

木质纤维素分解复合菌剂强化牛粪堆肥工艺*

王顺利¹ 刘克锋² 李荣旗³ 王建中¹ 金珠理达⁴ 杨建山⁵

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 北京农学院城乡发展学院, 北京 102206;

3. 北京科润维德生物技术有限责任公司, 北京 100095; 4. 北京市延庆县旧县镇东羊坊村党支部, 北京 102109;

5. 美盛化肥(秦皇岛)有限公司, 秦皇岛 066000)

摘要: 为了解木质纤维素分解复合菌剂 CC-1 接种牛粪堆肥化的效果, 将堆料 C/N 比、初始含水率、通风量及菌剂接种量进行正交试验, 获得该菌剂应用的最佳工艺为堆料 C/N 比 28, 初始含水率 55%, 接种量 0.8% (体积分数), 每天通风 20 min (通气量为 $5.09 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$)。在该工艺下, 接种 CC-1 的处理堆肥周期缩短, 比接种 EM 和未接种对照提前 2 d 和 3 d 达到高温阶段 ($> 50^\circ\text{C}$), 提前 8 d 降温至 40°C 以下; 堆肥结束后, 接种 CC-1 处理的 pH 值为 7.9, GI 为 106.5%, 其全氮含量比接种 EM 和未接种对照高 19.33% 和 27.35%, 总养分高 7.91% 和 23.95%, 腐殖酸含量高 16.38% 和 47.53%; 堆肥 23 d 后, 接种 CC-1 的堆肥处理半纤维素分解率是接种 EM 和未接种对照的 1.2 倍和 1.8 倍, 纤维素分解率是接种 EM 和未接种对照的 1.8 倍和 2.1 倍。

关键词: 牛粪 好氧发酵 堆肥工艺 木质纤维素 接种剂

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0201-07

引言

好氧堆肥是实现畜禽粪便资源化利用的最主要手段^[1]。然而传统自然堆肥法由于堆肥初期有益微生物数量少, 繁殖速度慢, 因此发酵时间长, 易产生臭味, 堆肥效率低下。堆肥化过程中添加外源菌剂有利于畜禽粪便堆肥腐熟^[2-5]。但是当前市场上成熟的商品菌剂多为国外引进, 价格昂贵、种类不多。堆肥化接种这些外源菌剂, 在初期容易出现堆料中土著微生物与之激烈的竞争, 导致外源菌剂无法在堆料中快速定殖, 因此发挥的作用大打折扣。同时由于畜禽种类和饲养模式差异大, 畜禽粪便的成分异常复杂, 因此自主开发针对性高、在堆料中定殖速度快的微生物发酵菌剂成为我国当前以养殖小区为主的适度畜禽养殖规模中粪污治理和资源化的迫切需求。

针对延庆县牛粪大量堆积无法及时有效消纳, 造成当地环境污染严重, 更威胁到北京水源涵养地的生态安全现状, 前期研究从延庆奶牛养殖小区不同发酵状态的牛粪中分离、驯化获得了 3 株木质纤维素分解菌。本文以木质纤维素类分解菌组成的复

合菌剂为对象, 研究其应用于牛粪强化堆肥的快速发酵工艺和应用效果。

1 材料与方法

1.1 菌株培养

所用菌株为从延庆奶牛养殖小区的不同发酵状态牛粪堆肥中分离、驯化获得的木质纤维素分解菌: 白地霉 (*Geotrichum candidum*) BD1、蚀木链霉菌 (*Streptomyces thermocarboxydus*) SM 和枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) KC。彩绒革盖菌 (*Coriarius versicolor* Quel) C. v. 购自中国林业科学院森林生态环境与保护研究所。BD1 和 C. v. 采用改良的高氏一号培养基培养, SM 采用高氏一号培养基培养, KC 采用牛肉膏蛋白胨培养基培养。培养方法及培养基具体成分参照文献[3]。

1.2 牛粪接种菌剂强化堆肥工艺

1.2.1 堆肥原料及菌剂

供试牛粪: 购自北京市延庆县旧县镇聚八方奶业新鲜奶牛粪, C/N 比为 30.9, 全氮质量分数为 1.52%, 全磷质量分数为 1.41%, 全钾质量分数为 0.79%, 含水率为 72.30%。

