

北方寒区牛粪无害化处理关键技术研究

隋文志, 胡广民, 赵晓锋, 刘文志, 田艳洪, 李 鹏

(黑龙江省农垦科学院农畜产品综合利用研究所, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘 要: 为探索北方寒区规模化养牛场牛粪无害化处理模式, 确定牛粪无害化处理关键技术, 编制牛粪无害化处理操作规程。2007—2008 年, 以牛粪为原料进行了不同调理剂、翻堆次数、接种剂和不同环境温度条件下的无害化处理试验, 对牛粪无害化处理的主要指标进行了测定。结果表明, 不同调理剂都能完成牛粪无害化处理过程, 调理剂不同可影响堆肥的养分含量, 调理剂的选择要根据应用目的而定; 翻堆次数对牛粪无害化处理指标影响不大, 为节省成本, 可 3 d 左右翻堆 1 次; 不同环境温度对牛粪无害化处理进程影响较大, 环境温度 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 牛粪可在 7~10 d 内完成无害化处理, 环境温度在 $10\sim-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 无害化处理时间一般为 15~20 d, 北方寒区能满足这一条件的时间是每年的 4—11 月; 环境温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 需采取保温措施才能完成牛粪无害化处理过程; 当环境温度较高时, 接种菌剂对牛粪无害化处理进程影响不大, 当环境温度较低时, 接种菌剂可促进牛粪无害化处理进程。

关键词: 北方寒区; 牛粪; 无害化; 关键技术

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)03-0578-08

Key Technology of Cow Dung Composting Innocuous in Northern Cold Regions

SUI Wen-zhi, HU Guang-min, ZHAO Xiao-feng, LIU Wen-zhi, TIAN Yan-hong, LI Peng

(Institute of Agricultural and Poultry Products Comprehensive Utilization Sciences of Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: This study aimed at optimizing the operating of cow dung composting non-hazardous treatment in large-scale cow farm in northern cold regions. Used cow dung as row material under different amendments, turning times, microbial inoculants and environment temperature conditions to make cow dung composting innocuous from 2007 to 2008, and determined indicators of innocuous. The conditioner experiment included four disposals. The results showed that rice chaff and turfy soil as conditioner could accelerate temperature rising and make composting innocuous while rice chaff was better than turfy. The quantity of bacteria in composting with rice chaff was more than it with turfy soil, and the quantity of fungi was opposite, both of the conditioner had little effect on the quantity of actinomyces. The lixivium of composting product had restraining effect on wheat seed and cole seed when it was diluted 10 times and had stimulative effect when it was diluted 50 times, the effect of cole was better than wheat. Environmental temperature experiment used rice chaff as conditioner. The result showed that the ferment agent had little effect on composting temperature rising when environment temperature was above $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and had accelerating effect when it was below $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Typically, every amendments could make composting innocuous, which to choose according to the purpose of application. Turn over every two days was the most economical method since turning times had little effect on indicators of innocuous. Environment temperature affected composting process obviously, 7 to 10 days completed innocuous process when it was above $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, the 15 to 20 days completed when it was between $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. And we must adept heat preservation measures to complete composting innocuous process when the environment temperature below $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bacteria and actinomyces had vigorous activities when environment temperature was low, conversely the effect of them were restrained.

Keywords: northern cold regions; cow dung; innocuous; key technology

我国北方畜牧业养殖向着规模化、标准化和自动化的方向发展,存栏量为200~2000头的肉奶牛基地,每日产生的牛粪在5~50 t。牛粪的无害化处理主要以自然发酵为主,处理时间长、效果差,环境污染严重。

牛粪主要用于生产有机肥,有条件的地方可部分用于生产沼气,牛粪作为有机肥施入农田前需要经过无害化过程,使牛粪熟化、并杀死其中的虫卵、病菌和草籽^[1];我国对牛粪无害化处理的研究很多,从堆肥机理到应用技术进行了广泛研究^[2-7],但对寒冷地区规模化牛场牛粪无害化处理关键技术研究尚未见报道。

本文从畜禽粪便无害化处理的应用价值、养分保全状况、降低生产成本以及周年发酵等几方面考虑,以牛粪为研究材料,进行了调理剂选择试验、不同环境温度试验、翻堆次数试验和接种剂试验,以物理指标(温度)、化学指标(养分)和生物指标(微生物数量、种子发芽率)为主要指标,探索北方寒区规模化牛场牛粪无害化处理模式,确定牛粪无害化处理关键技术,达到畜禽粪便处理量90%以上的目标。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

鲜牛粪取自黑龙江省农垦科学院佳南试验农场奶牛基地,稻壳取自附近米厂,草炭取自黑龙江桦美泥炭公司草炭厂,玉米秸秆取自本所试验田,复合菌剂由本所微生物研究室分离。本试验用的各种试验材料理化性质分析见表1。

