

# 接种不同微生物菌剂对牛粪好氧堆肥腐熟的影响

陈鑫<sup>1</sup>, 李昌宁<sup>1</sup>, 肖金玉<sup>2</sup>, 李萍<sup>1</sup>, 姚拓<sup>1\*</sup>, 孙永平<sup>3</sup>, 王国基<sup>4</sup>, 何礼<sup>1</sup>, 周泽<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省大行农业废弃物处理有限公司, 甘肃 兰州 730070; 4. 兰州苗乐农业科技有限公司, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】探究接种不同微生物菌剂对牛粪好氧堆肥腐熟的影响。【方法】堆肥材料由牛粪、蘑菇渣和尾菜组成, 湿重比为 5:4:1, 使堆肥的 C/N 保持在 25~30。设计 4 个堆肥处理, 在 3 个处理组中接种量按照菌剂体积和堆体质量比 1.5% 的微生物菌剂 CDS、XY4 和 LL, 在处理组 CK 中不添加菌剂。每个处理重复 3 次。堆肥处理 38 d 后, 研究不同堆肥处理条件下温度、pH 值、含水量、C/N、EC、全氮、铵态氮和硝态氮等堆肥指标的变化。【结果】CK、CDS、XY4、LL 处理保持高温时间分别为 22、23、24 和 26 d, 处理 LL 保持的高温时间最长, 且温度最高为 72.53 °C, XY4 仅次于 LL; 堆肥结束时 CK、CDS、XY4、LL 处理的含水率分别下降到 34.64%、43.29%、38.66%、44.1%, CDS、XY4、LL 处理的水分散失都显著高于 CK ( $P < 0.05$ ), 其中 LL 的水分蒸发速率最大; 各堆肥处理的 pH 值总体呈现先升高后下降的变化趋势, 堆肥结束时, CK、CDS、XY4、LL 的 pH 分别为 8.71、8.62、8.25、8.34, XY4、LL 处理的 pH 值都极显著低于 CK ( $P < 0.01$ ), 其中接种 XY4 的堆肥中 pH 最低; 堆肥结束时各处理组的 EC 在 1.75~2.47 ms/cm, 已达到腐熟状态, 各菌剂对堆肥的 EC 无显著差异 ( $P > 0.05$ ); CK、CDS、XY4、LL 处理堆肥结束 C/N 分别较初始下降了 32.24%、38.75%、48.59%、44.51%, XY4 处理的效果与 CK 差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 所有处理全氮含量呈现缓慢升高的趋势, 堆肥结束时 CK、CDS、XY4、LL 处理全氮含量分别是 14.46、16.48、16.54、16.54 g/kg, 菌剂 XY4、LL 对堆体保氮效果最好; 堆肥结束时  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量降至 1.47~1.64 g/kg, CK 与 CDS、XY4、LL 处理组没有显著差异 ( $P > 0.05$ ); 4 d 至堆肥结束各菌剂处理的确态氮的含量均有显著升高 ( $P < 0.05$ ), 大小顺序为 CDS > LL > XY4 > CK。【结论】添加微生物菌剂 XY4 与 LL 的堆肥腐熟效果较好。

**关键词:**牛粪; 堆肥; 微生物菌剂; 理化性质; 养分

中图分类号: S141.4 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2023)06-0058-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2023.06.009



改革开放以来我国经济快速发展, 人民生活水平不断提高, 使得畜产品的需求量增多, 这一过程中会产生大量的粪便、氨气、硫化氢等恶臭气体, 以及粪便

中的氮、磷等元素和重金属, 对生态环境造成严重污染<sup>[1]</sup>。在对畜禽废弃物、废弃菌糠渣及尾菜进行无害化处理时, 高温好氧发酵在一定控制条件下使可被生物降解的有机质向稳定的腐殖质转化, 该发酵方法成为农业废弃物处理和资源化利用的重要方法<sup>[2]</sup>。传统的好氧堆肥工艺存在升温慢、堆肥周期长、腐熟效果差等问题, 大量研究表明往堆体中投加功能性微生物菌剂可有效解决此类问题<sup>[3]</sup>。在利用接种微生物菌剂好氧堆肥技术处理农业废弃物过程中, 加快堆肥底物的腐熟, 是当代工作者们必须面对的重要问题。

收稿日期: 2022-04-09; 修回日期: 2022-04-29

基金项目: 甘肃省科技计划项目甘肃省中小规模羊场发酵床养羊技术示范推广(21CX6NA059)

作者简介: 陈鑫(1996-), 男, 甘肃武威人, 硕士研究生。

E-mail: 1501447883@qq.com

\*通信作者。E-mail: yaotuo@gsau.edu.cn

目前,根据添加剂功效成分不同,添加成分分为有机、无机和微生物添加剂。微生物其他添加剂因最终成本低廉、无生物污染、后续操作便捷等优点<sup>[4]</sup>,成为当前畜禽废弃物处理的整体态势。陈亮等<sup>[5]</sup>研究表明,在平菇菌糠堆肥过程中接种微生物菌剂能增加堆体的高温天数,总养分水平明显增加,有机质含量明显下降,有效提高了堆肥质量。卢洋洋等<sup>[6]</sup>研究表明,添加复合微生物菌剂(里氏木霉+细黄链霉菌)能延长高温期,加速堆内水分蒸发和有机质降解,显著提高堆肥材料的种子发芽指数,堆内总氮、总磷、总钾和总养分含量。李昌宁等<sup>[7]</sup>研究表明,通过接种微生物菌剂促进了堆肥升温,延长高温期,缩短堆肥周期,增加 GI 和全磷含量。

