

微生物菌剂对油枯堆肥过程中理化性质的影响研究

李成学, 郭建芳*, 何忠俊, 王 晶, 谢春琼

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要:以油枯为基本原料,采用好氧堆肥方式进行堆肥试验,研究了添加4种不同微生物菌剂的条件下,油枯-稻壳-甘蔗渣堆肥体系中pH、C/N、水溶性 NO_3^- -N、水溶性 NH_4^+ -N中的动态变化规律及菌剂对高温堆肥腐熟进程的影响。结果表明,添加菌剂能有效缩短堆肥到达高温的时间,延长高温分解阶段,加快物料水溶性 NH_4^+ -N和C/N降低,pH和水溶性 NO_3^- -N含量升高,加快了油枯堆肥腐熟化进程。添加VT菌剂的堆肥处理相比其他在堆肥15d后最先进入高温分解阶段,高温持续时间为10d,提早5d腐熟,水溶性 NO_3^- -N含量从 $71.41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $887.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,C/N的降低有效促进了 NH_4^+ -N向 NO_3^- -N的转化,加快了油枯堆肥化进程,有助于提高堆肥腐熟化程度,说明添加VT菌剂的堆肥腐熟效果相对显著。

关键词:油枯,堆肥,菌剂,理化性状

中图分类号:X172 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)02-0389-06

Microbial Strains Affect the Physical and Chemical Properties When Composting Canola Meal

LI Cheng-xue, GUO Jian-fang*, HE Zhong-jun, WANG Jing, XIE Chun-qiong

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Canola meal, a food processing by product, together with sugarcane residues and rice husks were composted under thermophilic temperature and aerobic condition and the effect of adding four types of microbial strain were evaluated. The temperature, pH value, C/N ratio, water soluble NO_3^- and NH_4^+ contents and compost maturity were monitored throughout the composting process. Our results indicated that adding VT microbial strain could speed up the composting process as indicated by thermophilic stage reached earlier and lasted longer. A faster NH_4^+ content and C/N ratio decreases and NO_3^- content and pH value increases were also observed with VT strain addition. By adding VT strain, the compost undergoes thermophilic decomposition on day 15, lasted for 10 days and reached maturity earlier by 5 days, and NO_3^- -N content increased from $71.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $887.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ than without VT. The faster decreases in C/N ratio promoted the conversion of NH_4^+ to NO_3^- , and accelerate the compost maturity. The beneficial effects of VT microbial stain on composting are well demonstrate in our study.

Keywords: canola meal; compost; strain; physical and chemical properties

油菜和烤烟是云南省两大重要的经济作物,油菜也是烤烟的理想前作。利用油菜饼粕开发烤烟专用有机无机复混肥是发展循环经济和壮大支柱产业的需要,尤其对烟草产量和质量提高有独特的作用,并能有效改善植烟土壤的理化性质^[1]。随着国内市场对油菜种植量的不断上升,产生了大量的残渣(油枯),如不能合理利用,不仅造成资源浪费,也会对环境造成污染。油菜籽除提取其中的植物油之外,留下的油枯可以作为制成猪、鸡、鱼等动物的饲料,同时也是优质肥料,其养

分完全,肥效持久,适用于各类土壤和多种作物。但由于油枯中含有一定的油脂,难以被植物吸收利用,况且所含植物营养多呈有机态,不易吸收,利用堆肥方式能有效改善废弃物特性并成为当前有机废弃物利用无害化和资源化的重要途径之一^[2],也成为中国21世纪肥料发展的主导产品和主导肥料产业^[3]。

由于我国社会经济的发展,传统的农家肥已不能满足作为主要肥料类型施入土壤。因此,在今后有机无机复合肥料研究方面,也针对有机无机商品肥的快速发展而展开,利用原料的堆肥,设计和研制适合于不同作物和土壤的有机无机复合肥料。云南是中国主要的烤烟生产地,烤烟专用肥的生产成为云南肥料的主要发展方向。油枯特有的理化性状及其独特的香味,有利于改善烤烟的产量和品质,所以利用油枯发酵制作

