

郭德杰,徐丽萍,陈伟,等. 养猪发酵床秸秆垫料的腐解特征[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):228-231.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.041

# 养猪发酵床秸秆垫料的腐解特征

郭德杰<sup>1</sup>,徐丽萍<sup>2</sup>,陈伟<sup>1</sup>,马艳<sup>1</sup>,张志勇<sup>1</sup>,严少华<sup>1</sup>,罗佳<sup>1</sup>

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所,江苏南京 210014; 2.江苏省南京市六合区耕地质量保护站,江苏南京 211500)

**摘要:**以秸秆作为养猪发酵床主要垫料,长期监测养猪过程中发酵床秸秆垫料腐解规律,以为发酵床养殖科学管理和后期垫料肥料化利用提供理论依据。研究结果表明,随着时间推移,发酵床秸秆垫料 pH 值和电导率总体呈现上升趋势,垫料中铵态氮浓度随着时间上下波动较大,硝态氮逐渐增加并在 240 d 后趋于稳定;垫料中的总有机碳变化幅度不大,但是胡敏酸(HA)逐渐增加而富里酸(FA)逐渐降低,并导致胡富比(HA/FA)逐渐增加;秸秆垫料的种子发芽指数逐渐增加,经过 1 年后发芽指数达到 55.82%,然而还未达完全腐熟阶段。可见,发酵床秸秆垫料虽然在养猪过程中经过一定腐熟,也能产生有利于植物生长的腐殖酸,但并未完全腐熟,必须经过无害化处理才能作为肥料用于农田。

**关键词:**秸秆腐解;发酵床;养猪

**中图分类号:**X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)15-0228-03

我国是农业大国,秸秆资源丰富,每年有 6~8 亿 t<sup>[1-2]</sup>,且仍逐年增加;但秸秆资源被再利用量很少,每年有大量秸秆被抛弃或焚烧<sup>[3]</sup>。目前,秸秆利用的主要方式中,秸秆还田具有改善土壤质量、增加有机碳固定等优点,并受到许多研究者关注,但大量秸秆直接还田会带来阻碍作物发芽及生长、降低产量和增加病虫害等一系列负面影响<sup>[4-5]</sup>;而秸秆气化等能源利用方式虽前景可观,但目前尚处于试验阶段,且需大量资金和技术投入,在实际应用中面临诸多困难,这些因素均制约着秸秆的综合利用。我国秸秆处理作为农村可再生资源利用的重要战略之一,秸秆合理利用对农业可持续发展及城镇空气污染控制均将产生深远意义。我国秸秆量十分巨大,单一的秸秆处理方式无法消纳全部的秸秆,因此,探索行之有效的多种秸秆合理利用方式已成为该领域亟待解决的问题。

将秸秆作为发酵床养猪的垫料,猪排泄物一经产生便被秸秆等垫料吸收并发酵降解,不仅改善了畜禽生长状况、控制环境污染,同时为秸秆等农业废弃物提供新的去处,同时秸秆等垫料发酵完成后

可作为有机肥,成为有价值的可利用资源,因此该模式具有广阔的发展前景。在发酵床养猪过程中,利用秸秆等农业废弃物作为发酵床垫料已在积极发展中。但目前发酵床养猪研究主要集中于如何养好猪,对于垫料腐解过程和肥料化利用研究较少。本研究以秸秆作为养猪发酵床主要垫料,通过长期监测养猪过程中发酵床秸秆垫料腐解过程中理化性状变化情况,以为发酵床养殖的科学管理和后期垫料肥料化利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

本试验于扬州市伊绿鲜生态农业科技有限公司进行,时间为 2018 年 6 月至 2019 年 5 月,用于试验采样的猪舍发酵床面积约为 500 m<sup>2</sup>,发酵床垫料厚度为 80 cm,分别为上面 20 cm 菌糠,下面 60 cm 水稻秸秆。发酵床日常维护主要为每周将表层垫料翻耙 2~3 次,每 3 个月采用新的菌糠覆盖并翻耙均匀使垫料恢复 80 cm 厚度。猪饲养密度为 0.75 头/m<sup>2</sup>,试验进行 180 d 后出栏第一批猪后紧接着补充第二栏猪,按常规方法进行管理。

