

不同禽畜粪便静态高温堆肥过程中蔗糖酶活性的变化

梁东丽, 谷洁, 高华, 秦清军, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:在静态通气条件下,以养殖场鸡粪、猪粪、牛粪为材料,小麦秸秆作为堆肥调节物质,分别研究了接种微生物菌剂(接种菌剂处理)和不加菌剂(对照处理)堆肥过程中蔗糖酶活性的变化特征及其与温度的关系。结果表明,接种菌剂处理与对照处理在堆肥过程中蔗糖酶活性的变化趋势基本一致,即在高温腐解期蔗糖酶活性持续较高,在低温腐殖化期蔗糖酶活性急剧下降,且维持较低水平。接种菌剂能明显地提高堆肥过程蔗糖酶的活性,酶活性峰值高且出现时间较对照早 4~8 d。供试的 3 种物料蔗糖酶活性差异不显著,接种菌剂处理鸡粪、猪粪和牛粪蔗糖酶活性的最高值分别为 87.84、81.3 和 86.8 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$,对照处理分别为 62.9、60.9 和 63.79 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$,但 3 种物料接种菌剂和对照处理酶活性峰值出现的时间不尽相同,鸡粪的两种处理相同,猪粪加菌剂比对照提早 8 d,牛粪加菌剂较对照早 4 d 出现。整个堆肥过程中蔗糖酶活性与堆体温度变化关系密切,对照处理堆体温度与蔗糖酶活性的关系为一元二次方程,表现为高温腐解期为显著性直线负相关,低温腐殖化期为显著性直线正相关,而加菌剂处理堆体温度和蔗糖酶活性间为极显著直线正相关。

关键词:禽畜粪便;堆肥;蔗糖酶活性;温度

中图分类号:X141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)07-1535-06

Changes of Sucrase Activities and Temperature in Static State Composting Processes of Different Livestock and Fowl Excrement

LIANG Dong-li, GU Jie, GAO Hua, QIN Qing-jun, LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Changes of sucrase activities and temperatures in static animal excrement composting with added microbial agents were studied at aeration composting process. The animal excrement included cow manure, chicken manure and pig manure. Wheat straw was used to adjust the compost bulk. Results revealed that the patterns of sucrase activities were similar during the composting process for both treatments, it was bigger during high temperature decay process and smaller during low temperature humification period. Nevertheless, the peak values of the sucrase activities were bigger and occurred 4~8 days earlier with added microorganism agent than in the control. The peak sucrase activities in the treatment with added microorganisms were 87.84 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (10th d), 81.3 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (8th d) and 86.8 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (10th d) for chicken manure, pig manure and cow manure, respectively, while the respective activities in CK treatment were only 62.9 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (10th d), 60.9 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (16th d) and 63.79 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{d})^{-1}$ (14th d), respectively. There wasn't any significant difference for peak sucrase activities among chicken excrement, pig excrement and cow excrement as composting materials. However, except sucrase activities of chicken excrement peaked at the same time for both treatments, while pig excrement with adding agent appeared 8 days earlier than in the control, and cow excrement occurred 4 days earlier than CK. There was a significant correlation between composting temperatures and sucrase activities for all treatments. An exponential increase was seen for CK, and a linear rise for the treatment with added microorganisms.

Keywords: livestock and fowl excrement; compost; sucrase activities; temperature

在农业废弃物的无害化处理和资源化利用方面,

堆肥是一种重要的方式^[1-3]。堆肥是在微生物酶的作用下,降解和转化有机物质的生物化学过程。通过有目的的腐解作用,把有机物转化为养分和活性物质,同时,在有机物分解过程产生的高温可杀灭病原生物,从而达到废弃物资源的无害化和资源化^[4-6]。