收稿日期:2010-07-16

基金项目:云南省教育厅基金(08Y0174)

作者简介:李成学(1974—),男,山西垣曲人,硕士,讲师,主要从事土壤与肥料方面的教学和科研工作。

E-mail: li_chx0309@ynau.edu.cn

*通讯作者:郭建芳 E-mail: guo_jf0507@ynau.edu.cn

烤烟专用肥成为一个新的亮点。

本文以油枯为基本原料进行高温堆肥,在添加不同微生物菌剂的条件下,研究了油枯腐熟过程中温度、pH、C/N、水溶性 NO_3^- -N、水溶性 NH_4^+ -N的动态变化,探讨了不同菌剂对油枯腐熟度的影响,以期为利用油枯堆肥过程中物质转化和油枯资源合理化利用及其肥料生产方面提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验设在云南农业大学资源环境学院土壤肥料学实验室,于2009年4月15日开始,6月9日结束,堆肥时间55 d。试验以油枯为基本原料,加入稻壳、甘蔗渣以调节C/N,选取VT菌剂、腐杆剂、速腐剂、榕风4种农业部登记和市售的微生物菌剂为腐熟剂,筛选最佳菌剂和堆肥条件。堆肥各种原料的主要成分见表1。

表1 堆肥原料的部分理化性质

Table 1 The part of the physical and chemical properties of compost material

原料	C/%	N/%	C/N	W/%
油枯	48.52	4.58	10.58	10.79
稻壳	49.80	0.45	111.00	14.40
甘蔗渣	53.07	0.43	123.50	10.76

1.2 试验设计

1.2.1 堆腐装置

堆腐装置(图1)为高1.0 m、边长0.6 m的正方形发酵箱,箱四周木板厚度为0.5 cm,底部木板上打有36个小孔,空气从箱底部进入,通过底板透气小孔进入箱内。木箱中放置有3根1 m长、四周布满小圆孔的PVC管,发酵箱底部呈漏斗形状,约25 cm高,用于堆肥中发酵液的排放和通气。

1.2.2 试验处理

本试验设不添加菌剂(对照,记为处理1)及添加VT菌剂(记为处理2)、腐杆剂(记为处理3)、速腐剂(记为处理4)、榕风(记为处理5)共5个处理,每个样进行3次重复,取平均值,堆肥发酵前,调节含水量至60%左右,C/N调至25,每天持续通风1 h左右。

1.3 采样及测定方法

1.3.1 采样方法

堆肥材料混合完毕取第一次样,而后每隔5 d采样一次,在堆肥的中部选取2点分别采样混合成一样,每次采集4个样品,其中2个样品烘干测定全氮、

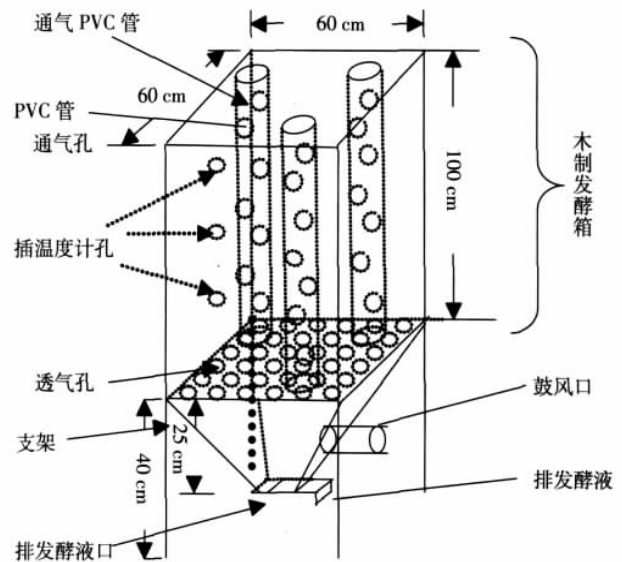


图1 发酵装置

Figure 1 Fermentation device

有机质、含水率2个样品作为鲜样保存于冰箱中用于测定水溶性指标。在各处理堆肥中间分2个不同方向各插入1支温度计,每日9:00测定温度。

1.3.2 测定方法

鲜样测定指标^[4]:新鲜样品用去离子水按土水比(这里为样品和水的比值)为1:10(以干质量计)浸提1 h后,取50 mL滤液以3 000 r·min⁻¹离心15 min,测定pH。水溶性 NH_4^+ -N采用2 mol·L⁻¹KCl浸提-靛酚蓝比色法,水溶性 NO_3^- -N采用酚二磺酸比色法。

