

## 添加EM菌剂对鸡粪堆肥效果的影响

郭利<sup>1</sup>, 杨振军<sup>1</sup>, 吴沿博<sup>1</sup>, 王亚生<sup>1</sup>, 王海川<sup>1</sup>, 刘新明<sup>1</sup>, 万国礼<sup>1</sup>, 朱永祥<sup>1</sup>, 张志伟<sup>2</sup>

(1. 中国-阿拉伯化肥有限公司, 河北 秦皇岛 066000; 2. 河北科技师范学院 化学工程学院, 河北 秦皇岛 066000)

**[摘要]** 以鸡粪为粪源, 以菌糠为富碳辅料, 以添加常用复合菌剂为对照组, 通过测定堆肥过程中的温度、水质量分数、pH、电导率, 以及H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量等指标, 评价额外添加EM菌剂对堆肥腐熟度的影响和除臭保氮效果。结果表明: 额外添加EM菌剂能够显著加快堆肥升温速度, 温度>55℃持续时间增加了2d; 堆肥末期, 添加EM菌剂的处理组pH稳定在7.0~7.5, 电导率稳定在3.6~4.0 mS/cm, 可以更快达到腐熟标准; 添加EM菌剂处理组比对照组H<sub>2</sub>S的释放量降低; 添加EM菌剂处理组总氮损失率为47.86%, 低于对照组(63.05%)。以上结果表明, EM菌剂在鸡粪堆肥中能有效缩短发酵时间, 减少臭气释放, 有利于氮素保留。

**[关键词]** EM菌剂; 鸡粪; 堆肥; 除臭; 保氮

**[中图分类号]** S141.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 04-0027-06

### Effect of adding EM microbial agent on the composting efficiency of chicken manure

GUO Li<sup>1</sup>, YANG Zhenjun<sup>1</sup>, WU Yanbo<sup>1</sup>, WANG Yasheng<sup>1</sup>, WANG Haichuan<sup>1</sup>, LIU Xinming<sup>1</sup>, WAN Guoli<sup>1</sup>, ZHU Yongxiang<sup>1</sup>, ZHANG Zhiwei<sup>2</sup>

(1. China-Arab Fertilizer Co., Ltd., Qinhuangdao 066000, China;

2. College of Chemical Engineering, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066000, China)

**Abstract:** Using chicken manure as the manure source, bacterial bran as the carbon rich auxiliary material, adding commonly used composting agents as the control group, by determining the temperature, mass fraction of water, pH, conductivity, the content of H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, the effects of adding EM microbial agents on maturity of compost, the deodorization and nitrogen retention are evaluated. The results show that the addition of EM microbial agents significantly accelerate the heating rate of compost, and the duration of temperature higher than 55℃ period is increased by 2 days; At the end of composting, the pH of the group treated with EM microbial agent remains stable at 7.0 - 7.5, and the conductivity is stable at 3.6 - 4.0 mS/cm, which can reach the composting standard faster; The addition of EM microbial agent reduces the release amount of H<sub>2</sub>S compared to the control group; The total nitrogen loss rate of the additional EM bacterial agent is 47.86%, which is lower than that of the control group (63.05%). The above results indicate that EM microbial agents can effectively shorten fermentation time, reduce odor release, and facilitate nitrogen retention in chicken manure compost.

**Key words:** EM microbial agent; chicken manure; compost; deodorization; nitrogen retention

传统的堆肥方法是利用堆制原料中的微生物降解有机污染物, 存在发酵时间长、肥效低等问题, 同时会产生NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>S等有害气体<sup>[1-3]</sup>。因此, 需要对堆肥工艺进行改进。

接种微生物菌剂是堆肥处理中常见的工艺, 具有操作简便、经济高效等特点, 对堆肥效果具有重要的影响<sup>[4-5]</sup>。EM菌剂包含光合菌、放线菌、酵母菌等好氧、厌氧及兼养微生物, 广泛应用于堆肥<sup>[6-7]</sup>。接种EM菌剂可以显著缩短发酵周期, 提升堆肥效率<sup>[8]</sup>。辛树权等<sup>[9]</sup>研究发现, 在新鲜牛粪中加入EM菌液, 可以极大缩短发酵时间, 提高堆

