



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

不同旱厕滑道材料对粪便黏附特征影响

曹昊宇, 杨波, 柳博, 郑向群

引用本文:

曹昊宇, 杨波, 柳博, 郑向群. 不同旱厕滑道材料对粪便黏附特征影响[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 239–245.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0772>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

我国农村厕所改造的区域特征及路径探析

王永生, 刘彦随, 龙花楼

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 553–560 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0245>

三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区

张玉, 吕明环, 徐明杰, 李傲, 施云鹏, 李亚惠, 范彬

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 215–222 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0231>

山西省畜禽粪污年产生量估算及环境效应

李丹阳, 孙少泽, 马若男, 李国学, 李恕艳

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 480–486 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0193>

基于畜禽粪便的有机肥中雌激素污染特征

韩进, 程鹏飞, 周贤, 王建, 凌婉婷

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 673–678 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0264>

畜禽粪便堆肥过程中雌激素降解特征

韩进, 程鹏飞, 周贤, 王建, 凌婉婷

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 679–686 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0346>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

曹昊宇, 杨波, 柳博, 等. 不同旱厕滑道材料对粪便黏附特征影响[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 239–245.

CAO H Y, YANG B, LIU B, et al. Influence of different aqua lavatory slide materials on the adhesion characteristics of feces[J]. *Journal of*

Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(2): 239–245.



开放科学 OSID

不同旱厕滑道材料对粪便黏附特征影响

曹昊宇, 杨波, 柳博, 郑向群*

(农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:厕所革命是我国新农村建设的重要内容。卫生旱厕的新建与改建解决了寒旱地区水厕难以推广的问题,但在实际应用中时常碰到粪便黏附于进粪管的尴尬。本研究探讨了无水冲条件下由10种不同材料[聚四氟乙烯(PTFE)、超高分子量聚乙烯(UPE)、聚乙烯(PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、聚丙烯(PP)、聚碳酸酯(PC)、聚氯乙烯(PVC)、不锈钢板(SS)和水泥板(FS)]制成的滑道在不同角度和粪便类型下对粪便黏附性的影响。结果表明:粪便黏附率会随着滑道倾斜角度、粪便类型及材料种类的不同而发生改变。当滑道角度为75°时,对10种滑道材料进行试验,大部分粪便类型都能较为顺畅通过且无残留,UPE材料抗黏附性最好;在设定滑道角度为50°时,UPE的黏附率最小(17.24%)。综合考虑粪便类型、进粪管设置角度以及现有材料市场价格等因素,UPE是旱厕滑道材料的最佳选择。

关键词:厕所革命;旱厕滑道;粪便;黏附率;超高分子量聚乙烯

中图分类号:R127

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2022)02-0239-07

doi: 10.13254/j.jare.2021.0772

Influence of different aqua lavatory slide materials on the adhesion characteristics of feces

CAO Haoyu, YANG Bo, LIU Bo, ZHENG Xiangqun*

(Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China)

Abstract: The toilet revolution has significantly contributed to new rural construction. To overcome the challenges of building and rebuilding water toilets in cold and dry areas with extremely scarce resources and severe geographical conditions, sanitary dry toilets were constructed in place of water toilets. This study mainly analyzed the adhesion of feces on slides made of ten different materials (PTFE, UPE, PE, PET, ABS, PP, PC, PVC, SS, and FS) under the condition of no water flushing and discussed the fecal adhesion on the slides as a function of the angles and feces type. The results showed that the rate of fecal adhesion varied with angle, fecal type, and slide material type. At a 75° angle, the majority of feces types could pass smoothly without residue, with ultra-high molecular weight polyethylene (UPE) exhibiting the best adhesion resistance. At a 50° angle, the adhesion rate of UPE was the lowest (17.24%), and UPE was confirmed as the most adhesion-resistant slide material. Considering the feces type, setting angle of the fecal inlet pipe, and market price of the existing materials, UPE is suggested as the overall most favorable material tested for constructing a dry toilet slide.

