

李 晟,顾洪如,张 霞,等. 熟化猪发酵床垫料对白菜产量及重金属积累的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):201-203.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.060

# 熟化猪发酵床垫料对白菜产量及重金属积累的影响

李 晟,顾洪如,张 霞,杨 杰,李 健,潘孝青,秦 枫,邵 乐,刘蓓一,朱洪龙

(江苏省农业科学院畜牧研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**采用盆栽试验,选用熟化的发酵猪粪垫料及酒糟垫料作有机肥,研究白菜的产量变化及不同重金属在白菜中的累积情况,并对采收的白菜进行安全评价。结果显示,垫料作有机肥添加量较高时,对白菜出苗率与产量均有一定的影响;酒糟/木屑垫料作有机肥安全施用量约在 5%~10%。垫料作有机肥时,白菜不同重金属元素铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、铬(Cr)表现为随施肥量增加其含量增加,Cu、Zn、As、Cr 含量均在安全标准要求之内。健康风险指数表明,猪发酵床垫料作有机肥时,铜、锌、砷、铬元素没有明确的安全问题。

**关键词:**白菜;猪发酵床垫料;重金属;安全性;产量;健康风险指数

**中图分类号:**S634.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)12-0201-03

随着畜牧业的不断发展,畜禽粪便环境污染问题日益突出,生态养殖模式应运而生。猪发酵床生态养殖技术提高了猪的生产性能、动物福利,增强了猪免疫机能<sup>[1-2]</sup>,并减少了传统养殖中水冲粪产生的对环境污染严重的大量污水,具有低排放低污染的优点,越来越受到人们的重视。发酵床养殖后的垫料内含有丰富的氮、磷、钾、有机质等营养成分<sup>[3-4]</sup>,是上好的有机肥原料。但随着畜禽养殖业的规模化、集约化发展,大量促进动物生长发育的饲料添加剂和预混剂被广泛使用,使得畜禽对微量重金属元素吸收利用率低,重金属元素大部分随畜禽粪便排出。在猪发酵床养殖模式下,猪的粪尿均排在垫料上,因此垫料内均含有一定量的重金属元素<sup>[3,5-7]</sup>,而且随着垫料使用时间延长,垫料内重金属含量有增加的趋势<sup>[5-6,8-9]</sup>。重金属元素具有难迁移、易富集、危害大等特点,熟化垫料作为有机肥应用,进入农田生态环境后,有可能存在一定的安全风险。白菜是人们日常摄食量较多的蔬菜,对重金属有较强的富集能力<sup>[10-12]</sup>。本研究选用饲养过 2~3 批猪的发酵床熟化垫料作为有机肥,以白菜为材料,研究垫料作有机肥利用时对白菜出苗、产量及白菜重金属积累的影响,并对白菜重金属残留量进行健康风险评价,从而为垫料有机肥资源化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究所用植物材料为白菜(*Brassica chinensis* L.),品种为热抗 605,购自当地种子店。

供试土壤采自江苏省农业科学院畜牧研究所南京试验田 0~20 cm 的土层,土壤为低山丘陵黄棕壤,又称马肝土。

收稿日期:2015-11-12

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)1001]。

作者简介:李 晟(1982—),女,江苏盐城人,助理研究员,主要从事畜禽粪便废弃物利用研究。Tel:(025)84390345;E-mail:jaslisheng@163.com。

通信作者:张 霞,博士,副研究员,主要从事饲草生理与畜禽粪便废弃物利用研究。Tel:(025)84390341;E-mail:583765990@qq.com。

表 1 供试土壤和垫料有机肥的基本理化性状

类别	全氮含量 (mg/g)	全磷含量 (mg/g)	全钾含量 (mg/g)	pH 值	电导率 (mS/cm)
土壤	0.949	0.684	12.012	7.93	0.12
发酵猪粪垫料	24.918	1.673	15.063	6.50	2.66
酒糟垫料	18.691	2.597	13.537	7.14	1.90