收稿日期: 2013-05-09 修回日期: 2013-06-22

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD14B09)、北京市教育委员会科研计划资助项目(PXM2013_014207_000049、PXM2013_014207_000078)和北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR201007140)

作者简介: 王顺利, 博士后, 主要从事环境微生物与生物资源利用研究, E-mail: wangshunli80@163.com

通讯作者: 王建中, 教授, 博士生导师, 主要从事生物资源利用研究, E-mail: w62338221@163.com

供试辅料:玉米秸秆购自北京农学院教学试验场,粉碎后粒径小于3 cm,C/N比为41.8,全氮质量分数为1.25%,全磷质量分数为0.12%,全钾质量分数为0.80%,含水率为10.10%;鸡粪购自北京市延庆县旧县镇养鸡场,C/N比为14.3,全氮质量分数为2.93%,全磷质量分数为6.09%,全钾质量分数为2.58%,含水率为63.85%。

试验地点:北京农学院城乡发展学院有机肥发酵中试实验室。

微生物菌剂:自行研制的木质纤维素分解复合菌剂CC-1及市场上购买的常用菌剂EM。其中CC-1由BD1、SM、KC和C.v.按照一定的比例组成,有效活菌数(cfu)为12亿/mL。EM有效活菌数(cfu)为20亿/mL。

1.2.2 堆肥工艺

1.2.2.1 试验设计

(1)建立菌剂CC-1应用于牛粪堆肥的最佳工艺:将C/N比、物料初始含水率、通风量和菌剂接种量4个影响牛粪高温堆肥进程的影响因素进行正交设计(表1),参数参照文献[3]和[6]。其中C/N比和物料初始含水率通过调节辅料(粉碎的玉米秸秆和新鲜鸡粪)的添加量实现,菌剂为自制的复合菌剂CC-1,活菌数为12亿/mL。对堆肥温度、堆肥结束后养分含量、C/N比,感官效果等综合评分。

(2)菌剂CC-1的应用效果:在最佳工艺条件下堆肥,设置接种菌剂CC-1和EM的堆肥处理,并设置自然堆肥(不接种)作为对照。其中CC-1有效活菌数(cfu)为12亿/mL,EM有效活菌数(cfu)为20亿/mL。测定堆肥过程的温度、堆肥结束后的pH值、种子发芽指数(GI)、养分含量、腐殖酸含量、半纤维素、纤维素和木质素分解。

表1 正交堆肥试验设计

Tab.1 Orthogonal composting test

处理	物料初始 含水率/%	C/N 比	菌剂接种量 (体积分数)/%	通风时间/ (min·d ⁻¹)
1	65	32	0.5	10
2	65	28	0.8	20
3	65	26	1.0	30
4	60	32	0.8	30
5	60	28	1.0	10
6	60	26	0.5	20
7	55	32	1.0	20
8	55	28	0.5	30
9	55	26	0.8	10

注:通气采用的通风泵功率为1.63 m³/min。

1.2.2.2 堆肥过程

将试验前准备好的物料、辅料及菌剂按照表1

充分搅拌混合均匀,松散放入模拟发酵池^[3]。共9个处理,每个处理重复3次,随机排列。在通风泵的作用下实现强制通风静态好氧堆肥。由于发酵空间完全密封,为防止热量散失并保持连续性,在堆肥过程中不进行翻堆操作。试验过程温度由温度监测系统(北京航宇华盟科技有限公司)自动收集,数据间隔30 min,当温度下降至稳定后,即认为堆肥过程完成了强制通风好氧堆肥阶段。

1.2.3 试验方法

1.2.3.1 取样方法

于堆肥当天物料混匀完毕和堆肥结束后,用小土钻钻取堆体表层向下10~20 cm、30~40 cm和50~60 cm不同堆体深度处的样品,混匀后分为两份,一份在采样当天用于测定种子发芽指数(GI),另一份及时铺开风干,用于测定pH值、全碳、全氮、全磷和全钾含量。

