

不同来源生物质废弃物高温堆肥过程的物理化学及微生物性质研究

唐景春, 周启星, 张冠辉

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要: 采用实验室小型堆肥系统对 3 种典型废弃物牛粪、食物残渣及污泥堆肥过程的物理化学及微生物特性进行了研究和比较. 研究表明不同原料堆肥 pH 都能升到 8 以上, C/N 在堆肥过程中有降低的趋势. 不同水分调整材料稻秸(RS)、蛭石(V)、废纸(WP)及锯屑(SD)对堆肥过程的影响与不同堆肥原料相比要小的多. 在 3 种不同原料中, 食物残渣堆肥活性最高, 14 d 有机物降解率为 47.2% ~ 56.8%, 代表微生物量的醌含量在堆肥后期可增加到 $359.7 \sim 472.3 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 但微生物群体的多样性较低, 醌多样性指数 DQ 在堆肥后期增加到 6.1 ~ 6.7. 牛粪堆肥只在初始阶段活性较高, 之后很快降低, 其醌含量较低. 在堆肥中期达到最大值为 $36.3 \sim 117.0 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 醌多样性指数 DQ 初始期为 10.3 ~ 12.8, 堆肥过程中逐渐升高至后期达 18.1 ~ 22.7. 污泥堆肥的各项特性介于食物残渣和牛粪之间. 堆肥过程的不同主要是由于原料中各种有机成分的不同而导致. 根据研究结果提出了对堆肥过程进行合理控制的建议.

关键词: 堆肥; 原料; 水分调整材料; 醌类图谱分析; 微生物

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)05-1158-07

Physico-Chemical and Microbial Properties in Thermophilic Composting Processes of Different Biological Solid Wastes

TANG Jing-chun, ZHOU Qi-xing, ZHANG Guan-hui

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Characterization on the physico-chemical and microbial properties were carried out in thermophilic composting processes of 3 different biological solid wastes: manure, garbage and sludge. pH increased to above 8 and C/N ratio decreased during the process. The effect of different bulking agents on the composting process is smaller compared to different raw materials. Among the 3 different materials, garbage composting shows highest composting activity, and the mass reduction rate is 47.2% ~ 56.8% after 14 days. Quinone content, representative of microbial biomass, increases to $359.7 \sim 472.3 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ at the late composting period. However quinone diversity index only increases to 6.1 ~ 6.7, suggesting lower microbial diversity. The composting activity of cattle manure is only high at initial period and then decreases. The quinone content is high at middle period of cattle manure composting with the value of $36.3 \sim 117.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. DQ is 10.3 ~ 12.8 at initial, and increases to 18.1 ~ 22.7 during cattle manure composting. The properties of sludge composting fall in the range between cattle manure and garbage. It is suggested that the differences of the composting processes are mainly caused by organic component level in different raw materials. Suggestions on the control of composting process are also proposed based on this study.

Key words: composting; materials; bulking agent; quinone profile; microorganism

生活垃圾、家畜粪便以及市政污泥是目前国内及世界范围 3 种大量排出的生物质废弃物. 高温快速堆肥技术是处理这些生物质废弃物的有效手段. 席北斗等^[1,2]利用复合微生物菌群进行了生活垃圾堆肥处理的研究, 解决了生活垃圾中堆肥微生物含量低的问题, 提高了处理效率. 畜禽粪便中含有各种易被微生物利用的有机物质, 因而可通过不同的堆肥工艺得到较好的处理^[3-5]. 对市政污泥堆肥研究较多, 由于污泥一般粒径较小, 氧气在堆肥系统内的扩散受到限制, 因而在污泥的堆肥处理工艺中普遍采用了强制通风技术^[6]. 国外现在多采用密闭型的垃圾处理罐或小型的垃圾处理器, 对其处理各种生物质废弃物特别是生活垃圾进行了越来越多的研

究^[7,8]. 不同的堆肥原料由于其所含的有机物的成分不同, 其堆肥过程及控制技术会有很大的不同. 这就要求对不同原料的堆肥过程的特点有一个了解和比较, 但到目前为止的研究多是针对某一种废弃物或是几种原料的混合堆肥过程, 对不同原料的堆肥过程进行的比较性的研究也主要集中在 pH、EC 及有机物含量变化等化学性质上^[9], 这就很难把握堆肥过程及微生物变动的一般规律, 建立适合多种废弃物处理的堆肥工艺.

