

猪粪渣堆肥中重金属复合钝化剂配置及其应用分析

蔡海生, 余文波, 吴建富

(江西农业大学江西省鄱阳湖流域农业生态重点实验室 / 南昌市鄱阳湖生态重点实验室 / 农村土地资源利用与保护研究中心, 江西 南昌 330045)

摘要: 猪粪便中重金属无害化处理是实现养猪废弃物资源化高效循环利用的重要手段。以规模化养猪场固液分离后的猪粪渣为试验对象, 选择酒渣、膨润土、草木灰、粉煤灰、秸秆粉、草炭、稻壳灰、钙镁磷肥等为原料, 按一定比例设计 5 个配方, 制成重金属复合钝化剂添加到猪粪渣中, 并采用条垛式好氧堆肥处理。结果表明, 5 种配方都对猪粪渣中的 Cu、Zn、As、Hg、Pb、Cd、Cr 等重金属产生钝化效应, 除 Cd 元素外重金属比重相对降幅为 7%~34%。通过比较分析表明, 配方 3、配方 5 猪粪渣处理后的发酵产品, 养分含量及 As、Hg、Pb、Cd、Cr 等重金属含量达到国家有机肥料生产标准 (NY 525—2012), 可以作为生产绿色有机肥的基础原料, 实现猪粪渣无害化处理及资源化利用, 有利于防止和减少畜禽规模养殖场造成的环境污染问题, 促进美丽宜居乡村建设。

关键词: 猪粪渣; 无害化处理; 资源化利用; 复合钝化剂; 堆肥

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1004-874X(2017)11-0092-06

Configuration and application of heavy metal compound passivation in compost of swine feces residue

CAI Hai-sheng, YU Wen-bo, WU Jian-fu

(Ecology Key Laboratory of Po-yang Lake Watershed in Jiangxi Province/Ecology Key Laboratory of Po-yang Lake in Nanchang/Research Center of Rural Land Resource Utilization and Protection, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The innocent treatment of heavy metal in swine feces is the key link to realize the resource utilization of swine waste. Using the solid-liquid separated swine feces residue from large-scale pig farm as the test object, and taking wine residue, bentonite, plant ash, fly ash, straw powder, lime, rice husk ash, calcium magnesium phosphate fertilizer, mushroom residue as raw materials, according to certain proportion, five formula were desinged, to make the heavy metal composite passivator added to the swine feces residue, and adopt the aerobic composting process. The results showed that 5 kinds of formula could passivate copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), mercury (Hg), lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr) of heavy metals in swine feces residue, besides cadmium, others decreased by 7%~34%. Comparative analysis showed that, after processing of formula 3, formula 5, the indexs of nutrient content and As, Hg, Pb, Cd, Cr were up to the national organic fertilizer production standard (NY 525-2012), they can be used as the base material to produce green organic fertilizer, to realize the treatment of swine feces residue and resource utilization. The results are beneficial to prevent and reduce

收稿日期: 2017-09-22

基金项目: 国家自然科学基金 (31660140); 江西省重大科技项目 (20143ACF60011); 江西省自然科学基金 (20161BAB204180)

作者简介: 蔡海生 (1972-), 男, 博士, 教授, E-mail: caihsh@263.net

the environmental pollution caused by the breeding of livestock and poultry, and promote the construction of beautiful and livable countryside.