Keywords: toilet revolution; aqua slide; fecal; adhesion rate; UPE

国务院办公厅2014年5月16日发布的《关于改善农村人居环境的指导意见》中明确指出“推动农村家庭改厕,全面完成无害化卫生厕所改造任务”,这是村庄环境整治的重要内容。农村人居环境整治提升,

厕所革命是关键之一,要结合实际,宜水则水、宜旱则旱,将农村旧厕所改造成卫生厕所。因此,对于干旱寒冷、无法满足水冲条件的地区,在农村厕所建设改造过程中应因地制宜推广卫生旱厕。旱厕作为我国

收稿日期:2021-11-08 录用日期:2021-12-16

作者简介:曹昊宇(1998—),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事乡村环境治理研究。E-mail: cchera0201@163.com

*通信作者:郑向群 E-mail: zhengxiangqun@aepi.org.cn

基金项目:天津市自然科学基金项目(19JCQNJC13400);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2021LM01)

Project supported: The Natural Science Foundation of Tianjin (19JCQNJC13400); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (Y2021LM01)

农村最常用的一种厕所类型,根据其排污口是否采用滑道可以分为直排式和滑道式两种。对于没有滑道的直排式旱厕而言,不用水冲使得固体粪肥易运输和施用,但村民在使用时常存在“人粪见面”的现象,因此便后需要加灰或土进行覆盖,既不卫生,又严重影响如厕体验。而使用有滑道厕所虽然减少了“人粪见面”的尴尬和难闻气味的传播,但由于滑道大多采用水泥板、石板等材料建造,导致粪便容易黏附在滑道表面,夏季气味严重,冬季低温上冻,难以清理^[1],且粪便在进粪滑道表面的黏附和堆积使得人粪尿中的病原体不能被及时杀灭,达不到《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012),增加了由粪便病原体引起肠道传染病与寄生虫病的风险^[2],直接危害人体健康。

我国农村改厕产品,如蹲坐便器,通常采用陶瓷、玻璃钢或特塑材料^[3],在水冲的作用下较容易清洁粪便。而对于干旱缺水地区及寒冷地区的农村来说,在没有水冲设施的条件下,解决旱厕滑道的黏附问题是厕所改造和粪污无害化处理的关键。目前国内外对于不粘厕具材料的相关研究较少,因此对于旱厕滑道不粘材料的合理选择显得尤为迫切。2019年1月中央农办、农业农村部、国家卫生健康委等8部委联合印发了《关于推进农村“厕所革命”专项行动的指导意见》,指出要强化农村厕所技术支撑,包括新技术、新材料、新设备引进推广。农村改厕中使用的整体式三格化粪池和双瓮化粪池,材质通常以聚丙烯(Polypropylene, PP)、聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)和聚乙烯(Polyethylene, PE)为主,其具有很好的抗压性和防渗性,且较容易获得,价格不高;聚四氟乙烯^[4](Poly tetra fluoroethylene, PTFE)、超高分子量聚乙烯^[5](Ultra-high molecular weight polyethylene, UPE)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(Acrylonitrile butadiene styrene copolymers, ABS)具有良好的耐摩擦性;聚对苯二甲酸乙二醇酯^[6](Polyethylene glycol terephthalate, PET)、聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)属于价格适中的新型材料;不锈钢板(SS)和水泥板(FS)是农村较为常见的旱厕滑道材料。本研究充分考虑粪便类型、进粪管倾斜角度以及材料市场价格等因素,将上述材料作为变量进行试验研究,筛选抗黏附性较好、价格合理的旱厕滑道材料,旨在为干旱地区农村厕所革命各项工作的开展提供技术支撑。

1 材料与方法

本试验在天津市农业农村部环境保护科研监测

所乡村环境建设创新团队实验室内进行,试验周期为7 d,于2020年8月28日开始,2020年9月3日结束。试验环境温度设置为20~24℃。

1.1 滑道材料选择

PTFE板材选自九江聚邦分子有限公司,PP、PVC、PE、ABS板材选自广东东莞源程有限公司,PET板材选自广东东莞粤隆有限公司,PC板材选自广东东莞正佳有限公司,UPE板材选自德州鑫硕有限公司,以上板材规格尺寸均为500 mm×500 mm×5 mm;SS板材选自山西太原太钢有限公司,FS板材选自浙江君工喜建有限公司,以上板材规格尺寸均为500 mm×500 mm×2 mm。选材依据见表1。

