

两种微生物菌剂对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响

竹江良¹, 刘晓琳¹, 李少明², 优培¹, 高文林¹, 汤利¹

(1.云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 2.云南农业大学农科实验中心, 昆明 650201)

摘要:以烟草废弃物为主要原料, 添加合适比例猪粪进行高温堆肥试验, 研究了烟草废弃物堆肥体系中加入两种微生物菌剂(NNY、FB)后的温度、总氮(T-N)、 NH_4^+-N 、C/N、种子发芽指数(GI)的动态变化及其对烟草废弃物堆肥产品品质的影响。结果表明, 添加微生物菌剂缩短了烟草废弃物堆肥达到高温的时间, 延长了高温分解持续时间, 增加全氮含量, 加快物料 NH_4^+-N 和C/N比的降低速率, 提高种子发芽指数(GI), 加快了烟草废弃物堆肥腐熟化进程。纯烟草废弃物单独堆肥, 最高温度为43℃, GI最高为78.4%。添加微生物菌剂NNY、FB的堆肥处理都在堆肥2 d后进入高温分解阶段(>50℃), 高温持续时间分别为15、12 d, 较仅添加合适猪粪比例处理进入高温分解阶段时间提前2 d, 高温持续时间分别延长5、2 d。至堆肥11 d, 添加微生物菌剂NNY和FB的堆肥处理种子发芽指数较纯烟草废弃物处理分别增加了185.5%和117.7%, 较仅添加合适比例猪粪处理分别增加了41.4%和7.6%。添加NNY、FB微生物菌剂的处理可以显著增加烟草废弃物堆肥产品的N、P、K养分含量, 降低堆肥容重, 提高堆肥总孔隙度和持水孔隙度, 改善了堆肥产品的品质。两种微生物菌剂中以NNY微生物菌剂对烟草废弃物高温腐熟效果较优。

关键词: 微生物菌剂 烟草废弃物 堆肥 腐熟进程

中图分类号: X172 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)01-0194-06

Effect of Two Microbial Agents on Tobacco Fine Waste High-Temperature Compost Maturity

ZHU Jiang-liang¹, LIU Xiao-lin¹, LI Shao-ming², YOU Pei¹, GAO Wen-lin¹, TANG Li¹

(1.College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2.Laboratory Centers of Agriculture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: High temperature composting experiments were conducted using mixtures of tobacco fine waste and swine waste to study the effects of two microbial agents, NNY and FB, on composting process and maturity. The dynamical changes of temperature, the contents of total-nitrogen(N) and ammonium(NH_4^+-N), carbon(C)/N ratio, seed germination index(GI) in the composting process and the compost qualities of the different composting treatments with and without microbial agents were measured. The results showed that, adding microbial agents NNY and FB in tobacco fine waste compost shortened the time of reaching high temperature(>50℃) and extended the high temperature sustaining time; increased the content of total-N, promoted the reduction rate of C/N ratio and NH_4^+-N , increased the GI, accelerated the composting process and maturity. In the control treatment of tobacco fine waste composting without microbial agent, the highest temperature and GI were 43℃ and 78.4%, respectively. In the composting treatments with microbial agents NNY and FB, the time of reaching high temperature (>50℃) were 2 days and the duration of high temperature decomposing were 15 days and 12 days, respectively. Compared with the tobacco fine waste composting treatment with same ratio of swine waste, the time of reach high temperature in the treatments of microbial agents shortened by 2 days and the sustaining time of high temperature extended by 5 days and 2 days, respectively. After 11 days, the GI of the NNY and FB treatments was 185% and 117.7% higher than that of the tobacco fine waste treatment; and 41.4% and 7.6% higher than that of the tobacco fine waste compost treatment with the same ratio of swine waste, respectively. At the maturity, it was found that the composting treatments with microbial agents NNY and FB, had higher contents of total-N, total-P and total-K, higher total porosity and water-holding porosity and lower the bulk density, compared with the tobacco fine waste treatment and the tobacco fine waste compost treatment with the same ratio of swine waste, improved the compost quality significantly. The accelerating effect of NNY on tobacco fine waste composting process was better than that of FB.

Keywords: microbial agents tobacco fine waste compost maturity

收稿日期: 2009-06-15

基金项目: 948项目(2006-G62)