半纤维素、纤维素和木质素含量测定所用样品取样方法同上,及时风干,测定前于80℃干燥24 h。取样时间为堆肥0、3、7、14和23 d。

1.2.3.2 指标测定方法

样品GI测定参照文献[7]。将混合均匀的新鲜堆料样品500 g,采用四分法取样200 g。称取50 g加250 mL蒸馏水混合搅拌30 min后,经3 000 r/min离心10 min,上清液即为堆肥浸提液。在直径9 cm铺有滤纸的无菌培养皿中,均匀放入20粒白菜(*Brassica campestris* L.)种子,吸取5 mL堆肥浸提液润湿滤纸,以蒸馏水作对照,每个处理3次重复,在25℃恒温培养箱中培养24 h,测定种子发芽率和根长,并计算种子发芽指数。

样品pH值采用雷磁PHS-3C型pH计(上海精密科学仪器有限公司)测定。称取风干试样5.00 g于100 mL烧杯中,加50 mL蒸馏水,搅动15 min,静置30 min,测定。

将风干样品粉碎,测定其全碳、全氮、全磷和全钾含量,测定方法NY525—2012^[8]。腐殖酸含量测定采用重铬酸钾氧化法^[9]。

半纤维素、纤维素和木质素含量,测定方法参照文献[10]。

1.2.4 堆肥效果评价方法

利用加权评分法来检验各处理的堆肥效果,见文献[3, 11]和表2。

2 结果与分析

2.1 堆肥工艺参数建立

2.1.1 堆肥过程温度变化

温度变化反映了堆体内微生物活性的变化,能

表 2 发酵效果评价标准

Tab. 2 Evaluation standards for composting effect

评价指标	评分标准
温度 (3分)	(1) 温度未上升至 50℃, 发酵不成功, 得 0 分。 (2) 升温速度快, 高温持续时间长, 进入二次发酵后温度较高、保温效果好, 得 3 分。 (3) 介于上述二者之间, 结合发酵升温速度或二次发酵的温度, 得 1 分或 2 分。
堆肥样品 C/N 比 (3分)	堆肥结束后各处理样品的 C/N 比按从大到小进行排序, 排序名次与 0.3 的乘积为该处理得分。
感官效果 (3分)	(1) 秸秆和牛粪仍然泾渭分明, 未腐熟, 堆体有严重恶臭, 得 0 分。 (2) 秸秆略有腐熟, 堆体有恶臭, 得 1 分。 (3) 秸秆大部分腐熟, 堆体异味较大, 得 2 分。 (4) 秸秆和牛粪已经完全混融, 堆体虽有异味, 但能接受, 得 3 分。
总养分含量 (1分)	堆肥结束各处理样品总养分含量按从小到大进行排序, 排序名次与 0.1 的乘积为该处理得分。

很好地反映堆肥过程所达到的状态^[7]。对各处理堆肥过程中温度变化情况进行分析(图 1)可知, 各堆体温度变化趋势一致, 都经历了升温阶段、高温阶段和降温阶段, 这与大多数的研究结果相符^[4, 12]。

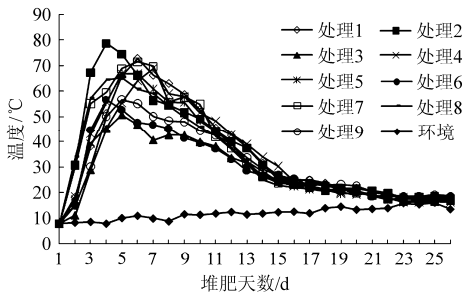


图 1 堆肥过程中温度随堆肥天数的变化曲线
Fig. 1 Changes of temperature during composting in orthogonal test

从升温速度来看(表 3), 处理 2、处理 7 和处理 8 较其他处理升温速度快, 在第 2 天即升到 55℃ 以上, 处理 3 和处理 4 在第 4 天升到了 50℃ 以上, 其他处理在第 3 天升到 50℃ 以上; 从高温持续时间来看, 除了处理 3、处理 6 和处理 9 在 50℃ 以上温度持续了 1~3 d 之外, 其他处理最高堆肥温度达到 50~55℃ 以上, 并持续了 5~8 d, 达到了我国粪便无害化卫生标准(GB 7959—1987)规定^[13]。