表1 试验材料的物理化学性质

Table 1 Nutrient content of compost materials

原料	水分/ %	pH	C/N	全氮/ g·kg ⁻¹	全磷/ g·kg ⁻¹	全钾/ g·kg ⁻¹	有机质/ %
牛粪	82.33	8.65	11.36	24.41	6.13	16.41	82.13
玉米秸秆粉	9.41	5.84	63.14	8.22	4.37	15.74	76.28
草炭	9.37	5.42	20.37	16.53	4.40	2.42	60.94
稻壳	7.03	6.25	37.33	5.08	0.55	4.45	63.34

复合菌剂组成:(1)纤维素分解菌:细菌、真菌、放线菌各一株;(2)细菌两株,放线菌一株。

调理剂试验和不同环境温度试验在黑龙江省佳木斯市农垦科学院院内进行;翻堆次数试验在黑龙江省宝清县五九七农场华兴肉牛基地进行。

1.2 试验方法

1.2.1 调理剂试验

采用草炭和稻壳为调理剂,试验设4个处理。处

理1:牛粪+稻壳;处理2:牛粪+稻壳+接种剂;处理3:牛粪+草炭;处理4:牛粪+草炭+接种剂。

操作步骤:稻壳和草炭用量以调节含水量为60%~65%为准,应根据鲜牛粪含水量加入,用量为牛粪:调理剂=1:1。闷堆24 h后发酵,搅拌均匀,堆成长×宽×高=1.5 m×1.2 m×0.8 m的梯形堆,上盖塑料薄膜,堆底部留10 cm,以利通气,堆温超过65℃时进行翻堆,保温发酵15~20 d,结束试验。

1.2.2 翻堆次数试验

采用玉米秸秆为调理剂,试验设3个处理:处理1,每日翻1次堆;处理2,每2 d翻1次堆;处理3,每3 d翻1次堆。操作步骤同1.2.1。

1.2.3 环境温度试验

采用稻壳和草炭为调理剂,试验设2个环境温度条件,是在自然条件下进行的:(1)气温10~25℃(2007年8—9月);(2)-10~10℃(2008年10—11月)。每个温度条件设2个处理:处理1,牛粪+稻壳;处理2,牛粪+稻壳+菌剂。操作步骤同1.2.1。

1.3 测定项目及分析方法

1.3.1 取样方法

翻堆时在堆肥长边纵向切多个剖面,每个剖面纵向取5条宽8 cm、厚4 cm的样品,把所有的样品混合后,为堆体样品,鲜样测种子发芽率和微生物数量,风干样测定各种养分。

1.3.2 物理指标测定

牛粪无害化处理过程中,每日检测堆体温度和气温2次,每次上午9时,下午15时,分上层(距堆顶20~30 cm)、中层(距堆顶40~50 cm)、下层(距堆顶60~70 cm)3层分别选取3点测定堆肥温度,取3点平均值作为该层的温度,取3层的平均值作为堆体的温度,温度用水银温度计测定;分别在堆制当日和第3、7、13、23 d均匀地从堆体内部取样,阴凉处自然风干备用。

1.3.3 化学指标测定

全氮采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-开氏定氮法(中华人民共和国农业行业标准-有机肥料NY525—2002);全磷采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-钒钼黄比色法(中华人民共和国农业行业标准-有机肥料NY525—2002);全钾采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-火焰光度法(中华人民共和国农业行业标准-有机肥料NY525—2002);水分采用105℃烘干法测定^[8]。

1.3.4 生物学指标测定

微生物区系测定:采用稀释培养法测定细菌、放

线菌和真菌的数量,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,32℃培养 3~4 d;放线菌用高氏一号培养基,28~30℃培养 5~7 d;真菌用马丁氏培养基,28~30℃培养 3~5 d。培养结束后计数。

种子发芽率安全性评价:在不同时期(见前)分别取样 5 g 加入 50 mL 蒸馏水,充分振荡,30℃条件下浸提 20 h,过滤,滤液稀释 5 倍。吸取 5 mL 滤液和稀释 10 倍滤液,加到铺有 2 张滤纸的 9 cm 培养皿中,每个培养皿点播油菜种子 50 粒、小麦种子 30 粒,30℃下培养,第 24 h 和 48 h 测发芽率,每个处理重复 3 次,对照为蒸馏水。

2 结果与讨论

2.1 堆肥温度变化指标

温度变化是牛粪无害化处理的重要物理指标,不同国家对畜禽粪便无害化处理温度规定的时间不同,多数国家规定 55~60℃、4 d 以上的无害化处理时间,才能达到无害化标准(表 2)。

2.1.1 调理剂对牛粪堆肥温度变化的影响

牛粪属于冷性粪便,自然发酵慢,必须加入一定

的调理剂,调节其水分和 C/N。本试验选择当地资源丰富的稻壳和草炭为调理剂,稻壳为调理剂发酵的牛粪质地粗糙,可作为廉价肥料,直接撒施到土壤中,草炭为调理剂发酵的牛粪质地细腻,可作为高附加值的生物有机肥,制成颗粒肥机械播施。

