

微生物调控对牛粪堆肥的生物特性影响^{*}

李清飞¹ 孙震宇²

(1. 信阳师范学院城市与环境科学学院, 河南 信阳 464000; 2. 河南省环境保护科学研究院, 河南 郑州 450004)

摘要 研究了微生物调控对牛粪堆肥生物特性的影响。结果表明: (1) 与对照相比, 接菌(添加 HM 菌剂)处理可使牛粪堆肥提前 2 d 进入高温期, 高温持续时间延长 2 d。即接菌处理的堆肥温度在第 4 天达到 50.5 ℃, 并保持 50 ℃ 以上的温度 14 d; 而对照在第 6 天达到 50.0 ℃, 并保持 50 ℃ 以上的温度 12 d。 (2) 2 种处理堆肥的 pH 总体呈先升高后降低的趋势, 接菌处理的堆肥 pH 上升幅度不大, 比对照低 0.1~0.5 个 pH 单位。 (3) 接菌处理有利于提高牛粪堆肥的纤维素酶、蔗糖酶、脲酶活性水平和峰值。 (4) 脲酶活性与其他因素之间呈显著负相关 ($p < 0.01$), 而温度、pH、蔗糖酶活性和纤维素酶活性之间呈显著正相关 ($p < 0.01$)。

关键词 微生物 牛粪堆肥 生物特性

Effects of microbial control on the biological characteristics of cattle manure compost LI Qingfei¹, SUN Zhenyu². (1. Department of Urban and Environmental Science, Xinyang Normal University, Xinyang Henan 464000; 2. Henan Research Academy of Environmental Science, Zhengzhou Henan 450004)

Abstract: The static composting experiments, with and without adding microbial agents, were conducted to investigate the effect of microbial control on the biological characteristics of cattle manure compost. The variation of temperature, pH, cellulose enzyme activity, sucrase activities and urease activities during composting was measured. Results showed that the temperature reached 50.5 ℃ at the fourth day for the composting experiments adding microbial agents and high temperatures period (≥ 50 ℃) maintained 14 days, while the control group (without microbial agents) reached 50.0 ℃ at the sixth day and maintained high temperatures for only 12 days. That means adding microbial agents could shorten the time reaching to high temperature period by 2 days and extend the high temperature period for 2 days. The pH was increased first and then decreased during the composting process, and the microbial agents decreased the pH value by 0.1~0.5 units. Inoculation the microbial agents could improve the level and peak value of cellulase, sucrase, urease activity; urease activities were significantly negative correlated with other factors ($p < 0.01$), and there was significantly positive correlation between temperature, sucrase activity, pH and cellulose activity ($p < 0.01$).

Keywords: microbes; cattle manure compost; biological characteristics

我国农牧业快速发展的同时, 也产生了大量的有机废弃物(如畜禽粪便和农作物秸秆)。据统计, 我国每年畜禽粪便排放量(湿质量)达 27 亿 t, 农作物秸秆约 6 亿 t, 这些废弃物利用率很低(仅 10%~20%), 大量的农作物秸秆被焚烧, 造成生物质资源浪费, 并污染了大气环境^[1]。规模化养殖业产生的畜禽粪便未得到妥善处理即排入河流湖泊, 成为面源污染的重要来源, 给生态环境造成一定的危害。目前, 快速高温堆肥是常用的无害化、资源化处理有机废弃物的有效途径之一。为缩短堆肥发酵周期, 人们常向堆肥中接种微生物菌剂以加快其反应速度, 然而研究多集中在堆肥的工艺参数和影响因子方面^[2], 对堆肥中的生物特性研究相对较少。堆肥的整个生物化学过程都是

在酶的参与下进行的, 微生物对有机物的分解速度主要取决于酶的活性大小。因此, 对堆肥过程中酶活性的研究, 有利于了解堆肥过程的生物化学过程及加入微生物菌剂对堆肥的影响。

采用静态堆肥试验系统, 设置 2 种处理方式(对照和接菌处理)进行对比, 研究了牛粪堆肥过程中温度、pH、纤维素酶活性、蔗糖酶活性、脲酶活性变化规律及它们之间的相关性, 旨在为堆肥工艺的控制、微生物菌剂的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

本试验所用牛粪为某养殖场提供的新鲜牛粪,

第一作者: 李清飞, 男, 1980 年生, 博士, 讲师, 主要从事环境保护的教学与研究工作。

^{*} 国家水体污染控制与治理科技重大专项(No. 2009ZX07210-004-03); 河南省科技攻关项目(No. 112102310431); 信阳师范学院博士科研启动基金资助项目。