由于发酵物料不同,需要根据堆肥组成的种类筛

选出适宜菌剂。为保证堆肥效果,本研究以牛粪、菌糠和尾菜作为堆肥主要原料,研究不同微生物菌剂对堆肥过程中堆体理化性质和养分的影响,将自制菌剂和商用菌剂依次添加到堆肥中,通过测定堆肥中各指标的变化,判断堆肥的处理效果。本研究侧重于鉴定堆肥中菌剂的最佳处理,为实现牛粪等农业废弃物的循环利用、农业可持续发展和经济循环发展提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试新鲜牛粪、菌糠渣取自甘肃省大行农业废弃物处理有限公司,白菜尾菜取自周边农村,将尾菜粉碎至粒径 3~5 cm,特性见表 1。

表 1 供试材料物理化学特征

Table 1 Physical and chemical characteristics of tested materials

材料	含水率/%	有机质/%	全氮/%	碳氮比 C/N	全钾/%	全磷/%
牛粪	66.59	37.2	2.12	18.67	0.23	0.15
蘑菇渣	52.63	49.9	0.80	30.23	0.77	0.19
尾菜	90.67	30.1	4.77	12.72	0.62	0.41

试验所用微生物菌剂 CDS(实验室研究获得)和 XY4(本试验筛选获得),由甘肃农业大学草业学院提供<sup>[7]</sup>;微生物菌剂 LL,由山东绿陇生物科技有限公司购买获得。3 种菌剂的有效活菌数均 $\geq 2.0$  亿/g,符合国家标准 GB20287-2006。

### 1.2 试验设计

堆肥试验于 2021 年 8~9 月在甘肃大型农业废弃物处理有限公司露天环境进行,堆肥试验共计 38 d,设计 3 个堆肥处理和对照(CK),堆肥添加的微生物菌剂有 XY4、CDS、LL(商用菌剂),堆体处理分别命名为 CK、CDS、XY4、LL,新鲜牛粪、菌糠渣和尾菜按照湿重比为 5:4:1 混合均匀,此时牛粪、菌糠渣和尾菜堆体的 C/N 为 25~30,微生物菌剂的接种量按照菌剂体积和堆体质量比 1.5%,调节牛粪、菌糠渣和尾菜混合物初始含水率为 60%~65%,堆制成长 $\times$ 宽 $\times$ 高=3.00 m $\times$ 1.50 m $\times$ 1.35 m 的条垛式堆体,采用人工翻堆的形式,为使物料混合的更加均匀,确保堆料得到充足的氧气,每隔 4 d 翻堆 1 次。在整个堆肥过程中,

依次于第 0、4、12、20、28、36 d 进行样品的采集,采取剖面多高度等量取样法,将每个堆体分成 4 段,在每段多个高度(上层 0~40 cm;中间层 40~80 cm;下层 80~120 cm)随机采集等量的试验样品,充分混合,为使取样具备代表性,采用四分法<sup>[7]</sup>连续多次分取样品 500 g(鲜重)。试验样品分成 2 份,其中 1 份于-80℃保存,另 1 份自然风干、粉碎后待用。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 温度测定 使用刻度探针数显电子温度计(WST),插入距离堆体顶部 30、60 和 90 cm 处监测堆肥温度,每天上午 9:00 和下午 3:00 各测 1 次,同时记录当天的环境温度,2 次/d 测量的平均值为当日所测定的堆体温度。

1.3.2 含水率测定 取铝盒洗净编号,在干燥器中冷却 30 min 称重(W1);给铝盒装入鲜样,称重(W2);将样品铺平,把盒盖套置在铝盒下面,放入 105~110℃烘箱,烘 24 h;取出铝盒,盖好盒盖,冷却称重(W3)<sup>[8]</sup>。计算公式如下:

含水率=(W2-W3)/(W3-W1)×100%。

1.3.3 pH值测定 每次取样混匀后称取5.00 g鲜样于250 mL的三角瓶中,加入50 mL的双蒸水,150 r/min振荡30 min,静置30 min后过滤,用酸度计测定pH值<sup>[9]</sup>。

1.3.4 电导率测定(EC) 称取新鲜堆肥样品加入1:10的离子水W(g)与肥水V(mL),在室温条件下,于200 r/min下水平振荡提取1 h后,用电导率仪直接测定EC值<sup>[8]</sup>。

1.3.5 有机碳、全氮、铵态氮、硝态氮含量的测定 有机碳含量测定采用重铬酸钾滴定法、全氮含量采用半微量凯氏定氮法<sup>[9]</sup>。

铵态氮含量测定采用蒸馏后滴定法、硝态氮含量采用紫外分光光度法<sup>[10]</sup>。

#### 1.4 统计分析

试验数据采用采用SPSS 26.0软件进行方差分析,Microsoft Excel 2010软件进行数据整理,Origin 2021绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥中温度的变化