表 3 正交设计堆肥过程中的温度变化

Tab. 3 Changes of temperature during composting in orthogonal test

处理	达到 50℃	50℃ 以上	达到 55℃	持续 55℃	达到最高	达到最
	的天数	维持天数	以上天数	以上天数	温度天数	高温温度
	/d	/d	/d	/d	/d	/°C
1	3	7	4	5	5	72.7
2	2	7	2	5	3	78.6
3	4	1	0	0	4	50.7
4	4	6	4	5	6	68.9
5	3	6	3	6	2	66.7
6	3	2	3	1	4	56.6
7	2	8	2	7	3	68.7
8	2	6	2	5	4	65.3
9	3	3	4	2	3	56.6

2.1.2 堆肥养分含量及 C/N 比分析

于堆肥结束后对各处理取样并测定养分含量(表 4)可知, 各处理堆肥结束后的养分质量分数均在 4% 以上, 其中养分质量分数最高的为处理 5, 达 8.04%, 其次为处理 2 和处理 7, 总养分质量分数在 7.0% 以上, 处理 1 养分质量分数最低, 为 4.88%, 其余处理的养分质量分数介于 5.0%~7.0% 之间。对 C/N 比分析可知, 堆肥结束后, 堆料的 C/N 比都降低了, 除了处理 1 和处理 3 之外, 其他处理 C/N 比都达到 20 以下, 符合 Golueke 堆肥腐熟的标准^[14]。

表 4 堆肥后各处理养分含量

Tab. 4 Nutrient contents of composted cattle manure

处理	有机碳质量分数/%	全氮质量分数/%	全磷质量分数/%	全钾质量分数/%	总养分质量分数/%	C/N 比
1	39.54 ± 0.32	1.79 ± 0.05	1.82 ± 0.00	1.27 ± 0.01	4.88	22.09
2	38.32 ± 0.51	2.45 ± 0.03	2.98 ± 0.01	1.74 ± 0.05	7.17	15.64
3	44.43 ± 0.23	2.07 ± 0.01	2.35 ± 0.01	1.53 ± 0.02	5.95	21.46
4	40.39 ± 0.12	2.63 ± 0.06	1.48 ± 0	1.24 ± 0.01	5.35	15.36
5	43.12 ± 0.45	2.86 ± 0	3.45 ± 0.02	1.73 ± 0.09	8.04	15.08
6	42.85 ± 0.07	2.52 ± 0	2.52 ± 0.01	1.24 ± 0.05	6.28	17.00
7	36.31 ± 0.76	2.62 ± 0.04	1.99 ± 0	1.26 ± 0.04	3.88	13.86
8	38.65 ± 0.12	2.73 ± 0.03	2.82 ± 0	1.52 ± 0.03	7.07	14.16
9	42.83 ± 0.30	2.56 ± 0.03	2.51 ± 0	1.23 ± 0.03	6.30	16.73

2.1.3 发酵效果评价

根据表3堆肥效果评价指标及标准对每个处理进行加权评分(表5),可知:各处理发酵效果差异较大。综合评分介于2.0~8.3之间,其中处理2得分最高(8.3分),处理3得分最低(2.0分)。

经过正交因素分析,由表5中各因素极差可以看出,各因素对发酵效果影响由大到小依次为:堆肥初始C/N比、菌剂接种量、通风时间、物料含水率,所以在本研究试验条件下,应用CC-1菌剂用于牛粪高温堆肥处理时,最主要影响因素是物料初始C/N比,其次是菌剂接种量,通风时间和物料含水率影响相似,都比较小。通过比较各影响因素的不同水平的平均效果值可知,物料初始C/N比为28时效果最好,C/N比为32时次之,C/N比为26时效果最差;菌剂接种量0.8%时效果较好,接种量1.0%效果与之相当,接种量0.5%时效果较差;通风时间20 min最佳,通风时间10 min与30 min效果比较差;物料初始含水率为55%最为合适,由此得出在本试验条件下,CC-1应用于牛粪堆肥工艺最佳环境参数是:物料初始含水率为55%,C/N比为28,菌剂接种量为0.8%,每天通风时间20 min(通气量为 $5.09 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$)。