用玉米秸秆调节堆肥的水分和碳氮质量比(C/N),其理化性质见表1。微生物菌剂为HM菌剂。

表1 堆肥材料理化性质
Table 1 Physical and chemical characteristics of the composted materials

材料	有机碳/(g·kg ⁻¹)	总氮/(g·kg ⁻¹)	含水率/%	pH
牛粪	293.0	19.6	85.0	8.3
玉米秸秆	417.0	6.9	37.4	5.6

试验前将玉米秸秆剁碎(3~5 cm)与牛粪均匀混合,将混合材料的C/N调节到30:1~35:1,含水率在55%~65%。试验设置为2种处理,即对照和接菌(HM菌剂)处理,其中接菌处理的菌剂添加量为500 mg/kg,每个处理3次重复。堆肥采用静态条垛式,堆体长、宽、高分别为1.5、1.5、1.0 m,每7天翻堆1次,堆肥时间为30 d。

1.2 采样及测定方法

采样:每2天分别从堆体前、后、左、右和中心位置采样,均匀混合后带回实验室立即测定。

温度测定:每2天用便携式温度计测定堆肥温度,以堆体前、后、左、右和中心5点温度的平均值作为堆肥温度,同时记录环境温度。

pH测定:采用蒸馏水按水土质量比为10:1均匀混合,静止1 h,测定上清液pH。

酶活性测定:纤维素酶、蔗糖酶和脲酶活性测定参照文献[3]。

2 结果与讨论

2.1 微生物调控对堆肥温度的影响

由图1可知,2种处理的堆肥温度呈先升高后降低的趋势,其中接菌处理的堆肥温度在第4天达到50.5℃,并保持50℃以上的温度14 d;而对照的堆肥温度在第6天达到50.0℃,并保持50℃以上的温度12 d,可见添加HM菌剂能够快速使堆肥进入高温期,并维持较长时间。堆肥温度保持50℃以上5~7 d是杀灭堆肥中的病卵、有害生物和保证堆肥腐熟的必要条件,本研究各处理均达到堆肥腐熟的要求。接菌处理比对照提前2天到达最高温,即接菌处理在第8天达到最高温(67.0℃),而对照在第10天达到最高温(65.0℃)。研究表明,向堆体中接种微生物能够增加微生物总数,利用微生物之间的相互协同作用,分解堆体有机物,并释放热量,使堆肥温度快速升高,从而能够使堆肥提前进入高温期^[4]。

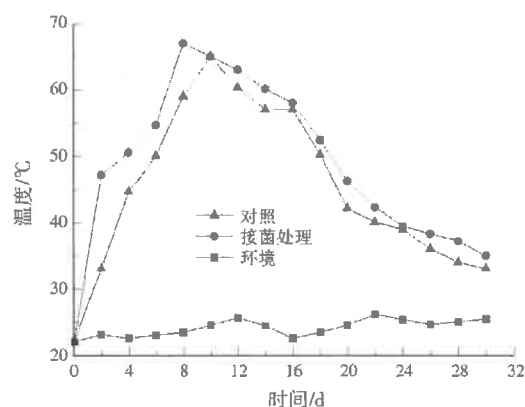


图1 堆肥温度随时间的变化

Fig. 1 Changes of temperature during composting

2.2 微生物调控对堆肥pH的影响

由图2可知,堆肥各处理pH总体呈先升高后降低的趋势,这是由于在堆肥前期,蛋白类有机物被微生物分解而释放出氨氮,使堆肥pH上升。接菌处理与对照相比,pH上升幅度略小,比对照低0.1~0.5个pH单位。在堆肥后期,含氮类化合物分解、硝化作用和微生物繁殖产生的有机酸等因素使pH下降。堆肥结束时,对照和接菌处理的pH分别为8.12和8.20。堆肥腐熟时的pH为8.0~9.0,说明2种处理都符合堆肥标准的要求。