整个堆肥过程中环境温度的变化为17.22~33.33℃。各处理组的温度变化趋势基本相同,经历了升温、高温和降温3个阶段。在堆肥的第1 d,LL处理进入高温期(>50℃),其他处理在堆肥的第2天进入高温期。堆肥第12天,CK、CDS和LL处理分别达到最高温度68.85、68.98和72.53℃,XY4在第18天达到最高温度72.2℃。4个处理组维持高温时间分别为22、23、24和26 d,LL处理维持的高温时间最长,CK的高温持续时间最短(表1)。

### 2.2 堆肥中含水率的变化

在堆肥过程中,各组初始含水率为57.21%,但堆肥的前1 d降水淋湿了堆料,致使每个处理的初始含水量约为70%。堆肥过程中,水分含量呈下降趋势。在4~12 d的堆肥过程中,XY4和LL处理失水更快,堆肥28 d直至结束时,3个接种微生物菌剂的处理水分散失逐渐缓慢最终趋于平稳,CK、CDS、XY4、LL处理的含水率分别下降到了34.64%、43.29%、38.66%、44.1%(图2)。方差分析可知,CDS、XY4、LL处理的效果都显著好于CK( $P<0.05$ ),其中LL处

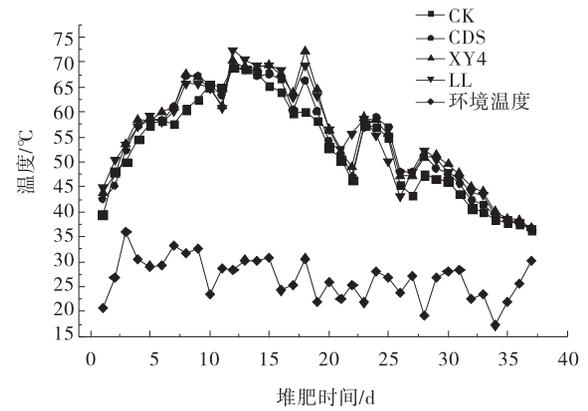


图1 堆肥中温度的变化

Fig. 1 Variation of temperature in compost

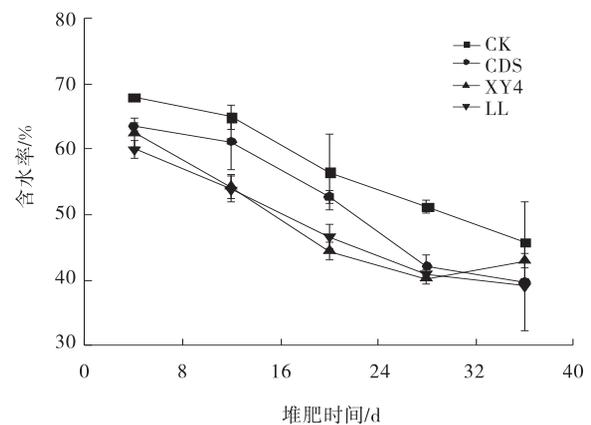


图2 堆肥中含水率的变化

Fig. 2 Change of moisture content in compost

理的效果最好(表2)。

### 2.3 堆肥中pH的变化

4个处理组的pH值总体呈现先升高后下降的变化规律。各处理组初始pH值为8.5。在堆肥的4~28 d,4组处理的pH持续上升,第28天各处理的pH值都达到最大值,分别为9.73、9.73、10.18、9.91。在堆肥的第28天,4个处理的pH值逐渐下降;堆肥结束时,CK、CDS、XY4、LL处理的pH值分别为8.71、8.62、8.25、8.34,XY4、LL处理的pH值都极显著低于处理CK( $P<0.01$ )(表3)。

### 2.4 堆肥中电导率的变化

堆肥开始前20 d所有处理的EC值均呈上升,LL处理在第12天达到最大值,为4.25 ms/cm,而CK、CDS、XY4处理在第20天达到最大值,分别为3.78、3.23、3.44 ms/cm;CK、CDS、XY4处理在堆肥发酵20 d后,堆体EC值呈下降趋势,发酵36 d时其堆体EC值分别为2.08、1.99、1.75 ms/cm,较初始分别降低0.55、0.75、1.07 ms/cm;而在整个发酵过程中,处

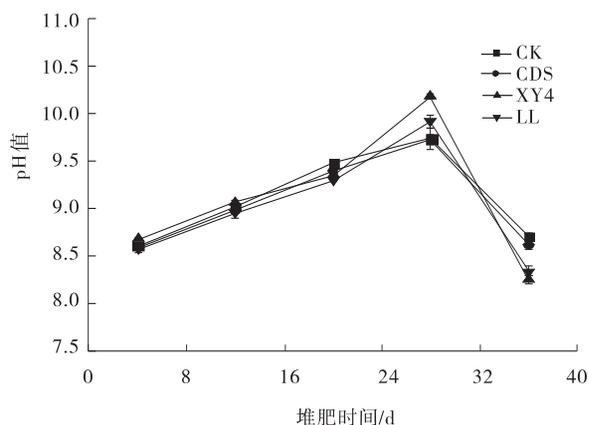


图 3 堆肥中 pH 值的变化

Fig. 3 Variation of pH in compost

理 LL 的 EC 值则先升高后降低再升高的趋势,堆肥 36 d 时,其 EC 值 2.92 ms/cm,较初始值分别增加 0.44 ms/cm;CK、CDS、XY4 处理与 CK 的 EC 差异不显著(图 4)。