试验结果表明,两种调理剂都可促进牛粪快速升温,完成牛粪无害化处理过程;以草炭为调理剂的堆肥升温过程比以稻壳为调理剂的堆肥温度升温滞后;在无害化处理期间,牛粪加稻壳处理温度始终高于牛粪加草炭处理,原因是稻壳较疏松,通气好,利于微生物的生命活动;草炭质地紧密,通气差,不利于微生物的生命活动。堆肥第 3 d 牛粪加稻壳处理堆温升至 70℃,牛粪加草炭处理第 4 d 堆温升至 58℃;无害化过程中牛粪加稻壳处理堆温最高升至 71.4℃,牛粪加草炭处理堆温最高升至 59.4℃;加入纤维素分解菌能促进堆肥前期快速升温,在后期的无害化处理中,菌剂的作用不明显(图 1)。

2.1.2 翻堆次数对牛粪堆肥温度变化的影响

翻堆次数影响到堆肥的成本^[9-10],本试验结果表明,翻堆时间在 1~3 d 的范围内,对堆温变化影响不大,在堆肥的第 4 d 3 个处理堆温都达到 60℃,达到堆肥无害化处理的标准。水分测定结果表明,翻堆时间间隔长,水分散失慢,其中以 2 d 翻堆 1 次较好(图 2)。

2.1.3 不同环境温度下牛粪堆肥温度的变化

环境温度对堆肥的进程有显著的影响^[11-12]。环境温度≥10℃的试验于 2007 年 8—9 月进行,环境温度≤10℃的试验于 2008 年 10—11 月进行。环境温度≥10℃条件下,牛粪堆腐第 2 d,不接菌处理堆温达到 62.3℃,接菌处理堆温达到 64.2℃,无害化过程在堆腐 7 d 结束,进入后熟阶段;环境温度≤10℃条

表 2 中国和部分欧洲国家堆肥无害化标准

Table 2 Standard for composting innocuous of China and some Europe Country

国家	温度/℃	时间/d
中国	50~55	5~7
奥地利	65	6
比利时	60	4
丹麦	55	14
法国	60	4
意大利	55	3
荷兰	55	2

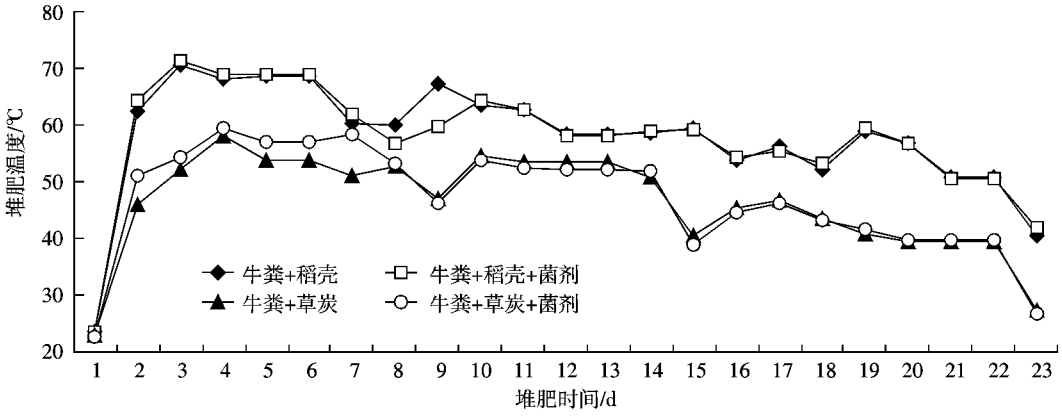


图 1 调理剂对牛粪无害化过程堆肥温度变化的影响

Figure 1 Effect of amendments on composting temperature variety during innocuous process

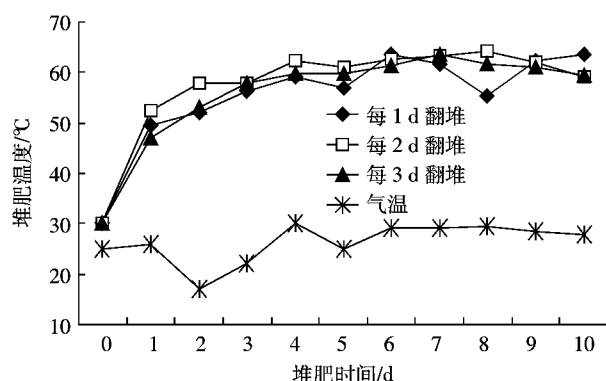


图2 翻堆次数对牛粪无害化过程堆肥温度变化的影响

Figure 2 Effect of turning times on composting temperature variety during innocuous process

