



# 啮齿类实验动物垫料的研究进展

李树梅 胡建武

(北京实验动物研究中心 北京 100012)

**摘要:** 实验动物垫料是实验动物饲养过程中非常重要的环境因素,直接影响实验动物的质量、动物福利及实验结果。本文就啮齿类实验动物垫料的种类、质量控制、物理性状、应用以及对啮齿类实验动物和动物实验的影响等方面进行了论述和总结,特别介绍了各种垫料的优缺点,对实际应用中选择和使用实验动物垫料提供了参考依据,有利于啮齿类实验动物垫料的研发和完善实验动物垫料国家标准等相关工作的开展。

**关键词:** 垫料; 啮齿类实验动物; 质量控制

中图分类号: D01 文献标识码: A 文章编号: 1006-6179(2018)01-0076-07

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2018.01.015

垫料是实验动物饲养与使用过程中紧密接触的基础材料,是国际公认的关系到实验动物身体健康和动物福利,影响实验动物的生理活动、动物实验结果准确性的重要环境因素。李超等<sup>[1]</sup>于2014年10月对北京市15家实验动物单位的健康啮齿类实验动物进行病理学抽检发现肺脏病变表现为淤血、渗出及间质性肺炎,肺脏病变检出率豚鼠为15.5%。作者指出肺脏病变主要反映饲养环境情况,普通级动物的垫料及饲养笼具内空气有待于进一步改善,而环境控制程度越高,在该环境中的实验动物标准化越高,实验结果也就更趋于稳定一致。垫料的主要作用是满足动物筑巢需求、保温、降低饲养笼内的氨气浓度、湿度,吸附动物的日常排泄物,从而维持饲养笼具和实验动物自身的清洁卫生。实验动物垫料一般分为接触性垫料和非接触性垫料两种。啮齿类实验动物在生产、科研中使用数量巨大,其使用的主要是接触性垫料。本文就啮齿类实验动物垫料的种类、质量控制以及应用等方面的研究进行如下综述。

## 1 啮齿类实验动物垫料种类

垫料为实验动物生长繁育提供适宜的生存环境,选择合适的垫料种类,可以改善实验动物的生活

环境,使动物行为和生理需求得到部分满足和改善。但在任何管理和实验条件下,都没有对某种动物最理想的垫料,更没有对各种动物都理想的垫料<sup>[2]</sup>。自上世纪60年代,发达国家就开始实验动物垫料的相关研究,目前实验动物垫料已经商品化并得到普遍应用。我国相对起步较晚,对于实验动物垫料的开发和研究也一度成为诸多科研工作者的研究热点,目前常用的接触性垫料种类有木材垫料(刨花、木屑)、玉米芯、秸秆、再生纸、新型垫料等,其中木材刨花、玉米芯垫料已经形成商品化,并在实验动物生产与使用单位大力推广使用。

### 1.1 木材垫料(刨花、木屑)

木材垫料是目前最常用的接触性垫料,商品化的垫料产品主要有木屑和刨花两种。相对来说,刨花垫料以其质地柔软、舒适性和吸水性好、粉尘率低、更适宜筑巢、不易粘附在动物皮毛上影响美观等优势备受青睐。木材垫料资源丰富,价廉易得,但在制作木材垫料时,需要严格控制原材料的种类,避免使用含有芳香气味的松木和雪松材料。《实验动物管理与使用手册》中指出啮齿类动物(大鼠、小鼠、地鼠、沙鼠)的垫料选择上在实验中切忌用针叶木(松、桧、杉)刨花做垫料,这类刨花散发出来的芳香味挥发性物质可诱导肝微粒酶活性,对肝细胞产生损害,使药理和毒理方面的动物实验受到极大干

收稿日期:2017-09-05

\* 基金项目:北京市科学技术研究院青年骨干计划(201717)