1.2 模拟粪便原料

固体类原料组成:大米、红薯、安徽燕子牌面包酵母粉、浙江诺一牌酵母提取物、印度绿派益康牌洋车前子壳、山东烟台欣牌味噌、天津方正致远牌油酸、马来西亚泰柯KLK牌丙三醇(食用级)、河南万邦实业牌微晶纤维素、河南新良牌食用玉米淀粉和去离子水。

液体类原料组成:广西玉林南方牌黑芝麻粉和去离子水。

1.3 黏度设置方法与依据

依据布里斯托大便分类法(BSFS,表2),以粪便的含水量和流变性为前提,在尽量满足粪便物理性质、化学性质和微生物含量的基础上同时考虑密度和黏度,进而设定三类模拟物量^[7]。分别将三类模拟物以两种不同角度在10种材料表面进行试验,每个变量设置5次重复。在滑道材料表面标记模拟物下滑的起始位置和终止位置,保证其在所有材料表面的滑行距离相等(30 cm)。

1.3.1 第一类

BSFS大便类型3型&4型制备:红薯383.40 g、玉米淀粉41.21 g、酵母提取物60 g、纤维素20 g、洋车前子壳35 g、味噌35 g、NaCl 4 g、KCl 4 g、CaCl₂ 2 g、海天老抽2 mL、油酸20 mL、去离子水220 mL。于2 000 mL烧杯中将所有材料搅拌均匀,使其充分混合。用保鲜膜盖住烧杯,室温静置1.5 h。加入水后,该混合物立即呈液体状态,1.5 h后混合物完全变成糊状和凝胶状。

1.3.2 第二类

BSFS大便类型5型&6型制备:大豆酱100 g、盐20 g、大米600 g。将所制备的材料装袋进行碾压,使其完全融合,放置0.5 h。

表1 滑道所选材料及特点

Table 1 Selected materials and characteristics of the slide

材料Material	特点Characteristic
聚四氟乙烯(Poly tetra fluoroethylene, PTFE)	固体材料中摩擦系数最低,具有高润滑、不会黏附特点,表面张力最小
超高分子量聚乙烯(Ultra-high molecular weight polyethylene, UPE)	拥有极好的耐磨性、良好的耐低温冲击性和自润滑性,超高分子量
聚乙烯(Polyethylene, PE)	内壁光滑、摩擦系数低,具有较高的介质流动能力和优异的耐磨性能,重量轻,运输、安装方便
聚对苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene glycol terephthalate, PET)	应用广泛的新型材料
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(Acrylonitrile butadiene styrene copolymers, ABS)	强度高、轻便,表面硬度大、非常光滑,易清洁处理。其管材流动摩擦力小,流体阻力小,抗冲击性能好,有良好的机械强度和较高的冲击韧性
聚丙烯(Polypropylene, PP)	板材壁光滑,系统压力损失小,水流速度快
聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)	一种无定形的热塑性工程塑料,耐疲劳强度较低,耐磨性较差,摩擦系数大
聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)	管材的管壁非常光滑,对流体的阻力很小,其粗糙系数仅为0.009
304不锈钢(SS)	用途广泛,具有良好的耐蚀性、耐热性、低温强度和机械特性
水泥板(FS)	以水泥为主要原材料加工而成,价格远低于石材,应用广泛

表2 布里斯托大便分类法

Table 2 Bristol stool form scale

大便类型 Waste type	大便图示 Dung legend	大便状态描述 Description of stool state
1型		一颗颗硬球,很难通过肛门
2型		香肠状,表面有凹凸
3型		香肠状,表面有裂痕
4型		像香肠或蛇一样,表面光滑
5型		断边光滑的柔软块状(容易通过)
6型		粗边蓬松块,糊状大便
7型		水样便,无固体块(完全呈液体状)

1.3.3 第三类

BSFS大便类型7型制备:黑芝麻粉200 g、去离子水850 mL。将黑芝麻粉放入2 000 mL的烧杯,加入去离子水进行搅拌,使黑芝麻粉混合均匀。

1.4 试验设置与方法

首先在10种不同滑道材料表面标记粪便模拟物下滑的起始位置,以材料底边为其终止位置,保证粪

便模拟物在所有材料表面的滑行距离相等(30 cm)。根据《农村三格式户厕建设技术规范》(GB/T 38836—2020)中三格化粪池建造的基本要求,将进粪管(滑道)的角度调至45°以上90°以下,以便在没有水冲或微水处理的情况下有利于粪便进入化粪池,本研究确定滑道倾斜角度为50°和75°^[8-9]。第一类模拟物每次试验时间为3 min,第二类模拟物每次试验时间为5 min,第三类模拟物每次试验时间为7 min。