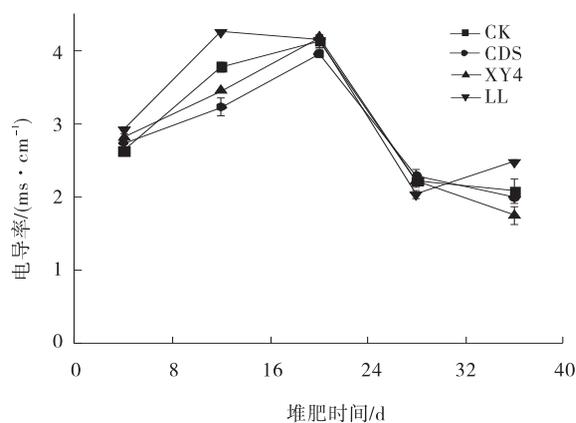


图 4 堆肥中电导率的变化

Fig. 4 Variation of electrical conductivity in compost

## 2.5 堆肥中 C/N 比的变化

所有处理组的 C/N 在堆肥过程中都呈现出下降的趋势。在堆肥 4~12 d,XY4 处理的 C/N 下降最快,为 24.09;在堆肥 12~20 d,LL 处理的 C/N 下降最快,为 20.25;在堆肥 20~28 d,XY4 处理的 C/N 下降最快,下降到 14.65;堆肥结束时,4 组处理的 C/N 都由初始的 30 左右下降到 20 以下,CK、CDS、XY4、LL 处理堆肥结束后 C/N 分别较初始下降了 32.24%、38.75%、48.59%、44.51%,各处理组 C/N 分别为 19.11、16.26、14.65、15.5(图 5)。从方差分析可知,XY4 处理与处理 CK 的 C/N 差异极显著( $P < 0.01$ )。

## 2.6 堆肥中全氮的变化

所有处理全氮含量呈缓慢升高的趋势,堆肥结束时 CK、CDS、XY4、LL 处理全氮含量分别是 14.46、

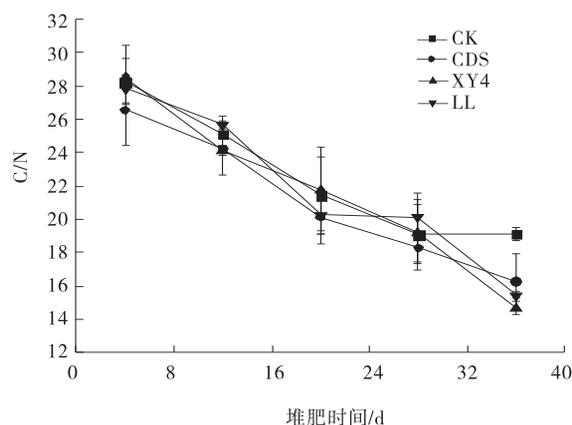


图 5 堆肥中 C/N 的变化

Fig. 5 Variation of C/N ratio in compost

16.48、16.54 和 16.54 g/kg,CK 全氮含量显著低于各处理( $P < 0.05$ ),氮素损失较多(图 6)。

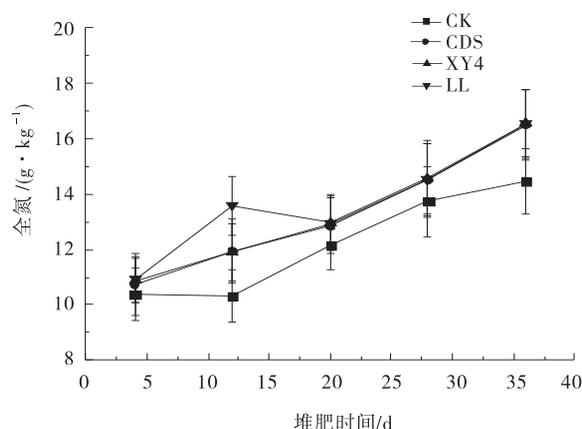


图 6 堆肥中全氮的变化

Fig. 6 Changes in total nitrogen in compost

## 2.7 堆肥中铵态氮、硝态氮的变化

在堆肥过程中,将不同的微生物菌剂接种到堆料中,随着堆肥时间的推移,各堆肥处理组中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量的变化呈现出先增后减的趋势。堆肥 4~12 d 时,CDS、XY4、LL 处理的铵态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )含量在 2.28~2.97 g/kg,并保持稳定,差异不显著,堆肥 20 d 后 4 个处理的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量均迅速下降,堆肥结束时  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量降至 1.47~1.64 g/kg,相较于堆肥初期堆体中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量有所下降;堆肥发酵结束时,CK 与 CDS、XY4、LL 处理没有显著差异(图 7)。

将不同微生物菌剂接种到堆料中,随着堆肥时间的变化,各堆肥处理组的硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )含量总体上呈现先升后降的趋势,各处理间有差异。堆肥 4 d 时,CDS、XY4、LL 处理的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量为 1.47~1.64 g/kg,在堆肥 4~36 d 上升,在 36 d 时,CDS、XY4、LL 处