### 1.2 试验设计

1.2.1 试验 1 试验所用垫料是以发酵猪粪为基质配以少量木屑的垫料(简称发酵猪粪垫料),饲养 2 批猪。试验共设 4 个处理,分别是垫料添加量为土壤质量的 0%(对照组,不加垫料)、10%、25%、50%,每个处理 3 次重复,采用 20 cm×30 cm 的周转箱进行盆栽种植。2012 年 9 月 11 日,土壤与垫料混匀后装盆,浇自来水至田间持水量的 70%,平衡 1 周。于 2012 年 9 月 18 日播种,播种后 10 d 观测出苗情况,并定苗 50 株/盆。2012 年 10 月 24 日收获。

1.2.2 试验 2 试验所用垫料是以酒糟-木屑(质量比 60:40)为基质的垫料(简称酒糟垫料),饲养 2 批猪。试验共设 6 个处理,分别是垫料添加量为土壤质量的 0%(对照组,不加垫料)、5%、10%、15%、20%、25%。每个处理 3 次重复。采用 20 cm×30 cm 的周转箱进行盆栽种植。于 2012 年 12 月 18 日土壤与垫料混匀后装盆,播种。于播种后 10 d 定苗至 50 株。2013 年 2 月 2 日收获。

### 1.3 测试方法

垫料锌(Zn)、铬(Cr)、铜(Cu)、砷(As)含量测定:采用硝酸-高氯酸(体积比 4:1)在 130~210 ℃条件下消煮,采用电感耦合等离子体(inductively coupled plasma,简称 ICP)测定样品中全量 Zn、Cr、Cu 含量,As 含量采用原子荧光分光光度计测定。数据分析采用 SAS 8.1 和 Excel 软件。

### 1.4 健康风险评估

目前,国际上公认的主要毒性(安全性)指标为每日允许摄入量(acceptable daily intakes,简称 ADI),是指人类每日摄入某物质直至终生而不产生可检测的对健康产生危害的量,按体质量计算,其单位可以表示为 mg/(人·d)(平均 60 kg 体质量)。人们普遍采用联合国粮食与农业组织、世界卫生

组织(FAO、WHO)的推荐值(表2)。相关公式:

$$Q_i = D \cdot C_i / 1\,000;$$
$$RI = Q_i / ADI。$$

式中: $Q$  为重金属的摄入量,mg/d; $i$  为重金属的种类; $D$  为每日白菜的食用量,g; $C$  为白菜中重金属的浓度,mg/kg; $RI$  为健康风险指数,若  $RI < 1$ ,则处于安全水平;若  $RI > 1$  则存在健康风险,且数值越大,健康风险也越大<sup>[13~14]</sup>。

表2 60 kg 体质量每日允许摄入量(ADI)<sup>[15~16]</sup>

重金属	ADI[ mg/( 人 · d ) ]
Zn	60
Cu	30
Cr	0.2
As	0.13
Pb	0.214
Cd	0.06

1.5 评价标准

本研究参考的评价标准采用我国颁布和实施的食品中Cd、Pd、Cr 限量标准(表3)。

表3 新鲜蔬菜中重金属限量标准<sup>[17~19]</sup>

重金属	限量 (mg/kg)	相应标准
Zn	20	GB 13106—1991《食品中锌限量卫生标准》
Cu	10	GB 15199—1994《食品中铜限量卫生标准》
Cr	0.5	GB 2762—2012《食品中污染物限量》
As(总砷)	0.5	GB 2762—2012《食品中污染物限量》
Pb	0.1	GB 2762—2012《食品中污染物限量》
Cd	0.05	GB 2762—2012《食品中污染物限量》

2 结果与分析

2.1 不同垫料施用量白菜出苗率及产量

由表4可知,发酵猪粪垫料作有机肥时,随垫料施用量增加,白菜出苗率在一定范围内极显著降低,对照组及施用发酵猪粪垫料10%处理组出苗率极显著高于施用垫料25%、50%2个处理组,施用发酵猪粪垫料10%不影响白菜出苗率。白菜产量随垫料施用量增加,在一定范围内极显著降低,对照白菜产量最高,其次为施用10%垫料处理。