肥腐熟度; 单婕等<sup>[10]</sup>试验证明, EM菌液对奶牛粪除臭具有十分显著的效果, 可以减少H<sub>2</sub>S释放量, 降低奶牛粪臭味等级; 还有研究证明, 使用EM制作鸡粪和猪粪堆肥, 有显著的除臭效果<sup>[11]</sup>。

除了EM菌剂, 堆肥常用的外源添加菌剂还包括

**[收稿日期]** 2025-03-06

**[作者简介]** 郭利(1978-), 男, 河北昌黎人, 高级工程师, 主要从事NPK复合肥生产管理。

**[通信作者]** 王海川, 河北邯郸人, 高级工程师, 主要从事复合肥生产管理; 张志伟, 河北秦皇岛人, 教授, 主要从事生物有机肥研发。

**[基金项目]** 河北省重点研发计划项目“基于生物炭耦合菌剂的鸡粪堆肥除臭保氮关键技术与应用”(22326625D)

枯草芽孢杆菌、酵母菌、硝化细菌、脱硫菌等<sup>[12]</sup>。笔者前期试验表明,在鸡粪堆肥过程中添加枯草芽孢杆菌、酵母菌、硝化细菌、脱硫菌的复合菌剂,具有较好的除臭保氮促腐熟效果。为了进一步提高堆肥效果,本研究采用高温好氧堆肥,以添加复合菌剂为对照组,以额外添加EM菌剂为试验组,测定堆体温度, pH, 电导率, NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>S释放量, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、总氮含量, 氮损失等指标, 探究添加EM菌剂对堆肥效果的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

鸡粪, 由河北科技师范学院动物科技学院提供; 菌糠, 购自卢龙县赵官庄养殖示范园; 枯草芽孢杆菌, 购自山东海瑞斯海洋生物科技有限公司, 有效活菌数 $\geq 1\ 000$ 亿/g; 酵母菌, 购自安琪酵母股份有限公司, 有效活菌数 $\geq 500$ 亿/g; 硝化细菌, 购自北海业盛望生物科技有限公司, 有效活菌数 $\geq 200$ 亿/g; 脱硫菌, 购自安徽卓凯生物科技有限公司, 有效活菌数 $\geq 50$ 亿/g; EM菌剂, 购自河南省沃宝生物科技有限公司, 主要包括反硝化细菌群、光合细菌群、乳酸菌群、酵母菌群、放线菌群、线状菌群, 有效活菌数 $\geq 500$ 亿/g。

### 1.2 堆肥方案

堆肥试验地点为河北科技师范学院动物科技学院试验基地自建大棚, 试验日期为2023年7月20日至2023年8月14日, 堆肥周期共计25 d。

对照组(CK), 鸡粪与菌糠按照质量比3.5:6.5混合均匀, 并添加堆体总质量0.2%的复合菌剂。复合菌剂包括枯草芽孢杆菌、酵母菌、硝化细菌和脱硫菌, 混合质量比为1:1:1:1。试验组(S1), 在对照组的基础上额外添加0.2%的EM菌剂。对堆肥物料充分混合, 并将水质量分数调节至60%。堆体高度为75 cm, 质量为75 kg。为保证堆体能够为微生物提供充足的氧气, 且高温期温度不高于70℃, 根据堆体温度变化情况, 分别在堆制6、13 d时翻堆。待堆体温度接近室温, 且经翻堆温度无明显升高, 表明堆肥已经腐熟。

### 1.3 指标测试

采用直插式电子温度计测定堆肥温度, 温度计为衡水正旭电子科技有限公司生产, 型号为LCD-105。采用烘干法测定水质量分数。采用pH计测定堆体pH, pH计为上海仪电科学仪器股份有限公司生产, 型号为PHS-3E。采用电导率仪测定堆体的电导率, 电导率仪为上海三信仪表厂生产, 型

号为SX756。采用便携式多功能气体分析仪测定NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S释放量<sup>[13]</sup>, 该仪器为深圳奕帆科技有限公司生产, 型号为YF-900A。采用纳氏试剂分光光度法测定NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N<sup>[14]</sup>、硫酸肼还原法测定NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N<sup>[14]</sup>、凯氏定氮仪法测定总氮<sup>[13]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Office Excel Ver. 2010 (Microsoft, Redmond, WA, USA) 分析相关试验数据。