件下,牛粪堆腐第9 d,不接菌处理堆温达到 55.5℃,接菌处理堆温达到 61.7℃,无害化过程在 15 d 内结束,进入后熟阶段。环境温度 $\geq 10^\circ\text{C}$ 以上时,接种剂对牛粪无害化处理起始升温作用不明显,而环境温度 $\leq 10^\circ\text{C}$ 条件下,接种剂可促进堆温升高,加快牛粪无害化处理进程(图 3)。

2.2 堆肥养分变化动态

2.2.1 调理剂对牛粪堆肥氮磷钾含量的影响

以稻壳和草炭为调理剂,对牛粪无害化处理中全氮、全磷和全钾含量影响表现出差异:以草炭为调理剂的堆肥全氮和全磷含量高于以稻壳为调理剂的堆肥,全钾含量则较低;随着无害化处理进程,堆肥中全氮含量下降,全磷和全钾量略有提高。接种复合菌剂对堆肥氮磷钾含量变化无明显影响(图 4,图 5,图 6)。

2.2.2 翻堆次数对牛粪堆肥氮磷钾含量的影响

翻堆次数对牛粪无害化处理中全氮磷钾的变化

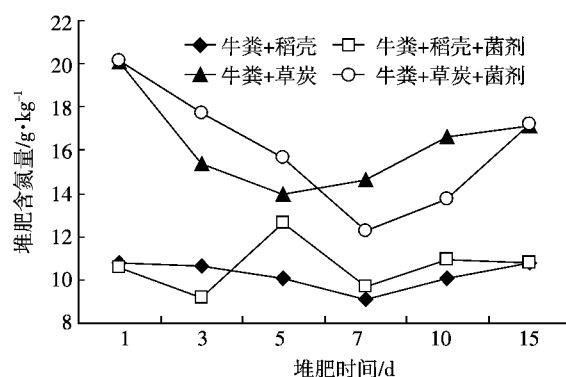


图4 不同调理剂对牛粪无害化处理中全氮含量的影响

Figure 4 Effect of different amendments on N content of composting during innocuous process

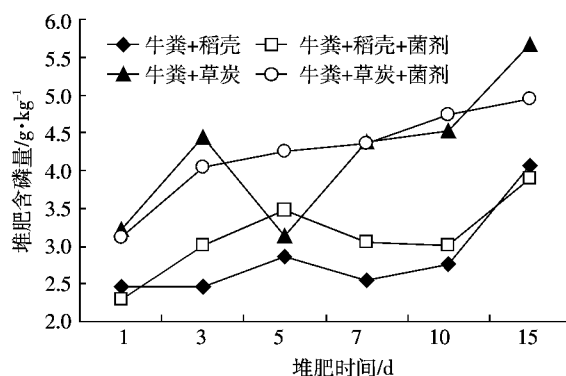


图5 不同调理剂对牛粪无害化处理中全磷含量的影响

Figure 5 Effect of different amendments on P content of composting during innocuous process

影响不大(图 7,图 8,图 9)。

2.2.3 不同环境温度下牛粪堆肥氮磷钾含量的变化

不同环境温度条件下,牛粪无害化处理过程对堆肥氮、磷、钾含量无太大影响(图 10,图 11,图 12)。

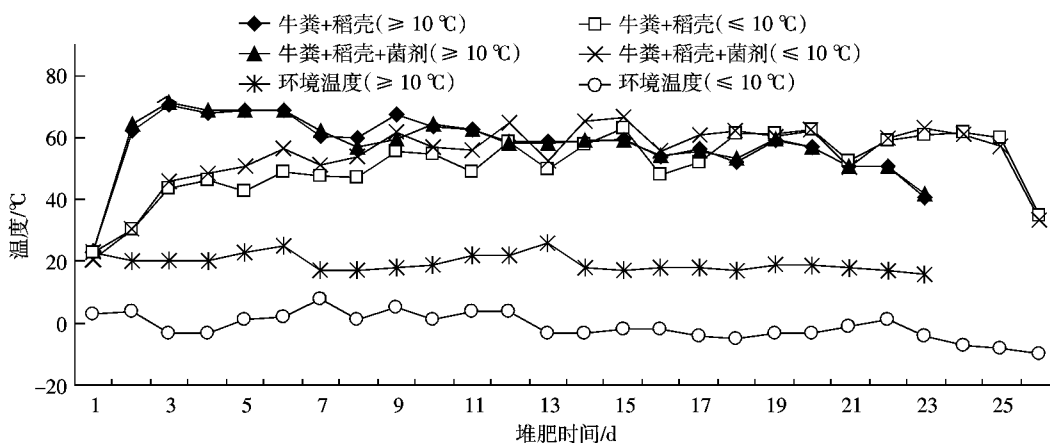


图3 环境温度对牛粪无害化过程堆肥温度变化的影响

Figure 3 Effect of environment temperature on composting temperature variety during innocuous process