目前人们对有机物料堆腐的酶变化的影响研究涉及不多^[7-9]。由于堆腐过程是微生物及其分泌的胞外酶作用下进行的过程,研究酶活性的变化可以进一步

收稿日期:2008-12-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40771109, 40871119);科技部“农转资金”项目(05EFN216100282);陕西省农业重点攻关项目(2003K02-G13-01)

作者简介:梁东丽(1963—),陕西省铜川市人,博士,副教授,主要从事土壤环境化学和废弃物转化方面的研究。

E-mail: dongliliang2005@yahoo.com

通讯作者:谷洁 E-mail: gujoyer@sina.com

推断腐解进程和机理^[10-14]。水解酶是参与堆腐过程生物化学反应的一类重要酶,研究水解酶活性的变化,可以推断堆腐过程和矿质化进程和强度;蔗糖酶是一种重要的水解酶,其可以把蔗糖水解为葡萄糖和果糖,以满足微生物生长发育中对碳源和能源的需求,加速有机物料的腐解,另一方面产生的单糖等物质成为堆肥后期有机物腐殖化过程的原料物质,有研究也发现腐解过程中蔗糖酶活性与纤维素酶有密切的相关^[15],因此研究堆肥过程中蔗糖酶活性的变化及其与温度的关系可以推断堆肥过程的矿质化强度或者进程。本文从这一方面出发,系统研究了鸡粪、猪粪、牛粪高温静态堆肥过程中蔗糖酶的变化特点及其与温度的关系,以便为农业废弃物的利用和资源化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 堆肥材料

试验所用禽畜粪便为来源于养殖场的鸡粪、猪粪和牛粪,以小麦秸秆作为调节物质,其养分含量见表 1。

表 1 农业废弃物的养分含量(烘干样)

Table 1 Nutrient contents in the agricultural waste materials (oven-dried base)

试验材料	有机碳/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	粗有机物/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	C/N	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
鸡粪	311.6	496.1	27.1	14.36	21.2	19.2
猪粪	421.8	639.5	21.0	21.09	9.6	10.8
牛粪	380.3	659.2	17.2	24.11	4.7	9.3
小麦秸秆	396.1	817.4	6.3	62.90	1.86	12.4

1.2 试验方法

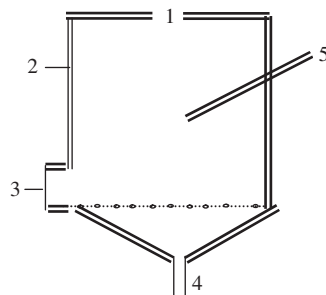
试验于 2004—2005 年在西北农林科技大学资源环境学院土壤肥料研究所堆肥试验场进行。

将麦秸切成 3~5 cm 后,分别与鸡粪、猪粪、牛粪混合,混合物中 C/N 比为 30:1~35:1^[10];加水,使堆料水分含量保持在 55%~65%之内^[10]。试验设两种处理:一种是接种课题组筛选获得的腐解复合微生物菌剂(以下称为接种菌剂处理),此菌剂可除臭、提高堆肥温度和加速堆肥反应^[16],一种是不加菌剂(以下称为对照处理)。将上述处理的混合有机物质分别装入堆肥装置中(图 1)。堆料不同部位插有温度探头(温度传感器),并与自动记录仪联接,原位测量和记录堆腐过程中采样点堆料温度的变化。定期(0~6 d 每日采样,8~34 d 每 2 d 采样 1 次)从堆肥装置中部多点采

集混合样品,用于测定。堆料腐熟后停止采样。整个堆腐过程共持续进行 34 d,采样 21 次。

1.3 堆肥装置

堆肥装置主要由 2 个高 1.0 m,内径 0.6 m,外径 0.7 m 的圆柱形发酵罐(反应器)组成。发酵罐由双层不锈钢构成外壳,层间有 0.5 cm 厚的保温材料;底部为带有小孔的不锈钢筛孔板,堆肥材料混匀置于其上。空气从罐底部供入,通风量为 $0.8 \text{ m}^3 \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ (以有机物计),通过筛孔进入罐内,穿过堆肥物料后从上部排出。