作者简介:李树梅(1984—),女,硕士研究生,助理研究员,从事实验动物研究工作。E-mail: lishumei2000@163.com

扰<sup>[2]</sup>。研究表明,这类材料含有的气味可以引起免疫介导反应、引发哮喘和其他呼吸道疾病,还会造成气管和支气管上皮细胞脱落、坏死等<sup>[3]</sup>。王艳蓉等<sup>[4]</sup>研究发现松木垫料对小鼠的体质量有明显减轻趋势,与杨木组动物相比较,松木组动物的肺脏、肝脏质量增加;大鼠肾脏、脑和前列腺质量增加明显,乙醇脱氢酶显著升高,这说明松木中可能存在某些毒性物质,刺激动物肝脏增大,引起乙醇脱氢酶升高,总超氧化物歧化酶活性降低,减缓动物的生长速度。上述实验结果与前期文献报道的结论一致。细小的刨花、片屑、锯末可粘在豚鼠生殖器黏膜上影响交配,致使豚鼠不孕。豚鼠的垫料除进行营养方面研究时可选用干草或稻草,一方面可以在豚鼠受惊奔逃时藏身,另外也可以让其啃咬补充纤维素。鉴于我国实验动物垫料标准化水平仍需进一步提高,以及目前使用的垫料多为木材加工厂废弃的下脚料,造成生产出来的垫料质量参差不齐。另外,考虑到保护林木资源和环境可持续发展等资源保护与利用等问题,目前实验动物科研人员也在积极开发探索新型实验动物垫料。

## 1.2 玉米芯

玉米芯是玉米脱除玉米粒后的副产物,是一种产量巨大的农副产品(年产0.4亿t)。数据表明:干玉米芯中含有机质91.3%(wt,质量分数,下同)、水分8.7%,其中半纤维素37.2%、粗纤维28.2%、木质素21.2%、粗灰分2.0%、粗脂肪0.7%、粗蛋白2.0%。玉米芯中纤维素分子含有大量亲水基团,纤维素的纤维内部有许多毛细管,表面积较大,可吸收自重4倍的液体,可开发成吸水材料和活性炭资源<sup>[5]</sup>。此外,玉米芯在自然界中可生物降解、无毒性、不会造成环境污染。詹红微等<sup>[6]</sup>对杨木刨花、纸屑、玉米芯的物理性状、微生物含量及毒性等进行比较,发现玉米芯具有吸水性、干燥性、吸氨性、保温性、动物适应性好,常规消毒后无细菌和真菌残留,对小鼠无毒,不含可以维持小鼠生命的营养物质,粉末率极低等优点,玉米芯在所有检测项目中均符合垫料标准,是一种较理想的SPF小鼠垫料。目前玉米芯已经成为商品化的实验动物垫料,并被大力推广使用。但在市场上常见的几种商品化垫料中,相对于白杨垫料来说,不管是大鼠还是小鼠都不是很喜欢玉米芯垫料<sup>[7]</sup>。在玉米芯垫料的研究中,文献报道玉米芯垫料对某些类型的研究结果有影响。王艳蓉等<sup>[4]</sup>在观察杨木、玉米芯、松木三种垫

料物质对大、小鼠体质量、血生化、脏器及脏器系数的影响时发现玉米芯垫料可促进动物体质量增加,血清学检测发现碱性磷酸酶和总超氧化物歧化酶活性增加,大鼠肝脏质量及脏器系数极显著性升高。这说明,虽然玉米芯可以作为实验动物接触性垫料使用,但使用时还应考虑不同的实验要求。玉米芯中含有具有雌激素性质的四氢呋喃二醇,亚油酸衍生物,这对大鼠的交配行为和神经内分泌研究有一些干扰作用<sup>[8]</sup>。此外,在商品化的玉米芯垫料中发现有霉菌毒素,这会导致延迟小鼠的发情周期<sup>[9]</sup>。

## 1.3 秸秆垫料(玉米秸、麦秸)

中国作为农业大国,农作物秸秆资源丰富。《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》显示,2010年全国范围内秸秆的理论资源量为8.4亿t,可收集资源量约为7亿t。秸秆是一种宝贵的生物质资源,其综合利用,不仅能保护农产品产地环境、减少秸秆焚烧所带来的社会、经济、环境等问题,而且可以实现农业生产系统中的物质和能量高效循环利用,保障农业的可持续发展。秸秆的综合利用通过秸秆肥料化、饲料化、基料化、原料化以及燃料化五种途径表现出来<sup>[10]</sup>。刘军须等<sup>[11]</sup>对玉米秸( $2.01 \pm 1.29$ )cm、刨花( $0.91 \pm 0.64$ )cm、麦秸( $1.53 \pm 0.94$ )cm所制成的垫料进行了物理性状、化学污染物含量及携带的微生物数量的比较研究。结果显示采用预真空高压灭菌器脉动3次、132℃灭菌5min、干燥8min后垫料的化学污染物指标均低于我国相关标准的要求。3种垫料刨花、麦秸、玉米秸的含水量分别为( $7.52 \pm 0.15$ )%、( $7.60 \pm 0.13$ )%、( $7.28 \pm 0.13$ )%,吸湿性分别为( $290.94 \pm 62.58$ )%、( $414.44 \pm 81.21$ )%、( $325.84 \pm 78.11$ )%。数据显示:麦秸和玉米秸垫料的吸湿性高于刨花垫料。刘军须等<sup>[12]</sup>使用玉米秸垫料饲养SD大鼠6个月,结果显示玉米秸垫料虽然有细胞毒性作用,但其毒性显著低于松木,使用玉米秸垫料对SD大鼠的血液生化指标没有显著影响,组织切片观察未见异常病理改变。因此,玉米秸垫料在实际应用中是安全的。

