

陶志影,张林,刘凯,等. 农业废弃物有机肥发酵工艺研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2020,48(10):69-72.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.10.012

农业废弃物有机肥发酵工艺研究现状与展望

陶志影¹,张林¹,刘凯¹,何金成^{1,2}

(1. 福建农林大学机电工程学院,福建福州 350002;2. 现代农业装备福建省高校工程研究中心,福建福州 350002)

摘要:农业生产后残留了大量的的废弃物,利用农业废弃物发酵有机肥的工艺技术十分重要。笔者主要介绍农业废弃物发酵有机肥的工艺,简述了有机肥发酵的分类方式、一般发酵工艺方法和有机肥发酵的基本原理,明确了有机肥发酵对农业废弃物处理的重要性,分析了国内外有机肥发酵研究的发展现状和国内有机肥发酵存在的问题,提出了农业废弃物发酵有机肥的发展趋势,以期今后农业废弃物发酵制备有机肥提供研究基础。

关键词:农业废弃物;有机肥;发酵工艺;研究现状;展望

中图分类号:S188⁺.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)10-0069-04

农业废弃物是指在农业生产中所丢弃的剩余物,数量大,种类多^[1],主要是畜禽粪便和农作物秸秆等^[2~3]。农业废弃物中含有大量的有机质,尤其是农作物秸秆和畜禽粪便中有机质含量非常高,蛋白质、纤维素等含量丰富^[4~5]。据统计,我国每年的农业废弃物中含有粪尿类 40 亿 t^[6],农作物秸秆 8.3 亿 t^[7],城市生活垃圾 2 亿 t^[8]。但巨大的农业废弃物总量没有得到充分有效的利用,给空气、土壤、水质等造成了严重的污染^[9],超出了环境的承载能力,造成资源浪费,生态恶化^[10~12]。随着现代农业的发展,化肥使用的普及,对土壤肥力影响显

著,土壤肥力下降明显^[13],严重影响了农作物的产量,使化肥的需求量日益增大,提高了农业生产成本,形成了恶性循环,严重影响我国农业向绿色、生态、有机农业的发展。而将农业生产中的秸秆和畜禽粪便进行有机肥发酵,可得到最大化的经济效益和生态效益^[14],实现废弃资源的循环利用^[15~16]。农业废弃物发酵堆肥很好地解决了这个问题,将农业秸秆锯末与畜禽粪便结合起来进行发酵堆肥,生产出的有机肥既降低了化肥的使用,保护土壤不被污染,增加了土壤中的营养元素和有机质含量^[17],也解决了农业废弃物处理问题,符合绿色农业发展的理念。

收稿日期:2019-04-28

基金项目:福建省星火计划项目(编号 S20180011);农业农村部设施农业工程重点实验室开放课题(编号:SE201805);福建省高峰高原学科项目(编号:712018014)。

作者简介:陶志影(1996—),男,江西南昌人,硕士研究生,主要从事畜禽粪污发酵试验研究。E-mail:tao_zhiying@163.com。

通信作者:何金成,博士,副教授,主要从事农业废弃物处理及资源化利用装备研究。E-mail:bighjc@163.com。

363(1/2):331-344.

[70] Haseeb M T, Hussain M A, Yuk S H, et al. Polysaccharides based superabsorbent hydrogel from Linseed: dynamic swelling, stimuli responsive on-off switching and drug release[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 136(103):750-756.

[71] 张翼夫,李问盈,胡红,等. 盐碱地改良研究现状及展望[J]. 江苏农业科学,2017,45(18):7-10.

[72] 舒秀丽,赵柳,孙学振,等. 不同土壤改良剂处理对连作西洋参根际微生物数量、土壤酶活性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1289-1294.

[73] 王志玉,刘作新. 土壤改良剂 MDM 对草甸碱土和水稻生长的

1 有机肥发酵分类及原理

1.1 有机肥发酵原理方法

有机肥发酵按需氧情况可分为好氧发酵与厌氧发酵。其中,有机肥无氧发酵是指厌氧性微生物在密闭的、没有游离氧气的缺氧环境下,进行频繁

影响[J]. 干旱地区农业研究,2004(2):31-34.

[74] 唐泽军,雷廷武,赵小勇,等. PAM 改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(4):216-219.