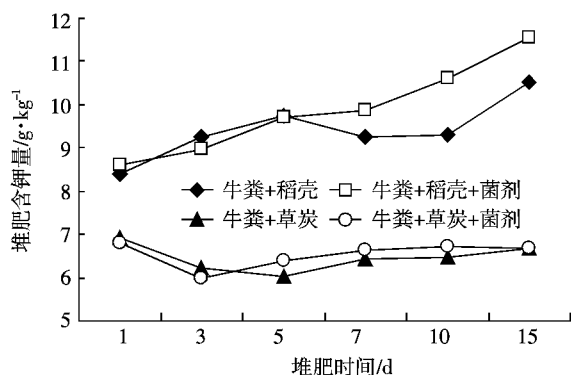


图6 不同调理剂对牛粪无害化处理中全钾含量的影响

Figure 6 Effect of different amendments on K content of composting during innocuous process

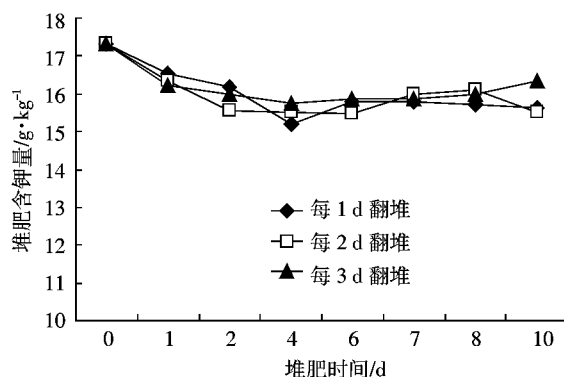


图9 翻堆次数对牛粪无害化处理中全钾含量的影响

Figure 9 Effect of turning times on K content of composting during innocuous process

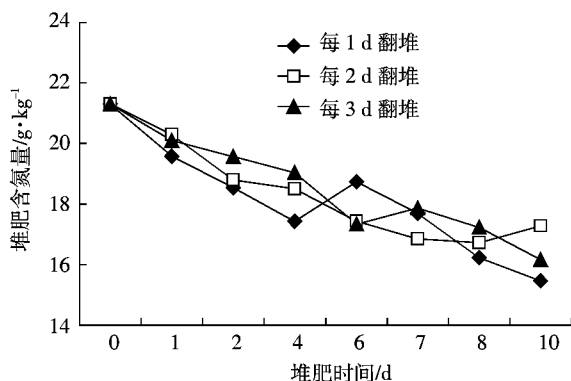


图7 翻堆次数对牛粪无害化处理中全氮含量的影响

Figure 7 Effect of turning times on N content of composting during innocuous process

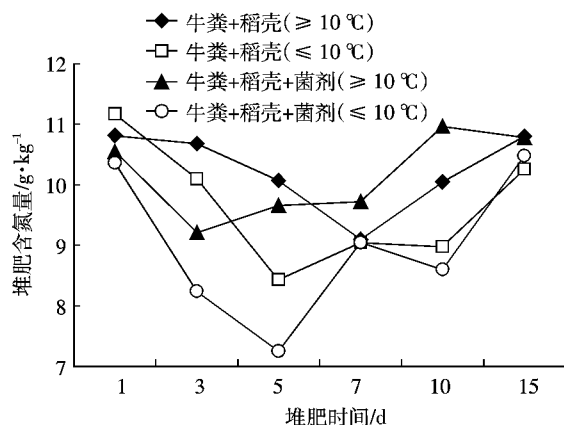


图10 不同环境温度下牛粪无害化处理中氮含量的影响

Figure 10 Effect of environment temperature on N content of composting during innocuous process

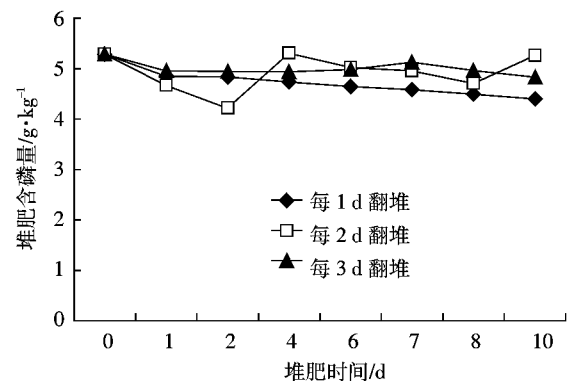


图8 翻堆次数对牛粪无害化处理中全磷含量的影响

Figure 8 Effect of turning times on P content of composting during innocuous process

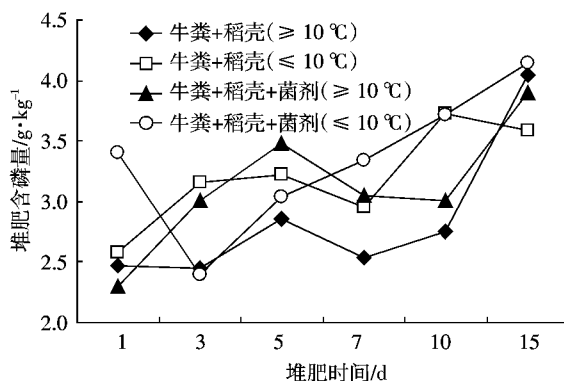


图11 不同环境温度下牛粪无害化处理中磷含量的影响

Figure 11 Effect of environment temperature on P content of composting during innocuous process