表5 正交堆肥试验发酵效果评价

Tab.5 Results of orthogonal composting test

处理	物料初始 含水率/%	C/N 比	菌剂接种量 (体积比)/%	通风时间/ ($\text{min}\cdot\text{d}^{-1}$)	综合 得分
1	65	32	0.5	10	3.4
2	65	28	0.8	20	8.3
3	65	26	1.0	30	2.0
4	60	32	0.8	30	6.0
5	60	28	1.0	10	8.0
6	60	26	0.5	20	2.4
7	55	32	1.0	20	7.0
8	55	28	0.5	30	7.1
9	55	26	0.8	10	2.8
均值1	4.567 0	5.467 0	4.300 0	4.733 0	
均值2	5.467 0	7.800 0	5.700 0	5.900 0	
均值3	5.633 0	2.400 0	5.667 0	5.033 0	
极差	1.066 0	5.400 0	1.400 0	1.167 0	

2.2 菌剂CC-1应用效果

2.2.1 堆肥温度变化

通过对比接种菌剂CC-1、EM和不接菌对照各处理的堆肥过程中温度变化(图2)可知,堆肥开始后,各处理温度变化模式一致,均经历了升温阶段、高温阶段和降温阶段。由表6可知,在升温阶段,接种CC-1的处理升温速度最快,在堆肥第1天即升温到 50°C 以上,比接种EM菌剂和未接菌剂处理提

前2~3 d;在高温阶段,接种EM菌剂的处理高温持续期最长,达到13 d,比其他2个处理多3 d;在降温阶段,接种CC-1菌剂的处理降温速度明显快于其他两个处理,在17 d即下降到 40°C 以下,到25 d下降至 30°C 左右,而此时接种EM菌剂的处理,温度刚刚下降到 40°C 左右,未接菌处理的温度保持在 43°C 左右。

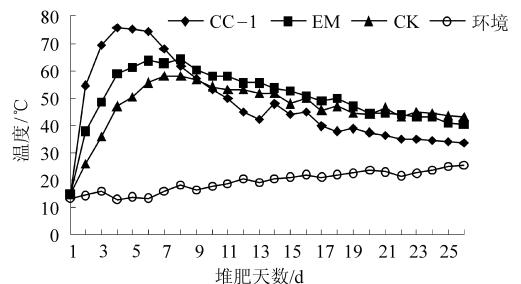


图2 不同菌剂堆肥温度随堆肥天数变化曲线

Fig.2 Changes of temperature during composting with different inoculums

表6 堆肥过程中的温度变化

Tab.6 Changes of temperature during composting

处理	达到 50°C 的天数 /d	50°C 以上 维持天数 /d	达到 55°C 以上的 天数/d	持续 55°C 以上天数 /d	达到最 高温度 天数/d	达到 最高 温/ $^\circ\text{C}$
CC-1	1	10	4	8	4	75.5
EM	3	13	3	10	6	63.6
CK	4	10	5	4	6	58.0

2.2.2 养分含量、C/N比和腐殖酸

从表7可知,接种CC-1的堆肥处理其全氮质量分数和总养分质量分数最高,说明堆肥过程养分损失较少。从C/N比来看,所有处理都低于20,符合Golueke堆肥腐熟的标准^[14],其中CC-1最低为14.3,这可能是由于接种CC-1的处理比另外2个处理的含碳有机物分解比率较高,而氮素损失较少造成的。

腐殖酸是动植物残体经过微生物分解后合成的产物,是土壤有机胶体的重要组成部分,具有较复杂而稳定的化学结构,能与土壤中金属离子和粘土矿物质形成有机无机复合物,对土壤结构和养分的保蓄等方面起到良好作用。本研究测定3个处理堆肥结束后的样品腐殖酸含量(表7),可以看出接种CC-1的堆肥处理腐殖酸含量最高,达到了27.50%;接种EM的堆肥处理腐殖酸含量次之,为23.63%;而未接菌堆肥处理腐殖酸含量最低,为18.64%。