[75] 陈琼贤,郭和蓉,彭志平,等. 土壤改良剂对龙眼的增产效应[J]. 果树学报,2004,21(2):185-187.

[76] 王峰,郭琪玖. 秸秆型土壤改良剂对马铃薯增产效应的研究[J]. 湖北农业科学,2015(18):75-78.

[77] 王丹,黄超,李小东,等. 脱硫石膏配施不同量有机物料对盐碱土壤改良效果及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(1):31-34.

而活跃的活动,消耗有机物中氧化物的氧进行呼吸。其中的腐败分解是厌氧的腐败微生物发酵或者腐败发酵来分解有机物的过程。发酵过程先是真菌分解有机物,产生一些腺苷三磷酸(ATP),来给细菌、放线菌分解的过程提供能量,最终成功分解有机物,转化成含碳、氮元素较高的有机肥。

有机肥有氧发酵是指利用好氧菌类,在有氧条件下,进行有氧呼吸活动,分泌出分解酶,如加水分解酶、酿酶,从而将有机物腐解发酵分解或者酝酿发酵转化成 CO_2 、ATP、水、土壤改良剂及有机肥等^[18-19],其中有一部分生成物有防治农田病虫害功能,且能提高农作物品质,替代农药的施用,物料有氧发酵最终产物为肥力高的有机肥。有氧发酵过程中适当地加入一些人工菌种能较为有效地加快发酵速率。有氧发酵有机肥工艺流程见图 1。

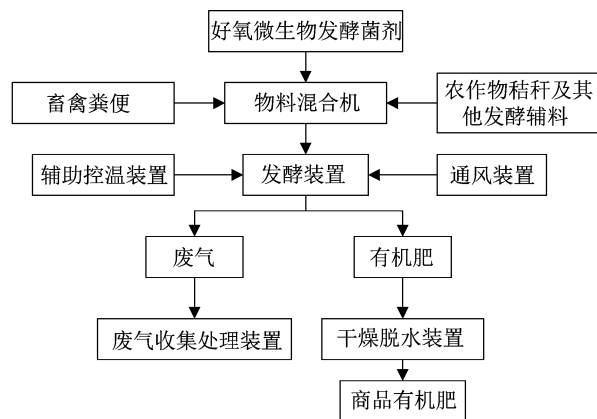


图1 有氧发酵有机肥工艺流程

有氧发酵和厌氧发酵在一些场合各有应用,本研究重点介绍有氧发酵工艺。

1.2 有机肥发酵工艺

1.2.1 垛式堆肥系统

垛式堆肥系统按通气方式分为条垛式和静态通风垛式,条垛式系统是将秸秆和粪便的混合物堆积成窄长垛形,利用翻抛机械进行定期的翻抛,通风,保持物料堆中时刻都有适当的氧气。静态通风垛式系统是将发酵原料堆积成垛,与条垛式系统相比不同的是,在堆肥发酵期间不用翻堆,通过曝气设备(鼓风机与堆底的通风管道)来向料堆通风,保证料堆内的氧气含量,使系统能正常工作。通风系统还可以通过蒸发水分来散热,进而调节发酵温度处于合适的范围内。通风时不仅为好氧菌种分解有机物提供氧气,同时也能带出料堆发酵时产生的 CO_2 和 NH_3 等气体。垛式堆肥就是先将畜禽粪便、好氧菌剂及发酵用的其他物

料进行混合,把 C/N 比调节为 20 : 1 到 35 : 1 之间,含水量在 50% ~ 65%;再将混合料堆成垛形,高度为 2.0 ~ 2.5 m,宽度在 2.0 ~ 5.0 m 范围内调节,长度视实际情况而定。垛式堆肥系统,操作方法较简单,投资少,运行成本低,机械化程度较低,无需专门建厂房,但占地较大,会受天气影响,并会有一些臭味,造成第二次污染周边环境。

1.2.2 搅动固定床式堆肥系统

搅动固定床式堆肥系统是将新鲜的畜禽粪便、微生物发酵菌剂及其他发酵辅料混合均匀后输入反应发酵仓内。发酵仓是多层平面结构,物料在发酵仓内通过翻板的翻动从第一层逐层下移,根据发酵的程度,各平面间发酵的时间不同,在发酵仓下部,多根支管组成的通气管连接风机进行通风,满足发酵所需氧气量,利用发酵的产热,加快发酵速率,最终产物经除臭、脱水、干燥等处理制成有机肥^[20]。产生的废气由反应器上部的废气出口收集处理后排放。该方法可以对废气进行收集处理,不会造成第二次污染环境,机械化程度较高,发酵过程易控制,可以连续地发酵有机肥。但需投入的成本高,发酵质量不易保证。