收稿日期: 2006-05-19; 修订日期: 2006-07-10

作者简介: 唐景春(1968 ~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为生物质废弃物的处理及环境微生物学, E-mail: jc_tang@163.com

堆肥的控制实际是对堆肥中微生物活动的控制过程.堆肥过程存在的微生物是一个复合微生物体系,存在着各种不同的微生物如细菌、真菌和放线菌.这些微生物在堆肥过程中如何变动,特别是不同原料堆肥过程中微生物的种群构成及变动的特点有何不同现在还不是完全清楚.由于堆肥过程微生物的复杂性,传统的平板培养分离方法对堆肥中的许多微生物不能进行有效的鉴定.近年来采用非培养法测定环境微生物有了长足的发展.分子生物学测定法、磷脂脂肪酸(PLFA)分析及醌类图谱(quinone profile)分析是比较有代表性的非培养微生物分析法.分子生物学中的 PCR 变性凝胶电泳技术已经在国内被用于堆肥中微生物种群结构的分析^[10-11].但分子生物学方法对实验条件要求高,受外界条件影响产生的误差大,资金投入也较高,还不能作为一种常规实验方法来应用.醌类图谱分析法具有操作简单,精度高和数据处理容易的特点,能对原核微生物和真核微生物同时有效测定,因此在环境微生物生态的测定中得到了越来越广泛的重视和应用^[12].在对堆肥微生物的测定中醌类图谱分析也显示出其优越性,成功测定并揭示了堆肥中复杂微生物群体结构的特点及动态变化^[13-16].

本实验采用实验室高温堆肥系统,在相近实验条件下对不同原料:家畜粪便(以牛粪为代表)、生活垃圾(以食物残渣为代表)及污泥的堆肥过程进行了研究.目的是:①对不同原料的堆肥处理过程进行比较,弄清不同原料及水分调整材料对堆肥过程的影响;②采用醌类图谱分析法进一步弄清不同原料堆肥过程中的微生物变化的特点,为堆肥的过程控制提供依据.

1 材料与方法

1.1 实验室堆肥系统

采用了温控和通气的实验室堆肥处理系统(见图 1).堆肥原料放入 1 个 30 L 的不锈钢圆筒中,并置于 60 ℃ 恒温箱中.空气由 1 个空气泵供给,从圆筒底部通入,通过底部的不锈钢丝网使空气在堆肥中均匀分布,并在圆筒的上部通过排出口排出.空气流量通过 1 个流量调节阀调节至 1.5 ~ 2 L/min.排出的空气经冷凝器除去空气中的水分后,通过氧气测定仪进行氧气含量测定.堆肥内部的温度变化由温度记录仪记录后输入计算机进行数据处理.堆肥原料的水分控制在约 60% ~ 70%.堆肥过程中由于水分蒸发含量不断减少,为弥补水分的损失,定期向

堆肥中加入与冷凝器中收集到的相同体积的水分,以维持堆肥水分保持 60% ~ 70% 含量.堆肥原料每日进行 1 次人工搅拌,并在定期采取堆肥样品进行分析.

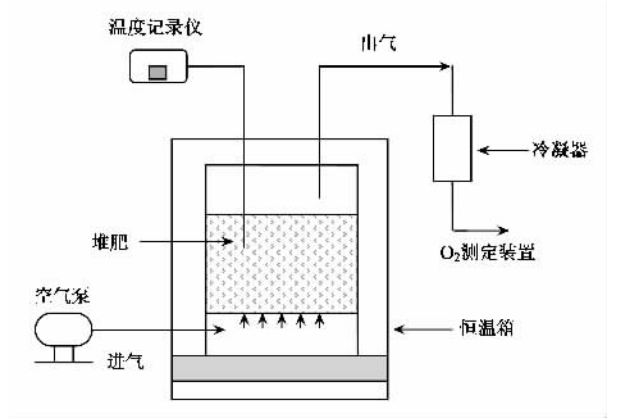


图 1 实验室堆肥装置示意
Fig.1 Diagram of the experimental composting system

1.2 堆肥原料

3 种主要原料为牛粪、污泥和食物残渣.新鲜牛粪采自养牛场,采样后立即使用.污泥取自污水处理厂脱水后未经消化的污泥,由于脱水过程中加入了生石灰,污泥的 pH 较高,为 11 ~ 12.食物残渣取自学生食堂,其主要成分为蔬菜(38.4%)、米饭(18%)、面类(16.3%)、鱼和肉残渣(7.9%)、油炸食物(5%)及其它(14.4%).另外,以 4 种不同的物质作为牛粪堆肥水分调整材料,即稻秸(RS)、蛭石(V)、废纸(WP)及锯屑(SD),研究不同添加材料对堆肥过程的影响.其中蛭石为无机物,稻秸为农业废弃物,废纸及锯屑作为含碳较高的废弃物经常被用作堆肥的水分调整材料.3 种主要原料构成的堆肥原料的成分组成见表 1.这 3 种原料中以食物残渣中碳和氮的含量最高,污泥虽然碳含量低但 C/N 在 3 种原料中最低,说明其含氮有机物如蛋白质含量较高,由于加入生石灰导致有机物的降低.牛粪中的 C/N 最高,主要是由于含有较多碳水化合物如纤维素、半纤维素及木质素等所致.不同原料与水分调整材料的加入比例约为 6:1.