### 1.2 样品采集与测定

样品采集,每间隔 2~3 个月采集发酵床垫料样品,采集时挖开表层发酵床垫料,采集 20~40 cm 处的发酵床垫料,测定 pH 值、电导率、硝态氮、铵态氮、总有机碳、胡敏酸、富里酸和种子发芽指数。pH 值、电导率、硝态氮、铵态氮测定方法参照文献[6],总有

收稿日期:2020-11-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:31701993);江苏省自然科学基金(编号:BK20170613)。

作者简介:郭德杰(1978—),女,山东曲阜人,硕士,助理研究员,主要从事农业废弃物资源化利用。E-mail:guodejie99@163.com。

通信作者:罗佳,博士,副研究员,主要从事农业废弃物肥料化和基质化利用技术研究。E-mail:luojia428@163.com。

机碳测定采用重铬酸钾容量法<sup>[7]</sup>,胡敏酸和富里酸含量的测定采用焦磷酸钠-氢氧化钠提取重铬酸钾氧化容量法<sup>[8]</sup>,种子发芽指数测定参照文献<sup>[9]</sup>。

### 1.3 数据分析和统计

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行数据统计与分析,使用最小显著差异法(least significant difference, *LSD*)检验进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵床垫料 pH 值和 EC 变化

pH 值是衡量发酵床垫料中微生物生长状况的重要指标,其对  $\text{NH}_3$  排放具有重要影响。由图 1 可知,在发酵床垫料中 pH 值呈现先上升后下降趋势,后逐渐趋于稳定。发酵床垫料随着垫料腐熟,垫料 pH 值逐渐升高,约 180 d 达到最高值后,持续下降,并在约 300 d 趋于稳定。电导率(EC)与发酵床垫料中可溶

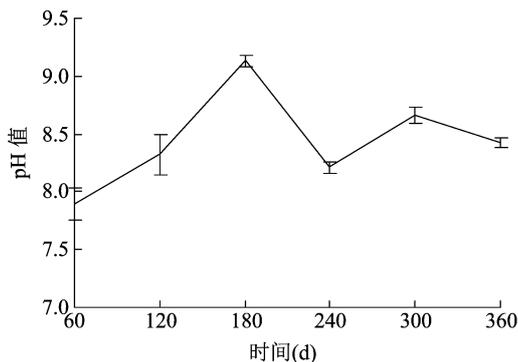


图1 发酵床垫料 pH 值和电导率变化

性盐含量成正比,在一定程度上提示发酵床垫料中盐分。由图 1 可知,前面 120 d 发酵床垫料电导率趋于稳定,然后上升至 180 d 达到峰值后经过短暂下降后又持续上升,1 年后发酵床垫料电导率达 4.61 mS/cm。

### 2.2 发酵床垫料氮组分变化

铵态氮的含量与发酵床垫料中氨气释放是密切相关的,是氮损失的主要来源。由图 2 可知,发酵床垫料在初始 60 d 内铵态氮含量为 0.47 mg/g,60 d 后开始增加,至 180 d 达到 2.49 mg/g,比 60 d 时的铵态氮增加了 5 倍。180 d 后发酵床垫料中的铵态氮逐渐下降,至 300 d 已降至 1.16 mg/g,300 d 后又开始增加,360 d 后发酵床垫料中铵态氮含量与 180 d 时持平。发酵床垫料中硝态氮的含量变化趋势与铵态氮不同,发酵床垫料中硝态氮总体呈持续增加趋势,在 240 d 时垫料中硝态氮含量为 1.58 mg/g,此后硝态氮含量未见明显增加。

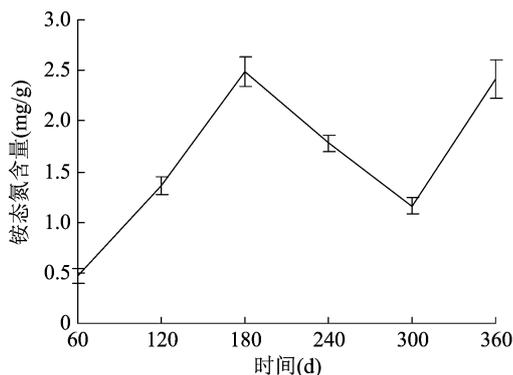
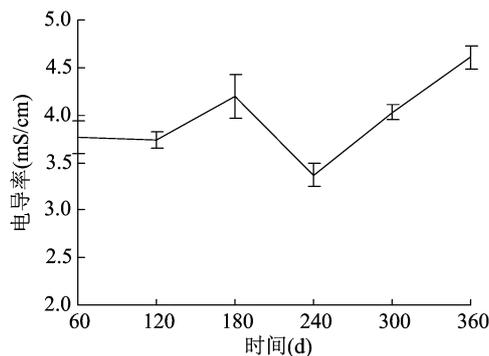
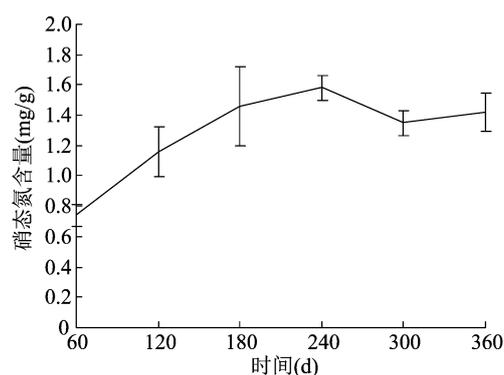


