理模式实践与思考[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(9): 35-40. Huang Tao, Tian Shiyu, Ma Luming, et al. Practice and thinking on treatment model of rural toilet manure[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(9): 35-40. (in Chinese with English abstract)
- [16] 水电水利规划设计总局, 国家能源局. 高海拔风力发电机组技术导则: NB/T 31074—2015[S]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 机械产品环境 高海拔: GB/T 14092.3—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑热工设计规范: GB 50176—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [19] 许阳宇, 周律, 贾奇博. 厕所系统排泄物处理与资源化厕所技术发展近况[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 22-29. Xu Yangyu, Zhou Lu, Jia Qibo. State-of-the-art of resource recovery toilet technology: A review[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 22-29. (in Chinese with English abstract)
- [20] 张宇航, 沈玉君, 王惠惠, 等. 农村厕所粪污无害化处理技术研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 230-238. Zhang Yuhang, Shen Yujun, Wang Huihui, et al. A study on the harmless treatment technology of night soil in rural toilets[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(2): 230-238. (in Chinese with English abstract)
- [21] 潘攀, 王晓昌, 李倩, 等. 初始温度对人粪好氧堆肥过程的影响[J]. 环境工程学报, 2015, 9(2): 939-945. Pan Pan, Wang Xiaochang, Li Qian, et al. Effect of initial temperature on aerobic composting of human feces[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(2): 939-945. (in Chinese with English abstract)
- [22] 尹文俊, 于振江, 徐悦, 等. 新型厕所系统及技术发展现状与展望[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(5): 1-7. Yin Wenjun, Yu Zhenjiang, Xu Yue, et al. New-type toilet system and current status and prospects of technologies[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2019, 27(5): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [23] 陈威, 王玉新. 应用新型好氧堆肥反应器连续投加处理人粪便的研究[J]. 环境科技, 2014, 27(4): 35-39. Chen Wei, Wang Yuxin. A Study on the Continuously feeding for treating human feces using a new type aerobic composting reactor[J]. Environmental Science and Technology, 2014, 27(4): 35-39. (in Chinese with English abstract)
- [24] 侯善策, 沈玉君, 王惠惠, 等. 农村户用厕所堆肥反应器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 237-242. Hou Shance, Shen Yujun, Wang Huihui, et al. Design and experiment of composting reactor for rural household toilet sewage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(14): 237-242. (in Chinese with English abstract)
- [25] 白帆, 王晓昌. 人粪便中温好氧堆肥过程的有机物降解特性研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(8): 1863-1866. Bai Fan, Wang Xiaochang. Study on characteristics of fecal organic matters degradation in an aerobic composting reactor under mesophilic condition[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(8): 1863-1866. (in Chinese with English abstract)
- [26] 颜瑾, 李燕, 熊仁, 等. 农村不同类型有机固体废物混合堆肥配比优化[J]. 环境工程学报, 2018, 12(7): 2106-2113. Yan Jin, Li Yan, Xiong Ren, et al. Mixture ratio optimization of different organic solid waste co-composting in rural areas[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(7): 2106-2113. (in Chinese with English abstract)
- [27] 金钟跃, 包怡红, 王振宇, 等. 植物纤维素微生物降解条件[J]. 东北林业大学学报, 2004(3): 44-45. Jin Zhongyue, Bao Yihong, Wang Zhenyu, et al. Microbial degradation conditions for plant cellulose[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2004(3): 44-45. (in Chinese with English abstract)
- [28] 田时雨, 蒯兴宇, 黄涛, 等. 尿液收集储存过程中的性质变化及其资源化利用[J]. 环境工程, 2021, 39(2): 66-72. Tian Shiyu, Kuai Xingyu, Huang Tao, et al. The property of urine in collection and storage process for resource utilization of urine[J]. Environmental Engineering, 2021, 39(2): 66-72. (in Chinese with English abstract)
- [29] 王俊起, 孙凤英, 王友斌, 等. 粪尿分集式厕所设计及粪便无害化效果评价[J]. 中国卫生工程学, 2002(1): 11-15. Wang Junqi, Sun Fengying, Wang Youbin, et al. Designation, Application and Evaluation of effectiveness of non-hazardous disposal of excreta[J]. Chinese Journal of Public Health Engineering, 2002(1): 11-15. (in Chinese with English abstract)
- [30] 王俊起, 孙凤英, 王友斌, 等. 粪尿分集式生态卫生厕所的应用与推广[J]. 卫生研究, 2001, 30(5): 282-283. Wang Junqi, Sun Fengying, Wang Youbin, et al. Application and popularization of urine and feces searation ecological sanitary toilet[J]. Journal of Hygiene Research, 2001, 30(5): 282-283. (in Chinese with English abstract)
- [31] 陈莉, 韦波, 杨积军, 等. 农村生态卫生厕所卫生效果评价[J]. 环境与健康杂志, 2005, 22(3): 203-204. Chen Li, Wei Bo, Yang Jijun, et al. Hygienic Evaluation of ecosan toilet systems in rural areas[J]. Journal of Environment and Health, 2005, 22(3): 203-204. (in Chinese with English abstract)
- [32] 王俊起, 南山, 孙凤英, 等. 双坑交替式农村旱厕的卫生学评价[J]. 环境与健康杂志, 2000, 17(4): 210-211. Wang Junqi, Nan Shan, Sun Fengying, et al. Sanitary assessment on in-turn-used double-vault dry latrines in rural area[J]. Journal of Environment and Health, 2000, 17(4): 210-211. (in Chinese with English abstract)
- [33] 王应宽, 蒲应龔. 太阳能生态卫生厕所[J]. 太阳能, 2001(3): 20-23. Wang Yingkuan, Pu Yingyan. Solar ecological toilet[J]. Solar Energy, 2001(3): 20-23. (in Chinese with English abstract)
- [34] 邹伟国. 国内外生态卫生厕所应用与分析[J]. 水工业市场, 2011(6): 49-52. Zou Weiguo. National and international ecological sanitary toilet application and analyze[J]. Water-Industry Market, 2011(6): 49-52. (in Chinese with English abstract)
- [35] 王洪波. 生态堆肥反应器的污染物去除特性研究及应用示范[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009. Wang Hongbo. Study on Characteristics of Remove the Pollutants of Ecological Composting Reactor and Its Application Demonstration[D]. Xian: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009. (in Chinese with English abstract)