1.2.3 槽式发酵堆肥系统

将农作物秸秆锯末和微生物发酵菌剂混合好,倒入高为 2 m 的发酵槽中铺放好,储粪槽在两边发酵槽中间,储放着新鲜禽畜粪便。粪污通过喷淋机工作,定期加在发酵槽中,发酵过程产生的生物热提高发酵温度杀灭有害病菌,但不能使温度过高,温度过高影响发酵菌剂活性。利用翻抛机每天翻抛 1 ~ 2 次,保证菌种发酵过程的需氧量,调节发酵温度,蒸发水分,加快发酵速率。发酵完全后物料会变得松散颗粒,臭味消失,并对发酵物进行干燥处理,最后变成品质优良的有机肥。该方法优点是机械自动化程度高,发酵速度快,过程简单,人工成本低;不足是需要设备投资较大,需要建专门的厂房,占地大,发酵期间会有刺激性气味,影响环境。

1.2.4 高温好氧发酵罐发酵堆肥系统

高温好氧发酵罐发酵堆肥系统主要由发酵室、液压动力系统、主轴传动系统、上料提升系统、自动高压送风系统、出料系统、除臭系统和自动控制系统等组成^[21],将畜禽粪便、高温生物发酵菌和其他发酵辅料按照一定比例混合均匀,使物料具有良好的通透性,达到高温好氧发酵条件。再通过上料系统自动提升到发酵室上,落入发酵罐内,在发酵室中高温微生

物进行好氧发酵活动来对物料进行生物分解、产生的生物热形成高温来对物料进行腐熟,灭杀有害细菌和病原体。在发酵的同时,通过送风系统给发酵罐内输送高压空气,保证罐内的含氧量,并和辅助加热系统一起调节温度升降。升温与送风还可以加快发酵过程中水分的蒸发。罐内温度保持在 50 ~ 65 ℃,最高不超过 80 ℃,高温状态维持 7 d 左右,到分解末期速度减慢,温度也渐渐降低,整个发酵过程大约 10 d 左右,发酵好的有机肥通过落料口,利用传输带输出。发酵过程的废气可通过除臭系统收集处理后排放。该方法与传统发酵方法相比,占地小,机械化、自动化程度高,节约人工成本,可统一收集处理废气,不会造成环境二次污染,不锈钢材质,耐腐蚀耐用,且有保温设施,不易受外界环境影响,但设备成本高,耗能大,适用于具备一定资金实力的小型养殖场。

2 国内外有机肥发酵发展状况

2.1 国内发展状况

我国早在 12 世纪就提出过天无废物的思想,近年来,国内也有学者做了粪污发酵有机肥方面的研究。王旭梅等研究了水气对仓式静态连续好养堆肥发酵工艺的影响,得出水分对整个发酵过程有重要的影响,可通过控制水分来调控发酵过程,且发酵过程水分蒸发快,通气好,污染小,可通过除臭菌进行除臭^[22]。匡石滋等对香蕉废弃茎秆与鸡粪堆肥进行研究,通过控制发酵过程中 C/N 比、水分含量、温度、pH 值等来调控发酵过程,将最终产物中有机质、碳、氮、磷的含量作为有机肥品质判断的标准^[23]。郑君花等利用磷矿开采中废弃的尾矿粉和农作物秸秆进行有机肥料固体发酵研究,通过单因素试验结果,得出尾矿粉用量、料水比、发酵时间等对微生物解磷效果有显著的影响^[24]。扎史品楚等有对有机肥发酵的概念、工艺、过程、原理、微生物种类功能及研究现状进行了简述,介绍说明了有机肥发酵的效果和应用前景^[25]。林金新等以白酒糟和混和发酵菌株(4 种芽孢杆菌、2 种霉菌与酿酒酵母)进行固态发酵有机肥,得到初始含水量、酒糟量、初始 pH 值、接种量与发酵时间 5 个因素对最终产物中全氮、全磷、全钾含量的影响,其中 pH 值对发酵过程影响最大,确定发酵时间为 6 d^[26]。郭倩倩等研究了 C/N 比、pH 值、翻抛次数、堆肥辅料种类及粒径等因素对餐厨垃圾发酵有机肥的影响,发