2.2.3 pH值和GI

pH值是微生物生长的重要条件,堆肥pH值是中性或弱碱性时最适于微生物^[15]。由表7可知,接种CC-1和EM菌剂的处理,堆肥结束后的pH值

分别为 7.9 和 8.2,属于弱碱性,未接菌对照的 pH 值比较高为 8.9。本试验中接种 CC-1 菌剂和 EM 菌剂的处理符合我国农业行业标准中有机肥料酸碱度为 5.5~8.5^[8]的规定。

种子发芽指数(GI)是极重要的一个堆肥腐熟度指标,考虑到堆肥腐熟度的实用意义,植物生长试验应是评价堆肥腐熟度的最终和最具说服力的

方法^[16]。GI 不仅考虑了种子的发芽率,还考虑了植物毒性物质对种子生根的影响。当发芽指数达到 80%时,可认为堆肥已没有植物毒性或者说堆肥已经腐熟^[17]。本研究(表 7)中 3 个处理的 GI 都大于 90%,说明 3 个处理堆肥都已腐熟,其中接种 CC-1 的堆肥处理 GI 大于 100%,还促进了种子发芽。

表 7 堆肥产物化学指标

Tab. 7 Chemical characters of composted cattle manure

处理	有机碳质量 分数/%	全氮质量 分数/%	全磷质量 分数/%	全钾质量 分数/%	腐殖酸质量 分数/%	总养分质 量分数/%	C/N 比	pH 值	GI /%
CC-1	40.52 ± 0.23	2.84 ± 0.03	2.58 ± 0.02	1.67 ± 0.01	27.50 ± 0.12	7.09	14.3	7.9	106.5
EM	38.32 ± 0.09	2.38 ± 0.01	2.67 ± 0	1.52 ± 0.03	23.63 ± 0.10	6.57	16.1	8.2	94.7
CK	42.45 ± 0.17	2.23 ± 0.04	2.26 ± 0.08	1.23 ± 0.03	18.64 ± 0.05	5.72	19.0	8.9	90.6

2.2.4 堆肥过程半纤维素、纤维素和木质素含量

堆肥开始后,堆料的半纤维素持续分解(图 3a),尤其在前 14 d,半纤维素分解速度最快,期间的分解量达到整个堆肥过程总分解量的 80%以上。由此说明半纤维素是相对容易分解的物质,主要在堆肥的高温期分解。接种菌剂 CC-1 的堆肥处理半纤维素质量分数在堆肥第 3 天,即由 23.52% 下降至 20.12%,分解率为 14.46%,占整个堆肥过程总分解量 33.80%;接种菌剂 EM 和未接菌的堆肥处理半纤维素质量分数在第 3 天分解率分别为 2.07% 和 0.1%;在第 7 天,分解率达到 20.32% 和 14.86%,占到总分解量的 60% 左右;堆肥至 23 d 时,接种菌剂 CC-1 堆肥处理半纤维素分解率为 42.77%,分别是接种 EM 和未接菌对照的 1.2 倍和

1.8 倍。这说明添加 CC-1 菌剂和 EM 菌剂有利于堆肥过程中半纤维素分解,其中木质纤维素分解复合菌剂 CC-1 发挥的作用更大。

纤维素含量在堆肥过程中持续下降(图 3b),在堆肥第 7 天,接种菌剂 CC-1 和 EM 的堆肥处理纤维素降解率为 19.32% 和 7.06%,占到总分解量的 46.10% 和 31.16%,与半纤维素分解速度相比较慢,说明纤维素比半纤维素较难分解。在堆肥前 14 d(升温期和高温期),接菌和不接菌的堆肥处理纤维素分解量占到总分解量的 60% 以上,其余 40% 在降温期完成(图 3c)。至堆肥第 23 天,接种菌剂 CC-1 纤维素分解率为接种 EM 和不接菌处理的 1.8 倍和 2.1 倍。