- [36] 高明杰, 王瑞波, 詹慧龙, 等. 农村改厕新技术新产品推广应用问题与对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(12): 44-50.
Gao Mingjie, Wang Ruibo, Zhan Huilong, et al. Research on the problems and strategy of household laterine new technologies and products' promotion and application in rural areas[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(12): 44-50. (in Chinese with English abstract)
- [37] 马灿明, 毛云峰, 张健, 等. 我国农村厕所革命相关技术标准规范和实施进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(20): 215-221.
Ma Canming, Mao Yunfeng, Zhang Jian, et al. Related regulations and specifications for China's rural toilet revolution and their implementation progress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 215-221. (in Chinese with English abstract)

Technical investigation and evaluation of rural sanitary dry toilets in cold and arid regions of China

Fan Shengyuan, Wang Huihui, Ding Jingtao, Jia Yiman, Shen Yujun^{*}, Cheng Hongsheng, Zhou Yawen, Li Dengke

(1. Academy of Agricultural Planning and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100121, China; 2. Key Laboratory of Technologies and Models for Cyclic Utilization from Agricultural Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100121, China)

Abstract: The toilet environment is closely related to human health and is an important benchmark for the progress of human spiritual civilization. With the continuous enhancement of the improvement of the rural living environment in China, the rural toilet environment has been greatly improved. However, the cold and arid areas of our country are limited by geographical and climatic conditions, which makes the traditional “flush toilet + sewage treatment plant” treatment mode unable to be used on a large scale, and traditional dry toilets are difficult to meet the current sanitation and non-toxicity of manure treatment. It is urgent to develop and construct sanitary dry toilets suitable for arid and cold regions. From May 2020 to August 2021, this study organized more than 150 investigators to conduct surveys in 57 counties (cities, districts) across the country, and the survey objects were mainly farmers, enterprises, governments and other rural toilet improvement processes. The key objects involved in the participation process are based on a combination of field research and discussion, focusing on the technical mode of toilet modification, construction, operation and maintenance, sanitation effects and economic costs as the main research contents, and a total of 29 provincial research reports have been formed. In this study, combined with research reports and literature, the sanitary dry toilets are divided into two manure treatment technologies. One is sanitary toilets using aerobic fermentation technology, including compost toilets and microbial degradation toilets; the other is facultative aerobic toilets. Sanitary toilets with storage technology, including the urine-diverting household toilet, double-pit alternating household toilet, and solar drying toilet. It also summarizes and analyzes the technical principles, application scenarios, advantages and disadvantages. Through the evaluation and analysis of 5 types of toilets from the perspectives of hygiene and economics, the results show that compared with the other three types of sanitary toilets using facultative storage technology, the microbial degradation toilet and composting toilet using aerobic fermentation technology. The treatment effect is remarkable, especially in the treatment effect of fecal pathogenic microorganisms, with the advantages of significant inactivation effect and short treatment time. At the same time, in terms of toilet environment and toilet odor intensity, the qualified rate of adult flies and fly maggots in compostable and microbial degradable toilets can reach more than 90%, and the qualified rate of microbial degradable toilet odor intensity can reach 100%. The three types of toilets adopting facultative oxygen storage technology have obvious advantages in procurement cost, operation cost and economic benefit. The procurement cost does not exceed 4 100 yuan per year, and the operating cost does not exceed 400 yuan per year. At the same time, it can generate economic benefits of 50-100 yuan per year. Finally, this study analyzes the future development trend of the technical level and operation effect of sanitary dry toilets, and puts forward different technical choices and optimization suggestions for different regions in cold and arid regions. The relevant standards that are urgently needed and the standard system should be improved. In the research and development of technical equipment, efforts are made to improve the performance and quality of products, and to optimize the research and development of new technical processes. The study results can provide reference for the selection, optimization and improvement of sanitary dry toilets in the next stage of toilet renovation in China's rural “toilet revolution”.

Keywords: manure; aerobic fermentation; hygienic dry toilet technology; facultative aerobic storage