计算氮损失, 并将数据拟合建立动力学模型。总氮损失率(N<sub>T</sub> loss)的计算式为<sup>[14]</sup>:

$$NT\ loss = 100\% - 100\% \frac{(w_1 \times w(\text{总氮终}))}{(w_2 \times w(\text{总氮始}))} \quad (1)$$

其中,  $w_1$ 和 $w_2$ 为初始和最终灰分质量分数,  $w(\text{总氮始})$ 和 $w(\text{总氮终})$ 分别为初始和最终总氮质量分数。

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥过程温度变化

图1所示为堆肥温度随时间的变化曲线。依据堆体温度变化情况, 可以将堆肥过程分为升温期(堆体温度从环境温度上升到50℃)、高温期(堆体温度保持在50℃以上)、腐熟期(堆体温度保持在40℃以上)和降温期(反应基本停止, 堆体温度降至环境温度)4个阶段。参照《中国畜禽粪便无害化处理卫生要求》标准, 堆体温度介于50~55℃维持5~7 d, 或者55℃以上维持3 d, 均可认为堆肥达到了无害化处理要求<sup>[15]</sup>。因此, 本次堆肥试验均达到了标准。

此外, 试验结果显示, 额外添加EM菌剂组较CK组, 在堆肥升温期, 堆体温度提高了3.4℃, 堆体温度 $> 55$ ℃的时间为5 d, 最高温度为61.0℃, 而对照组温度上升较慢, 温度 $> 55$ ℃时间为3 d, 最高温度为60.3℃。这说明额外添加EM菌剂有利于微生物与非微生物反应, 使得堆体快速升温。

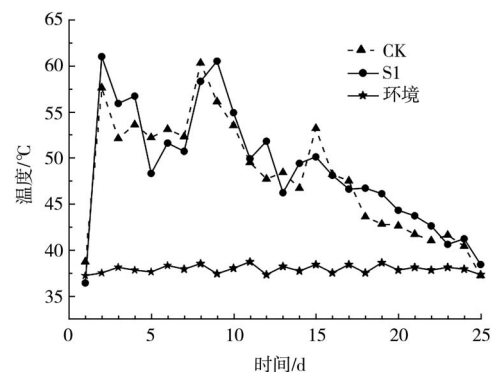


图1 鸡粪堆肥过程中温度随时间的变化曲线

Fig. 1 Variation curve of temperature with time during chicken manure composting process

### 2.2 堆肥过程中水质量分数变化

图2所示为鸡粪堆肥过程中水质量分数随时间的变化曲线。图2结果显示,随着堆肥时间延长,两组堆体水质量分数总体上呈现出下降趋势。CK组在堆肥15 d到25 d时,水质量分数低于40%,会降低微生物的代谢活性,从而影响发酵速率<sup>[16]</sup>。S1组整个堆制周期水质量分数始终保持在40%以上,为发挥微生物的分解作用及促进物质转化提供了适宜的湿度环境。在高温阶段,由于微生物活动旺盛和温度较高,S1组堆体水质量分数出现了较大波动。

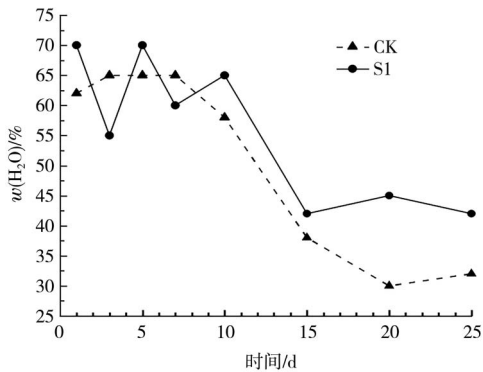


图2 鸡粪堆肥过程中水质量分数随时间的变化曲线  
Fig. 2 Variation curve of water mass fraction with time during chicken manure composting process