## 1.4 再生纸垫料

再生纸垫料是将废纸经过一系列的重新处理、软化、切成碎片、纸条或者加工成纸团,制成垫料后使用。早期回收报纸应用到大动物和小动物行业时,管理人员发现回收报纸存在使用后易结块、堵塞设备和排水管道、生产过程中极易产生大量粉尘,以

及储存和使用过程中存在火灾风险。有科研人员将加工后的报纸和小麦秸秆、刨花进行化学和物理特性的比较发现,三种材料均易燃,其中刨花垫料燃烧时间最长,但颗粒状报纸并没有点燃。回收报纸经切碎和制成颗粒状后比秸秆垫料拥有更高的持水性(持水量分别为 $>400\%$ 、 $200\%$ )<sup>[13]</sup>。来源低毒的再生纸垫料以其优越的吸水性应用于日本的实验动物设施内,但考虑到其来源以及生产成本,目前国内科研工作者大多将其作为辅助性垫料与其他商品化垫料共同使用以改善啮齿类实验动物福利。有研究显示:野生型小鼠有筑巢的自然特性,但在实验室饲养设施内该特性表现并不明显。为此,有科研人员<sup>[14]</sup>将山杨垫料作为底料,在此基础上分别加入三种不同的材料(面巾纸、商业化的压缩棉、碎纸条)测试 C57 小鼠是否可以用上述材料筑巢,并比较其对改善小鼠居住环境的影响。研究发现相对于其他材料,小鼠使用碎纸片可以建造起高质量的巢穴,面巾纸材料筑巢居中,压缩棉与对照组相差不大,评分最低。该结果显示给予适当的筑巢材料, C57 小鼠可以建造出与野生型小鼠相似的巢穴。

### 1.5 凹土玉米芯垫料

坡缕石又名凹土或凹凸棒石,是一种水合镁铝硅酸盐非金属矿物,土质细腻,有油脂滑感,吸水性强,具有特殊的纤维结构和吸附性能,有广泛的应用领域。2011 年—2014 年期间,张延英等<sup>[15-17]</sup>以 KM 小鼠为实验对象,将凹土和玉米芯为原料加工成约  $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$  的新型实验动物垫料凹土玉米芯片,并对其物理特性和应用进行了相关研究。结果表明:凹土玉米芯的吸水性能较好,与普通刨花和玉米秸相比较,差异显著( $P < 0.01$ )<sup>[60]</sup>。Co 辐照灭菌和高压蒸汽脉动灭菌后的 3 种垫料均无细菌生长,动物(孕鼠、乳鼠、青年鼠)适应性较好;将凹土玉米芯、玉米秸、普通刨花垫料物质的丙酮提取物分别加到小鼠成纤维细胞、小鼠 S180-S2D9 细胞、H22-H2D8 细胞中进行体外培养,凹土玉米芯的细胞毒性最小,普通刨花的细胞毒性最大。综上所述,凹土玉米芯垫料作为新型实验动物垫料,是比较理想的实验动物接触性垫料,可以长期使用。

### 1.6 其他新型实验动物垫料

稻壳是稻米加工期间除去的外壳,占稻米质量的 20%。尽管稻壳被作为生物燃料和家畜垫料用于一些工业用途,但稻壳却是稻米行业价值相对偏低的一个副产品<sup>[18]</sup>。尽管在印度稻壳被当做垫料

用于啮齿类宠物和实验动物设施,但很少有文章发表描述该产品。一项垫料调查显示:稻壳是无细胞毒性的,可以适度诱导肝癌细胞系肝细胞色素 p450 酶中的 Cyp1a1 产生,这一结果显示稻壳可能会对涉及肝脏药物代谢的研究结果有一定影响<sup>[19]</sup>。与此同时,相对于玉米芯来说,稻壳吸水性相对较差,这有可能会阻碍稻壳垫料的广泛应用。