1.装料、排气口;2.隔热层;3.出料口;4.通气口;5.温度传感器

图 1 堆肥发酵装置图

Figure 1 The diagram of composting device

1.4 测定项目与方法

测定温度用 ZDR-11 型温度记录仪,装置堆料时安放传感器探头于固定位置,可原位测定温度动态变化,数字化自动记录温度。蔗糖酶活性测定参照关松荫的方法^[17]。蔗糖酶活性是在样品中加入蔗糖,在 37 ℃下培养 24 h,使蔗糖在蔗糖酶作用下水解成葡萄糖,利用 3,5 二硝基水杨酸比色法测定葡萄糖生成量以表征蔗糖酶活性,其单位用 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 表示。堆腐物料中基础养分的分析:有机碳用重铬酸钾法,全氮用凯氏蒸馏法,全磷用钒钼黄比色法,全钾用火焰光度计法^[18]。

2 结果与讨论

堆腐有机物中的蔗糖主要是纤维素分解生成的,也有一部分原来存在于有机物中。蔗糖会在蔗糖酶的作用下分解为单糖,为有机物的低温腐殖化过程提供原料。

2.1 鸡粪堆肥过程蔗糖酶活性的变化

鸡粪堆肥过程蔗糖酶活性的变化见图 2。本试验表明,接种菌剂的处理,在堆肥前 3 d,蔗糖酶活性持续下降;第 3~10 d 持续上升,并在第 10 d 达到峰值 $87.84 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 。整个高温腐解期(温度 $> 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$,第 1~

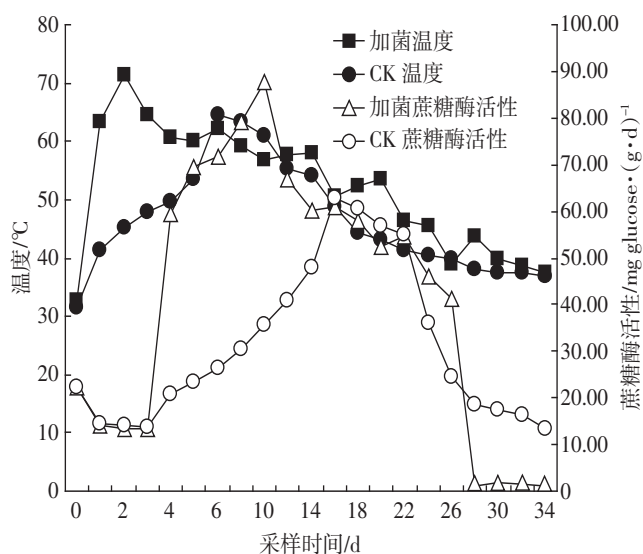
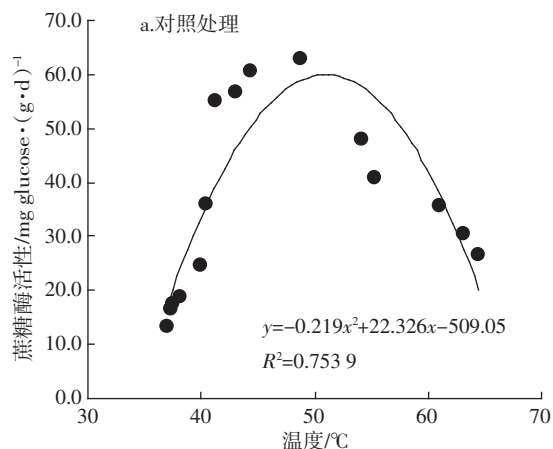