Key words: swine feces residue; innocent treatment; resource utilization; compound passivation; compost

随着集约化规模化畜禽养殖场的迅速发展, 畜禽粪便已成为主要污染源之一^[1-2]。据统计, 2015 年全国生猪出栏突破 70 825 万头、生猪存栏 45 113 万头、猪肉产量 5 487 万 t, 均居世界第 1 位。然而, 由此产生的猪粪便量超过 6 亿 t, 约占畜牧业粪便总量的 1/3, 而综合利用率不到 50%, 不仅造成资源的极大浪费, 同时给生态环境带来了巨大的压力。农业废弃物量大、面广, 用则利, 弃则害, 其资源化利用是农村环境治理的重要内容。2014 年 1 月起施行的《畜禽规模养殖污染防治条例》明确要求“推进畜禽养殖废弃物的综合利用和无害化处理, 保护和改善环境”; 2016 年 4 月农业部印发了《全国生猪生产发展规划(2016—2020 年)》, 提出“推进标准化规模养殖, 建设现代生猪种业, 促进养殖废弃物综合利用”; 2016 年 8 月印发《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》, 力争到 2020 年试点县规模养殖场配套建设粪污处理设施比例达 80% 左右, 畜禽粪污基本实现资源化利用。目前, 许多地方畜禽粪便缺乏相应的环保措施和废物处理系统, 未经处理的大批量粪便露天堆放或直接排入周边环境, 造成重金属 Cu、Zn、As、Hg、Pb、Cd、Cr 等对环境的严重污染, 其中 Pb、Cd、Cr、Hg、As 等重金属会通过食物进入人体, 对人类健康带来危害, 同时大量露天放置的粪便也易造成人畜疫病的发生^[3-5]。

畜禽粪便重金属污染的治理主要有两种途径: 一是通过改变畜禽粪便中重金属存在形态使其固定, 降低其可移动性和生物效应; 二是通过技术方法减少甚至除去畜禽粪便中的重金属, 使资源得到有效利用^[6-8]。国内外控制畜禽粪便中重金属污染的主要方法是采用畜禽粪便堆肥化, 即将堆肥物料人工控制在一定水分、C/N 比和通风条件下, 通过物理、化学、微生物等技术方法, 使畜禽粪便中的重金属钝化, 并将其中的有机物转化为肥料的过程^[9-10]。也有学者从

固体有机物的堆肥方面入手, 开展功能有机肥及有机无机复混肥生产研究^[11-12]。因此, 通过技术集成创新, 对养殖场粪便进行减量化、无害化、资源化处理, 制成生物有机肥料, 既可以防止其污染环境, 同时又可以为农业生产提供优质的有机肥料, 实现资源再生利用^[13-14], 有助于农业生态良性循环和农业废弃物的高效利用, 是贯彻中央有关“推进种养业废弃物资源化利用”等决策部署的具体行动, 是解决农村环境脏乱差、建设美丽宜居乡村的关键环节, 也是应对经济新常态、促投资稳增长的积极举措。

为推进农业废弃物资源化利用工作, 实现猪粪无害化处理及资源利用, 本研究以规模化养猪场固液分离后的猪粪渣为试验对象, 通过适当添加酒渣、秸秆粉、稻草灰、粉煤灰等原料, 对猪粪渣中的重金属进行钝化, 以期实现猪粪渣无害化处理、实现资源化利用(生产有机肥料)提供一个新的技术方法, 为减少畜牧养殖重金属污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验猪粪渣材料主要来自江西省鄱阳湖区域规模养猪场。生猪粪便含水量高、黏性重、通气性差, 不能直接发酵, 应进行适当的预处理后才能进行发酵, 一般采用固液分离或机械脱水, 猪粪便污水经固液分离后生成粪渣, 其主要理化性状大体为: 含水率 75%, 有机碳 15%, 全氮 0.60%, 全磷 0.50%, 全钾 0.40%, C/N 25, 重金属含量分别为 Cu 53.9 mg/kg、Zn 46.4 mg/kg、As 14.2 mg/kg、Hg 0.205 mg/kg、Pb 34.9 mg/kg、Cd 0.158 mg/kg、Cr 49.3 mg/kg。

钝化剂原材料主要取自周边区域, 就地、就近取材, 以降低成本、提高可行性, 主要以酒渣、膨润土、草木灰、粉煤灰、秸秆粉、草炭、稻壳灰、钙镁磷肥等为原料, 以起到调节水分、C/N 和通气的作用, 按一定比例设计 5 个配方,