将滑道材料采用可调式角度规垫起,调整倾斜度,分别保持50°、75°不变,使其终止位置离开地面并在底部放置一个已知质量 m_p 的培养皿进行承接。对第一类和第二类模拟物进行试验时,将模拟物装入塑封袋测定质量得 m_0 ,后用剪刀开口并模拟粪便挤压过程,从起点开始滴落于10种材料板上进行试验。对挤压过后的塑封袋再次测定质量得 m_1 ,最终称量培养皿及所承接的模拟粪便质量之和 m_2 。对于第一类和第二类模拟物从起点到终点的等待时间分别为3 min和5 min。对第三类模拟物进行试验时,将模拟物倒入50 mL烧杯中测定质量得 m_0 ,在起点处快速倾倒。

1.5 数据处理与统计分析

运用Excel 2020整理原始数据,通过公式(1)~(4)计算最终结果和均值,采用方差分析检验不同处理数据间的差异显著性($P<0.05$),采用SPSS进行数据分析,用Origin 2020做图。

计算公式为:

$$m_G = m_0 - m_1 \tag{1}$$

$$m_3 = m_2 - m_p \quad (2)$$

$$m = m_G - m_3 \quad (3)$$

$$W = m/m_G \times 100\% \quad (4)$$

式中: m_G 为理论滑动质量,g; m_0 为原始质量,g; m_1 为原始剩余质量,g; m_2 为培养皿及承接质量,g; m_3 为实际滑动质量,g; m_p 为培养皿质量,g; m 为黏附质量,g; W 为黏附率。

2 结果与分析

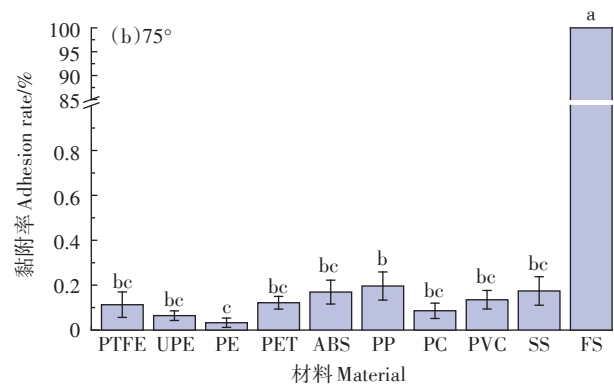
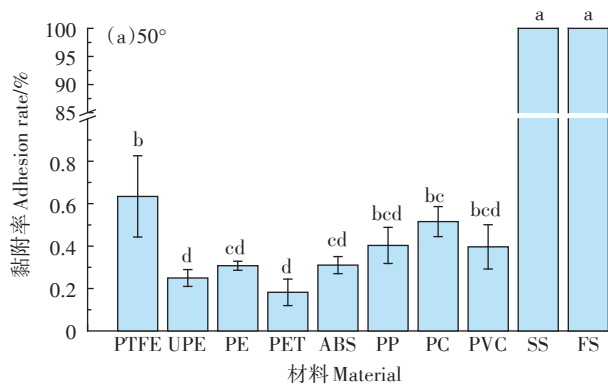
2.1 不同材料对第一类粪便模拟物的黏附作用

第一类BSFS大便类型3型&4型试验结果见图1。在第一类粪便模拟物中,材料UPE、PE和PET的黏附率相对较小,当滑道材料倾斜至50°时(图1a),UPE和PET材料的黏附率最小,分别为0.25%和0.18%,与其他各组差异明显;不锈钢和水泥板的黏附率为100.00%,粪便在这两种材料板上无法滑动。当滑道材料倾斜至75°时(图1b),PE和UPE材料的黏

附率较小,分别为0.03%和0.06%,PE与其他各组差异明显;水泥板的黏附率仍为100.00%,与其他各组差异显著($P<0.05$)。结果表明,在粪便类型为3型&4型且滑道倾斜角度为75°时,选择PE和UPE作为旱厕滑道材料,粪便的黏附性较小。

