

接种菌剂对堆肥微生物数量和酶活性的影响

顾文杰, 张发宝, 徐培智, 解开治, 唐拴虎, 陈建生, 黄旭

(广东省农业科学院土壤肥料研究所/广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:以牛粪和蘑菇渣为原料进行好氧堆肥,研究接种外源菌剂对堆肥中微生物数量和酶活变化的影响,为微生物菌剂的应用和堆肥工艺的改进提供依据。结果表明,加菌处理微生物数量高于CK处理。堆肥中酶活分析结果表明,各类酶活变化趋势有所不同。其中过氧化氢酶是由低到高的趋势,堆肥中加入外源菌剂对过氧化氢酶活性没有影响,加菌和CK处理最终活性为原始值的2倍以上;脲酶和纤维素酶的变化趋势都是先升高,再降低。加菌和CK处理脲酶活性峰值分别为37.38和30.17 $\text{mgNH}_3\text{-N}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$;纤维素酶活性峰值分别是51.84和30.62 $\mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$,外源菌剂对二者酶活性均有明显提高。转化酶也是由高到低的变化趋势,但出现两个波峰。加菌处理转化酶活性峰值分别在第3和第14 d出现,峰值为14.20和21.70 $\text{mg 葡萄糖}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$;CK处理出现在第3和第21 d,其峰值分别为11.77和20.71 $\text{mg 葡萄糖}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$ 。外源菌剂不仅可提高转化酶活性,还可以使其提前到达峰值。多酚氧化酶与其他酶有较大差别,它是降低-升高-降低的趋势。加菌和CK处理多酚氧化酶活性峰值分别为36.30和47.55 $\text{mg 没食子素}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 3\text{ h}^{-1}$ 。以上结果表明,在好氧堆肥中接种外源菌剂可以加快堆肥中有机质分解和转化,促进腐熟。

关键词:好氧堆肥;微生物;酶活

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)08-1718-05

Inoculum Additions During Composting: Impacts on Microbial Populations and Enzyme Activity

GU Wen-jie, ZHANG Fa-bao, XU Pei-zhi, XIE Kai-zhi, TANG Shuan-hu, CHEN Jian-sheng, HUANG Xu

(Soil and Fertilizer Institute, GAAS/Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The objective of this study was to determine if addition of select VT strain inoculums could increase microbial populations and enzyme activity. Counts of microorganisms and enzyme activity during aerobic composting of cow feces and mushroom scraps inoculated with VT were monitored over 30 days. The results showed that microbial populations in the VT-amended treatment were higher than in the control (CK). The microbial counts fluctuated over time, increasing and decreasing as composting progressed. At the end of the composting process, the total bacterial and fungal counts were lower than the corresponding total counts at the start of the composting process. However, the final counts of actinomycetes were higher than the initial counts. The activities of atalase, urease and cellulase varied between the VT-amended treatment and the CK. But, there were no substantial differences in catalase activity between VT-amended treatment and CK during the 30 days of composting. At the end of day 30, the catalase activity in both VT-amended and CK treatments was double that measured at the beginning of the composting process. Urease and cellulase activities in the VT-amended treatment initially increased, and then decreased as composting progressed. The peak activity for urease was 37.38 $\text{NH}_3\text{-N mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$ in the VT-amended treatment and 30.17 $\text{NH}_3\text{-N mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$ in the control sample at 3 day. The peak activity for cellulase was 51.84 $\mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ in the VT-amended treatment at 5 day and 30.62 $\mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ in the CK at 3 day. The peaks of saccharase activity occurred for the VT-amended treatment and the CK at different days changed during the composting. For the VT-amended treatments, peaks occurred at day 3 (14.20 $\text{mg GLU}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$) and day 14 (21.70 $\text{mg GLU}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$). For the CK, peaks occurred at day 3 (11.77 $\text{mg GLU}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$) and day 21 (20.71 $\text{mg GLU}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$), indicating that adding VT might have not only significantly increased saccharase activity, but also led to the occurrence of the earlier enzyme activity peak values. The observed activity trend for polyphenol oxidase was different than other enzymes. Peak values were 36.30 $\text{mg Gallic acid}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 3\text{ h}^{-1}$ and 47.55 $\text{mg Gallic acid}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 3\text{ h}^{-1}$ at 7 day. The results of this study suggest that addition of VT microbial inoculum into composting increase microbial populations and enzyme activity, thus leading to accelerated catabolism and organic matter conversion in the compost piles. Use of VT may provide a new tool for the improvement of the composting industry.