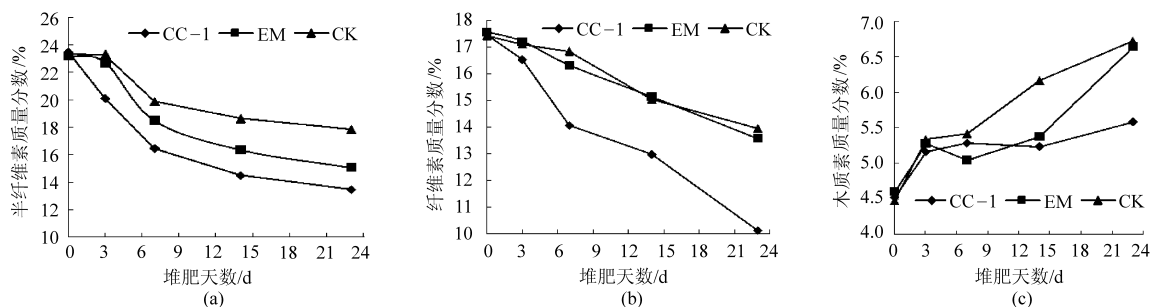


图 3 各处理堆肥半纤维素、纤维素和木质素质量分数随堆肥时间的变化曲线

Fig. 3 Changes of concentration of hemicellulose, cellulose and lignin in different treatments during composting

木质素与半纤维素和纤维素相比,更难分解。从图 3c 可以看出,堆肥过程中木质素分解率很低,导致在堆肥结束后,3 个处理的木质素含量没有降低,反而升高。这可能是由于随着堆肥化的进行,堆料由于水气蒸发、物质分解产生气体挥发等造成堆料总量损失,导致堆肥中木质素相对含量增加了。从木质素相对含量的上升幅度来看,接种菌剂 CC-1 的堆肥处理木质素相对含量增加幅度较小。这可能

说明,接种菌剂 CC-1 与其他 2 个堆肥处理相比,促进了木质素的分解。

3 结论

(1) 本研究所用菌剂 CC-1 主要菌株成分来源于不同发酵阶段的牛粪,经过驯化配比后又应用于牛粪堆肥过程,保证了菌剂的分离环境与目标应用环境的相似性,提高了菌剂的有效性,解决了通常情

况下堆肥添加外源菌剂无法与堆料中土著微生物竞争,导致在堆料中难于快速定殖的困难,因此添加木质纤维素分解菌 CC-1 促进了牛粪堆肥快速腐熟,不仅升温速度快、高温持续期温度高,而且腐熟速度快,养分损失比较少。

(2)堆肥物料中木质纤维素类物质分解是影响好氧堆肥进程的一个重要制约因素,而微生物是加

速木质纤维素类物质分解的关键。本研究中木质纤维素分解菌 CC-1 接种量为 0.8%,物料初始含水率为 55%,C/N 比为 28,每天通风时间 20 min(通气量为 $5.09 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$)时,木质纤维素类物质分解速度快,分解率高;能促进牛粪堆肥腐熟的进程,提高堆肥效率。