2.2 不同材料对第二类粪便模拟物的黏附作用

第二类BSFS大便类型5型&6型试验结果如图2所示。在第二类粪便模拟物中,当滑道倾斜角度为50°时(图2a),所选10种材料中,UPE和PP的黏附率相对较小,其中UPE的平均黏附率最小,仅为12.56%;PVC、不锈钢和水泥板的黏附率均为100.00%。当滑道倾斜至75°时(图2b),黏附率相对较小的材料为PE、PC、ABS,其中PE黏附率最小,为10.22%,UPE黏附率为17.64%,水泥板在该试验中黏附率为100.00%。以上结果表明当粪便类型为5型&6型且滑道倾斜角度为75°时,选择PE作为旱厕滑道材料可以有效减少粪便黏附。



不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同
Different letters indicate the significant difference among treatments($P<0.05$). The same below

图1 倾斜角度50°和75°时不同材料对第一类BSFS大便类型的黏附率

Figure 1 Adhesion rate of different materials to the first type of BSFS feces at the inclination angle of 50° and 75°

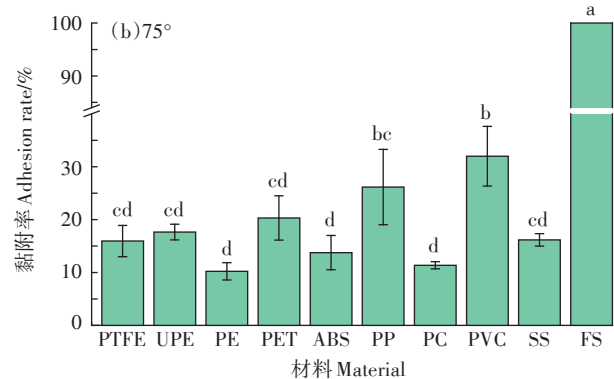
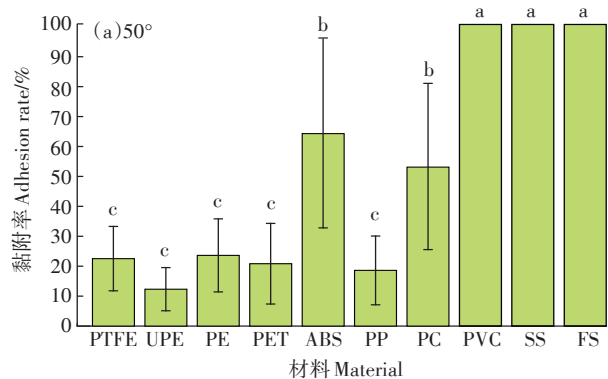


图2 倾斜角度50°和75°时不同材料对第二类BSFS大便类型的黏附率

Figure 2 Adhesion rate of different materials to the second type of BSFS feces at the inclination angle of 50° and 75°

2.3 不同材料对第三类粪便模拟物的黏附作用

第三类 BSFS 大便类型 7 型试验结果如图 3 所示。7 型粪便模拟物含水率最高,呈水样状态。在该类粪便模拟物中,滑道材料倾斜至 50° 时(图 3a), UPE 对粪便的黏附率最小,为 38.92%,水泥板的粪便黏附率为 100.00%。滑道倾斜至 75° 时(图 3b),黏附率最小的材料为 UPE,其对模拟粪便的黏附率为 38.75%。上述结果表明对于水样粪便而言,选择 UPE 作为旱厕滑道材料,在滑道角度为 75° 时能够尽可能减少粪便黏附于滑道的现象。

2.4 10 种材料对粪便模拟物黏附性的比较

将试验结果经过 LSD 进行分析,对不同角度下 10 种材料的抗黏附性进行比较。如图 4 所示,水泥板作为黏附率最高的材料,在倾斜 50° 条件下,其平均黏附率为 100.00%,而在倾斜角度为 75° 条件下平均黏附率为 93.10%。在两个倾斜角度下 UPE 均为粪便黏附率最小的材料。当滑道倾斜角度为 50° 时,PTFE、UPE、PE、PET 和 PP 之间无显著差异($P>0.05$),不锈