Keywords: aerobic composting; microorganism; enzymatic activities

收稿日期:2008-12-03

基金项目:广东省农业科技计划项目(2006A20302001);广东省教育部部产学研合作项目(2007B090400101);国家科技支撑计划“珠江三角洲集约化农田循环高效生产技术集成研究与示范”(2007BAD89B14)

作者简介:顾文杰(1982—),女,吉林舒兰人,主要从事有机固体废物生物处理方面的研究。E-mail:guwenjie1982@yahoo.cn

通讯作者:张发宝 E-mail:fabaozhang@163.com

好氧堆肥是我国处理畜禽粪便的重要途径和方式^[1]。传统堆肥一般发酵周期较长,难以满足现代化生产的需要。为了加快好氧堆肥进程,人们接种微生物制剂到堆肥物料中。然而接种微生物对堆肥进程的效果,历来众说纷纭^[2-5]。一种观点认为,接种剂中的微生物无法与堆肥中的土著微生物区系竞争而生存下来,不能加速堆肥进程;另一种观点则认为,添加外源微生物接种剂可以延长堆肥高温持续时间和缩短堆肥进程。

好氧堆肥的实质是在微生物作用下的生物化学反应过程^[6-7],而这整个生物化学过程都是在酶参与下进行的酶促反应,微生物对有机物的分解代谢能力取决于酶的活性^[8-9],堆肥底物越丰富多样,所需要的酶系统就越复杂而且越综合,不同的微生物分泌的酶种类不同^[10]。因此,对堆肥过程中微生物及酶活性变化进行研究,有利于了解堆肥过程的生物化学过程及加入微生物制剂对堆肥的影响,从而为堆肥工艺的控制、微生物菌剂的应用提供了重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 堆肥装置

采用中国农业大学资源与环境学院与北京沃土天地生物科技有限公司研发的 VTD-100 堆肥反应器,单机额定工作容积 120 L。

1.2 堆肥原料

采用鲜牛粪和蘑菇渣为原料进行好氧堆肥。牛粪取于广州番禺区珠江奶牛场,蘑菇渣来源于广东东莞市星河生物科技有限公司食用菌厂。堆肥物料的理化性质见表 1。堆肥接种剂为北京沃土天地生物科技有限公司的 VT 菌剂。

表 1 堆肥物料的理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of aerobic composting

原料	含水率/%	C/N	有机质(C)/%	全 N/%	全 P/%	全 K/%
牛粪	75.0	23.17	50.13	1.38	1.54	1.70
菇渣	8.9	31.65	80.55	1.58	1.91	1.17

1.3 试验方法

堆肥方式采用好氧堆肥,将鲜牛粪和蘑菇渣按照一定比例混合,调整 C/N 为 30:1,含水率 50%左右。每天定时供氧,使其中溶氧在 5%~15%。48 h 搅拌 1 次,转速为 $6.4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。堆肥温度由测温仪自动记录。设置添加 VT 菌剂(加菌剂处理)和不加菌剂(对照 CK)两个处理,每个处理 3 次重复。试验从 2008 年 8