烘干样品测定指标^[4]:每次取样后放置于牛皮纸信封中,称重,在温度105℃条件下烘干后称重,计算物料的含水率。烘干样品粉碎、过筛,测定有机碳和全氮,有机质采用重铬酸钾-外加加热法,全氮采用半微量开氏法。

1.4 数据分析方法

数据采用Excel软件和DPS统计软件分析处理。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中气味、色度的变化

堆肥初期,5个处理均产生刺鼻的氨味,由于有机质在微生物的强烈作用下大量的分解以及氨化作用产生的大量氨气所致。随着堆肥时间的增加,颜色逐渐变黑,伴有少量棕色黏液流出,10 d后开始出现白色菌丝,颜色加深,手感发粘,并且添加菌剂的处理菌丝多于未加菌剂的CK,说明添加微生物菌剂有助于缩短物料的堆腐时间且微生物的活性较强。15 d后

堆体开始塌陷,菌丝大量繁殖,腐烂明显且伴有小虫产生。20 d后,堆料黏度增大,开始结团状,腐烂度加大,说明在这段温度内微生物的分解、繁殖速率是最快的,部分有机酸逐渐被分解或挥发,呈现黑褐色。30 d后,出现恶臭气味,团状加大,40 d后,臭味开始变淡,直到50 d臭味消失,说明在微生物的作用下,有机质等物质已分解完全,堆料达到腐熟状态。对比处理2、3、4、5,从外观上及气味上判断出,处理2的颜色相对较深,黏稠度大,堆体塌陷明显,恶臭味最先消失,比其余处理效果明显。说明添加VT菌剂对油枯发酵有明显的促进作用。

2.2 堆肥过程中温度的变化

温度是堆肥过程中的一个重要指标,依据温度变化可将堆肥分为3个阶段,即升温阶段、高温阶段和降温阶段,不同阶段对不同微生物起重要作用,也影响微生物的活动能力,在一定温度范围内,温度每升高10℃,有机体生化反应速率提高1倍^[5]。如图2所示,堆肥过程中不同处理堆肥温度变化趋势一致,均呈现先升后降趋势,其中添加菌剂的处理堆料温度上升速度高于CK,这由于添加的微生物菌剂作用,有机物料得到迅速分解,说明添加微生物菌剂能够进一步加快堆肥发酵速度,缩短发酵堆肥时间。

进入发酵期,添加菌剂处理发酵期要早于未添加菌剂处理,且在25~30 d相继进入高温时期。其中处理2最先进入高温分解阶段,温度达57℃,且高温持续时间长达10 d左右。学者认为固体废弃物堆肥处理的佳温度为65~70℃^[6],堆体温度在55℃条件下保持3 d以上(50℃以上保持5~7 d)是杀灭堆料中所含的致病微生物,保证堆肥的卫生指标合格和堆肥腐熟的重要条件^[7]。在本试验中,相对于其他处理,添加VT菌剂的处理2进入高温阶段快,持续时间长,更有助于加快有机物料的迅速分解。35 d后各处理温度开

始呈现下降趋势并趋于稳定状况,说明堆肥已趋于腐熟,而对照CK还有略增趋势,表现出显著的滞后现象,腐熟不完全。总体上说,添加VT菌剂易于堆体温度的上升,高温期长,便于缩短堆肥时间。