理都达到最高值,为2.75~2.97 g/kg,且处理组CDS的值最大。4 d至堆肥结束,CK与3个处理的 $\text{NO}_3^-$ -N含量都逐渐上升,且CK的值最小(图8)。

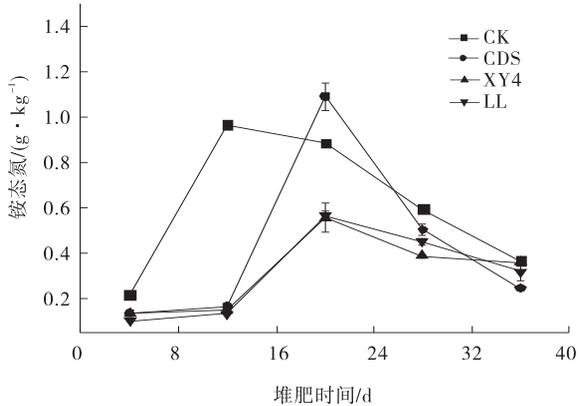


图7 堆肥中铵态氮的变化

Fig. 7 Changes of ammonium nitrogen in compost

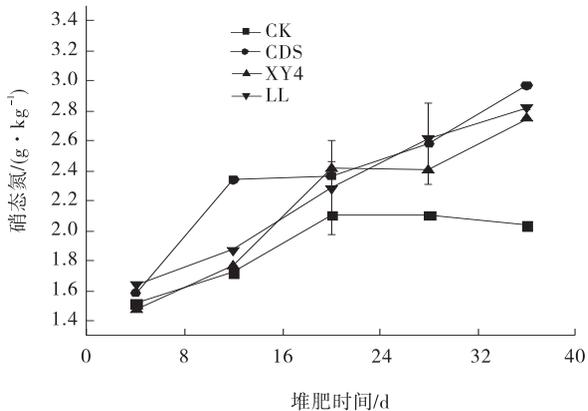


图8 堆肥中硝态氮的变化

Fig. 8 Variation of nitrate nitrogen in compost

### 3 讨论

#### 3.1 接种不同微生物菌剂对温度的影响

本试验与卢洋洋等<sup>[6]</sup>研究相似。如果堆肥的温度 $>55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保持3 d以上,通常堆肥中的病原体可以被杀死<sup>[11]</sup>,本研究中接种菌剂处理组堆肥温度高于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间分别为处理组CDS为23 d、XY4为24 d、LL为26 d,符合GB/T7959-2012<sup>[12]</sup>中规定标准( $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间保持在10 d以上)。在整个堆肥过程中,CK对照组保持高温的时间也达到了堆肥卫生标准。LL处理组的温度略高于其他处理组,高温期持续时间最长,为26 d。LL处理的微生物接种剂能更好地促进堆肥的发酵和分解。可以看出,接种微生物制剂可以加速堆体的升温,提高堆体的最高温度和高温持续时间,并更有效地杀死堆肥中的病菌,达到无害化的目

的。温度是衡量堆肥成熟度和分解程度的最直观指标,因为它不仅影响堆肥中微生物的活动,而且还反映了不同发酵阶段的代谢活动<sup>[6]</sup>,堆肥中的温度和高温时间会影响堆肥发酵的速度和质量<sup>[13]</sup>。魏启航等<sup>[14]</sup>研究结果表明,添加真菌菌剂可以加快堆肥的加热速度,确保堆肥保持较长时间的高温;杨笑莹等<sup>[15]</sup>研究表明添加外源性物质可以提高堆肥温度,可以持续高温,加快堆肥过程,充分杀灭病原菌。本研究表明,牛粪堆肥的温度变化趋势与一般好氧堆肥的温度变化趋势大体一致<sup>[16]</sup>,在堆肥的第2天,4个处理全都进入高温期( $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),主要由于堆肥所用的牛粪是经过晾晒的,相对于鲜牛粪含水量低,且本试验于8月初开始,外界环境温度较高,进而使堆体温度升高较快,升温期较短。堆肥过程中温度会出现周期性的下降,这可能与定期的人工翻堆有关。

#### 3.2 接种不同微生物菌剂对含水率的影响

堆体的水分是保证微生物生存代谢的必要条件,也是关键因素,还是微生物进行物质交换的介质<sup>[17]</sup>。根据相关研究,堆肥原料的最佳含水率为 $45\%\sim 65\%$ <sup>[18]</sup>,堆内含水量过高会阻碍氧气的输送,从而导致厌氧发酵,堆内含水量过低会限制堆肥微生物的代谢活动,损害堆肥效率<sup>[19]</sup>。本试验研究结果表明,堆体各个处理随着堆肥的进行含水率整体呈下降的趋势;在堆肥结束时,从含水率的减少量来说,CDS、XY4、LL处理的效果要显著好于CK,且LL的处理效果最好,这可能是处理组LL所接种的微生物制剂作用于堆肥时,其微生物活动比其他处理方法更强烈,产生大量的热量并加速蒸发速度,从而降低堆内的含水量。在堆肥结束时,每堆的水含量约为 $40\%$ ,符合《有机肥料》<sup>[9]</sup>标准要求。