月 11 日至 9 月 9 日共堆制 30 d。

微生物数量测定采用平板菌落计数法^[11]。细菌、放线菌、真菌计数所用培养基分别为:牛肉膏-蛋白胨琼脂培养基,孟加拉红琼脂培养基,改良高氏一号培养基^[12]。

脲酶测定采用纳氏比色法;过氧化氢酶测定采用 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾滴定法;多酚氧化酶测定采用紫色没食子素比色法;转化酶测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[13];纤维素酶测定采用 DNS 法^[14]。

2 结果与讨论

2.1 堆肥过程温度的变化

我国粪便无害化卫生标准 (GB 7959—1987) 规定,最高堆肥温度达 $50 \sim 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 并持续 5~7 d,认为堆肥达到无害化标准^[15]。图 1 曲线所示,在堆肥初期,堆肥中的微生物分解利用物料中有机物进行自身的增殖,与此同时释放大量热量,从而使堆体温度迅速上升,第 2 d 加菌处理已达到 $56 \text{ }^{\circ}\text{C}$,CK 处理达到 $51 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。加菌和 CK 处理最高温度分别为 $64 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $61 \text{ }^{\circ}\text{C}$,二者高温期均维持 10 d,但加菌处理 $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上维持 7 d,CK 处理仅维持 3 d。随着高温期的维持以及有机物的消耗,微生物代谢活动减慢,产热量减少,两个处理堆体温度开始迅速下降至 $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,之后温度呈缓慢下降趋势,至第 28 d 达到室温。整个堆肥过程加菌处理升温较快,温度较高。

2.2 堆肥过程微生物数量的变化

堆肥是在微生物参与下的生物化学反应过程,在堆肥的各个阶段均有不同的微生物在发挥作用。结合堆肥温度对堆肥中各类微生物的数量变化进行研究。

表 2 为堆肥不同时期菌株数量变化。

在堆肥初期,一些中温性和嗜热性细菌快速利用物料中易分解的有机物进行自身增殖,使细菌的数量迅速增加,加菌和 CK 处理分别由最初 1.7×10^9 和 1.4

表 2 菌株数量变化

Table 2 Changes of strains' quantities

时间/d	细菌/cfu·g ⁻¹		放线菌/cfu·g ⁻¹		真菌/cfu·g ⁻¹	
	CK	加菌	CK	加菌	CK	加菌
0	1.4×10^9	1.7×10^9	5.1×10^6	4.3×10^6	1.8×10^5	4.7×10^5
3	3.1×10^{12}	1.3×10^{14}	4.2×10^8	3.1×10^9	1.7×10^7	2.8×10^8
5	6.7×10^8	1.1×10^9	9.4×10^5	2.7×10^6	2.0×10^9	5.0×10^1
7	7.2×10^7	3.2×10^8	1.2×10^5	1.4×10^6	3.1×10^1	4.1×10^2
14	3.9×10^9	1.2×10^9	1.1×10^6	1.2×10^7	4.7×10^3	1.7×10^3
21	8.1×10^9	2.4×10^9	2.1×10^6	2.8×10^7	3.0×10^3	5.2×10^3
28	3.6×10^9	9.7×10^8	1.7×10^6	8.2×10^7	3.8×10^3	4.3×10^3