2.3 堆肥过程中pH值的变化

在整个堆肥进程中由于添加菌剂不同,pH值变化的幅度也不相同,但总体变化趋势基本一致。对堆肥过程中,处理2、3、4、5与对照CK的pH值进行成对数据t检验表明, $t_{处理2}=0.0136^*$ 、 $t_{处理3}=0.3526$ 、 $t_{处理4}=0.1854$ 、 $t_{处理5}=0.6453$ ($0.01 < t < 0.05^*$ 、 $t < 0.01^{**}$),处理2与对照的pH值变化差异显著。如图3所示,堆肥前15 d各处理的pH值随发酵时间延长呈现缓慢上升趋势,由于易分解的有机物较多,微生物繁殖较快,其活动所产生的有机酸在一定程度上缓和了由于氨化作用造成的物料pH值迅速上升,因而在堆肥初期pH值上升比较缓慢^[8]。随着堆肥进程的进行,15~25 d上升幅度显著,由于有机酸逐渐被分解,有机氮在微生物作用下发生强烈的矿化分解,使得堆肥的pH值继续上升。在20 d各处理的pH值表现出明显差异,其中添加VT菌剂的处理2上升幅度最明显,在25 d已达到8.5,处理3、4、5在30 d才达到8左右,对照则在第35 d达到8,在30~35 d,pH上升幅度逐渐变小,35 d之后趋于稳定。

从堆肥腐熟时pH值达到8~9这个标准^[9]来看,各处理的pH值最终均达到了腐熟标准,其中添加菌剂的各处理腐熟所需时间短于对照CK,pH上升幅度较大且高于CK。添加VT菌剂的处理2的pH值最先达到8~9,最先满足堆肥腐熟pH值标准,说明在整个堆肥过程中,添加VT菌剂能提高油枯堆肥腐熟速度,所用时间短。

2.4 堆肥过程中水溶性NH₄⁺-N的变化

水溶性NH₄⁺-N的变化情况是堆肥氨气挥发的一

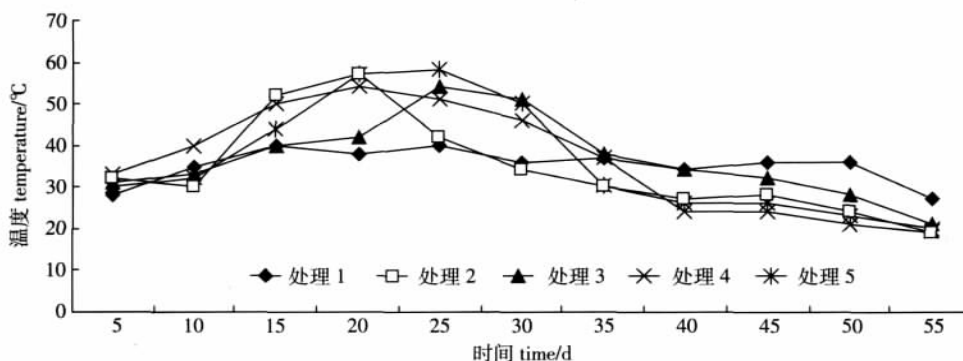


图2 堆肥过程中温度的变化

Figure 2 Changes of temperature during composting

个重要参数指标^[10],堆肥过程中水溶性 NH_4^+-N 一部分转化成氨气挥发而减少,一部分通过硝化作用转化成硝态氮。水溶性 NH_4^+-N 的减少及硝态氮的增加,也可以作为堆肥腐熟度的评价指标。对堆肥过程中各处理 2、3、4、5 与对照 CK 的 NH_4^+-N 值进行成对数据 t 检验表明 $t_{\text{处理}2}=0.0132^*$ 、 $t_{\text{处理}3}=0.3598$ 、 $t_{\text{处理}4}=0.1456$ 、 $t_{\text{处理}5}=0.5236$ ($0.01 < t < 0.05^*$ 、 $t < 0.01^{**}$),处理 2 与对照的 NH_4^+-N 值变化差异显著。从图 4 可以看出,堆肥过程中水溶性 NH_4^+-N 变化趋势总体呈现先上升后下降的趋势,添加菌剂处理的 NH_4^+-N 含量高于 CK,且变化相对显著。在前 15 d,水溶性 NH_4^+-N 含量呈略微下降趋势,是由于堆肥初期氨气的挥发损失所致。20 d 后,各处理的水溶性 NH_4^+-N 含量呈明显增大趋势,这是由于微生物活动对有机物降解产生大量游离态氨气所致。在第 25 d 出现一个明显的峰值,其中处理 2 的水溶性 NH_4^+-N 含量上升幅度最大,高达 $700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,在 25~35 d 出现略微下降,35 d 后下降剧烈,这是由于易利用氮素含量较高,随着微生物快速生长和繁殖加速了有效氮的分解,并以铵态氮的形式快速积累的结果。35 d 后开始下降,主要由于部分铵成为了细胞组织合成过程中的氮源,导致铵态氮积累下降。