钢材在该角度黏附性较大。在倾斜 75° 时,除水泥板外,其他 9 种材料对粪便黏附性差异均不显著($P>0.05$)。两个倾斜角度下,水泥板作为滑道材料的抗黏附性均最差,且与除 PVC 和 SS 外的其他材料具有显著差异($P<0.05$)。如图 5 所示,试验所设置的两个倾斜角度之间,材料的黏附率无显著差异,综合考虑认为将滑道角度设置为 75° 更有利于粪便通过。结果

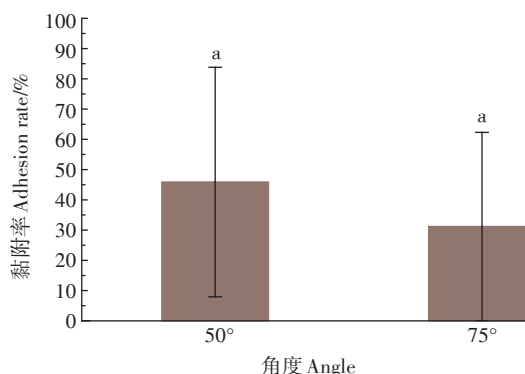


图5 两种倾斜角度下粪便的黏附率

Figure 5 Feces adhesion rate at two angles

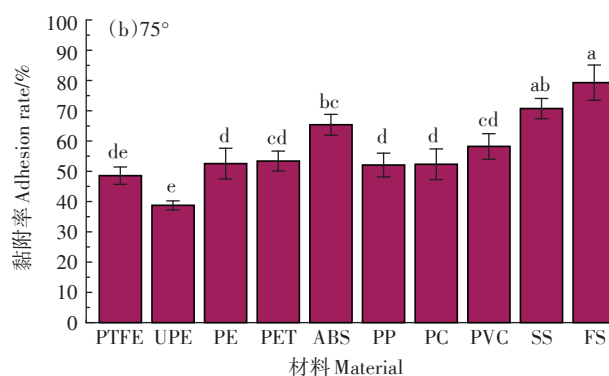
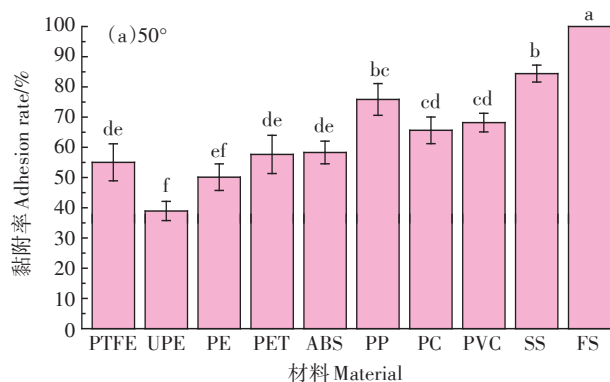


图3 倾斜角度 50° 和 75° 时不同材料对第三类 BSFS 大便类型的黏附率

Figure 3 Adhesion rate of different materials to the third type of BSFS feces at the inclination angle of 50° and 75°

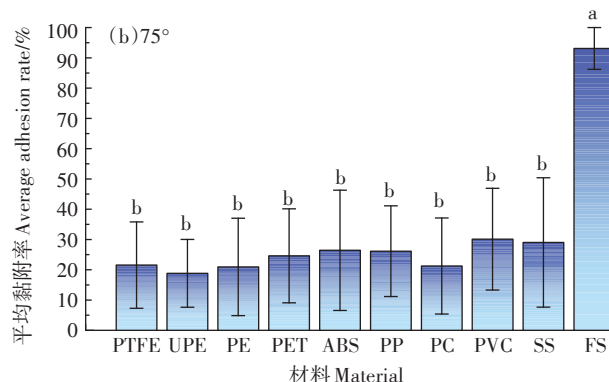
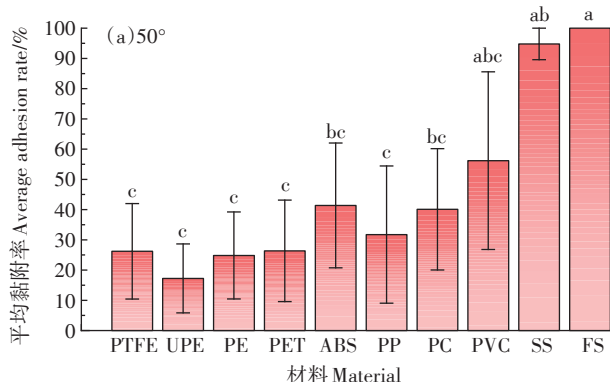