图2 鸡粪堆肥过程蔗糖酶活性变化

Figure 2 Change of sucrose enzyme activity during composting chicken excrement

20 d)蔗糖酶活性一直处于较高水平,虽有下降趋势,但变化比较平缓。此后进入低温腐殖化期后蔗糖酶活性明显下降,这可能与作用底物浓度降低有关。对照处理的蔗糖酶活性在高温腐解期(第4~14 d)始终低于加菌剂处理,活性高峰出现晚(第16 d),且峰值较低仅为 $62.9 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 。接种菌剂处理和对照处理的堆体最高温分别出现在第2 d(71.3°C)和6 d(64.5°C),两者相差较大,但蔗糖酶活性的高峰分别出现在第10 d和第16 d,说明接种菌剂可以加速有机物料的矿化,使得蔗糖分解的高峰提前了6 d。

由图3a可知,对照处理在进入高温堆腐期后,蔗糖酶活性和温度呈抛物线形相关,蔗糖酶在堆腐温度



50°C 左右时活性最高,低于或者高于这一温度都会引起蔗糖酶活性的明显下降,究其原因是因为在高温腐解期堆体温度的变化早于酶活性的变化,温度与酶活性变化成负相关,而低温腐殖化期后蔗糖酶活性随堆体温度的下降而下降,酶活性与温度间关系为:

$$y = -0.219x^2 + 22.326x - 509.05, R^2 = 0.7539 (P < 0.01)$$

对于接种菌剂处理(图3b),不考虑堆腐起始阶段蔗糖酶活性的下降,进入高温腐解的第4 d后,堆体温度和蔗糖酶活性呈极显著直线正相关,亦即温度是决定蔗糖酶活性的最主要的因素:

$$y = 2.8251x - 95.768, R^2 = 0.7203 (P < 0.01)$$

2.2 猪粪堆腐过程蔗糖酶活性的变化

猪粪堆肥期间蔗糖酶的活性变化见图4。

整个堆肥过程温度和酶活性变化的趋势与图2相似。加菌剂处理和对处理温度最高峰分别出现在

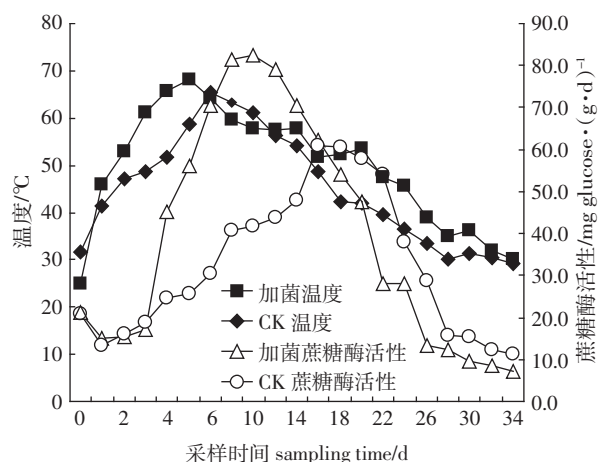


图4 猪粪堆腐过程蔗糖酶活性变化

Figure 4 Change of sucrose enzyme activities during composting of pig excrement

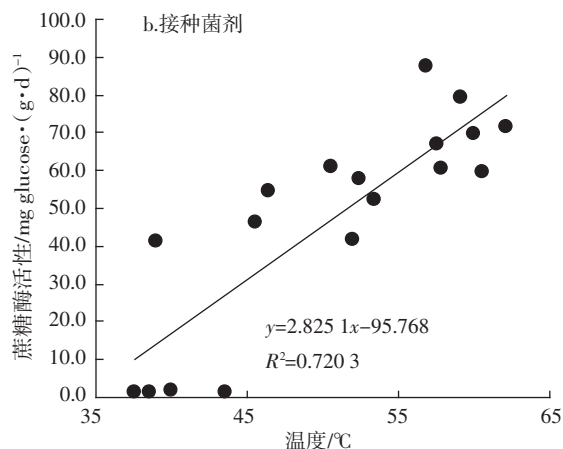


图3 鸡粪堆腐过程蔗糖酶活性与温度的关系

Figure 3 Relations of temperature to sucrose enzyme during composting chicken excrement