参 考 文 献

- 1 李亚红,曹林奎. 畜禽粪便好氧堆肥研究进展[J]. 农业科技通讯, 2002(12): 23-24.
- 2 李文哲,徐名汉,李晶宇. 畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 135-142.
Li Wenzhe, Xu Minghan, Li Jingyu. Prospect of resource utilization of animal faeces wastes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 135-142. (in Chinese)
- 3 金珠理达,王顺利,邹荣松,等. 猪粪堆肥快速发酵菌剂及工艺控制参数初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 586-591.
Jin Zhulida, Wang Shunli, Zou Rongsong, et al. Microbial agents and the optimum control parameters for pig manure composting [J]. Journal of Agro-environment Science, 2010, 29(3): 586-591. (in Chinese)
- 4 席北斗,党秋玲,魏自民,等. 生活垃圾微生物强化堆肥对放线菌群落的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊1): 227-232.
Xi Beidou, Dang Qiuling, Wei Zimin, et al. Effects of microbial inoculants on actinomycetes communities diversity during municipal solid waste composting [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp. 1): 227-232. (in Chinese)
- 5 鄢海印,刘可星,毛敬麟,等. 接种方式对堆肥过程中功能菌定殖的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10): 2039-2045.
An Haiyin, Liu Kexing, Mao Jinglin, et al. Effects of different inoculation methods on the colonization of functional microorganisms during composting [J]. Journal of Agro-environment Science, 2012, 31(10): 2039-2045. (in Chinese)
- 6 李季,彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- 7 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(增刊2): 220-223.
Wang Yan, Li Yuhong, Li Qingfei. Effect of inoculation microbes on cattle manure composting with high temperature [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp. 2): 220-223. (in Chinese)
- 8 NY525—2012 有机肥料[S]. 2012.
- 9 DB51/T 842—2008 肥料中腐植酸含量的测定——重铬酸钾[S]. 2008.
- 10 Watanabe A, Katoh K, Kimura M. Effect of rice straw application on CH_4 emission from paddy field[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1993, 39(4): 707-712.
- 11 邹荣松. 高效耗氧猪粪堆肥菌剂的研制及其初步应用[D]. 北京:北京林业大学, 2008.
Zou Rongsong. A study and application on efficient microorganism inoculant for oxygen consumption swine manure compost [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008. (in Chinese)
- 12 张晓倩,许修宏,王晶,等. 添加木质素降解菌对堆肥中酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4): 843-847.
Zhang Xiaoqian, Xu Xiuhong, Wang Jing, et al. Effect of inoculating lignin degradation strains on enzymic activities in composting [J]. Journal of Agro-environment Science, 2012, 31(4): 843-847. (in Chinese)
- 13 GB 7959—1987 粪便无害化卫生标准[S]. 1987.
- 14 Golueke C G. Principles of biological resource recovery[J]. Biocycle, 1981, 22: 36-40.
- 15 He T J, Logan X T, Traine S J. Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts [J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24(3): 543-552.
- 16 Tiquia S M, Tan N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. Bioresource Technology, 1998, 65(1-2): 4-49.
- 17 Zucconi F, Pera A, Forte M, et al. Evaluating toxicity of immature compost [J]. Biocycle, 1981, 22(2): 54-57.
- 18 冯冲凌. 黄孢原毛平革菌及其在堆肥中对木质素生物降解特性的影响研究 [D]. 长沙:湖南大学, 2007.
Feng Chongling. Phanerochaete chrysosporium and its influence of lignin biodegradation in composting [D]. Changsha: Hunan University, 2007. (in Chinese)

Enhanced Technology of Cattle Manure Compost by Microbial Inoculum with High Lignocellulose Degradation Ability

Wang Shunli¹ Liu Kefeng² Li Rongqi³ Wang Jianzhong¹ Jin Zhulida⁴ Yang Jianshan⁵

(1. College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. College of Urban and Rural Development, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China

3. Beijing Created Biotechnology Co., Ltd., Beijing 100095, China

4. Dongyangfang Villag of Jiuxian Town, Yanqing County, Beijing 102109, China

5. Mosaic Fertilizers (Qinhuangdao) Co., Ltd., Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: Effect of independently developed microbial inoculum on cattle manure enhanced composting was studied, which was named CC-1 with high lignocellulose degradation ability. CC-1 was a mixture with *Geotrichum candidum*-BD1, *Streptomyces thermocarboxydus*-SM, *Bacillus subtilis*-KC and *Corioliolus versicolor*, in which the first three kinds of microbial were selected from cattle manure in Beijing areas. The orthogonal composting test was conducted in simulated fermentation tanks to study the effects of different parameters such as C/N ratio(26, 28, 32), initial water content(55%, 60%, 65%), aeration rate (10 min, 20 min, 30 min ventilation every day, with 1.63 m³/min ventilation pump power), and inoculation amount of microbial agents on cattle manure composting. And composting effect was evaluated from temperature changes, C/N, sensory effect (including material particle size and stench) and total nutrients contents. The results showed that the optimum control parameters were as follows: C/N was 28, water content of compost materials was 55%, microbial inoculation amount was 0.8% (volume ratio) and 20 minutes ventilation every day (ventilation volume was 5.09 m³/(min·m³

Key words: Cattle mature Aerobic fermentation Compost technology Inoculum Lignocellulose