图4 倾斜角度 50° 和 75° 时 10 种试验材料的平均黏附率

Figure 4 Average adhesion rate of ten test materials to feces at the inclination angle of 50° and 75°

表明,10种材料中抗黏附性最强的材料为UPE,抗黏附性最差的材料是水泥板。水泥板不适合用作旱厕滑道材料,不锈钢材料则仅适合在粪便类型相对固定的特定条件下使用。

3 讨论

厕所是文明和发展水平的重要衡量标志之一,我国在进行农村人居环境整治过程中,应因地制宜选择合适的改厕模式。旱厕作为缺水地区的首要选择,在农村改厕过程中,其滑道材料的选择对于环境卫生、粪污后续处理及资源化利用意义非凡。与直排式旱厕相比,滑道式旱厕是减少“人粪见面”和臭味传播的重要途径,也是避免粪便暴露、减少疾病传播和蚊蝇滋生的有效方式。因此除了对粪污进行无害化资源化处理以外,滑道材料的合理选择也是推进农村人居环境整治、提高改厕效果的关键手段之一。

本研究表明,在无润滑条件下材料处于干滑动状态时,材料表面的特性在很大程度上影响粘滑作用。摩擦可以随极性表面能的增加而增加,即PVC、PC和PTFE三者相比,PVC摩擦振荡的平均振幅最大,其次是PC和PTFE。通过对PTFE、PVC和PC三者进行弹性模量和抗拉强度测试,得出其力学性能(弹性性能、塑性性能)大小依次为PC、PVC和PTFE。研究表明,使用表面能低极性组分和高模量的聚合物可以实现无明显粘滑的平滑滑动^[10],比较PVC、PC和PTFE三者摩擦系数的平均振幅,得到PTFE的表面能极性最低,聚合物的模量最高,随后依次为PC、PVC^[11]。而本次滑道试验结果表明,在不同条件下,PTFE、PC和PVC三者黏附性能差异不明显,且PETF相较于其他两者的抗黏附率最强,与上述研究结论一致。由此推断UPE在所选的10种材料中,其表面能极性最低、模量最高,相反,水泥板拥有最高的表面能极性。因此,在选择滑道材料时,需要充分考虑表面能低极性组分和高模量的聚合物。聚合物的摩擦和磨损主要是由表面粗糙度决定。有研究显示改性的ABS材料动静摩擦系数差值为0.03,而ABS材料的动静摩擦系数差值是0.08,使得改性ABS粘滑倾向变低,最终得出粘滑作用随着载荷和摩擦速度降低而减弱^[12]。

以目前农村厕所改造使用的三格化粪池和双瓮化粪池为例,其材质以PE、PP和玻璃钢为主^[3]。以化粪池所用材料作为滑道(进粪管)连接厕具和化粪池能使粪便更容易进入化粪池。就目前市场价格来说,所选用的10种材料中,PTFE板的价格最高,水泥板

的市场价格最低(表3)。

根据本试验结果,尽管水泥板的价格最低,但其不满足清洁卫生要求,因此仍是最不适宜作为滑道的材料。PTFE材料虽对粪便的黏附性较低,但其市场价格高,不符合《农村三格式户厕建设技术规范》中要求的安全、环保、经济、适用的原则。以不锈钢作为进粪管的材料时,其对角度和粪便类型的要求比较高,需要将滑道角度固定在75°,且粪便类型满足BSFS分类的6型以下时才能体现其抗黏附作用。但是粪便类型通常不可控,且不锈钢的市场价格相对较高,因此不适宜将不锈钢作为滑道材料使用。综上,UPE对粪便的黏附率最小,其次是PE和PP,在综合考虑研究结果与经济因素的情况下,UPE是旱厕滑道材料的最佳选择。

表3 10种材料的市场价格(元·m⁻²)

Table 3 Current market prices of the ten materials(yuan·m⁻²)

材料 Materials	价格 Price	材料 Materials	价格 Price
PTFE	586	PP	80
UPE	130	PC	180
PE	150	PVC	230
PET	165	SS	260
ABS	230	FS	30