#### 3.3 接种不同微生物菌剂对pH的影响

pH值的变化是堆肥过程中微生物活动的一个重要指标,可以显示堆肥发酵速度。合适的pH值可以使微生物更有效,一般来说,pH值在 $6.7\sim 9.0$ 的微生物有更高的活性,其次,堆肥的pH值是影响堆肥氮损失的一个重要因素,堆体的酸碱度能影响 $\text{NH}_4^+$ -N和 $\text{NO}_3^-$ -N在堆体的平衡<sup>[4,6,19]</sup>。本试验研究结果表明,随着堆肥温度的升高,pH值迅速升高,且在第28天4个处理的pH值均达到最大值,pH的升高主要可能是

生物降解有机质被快速分解后产生大量  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  形成氨气但未能挥发所导致的<sup>[20]</sup>。在 28 d 以后,堆肥的 pH 值开始逐渐降低,这可能由于微生物使得含氮有机质逐渐减少,而  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  仍不断转化为  $\text{NO}_3^--\text{N}$ ,使得  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  累积量减少<sup>[21]</sup>,也可能是由于有机物降解产生的  $\text{CO}_2$  和低分子量脂肪酸导致  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  下降<sup>[22]</sup>。

### 3.4 接种不同微生物菌剂对电导率(EC)的影响

EC 作为植物生长和种子发芽的决定因素,是衡量堆肥是否能进行肥料化的重要因素。研究表明,堆肥的 EC 值是衡量堆肥中可溶性盐含量的指标,一般来说,EC 低于 4.0 ms/cm 的堆肥是安全的,否则堆肥产品会对植物生长产生抑制作用<sup>[23-24]</sup>。本研究发现,堆肥过程中堆体的 EC 呈先上升后下降的趋势,这与王亚梅<sup>[25]</sup>的研究结果一致。在堆肥的第 4~28 d,EC 逐渐增加,可能是由于较高的微生物活动导致较高的堆肥温度,较高的分解率和随之而来的一些物质的挥发,导致可溶性盐的增加<sup>[26]</sup>,使得 EC 值增加;在堆肥的后期,有机物含量减少, $\text{NH}_3$  和其他物质有强烈的挥发,伴随着可溶性盐离子的减少,导致 EC 逐渐下降<sup>[14]</sup>。本试验结果显示,各处理组的 EC 在 1.75~2.47 ms/cm,已达到腐熟状态,虽然处理组 XY4 的 EC 值低于其他处理,但 CDS、XY4、LL 处理与 CK 处理之间没有显著差异,因此,所添加的微生物菌剂的处理组对堆肥的 EC 没有影响。

### 3.5 接种不同微生物菌剂对 C/N 的影响

C/N 是评估腐熟程度的最常见和最重要的参数。随着堆肥的不断发酵,堆肥中的有机碳被分解并以  $\text{CO}_2$  二氧化碳的形式逸出。总碳含量减少,而氮含量增加,因此在堆肥过程中,C/N 比逐渐减少<sup>[27]</sup>。许晓英等<sup>[28]</sup>研究表明,添加微生物化合物处理的污泥堆肥的 C/N 值比对照组下降得更快。微生物制剂加速了 C/N 降低的过程,有效地促进了污泥堆肥的分解过程。本研究表明,在堆肥初期,各处理组的 C/N 比下降较快;在高温期过后,堆肥的总碳含量下降趋于平缓,总氮含量又略有增加,所以 C/N 比下降缓慢。在堆肥期结束时,4 个处理组都达到了腐熟标准,所有接种了微生物菌剂的处理组的 C/N 都比 CK 组低,其中处理组 XY4 的堆肥 C/N 最低,与 CK 差异极显著( $P < 0.01$ ),因此,接种外源微生物菌剂促进了 C/N 的降

低,接种微生物菌剂 XY4 的分解效果最好。

### 3.6 接种不同微生物菌剂对全氮的影响

氮素是微生物生长代谢的重要营养物质,故氮素变化对堆肥腐熟有着重要影响<sup>[13]</sup>。在堆肥的过程,氮或以氨气的形式散失,或变为硝酸盐和亚硝酸盐,或是由生物体同化吸收<sup>[13]</sup>。本试验研究表明,堆肥结束时,所有处理组在堆肥结束时全氮含量都有所增加。与刘微等<sup>[29]</sup>研究结果一致,因此可以看出微生物菌剂对堆体的含氮量有明显的提升作用。其中处理组 XY4、LL 添加的微生物菌剂保氮效果最好。