制成复合钝化剂进行相关试验。

1.2 试验方法

试验在江西某生态农业科技有限公司进行, 根据不同配方在猪粪渣中分别加入酒渣 7~10 份、膨润土 5~6 份、草木灰 5~10 份、粉煤灰 3~5 份、秸秆粉 3~5 份、草炭 7~10 份、稻壳灰 3~5 份、钙镁磷肥 3~5 份、硅藻土

5~7 份, 并按一定比例加入有机肥专用发酵菌剂, 经微生物好氧发酵加工成系列有机肥料, 与我国有机肥料标准对比, 有机质、氮、全磷、全钾、养分总量、水分、重金属等含量达到许可范围, 确认有机肥料产品质量达到标准, 最终通过实验数据筛选出有机肥料配方(表 1)。

表 1 猪粪便无害化处理生产有机肥料配方筛选

配方	原料及相应比例(%)
1	猪粪(60)、酒渣(10)、粉煤灰(20)、钙镁磷肥(10)
2	猪粪(60)、酒渣(10)、膨润土(20)、草木灰(5)、钙镁磷肥(5)
3	猪粪(60)、酒渣(10)、膨润土(10)、草木灰(7)、稻草粉(5)、草炭(8)
4	猪粪(60)、酒渣(10)、膨润土(10)、稻壳灰(10)、粉煤灰(5)、钙镁磷肥(5)
5	猪粪(60)、酒渣(10)、膨润土(10)、草木灰(10)、粉煤灰(5)、钙镁磷肥(5)

试验采用条垛式好氧堆肥。将猪粪、酒渣、膨润土、草木灰、粉煤灰、秸秆粉、草炭、稻壳灰、钙镁磷肥等, 按配方比例称重后混合均匀, 并按每吨混合物加入发酵菌种(生物有机肥专用发酵剂) 200~300 g, 搅拌均匀, 堆积发酵。发酵前预处理: 混合物料含水率调节至 60%~65%, C/N 在 30~40 之间(可用辅料进行调节), 猪粪渣混合物的 pH 值在 7.5 左右(可使用过钙镁磷肥或磷酸钙调节)。将搅拌均匀的物料堆成条垛状, 堆体横截面呈梯形, 下底宽 200 cm 左右, 上底宽 100 cm 左右, 高 50 cm, 条垛长 8~10 m, 保证一定的长度堆发酵效果较好。在夏秋季节发酵, 时间控制在 20 d 左右, 冬春季节为 25 d 左右。具体操作按猪粪堆肥技术操作规程(DB36/T 836-2015)进行。堆肥期间, 根据温度变化进行翻堆处理, 并适时取样, 完成总氮、总磷、总钾、总有机物、重金属等相关指标的检测工作。

试验设计基本的操作程序: 猪粪渣预处理→物料堆入条垛式发酵场地→添加发酵菌剂翻堆→第一阶段高温发酵→第二阶段中低温发酵→发酵后熟阶段→发酵成品→成品后加工→资源化利用(营养土、有机肥、城市绿化基肥等)。

1.3 堆体发酵条件管控

(1) 温度。用温度计对堆体多个位置的温

度进行测定, 取平均值。一般每天上午 9:00 测量 1 次, 随机取 6 个堆体部位, 分别测定距离表层 10、25、40 cm 位置的温度, 取平均值, 也可用棒式数显温度计测量。猪粪堆肥四季可作业, 不受季节影响, 一般应在 15℃以上较好, 冬天尽量在室内或大棚内发酵。冬春季每隔 4 d 翻料 1 次, 夏秋季每隔 2 d 翻料 1 次, 使物料发酵温度控制在 55~70℃之间为宜。