### 2.3 堆肥过程pH变化

图3所示为鸡粪堆肥过程中pH随时间变化曲线。试验结果显示,堆肥前期至15 d,pH波动幅度较大,总体呈现升温期偏酸性,进入高温期向中性偏碱性转变。这是由于升温期,微生物会通过分解碳水化合物类有机质产生有机酸,导致堆体pH略有降低;随着堆肥进入高温期,嗜热性微生物逐渐取代嗜温性微生物成为优势菌群。这些嗜热性微生物在代谢过程中产生的有机酸较少,而NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N等碱性物质的产生量增加,导致堆肥的pH上升。EM菌剂的添加对堆肥的酸碱度具有双向调控作用。在堆肥过程中,随着有机物的分解和微生物的代谢活动,堆肥的酸碱度会发生变化。当堆肥pH过低时,EM菌剂中的某些微生物(如光合细菌)可以回收过剩的氢离子,从而有助于调节堆肥向更中性的方向发展。同样地,当堆肥pH过高时,EM菌剂中的乳酸菌、芽孢杆菌等产生的有机酸可以中和过剩的氢氧根离子,降低堆肥的碱性。到堆肥结束时,S1组和CK组的pH都稳定在7.0~7.5的偏碱性范围内,符合堆肥腐熟标准<sup>[17]</sup>。

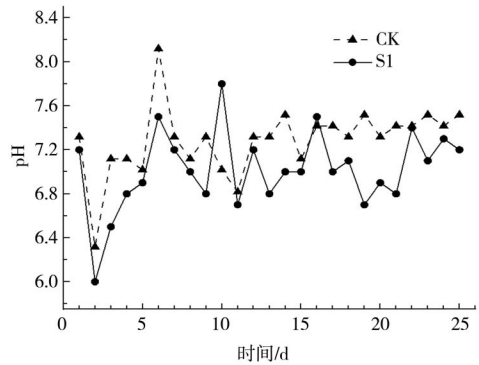


图3 鸡粪堆肥过程中pH随时间的变化曲线  
Fig. 3 Variation curve of pH with time during chicken manure composting process

### 2.4 堆肥过程中电导率变化

电导率(EC)用来反映堆肥浸提液中的离子总浓度,即可溶性盐的含量,可以反映物料中总溶解性盐的生物有效性<sup>[18]</sup>。图4所示为堆肥过程中EC的动态变化情况。试验结果显示,在堆肥初期,有机物料开始分解和溶解,释放出大量溶解性有机物和离子。在CK组堆肥的初期阶段,EC经历了一个急剧下降的过程,随后又呈现出上升趋势,这一变化可归因于高温期间微生物对有机物的快速分解利用,伴随NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的挥发损失,导致溶液中离子浓度迅速下降。随后,随着微生物活动的持续,它们将剩余的有机质进一步分解为无机物质并发生矿化作用,增加了溶液中的离子种类和数量,从而使得EC逐渐回升。在腐熟期,小分子有机酸的腐殖化导致EC缓慢下降。S1组堆体的电导率从开始堆制时迅速下降,并稳定在3.6~4.0 mS/cm,处于堆制有机肥的安全值内,确保了堆肥过程既不会因电导率过高而导致盐分积累,也不会因电导率过低而影响微生物的活性。具体而言,EM菌剂的

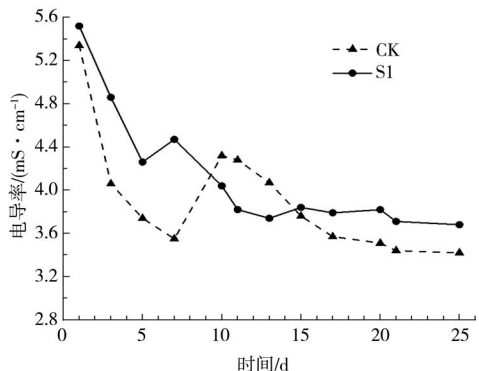


图4 鸡粪堆肥过程中电导率随时间的变化曲线  
Fig. 4 Variation curve of conductivity with time during chicken manure composting process

引入可能加速了堆肥中复杂有机物的分解过程,将其转化为更易于被植物吸收利用的简单物质。这一过程不仅有助于减少堆肥中难降解有机物含量,还促进了可溶性盐分和养分的释放与保持。因此,与CK堆体相比,S1组堆体在堆肥结束后能够保留更多的可溶性盐分和养分,这对于提升肥料的整体品质具有重要意义<sup>[19]</sup>。

### 2.5 堆肥过程中H<sub>2</sub>S释放量变化

图5所示为H<sub>2</sub>S的释放量随时间的变化曲线。试验结果显示,堆体中H<sub>2</sub>S的释放量整体上呈现先上升后下降的趋势。两组堆体,H<sub>2</sub>S的释放量均在5 d时达到峰值, $\rho(\text{H}_2\text{S})$ 为41.96 mg/m<sup>3</sup>。在堆肥高温期,S1组堆体的H<sub>2</sub>S释放量显著低于对照组,10 d时 $\rho(\text{H}_2\text{S})$ 已经降至0.32 mg/m<sup>3</sup>,而对照组 $\rho(\text{H}_2\text{S})$ 仍高达33.86 mg/m<sup>3</sup>。