由表5可知,酒糟垫料作有机肥时,垫料不同施用量之间白菜产量极显著差异( $P < 0.01$ ),施用垫料处理白菜产量均高于对照组。随垫料施用量增加,白菜生物产量先增加后降低,垫料施用量5%、10%时产量最高。

表4 发酵猪粪垫料作有机肥盆栽试验出苗、产量结果

施垫料量(%)	出苗率(%)	鲜质量产量(g/盆)
0	73.78aA	146.73aA
10	73.11aA	101.93bB
25	51.78bB	30.77cC
50	33.56cC	18.27cC

注:同列数据后标有不同小写、大写字母分别表示差异显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。表5、表6同。

2.2 不同垫料施用量白菜重金属含量

由表6可知,发酵猪粪垫料作有机肥时,白菜Zn含量随垫料用量增加在一定范围内极显著增加( $P < 0.01$ ),Cr含量随垫料用量增加在一定范围内显著增加,Cu元素含量在各处理之间差异不显著,白菜内As、Pb、Cd3种元素无检出。

表5 酒糟垫料作有机肥盆栽试验产量结果

施垫料量(%)	鲜质量产量(g/盆)
0	9.3bC
5	85.6aA
10	84.4aA
15	64.7aAB
20	25.8bBC
25	18.1bC

表6 发酵猪粪垫料作有机肥盆栽试验重金属含量结果

施垫料量 (%)	鲜质量含量(mg/kg)					
	Zn	Cu	Cr	As	Pb	Cd
0	2.28dB	0.4588a	0.0356a	—	—	—
10	3.64cB	0.4981a	0.0344b	—	—	—
25	5.58bAB	0.4558a	0.0644ab	—	—	—
50	8.52aA	0.6967a	0.1287b	—	—	—

由表7可知,白菜Zn与As含量随垫料施用量增加而增加,As的含量远低于国家规定标准0.5mg/kg,Cu与Cr没有检测出。

表7 酒糟垫料作有机肥盆栽试验重金属含量结果

施垫料量 (%)	鲜质量含量(mg/kg)			
	Zn	Cu	Cr	As
0	0.21	—	—	0.0015
5	0.30	—	—	0.0025
10	0.34	—	—	0.0032
15	0.39	—	—	0.0088
20	0.48	—	—	0.0129
25	0.85	—	—	0.0144

2.3 不同垫料施用量白菜食品安全性

中国营养学会建议每日进食蔬菜400g,可得人体每天从白菜中可能摄取的重金属元素含量。由表8、表9可知,不同重金属元素每人每日可能摄入量ADI随垫料施用量增加而增加,发酵猪粪垫料和酒糟垫料作有机肥时,不同重金属元素每人每日可能摄入量ADI均小于联合国粮食与农业组织、世界卫生组织(FAO、WHO)的推荐值,而相比仅有Cr元素健康风险指数RI相对较高。

表8 发酵猪粪垫料作有机肥时白菜的每人每日可能摄入量ADI与健康风险指数RI

施垫料量 (%)	ADI[ mg/( 人 · d ) ]			RI[ mg/( 人 · d ) ]		
	Zn	Cu	Cr	Zn	Cu	Cr
0	0.912	0.184	0.014	0.015	0.006	0.071
10	1.456	0.199	0.014	0.024	0.007	0.069
25	2.232	0.182	0.026	0.037	0.006	0.129
50	3.408	0.279	0.051	0.057	0.009	0.257