(2) 水分。发酵物料的水分应控制在 65% 左右, 过高过低均不利于发酵。水分过少, 发酵慢; 水分过多会导致通气差、升温慢, 并产生臭味。水分过高可添加秸秆、锯末屑、蘑菇渣、干泥土粉等。水分合适与否的判断办法: 手抓一把物料使劲握紧, 物料有水印出但不滴水, 手松开物料成团, 掉地即散。水分测定可采用 105℃烘干法。

(3) 翻堆通气。发酵过程注意适当供氧与翻堆(温度升至 75℃或以上时要翻倒几次), 一般每周翻堆通气 1 次, 温度控制在 65℃左右。

1.4 测定指标及方法

堆料中的有机质含量采用重铬酸钾容量法测定; 总氮、总磷、总钾含量的测定, 将样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 总氮用开氏定氮法、总磷用钒钼酸铵比色法、总钾用火焰光度法

测定；pH 值直接用 pH 计测定（水样比 10 : 1）。并比对 NY/525-2012 有机肥料标准进行指标分析。

重金属检测：共检测铜、锌、砷、汞、铅、镉、铬等 7 个指标，样品检测环境，温度 15 ~ 20℃，湿度 50% ~ 60%，主要利用微波消解结合原子荧光、原子吸收法测定。检测分析依据为：铜采用 NY/T305.1-95 标准测定，锌采用 NY/T305.1-95 标准测定，砷、汞、铅、镉、铬采用 NY/T525-2012 标准测定。

2 结果与分析

2.1 猪粪渣堆肥后的重金属钝化效应分析

本试验主要在江西某生态农业科技有限公司进行，并将相关样品送江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所测试中心分析，结果（表 2）表明，依据不同配方通过添加酒渣、膨润土、草木灰、粉煤灰、秸秆粉、草炭、稻壳灰、钙镁磷肥等材料，制成复合钝化剂，通过采用条垛式好氧堆肥，5 种配方都对猪粪渣中的重金属

表 2 猪粪渣添加重金属复合钝化剂后的钝化效应检测结果（mg/kg）

样品	Cu	Zn	As	Hg	Pb	Cd	Cr
F-0029-15 (CK)	53.9	46.4	14.2	0.205	34.9	0.158	49.3
F-0030-15 (配方 1)	49.1	57.1	15.3	0.180	33.4	0.192	56.7
F-0031-15 (配方 2)	47.8	47.4	15.6	0.197	25.6	0.185	56.6
F-0032-15 (配方 3)	42.3	48.3	13.2	0.165	27.6	0.173	45.7
F-0033-15 (配方 4)	45.0	41.7	15.3	0.217	36.2	0.172	50.6
F-0034-15 (配方 5)	50.3	55.8	13.7	0.192	23.2	0.177	54.0

注：有机肥料国家标准：As ≤ 15 mg/kg, Hg ≤ 2 mg/kg, Pb ≤ 50 mg/kg, Cd ≤ 3 mg/kg, Cr ≤ 150 mg/kg。

产生了钝化效应。

从表 2 试验数据对比分析，堆肥处理前后重金属的形态变化比较显著。各配方处理结果显示：重金属含量铜为 42.3 ~ 50.3 mg/kg，比对照最大降幅为 22%；锌为 41.7 ~ 57.1 mg/kg，最大降幅为 10%；砷为 13.2 ~ 15.6 mg/kg，最大降幅为 7%；汞为 0.165 ~ 0.217 mg/kg，最大降幅为 20%；铅为 23.2 ~ 27.6 mg/kg，最大降幅为 34%；镉为 0.172 ~ 0.192 mg/kg，最大降幅为 7%；铬为

45.7 ~ 56.7 mg/kg，最大降幅为 7%。然而，镉为 0.172 ~ 0.192 mg/kg，比对照样品提高了 9%，这是由于复合辅助材料中镉含量较高所致，有待今后进一步改进。总体上看，特别是 F-0032-15（配方 3），对猪粪渣中的重金属钝化效果最好。