另外,美国科研工作者研究出一种适用于大家畜动物和小鼠、沙鼠和仓鼠等小动物的新型垫料,该垫料是由刨花木材、纸质材料、垫料质量 1~5% 的表面活性剂以及 20%~40% 的皂土混合制成的颗粒状、薄片状复合物,它可以增加 4~5 倍体积的持水性。该垫料已经申请发明专利,其优势在于其拥有较大的表面积和高持水性,可以增强对动物排泄物的吸收<sup>[20]</sup>。此外,还有专利显示美国科学家研究出一种兼顾吸收动物排泄物和具备心理刺激性能的垫料。该垫料包括多个垫料颗粒组分形成的吸尿性颗粒和多个聚合物圆柱体组分构成的展开的聚合圆柱体并与吸尿性颗粒相混合。聚合物圆柱体具有 1~30 mm 的平均柱高,1:1~12:1 的柱高与圆柱体直径的比率,以及大于 10:1 的条带长度与柱高比。垫料颗粒组分相对于圆柱体的体积比是 1:1~25:1。垫料对笼内的动物起到精神鼓舞和减少厌倦情绪的作用<sup>[21]</sup>。

## 2 啮齿类实验动物垫料的质量控制

我国实验动物国家标准(GB 14925—2010)实验动物环境及设施中规定:垫料的材质应符合实验动物的健康和福利要求,满足吸湿性好、无异味、尘埃少、无毒性、无油脂、耐高温高压等条件;垫料必须经灭菌处理后方可使用。目前国内外学者围绕着不同垫料的物理性状、灭菌方法及保质期等开展了相关研究。

### 2.1 不同材质垫料物理特性的研究

垫料的物理特性应稳定、统一规格,具体的评估指标详见表 1。

Kaliste 等<sup>[22]</sup>比较了山杨垫料(Tapvei 4HP、Beekay)、杉木垫料(LIGNOCEL® 3-4、LIGNOCEL® 8-15)、秸秆垫料(Beekay)、桦木垫料(LIGNOCEL® HBK1500-3000)经大小鼠使用前后吸水性和粉尘浓度的变化。山杨垫料使用后粉尘含量与干净状态时一致,但大鼠使用后粉尘则有所增加;杉木垫料在大

表 1 垫料的物理特性  
Table 1 The physical properties of bedding materials

| 名称           | 说明                                    | 测算方式                                     |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 吸水性          | 吸收动物排泄物中的水分,保持实验动物生活环境干燥              | 吸水率(%)=(吸水后垫料重量-垫料重量)/垫料重量×100%          |
| 吸氨性          | 吸收动物饲养笼具内的氨浓度,使其控制在 25 mol/L 以内       | 借助于仪器测定                                  |
| 升(降)温性       | 使用干燥箱控制温度,测定垫料在不同时间内的升、降温情况           | ——                                       |
| 保暖性          | 动物巢内温度以及动物离巢不同时间段后的空巢余温(孙永梅)          | ——                                       |
| 干燥性能(干燥快慢实验) | 将垫料吸水后分别于不用时间段进行称重,以干燥度反应各种垫料的干燥快慢速度。 | 干燥度(%)=(吸水后的总重量-记录时重量)/(记录时重量-垫料重量)×100% |
| 粉尘率          | 测定垫料的含尘量                              | 粉尘率(%)=筛选垫料后的粉尘重量/垫料重量×100%              |

小鼠使用后粉尘含量均有所下降,但大小鼠增重效果最好。秸秆垫料在小鼠使用后粉尘含量有所增加,但大鼠使用后却没有增加。桦木垫料使用后,粉尘含量下降最为明显。小鼠使用后的桦木和秸秆垫料产生的粉尘浓度均高于大鼠。张志等<sup>[23]</sup>在寻找新型实验动物垫料时对松木刨花、枫木刨花、稻草、纸皮 4 种材料的物理性状及动物适应性进行比较,结果显示枫木刨花保温性能最好。李保文等<sup>[24]</sup>通过测定垫料的吸湿性、饲养笼具内氨浓度值、垫料和动物皮毛洁净度评分等指标,评估玉米芯垫料和刨花垫料对 SD 大鼠和 ALB 小鼠排泄物的吸收程度。研究发现在使用相同体积(厚度)垫料的情况下,使用玉米芯垫料可以减少垫料更换频率。孙永梅等<sup>[25]</sup>比较研究了刨花、玉米棒芯、蒲草叶垫料的吸水、吸氨及保暖等性能,结果显示蒲草垫料的吸水能力最高,刨花垫料次之;小鼠饲养换笼后第 4 天及第 7 天笼内氨浓度,蒲草垫料显著低于玉米棒芯垫料( $P<0.01$ );在(14.4±2.1)℃室温下,检测小鼠离巢后 5、10、15min 巢内余温,结果显示蒲草垫料具有较好的保温性。刘继超等<sup>[26]</sup>在鼠盒内添加同体积垫料,通过吸水试验、干燥试验、保温试验、粉末率测定,比较两种玉米芯(大颗粒和小颗粒)和杨木刨花 3 种材料的物理性状,结果显示相同体积的垫料中杨木刨花的质量最轻;大颗粒的玉米芯吸水率为最高,其次为小颗粒玉米芯,杨木刨花吸水性最低;杨木刨花的干燥速度、保温性能均优于玉米芯,但粉末率高于玉米芯。Koontz 等<sup>[27]</sup>比较 IVC 系统中使用玉米芯垫料和 α-纤维纸垫料的吸氨性,观察鼠群并且记录 21d 中氨水平的日常测量值,数据表明,在 IVC 系统中玉米芯垫料的使用期限是 α-纤维纸垫