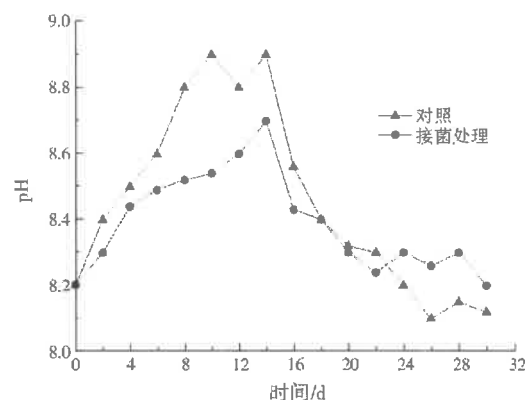


图2 堆肥pH随时间的变化

Fig. 2 Changes of pH during composting

堆肥pH上升,会使氨气产生量增加,因此在堆肥过程中要尽量控制pH上升,本研究证明堆肥过程中添加微生物菌剂有利于控制pH上升和减少堆肥的氮素损失,这与孙利宁等^[5]的研究结果一致。

2.3 微生物调控对堆肥纤维素酶活性的影响

由图3可知,2种处理的纤维素酶活性变化趋势相似,即总体先升高后降低。在第0~2天2种处理的纤维素酶活性基本没有变化。从第2天起堆肥纤维素酶活性快速上升,接菌处理的纤维素酶活性在第12天达到最大值(0.362 mg/(g·d)),而对照在第10

天达到最大值($0.300 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$),即接菌处理的纤维素酶活性较对照延迟 2 d 达到最大值,说明添加微生物菌剂对纤维素酶活性有明显的促进作用^[6],之后 2 种处理的纤维素酶活性逐渐下降。在堆肥高温期,接菌处理的纤维素酶活性始终大于对照,说明添加微生物菌剂有利于加快堆体的纤维分解。

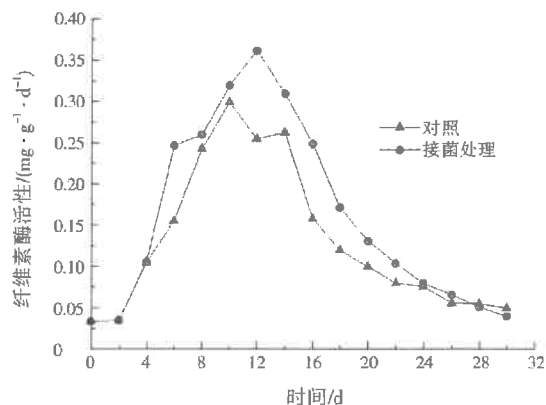


图3 堆肥纤维素酶活性随时间的变化
Fig. 3 Changes of cellulose enzyme activity during composting

纤维素酶在有机碳循环中起着重要的作用,其活性的大小反映堆体碳物质降解的程度。与顾文杰等^[7]的研究结果相似,在堆肥前期,微生物快速生长,纤维素酶活性不断升高,随着堆肥进入高温期,微生物数量减少,从而使堆肥纤维素酶活性也逐渐降低;当进入降温期,纤维素酶活性降低也趋于缓慢。

2.4 微生物调控对堆肥蔗糖酶活性的影响

由图 4 可知,堆肥的蔗糖酶活性随时间的延长呈先升高再降低的趋势。接菌处理的蔗糖酶活性在第 8 天达到最大值($73.6 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$),而对照在第 10 天达到最大值($55.2 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$),比接菌处理低了 25.0%,之后蔗糖酶活性开始下降,这说明添加微

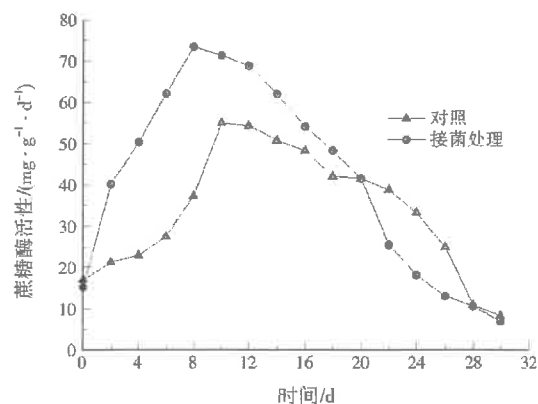


图4 堆肥蔗糖酶活性随时间的变化
Fig. 4 Changes of sucrose activities during composting

生物菌剂有利于增加堆肥蔗糖酶活性。梁东丽等^[8]的研究表明,添加微生物菌剂能明显地提高堆肥过程蔗糖酶活性,酶活性峰值高且出现时间较对照早 4~8 d。吴艳萍等^[9]的研究表明,在整个堆肥过程中,接链霉菌处理的蔗糖酶活性比不接菌处理高 50.07%。本研究结果表明,接菌处理的蔗糖酶活性较对照提前 2 d 达到最大值,同时接菌处理的蔗糖酶活性仅在堆肥温度较高时较对照高,这与文献^[9]研究结果不一致,这可能与微生物的种类不同有关。