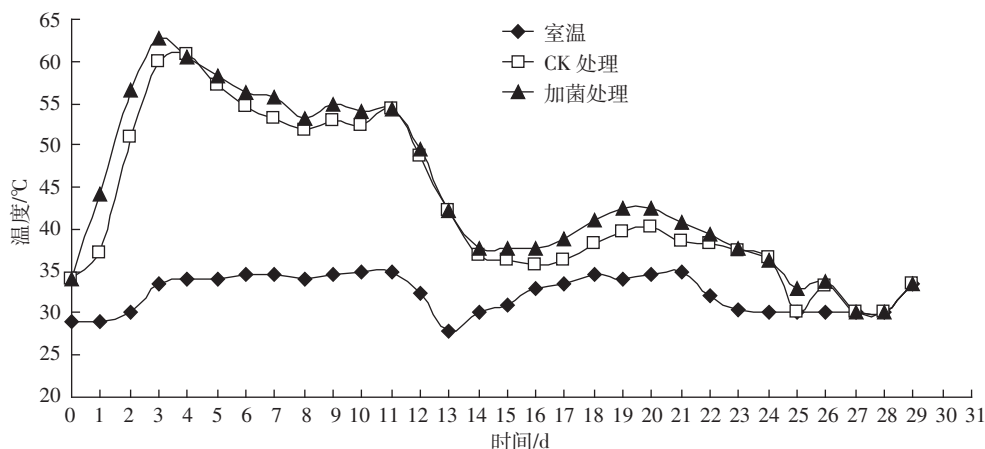


图1 温度变化趋势

Figure 1 Trend temperature of changes

$\times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 到峰值 1.3×10^{14} 和 $3.1 \times 10^{12} \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。当堆肥进入高温期后,随着温度的升高和营养物质的消耗,大量中温性细菌进入休眠或死亡状态,细菌数量开始下降。微生物活动减弱,堆肥温度也开始下降。高温期过后,中温性细菌又开始活跃,细菌数量有所上升。至堆肥结束时,堆体中加菌和 CK 处理细菌数量为 9.7×10^8 和 $3.6 \times 10^9 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

在堆肥过程中,放线菌数量的变化趋势与细菌大致相同,但其数量较细菌少。CK 处理初始值为 $5.1 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,峰值是 $4.2 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,最终至堆肥结束为 $1.7 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,而加菌处理始终要较 CK 处理高一个数量级。

在整个堆肥过程中,真菌数量始终低于细菌和放线菌,加菌和 CK 处理初始值分别为 4.7×10^5 和 $1.8 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,峰值分别为 2.8×10^8 和 $1.7 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$,但随着温度的升高,真菌数量迅速减少。CK 处理 55°C 以上未分离得到真菌,而加菌处理 60°C 以上分离不到真菌。至堆肥结束时,加菌和 CK 处理其数量分别为 4.3×10^3 和 $3.8 \times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.3 堆肥过程酶活的变化

堆肥过程中微生物作用是在各种酶参与下进行的。多种氧化还原酶和水解酶都与堆肥的物质代谢密切相关。

2.3.1 过氧化氢酶

过氧化氢酶是堆肥过程中一种重要的氧化还原酶。图 2 表示本试验中过氧化氢酶活性的变化。研究表明,本次试验 VT 菌剂对堆肥中过氧化氢酶活性基本没有影响,加菌处理和 CK 处理过氧化氢酶活性值在整个堆肥发酵进程的升温期和高热期基本稳定在 $0.5 \sim 0.6 \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在堆肥进入腐熟期后过氧化氢

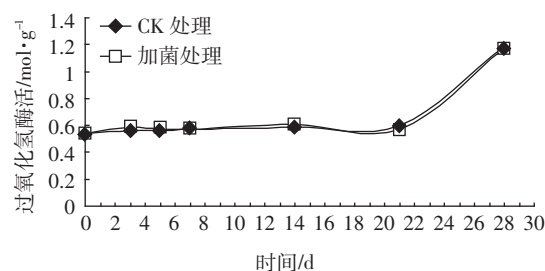


图2 过氧化氢酶变化趋势

Figure 2 Trend of catalase changes

酶活性开始上升,至堆肥结束,其活性值达到 $1.2 \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右,为原始值的 2 倍以上。本试验的研究趋势与倪治华等^[16]的大致相同,但与谭小琴等^[17]的研究结果有较大差异,这可能与堆肥方式的不同有关。

2.3.2 脲酶

脲酶活性的变化趋势如图 3 所示。加菌和 CK 处理二者趋势相同。在堆肥初期,脲酶活性有小幅度的上升,进入高温期后开始急剧下降,加菌和 CK 处理分别由峰值 37.4 和 $30.2 \text{ mgNH}_3\text{-N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ 下降到最低值 0.5 和 $0.4 \text{ mgNH}_3\text{-N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$ 。整个高温期,脲酶的活性始终维持在一个较低的水平;进入降温和腐熟