料的近乎 2 倍。

2.2 垫料消毒灭菌条件及保质期

垫料使用前,都应对其进行严格的消毒灭菌,目前常用的消毒灭菌方法是高温高压灭菌法和<sup>60</sup>Co 射线辐照灭菌法。前者灭菌条件通常是经 121℃ 灭菌 30min,但该方法在一定程度上影响垫料的吸湿性;后者的灭菌条件通常是辐照强度为 20~25 kGy,适用于一次性处理大量垫料,但辐照灭菌后失真空的垫料不能投入使用。垫料应保存在阴凉、干燥、远离污染源的单独储藏间,严格防控野鼠污染<sup>[28]</sup>;灭菌后的垫料需要在保质期内使用,过期垫料应再次灭菌后方可投入使用。阿娜古丽·马合木提等<sup>[29]</sup>实验研究表明在 SPF 级屏障环境下,装桶高压灭菌垫料保存时间最好不要超过 15d、未装桶的垫料保存时间不得超过 5 d。刘建琪等<sup>[30]</sup>对国内 5 省 24 家垫料生产企业、动物实验使用单位的混合型刨花(来自北京、上海、湖南)、杉树垫料(湖南 9 个地市县)、玉米芯垫料(北京、上海、辽宁)、桦木垫料(辽宁、新疆)、泡桐垫料(湖南 9 个地市县)进行了菌落总数、大肠杆菌、霉菌及沙门菌监测。不同材质的垫料在 121℃、30 min 的条件下具有最佳灭菌效果,各项微生物指标均合格;垫料使用 1 d 后的菌量可达 104 CFU/g,细菌及霉菌含菌量按天数逐步递增;实验证明垫料宜每周更换 2~3 次,方可保持动物笼内的微环境。陈霆等<sup>[31]</sup>分别用三种方法高压灭菌动物笼具和商品化的玉米芯垫料,用压力蒸汽灭菌化学指示卡和嗜热脂肪芽孢杆菌(ATCC 7953) 3M 压力蒸汽灭菌生物指示剂做为指示高压灭菌效果的指标。其结果显示整包玉米芯垫料经 132℃ 灭菌 15 min,抽真空 3 次,干燥 5 min 高压后,其干燥效果较差,

且使用潮湿的垫料不符合动物福利的规定;按照实际使用量直接分装到笼具中经 121 °C 灭菌 6 min,干燥 3 min 高压后,化学指示剂测试合格,但生物指示剂显示培养 48 h 后有菌生长,灭菌效果不稳定;单独高压整包垫料后,再按实际使用量铺放在笼具里进行再次灭菌的方法效果最好,且垫料干燥。

### 3 垫料对啮齿类实验动物和动物实验结果的影响

饲养环境对实验动物的健康以及实验结果均有一定影响,保持良好的饲养环境条件可以提高动物实验结果的可信度和可重复性。垫料对啮齿类实验动物的影响主要体现在实验动物对不同垫料材质的喜好不同,以及不同的垫料类型可能会影响某些类型动物实验的结果。