1.3 分析方法

水分含量是通过测定 105 ℃ 24 h 烘干前后样品的重量变化来确定.得到的干燥样品经粉碎后通过 CHN 分析仪(柳本分析仪器,日本,东京)测定其中的总碳,总氮及灰分含量.pH 及电导率(EC)的变化由 pH 计及 EC 测定计测定,样品与水的稀释比例为 1:9^[15].

表 1 主要堆肥原料牛粪、食物残渣及污泥
加入水分调整材料后的化学成分组成¹⁾

Table 1 Chemical composition of different composting materials: cattle manure, food waste and sludge after addition of bulking agents

原料	水分调整材料	C/%	N/%	C/N	灰份/%	湿度/%
牛粪	RS	41.2	1.06	38.9	14.8	68.7
	V	20.8	0.73	28.5	56.2	68.4
	SD	44.6	0.99	45.2	6.2	70.0
	WP	39.1	1.26	31.2	10.8	68.6
食物残渣	RS	45.4	2.22	20.5	8.6	67.4
	V	27.6	2.08	13.3	34.0	66.9
污泥 + 牛粪锯屑堆肥		33.0	2.35	14.1	27.5	60.5

1)RS: 稻秸; V: 蛭石; SD: 锯屑; WP: 废纸

堆肥中醌类图谱的分析借鉴土壤中的分析法^[17].用于醌类图谱分析的样品保存在-30℃的冰箱中.取5g样品加入80mL三氯甲烷和甲醇的混合液(体积比为2:1),超声波抽提10min.混合液在8000r/min下离心10min后,上清液过滤入300mL茄形瓶,离心沉淀继续用三氯甲烷和甲醇的混合液抽提.以上步骤重复3次,将得到的上清液混在一起后在40℃的温度下真空浓缩至约60mL.导入萃取瓶后加入50mL环己烷和30mL100g/LNaCl,10g/LCaCl₂溶液,萃取2次.得到的环己烷溶液经真空浓缩至约5mL后载入Sep-Pak Plus Silica™硅胶柱,分别用20mL体积比为2:98及10:90乙醚-环己烷溶液分离出甲基萘醌(MK)和泛醌(Q),经氮气吹干后溶于丙酮中进行HPLC分析.由于醌类对光不稳定,以上抽提要闭光或在暗条件下进行.HPLC分析的移动相用甲醇和异丙醚的混合液(体积比为9:2),流量为1mL/min.检测器使用光电二极管矩阵检测器,泛醌类和甲基萘醌类的监视波长分别是275nm和270nm.依据紫外光谱吸收峰的波形特性及保留时间,可以确定不同的醌类种类.泛醌类在275nm存在特征吸收,甲基萘醌类在242,248,260nm及269nm存在特征吸收峰.不同醌的种类根据出峰时间及前后顺序确定,在一些情况下使用液相色谱-质谱联用来确定醌的种类.根据分析结果,不同醌的和可得到总醌含量TQ.醌的多样性指数^[18]及相异性指数^[19]可根据下式计算:

$$DQ = \left(\sum_{k=1}^n \sqrt{f_k} \right)^2 \tag{1}$$

$$D(i,j) = 1/2 \sum_{k=1}^n |f_{ik} - f_{jk}| \times 100 \tag{2}$$

其中 f_k 是 k 种醌类的摩尔分数, n 是样品中所

含醌类种类的数目, f_{ik} 是样品 i 中 k 种醌的摩尔分数, f_{jk} 是样品 j 中 k 种醌的摩尔分数.

2 结果与讨论

2.1 堆肥过程中物理化学性质的变化

堆肥中的反应活性根据堆肥的温度变化及排气中氧的浓度的变化来测定.图2是3种不同原料堆肥过程中温度及排气中氧浓度的变化情况,其中牛粪及食物残渣堆肥都是以添加稻秸的堆肥过程的结果作为代表.从图2的结果看,可以将高温堆肥过程分为初始期(0~2d),中期(3~7d)和后期(8~14d)3个阶段.初始期一般表现为温度及耗氧量迅速升高,是微生物的快速增殖阶段;中期温度及耗氧量保持在一个较高的数值,有机物的分解主要发生在这一时期;而后期的堆肥温度及耗氧量逐渐下降,微生物的活性也逐渐下降直至死灭.不同废弃物原料堆肥过程中活性变化不同.牛粪堆肥在初始期温度及耗氧量迅速升高达到最大值后又很快下降,中期及后期活性都较低.食物残渣堆肥过程中初始期活性逐渐升高,中期较长时间维持较高活性,后期活性逐渐下降.污泥堆肥初始期及中期与厨房垃圾堆肥相近,特别是在8d时出现氧气消耗的峰值,但后期活性很快下降.堆肥活性变化的不同是由原料的化学成分不同决定的,反应出原料中易利用物质和可微生物降解物质的多少及在不同时间段内有机物被不同微生物利用的情况.