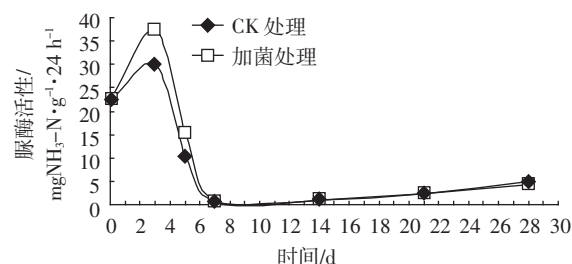


图3 脲酶变化趋势

Figure 3 Trend of urease changes

期后,脲酶活性开始缓慢上升。有资料表明^[14,18],脲酶的活性与微生物数量呈正相关。因此,脲酶的急剧下降可能与高温期微生物数量的减少有关,而后期随着温度的下降,微生物数量增加,脲酶活性又有所回升。整个堆肥期间加菌处理的脲酶活性要较 CK 处理高,这说明加菌处理的微生物数量较 CK 处理多,与前面微生物数量部分的研究结果吻合。本试验的研究结果与 Paola Castaldi 等^[19]以及倪治华等^[16]研究趋势相吻合。

2.3.3 转化酶

由图 4 可以看到,此次堆肥中加菌和 CK 处理变化趋势一致,转化酶活性均出现两次高峰,但与倪治华等^[16]的研究趋势不很一致,可能是由于堆肥原料不同所致。本试验加菌处理转化酶活性峰值分别在第 3 和第 14 d 出现,峰值分别为 14.2 和 21.7 mg 葡萄糖·g⁻¹·24 h⁻¹;CK 处理峰值分别出现在第 3 和第 21 d,分别为 11.8 和 20.7 mg 葡萄糖·g⁻¹·24 h⁻¹。至堆肥结束,加菌和 CK 处理酶活性值分别为 5.8 和 2.0 mg 葡萄糖·g⁻¹·24 h⁻¹,加菌处理明显高于 CK 处理。转化酶活性与堆肥中碳的转化和呼吸强度有关。从以上的数据可得知:加入的 VT 菌剂提高转化酶活性,加速堆肥中碳素的转化,从而促进堆肥升温,加快无害化进程。

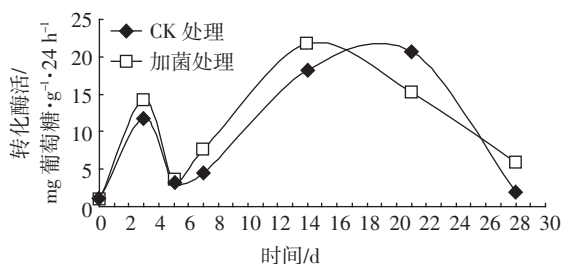


图 4 转化酶变化趋势

Figure 4 Trend of invertase changes

2.3.4 多酚氧化酶

图 5 显示堆肥中两个处理多酚氧化酶的变化趋势。其中加菌处理多酚氧化酶活性变化趋势为降低-升高-降低,其峰值为 36.3 mg 没食子素·g⁻¹·3 h⁻¹。而 CK 处理多酚氧化酶活性在堆肥初期维持较高水平,之后急剧下降,随之又快速上升至堆肥中的最高水平 47.5 mg 没食子素·g⁻¹·3 h⁻¹,较加菌处理高。多酚氧化酶参与腐殖质组分中芳香族有机化合物的转化,与堆肥的腐熟度呈负相关^[14,16]。由图中曲线可知,整个堆肥过程加菌处理多酚氧化酶活性几乎都低于 CK 处理,加入的 VT 菌剂可以加快堆肥腐熟。