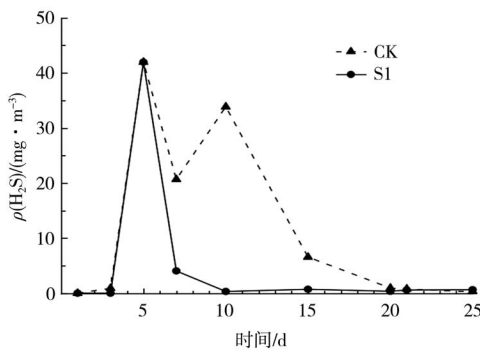


图5 鸡粪堆肥过程中H<sub>2</sub>S释放量随时间的变化曲线  
Fig. 5 Variation curve of H<sub>2</sub>S release amount with time during chicken manure composting process

微生物在堆肥过程中参与有机物的降解和转化,其中部分微生物如硫还原菌能够利用硫酸盐进行代谢反应,生成硫化物和H<sub>2</sub>S<sup>[20]</sup>。腐熟后的堆肥中H<sub>2</sub>S的释放量通常会很低或接近0。在这个阶段,堆肥已经完成腐熟,有机物质基本稳定,硫化物也已被分解转化或挥发。试验表明额外添加EM菌剂有利于降低堆体H<sub>2</sub>S释放量。一方面,额外添加EM菌剂有利于抑制有害微生物的繁殖,减少臭味来源;另外一方面,EM菌剂中的微生物可以分泌多种酶类,这些酶类能够加速堆肥中有机物的降解过程。通过快速分解有机质,减少了有机物分解过程中H<sub>2</sub>S的产生,缩短了堆肥腐熟过程,从而降低了臭气的释放总量。

### 2.6 堆肥过程中NH<sub>3</sub>释放量变化

图6所示为堆肥过程中堆体NH<sub>3</sub>释放量随时间的变化曲线。试验结果表明,CK组堆体NH<sub>3</sub>释放量分别在堆制5、10 d时存在2个峰值, $\rho(\text{NH}_3)$ 分

别为22.14、13.71 mg/m<sup>3</sup>,在17 d左右趋近于0。堆肥过程中,NH<sub>3</sub>的释放与堆肥内部的生物化学反应及环境条件密切相关。

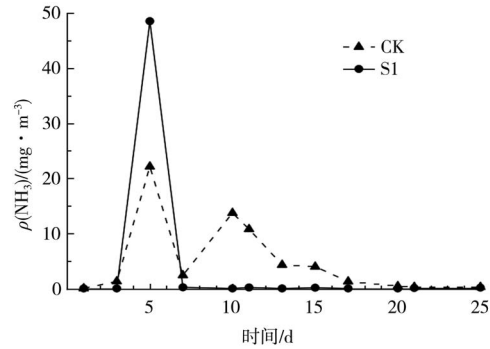


图6 鸡粪堆肥过程中NH<sub>3</sub>释放量随时间的变化曲线  
Fig. 6 Variation curve of NH<sub>3</sub> release amount with time during chicken manure composting process

在堆肥发酵过程中,NH<sub>3</sub>的释放通常会出现两次高峰,第一次高峰通常出现在堆肥的初期阶段。原因在于堆肥原料中富含含氮有机物,这些有机物在微生物的作用下开始分解,产生大量的NH<sub>3</sub>。此时,堆肥内部的温度、湿度和pH等条件也适宜NH<sub>3</sub>的释放。堆制6 d翻堆后,通过改善空气环境有助于减少厌氧微生物的活动,降低NH<sub>3</sub>的产生量。第二次高峰出现在堆肥的高温期后期,与堆肥内部的厌氧环境、湿度过高、温度波动或微生物种群的变化等因素有关。S1组堆体在5 d NH<sub>3</sub>的释放量达到峰值, $\rho(\text{NH}_3)$ 为48.56 mg/m<sup>3</sup>,在堆制7 d左右趋近于0。说明额外添加EM菌剂可以调节鸡粪处理过程中氮、碳的代谢,促使有机氮向NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N转化。