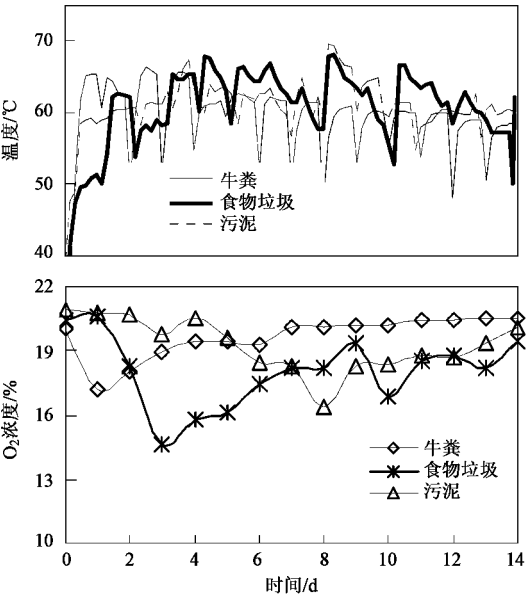


图 2 不同原料堆肥过程中温度及排气中氧浓度的变化
Fig.2 Change of temperature and O₂ content in exhaust gas in composting process of different raw materials

堆肥过程中有机物降解率及 pH、EC 等化学性质的变化见表 2。pH 在不同堆肥过程中是先升后降的趋势,堆肥后 pH 都在 8.0 以上。污泥 + 牛粪锯屑的堆肥处理由于在脱水过程中加入了石灰,所以开始 pH 较高,堆肥过程中有所下降。EC 在牛粪堆肥中期是降低的趋势后期有所升高,而在厨余垃圾及市政污泥堆肥过程中则随着堆肥的进行逐渐升高。碳氮的变化反应出堆肥过程中物质分解程度的变化。有机成分碳氮及 C/N 的变化见图 3。虽然堆肥开始时由于使用不同原料及水分调整材料而使堆肥中的碳含量不同,但堆肥过程中碳含量都是降低的趋势。除污泥堆肥的中期及厨余垃圾 + 蛭石堆肥的后期有所下降以外,其余各处理氮含量在堆肥过程中逐渐升高。牛粪堆肥处理的 C/N 高于含食物残渣及市政污泥的堆肥处理,但除含污泥的堆肥处理的中期 C/N 升高外,其余各处理都呈下降的趋势。碳氮及 C/N 的变化反应了堆肥过程中有机物的分解及碳素释放和氮素的保存。从堆肥过程中物质的变化可以看出,不同水分调整材料的牛粪堆肥中,废弃物的分解率为 10.9% ~ 25%。其中添加蛭石的有机物分解率最低,而添加稻秸、锯屑及废纸的有机物分解率相近。市政污泥堆肥后有机物分解率为 20.2%,与牛粪堆肥相近。食物残渣堆肥的有机物分解率为 47.2% ~ 56.8%,远远高于牛粪及市政污泥堆肥中的有机物分解率。这是由于食物残渣中的高有机物含量、温度、粒度和孔隙度等使其堆肥过程可以维持

较长时间的高温及较高的耗氧量,得到较大的分解率。

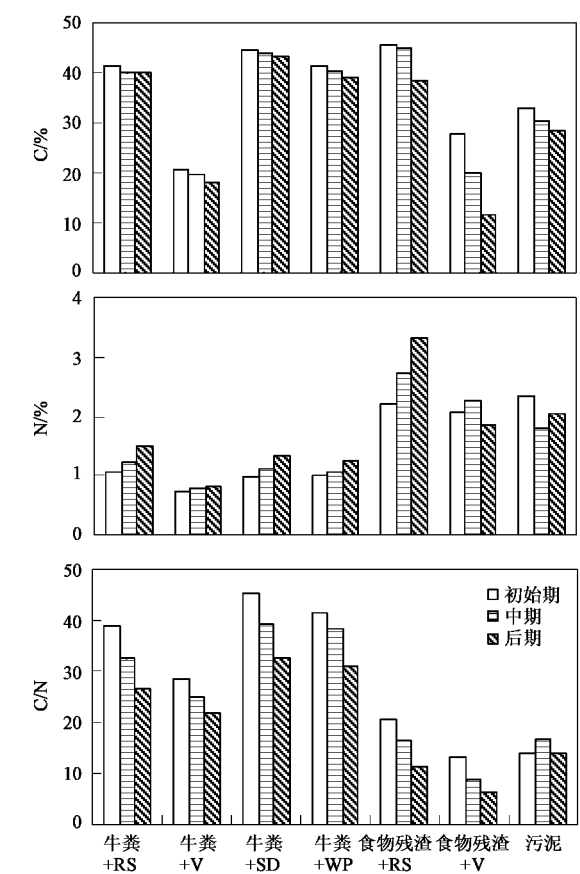


图 3 不同原料堆肥处理过程中有机元素 C、N 及 C/N 的变化
Fig.3 Change of C, N and C/N ratio in composting processes of different raw materials

