

纳米膜覆盖在鸡粪好氧堆肥上的试验研究

马吉云¹, 王海忠²

(1. 青海省国有科技资产经营管理有限公司, 青海 西宁 810007;

2. 青海优垦生物科技有限公司, 青海 海东 810700)

摘要: 纳米膜覆盖法好氧堆肥是针对传统好氧堆肥过程中氨气等恶臭气体排放污染环境以及造成氮损失的问题, 以强制曝气静态堆肥为基础的优化型好氧堆肥模式。为研究覆盖纳米膜对畜禽粪便好氧堆肥的过程及理化指标的影响, 以鸡粪、玉米秸秆为堆肥材料, 采用 e-PTFE 纳米复合膜为覆盖材料, 在有机肥发酵现场进行了静态好氧槽式堆肥试验, 试验中对堆体温度、pH 值、氧浓度、C/N 及 GI 进行监测。结果表明: 纳米膜覆盖能有效促进有机物质的降解和堆肥物料的腐熟, 升温迅速, 高温持续时间长。与对照相比, 膜覆盖堆体 ≥ 55 °C 时间延长了 4 d; GI 数据显示, 膜覆盖处理的堆料达到无害化要求时间提前了 5 d。

关键词: 纳米膜; 好氧堆肥; 鸡粪; 理化性质

中图分类号: S831.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0488-5368(2025)02-0063-04

Experimental Research on Nano Film Coverage for Aerobic Composting of Chicken Manure

MA Jiyun¹, WANG Haizhong²

(1. Qinghai State-Owned Science and Technology Assets Management Co., Ltd, Xining, Qinghai 810007, China;

2. Qinghai Youken Biotechnology Co., Ltd, Haidong, Qinghai 810700, China)

Abstract: The nano-film-covered aerobic composting method is an optimized composting model based on forced aeration and static aerobic composting, designed to mitigate environmental pollution and nitrogen loss caused by the emission of odorous gases such as ammonia during conventional aerobic composting. To evaluate the effects of nano-film coverage on the composting process and the physicochemical properties of livestock and poultry manure, a static aerobic tank composting experiment was conducted at an organic fertilizer fermentation site. Chicken manure and corn stover served as composting materials, and e-PTFE nano-composite film was used as the covering material. The temperature, pH, oxygen concentration, C/N ratio, and germination index (GI) of the compost were monitored throughout the experiment. The results showed that nano-film coverage significantly enhanced the degradation of organic matter and the maturity of compost materials. It caused a rapid temperature increase and prolonged the high-temperature phase. Compared to the control group, the membrane-covered treatment maintained a temperature of ≥ 55 °C for an additional four days; Furthermore, GI data indicated that the membrane-covered treatment reached the harmlessness threshold five days earlier than the control group.

Key words: Nano-membrance; Aerobic composting; Chicken manure; Physicochemical property

近年来,随着我国畜禽养殖业的迅猛发展和集约化程度的提高,畜禽粪污的污染问题日益突出,

国家为此不断加强了重点流域农业面污染源综合治理和畜禽粪污资源化利用标准体系的建设。我

收稿日期:2024-08-02 修回日期:2024-09-03

基金项目:成果转化项目禽类养殖场废弃物利用技术与集成示范(2021-NK-28)。

第一作者简介:马吉云(1981-),男,硕士研究生,副研究员,主要从事科研管理、企业管理等工作。

通信作者:王海忠。

国每年畜禽粪便约为 38 亿 t,其中鸡粪占很大比重,鸡粪中的尿酸和未消化的动物脂肪、蛋白质等有机物含量较高,经生物降解可产生大量的氨、硫化氢和挥发性脂肪酸等气味物质污染环境^[1]。作为畜禽粪便无害化处理和资源化利用的有效方式之一,好氧堆肥技术在目前已得到普遍的应用^[2]。好氧堆肥大多仍依靠机械翻抛来实现供氧,由此常伴随氨气和硫化氢等恶臭气体产生和释放,不仅对周围的环境和人畜健康带来影响,而且造成巨大的氮素损失^[3]。选用半渗透纳米膜覆盖好氧堆肥发酵技术,可有效解决发酵过程中臭气产排、环境污染和养分损失的问题^[4],同时可简化作业环节、降低消耗,提高堆腐效率。本试验采用纳米膜覆盖技

术,在鸡粪好氧静态堆肥中对一些相关的理化性质做了监测与分析,研究纳米膜对鸡粪静态好氧堆肥的影响,为今后的应用提供基本依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鸡粪来源于青海省海东市平安富硒产业开发有限公司蛋鸡养殖基地,玉米秸秆来源于海东市平安区鑫科种养殖专业合作社,原料成分指标见表 1。腐熟剂由陕西邦之本生物菌制造有限公司提供,为鸡粪专用型复合菌剂,有效活菌数 $\geq 50 \times 10^8$ cfu/mL。