2.5 微生物调控对堆肥脲酶活性的影响

由图 5 可知,堆肥脲酶活性随时间的延长总体呈先升高后降低再升高的趋势。接菌处理的脲酶活性在第 8 天降低到最小值($0.30 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$),从第 8 天开始脲酶活性逐渐恢复,到第 30 天达到 $0.52 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$,比初始值增加了 23.8%;而对照,在第 10 天达到最小值($0.35 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$),从第 10 天起脲酶活性开始恢复,到第 30 天达到 $0.48 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{d})$,比初始值增加了 20.0%。在第 30 天,接菌处理的脲酶活性是对照的 1.1 倍,说明添加微生物菌剂有利于堆肥脲酶活性的恢复。梁东丽等^[10]的研究表明,添加微生物菌剂能提高脲酶活性水平,在一定程度上加速了含氮物质的矿化。脲酶活性高低与微生物数量多少有关,因此在高温期微生物数量减少而引起脲酶活性快速降低。在堆肥后期,随着温度的降低,微生物数量开始增加,从而使脲酶活性也逐渐提高。

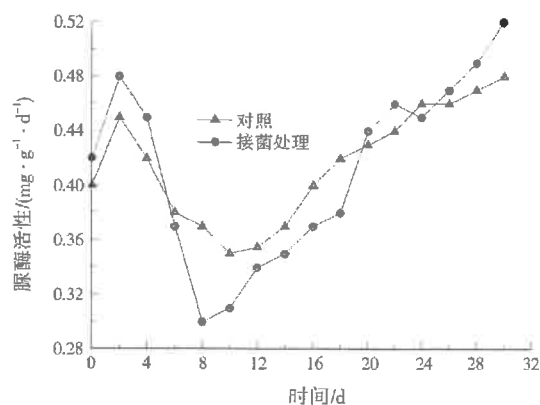


图5 堆肥脲酶活性随时间的变化
Fig. 5 Changes of urease activities during composting

2.6 堆肥过程中各因素之间的相关性

由表 2 可知,在 2 种处理中,脲酶活性与其他因素之间呈显著负相关($p < 0.01$),而温度、pH、纤维素酶活性和蔗糖酶活性之间呈显著正相关($p < 0.01$)。这说明堆肥过程是一个复杂的生化过程,各因素之间的相互变化都按照一定的规律进行,酶活性的大小反映了堆肥过程中微生物的活性强度,决

表2 堆肥过程中各因素之间的相关性¹⁾
Table 2 Correlation coefficient of various factors during composting

因素	对照					接菌处理				
	温度	pH	纤维素酶活性	蔗糖酶活性	脲酶活性	温度	pH	纤维素酶活性	蔗糖酶活性	脲酶活性
温度	1.000					1.000				
pH	0.867**	1.000				0.876**	1.000			
纤维素酶活性	0.936**	0.932**	1.000			0.886**	0.912**	1.000		
蔗糖酶活性	0.837**	0.752**	0.789**	1.000		0.938**	0.881**	0.888**	1.000	
脲酶活性	-0.773**	-0.898**	-0.876**	-0.714**	1.000	-0.803**	-0.819**	-0.904**	-0.880**	1.000

注: ¹⁾ 样本数为16; **表示达到 $p < 0.01$ 的显著性水平。

定着有机物的分解速度,研究堆肥材料的酶活性变化规律对探讨堆肥过程的机制具有重要意义。

3 结 论

(1) 与对照相比,接菌处理可使牛粪堆肥提前2 d进入高温期,高温持续时间延长2 d。即接菌处理的堆肥温度在第4天达到50.5℃,并保持50℃以上的温度14 d,而对照在第6天达到50.0℃,并保持50℃以上的温度12 d。

(2) 2种处理堆肥pH总体呈先升高后降低的趋势;接菌处理的堆肥pH上升幅度略小,比对照低0.1~0.5个pH单位。

(3) 接菌处理有利于提高牛粪堆肥纤维素酶、蔗糖酶、脲酶活性水平和峰值。

(4) 在所有处理中,脲酶活性与其他因素之间呈显著负相关($p < 0.01$),而温度、pH、蔗糖酶活性和纤维素酶活性之间呈显著正相关($p < 0.01$)。

参考文献:

- [1] 李吉进,郝晋昶,邹国元,等. 畜禽粪便高温堆肥生物化学变化特征研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 234-236.
- [2] 李清飞,赵承美,余国忠. 微生物在农村有机生活垃圾堆肥中的作用[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2011, 24(2): 278-280.
- [3] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [4] 耿冬梅,宣世伟,王鹏,等. 高温好氧菌群用于接种垃圾堆肥的实验研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(10): 699-701.
- [5] 孙利宁,谷洁,高华,等. 小麦秸秆静态高温堆肥过程中的理化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 156-160.
- [6] 梁东丽,谷洁,秦清军,等. 农业废弃物静态高温堆肥过程中纤维素酶活性的变化[J]. 环境科学学报, 2009, 29(2): 323-329.
- [7] 顾文杰,张发宝,徐培智,等. 接种菌剂对堆肥微生物数量和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1718-1722.
- [8] 梁东丽,谷洁,高华,等. 不同禽畜粪便静态高温堆肥过程中蔗糖酶活性的变化[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(7): 1535-1540.
- [9] 吴艳萍,王国栋,赵明德. 链霉菌对小麦秸秆堆肥中微生物群落和酶活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 134-138.
- [10] 梁东丽,谷洁,秦清军,等. 接种菌剂对猪粪高温堆肥中酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 243-248.

编辑: 陈泽军 (修改稿收到日期: 2011-08-23)

(上接第4页)

- [2] CHUNG K T, STEVENS S E J, CERNIGLIA C E. The reduction of azo dyes by the intestinal microflora[J]. Crit. Rev. Microbiol., 1992, 18(3): 175-197.
- [3] MA Jiahai, SONG Wenjing, CHEN Chuncheng, et al. Fenton degradation of organic compounds promoted by dyes under visible irradiation[J]. Environ. Sci. Technol., 2005, 39(15): 5810-5815.
- [4] XU Yunlan, HE Yi, CAO Xinde, et al. TiO₂/Ti rotating disk photoelectrocatalytic (PEC) reactor: a combination of highly effective thin film PEC and conventional PEC process on a single electrode[J]. Environ. Sci. Technol., 2008, 42(7).
- [5] 史载峰,任学昌,孔令仁. TiO₂光催化膜反应器的实验研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 95-99.
- [6] XIE Yibing, YUAN Chunwei. Visible-light responsive cerium ion modified titania sol and nanocrystallites for X-3B dye photodegradation[J]. Appl. Catal. B: Environmental, 2003, 46(2): 251-259.
- [7] ZEEVALKINK J A, KELDERMAN P, BOUELHOUWER C. Liquid film thickness in a rotating disc gas-liquid contactor[J]. Water Res., 1978, 12(8): 577-581.
- [8] ZHANG Wenbing, AN Taicheng, XIAO Xianming, et al. Photoelectrocatalytic degradation of reactive brilliant orange K-R in a new continuous flow photoelectrocatalytic reactor[J]. Appl. Catal. A: General, 2003, 255(2): 221-229.
- [9] LIU H, LI X Z, LENG Y J, et al. An alternative approach to ascertain the rate-determining steps of TiO₂ photoelectrocatalytic reaction by electrochemical impedance spectroscopy[J]. J. Phys. Chem. B, 2003, 107(34): 8988-8996.
- [10] LI Jiaqing, LI Luoping, ZHENG Lei, et al. Photoelectrocatalytic degradation of Rhodamine B using Ti/TiO₂ electrode prepared by laser calcination method[J]. Electrochim. Acta, 2006, 51(23).
- [11] ZANONI M V B, SENE J J, ANDERSON M A. Photoelectrocatalytic degradation of Remazol Brilliant Orange 3R on titanium dioxide thin-film electrodes[J]. J. Photochem. Photobiol. A, 2003, 157(1): 54-63.
- [12] HABIBI M H, TALEBIAN N, CHOI J H. Characterization and photocatalytic activity of nanostructured indium tin oxide thin-film electrode for azo-dye degradation[J]. Thin Solid Films, 2006, 515(4): 1461-1469.
- [13] 姜聚慧,陈华军,姜向东,等. 亚铁催化声化学降解罗丹明 B[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(8): 99-103.
- [14] WALDER G, POUMOLJIB M, BAUER R, et al. Photoelectrocatalytic degradation of 3-chlorophenol and oxalic acid on titanium dioxide electrodes[J]. Chemosphere, 2003, 50(8): 989-998.

编辑: 陈泽军 (修改稿收到日期: 2011-07-21)