表 2 不同原料堆肥过程有机物降解率及 pH、EC 的变化								
Table 2 Change of mass reduction and pH, EC during composting processes of different materials								
项目	时期	牛粪 + RS	牛粪 + V	牛粪 + SD	牛粪 + WP	食物残渣 + RS	食物残渣 + V	污泥 + 牛粪锯屑堆肥
有机物变化/%	初始期	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	中期	91.4	95.6	84.7	92.3	63.8	68.2	89.2
	后期	76.3	89.1	75.0	76.4	43.3	52.8	79.8
pH	初始期	7.92	8.20	8.15	8.23	7.03	8.25	10.50
	中期	8.83	8.38	8.68	8.58	8.65	8.47	8.37
	后期	8.57	8.21	8.36	8.53	8.39	8.39	8.10
EC/mS•cm ⁻¹	初始期	4.19	2.28	3.27	2.95	5.33	3.81	4.83
	中期	3.68	1.58	2.70	2.34	7.02	4.66	5.07
	后期	3.71	1.50	2.98	2.54	8.79	4.72	5.73

2.2 堆肥过程的微生物性质变化

表 3 对不同原料堆肥过程中醌类含量及醌类多样性指数(DQ)的变化进行了比较,可以看出含牛粪堆肥的总醌含量在中期最高,而含食物残渣及污泥各堆肥处理在后期最高,且食物残渣堆肥的醌含量在堆肥后期可增加到 359.7 ~ 472.3 μmol•kg⁻¹,明显

高于含牛粪及污泥堆肥处理,这说明食物残渣堆肥过程中微生物的增殖要远远大于其它 2 种原料。DQ 则正好相反,在后期以牛粪堆肥最高,食物残渣堆肥最低。牛粪中 DQ 初始期为 10.3 ~ 12.8,堆肥过程中逐渐升高至后期达 18.1 ~ 22.7。DQ 的变化在牛粪及食物残渣中表现为从中期到后期逐渐增加;而

在污泥堆肥中 DQ 值在中期减小,后期稍有增加; DQ 在食物垃圾堆肥后期增加到 6.1~6.7. 以上结果说明牛粪堆肥中微生物的多样性较高,牛粪堆肥和食物残渣堆肥多样性随堆肥反应的进行而增加. 对后期的不同处理之间进行微生物特性的统计学检验结果表明,在显著性水平 $p\leq 0.01$ 时,无论是醌含量还是醌多样性指数 DQ 在不同原料堆肥间存在显著性差异,而在同一原料的不同水分调整材料处理间无显著性差异. 堆肥过程中相异性指数 D 的结果显示不同原料堆肥间及同一原料不同水分调整材

料堆肥间微生物群体结构的差异大小(见表 4)。一般同一原料在稳定状况下不同时期堆肥样品间 D 值小于 30^[20],表 4 中不同原料间的结果是以牛粪-RS 及生活垃圾-RS 为代表计算的。牛粪-食物残渣堆肥及牛粪-污泥堆肥之间 3 个不同时期的 D 值平均为 53.3 和 56.6,远高于垃圾-污泥堆肥及牛粪堆肥添加不同水分调整材料之间的 D 值(20.3~35.9)。以上的结果说明堆肥中的微生物群体结构主要决定于所使用的堆肥原料,不同水分调整材料的影响则要小得多。

表 3 不同原料堆肥过程中醌含量(TQ)及多样性指数(DQ)的变化

Table 3 Change of total quinone content (TQ) and quinone diversity index (DQ) during composting processes of different materials								
项目	时期	牛粪 + RS	牛粪 + V	牛粪 + SD	牛粪 + WP	食物残渣 + RS	食物残渣 + V	污泥 + 牛粪 锯屑堆肥
TQ/ $\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	初始期	27.6	17.3	43.5	30.0	0.0	0.0	52.6
	中期	93.3	36.3	108.7	117.0	52.1	122.3	91.0
	后期	66.9	34.3	63.2	78.2	472.3	359.7	127.6
DQ	初始期	10.9	10.3	11.1	12.8	0.0	0.0	16.8
	中期	13.4	16.2	14.4	14.6	2.7	4.0	10.3
	后期	20.3	20.6	18.1	22.7	6.1	6.7	11.8