4 结论

在我国改善农村人居环境、推进“厕所革命”的时代大背景下,选择合适的改厕产品可以满足不同地区的改厕需求,将前端使用与后端处理有效衔接。旱厕滑道材料的选择主要以减少粪便在滑道上黏附为首要条件。本研究选用10种常见材料在两种倾斜角度的对比下,发现目前使用最多的水泥板无法很好地解决粪便黏附问题(黏附率>75%),而相较于水泥板,其他材料均可不同程度地减少粪便黏附。本研究得出如下结论:

(1)在滑道倾斜角度为50°时,超高分子量聚乙烯(UPE)对三类粪便模拟物的抗黏附性优势大于其他材料,其对粪便的黏附率最低,仅为17.24%;在滑道角度为75°时,UPE、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚乙烯(PE)三种材料的黏附率差异不显著,抗黏附性能皆较为突出。在综合考虑抗黏附性和市场价格的情况下,UPE是旱厕滑道材料的最佳选择。

(2)相比于倾斜角度为50°的滑道,75°的倾斜角度对于材料的抗黏附性有较好的辅助作用,倾斜角度75°使粪便能够较为顺畅地通过滑道。但就厕所

结构而言,倾斜角度的设置还需综合考虑使用地区、厕屋厕具以及使用体验等。

参考文献:

- [1] 胡晓伟. 北方山区农村厕所革命问题研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2020:2-6. HU X W. The study on the rural toilet revolution in northern mountainous areas[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2020:2-6.
- [2] 张成云, 蔡梅, 刘影, 等. 四川省农村改厕现状和面临的主要问题[J]. 现代预防医学, 2005(2):153-154. ZHANG C Y, CAI M, LIU Y, et al. The situation and main problems of rebuilding sanitary toilets in rural areas of Sichuan Province[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2005(2):153-154.
- [3] 陈国良, 魏海春. 全国农村改厕产业化现状调查[J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(4):328-331. CHEN G L, WEI H C. Investigation on marketization of rural latrines improvement related industry in China[J]. *Journal of Environment and Health*, 2015, 32(4):328-331.
- [4] 张林, 李玉海. 聚四氟乙烯的性能与应用现状[J]. 科技创新导报, 2012(4):111-112. ZHANG L, LI Y H. Performance and application status of teflon[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2012(4):111-112.
- [5] 王新威, 张玉梅, 孙勇飞, 等. 超高分子量聚乙烯材料的研究进展[J]. 化工进展, 2020, 39(9):3403-3420. WANG X W, ZHANG Y M, SUN Y F, et al. Research progress of ultra high molecular weight polyethylene[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2020, 39(9):3403-3420.
- [6] 张新星, 王庆印, 孙腾, 等. PET共聚阻燃改性研究进展[J]. 精细化工, 2021, 38(1):34-43. ZHANG X X, WANG Q Y, SUN T, et al. Research progress on flame retarding PET by copolymerization modification[J]. *Fine Chemicals*, 2021, 38(1):34-43.
- [7] PENN R, WARD B J, STRANDE L, et al. Review of synthetic human faeces and faecal sludge for sanitation and wastewater research[J]. *Water Research*, 2018, 132:222-240.
- [8] 朱萌, 王强. 农村三格化粪池卫生厕所建造技术与改进研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(11):6704-6705, 6708. ZHU M, WANG Q. Study of the construction technologies and improvement of 3-pool septic tank sanitary toilet using by countryside[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(11):6704-6705, 6708.
- [9] 张立霖. 农村人居环境整治中关于厕所革命的思考与探索[J]. 甘肃农业, 2019(8):111-115. ZHANG L L. Thinking and exploration on toilet revolution in rural living environment renovation[J]. *Gansu Agriculture*, 2019(8):111-115.
- [10] ZSIDAI L, BAETS P D, SAMYN P, et al. The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens[J]. *Wear*, 2002, 253(5/6):673-668.
- [11] PARK J S, LEE S M, JOO B S, et al. The effect of material properties on the stick-slip behavior of polymers: A case study with PMMA, PC, PTFE, and PVC[J]. *Wear*, 2017, 378/379:11-16.
- [12] 李俊杰, 王金, 周霆. ABS材料粘滑现象改善[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8):41-45. LI J J, WANG J, ZHOU T. Improvement of stick-slip phenomenon of ABS materials[J]. *Engineering Plastics Application*, 2020, 48(8):41-45.