3 结论与讨论

本研究分别选用发酵猪粪垫料及酒糟垫料为有机肥,以期研究不同原料的垫料在饲养2批猪后作有机肥在白菜上的应用效果。

3.1 垫料有机肥对白菜出苗的影响

发酵猪粪垫料作为有机肥且施肥量25%及以上时,显著降低白菜的出苗率,表明猪发酵床垫料在饲养2批猪后作有机肥,施用量25%时影响白菜的出苗时间及出苗率,说明施

表 9 酒糟垫料作有机肥时白菜的每人每日  
可能摄入量 ADI 与健康风险指数 RI

施垫料量 (%)	ADI[ mg/(人·d) ]		RI[ mg/(人·d) ]	
	Zn	As	Zn	As
0	0.084	0.001	0.001	0.005
5	0.120	0.001	0.002	0.008
10	0.136	0.001	0.002	0.010
15	0.156	0.004	0.003	0.027
20	0.192	0.005	0.003	0.040
25	0.340	0.006	0.006	0.044

用量为 25% 时即对白菜种子有一定的毒性。由于垫料施用  
量间隔相对较大,想要更详细地明确发酵猪粪垫料对白菜种  
子出苗毒性的影响,还须进一步研究。

### 3.2 垫料有机肥对白菜产量的影响

酒糟垫料为有机肥时,随垫料施用量增加,白菜产量均表  
现为先增加后降低,说明垫料施用量高于一定量时将对白菜  
产量产生负影响,可能施用量超过一定量时垫料内的盐分对  
白菜苗引起的毒性使其产量下降。而发酵猪粪垫料为有机肥  
时,随垫料施用量增加白菜产量显著下降,说明发酵猪粪垫料  
饲养 2 批猪后对白菜产量的影响较大,由于猪粪含量较高对  
白菜产量的抑制作用较强,这可能与发酵猪粪垫料 pH 值电  
导率较高有一定关系,发酵猪粪垫料对白菜的离子毒性相对  
较大。因此,不同垫料原料与垫料施用量对白菜产量均有一  
定的影响,酒糟垫料作有机肥施用量约在 5% ~ 10%,发酵猪  
粪垫料使用量在本试验中低于 10%。

### 3.3 垫料有机肥对白菜重金属含量的影响

酒糟垫料作有机肥时,白菜不同重金属元素 (Zn、Cu、Cr、  
As) 均表现为随施肥量增加其含量增加的趋势,这与前人研  
究结果一致<sup>[10,20]</sup>。其中 Cu、Zn 含量国家已不设立最高含量  
标准,白菜内 Cr 元素含量均低于国家标准规定的 0.5 mg/kg  
(新鲜叶菜),As 含量远低于国家标准规定的 0.5 mg/kg(新  
鲜叶菜)<sup>[19]</sup>。

### 3.4 垫料有机肥对白菜 ADI 及 RI 的影响

由于测定结果的限制,本研究只对 Zn、Cu、Cr、As 4 种元  
素进行讨论,不对铅与镉进行讨论。由于人体每日接触的有  
毒物质不仅来源于食品,通过空气、饮水等也能摄入人体,因  
此总膳食中允许含量要低于每人每日可能摄入量。一般来  
说,通过食物摄入的有害物质占总摄入量的 80% ~ 85%。发  
酵猪粪垫料或者酒糟垫料作有机肥时,不同重金属元素每人  
每日可能摄入量均小于联合国粮食与农业组织、世界卫生组  
织 (FAO/WHO) 的推荐值,以及小于 80% ADI 值。研究表  
明,长期施污泥有机肥的白菜重金属残留量及其每人每日可  
能摄入量均随施肥量及施肥次数增加而呈不断增多的趋势<sup>[10]</sup>。  
作为生物体必需的营养元素,适量的锌、铜对人和动物都是有  
益的,过量时却会对生物的生长带来危害<sup>[16,21]</sup>。但 2007 年  
中国总膳食研究评估膳食锌、铜的摄入量发现,我国居民膳  
食铜的摄入量充足,锌的摄入不足,且铜、锌的摄入量均低  
于安全限量标准,认为不存在铜、锌的食用安全性问题,已  
废除标准 GB 13106—1991《食品中锌限量卫生标准》与 GB  
15199—1994《食品中铜限量卫生标准》<sup>[19]</sup>。尽管垫料内铜、  
锌含量相对较高<sup>[5-6]</sup>,本研究显示,施用猪发酵床垫料作有机