表 4 不同原料堆肥过程中相异性指数 D 的变化

Table 4 Change of dissimilarity index (<i>D</i>) during composting processes of different materials										
时期	牛粪堆肥不同添加材料之间						食品残渣不同 添加材料之间	牛粪- 食品残渣	牛粪-污泥	食品残渣 -污泥
	RS-V	RS-SD	RS-WP	V-SD	V-WP	SD-WP				
初始期	32.9	17.8	24.5	31.6	18.6	20.0	0	50.0	69.4	50.0
中期	32.6	15.4	15.9	35.0	43.6	14.5	19.9	54.0	49.3	30.3
后期	26.4	27.7	55.8	41.2	29.7	34.8	0.5	55.8	51.1	12.8
平均	30.7	20.3	32.1	35.9	30.7	23.1	6.8	53.3	56.6	31.0

图 4 给出了不同原料堆肥过程中不同种类醌的摩尔分数的变化. 在 3 种不同堆肥原料当中,牛粪及

污泥中含有各种不同醌类,其中牛粪以泛醌类 Q-9 或 MK-7 为主,而污泥中是以各种甲基萘醌为其主

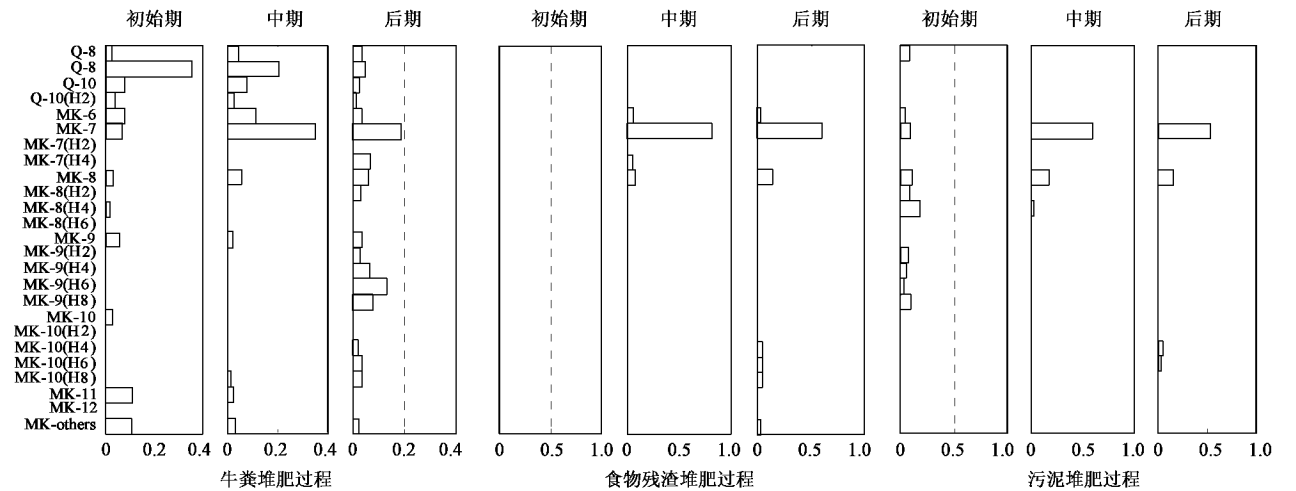


图 4 不同原料堆肥堆肥过程醌摩尔分数的变化

Fig.4 Change of mole fraction during composting processes of different materials

要醌种类.食物残渣的堆肥原料中没有检测到醌类.这说明各种不同原料的初始微生物菌群是不同的.随着堆肥过程的进行,除添加蛭石的牛粪堆肥外,其它堆肥过程中各种泛醌的摩尔分数下降,而甲基萘醌的含量则逐渐增加.特别是其中侧链含 7 个异戊二烯单元的甲基苯醌(MK-7)增加最多,在堆肥中期成为各种醌类中的最优势种,其摩尔分数在牛粪堆肥中为 16%~35%,而在食物残渣及污泥堆肥中可达 60%~80%.堆肥后期 MK-7 的摩尔分数稍有减少,但在牛粪堆肥中侧链中含有更多个不饱和异戊二烯单元的长链甲基苯醌的摩尔分数增加.食物残渣堆肥中期只含有少数几种醌类,后期也出现了 MK-10(H4),MK-10(H6)等长链甲基苯醌.