添加 VT 菌剂的处理 2 的 NH_4^+-N 变化明显,说明其有效氮分解速率相对较快,微生物生长和繁殖能力较强,水溶性 NH_4^+-N 变化趋势相对显著。根据有关资料^[11]显示,当肥料接近腐熟时,水溶性 NH_4^+-N 的变化应呈现先升后降的趋势,而水溶性 NH_4^+-N 含量的减少是堆肥腐熟的标志。因此,可以说明本试验中各处理达到腐熟状态。且添加 VT 菌剂处理的堆肥水溶性 NH_4^+-N 含量上升及下降均比对照和其他处理速率快,幅度大,也反映出添加 VT 菌剂处理的微生物活动相对其他处理旺盛,说明添加 VT 菌剂更有助于氮的固定。

2.5 堆肥过程中水溶性 NO_3^--N 的变化

对堆肥过程中处理 2、3、4、5 的 NO_3^--N 值与对照 CK 进行成对数据 t 检验表明 $t_{\text{处理}2}=0.0197^*$ 、 $t_{\text{处理}3}=0.2840$ 、 $t_{\text{处理}4}=0.0705$ 、 $t_{\text{处理}5}=0.8111$ ($0.01 < t < 0.05^*$ 、 $t < 0.01^{**}$),处理 2 与对照的 NO_3^--N 值变化差异显著。在堆肥的整个过程中,堆肥前期各处理的水溶性 NO_3^--N 含量相对较低,经过 10 d 堆置以后,水溶性 NO_3^--N 含量开始增加,这主要是由于水溶性 NH_4^+-N 的硝化作用增强,增加了水溶性 NO_3^--N 的含量,温度的升高有益于硝化细菌的生长和繁殖,大量硝化