### 3.7 接种不同微生物菌剂对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 的影响

$\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  是硝化和反硝化过程的重要反应物质,而硝化和反硝化作用又是堆肥过程中与氮转化相关的重要生物过程<sup>[20]</sup>。堆肥过程中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的变化规律遵循好氧堆肥的典型变化趋势,它能反映出堆肥中氨气的排放情况和氮素转化规律<sup>[4]</sup>。李旺旺等<sup>[20]</sup>、李舒清等<sup>[16]</sup>在堆肥中接种微生物菌剂后  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的变化趋势与本研究相一致,微生物菌剂可以调控堆肥中的氮素转化,减少氮素的损失。本研究表明,4~20 d 接种菌剂的四个处理组  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的含量均呈上升的趋势,这可能是由于微生物将蛋白质降解为氨基酸,并通过脱氨作用将其释放到堆体中,导致  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量增加<sup>[26]</sup>;从 20~28 d,接种了微生物菌剂的 3 个处理都显示出  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量的下降趋势,这归因于堆积温度的增加和 pH 值的上升,微生物较强的氨氧化作用和  $\text{NH}_3$  挥发所导致,进而使  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量逐渐开始下降<sup>[30]</sup>。因此,在堆肥结束时所有堆肥都呈现较低的浓度。整个堆肥过程中,XY4、LL 处理的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量与对照组的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量差异不显著;CDS 处理的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  含量与对 CK 差异显著( $P < 0.05$ ),但是  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的损失量大于 CK,这表明菌剂的接种没有减少铵态氮的损失,但加速了有机质的分解。而  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量的变化趋势与之相反,随堆肥的进行,4 个处理  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量逐渐增加。在堆肥过程的前 28 d, $\text{NO}_3^--\text{N}$  增长缓慢,这是因为硝化细菌在高于 40 °C 的温度下很难发挥作用<sup>[26]</sup>。堆肥后期堆肥温度降低,自养硝化细菌活跃, $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量逐渐上升,这也是硝化作用总是在堆肥后期发挥作用的原因<sup>[31]</sup>。在堆肥过程中,XY4、LL 处理的  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量显著高于对照组 CK 的

$\text{NO}_3^-$ -N含量( $P < 0.05$ ),这表明菌剂的接种提高了堆肥中 $\text{NO}_3^-$ -N的含量。

## 4 结论

对堆肥中各项指标变化的分析表明,XY4、LL处理效果较好,能够有效促进堆肥的发酵分解,可以延长高温期的持续时间和提高堆肥的最高温度;加快水分的蒸发,有效降低堆肥后期的pH,加快了C/N降低的进程,有效促进了堆肥腐殖化中有机质的分解和 $\text{NH}_3^-$ -N含量的增加,保氮效果增强。但微生物菌剂的接种未有效降低EC和减少 $\text{NH}_4^+$ -N的损失。XY4菌剂是自研菌剂,LL菌剂为商用菌剂,两者在腐熟度方面效果相当,故XY4菌剂具有后续研究的价值。

### 参考文献:

- [1] 张丽君,张春柳,刘孝刚.农村畜禽养殖业对环境的污染及治理对策[J].中国畜禽种业,2019,15(4):9-10.
- [2] 余震,周顺桂.超高温好氧发酵技术:堆肥快速腐熟与污染控制机制[J].南京农业大学学报,2020,43(5):781-789.
- [3] 陈威旺.复合微生物菌剂的制备及投加策略对农村易腐生活垃圾堆肥效果影响研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [4] 徐佳琦.接种菌剂强化堆肥过程及碳氮物质转化规律的研究[D].南宁:广西大学,2019.
- [5] 陈亮,武小芬,李再,等.不同微生物菌剂对平菇菌糠堆肥效果的影响[J].湖南农业科学,2021(9):42-44,48.
- [6] 卢洋洋,杨硕,张玉,等.不同复合微生物菌剂对牛粪堆肥效果的影响[J].家畜生态学报,2021,42(2):43-49.
- [7] 李昌宁,苏明,姚拓,等.微生物菌剂对猪粪堆肥过程中堆肥理化性质和优势细菌群落的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(9):1600-1611.
- [8] 王秀红,史向远,张纪涛,等.鸡粪好氧堆肥腐熟度、重金属残留及微生物菌群分析[J].山西农业科学,2021,49(9):1094-1099.
- [9] 中华人民共和国农业农村部.有机肥料:NY525-2021[S].北京:中国农业出版社,2021.
- [10] 中华人民共和国农业农村部.肥料硝态氮、铵态氮、酰胺态氮含量的测定:NY/T1116-2014[S].北京:中国农业出版社,2014.
- [11] 张玉凤,田慎重,岳寿松,等.发酵菌剂对鸡粪好氧发酵过程的影响[J].山东农业科学,2022,54(2):115-112.
- [12] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.粪便无害化卫生要求:GB7959-2021[S].北京:中国农业出版社,2012.
- [13] 王亚飞,李梦婵,邱慧珍,等.不同畜禽粪便堆肥的微生物数量和养分含量的变化[J].甘肃农业大学学报,2017,52(3):37-45.
- [14] 魏启航,冯瑶,马倩倩,等.促进堆肥二次发酵真菌在堆肥中的应用效果[J].中国农业科学,2021,54(24):5240-5250.
- [15] 杨笑莹,辛寒晓,孙国科,等.不同腐熟剂对堆肥腐植酸含量及肥力的影响[J].腐植酸,2021(5):21-29.
- [16] 李舒清,张镜丹,纪程,等.接种复合菌剂对牛粪好氧堆肥进程及温室气体( $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ )排放的影响[J].南京农业大学学报,2017,40(6):1041-1050.
- [17] 梁天.不同C/N条件下菌酶制剂对牛粪堆肥进程的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [18] 徐宁.畜禽粪便堆肥无害化技术要点[J].现代畜牧科技,2020(8):81-82,84.
- [19] 罗娟,孟海波,张玉华,等.玉米秸秆添加对果蔬废弃物沼渣堆肥效果的影响[J].中国沼气,2019,37(4):92-97.
- [20] 李旺旺,刘燕,李国学,等.菌剂和含磷添加剂联合添加对污泥堆肥污染气体排放及堆肥品质的影响[J].农业环境科学学报,2022,41(4):897-887.
- [21] 盛蒂,朱兰保.农业废弃物好氧堆肥理化指标特性研究[J].长春师范大学学报,2020,39(8):68-73.
- [22] 李月月.液态好氧堆肥复合微生物菌剂的研发及应用[D].无锡:江南大学,2020.
- [23] 张邦喜,罗文海,杨仁德,等.添加菌糠对鸡粪-烟末堆肥腐熟度及污染气体排放的影响[J].核农学报,2020,34(11):2578-2586.
- [24] 段曼莉,鄢入洋,周蓓蓓,等.去电子水对牛粪秸秆好氧堆肥进程及细菌群落的影响[J].环境科学学报,2022,42(2):249-257.
- [25] 王亚梅.生物炭对猪粪堆肥腐熟度及重金属钝化效果的影响[D].塔里木:塔里木大学,2021.
- [26] 田伟.牛粪高温堆肥过程中的物质变化、微生物多样性以及腐熟度评价研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [27] 丛林.微生物菌剂对畜禽粪便堆肥过程中养分及腐熟度动态变化规律的研究[D].长春:吉林农业大学,2013.
- [28] 许晓英,李季.复合微生物菌剂在污泥高温好氧堆肥中的应用[J].中国生态农业学报,2006,14(3):64-66.
- [29] 刘微,张津,李博文,等.不同微生物菌剂对番茄秸秆好氧堆肥中氮磷钾元素的转化规律的影响[J].中国土壤