究竟是什么微生物在堆肥中起主要作用一直是人们比较关注的一个问题.多数的研究表明嗜热杆菌是高温堆肥过程的优势菌群.如 Strom^[21]研究了高温下食物残渣添加废纸的堆肥过程,对堆肥中的微生物通过平板分离,发现 87% 为各种杆菌(*Bacillus* spp.).杆菌是以 MK-7 作为其主要醌类种,这说明观察到的 MK-7 含量随堆肥过程的增加以至成为主要醌类种是由于杆菌的增殖引起的.杆菌一般能够利用各种有机物而快速增殖,并能耐受较高的环境温度^[22].这就是为什么食物残渣堆肥中的醌含量特别是 MK-7 含量明显高于其它 2 种堆肥原料.这一结果在高温接触氧化反应过程中亦得到了证实^[23].但在温度较低时,同样是食物残渣堆肥却没有观察到 MK-7 成为优势醌类种的现象^[24].这说明堆肥原料和温度是影响堆肥反应过程中微生物变动的 2 个最重要的因素.泛醌类所对应的微生物类型主要为 α 、 β 及 γ -变形杆菌,其中 Q-9 还对应部分真菌,而 Q-10(H2)一般只与真菌相互对应^[25].泛醌类在堆肥过程中一般为降低的趋势,说明在不同原料堆肥中变形杆菌及真菌都不是高温堆肥过程的优势菌.添加蛭石的牛粪堆肥中泛醌的增加可能是由于蛭石为无机物,添加后有机物含量降低不利于杆菌的增殖而使变形杆菌及真菌有所增殖.牛粪堆肥后期各种长链甲基苯醌的增加揭示出不同的放线菌的增殖,而在食物残渣及污泥堆肥中,放线菌的增殖相对较小.这是由于堆肥后期有机物大部分被消耗,放线菌更易于在有机物含量低及相对干燥的环境中生长.放线菌具有分解纤维素的作用,朱能武发现在畜禽场废物堆肥中,纤维素酶始终处在较高水平^[26].因此可以推断堆肥后期出现的放线菌的增殖与纤维素的分解相关.

2.3 堆肥过程中微生物特性与有机物降解率间的关系

由于醌含量可以用来代表微生物量的多少,醌含量与有机物分解率的关系可以表示微生物的量与物质分解间的关系.图 5 显示在不同原料堆肥过程中有机物的降解率随堆肥中醌含量的增加而增大,即微生物的量越大,堆肥中有机物的降解率也越大.有机物的降解率是堆肥过程的一个重要指标,可以反映堆肥处理有机废弃物的效率.醌含量与有机物的降解率的正相关性表明醌含量可以作为表征堆肥中有机物降解的一个指标,在现场堆肥处理过程中应用.

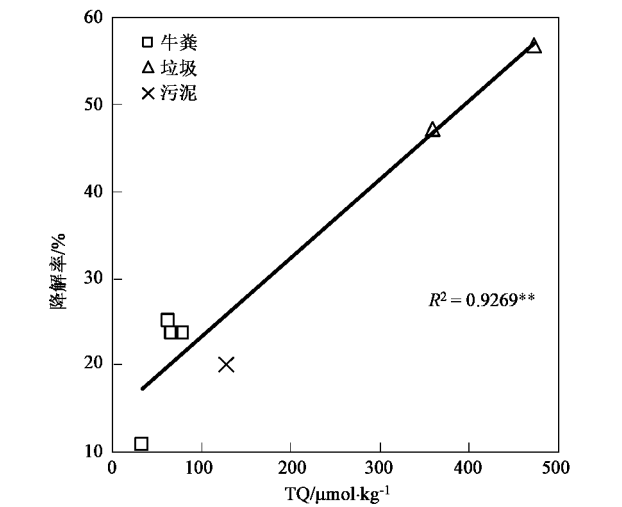


图 5 不同原料堆肥中醌含量与有机物降解率之间的关系
Fig.5 Relation between quinone content and organic decomposition rate during composting processes of different materials

2.4 不同堆肥过程的控制

针对不同原料堆肥的特点来加强对堆肥过程的控制以提高废弃物的处理效率,如控制温度、搅拌、通气、初始 pH 和水分含量及加水、添加其它物质等.对这些堆肥的控制手段要依据其原料的不同进行调整.如食物残渣堆肥由于其微生物增殖较快要消耗大量的氧,因而需要进行足够的搅拌和通风,对污泥和家畜粪便的堆肥可以设定较低的搅拌和通风.控制高温可以促进杆菌等革兰氏阳性菌的生长,杀灭和抑制有害菌的生长,因而温度控制是对不同原料堆肥普遍有效的措施.另外对食物残渣和污泥由于其氮含量相对较高,可以选择一些碳含量较高的有机物作为水分调整材料和添加物,如锯屑,植物秸秆等;对家畜粪便可选者添加一些有机物含量较高的废弃物,以促进堆肥的反应的活性.也可以将家

畜粪便与食物残渣和污泥等进行混堆,使几种废弃物同时得到处理.当然对堆肥的反应过程还有许多其它影响因素,在考虑不同原料的堆肥特性的同时,还要注意其他影响因素,才能对堆肥过程进行有效的控制.

3 结论

(1)不同原料堆肥过程在物理化学及微生物学特性上有很大不同.

(2)食物残渣废弃物堆肥过程有较大的微生物量和较高的有机物降解率,而污泥及牛粪堆肥过程的有机物降解率及微生物量较低.