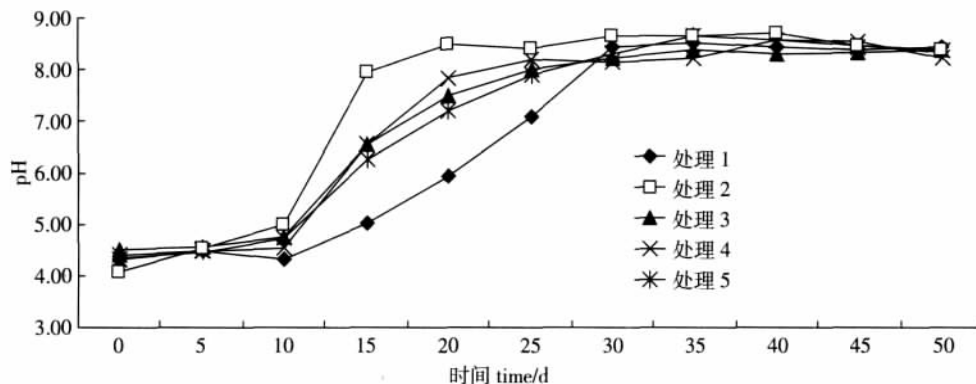


图 3 堆肥过程中 pH 的变化

Figure 3 pH changes during composting

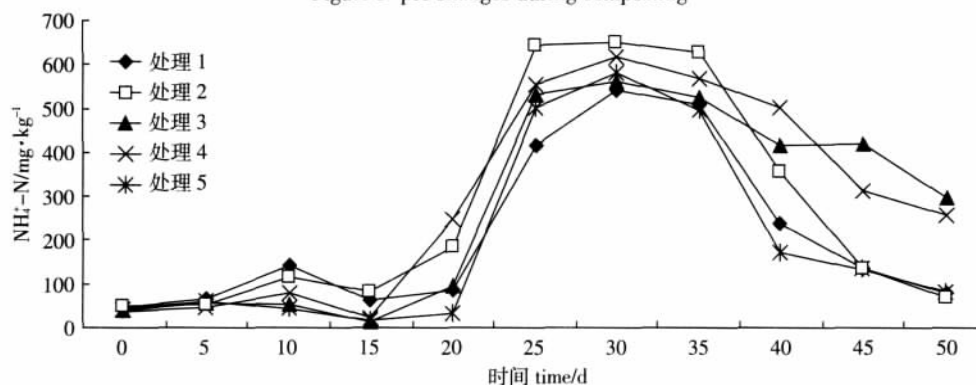


图 4 堆肥过程中铵态氮含量的变化

Figure 4 Changes of ammonium nitrogen during composting

细菌的产生导致了硝态氮含量的迅速升高^[12]。堆置25 d后 NO_3^- -N 含量增加明显,同时添加不同菌剂,微生物活性的差异同样也影响水溶性 NO_3^- -N 含量的增加。

在堆肥腐熟阶段,温度降低,促进了硝化细菌的快速生长和大量繁殖,有利于硝化作用顺利进行,因此,水溶性 NO_3^- -N 不断升高。从图5可以看出,添加菌剂的各处理水溶性 NO_3^- -N 含量比 CK 增加迅速,且上升效果相对显著。其中添加 VT 菌剂的处理2水溶性 NO_3^- -N 上升效果更加显著。堆肥结束时,CK、处理2、处理3、处理4、处理5的 NO_3^- -N 含量分别为 775.64、887.41、600.22、845.16、801.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。说明添加 VT 菌剂促进了堆肥腐熟化的过程,增加或促进了硝化作用,利于水溶性 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 的转化。

2.6 堆肥过程中 C/N 的变化

Mathur 和 Barington 认为,必须达到适宜的 C/N,才能进行理想的堆肥。若 C/N 过高,微生物增殖时由于氮不足,生长受到抑制,堆温降低,有机物降解速度变得缓慢,堆肥时间变长;若 C/N 过低,可利用的碳完全被利用,而过量的氮以氨气的形式损失,不仅影响

环境而且造成氮素肥效的降低,影响堆肥产品质量。当堆肥完全腐熟时, C/N=15~20 为宜^[13]。对堆肥过程中处理 2、3、4、5 与对照 CK 的 C/N 值进行成对数据 t 检验表明 $t_{\text{处理}2}=0.03415^*$ 、 $t_{\text{处理}3}=0.4421$ 、 $t_{\text{处理}4}=0.0951$ 、 $t_{\text{处理}5}=0.3526$ ($0.01 < t < 0.05^*$ 、 $t < 0.01^{**}$),处理2与对照的 C/N 值变化差异显著。由图6可以看出,在堆肥的前 10 d C/N 呈上升趋势,这主要是由于在堆肥初期有机氮的矿化,持续性氨气挥发及硝态氮的可能反作用引起的。随着堆肥时间的推移,堆肥的 C/N 呈下降趋势。C/N 的降低,有利于腐殖质的形成,有利于堆肥向着稳定化、腐熟化、无害化方向转变^[14]。造成 C/N 降低的原因是由于全碳含量下降幅度较全氮大,微生物活动消耗了堆体内大量的有机碳源并转化为二氧化碳损失掉了。其中添加 VT 菌剂的处理2的 C/N 下降趋势相对较好,在 30 d C/N 降到 15 左右,其余均低于 15,说明添加 VT 菌剂更有利于促进堆肥的腐熟。