表 1 堆肥材料主要成分

堆肥材料	粗有机物 (g/kg)	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	水分 /%	C/N
鸡粪	301.5	173.6	18.9	6.8	11.7	65.1	9.2
玉米秸秆	788.7	457.1	7.8	1.4	12.3	20.3	58.5

1.2 试验设备系统

试验采用青岛田瑞科技集团有限公司所提供的纳米膜好氧堆肥发酵系统,主要由纳米膜、高压送风系统、堆肥监控系统组成。

纳米膜为经多道工序制成孔径 200 nm 的复合膜,核心层为具有特殊选择透过性的 e-PTFE 半透膜材料,内外均为高抗紫外线、耐腐蚀的聚酯纤维材料。发酵过程中允许水蒸气、二氧化碳等物质透过,将硫化氢、氨气、甲硫醚等恶臭气体及病原菌、灰尘有害物质截留在膜内,阻控其排放。

高压送风系统由供风机所输出气体经堆体下方铺设的布有网孔的送风管道送出,经间歇式曝气,使堆体内部处于微正压状态,以确保氧气均匀

分布,空气与堆料充分接触^[5]。在堆体底部产生的渗滤液可由网孔渗入送风管道,汇入渗滤液收集池内,进入液体肥发酵工艺。

在鸡粪堆体内间隔性插入温度和氧气传感器与电脑端连接组成堆肥监控系统^[5],通过传感器反馈至控制器调控送风机组的加热器状态和通风强度,对粪堆温度、氧浓度进行实时监控。

发酵场地设计为宽 4 m×长 20 m 的 U 型发酵槽,水泥地坪,三侧为 150 cm 高的墙体。沿长边方向在水泥地面等距开三个风管槽,铺设送风管(带网孔)。送风管前端连接风机和控制柜,后端连接总管道通入渗滤液收集池,见图 1。根据试验需要,同时设计了两个独立发酵槽,并排建造。

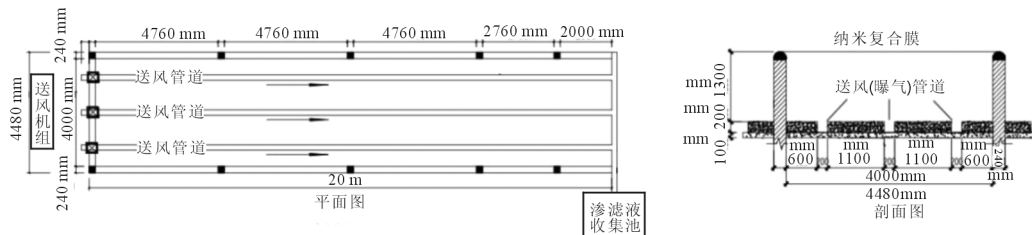


图 1 静态好氧槽式堆肥示意图

1.3 试验方法

试验于 2023 年 7~8 月在海东市平安区平安镇白家村青海优垦生物科技开发有限公司粪肥发

酵车间进行,采用静态好氧槽式堆肥模式。将玉米秸秆粉碎成 5~10 cm 小段,按照秸秆 24%、鸡粪 48%、水 28% 的比例(重量比)充分混合,混合后物

料含水量约 60% 左右。在发酵槽内堆制时将腐熟菌剂按 0.5% 的用量混入物料中,堆料紧实均匀一致,高度控制在 1.5 m 左右,盖上纳米膜并保持密封。沿发酵槽纵向等距选 3 处作为监测点,将温度和氧浓度探测杆插入堆体,沿垂直方向分别将距堆顶部 60 cm 和 120 cm 处作为检测和取样点。启动自动化控制系统,供风设备控制通风量在 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右。以不覆盖纳米膜作为对照,试验历时 24 d。

1.4 测试方法

温度和氧浓度的测量:将堆内上、下两层的平均数作为该点的值,3 个监测点的平均数作为该次的值,9:00 和 17:00 点两次测量的平均数作为当天的值。

在堆肥当天及第 3 天、6 天、9 天、12 天、15 天、18 天、21 天和 24 天对发酵物料进行采样,按照多点混合的方法,即在堆体的上下两层各取等量的样品混合成一个点的样,按此办法将 3 个监测点再混合均匀作为总混合样用于项目分析。

每次取样后检测堆料的 pH 值、OM、总 N、C/N、GI 等指标。酸碱度测定采用 pH 计法,全碳及有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮-开氏定氮法^[6]。

pH 值测定:称取堆肥鲜样 10 g 加入 100 mL 蒸馏水,在室温下充分振荡提取 1 h,静置 30 min,过滤后取滤液作为测试液,用 PHS-3CPH 计测定。