2.2 猪粪便资源化利用产品状况分析

从表 3 可以看出，堆肥处理前后重金属的形态变化较显著，同时，资源化利用方面也

表 3 猪粪渣堆肥后有机肥产品与国家有机肥料的技术指标（NY525-2012）比较分析（以烘干基计）

项目	产品指标	技术指标
有机质含量（%）	55.5 ~ 74.5	≥ 45
总养分（氮 + 五氧化二磷 + 氧化钾）含量（%）	7.9 ~ 9.57	≥ 5.0
水分（游离水）含量（%）	26.98 ~ 29.85	≤ 30
pH 值	8.35	5.5-8.0
总砷（As, mg/kg）	1.03 ~ 4.20	≤ 15
总汞（Hg, mg/kg）	0.005 ~ 0.28	≤ 2
总铅（Pb, mg/kg）	2.5 ~ 38.15	≤ 50
总铬（Cr, mg/kg）	4.9 ~ 11.97	≤ 150
总镉（Cd, mg/kg）	0.2 ~ 0.59	≤ 3

具有较好的应用价值,以烘干基计,各养分含量分别为:有机质含量为 55.5%~74.5%,全氮 3.1%~3.76%,全磷 2.94%~4.21%,全钾 1.2%~2.26%,养分总量为 7.9%~9.57%,水分 26.98%~29.85%,重金属含量(砷 1.03~4.2 mg/kg、汞 0.005~0.28 mg/kg、铅 2.5~38.15 mg/kg、镉 0.2~0.59 mg/kg、铬 4.9~11.97 mg/kg),pH 值 7.5~8.0,其中统一编号 F-0032-15(配方 3)、F-0034-15(配方 5)的养分含量及砷、汞、铅、镉、铬等重金属含量达到了国家有机肥料生产标准(NY 525-2012)。

经过条垛式好氧堆肥发酵,猪粪渣已基本腐熟,在仓库内堆置 10 d 左右完成后熟,可直接作为有机肥出售,也可经筛分、干燥、精加工、造粒等工序处理后,制成精制有机肥,实现猪粪渣无害化处理、资源化利用的目标。

3 结论与讨论

本试验通过在猪粪渣中按照一定比例设计配方添加复合钝化剂,综合采用化学转化技术、堆肥处理观察前后重金属的形态变化趋势,5 个配方基本上都对重金属产生了较好的钝化效果,重金属比重相对降幅最大的达到 34%。其中,配方 3(猪粪、酒渣、膨润土、草木灰、草炭)、配方 5(猪粪、鸡粪、酒渣、膨润土、草木灰、粉煤灰、秸秆粉、草炭)处理的发酵产品,总养分含量及砷、汞、铅、镉、铬等重金属含量达到了国家有机肥料生产标准,可以作为生产绿色有机肥的基础原料,实现了猪粪渣无害化处理及资源化利用。本试验工艺过程主要采用条垛式发酵方式,工艺过程简单、方法易行、操作简便,对重金属钝化效果比较好,生产成本总体估算 150 元/t(猪粪)左右,实现将猪粪变废为宝的循环利用模式。

通过实地调研,目前江西省鄱阳湖区规模养殖场畜禽粪便处理模式多样,有干清粪法+污水收集模式、种养结合+小型沼气池的立体生态模式、中型沼气池模式、大型沼气发电模式等,主要围绕畜禽粪便减量化生成、无害化处理及资源化利用等综合模式。本试验通过就地、就

近取材制作重金属复合钝化剂,添加到猪粪渣中进行堆肥处理,取得了较好的效果。但从推进畜禽养殖废弃物的综合利用和无害化处理、减少环境污染、开展农村环境整治、发展立体生态循环农业等方面,还有许多值得进一步开展的工作。