- 与肥料,2014(3):88-92.
- [30] 李想. 氮转化菌的筛选及其在鸡粪堆肥中的应用研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2021.
- [31] 魏晶晶. 生物炭添加对牛粪堆肥过程中养分固持和有害气体减排的影响[D]. 西宁:青海师范大学,2021.

## Effect of inoculation of different microbial agents on the maturation of cattle manure by aerobic compost

CHEN Xin<sup>1</sup>, LI Chang-ning<sup>1</sup>, XIAO Jin-yu<sup>2</sup>, LI Ping<sup>1</sup>, YAO Tuo<sup>1\*</sup>, SUN Yong-ping<sup>3</sup>,  
WANG Guo-ji<sup>4</sup>, HE Li<sup>1</sup>, ZHOU Ze<sup>1</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. Gansu Province Daxing Agricultural Waste Treatment Co, Lanzhou 730070, China; 4. Lanzhou Miao Le Agricultural Technology Co, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The aim of the study is to investigate the effect of inoculation of different microbial agents on the aerobic composting of cattle manure compost. [Method] The compost material consisted of cow dung, mushroom residue and tailing vegetables in a wet weight ratio of 5:4:1 to keep the C/N of the compost at 25~30. 4 compost treatments were designed, with inoculations of the microbial agents CDS, XY4 and LL at 1.5% of the volume of the agent to the mass of the pile in 3 treatment groups with no addition of the agent in treatment group CK. After 38 d of compost treatment, each treatment was replicated three times. The changes of compost indexes such as temperature, pH, water content, C/N, EC, total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen under different compost treatment conditions were studied. [Result] CK, CDS, XY4, and LL maintained high temperature for 22 d, 23 d, 24 d, and 26 d, respectively. Treatment LL maintained high temperature for the longest time and the highest temperature was 72.53 °C. XY4 was second only to LL. The water content of CK, CDS, XY4, and LL decreased to 34.64%, 43.29%, 38.66%, and 44.1%, respectively, at the end of compost. The water loss of CDS, XY4 and LL treatment was significantly higher than CK ( $P < 0.05$ ), and the water evaporation rate of LL was the highest. At the end of compost, the pH of CK, CDS, XY4 and LL were 8.71, 8.62, 8.25 and 8.34, respectively, and the pH of XY4 and LL were significantly lower than CK ( $P < 0.01$ ), and the pH of XY4 inoculated compost was the lowest. The EC of each treatment group ranged from 1.75 to 2.47 ms/cm, which had reached the state of decomposition, and there was no significant difference ( $P > 0.05$ ) between the EC of each fungicide on the compost. The C/N at the end of CK, CDS, XY4 and LL compost treatment decreased by 32.24%, 38.75%, 48.59% and 44.51%, respectively, compared with the initial compost treatment, and the effect of XY4 treatment was significantly different from that of CK ( $P < 0.01$ ). The total nitrogen content of all treatments showed a trend of slow increase, and the total N content of each treatment CK, CDS, XY4, and LL at the end of compost were 14.46 g/kg, 16.48 g/kg, 16.54 g/kg, 16.54 g/kg, and 16.54 g/kg, respectively. The content of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  decreased to 1.47~1.64 g/kg at the end of compost, and there was no significant difference ( $P > 0.05$ ) between control CK and treatment CDS, XY4 and LL. The content of nitrate-N of each bacterial treatment increased significantly ( $P < 0.05$ ) from 4d to the end of compost, and the order was CDS > LL > XY4 > CK. [Conclusion] Adding microbial agent XY4 with LL composting is more effective.

**Key words:** cow dung; compost; microbial agent; physicochemical properties; nutrient