现了 C/N 比有显著影响,不宜过低,在 20 ~ 27 范围内最佳,辅料选稻草较佳,pH 值影响较小,工艺的生产成本较低^[11]。上述研究说明我国对农业废弃物发酵有机肥研究已经达到一定水平,但相比国外仍然有一定差距,还没有形成系统标准。

2.2 国外发展状况

农业废弃物有机肥发酵工艺在国外很早就开始了研究,大部分地区采用的是畜禽粪便与农作物秸秆锯末进行发酵生产有机肥。Illmer 等研究了家庭堆肥中转化堆肥材料的 2 种不同变化,堆肥的机械混合能够更快更好地促进有机废弃物的分解,提高最终产品的质量^[27]。Parkinson 等利用稻草和牛粪堆肥研究了转化方式和季节天气对好氧堆肥过程中氮磷流失的影响,得出单一的、延迟的转化方式和季节天气会造成堆肥过程中氮磷的损失^[28]。Brodie 等对畜禽粪便堆肥生产中的静态法与翻耕法进行比较研究,得出翻耕法的发酵时间是静堆法的 50%,经过筛选的堆肥比未经过筛选的价值更高^[29]。Bernal 等对畜禽粪便堆肥的过程、肥料特性及影响堆肥的因素进行了研究,得出选择合适的膨松剂对堆肥速率和肥料品质有重要的影响,堆肥的成熟度可根据微生物活性的稳定性和腐殖质含量来判断,且需要对不同国家的标准进行标准化^[30]。国外的畜禽粪便发酵有机肥工艺已实现工厂化模式,发酵速率快,可处理的畜禽粪便数量大,发酵的有机肥质地优^[31]。

3 存在问题与展望

3.1 存在问题

国外对有机肥发酵的研究已经非常成熟,有大量的理论基础和实际应用。国内的堆肥研究起步比较晚,没有统一的发酵结果评定标准,工艺也不成熟,存在着一些问题。(1)国家发展政策缺乏,目前我国大多是以项目研究的形式来发展农业废弃物资源化,而没有出台相关的系统性政策,导致农民的参与积极性不高,利用农业废弃物发酵生产有机肥的意识不强。(2)理论研究较少,核心技术缺乏,而且机具不太先进,机具的生产成本较高,工作效率和工作质量不是特别理想;各地区的气候、物料有差异,我国的地域范围广,各地区的农作物种类和畜禽养殖种类不同,用于进行有机肥发酵的原料搭配也就各有差异,发酵工艺和发酵方法也不尽相同,没有统一的工艺评定标准,在进行农业废弃

物发酵有机肥时,主要依靠经验摸索,不是使用科学系统的方法进行生产。(3)缺乏大型的专门从事有机肥生产的企业,利用农业废弃物发酵生产有机肥前期需要一定的成本,在国内没有大型的企业去专门从事有机肥的生产,只有一些小规模的处理厂,大多比较零散。

3.2 展望

近几年,国家对绿色农业、生态农业、有机农业、科技农业越发重视,农业废弃物资源化利用也得到广泛的关注。国家也出台了许多相关政策,大力支持农业废弃物发酵有机肥行业的发展;国内许多高校与科研院所,也投入了大量的精力研究农业废弃物发酵有机肥,使农业废弃物有机肥发酵工艺更加成熟,有机肥发酵机具也更加高效,生产出的有机肥也更有品质。在国家政策的支持下,许多企业也进驻到农业废弃物发酵生产有机肥这个行业,产出对农作物生长作用巨大、能提高土壤肥力的有机肥。发酵生产产业废弃物不仅能保护环境和土地,而且能响应国家绿色农业发展的政策。

参考文献:

- [1] 孙永明,李国学,张夫道,等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报,2005,21(8):169-173.
- [2] 赵立欣,孟海波,沈玉君,等. 中国北方平原地区种养循环农业现状调研与发展分析[J]. 农业工程学报,2017,33(18):1-10.
- [3] 李文哲,徐名汉,李晶宇. 畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J]. 农业机械学报,2013,44(5):135-142.
- [4] 魏帮鸿,杨志刚,林月霞,等. 有机肥发酵技术研究进展[J]. 上海畜牧兽医通讯,2016(1):27-29.
- [5] 喻东. 鸡粪的微生物快速发酵和腐熟技术的研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.
- [6] Cao Y, Chang Z Z, Wang J D, et al. Potential use of anaerobically digested manure slurry to suppress *Phytophthora* root rot of chilli pepper[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 168:124-131.
- [7] 国家发展和改革委员会. 中国资源综合利用年度报告[J]. 再生资源与循环经济, 2014, 7(11):2-6.
- [8] 马力,陈永忠,陈隆升,等. 生物有机肥的应用现状及前景展望[J]. 农业科技通讯, 2013(5):142-143.
- [9] 袁兴茂,范国昌,陈林,等. 畜禽粪便高温快速发酵装备设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊1):413-418.
- [10] 马骧轩,蔡红珍,付鹏,等. 中国农业固体废弃物秸秆的资源化处置途径分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1):168-174.
- [11] 郭倩倩,吴拥军,韩丽珍,等. 餐厨垃圾自然升温堆肥工艺研究[J]. 环境工程学报, 2013, 7(7):2705-2710.
- [12] 沈思军,潘晓亮,侯如梁,等. 有机肥生产过程中养分损失的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(14):54.
- [13] 梁晓琳,孙莉,张娟,等. 利用 *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 研制复合微生物肥料[J]. 土壤, 2015, 47(3):558-563.
- [14] 徐宇鹏,朱洪光,成潇伟,等. 农业废弃物资源化利用产业进化与多产业联动研究[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(4):90-94.
- [15] 杜艳艳,赵蕴华. 农业废弃物资源化利用技术研究进展与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2012, 39(2):192-196.
- [16] 李颖,王竞,李娟,等. 有机肥发酵常用物料肥效试验[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(10):268-272.
- [17] 张昌伟,彭胜,张琳杰,等. 杜仲叶渣固态发酵制备有机肥的工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2014, 34(6):141-145.
- [18] Qian X Y, Shen G X, Wang Z Q, et al. Co-composting of livestock manure with rice straw: characterization and establishment of maturity evaluation system[J]. *Waste Management*, 2014, 34(2):530-535.
- [19] 郭小夏,刘洪涛,常志州,等. 有机废物好氧发酵腐殖质形成机理及农学效应研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(6):489-498.
- [20] 段永兰. 畜禽粪便生产生物有机肥的发酵技术和发展前景[J]. 湖北畜牧兽医, 2011(2):12-13.
- [21] 罗文杰,李薇,马娟. 养殖粪污生产有机肥发酵罐设备及工艺研究现状分析[J]. 新疆畜牧业, 2018, 33(7):15-16, 27.
- [22] 王旭梅,魏自民,王世平. 仓式静态连续好氧堆肥发酵工艺的水气研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(11):288-292.
- [23] 匡石滋,田世尧,刘传和,等. 香蕉废弃茎秆与鸡粪堆肥化利用技术规程[J]. 广东农业科学, 2011, 38(13):54-56.
- [24] 郑君花,王修俊,冯廷萃,等. 利用磷矿生产含磷有机肥料的固体发酵研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(14):61-65, 79.
- [25] 扎史品楚,农传江,王宇蕴,等. 生物有机肥的发酵工艺及应用效果研究[J]. 环境工程, 2015, 33(增刊1):1011-1014, 1020.
- [26] 林金新,蔡少丽,王芳婷,等. 白酒糟糟的多菌种混菌固态发酵制备有机肥[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2017, 33(3):69-77.
- [27] Illmer P, Schinner F. Compost turning - a central factor for a rapid and high - quality degradation in household composting [J]. *Bioresource Technology*, 1997, 59:157-162.
- [28] Parkinson R, Gibbs P, Burchett S, et al. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on Nitrogen and Phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 91(2):171-178.
- [29] Brodie H L, Carr L E, Condon P. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production[J]. *Compost Science & Utilization*, 2000, 8(3):178-189.
- [30] 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.
- [31] 杜艳艳. 农业废弃物资源化利用技术的研究进展和发展趋势[C]. 十一五农业环境研究回顾与展望——第四届全国农业环境科学学术研讨会, 呼和浩特, 2011.