种子发芽试验:称取堆肥样品 10 g 加入 100 mL 蒸馏水,在室温下充分振荡提取 1 h,静置 30 min,过滤。在 9 cm 培养皿中铺上 2 张滤纸,吸取 5 mL 滤液加入,在滤纸上均匀点播 50 粒均匀饱满的“津研 4 号”黄瓜种子,在 30 °C 下避光培养 48 h,统计发芽率和测量根长。 $\text{GI} = \text{堆肥浸提液的种子发芽率}(\%) \times \text{种子平均长度}(\text{mm}) \times 100 / \text{去离子水的种子发芽率}(\%) \times \text{种子平均长度}(\text{mm})$,每个样品做 3 个重复,以蒸馏水作对照^[7,8]。

2 试验结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化

在堆肥的表观特征中,温度是最为常用的指标。在图 2 中,覆膜处理与对照表现相同的温度变化趋势,在第 2 天堆体温度均已超过 50 °C 进入升温期。与对照相比,覆膜处理升温速度更快,在第 3 天已达到 75.5 °C,比第 4 天达到最高值(71.7 °C)的对照高 3.8 °C。在高温持续时间上,覆膜处理高于 55 °C 时间为 13 d,比对照组(9 d)有所延

长,更有利于将堆肥中寄生虫(卵)和病原菌杀灭,这与马双双等^[3](2017)的试验结果是一致的。堆体温度是微生物活动状况的重要标志,堆肥初期堆温能够快速上升,是由于堆料初始水分、C/N 适合以及曝气供氧充分,使有机物质被微生物快速分解,释放二氧化碳和水及有机酸类,所产生大量的热使堆温迅速上升达到了 50 °C 以上。曲线显示,覆膜处理的堆温均高于对照,可能在于纳米复合膜所具有的保温性能减少了热量散失,而通过曝气又会形成一个微正压的膜内封闭空间,保证了氧在堆体内均匀和充分的供应^[9],提高了微生物活性及有机质降解速率,释放出大量的热量,增加堆体的温度。

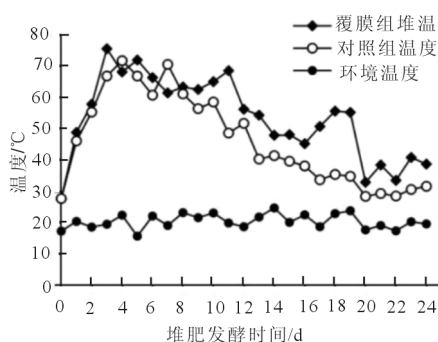


图 2 堆肥过程中温度的变化

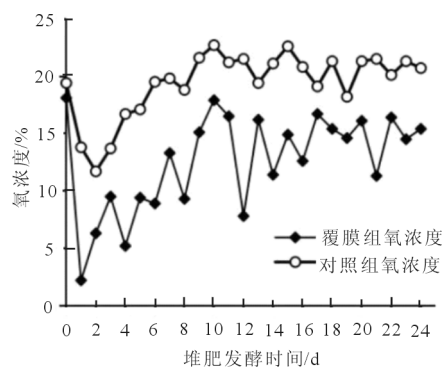


图 3 堆肥过程中氧气体积分数的变化

2.2 堆肥过程中氧体积分数的变化

微生物将有机质分解,释放出二氧化碳和水,氧为其提供了必要条件,故氧的浓度也反映了微生物的活动状况。从图 3 中两个堆体氧体积分数动态变化曲线可以看出,在堆肥的前 4 d,氧浓度均呈现迅速降低,与此阶段微生物的集中分解有机物、大量消耗氧有关,同时伴随着大量的热产生。从两条曲线相比较看出,对照中氧的浓度始终高于覆膜处理,可能是覆膜状态下堆体内氧的利用效率提高,以及纳米膜的半透性使堆体内发酵产生的温

室气体和环境恶臭气体滞留的原因^[10]。

2.3 堆肥过程中 pH 值的变化

作为微生物发酵的一个重要条件,适宜的 pH 值更有利于微生物的分解作用,而微生物的代谢活动又会影响着堆体 pH 值的变化。堆肥初期由于微生物剧烈作用,有机质被降解产生大量的小分子有机酸,使堆肥体系 pH 值急剧降低,随着热量的聚集和温度上升微生物的代谢更加活跃,又加速了蛋白质分解产 NH_4^+ 的速率,铵态氮积累使 pH 值持续上升。图 4 中的两条 pH 值曲线均表现出先降后升的变化规律,其中覆膜处理在堆肥初期的 pH 降到 5.89,对照降到 6.48;而在中后期 pH 值均高于对照,最大高出 0.41。说明覆盖纳米膜后,前期在密闭和曝气形成的微正压状态及其它适宜条件下微生物相对更活跃,产生的有机酸更多,中后期有机氮矿化产生的 NH_4^+ 等被滞留在膜内,没有释放到环境中,故 pH 值高于对照。