### 2.7 堆肥过程中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N质量分数变化

堆肥过程中铵态氮随时间变化曲线如图7所示。试验结果显示,CK组堆体的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N在堆制3 d达到最大值, $w(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 为0.718 g/kg,由于堆制6 d时进行翻堆,在堆制7 d时 $w(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 再次升高到0.581 g/kg。通过翻堆,可以打破堆肥内部的厌氧环境,使更多的氧气进入堆体,增强微生物活性,促使有机氮向铵态氮的转化。S1组堆体 $w(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 在堆制7 d时达到最大值,为0.738 g/kg。这是由于额外添加的EM菌剂直接增加了与铵化相关的微生物种群,促进了铵化作用,同时较高温度使得NH<sub>3</sub>挥发,导致堆肥前期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处于较高水平,后随着时间的推移NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N在EM菌剂的作用下转变为NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N从而实现了堆肥氮素的保留<sup>[21]</sup>。

堆肥过程中硝态氮随时间变化曲线如图8所示。试验结果显示,在堆肥过程中,CK与S1组的

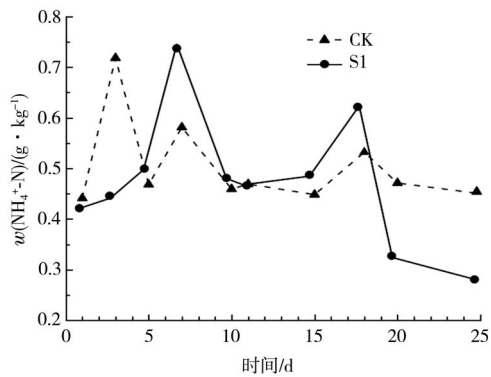


图7 鸡粪堆肥过程中铵态氮随时间的变化曲线

Fig. 7 Variation curve of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  with time during chicken manure composting process

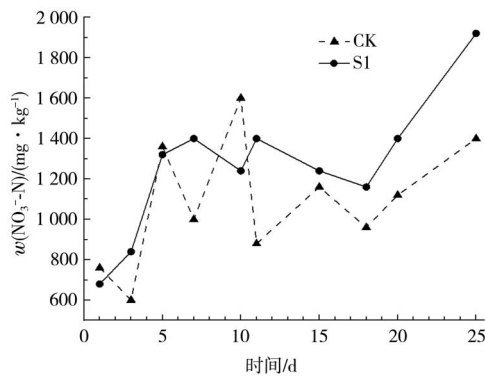


图8 鸡粪堆肥过程中硝态氮随时间的变化曲线

Fig. 8 Variation curve of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  with time during chicken manure composting process

堆体硝态氮 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 含量变化呈现不同趋势。具体而言, S1组中硝态氮含量在波动中逐渐上升, 在堆肥结束时  $w(\text{NO}_3\text{-N})$  达到 1 927.43 mg/kg, 高于CK组的 1 402.71 mg/kg, 且上升速度明显快于CK组。这一差异主要归因于EM菌剂的添加, 它显著增强了微生物活动, 特别是硝化作用, 从而加速了氨态氮向硝态氮的转化。此外, EM菌剂还可能通过改善通气状况和优化环境条件, 为硝化细菌提供更为适宜的生长环境。实验组S1中额外添加的EM菌剂显著促进了微生物活动的增强和硝化作用的进行, 导致硝态氮含量在波动中呈现出更为明显的上升趋势。这一趋势不仅体现在硝态氮含量的绝对值上, 还体现在其相对于对照组(CK)的上升速度上。因此, 在堆肥过程中添加适当的微生物菌剂可能是一种有效的调控硝态氮含量的方法, 有助于提高堆肥的质量和效率。

### 2.8 堆肥过程中总氮质量分数及氮损失变化

图9所示为堆肥过程中总氮质量分数随时间的变化曲线。结果显示, 堆肥的总氮素质量分数

从堆制开始时快速上升, 于堆制3 d时达到最大值, 后快速下降, 并于堆制15 d时开始趋于稳定, 直至堆肥周期结束, 最终CK组堆肥的总氮质量分数为 2.86 g/kg, S1组堆肥的总氮质量分数为 4.51 g/kg。如图10所示, 经过计算拟合, 氮素的损失过程均符合一级动力学模型。S1堆体中的总氮损失率为 47.86%, 明显低于对照组的 63.05%, 这表明EM菌剂的添加减少了堆肥过程中氮素的损失。