图2 发酵床垫料中铵态氮和硝态氮含量变化



### 2.3 发酵床垫料碳组分变化

由表 1 可知,发酵床垫料中总有机碳含量变化不明显,基本持平,但是 C/N 比呈现波动趋势,可能与氮组分变化有关。胡敏酸(HA)和富里酸(FA)是腐殖酸的主要成分,随着时间推移,胡敏酸含量逐渐增加,其含量在 60 d 时由 17.27 g/kg 增加至 38.73 g/kg,增加了 1.24 倍;而富里酸含量持续下

降,其含量在 60 d 时为 37.53 g/kg,而 360 d 时为 22.32 g/kg,下降了约 70%。胡富比(HA/FA)随着时间的推移逐渐增加,在 300 d 时达峰值 1.77,之后趋于稳定。

### 2.4 发酵床垫料腐熟度变化

种子发芽指数是衡量有机物料腐熟度的重要指标,当种子发芽指数 >80% 时,可认为有机物料处

表1 不同时间段发酵床垫料碳组分变化

时间(d)	总有机碳含量(g/kg)	碳氮比(C/N)	胡敏酸含量(g/kg)	富里酸含量(g/kg)	胡富比(HA/FA)
60	450.00 ± 27.67	22.09	17.27 ± 1.24	37.53 ± 2.58	0.46
120	420.16 ± 10.07	18.61	23.15 ± 1.58	30.81 ± 3.17	0.75
180	398.51 ± 23.72	17.94	21.38 ± 2.17	29.12 ± 1.64	0.73
240	461.86 ± 11.87	20.48	26.50 ± 1.88	27.82 ± 2.28	0.95
300	445.64 ± 19.39	17.49	36.57 ± 2.63	20.62 ± 1.14	1.77
360	457.99 ± 24.03	16.63	38.73 ± 1.32	22.32 ± 1.87	1.74

于完全腐熟状态<sup>[10]</sup>。随着时间的推移,种子发芽指数逐渐升高,经过360 d发酵床垫料种子发芽指数升至55.82% (图3),表明发酵床垫料正在逐渐腐熟,但即使经过1年依然腐熟不完全。

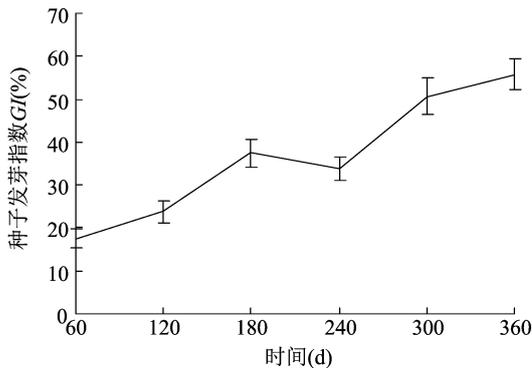


图3 不同时间段垫料种子发芽指数

### 3 讨论

发酵床养猪技术因猪发病率低、猪肉品质高、温室气体排放低<sup>[11-13]</sup>,逐渐被越来越多养殖户所接受。秸秆作为养猪发酵床垫料,不仅可解决秸秆资源化利用问题,同时也为推广生态养殖方式提供新的垫料来源,并且发酵床垫料经过处理后还可作为肥料用于农田,是一举多得的生态循环农业发展模式。本研究以秸秆作为养猪发酵床主要垫料,通过长期监测养猪过程中发酵床秸秆垫料腐解过程中理化性状变化情况,发现垫料腐解过程与堆肥发酵表现特征一致,均是pH值上升伴随着NH<sub>3</sub>的释放,此后NH<sub>3</sub>挥发和硝化菌硝化作用产生的H<sup>+</sup>又引起pH值降低,后随着时间推移又有逐渐回升的趋势<sup>[14]</sup>。因此,可以把发酵床养猪看做一个肥料的生产过程,可通过发酵床管理提高肥料的质量和品质。