肥时不会产生铜、锌元素的安全问题。而对砷的研究表明,发  
酵猪粪与酒糟垫料作有机肥时其 ADI 与 RI 也很低,说明施  
用猪发酵床垫料作有机肥时也不会产生砷元素的安全问题。  
尽管施垫料量在 25%、50% 时,铬元素的健康风险指数 RI 相  
对稍高,但是在实际生产中有机肥施用量均低于 25%,按照  
本试验结果施用垫料为土壤质量的 5% ~ 10% 计算,在实际  
生产中也属于较高的水平,因此实际生产中施用垫料有机肥  
铬元素的健康风险指数也是较低的,是相对安全的。

### 参考文献:

- [1] 秦 枫,潘孝青,顾洪如,等. 发酵床不同垫料对猪生长、组织器官及血液相关指标的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(1): 130-134.
- [2] 胡海燕,于 勇,张玉静,等. 发酵床养猪废弃垫料的资源化利用评价[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(1): 252-258.
- [3] 马 晗,郭海宁,李建辉,等. 发酵床垫料中有机质及氮素形态变化[J]. 生态与农村环境学报,2014,30(3): 388-391.
- [4] 张 霞,顾洪如,杨 杰,等. 猪发酵床垫料中氮、磷、重金属元素含量[J]. 江苏农业学报,2011,27(6): 1414-1415.
- [5] 张 霞,杨 杰,李 健,等. 猪发酵床不同原料垫料重金属元素累积特性研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1): 166-171.
- [6] 张丽萍,盛 婧,孙国锋,等. 养猪舍不同发酵床重金属累积特征初探[J]. 农业环境科学学报,2014,33(3): 600-607.
- [7] 马建民,郭 彤,郭秀山. 生态养猪场发酵床垫料中残残留测定[J]. 家畜生态学报,2013,34(5): 80-81.
- [8] 马建民,郭 彤,郭秀山,等. 猪发酵床垫料中重金属元素残留分析[J]. 黑龙江畜牧兽医科技版,2014(1): 195-196.
- [9] 何轶飞,沈阿林. 施用污泥对小青菜产量及重金属镉、铬积累的影响[J]. 河南农业科学,2009(10): 86-90.
- [10] Cheung Y H, Wong M H, Tam N F Y. Root and shoot elongation as an assessment of heavy metal toxicity and 'Zn Equivalent Value' of edible crops[J]. Hydrobiologia,1989,188/189(1): 377-383.
- [11] Chang C Y, Yu H Y, Chen J J, et al. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2014,186(3): 1547-1560.
- [12] 马 瑾,周永章,窦 磊,等. 广州汕头市农业土壤和蔬菜铅含量及健康风险评估[J]. 安全与环境学报,2007,7(6): 77-79.
- [13] 李优琴,李荣林,石志琦. 市售大米重金属污染状况及健康风险评估[J]. 江苏农业学报,2008,24(6): 977-978.
- [14] 腾 葳,柳 琪,李 倩,等. 重金属污染对农产品的危害和风险评估[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
- [15] 沈群超,胡寅侠,蒋开杰,等. 慈溪地产大米重金属调查及其健康风险评估[J]. 中国稻米,2013,19(3): 79-81.
- [16] GB 13106—1991 食品中锌限量卫生标准[S]. 1991.
- [17] GB 15199—1994 食品中铜限量卫生标准[S]. 1994.
- [18] GB 2762—2012 食品中污染物限量[S]. 2012.
- [19] Tian W, Zhang Z H, Hu X F, et al. Short-term changes in total heavy metal concentration and bacterial community composition after replicated and heavy application of pig manure-based compost in an organic vegetable production system[J]. Biology and Fertility of Soils,2015,51(5): 593-603.
- [20] 王 君. 卫生部公开征求废止《食品中锌限量卫生标准》等三项标准意见[J]. 中国卫生标准管理,2010(2): 58-59.