(3)醌类图谱分析可以较好地反映堆肥过程中微生物特性的变化.

参考文献:

[1] 席北斗,刘鸿亮,黄国和,等. 复合微生物菌剂强化堆肥技术研究[J]. 环境污染与防治,2003,25(1):262 ~ 264.

[2] 席北斗,刘鸿亮,孟伟,等. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用[J].环境科学, 2001,22(5):122 ~ 126.

[3] 王岩,任广志,李玉红. 简便、快速、低成本处理畜禽粪便的方法研究[J]. 农村生态环境,2004, 20(2):46 ~ 49.

[4] 李吉进,郝晋珉,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.

[5] 董红敏,王秀芝,黄宏坤,等. 利用密闭箱式堆肥系统处理畜禽粪便研究[J]. 中国农学通报,2004,20(1): 159 ~ 161.

[6] 张雪英,周立祥,沈其荣,等. 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.

[7] Pedro M S, Haruta S, Nakamura K, *et al.* Isolation and characterization of predominant microorganisms during decomposition of waste materials in a field-scale composter [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2003,95: 368 ~ 373.

[8] Narihiro T, Takebayashi S, Hiraishi A. Activity and phylogenetic composition of proteolytic bacteria in mesophilic fed-batch garbage composting[J]. Microbes and Environments, 2004,19(4): 292 ~ 300.

[9] Manios T. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete[J]. Environment International, 2004,29(8):1079 ~ 1089.

[10] 傅以钢,王峰,何培松,等. DGGE 污泥堆肥工艺微生物种群结构分析[J]. 中国环境科学,2005,25(Z1): 98 ~ 101.

[11] 李竺,方萍,陈玲,等. 快速高效堆肥处理城市污泥微生物多样性研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005,33(5):149 ~ 153.

[12] 唐景春,Katayama A. 醌类图谱分析在环境微生物生态测定中的应用[J]. 应用与环境生物学报, 2004,10(4):530 ~ 536.

[13] Tang J C, Inoue Y, Yasuta T, *et al.* Characterization of the maturing process of cattle manure compost [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(2): 380 ~ 389.

[14] Tang J C, Katayama A. Relating quinone profile detection to aerobic biodegradation in thermophilic composting processes of cattle manure with different bulking agents[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2005,21(6-7): 1249 ~ 1254.

[15] Tang J C, Kanamori T, Inoue Y, *et al.* Changes in microbial community structure in thermophilic composting process of manure detected by quinone profile method [J]. Process Biochemistry, 2004,39(12): 1999 ~ 2006.

[16] Hiraishi A, Yamanaka Y, Narihiro T. Seasonal microbial community dynamics in a flowerpot-using personal composting system for disposal of household biowaste [J]. Journal of General and Applied Microbiology, 2000,46(3): 133 ~ 146.

[17] Fujie K, Hu H Y, Tanaka H, *et al.* Analysis of respiratory quinones in soil for characterization of microbiota[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1998,44(3): 393 ~ 404.

[18] Hu H Y, Fujie K, Nakagome H, *et al.* Quantitative analyses of the change in microbial diversity in a bioreactor for wastewater treatment based on respiratory quinones[J]. Water Research, 1999,33(15): 3263 ~ 3270.

[19] Hiraishi A, Morishima Y, Takeuchi J. Numerical-analysis of lipoquinone patterns in monitoring bacterial community dynamics in waste-water treatment systems[J]. Journal of General and Applied Microbiology, 1991,37(1): 57 ~ 70.

[20] Hiraishi A, Yamanaka Y, Narihiro T. Seasonal microbial community dynamics in a flowerpot-using personal composting system for disposal of household biowaste [J]. Journal of General and Applied Microbiology, 2000, 46: 133 ~ 46.

[21] Strom P F. Identification of thermophilic bacteria in solid-waste composting[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1985,50(4): 906 ~ 913.

[22] Cahyani V R, Matsuya K, Asakawa S, *et al.* Succession and phylogenetic composition of bacteria community responsible for the composting process rice straw estimated by PCR-DGGE analysis[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2003,49(4): 619 ~ 630.

[23] Kurisu F, Satoh H, Mino T, *et al.* Microbial community analysis of thermophilic contact oxidation process by using ribosomal RNA approaches and the quinone profile method[J]. Water Research, 2002,36(2): 429 ~ 438.

[24] Hiraishi A, Narihiro T, Yamanaka Y. Microbial community dynamics during start-up operation of flowerpot-using fed-batch reactors for composting of household biowaste[J]. Environmental Microbiology,2003,5(9): 765 ~ 776.

[25] Katayama A, Funasaka K, Fujie K. Changes in the respiratory quinone profile of a soil treated with pesticides[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001,33(6): 454 ~ 459.

[26] 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.