有机物料腐解过程是一个矿化和腐殖化作用交替进行的过程,垫料中的腐殖酸由物料中新生成及原有腐殖酸转化而来,有机物料成分、环境条件等均会影响垫料中腐殖酸的含量<sup>[15-16]</sup>。胡敏酸和

富里酸是腐殖酸中的重要组分,HA/FA是评价堆肥腐殖化水平的一个重要指标,能较好地反映堆肥腐殖质组分性质的变化<sup>[17-18]</sup>。本研究中HA/FA随着时间的推移逐渐增加,其结果可能与有机物料腐殖化过程中部分富里酸可能向胡敏酸转变有关<sup>[19]</sup>。曹云等研究发现,猪粪秸秆混合超高温堆肥过程中HA/FA比值逐步上升,有机物料腐殖化程度显著提高<sup>[20]</sup>,本研究结果与之一致。

种子发芽指数也是衡量有机物料腐熟度的重要指标,同有机物料腐解过程中产生的腐殖酸不同,种子发芽指数主要从安全角度来衡量有机物料对植物是否具有毒性。一般情况下,当种子发芽指数>50%时,认为堆肥产品的植物毒性处于较低水平;当种子发芽指数>80%时,可认为堆肥处于完全腐熟状态<sup>[10]</sup>。本研究中所用发酵床秸秆垫料虽然经过1年养猪过程的腐解,但种子发芽指数仅有55.82%,仍具有少量的植物毒性,并未完成腐熟,因此在后续肥料化利用过程中还需要进行无害化处理。

#### 参考文献:

- [1]王久臣,戴林,田宜水,等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J]. 农业工程学报,2007,23(9):276-282.
- [2]毕于运,王亚静,高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究,2010,32(3):1-7.
- [3]彭春艳,罗怀良,孔静. 中国作物秸秆资源量估算与利用状况研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2014,35(3):14-20.
- [4]Turley D B, Phillips M C, Johnson P, et al. Long-term straw management effects on yields of sequential wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in clay and silty clay loam soils in England[J]. Soil and Tillage Research,2003,71:59-69.
- [5]季陆鹰,葛胜,郭静,等. 作物秸秆还田的存在问题及对策[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):342-344.
- [6]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.
- [7]中华人民共和国农业行业标准. 有机肥料行业标准:NY 525—2012[S]. 北京:中国农业出版社,2012.
- [8]土壤腐殖质组成的测定. 焦磷酸钠-氢氧化钠提取重铬酸钾氧化容量法:NY/T 1867—2010[S]. 2010.
- [9]罗佳,刘丽珠,王同,等. 水葫芦和猪粪混合堆肥发酵条件的研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(6):336-339.
- [10]雷平,刘标,尹红梅. 过磷酸钙在病死猪堆肥中保氮效果研究[J]. 农业资源与环境学报,2017,34(3):266-271.
- [11]朱洪,常志州,叶小梅,等. 基于畜禽废弃物管理的发酵床技术研究:Ⅲ高湿热季节养殖效果评价[J]. 农业环境科学学报,2008,27(1):354-358.
- [12]王诚,张印,王怀忠,等. 发酵床词养模式对猪舍环境、生长性能、猪肉品质和血液免疫的影响[J]. 山东农业科学,2009

胡蓉花, 尼金玉, 肖子康, 等. 基于主成分及聚类分析江西吉安植烟区土壤主要养分含量[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 231-238.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.15.042

# 基于主成分及聚类分析江西吉安植烟区 土壤主要养分含量

胡蓉花<sup>1</sup>, 尼金玉<sup>2</sup>, 肖子康<sup>1</sup>, 李红霞<sup>3</sup>, 王 俊<sup>2</sup>, 杨帅强<sup>2</sup>, 沈雪婷<sup>4</sup>, 韩助君<sup>5</sup>, 刘齐元<sup>2</sup>

(1. 江西省烟草公司吉安市公司, 江西吉安 343000; 2. 江西农业大学农学院, 江西南昌 330000;  
3. 吉安市烟草公司峡江分公司, 江西峡江 331409; 4. 吉安市烟草公司安福分公司, 江西安福 343200;  
5. 吉安市烟草公司永丰分公司, 江西永丰 331513)