2.3 堆肥中温型微生物数量变化动态

堆肥化是微生物作用于有机废物的生化降解过程,微生物是堆肥过程的主体。堆体中微生物数量和区系变化是堆肥进程的重要指标,通过分析堆肥中微生物数量变化,研究微生物区系变化动态,阐明不同阶段主要的微生物类群,对于了解、控制堆肥过程具

有重要意义^[11,13]。

2.3.1 调理剂对牛粪堆肥中温型微生物数量的影响

以稻壳为调理剂牛粪无害化处理中细菌总数高于以草炭为调理剂的处理,接种复合菌剂后这种现象

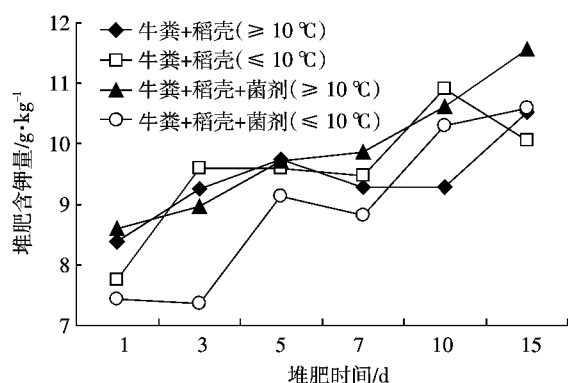


图 12 不同环境温度下牛粪无害化处理中钾含量的影响

Figure 12 Effect of environment temperature on K content of composting during innocuous process

表现更显著,主要原因为稻壳质地疏松通气好,有利于细菌生长;两种调理剂对放线菌总数变化影响不大;真菌总数则是以草炭为调理剂处理高于以稻壳为调理剂的处理,原因是草炭中含有大量的真菌所致。随着牛粪无害化处理进程的推进,微生物总数急剧下降,主要原因是堆肥温度升高,本文测定的堆肥微生物都为中温型,中温型活动微生物产生热量,使堆肥温度升高(图 13,图 14,图 15)。

2.3.2 不同环境温度下牛粪堆肥中温型微生物数量变化动态

环境温度高,细菌和放线菌活动旺盛,堆肥升温快;环境温度低,细菌和放线菌活动受到影响,堆肥升温慢;环境温度对堆肥中真菌数量影响不大(图 16,图 17,图 18)。

2.4 堆肥浸出液对种子发芽率安全性评价

牛粪无害化处理后的堆肥产品浸出液 10 倍液对小麦和油菜种子发芽率有一定的抑制作用,50 倍液表现出一定的促进作用;浸出液对油菜种子发芽表现

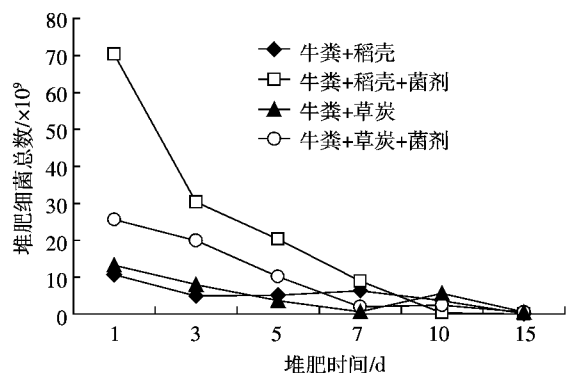


图 13 不同调理剂对牛粪无害化处理中细菌总数变化的影响

Figure 13 Effect of different amendments on bacteria quantity of composting during innocuous process

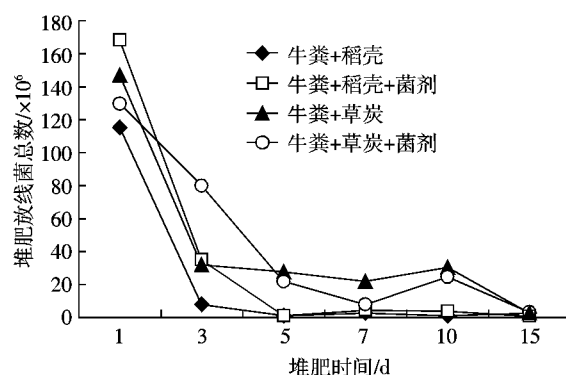


图 14 不同调理剂对牛粪无害化处理中放线菌总数变化的影响

Figure 14 Effect of different amendments on actinomycetes quantity of composting during innocuous process