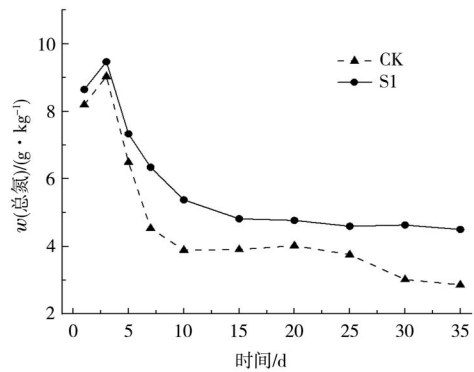


图9 鸡粪堆肥过程中总氮随时间的变化曲线

Fig. 9 Variation curve of total N with time during chicken manure composting process

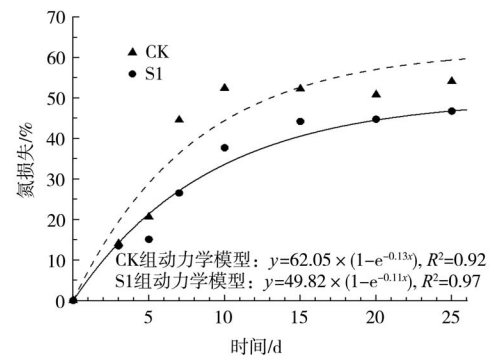


图10 鸡粪堆肥过程中氮损失随时间的变化曲线

Fig. 10 Variation curve of N loss with time during chicken manure composting process

额外添加EM菌剂能够显著减少堆肥过程中的氮素损失, 这主要归因于其对氮素转化的促进作用以及对堆肥条件的改善。具体而言, EM菌剂中的有益微生物在堆肥不同阶段发挥不同作用, 调节氨化作用和硝化作用过程, 减少氨气释放并提高硝态氮含量, 从而降低了氮素损失。同时, EM菌剂通过微生物活动产生的热量调节堆体温度, 以及代谢过程中产生的酸性物质调节pH, 为微生物提供了更适宜的生长环境, 进一步促进了氮素的转化和保留, 提高了堆肥的品质和肥效<sup>[22]</sup>。

### 3 结论

本次研究采用高温有氧堆肥,在添加复合菌剂的基础上,对比研究额外添加EM菌剂对堆肥效果的影响。通过测定堆肥过程中的温度、水质量分数、pH、电导率,以及 $H_2S$ 、 $NH_3$ 、 $NH_4^+-N$ 、 $NO_3^- -N$ 含量等指标,评价堆肥的腐熟度和氮素损失,得到以下结论:

(1) 额外添加EM菌剂能够显著加快堆肥升温速度,温度 $>55\text{ }^\circ\text{C}$ 持续时间增加了2 d,并使堆肥更快进入高温期。堆肥末期,添加EM菌剂的处理组pH稳定在7.0~7.5,电导率稳定在3.6~4.0 mS/cm,与对照组相比,可以更快达到腐熟标准。

(2) 在堆肥除臭方面,S1组堆体 $H_2S$ 的释放量比CK组降低,表明额外添加EM菌剂有利于减少臭气的排放。

(3) 在氮素保留方面,额外添加EM菌剂处理总氮损失率(47.86%)低于对照组(63.05%)。在堆肥过程中,氮素主要经过氨化作用和反硝化作用以 $NH_3$ 和 $N_2$ 的形式散失。