**3.1 垫料对实验动物的影响**垫料作为啮齿类实验动物生活环境中的重要组成部分,其原料材质、形状、大小等因素均对实验动物有不同程度的影响。早在 1968 年,就有报道<sup>[32]</sup>称在木屑和除臭纤维素材料这两种不同材质构成的垫料中,孕鼠更倾向于选择前者。Blom 等<sup>[33]</sup>在研究垫料材料对实验动物舒适性的影响时发现,大、小鼠优选由大颗粒组成的垫料,van de Weerd 等<sup>[34]</sup>报道,相对于木质材料构成的垫料,小鼠更倾向于纸质材料构成的垫料,不同的垫料和筑巢材料类可诱发小鼠几个生理和行为学上的改变。Kawakami 等<sup>[35]</sup>对比了四种类型的垫料对小鼠身体健康和福利的影响,根据小鼠在饲养笼内停留的时间长短来判断对所用垫料材质的喜好。结果表明,小鼠更喜欢源自布料的垫料和筑巢材料。王刚等<sup>[36]</sup>发现使用不同垫料对小鼠进攻行为有影响,如选用柔软的玉米芯和谷壳类垫料,可降低小鼠的好斗的行为。Tanaka<sup>[32]</sup>等比较了由美国杉木制成的木屑(Clean Chip)和 Shepherd Specialty Papers(SSP)生产的纸浆(ALPHA-dri®)研究表明,在运动能力方面,垫料的类型影响了 F1 代小鼠的探索行为。纸浆组 F1 代雄性成年小鼠表现出水平活动数量显著下降,而自发行为明显增多。相比之下,雌雄成年小鼠则没有表现出显著变化。因此,垫料材质只影响雄性小鼠的探索和自发行为。

#### 3.2 垫料对动物实验结果的影响

垫料的类型可能会影响某些实验的结果,例如

涉及酶诱导、细胞毒性。王春梅等<sup>[37]</sup>采用小鼠成纤维细胞、小鼠 H22\_H2D8 细胞和 S180\_S2D9 细胞,比较观察了它们对松木刨花、麦秸、玉米秸、玉米芯、芬兰产商品化白杨垫料的细胞毒性反应和上述细胞应用于垫料细胞毒性研究的可行性。邝少松等<sup>[38]</sup>对松木刨花、枫木刨花、纸皮、稻草的水提取物对 NIH 小鼠进行急性毒性试验和骨髓嗜多染红细胞微核试验,4 种垫料的水提取物对小鼠无明显的毒性,均无诱导小鼠骨髓嗜多染红细胞微核生成的作用。

Tanaka<sup>[32]</sup>等报道不同的饲养条件可能会导致与性别相关的能力和发生显著变化(如迷宫学习和探索行为),并且可以明显地影响大鼠知觉的敏感性。垫料的类型会影响小鼠的繁殖性能,尤其是其出生后的前 4 d。Yildirim 等<sup>[39]</sup>发现珍珠岩垫料对 SD 大鼠体质量无影响,但对大鼠皮肤、压力参数有负面影响,当把珍珠岩与刨花垫料混合使用时,其效果优于单独使用珍珠岩垫料。在实验动物饲养管理过程中,使用玉米芯垫料时经常可见小鼠采食玉米芯的现象,Ambery 等<sup>[40]</sup>通过为期四周的高、低脂饲喂实验发现,高脂饲喂的玉米芯垫料组 C57BL/6J 小鼠在饲料转化率和平均增重上均低于纸质垫料组,而低脂饲喂的 C57BL/6J 小鼠在使用上述两种垫料时饲料转化率、增重情况、饲料日均消耗量上均没有差异。由此可知,玉米芯垫料可降低高脂饮食诱导的 C57BL/6J 小鼠糖尿病前期动物模型的饲料转化率,在该模型使用时应选择其他类型的垫料。在使用 CD-1 小鼠生产转基因小鼠时,Helppi 等<sup>[41]</sup>比较了新型垫料(棉布)和山杨垫料对胚胎移植后的代孕鼠 CD-1 小鼠繁殖性能(妊娠率和产仔率)的影响,结果发现棉布材料组 CD-1 小鼠妊娠率(19%)低于山杨垫料组(43%)。垫料中含有的某些化学物质有可能会干扰内分泌系统,进而影响机体的生长发育。Kang 等<sup>[42]</sup>使用野生型 SD 大鼠评估刨花垫料和玉米芯垫料对其生长和发情周期的影响,结果发现两种垫料对大鼠体质量影响差异不显著,玉米芯组 gh1 基因的平均相对表达量低于刨花组( $P=0.768$ ),而刨花组血清生长激素(GH)和雌二醇水平升高,玉米芯组第一次发情的时间和发情周期的长度增加,正常发情周期的比例也有所下降。因此在开展内分泌相关研究时应考虑选用合适的垫料。综上所述,在使用实验动物开展研究工作时应根据研究需求选择适宜的垫料,降低垫料对动物实验结果的干扰作用。