2.3.5 纤维素酶

堆肥过程中纤维素降解与碳素代谢密切相关^[14]。

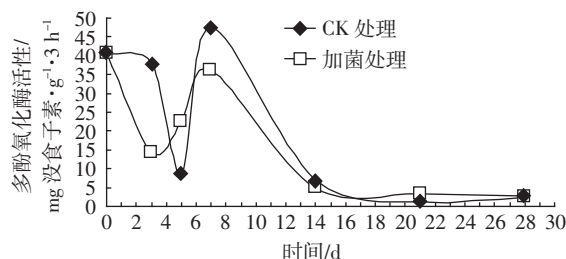


图 5 多酚氧化酶变化趋势

Figure 5 Trend of polyphenol oxidase changes

因此,纤维素酶是碳循环中的一个重要酶,其活性变化可以反映堆肥过程中碳素物质的降解情况。本次试验中加菌和 CK 处理纤维素酶活性均呈现先升后降的趋势,如图 6 所示。本试验的酶活变化趋势与朱能武等^[19]所研究的趋势大体相同。在堆肥初期,各类微生物活跃,纤维素酶活性不断上升。加菌和 CK 处理分别在第 5 和第 3 d 达到峰值,分别为 51.8 和 30.6 μg·min⁻¹。随着堆肥的进行,进入高温期后,纤维素酶活性急剧下降,这可能是因为纤维素的主要分解菌—真菌不耐高温,大量死亡所致。进入降温期后,酶活性下降趋势减缓。加菌处理纤维素酶活在堆肥全程均明显高于 CK 处理,而峰值要较 CK 处理出现的晚,这表明 VT 菌剂对纤维素酶活具有显著促进效果,并且其中的纤维素分解菌对高温耐受能力要强于 CK 处理,这对于加快堆肥进程具有十分重要的作用。

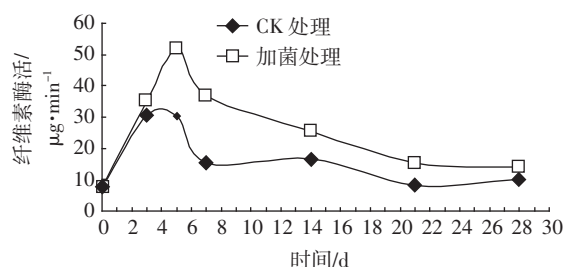


图 6 纤维素酶变化趋势

Figure 6 Trend of cellulase changes

3 结论

(1)在堆肥过程中,加菌和 CK 处理中的 3 类微生物数量变化趋势相同,均是升高-降低-升高。但加菌处理微生物数量要高于 CK 处理。堆肥结束时两处理中的细菌和真菌数量均少于初始值,而放线菌数量要高于初始值,而且加菌处理的放线菌数量明显高于不加菌处理。

(2)好氧堆肥中各类酶活的变化趋势有所不同。

其中过氧化氢酶是由低到高的趋势;脲酶和纤维素酶都是先升高,再降低;转化酶也是由高到低的变化趋势,但其间出现两个波峰;多酚氧化酶与其他酶有较大差别,它是降低-升高-降低的趋势。以上酶活的变化均是随微生物和温度变化而变化,说明堆肥过程中酶活性的变化与堆肥中微生物数量以及温度有密切相关性。

(3)堆肥中加入的VT菌剂对过氧化氢酶活性没有影响;对脲酶、纤维素酶活性均有明显的提高;对转化酶不仅可提高其活性,而且可以使其提前到达峰值;同时,它还可以降低与堆肥腐熟呈负相关性的多酚氧化酶活性。这说明VT菌剂可以加快堆肥中有机质的分解和转化,促进堆肥腐熟。

参考文献:

- [1] 高华,秦清军,谷洁,等.农业废弃物堆腐过程中氧化还原酶活性的变化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(2):222-228.
GAO Hua, QIN Qing-jun, GU Jie, et al. Activity changes of oxidoreductase during composting of agricultural waste materials[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(2): 222-228.
- [2] 吴永英.禽粪便及废弃物好氧堆肥中霉菌的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2007:1-18.
WU Yong-ying. Study on fungi in poultry manure aerobic compost[D]. Haerbin:Northeast Agricultural University, 2007:1-18.
- [3] Tiquia S M, Tam N F Y, Hodgkiss I J. Effects of bacterial inoculum and moisture adjustment on composting of pig manure[J]. *Environmental Pollution*, 1997, 96(2):161-171.
- [4] Hart T D, De Lei F A A M, Kinsey G, et al. Strategies for the isolation of cellulolytic fungi for composting of wheat straw[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2002, 18:471-480.
- [5] Fang M, Wong M H, Wong J W C. Digestion activity of thermophilic bacterial isolated from ash-amended sewage sludge compost[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, 126:1-12.
- [6] 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:北京化工出版社,2000:19-30,91-95.
LI Guo-xue, ZHANG Fu-suo. Composting of solid waste and production of organic compound fertilizer[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2000:19-30, 91-95.
- [7] Shiho Wakase, Hiraku Sasaki, Kikuji Itoh. Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99:2687-2693.
- [8] Tiquia S M, Wan J H C, Tam N F Y. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting[J]. *Compost Sci Utiliz*, 2002, 10(2):150-161.
- [9] Paola Castaldi, Giovanni Garau, Pietro Melis. Maturity assessment of compost municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions[J]. *Waste Management*, 2008, 28:534-540.
- [10] 黄得扬,陆文静,王洪涛.有机固体废物堆肥化处理的微生物学机理研究[J].环境污染治理技术与设备,2004,5(1):12-18.
HUANG De-yang, LU Wen-jing, WANG Hong-tao. Microbiological mechanism of organic solid wastes composting[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2004, 5(1):12-18.
- [11] 沈萍,范秀容,李广武.微生物学实验(第3版)[M].北京:高等教育出版社,2001:69-92.
SHENG Ping, FAN Xiu-rong, LI Guang-wu. Experiment of microorganism (Third Edition)[M]. Beijing:Higher Education Press, 2001:69-92.
- [12] 王立群,彭科峰,张传富,等.鸡粪好氧堆肥中中期效应细菌及放线菌的筛选及属别鉴定[J].东北农业大学学报,2007,38(6):775-779.
WANG Li-qun, PENG Ke-feng, ZHANG Chuan-fu, et al. The screening and genus identification of bacteria and actinomycete in intermediate temperature phase in aerobic composting of chicken manure[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2007, 38(6):775-779.
- [13] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:243-277.
GUAN Song-yin. Soil enzymes and methodology[M]. Beijing:Agri. Publishing House, 1986:243-277.
- [14] NY 609—2002.有机物料腐熟剂[S].
NY 609—2002. Organic matter-decomposing inoculant[S].
- [15] GB 7959—1987.粪便无害化卫生标准[S].
GB 7959—1987. Sanitary standard for the non-hazardous treatment of night soil[S].
- [16] 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 enzymes activities of pig manure during composting [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(3):406-411.
- [17] 谭小琴,邓良伟,伍钧.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. Variations of the amount of microbe and the activity of decomposing enzyme during composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1):244-248.
- [18] 戴芳,曾光明,牛承岗,等.堆肥化过程中生物酶活性的研究进展[J].中国生物工程杂志,2005(增刊):148-151.
DAI Fang, ZENG Guang-ming, NIU Cheng-gang, et al. Advance in the studies on bioenzyme activity during the composting [J]. *Progress In Biotechnology*, 2005(Supplement):148-151.
- [19] 朱能武.好氧堆肥的代谢酶变化和生物毒性物质的降解[J].华南理工大学学报(自然科学版),2005,33(11):6-9.
ZHU Neng-wu. Variation of metabolic enzymes and degradation of phytotoxicity materials in aerobic composting[J]. *Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition)*, 2005, 33(11):6-9.