总之,额外添加EM菌剂在高温有氧堆肥中不仅能有效提升堆肥腐熟效率,还能显著改善堆肥环境,减少氮素损失及臭气排放,为堆肥化处理提供了更加高效环保的技术途径。

#### [参考文献]

- [1] 熊茂鹏. 畜禽粪污资源化利用与畜禽养殖污染防治技术[J]. 中国畜牧业, 2024(7): 69-70.  
XIONG M P. Livestock and poultry manure resource utilization and livestock and poultry breeding pollution control technology [J]. China Animal Industry, 2024(7): 69-70.
- [2] 刘晓吉, 肖志颖, 石川, 等. 浅析我国餐厨垃圾资源化利用模式和技术路径[J]. 中国沼气, 2024, 42(2): 13-19.  
LIU X J, XIAO Z Y, SHI C, et al. The utilization mode and technical path of kitchen waste in China [J]. China Biogas, 2024, 42(2): 13-19.
- [3] 王仁成, 高云龙, 杨迪, 等. 基于文献计量法的粪污堆肥研究进展可视化分析[J]. 中国农学通报, 2024, 40(10): 150-158.  
WANG R C, GAO Y L, YANG D, et al. Visual analysis of manure composting research based on bibliography [J]. China Agricultural Science Bulletin, 2024, 40(10): 150-158.
- [4] 张继雨, 王连祥, 任庆国, 等. 复合微生物菌剂对轻度盐碱地土壤改良及红花产量的影响[J]. 磷肥与复肥, 2023, 38(10): 48-52.  
ZHANG J Y, WANG L X, REN Q G, et al. Effects of compound microbial agent on soil improvement and safflower yield in mild saline-alkali land [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(10): 48-52.
- [5] 王国栋, 张星, 李恒, 等. 微生物菌剂包膜无机肥料的制备[J]. 磷肥与复肥, 2022, 37(1): 15-17.  
WANG G D, ZHANG X, LI H, et al. Preparation of microbial

- agent-coated inorganic fertilizer [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(1): 15-17.
- [6] 程泽龙. EM菌剂对河蟹养殖水体生态环境修复效果[J]. 水产养殖, 2023, 44(9): 48-50.  
CHENG Z L. Restoration effect of EM bacteria agent on the ecological environment of river crab breeding water body [J]. Journal of Aquaculture, 2023, 44(9): 48-50.
- [7] 任韬宇, 王朋顺, 袁水含, 等. 基于专利和产品登记的酸性土壤调理剂创新计量分析[J]. 土壤, 2023, 55(4): 860-870.  
REN T Y, WANG P S, YUAN S H, et al. Innovative measurement analysis of acidic soil conditioner based on patent and product registration [J]. Soils, 2023, 55(4): 860-870.
- [8] 宋朝霞, 曹理, 李国辉. 有效微生物菌群在农业领域的研究与应用现状[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(1): 21-23, 54.  
SONG Z X, CAO L, LI G H. Research and application status of effective microbial flora in agriculture [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(1): 21-23, 54.
- [9] 辛树权, 沈永, 赵骥民. EM菌剂在牛粪堆肥中应用的研究[J]. 长春师范学院学报(自然科学版), 2012, 31(12): 50-52.  
XIN S Q, SHEN Y, ZHAO J M. On the Application of EM on Cattle Manure Composting [J]. Journal of Changchun Normal University (Natural Science), 2012, 31(12): 50-52.
- [10] 单婕, 邵孝侯. 有效微生物与调理剂在奶牛粪堆肥中的保氮与除臭效应[J]. 安徽农业科学, 2008(2): 646-648, 650.  
SHAN J, SHAO X H. Experimental Research on Nitrogen Preserving and Deodorizing Effects of Effective Microorganism and Conditioners in Cow Manure Compost [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008(2): 646-648, 650.
- [11] 赵京音, 姚政, 卢善玲, 等. EM在畜禽粪处理中应用初报[J]. 上海农业科技, 1995(4): 33-35.  
ZHAO J Y, YAO Z, LU S L, et al. EM in livestock manure treatment [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 1995(4): 33-35.
- [12] 黄引超, 董晨曦, 袁京, 等. 生物炭对放牧绒山羊粪堆肥腐熟度及臭气排放的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(8): 157-168.  
HUANG Y C, DONG C X, YUAN J, et al. Effect of biochar on manure composting and odor emission of grazing cashmere goats [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(8): 157-168.
- [13] 殷建成. 复合微生物菌剂在乌苏里猪粪便堆肥发酵中的应用研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2024.
- [14] XU Y, BI Z T, ZHANG Y C, et al. Impact of wine grape pomace on humification performance and microbial dynamics during pig manure composting [J]. Bioresource Technology, 2022, 358: 127380.
- [15] 刘维维, 金晓, 辛寒晓, 等. 强化型EM菌剂对金针菇菌糠堆肥的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(22): 78-85.  
LIU W W, JIN X, XIN H X, et al. Effect of Enhanced EM Microbial Agent on the Spent Flammulina Mushroom Substrate Composting [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(22): 78-85.
- [16] 王川, 何小莉, 康晓冬. EM菌剂在牛粪堆肥中的应用[J]. 现代农业科技, 2011(6): 47-49.

(下转第44页)