第5 d(68℃)和6 d(65.5℃),两者差别不大,但是蔗糖酶活性最高点出现的时间分别是第8 d和第16 d,说明加入菌剂可以加速有机物料的矿化^[17],使得蔗糖分解的高峰提前了8 d,此时加菌剂处理蔗糖酶的活性为 $82.6 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 较对照处理的 $60.9 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 提高了35.63%,整个堆肥期间加菌剂处理蔗糖酶活性的平均值为 $(40.22 \pm 27.17) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,对照处理则为 $(32.9 \pm 16.97) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,前者明显高于后者,但是低温腐殖化期(20 d后)对照处理的酶活性明显高于加菌剂处理。

不考虑堆肥升温期微生物调适而引起的蔗糖酶活性的下降,蔗糖酶活性上升到高于初始水平后,堆体温度和蔗糖酶活性的相关性见图5(a,b)。无论是对照处理还是加菌剂处理温度和蔗糖酶活性间有密切相关,表现为对照处理温度和蔗糖酶活性符合二次方程也就是在高温腐解期温度和蔗糖酶活性间为负相关,低温腐殖化期温度和蔗糖酶活性间为正相关:

$$y = -0.1238x^2 + 12.199x - 240.72, R^2 = 0.9184 (P < 0.01)$$

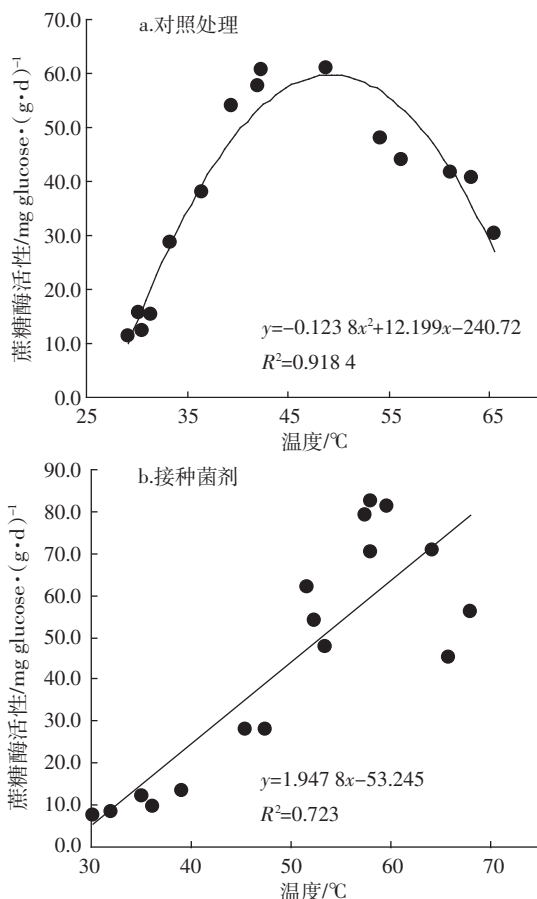


图5 猪粪堆腐过程蔗糖酶活性与温度的关系

Figure 5 Relationship of temperature and sucrase activities during composting of pig excrement

加菌剂处理温度和蔗糖酶活性呈极显著线性正相关,符合方程:

$$y = 1.9478x - 53.245, R^2 = 0.723 (P < 0.01)$$

2.3 牛粪堆肥过程蔗糖酶活性的变化

牛粪堆肥期间蔗糖酶的活性变化见图6。

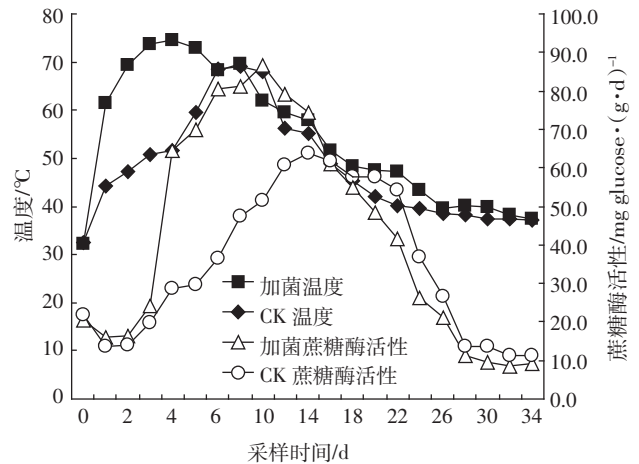


图6 牛粪堆腐过程蔗糖酶活性变化

Figure 6 Change of sucrose enzyme activity during composting of cow excrement

接种菌剂处理的最高温度在第3 d达到最高值73.6℃后,直到第8 d温度仍然保持为69.1℃;对照处理在第6 d温度达到最大68.5℃,高温一直持续到第10 d温度为68.1℃。两个处理都有一个连续5 d的高温稳定期。与温度变化相对应,接种菌剂处理蔗糖酶活性在6~12 d持续稳定为80.6~86.8 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,对照处理蔗糖酶活性则在10~22 d期间保持平稳为57.6~54.1 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 。整个堆肥期间加菌剂处理的蔗糖酶活性的平均值为 $(44.30 \pm 28.53) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,对照处理则为 $(35.53 \pm 19.42) \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,但低温腐殖化期对照处理的蔗糖酶活性高于加菌剂处理。

堆料蔗糖酶活性上升到高于初始水平后,堆体温度和蔗糖酶活性的相关性见图7。对照处理(图7a)蔗糖活性酶与温度的关系符合一元二次方程,亦即高温腐解期蔗糖酶活性随温度的升高而显著下降为负相关,低温腐殖化期蔗糖酶活性随温度的逐渐下降而降低显著:

$$y = -0.1277x^2 + 14.145x - 328.95, R^2 = 0.5875 (P < 0.01)$$

接种菌剂处理(图7b)蔗糖酶活性随温度上升而显著增大,方程是:

$$y = 1.9551x - 54.435, R^2 = 0.7636 (P < 0.01)$$

2.4 3种物料蔗糖酶活性的比较

对于接种菌剂处理,3种物料间蔗糖酶最高活性

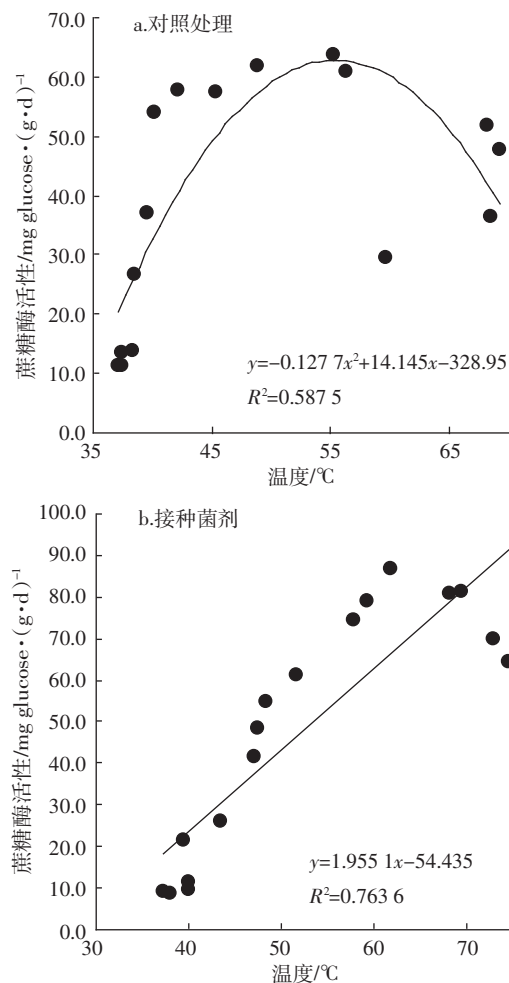


图7 牛粪堆腐过程蔗糖酶活性与温度的关系

Figure 7 Relationship of temperature and sucrase activities during composting of cow excrement