## 参考文献

- [1] 李超,董浩迪,徐琳凯,等. 2014年北京地区啮齿类实验动物质量的病理学评价[J]. 中国比较医学杂志, 2015, 25(5): 67-70.
- [2] 李根平,邵军石,李学勇,等. 实验动物管理与使用手册[M]. 北京:中国农业出版社, 2010: 194-206.
- [3] 贾锐胜,余琦,张光伟. 啮齿类实验动物垫料的质量控制[J]. 中国医疗前沿, 2008, 3(19): 3-7.
- [4] 王艳蓉,孙淑华,杨旭,等. 三种垫料的生物学安全性评价[J]. 实验动物科学, 2012, 29(1): 34-39.
- [5] 张金星,宋晓东,王荣耕,等. 改性玉米芯作为吸水材料的探索研究[J]. 化工新型材料, 2016, 44(5): 230-231.
- [6] 詹红微,王福金,刘亚奇,等. 三种 SPF 小鼠垫料的比较[J]. 实验动物科学, 2014, 29(2): 21-25.
- [7] Krohn T C, Hansen A K. Evaluation of corncob as bedding for rodents[J]. Scand J Lab Anim Sci, 2008, 35(4): 231-236.
- [8] Villalon Landeros R, Morisseau C, Yoo H J, et al. Corncob bedding alters the effects of estrogens on aggressive behavior and reduces estrogen receptor- $\alpha$  expression in the brain[J]. Endocrinology, 2012, 153(2): 949-953.
- [9] Thigpen J E, Setchell K D, Padilla-Banks E, et al. Variations in phytoestrogen content between different mill dates of the same diet produces significant differences in the time of vaginal opening in CD-1 mice and F344 rats but not in CD Sprague-Dawley rats. [J]. Environ Health Perspect, 2007, 115(12): 1717-1726.
- [10] 杨增玲,楚天舒,韩鲁佳,等. 关于秸秆综合利用工程建设标准体系的研究[J]. 工程建设标准化, 2014, 2: 54-60.
- [11] 刘军须,冯旭,张焕铃,等. 两种新型实验动物垫料的性状研究[J]. 中国比较医学杂志, 2006, 16(8): 472-474.
- [12] 刘军须,蒋东升,冯旭,等. 玉米秸垫料饲养 SD 大鼠的安全性评价[J]. 中国比较医学杂志, 2007, 17(6): 345-347.
- [13] Ward P L, Wohlt J E, Zajac P K, et al. Chemical and Physical Properties of Processed Newspaper Compared to Wheat Straw and Wood Shavings as Animal Bedding[J]. J Dairy Sci, 2000, 83(2): 359-367.
- [14] Hess S E, Rohr S, Dufour B D, et al. Home improvement: C57BL/6J mice given more naturalistic nesting materials build better nests [J]. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2008, 47(6): 25-31.
- [15] 张延英,舒畅,吴建军,等. 实验动物对凹土玉米芯垫料适应性的研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2012, 29(3): 12-14.
- [16] 舒畅,张延英,蔡兴,等. 凹土玉米芯垫料对 KM 小鼠安全性影响的研究[J]. 实验动物科学, 2014, 31(3): 23-25.
- [17] 张延英,舒畅,吴建军,等. 凹土玉米芯垫料提取物对细胞毒性的研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(21): 242-244.
- [18] Friedman M. Rice brans, rice bran oils, and rice hulls: composition, food and industrial uses, and bioactivities in humans, animals, and cells[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(45): 10626-10641.
- [19] Carbone E T, Kass P H, Evans K D. Feasibility of Using Rice Hulls as Bedding for Laboratory Mice[J]. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2016, 55(3): 268-276.
- [20] Spittle, Kevin S. (Vero Beach, FL), Tanner, James D. (Northbrook, IL). Animal litter[P]. U. S. Patent: 9185880, Nov 17, 2015.
- [21] Theis, Dale R. (Sylvania, OH), Weaver, Ted A. (Perrysburg, OH). Animal litter containing twisted paper rods and method of providing a domesticated animal with mental stimulation[P]. U. S. Patent: 8205576, December 10, 2013.
- [22] Kaliste E, Linnainmaa M, Meklin T, et al. The bedding of laboratory animals as a source of airborne contaminants[J]. Lab Anim, 2004, 38(1): 25-37.
- [23] 张志,潘甜美,张建红,等. 四种实验动物垫料物理性状及动物适应性研究[J]. 实验动物科学, 2007, 24(2): 18-21.
- [24] 李保文,梁春南,黎绍明. 玉米芯垫料替代刨花垫料后动物的换窝频率[J]. 实验动物科学, 2009, 26(4): 65-68.
- [25] 孙永梅,陈志宇,苍晶,等. 几种实验动物垫料的物理特性比较[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 616-617, 624.
- [26] 刘继超,牛屹东,张孟蕾,等. 比较工作状态下杨木刨花与玉米芯垫料的物理性状[J]. 实验动物科学, 2014, 31(6): 36-39.
- [27] Koontz J M, Kumsher D M, Kelly I R, et al. Effect of 2 Bedding Materials on Ammonia Levels in Individually Ventilated Cages [J]. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2016, 55(1): 25-28.
- [28] 任曙光,吴建华,巨英超,等. 实验动物垫料的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011, 11(上): 32-34.
- [29] 阿娜古丽·马合木提,曼尔丹·尼牙孜,热比姑丽·伊斯拉木. 实验动物垫料在 SPF 级屏障系统下保存期限观察[J]. 中国民族医药杂志, 2013, 6: 58-59.
- [30] 刘建琪,张红,张林青,等. 实验动物垫料的微生物污染监测及影响因素研究[J]. 实用预防医学, 2014, 21(11): 1300-1303.
- [31] 陈霆,张丽芳,金迎春,等. 动物笼具和垫料蒸汽灭菌条件的优化[J]. 中国比较医学杂志, 2017, 27(3): 81-83.
- [32] Tanaka T, Ogata A, Inomata A, et al. Effects of Different Types of Bedding Materials on Behavioral Development in Laboratory CD1 Mice (Mus musculus) [J]. Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol, 2014, 101(5): 393-401.
- [33] Blom H J, Van Tintelen G, Van Vorstenbosch C J, et al. Preferences of mice and rats for types of bedding material[J]. Lab Anim, 1996, 30(3): 234-244.
- [34] Van de Weerd H A, Aarsen E L, Mulder A, et al. Effects of environmental enrichment for mice: variation in experimental results[J]. J Appl Anim Welf Sci, 2002, 5(2): 87-109.
- [35] Kawakami K, Shimosaki S, Tongu M, et al. Evaluation of bedding and nesting materials for laboratory mice by preference tests[J]. Exp Anim, 2007, 56(5): 363-368.
- [36] 王刚,张志,钟志勇,等. 垫料对 NIH 小鼠生长发育及繁殖性能的影响[J]. 实验动物与比较医学, 2008, 28(3): 180-182.
- [37] 王春梅,尤红煜,冯旭,等. 3 个不同细胞株用于垫料毒性实验的效果比较[J]. 中国比较医学杂志, 2004, 14(2): 90-93.