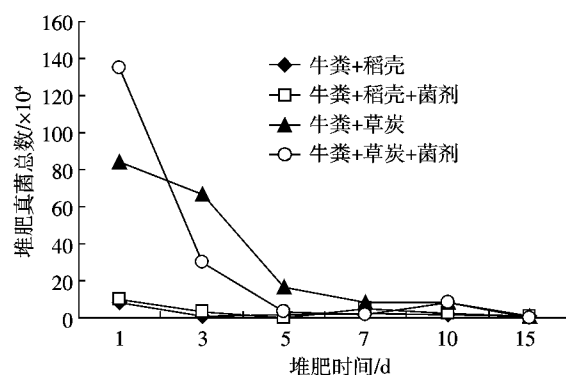


图 15 不同调理剂对牛粪无害化处理中真菌总数变化的影响

Figure 15 Effect of different amendments on fungi quantity of composting during innocuous process

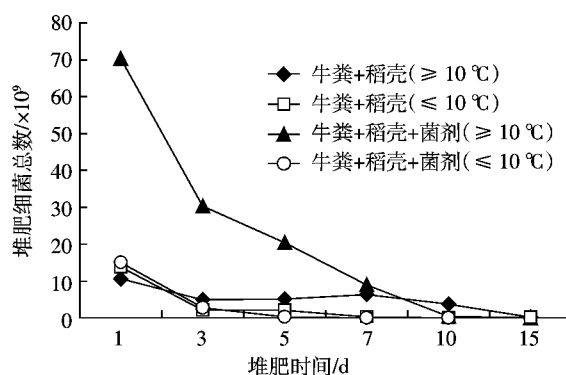


图 16 不同环境温度对牛粪无害化处理中细菌总数变化的影响

Figure 16 Effect of different environment temperature on bacteria quantity of composting during innocuous process

效果好于小麦(表 3)。

3 结论

(1)牛粪加入不同调理剂都能完成无害化过程,不同调理剂对堆肥的营养含量有一定影响,在生产中应

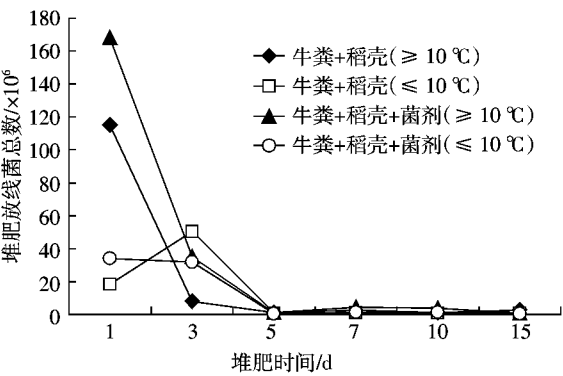


图 17 不同环境温度对牛粪无害化处理中放线菌总数变化的影响
Figure 17 Effect of different environment temperature on actinomycetes quantityof composting during innocuous process

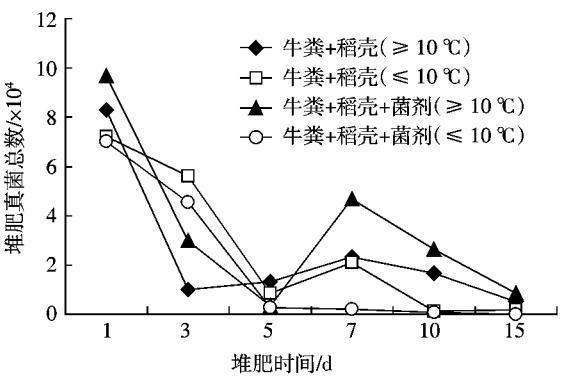


图 18 不同环境温度对牛粪无害化处理中真菌总数变化的影响
Figure 18 Effect of different environment temperature on fungi quantity of composting during innocuous process

根据应用目的选择适合的调理剂。本试验中,稻壳易取、廉价,但产品质量粗糙,不适合深加工;草炭成本高,易取,产品质地细,可用于制作颗粒型有机肥,提高牛粪产品的附加值。

(2)在以玉米秸秆为调理剂的试验中,翻堆次数

对牛粪无害化处理各项指标影响不大,为节省生产成本,可 2~3 d 翻堆 1 次。

(3)在北方寒区,温度是影响牛粪无害化处理的主要环境因素,高温条件下,牛粪 7~10 d 就可完成无害化处理进入后熟阶段,当环境温度在 10~-10℃时,牛粪无害化处理时间延长至 15~20 d,在北方寒区,4—11 月(8 个月)都可满足这个条件,其他时间就需要保温才能完成无害化处理过程。

(4)本文测定的各项指标中,温度可作为牛粪无害化处理的一项主要指标,其他指标可作为参考指标,本文中所述的依据是以牛粪无害化处理中堆温在 55~60℃发酵 5 d 为基准,中温型微生物数量急剧下降,全氮含量降低,全磷和全钾无明显变化,堆肥浸出液对种子发芽率影响不大。

参考文献:

[1] 李吉进. 畜禽粪便高温堆肥机理与应用研究[D]. 北京:中国农业大学 博士学位论文, 2004.
LI Ji-jin. Research on mechanism and application of livestock and poultry manure high temperature composting[D]. Beijing: Paper of China Agricultural University Doctor, 2004.
[2] 何惠霞, 徐凤花, 赵晓峰, 等. 低温下牛粪接种发酵剂对堆肥温度与微生物的影响[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(1):54-58.
HE Hui-xia, XU Feng-hua, ZHAO Xiao-feng, et al. Effects of inoculated complex microbial agent to cattle manure on compost temperature and microorganism under low temperature [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38(1):54-58.
[3] 单德鑫, 李淑芹, 许景钢. 牛粪生物堆肥有机酸变化及对腐熟度的影响[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(1):29-31.
SHAN De-xin, LI Shu-qin, XU Jing-gang. Impact of inoculating microbes on organic acids and maturity of dairy manure composting[J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, 30(1):29-31.

表 3 牛粪无害化处理堆肥浸出液对小麦、油菜种子发芽率的影响

Table 3 Effect of innocuous composting leaching liquor on germinating rate of wheat and rape seed

稀释倍数	处理	2007 年				2008 年			
		小麦		油菜		小麦		油菜	
		发芽率/%	与对照比/%	发芽率/%	与对照比/%	发芽率/%	与对照比/%	发芽率/%	与对照比/%
10 倍	稻壳+牛粪	90.0	91.8	89.9	94.6	90.0	91.8	94.2	99.2
	稻壳+牛粪+菌	93.2	95.1	92.0	96.8	93.3	95.2	95.1	100.1
	草炭+牛粪	96.7	98.6	96.0	101.1	93.3	95.2	95.9	100.9
	草炭+牛粪+菌	96.7	98.6	95.0	100.0	96.7	98.6	93.9	98.8
50 倍	稻壳+牛粪	93.3	95.2	91.6	96.4	93.8	95.7	96.1	101.2
	稻壳+牛粪+菌	95.0	96.9	98.0	103.2	98.3	100.3	95.0	100.0
	草炭+牛粪	88.3	90.1	96.1	101.2	91.7	93.6	96.9	102.0
	草炭+牛粪+菌	91.7	93.6	95.1	100.1	93.3	95.2	93.0	97.9
	清水对照	98.0	100.0	95.0	100.0	98.0	100.0	95.0	100.0

- [4] 刘庆, 李崇军, 刘顺利, 等. 牛粪与秸秆发酵堆肥全部或部分替代草炭的研究[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(2): 57-59.
LIU Qing, LI Chong-jun, LIU Shun-li, et al. Study on the fermented farmyard manure from cow dung and straw for completely or part replacing turf[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2007, 35(2): 57-59.
- [5] 张夫道, 张树清, 王玉军, 等. 有机物料高温快速连续发酵除臭技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 796-800.
ZHANG Fu-dao, ZHANG Shu-qing, WANG Yu-jun, et al. Deodorization techniques on fleeting continuous zymosis of organic feces with high temperature[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(4): 796-800.
- [6] 赵晨曦, 肖波, 禹逸君. 畜禽粪便污染和处理技术现状与发展趋势[J]. 湖南农业科学, 2003(6): 52-55.
ZHAO Chen-xi, XIAO Bo, YU Yi-jun. Status and trends of treatment techniques of the dejecta of domestic animal and poultry[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2003(6): 52-55.
- [7] 徐德徽, 王韩民. 我国畜禽养殖污染防治的产业化探析[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 226-228.
XU De-hui, WANG Han-min. Industrialization of the control and prevention of livestock feeding pollution in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(4): 226-228.
- [8] NY 525-2002 有机肥料[S]. 中华人民共和国农业行业标准.
NY 525-2002 Organic Fertilizer [S]. Agricultural Industry Criteria of China.
- [9] 李玉红, 李清飞, 王岩. 翻堆次数对牛粪高温堆肥的影响[J]. 河南农业科学, 2006, 7: 70-72.
LI Yu-hong, LI Qing-fei, WANG Yan. Effect of turning frequency on high temperature composting of dairy manure[J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2006, 7: 70-72.
- [10] Tiquia S M, Tam N F Y, Hodgkiss I J. Effect of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter[J]. *Bioresource Technology*, 1997, 62: 37-42.
- [11] Liang C, Das K C, McClendon R W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 86: 131-137.
- [12] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 环境温度对污泥堆肥的影响[J]. 环境科学, 1999, 20(6): 63-66.
LI Yan-xia, WANG Min-jian, WANG Ju-si. Effect of air temperature on sewage sludge composting[J]. *Environmental Science*, 1999, 20(6): 63-66.
- [13] 冯明谦, 刘得明. 滚筒式高温堆肥中微生物种类数量的变化[J]. 中国环境科学, 1999, 19(6): 490-492.
FENG Ming-qian, LIU De-ming. Study on microbe species for high-temperature composting of horizontal cylinder[J]. *China Environmental Science*, 1999, 19(6): 490-492.