**摘要:**根据江西省吉安市3个主产烟区22个乡镇97个村的154份植烟土壤样品的主要养分状况和大中微量元素调查结果,分析吉安市植烟土壤养分状况,并对22个乡镇97个村的植烟土壤进行主成分分析和聚类分析。结果表明:(1)植烟区土壤平均pH值为5.74,适宜烤烟种植。土壤有机质含量较为丰富,平均含量为31.88 g/kg。土壤水解性氮含量较为丰富,62.35%的土壤在适宜烤烟种植范围内,69.48%的土壤速效钾含量低于150 mg/kg,处于偏低范围内。(2)土壤交换性钙与交换性镁含量尚为丰富,微量元素有效硼和有效锰含量较低,有效铜和有效锌含量偏高,有效铁、水溶性氯含量极高。(3)主成分分析和聚类分析显示,将97个村的植烟土壤采用聚类分析最短距离法分成3类。Ⅰ类区土壤呈弱酸性、富含有机质,土壤养分含量中等;Ⅱ类区土壤呈弱酸性、有机质含量较另外2区偏低,土壤养分含量整体偏低;Ⅲ类区土壤基本呈中性,土壤整体养分含量较高。

**关键词:**烤烟;土壤养分;大中微量元素;适宜性;主成分分析;聚类分析

**中图分类号:** S572.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)15-0231-08

土壤肥力是影响土壤质量的重要指标,而土壤主要养分含量与土壤肥力密切相关<sup>[1-2]</sup>。不同栽培模式<sup>[3]</sup>、施肥方式<sup>[4-5]</sup>与土壤类型<sup>[6]</sup>导致不同地区

的土壤养分含量产生差异。土壤养分含量的丰缺程度直接影响烤烟生长发育,进而影响烤烟的产质量<sup>[7-8]</sup>。适宜的土壤肥力是保障优质烟叶生产的根本,因此,正确认识与科学评估土壤肥力是准确了解土壤本质及提高作物生产力的手段,从而有助于可持续的集约化<sup>[9-10]</sup>。

江西省吉安市烟草生产主要分布在峡江县、安福县和永丰县,以水稻田为主。其中,峡江县以鳊泥田、潮沙泥田、黄泥田和麻沙泥田为主;安福县以麻沙泥田、黄沙泥田、黄泥田为主;永丰县以潮沙泥田、麻沙泥田和红沙泥田为主,剔除人为因素影响,

收稿日期:2020-09-25

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金(编号:31960418);江西省吉安市烟草专卖局科技项目(编号:吉烟科[2018]4号)。

作者简介:胡蓉花(1970—),女,江西吉安人,高级农艺师,主要从事烤烟生产技术与推广研究, E-mail:1908479316@qq.com;共同第一作者:尼金玉(1994—),男,河南漯河人,硕士研究生,主要从事作物栽培学与作物生理生化研究, E-mail:nijinyund@163.com。通信作者:刘齐元,博士,教授,主要从事作物生理生态与遗传育种研究。 E-mail:qiyuan@126.com。

(11):110-112.

[13] Groenestein C M, van Faassen. Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 65: 269-274.

[14] 吴梦婷, 梅 娟, 苏良湖, 等. 硫酸亚铁和过磷酸钙对牛粪秸秆混合堆肥氮损失和腐殖化的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(10): 1353-1361.

[15] 唐景春, 孙 青, 王如刚, 等. 堆肥过程中腐植酸的生成演化及应用研究进展[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 73-77.

[16] 姚 武, 顾燕青, 巫 阳, 等. 畜粪堆肥过程中腐殖质形成特征研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2014, 13(5): 517-522.

[17] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(22): 5444-5453.

[18] Adani F, Genevini P L, Crasperi F, et al. A new index of organic matter stability[J]. Compost Sci Util, 1995, 3(2): 25-37.

[19] Wu J, Zhao Y, Zhao W, et al. Effect of precursors combined with bacteria communities on the formation of humic substances during different materials composting[J]. Bioresource Technology, 2017, 226: 191-199.

[20] 曹 云, 黄红英, 吴华山, 等. 猪粪稻秸超高温预处理促进后续堆肥腐殖化条件优化[J]. 中国环境科学, 2019, 39(5): 2055-2062.