- [38] 邱少松, 赵士海, 谢超敏, 等. 垫料水提取物的急性毒性及微核试验[J]. 实验动物与比较医学 2008 **28**(4): 269-270.
- [39] Yildirim F, Yildirim B A, Yildiz A *et al.* Evaluation of perlite, wood shavings and corncobs for bedding material in rats[J]. J S Afr Vet Assoc 2017 **88**(0): e1-e7.
- [40] Ambery A G, Tackett L, Penque B A *et al.* Effect of Corn cob bedding on feed conversion efficiency in a high-fat diet-induced prediabetic model in C57BL/6J mice[J]. J Am Assoc Lab Anim Sci 2014 **53**(5): 449-451.
- [41] Helppi J, Naumann R, Asikainen M, *et al.* Novel Bedding Material Results in Poor Pregnancy Rate with CD-1 Female Mice Used as Fosters for Producing Transgenic Mice[J]. Scand J Lab Anim Sci 2017 **43**(3): 1-5.
- [42] Kang B H, Kim S H, Jung K A *et al.* Comparison of growth and pubertal progression in wild type female rats with different bedding types[J]. Ann Pediatr Endocrinol Metab 2015 **20**(1): 53-58.

## Research Progress on Bedding Materials of Laboratory Rodents

LI Shumei, HU Jianwu

(Beijing Laboratory Animal Research Center, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Laboratory animal bedding is an important environmental factor in the use and management of laboratory animals, which has a direct impact on the quality of experimental animals, animal welfare and the result of animal experiments. In this paper, we discuss and summarize the species, the quality controlled, the physical properties and the application of rodent experimental animal bedding, the influence on rodent animals and animal experiments. Particularly introduces the advantages and disadvantages of all kinds of bedding, it provides an important reference for the selection and use of laboratory animal bedding, this is conducive to the research and development of rodent laboratory animal bedding and the improvement of the national standard of laboratory animal bedding and other related work.

**Key words:** bedding; rodent animal; quality control