3 讨论

堆肥是一个以微生物为媒介的生物发酵过程,微

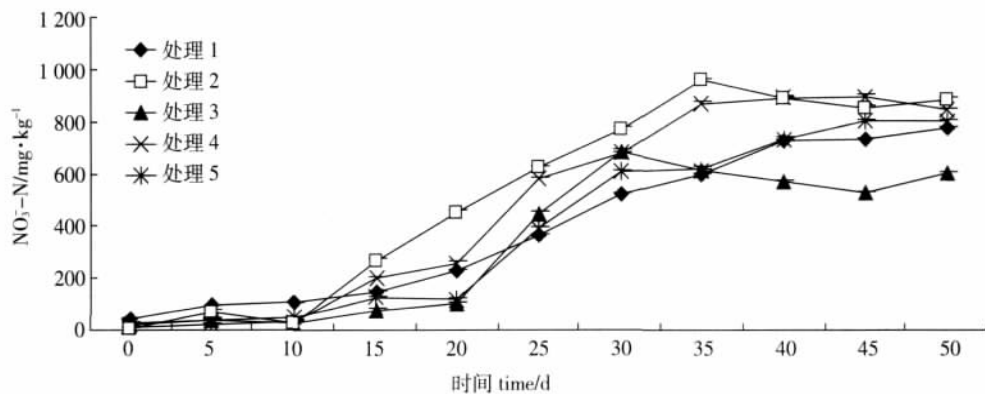


图5 堆肥过程中硝态氮含量的变化

Figure 5 Changes of nitrate nitrogen during composting

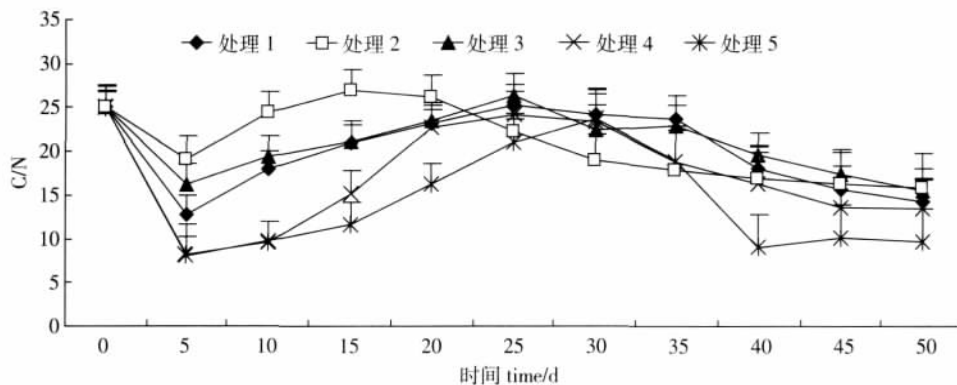


图6 堆肥过程中 C/N 的变化

Figure 6 Changes of C/N ration during composting

生物的活动对堆肥物料的分解起重要作用,添加微生物菌剂是加快堆肥腐熟发酵的重要手段。温度是堆肥过程中的一个重要指标,堆肥温度过高或过低均不利于有机固体废弃物的堆肥化处理。胡菊等^[15]利用鸡粪、麦秸进行快速腐熟研究,结果表明添加微生物菌剂可以加快腐熟进程。本文研究结果与此相同,在油枯堆肥体系中,添加不同微生物菌剂相比CK有效地缩短了进入高温分解阶段的时间,延长了高温持续时间。徐智等^[16]研究表明,添加微生物菌剂能有效促进铵态氮向硝态氮的转化,减少全氮的损失,本文研究结果与其吻合,添加微生物菌剂相比CK能有效促进堆肥腐熟化过程,促进硝化作用,显著降低了水溶性铵态氮的含量。

4 结论

(1)添加菌剂的堆肥物料外观上比不添加菌剂的物料颜色深、粘度大,添加VT菌剂的处理2在外观、颜色、气味上相对其他处理较显著。

(2)添加菌剂的处理比不添加菌剂的处理高温持续时间长,并且温度上升快,能有效地缩短堆肥时间,其中添加VT菌剂的处理2温度相比其他处理上升速度最快,最先达到高温55℃,能有效加快腐熟进度,缩短堆肥时间。