复合钝化剂的最终效应需要进一步定性和定量分析。本试验过程中,限于相关重金属分析的设备器材、工艺技术条件等方面,未能对堆肥处理过程中复合物料里面的重金属活性演化、化合物的存在形式等情况进行分析,没有对符合钝化剂发挥作用的温度、湿度、比例等条件环境状况进行分析,只简单地分析了堆肥前后重金属含量的变化情况,以及堆肥后物料制作有机肥的相关指标达标状况分析。

在堆肥化过程中加入重金属钝化剂,使其重金属从活性较高的形态向活性较低的形态转化,越来越受到人们的重视。集成几种重金属去除方法,兼顾可操作性、高效性、成本低廉性和环境安全性,研发简单、低廉、高效、安全的复合重金属钝化剂,对于畜禽粪便得无害化处理和高效利用非常关键。因此应进一步加强就近、就便、低成本、高效率等重金属复合钝化剂的生产和相关技术的研发,并实现规范化和标准化建设,加强应用技术推广,推动农业废弃物资源化利用取得更好成效。

畜禽养殖粪便污水无害化处理及资源化利用研究,对于改善农村生产、生活、生态环境质量意义重大,要注重秉承“减量化、无害化、资源化、生态化、经济适用”等原则,加强对猪粪便减量化、无害化处理和资源化利用的宣传普及,帮助社会各界特别是广大农村养殖户和规模养殖企业提高认识。从源头治理考虑,认真落实《畜禽规模养殖污染防治条例》《全国生猪生产发展规划(2016—2020年)》《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》等文件法规,从规模畜禽养殖的全过程通盘考虑,加快生猪产业转型升级和绿色发展,合理规划、科学设计、集成创新,实现废弃物减量化、无害化处理高效化、资源化利用普及化,通过技术集成创新,最终达到防止和减少环境污染问题,促进美

丽宜居乡村建设。

参考文献:

- [1] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013(7): 2766-2774.
- [2] 刘如飞. 我国猪粪资源化利用技术研究探讨[J]. 再生资源与循环经济, 2017, 10(6): 24-27.
- [3] 王湧, 曹冬梅, 孙安权. 畜禽粪便中重金属污染现状及控制[J]. 猪业科学, 2016(5): 48-49.
- [4] 卢洪秀, 孙昭军. 畜禽粪便处理的可持续发展研究[J]. 农业灾害研究, 2012(5): 40-43.
- [5] 程绍明, 马杨晖, 姜雄晖. 我国畜禽粪便处理利用现状及展望[J]. 农机化研究, 2009(2): 222-224.
- [6] 候月卿, 沈玉君, 刘树庆. 我国畜禽粪便重金属污染现状及其钝化措施研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2014(3): 112-118.
- [7] 李春风, 廉新慧, 王静, 等. 畜禽粪便中重金属去除技术研究进展[J]. 中国饲料, 2012(24): 15-17.
- [8] 袁云丽, 罗建中, 陈敏. 规模化养殖场畜禽粪便中重金属的污染研究进展[J]. 广东化工, 2012(7): 79-80.
- [9] 朱建春, 李荣华, 张增强, 等. 陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J]. 农业机械学报, 2013(11): 98-104.
- [10] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003(2): 252-256.
- [11] 吴飞龙, 叶美锋, 吴晓梅, 等. 添加菌糠对猪粪渣堆肥过程及氨排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 598-604.
- [12] 张辉, 陈梅, 马群, 等. 钝化剂对猪粪厌氧发酵产气特性及重金属含量的影响[J]. 中国沼气, 2017, 35(2): 36-40.
- [13] 廖青, 韦广泼, 江泽普, 等. 畜禽粪便资源化利用研究进展[J]. 南方农业学报, 2013(2): 338-343.
- [14] 龙光强, 蒋瑀霁, 孙波. 长期施用猪粪对红壤酸度的改良效应[J]. 土壤, 2012(5): 727-734.

(责任编辑 邹移光)