相差无几,鸡粪、猪粪和牛粪分别为 87.83、81.3 和 86.8 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$; 最高酶活性出现时间也差别不大,除猪粪为第 8 d 外,鸡粪和牛粪均为第 10 d。堆肥最高温度值为牛粪 73.6 $^{\circ}\text{C}$ (第 3 d)>鸡粪 71.3 $^{\circ}\text{C}$ (第 2 d)>猪粪 68 $^{\circ}\text{C}$ (第 5 d), 大于 50 $^{\circ}\text{C}$ 高温堆肥时间为鸡粪(20 d)>猪粪(18 d)>牛粪(16 d)。对照处理蔗糖酶最高活性出现的顺序是牛粪(第 14 d, 63.79 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$)>鸡粪(第 16 d, 62.9 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$)>猪粪(第 16 d, 60.9 $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$),虽然在数量上与接种菌剂处理相差不大,但酶活性最高峰滞后出现的时间差别较大,分别是猪粪 8 d、鸡粪 6 d 和牛粪 4 d。堆肥过程中堆体最高温度均出现在堆肥后第 6 d:牛粪(68.5 $^{\circ}\text{C}$)>猪粪(65.5 $^{\circ}\text{C}$) $\approx$ 鸡粪(64.5 $^{\circ}\text{C}$)。

值得指出的是,与鸡粪和猪粪物料完全不同,以牛粪作物料时达到最高温度后有一个 5 d 的持续高温期,与此相对应蔗糖酶活性的变化也有一个持续稳定

高峰,使得牛粪接种菌剂处理的高温堆腐期均短于猪粪(20 d)和鸡粪(18 d)处理,仅为 16 d,这与牛粪本身的 C/N(24.11)高于猪粪(21.09)和鸡粪(14.36)相一致(表 1),物料的 C/N 在很大程度上决定着堆腐的进程。

4 结论

(1)在堆肥过程中接种菌剂处理蔗糖酶活性变化趋势与对照处理一致,表现为在高温腐解期活性持续较高,在低温腐殖化期活性急剧下降,维持较低水平。两个处理相比较,整个高温腐解期接种菌剂处理的蔗糖酶活性明显高于对照处理,但低温腐殖化期对照处理的蔗糖酶活性却显著高于接种菌剂处理。

(2)3 种物料无论是接种菌剂处理还是对照处理蔗糖酶最高活性间无显著差异,但接种菌剂处理蔗糖酶最高活性明显高于对照处理,且较对照处理提早 4~8 d 出现。

(3)在整个堆肥过程中,蔗糖酶活性与有机物料堆体温度变化密切相关,且与温度变化相比有明显后滞现象,表现为堆体的温度升高在前,蔗糖酶活性提高在后。对照处理堆体温度与蔗糖酶活性的关系为一元二次方程,表现为高温腐解期为极显著直线负相关,低温腐殖化期为极显著直线正相关,而接种加菌剂处理堆体温度和蔗糖酶活性间为极显著直线正相关。

参考文献:

- [1] 王 岩,李玉红,李清飞. 添加微生物菌剂对牛粪高温堆肥腐熟的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(supp2): 220-223.
WANG Yan, LI Yu-hong, LI Qing-fei. Effect of inoculating microbes on cattle manure composting with high temperature[J]. *Transactions of CSAE*, 2006, 22(supp2): 220-223.
- [2] Smars S, Gustafsson L, Beck-Friis B, et al. Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 84: 237-241.
- [3] Miguel Angel, Lopez Zavala, Naoyuki Funamizu, et al. Modeling of aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix[J]. *Water Research*, 2004, 38: 1327-1339.
- [4] Mc Cartney, Tingley D J. Development of a rapid method for compost materials[J]. *Compost Sci Utilizat*, 1998, 6(3): 14-25.
- [5] Hassen A, Belguith K, Jedidi N, et al. Microbial characterization during composting of municipal solid waste[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 80: 217-225.
- [6] 朴 哲,崔宗均,苏宝林. 高温堆肥的生物化学变化特征及植物抑制物质的降解规律[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 206-209.
PIAO Zhe, CUI Zong-jun, SU Bao-lin. Characteristics of biochemistry and degradation of plant-inhibited materials during high-temperature

- composting[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(4):206-209.
- [7] 张雪英,周立祥,沈其荣. 城市污泥强制通风堆肥过程中的生物学和化学变化特征[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(4):467-470.
- ZHANG Xue-ying, ZHOU Li-xiang, SHEN Qi-rong, et al. Changes of biological and chemical properties of municipal sludge during mechanical ventilation composting[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4):467-470.
- [8] 谭小琴,邓良伟,伍 钧,等. 猪场废水堆肥化处理过程中微生物及酶活性的变化[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(1): 244-248.
- TAN Xiao-qin, DENG Liang-wei, WU Jun, et al. Variation of the amount of microbe and the activity of decomposing enzyme during composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1): 244-248.
- [9] 倪治华,薛智勇. 猪粪堆制过程中主要酶活性变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 406-411.
- NI Zhi-hua, XUE Zhi-yong. Changes of main activities of pig manure during composting[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3):401-411.
- [10] 李国学,张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京:化学工业出版社, 2000:75-79, 91-95, 98-121.
- LI Guo-xue, Zhang Fu-suo. Compost solid waste and produce organic compound fertilizer[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2000:75-79, 91-95, 98-121.
- [11] Morten Klammer, Eeland Baath. Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipids fatty acid analysis[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1998, 27:9-20.
- [12] Vuorinen A H, Saharinen M H. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in adrum composting system[J]. *Agric Ecosys and Environ*, 1997, 66:19-29.
- [13] 孙晓华,罗安程,仇 丹. 微生物接种对猪粪堆肥发酵过程的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(5):557-559.
- SUN Xiao-hua, LUO An-cheng, QIU Dan. Effect of inoculants on composting process of swine manure[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5):557-559.
- [14] 宋颖琦,刘睿倩,杨 谦,等. 纤维素降解菌的筛选及其降解特性的研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2002, 34(2):197-200.
- SONG Ying-qi, LIU Rui-qian, YANG Qian, et al. Study of screening of strains for deprecating cellulose and mechanism of degrading ability[J]. *Journal of Haerbin Inst of Tech*, 2002, 34(2):197-200.
- [15] 谷 洁,李生秀,秦清军,等. 氧化还原类酶活性在农业废弃物静态高温堆腐过程中变化的研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(2):138-141.
- GU Jie, LI Sheng-xiu, QIN Qing-jun, et al. Changes of oxidation and reduction enzymes of agricultural waste materials during composting in high temperature and static state[J]. *Transactions of CSAE*, 2006, 22(2):138-141.
- [16] 李鸣雷,谷 洁,高 华,等. 一种农业废弃物除臭菌剂及其产品的制备方法[P]. 中国专利:CN1810295, 2006.
- LI Ming-lei, GU Jie, GAO Hua. Produce method and microorganism agent for removing odors from agricultural wastes [P]. Chinese Patent: CN1810295, 2006.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:中国农业出版社, 1983:260-339.
- GUAN S Y. Soil enzyme and methodology for soil enzyme[M]. Beijing: Agriculture Press, 1983:260-339.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社, 2000:432-437.
- BAO S D. Analysis of soil and agrochemicals[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000:432-437.