(3)添加菌剂的各处理pH上升幅度较大且高于CK,最终在7.5~8.5之间,达到腐熟标准,其中添加VT菌剂的处理2上升趋势相对显著,腐熟程度较好。

(4)所有处理含水率波动较大,变动于50%~65%之间,物料含水率可能偏高,影响了通气性,因而物料含水率控制在50%~55%较为适宜。

(5)水溶性 NH_4^+-N 的变化呈现先升后降的趋势,水溶性 NO_3^--N 的变化呈上升趋势,各处理的C/N变化趋势呈先上升后下降,所有处理变化趋势相同,基本达到腐熟标准,其中添加VT菌剂的处理2变化效果相对显著。

参考文献:

- [1] 张智泽. 云南农业统计资料[M]. 云南省农业厅编印, 2007: 1-2.
ZHANG Zhi-ze. Agricultural statistics in Yunnan[M]. Yunnan Agriculture Department Published, 2007: 1-2.
- [2] 黄国峰, 钟流举, 张振细, 等. 有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 813-818.
HUANG Guo-feng, ZHONG Liu-ju, ZHANG Zhen-xi, et al. Composting of organic solid waste material changes and maturity evaluation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 813-818.
- [3] 杨兴明, 徐阳春. 有机肥料与农业可持续发展和生态环境保护[J]. 土

- 壤学报, 2008, 45(5): 926-932.
YANG Xing-ming, XU Yang-chun. Organic fertilizers and agricultural sustainable development and environmental protection[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 926-932.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1999.
BAO Shi-dan. Analysis of agricultural soil [M]. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [5] Cardenas-Gonzalez B, Ergas S J, Switzenbaum M S. Characterization of compost biofiltration media[J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 1999, 49: 784-793.
- [6] Epstein E. The science of composting[M]. A Technomic Publishing Company Pennsylvania, USA, 1997.
- [7] Bach P D, Shoda M, Kubota H. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor[J]. *Fermentation Technology*, 1984, 62: 285-292.
- [8] 谷洁, 李生秀, 秦清生, 等. 农业废弃物静态高温堆肥腐熟过程中的生物化学变化[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1699-1705.
GU Jie, LI Sheng-xiu, QIN Qing-sheng, et al. The biochemical changes static of high-temperature composting of agricultural waste in the process[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2005, 38(8): 1699-1705.
- [9] Bishop P L, Grodfrey C. Nitrogen transformations during sludge composting[J]. *Biocycle*, 1983, 24: 34-39.
- [10] 吴淑杭, 姜震方, 俞请英. 畜禽粪堆肥化技术进展[J]. 上海农业学报, 2003, 19(1): 50-52.
WU Shu-hang, JIANG Zhen-fang, YU Qing-ying. The composting of progress livestock manure[J]. *Shanghai Agriculture*, 2003, 19(1): 50-52.
- [11] 李国学, 张福锁. 固体废弃物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
LI Guo-xue, ZHANG Fu-suo. Solid waste composting and organic fertilizer material production[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [12] 张相锋, 王洪涛, 周辉宇, 等. 花卉废弃物和牛粪联合堆肥中的氮迁移[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 126-131.
ZHANG Xiang-feng, WANG Hong-tao, ZHOU Hui-yu, et al. Nitrogen transformation during Co-composting of flower wastes and cattle manure[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(3): 126-131.
- [13] Hirai M F, V Chanyasa K, Kubota H. A standard measurement for compost maturity[J]. *Biocycle*, 1983, 24: 54-56.
- [14] 王玉军, 窦森, 崔俊涛, 等. 复合菌剂对农业废弃物堆肥过程中理化指标变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1354-1358.
WANG Yu-jun, DOU Sen, CUI Jun-tao, et al. Effect of combined fungus on physical and chemical index during agricultural wastes composting [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5): 1354-1358.
- [15] 胡菊, 秦丽, 吕振宁, 等. VT菌剂接种堆肥的作用效果及生物效应[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 604-608.
HU Ju, QIN Li, LV Zhen-yu, et al. Function and field test of compost inoculated with VT microbes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(suppl): 604-608.
- [16] 徐智, 汤利, 毛昆明, 等. 牛粪对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 507-511.
XU Zhi, TANG Li, MAO Kun-ming, et al. Effect of cow manure on passion fruit mare high-temperature compost maturity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 507-511.