2.4 堆肥过程对 C/N 的影响

从图 5 中的变化曲线可以看出,覆膜处理和对照的 C/N 始终都在下降,而且均表现出在堆肥前期快速下降、后期下降平缓的趋势。卜贵军等^[15]研究表明,有机物的降解主要在堆肥初期和高温期,由于微生物代谢活跃,有机质被迅速分解产生有机酸和无机酸(以 CO_2 形式散失),而 N 素损失少,致使 C/N 快速下降。图中显示出堆肥的前 3 d, C/N 从初始的 25.5 分别降到 18.3 和 19.8,在腐熟期可能由于微生物活性降低导致 C/N 下降缓慢,最后维持在 13~15 之间。从两条曲线数值比较来看,说明覆盖纳米膜更能促进堆肥过程中有机质的分解。

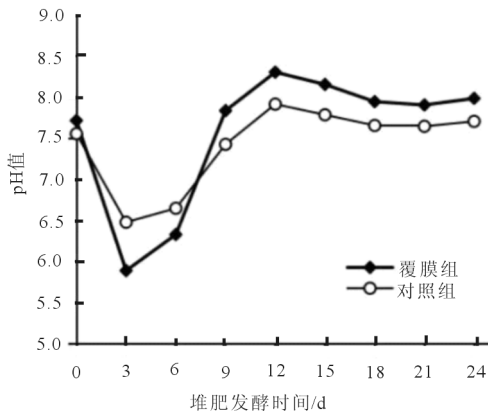
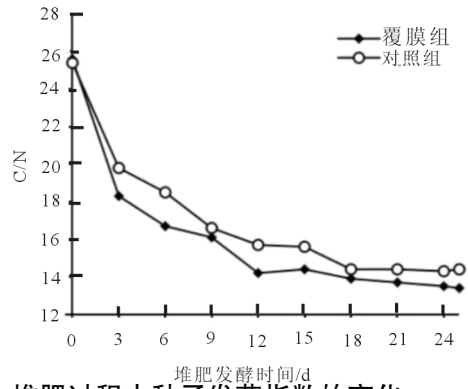


图 4 堆肥过程中 pH 值的变化

图 5 堆肥过程中 C/N 的变化



2.5 堆肥过程中种子发芽指数的变化

发芽指数 (GI) 是 1981 年由 Zucchini 首次提出,鉴于其实用意义,发芽指数 (GI) 被认为是判断堆肥无害化和腐熟程度的最好参数而广泛应用,一般认为,当 $\text{GI} \geq 50\%$ 时,堆肥对植物已经没有毒性;当 $\text{GI} \geq 80\%$ 时,被认为堆肥已经腐熟^[11,16]。图 6 显示,覆膜组处理和对照 GI 值随着堆肥时间的推移均呈上升趋势,从曲线变化看,覆膜处理在第 11 天时 GI 已达到 80%,而对照在 16 d 才达到,说明覆盖纳米膜能够加快鸡粪的腐熟及无害化进程,缩短了从堆制初期对种子发芽的抑制到堆料完全腐熟无害的时间。

3 结论

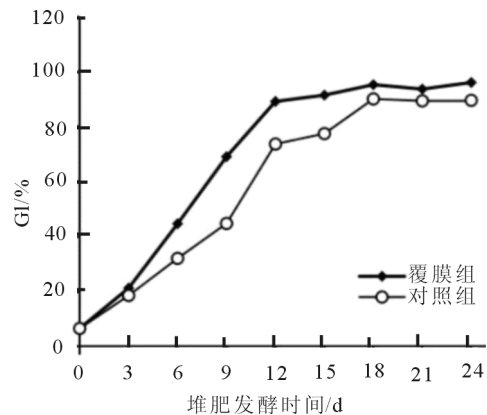


图 6 堆肥过程中发芽指数 (GI) 的变化

(1) 在鸡粪静态好氧槽式堆肥中,采用纳米膜覆盖技术,能有效促进有机物质的降解,加速堆体内部的物质转化和物料的腐熟,堆体升温迅速并延长了高温时间。试验中,覆膜处理第 2 天便进入 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 以上的高温期, $\geq 55\text{ }^\circ\text{C}$ 时间为 13 d,比对照组延长了 4 d,更有利于对堆肥中寄生虫(卵)和病原菌的杀灭,提升了堆肥效能和质量。

(下转第 75 页)