作者简介: 竹江良(1983—), 男, 浙江绍兴人, 硕士研究生, 主要从事农业有机废弃物肥料化利用的研究。

通讯作者: 汤利 E-mail: ltang@ynau.edu.cn

我国是世界上烟草栽培与产量最多的国家,每年烟叶产量 450~500 万 t,其中约有近 25% 的烟叶、烟草废弃物等下脚料被废弃,不能用于卷烟生产^[1]。云南作为全国著名的烟草大省,2007 年,烟草种植面积 40 万 hm^2 左右,烟叶产量达 76.7 万 t^[2],每年烤烟产量中有 30%~35% 属于无法进行卷烟加工的低等或等外级烟叶未能得到合理利用,各卷烟企业也积存有大量的烟草废弃物,还有大量的上部烟叶、烟花和秸秆等烟草废弃物,烟草废弃物的数量约 60 万 t^[3]。废弃烟叶及其下脚料是卷烟生产的大宗副产品,富含各种具有生产应用价值的生物有机成分和次生代谢产物,同时含有大量的氮、磷、钾及微量元素等养分,具有很高的利用价值。目前的利用方式主要有烟碱农药生产^[4]、辅酶 Q10 等药物生产^[5]、烟草蛋白质提取^[1]、饲料的添加剂^[5]、烟草废弃物的肥料化利用^[6]等,但尚有大量的烟草废弃物未得到很好的利用。

高附加值的农业废弃物的肥料化利用,特别是高附加值的生物有机肥及有机无机复合肥的开发研制,不但能解决环境污染问题,而且可以为农业生产提供大量的有机肥料,是减少农业面源污染、节约资源、发展可持续农业和循环经济的重要途径^[7]。在农业废弃物高附加值肥料化利用过程中,加快升温速度、缩短堆腐时间是有机肥生产经济效益的关键,而接种菌剂是加快堆肥升温、促进发酵腐熟过程的措施^[8-9]。李少明等^[6]研究了微生物腐熟剂(福贝、榕风、定制)对纯废烟末堆肥进程的影响。本文结合云南烟草生产实际,以烟草废弃物为基本原料,在添加合适比例猪粪的基础上^[10],研究探讨了不同微生物菌剂(NNY、FB)对烟草废弃物堆肥腐熟进程的影响,以期加快烟草废弃物的腐熟进程和提高资源再利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在云南农业大学植物营养系温室中进行,以烟草废弃物和猪粪作为堆肥的基本原料,烟草废弃物与猪粪的比例为 8:2(以湿重计)^[10],两种微生物菌剂 NNY 和 FB,分别由南京农业大学资源与环境学院和云南丰禾生态发展有限公司提供,NNY 微生物菌剂有效活菌数 ≥ 30 亿 $\cdot \text{g}^{-1}$,FB 微生物菌剂有效活菌数 ≥ 1 亿 $\cdot \text{g}^{-1}$,烟草废弃物由昆明铠泰纳工贸有限责任公司提供,堆肥原料的主要理化性状见表 1。

表 1 主要堆肥原料的基本理化性状

Table 1 The basic physical and chemical properties of the composting material

原料种类	pH	水分/%	总碳/%	总氮/%	C/N 比
烟草废弃物	7.2	8.6	28.7	0.8	35.9
猪粪	6.5	59.9	30.5	2.3	13.3

1.2 试验设计

每处理以烟草废弃物、猪粪为基本堆肥材料,总重量为 100 kg。在堆肥发酵前,调节含水量至 60% 左右,调节 pH 值至 6.5 左右。根据各菌剂的用量说明和要求,NNY、FB 分别按菌料比(质量比)1:2 000 和 1:100 添加。每个堆肥处理搅拌均匀混合后,分别堆成高约 1 m 的金字塔形,覆盖农膜以便保温。堆肥开始第 1 周每 3 d 翻堆 1 次,之后每 5 d 翻堆 1 次,直至堆肥腐熟。堆肥试验处理见表 2。

表 2 烟草废弃物堆肥试验设计

Table 2 The experiment design of the tobacco fine composting

处理	物料	C/N 比
1	烟草废弃物	约 36
2	烟草废弃物+猪粪	约 26
3	烟草废弃物+猪粪+NNY	约 26
4	烟草废弃物+猪粪+FB	约 26

1.3 采样及测定

1.3.1 采样方法

分别于堆肥第 0、3、6、11、16、21、26、31 d 采样。在翻堆充分、搅拌均匀后,按五点采样法,每处理每次采集 6 个混合样,其中 3 个混合样品风干测定全量,3 个混合样品作为鲜样保存于 4 $^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中用于测定水溶性指标。

1.3.2 测定项目及方法

在各处理 50 cm 深处分 3 个不同方向各插入 1 支温度计,每日 19:00 测 1 次温度。全氮、全磷、全钾、有机质含量按 NY525—2002 所述方法进行测定。容重和孔隙度按常规方法测定。新鲜样品用去离子水按土水比 1:10(以干质量计)浸提 1 h 后,取 50 mL 滤液以 4 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min,过滤,滤液测定 pH、EC、 NH_4^+-N 、 NH_3-N 采用靛酚蓝比色法测定^[11]。种子发芽指数(GI)测定^[12]:培养皿内垫一张滤纸均匀放入 20 粒矮抗青青菜籽,加入浸提滤液 5.0 mL(固液比 1:5 浸提),在 25 $^{\circ}\text{C}$ 黑暗的培养箱中培养 48 h 后计算发芽率并测定根长。同时以去离子水做空白试验。

2 结果与分析

2.1 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥温度的影响

在本试验中,堆体温度变化如表3,表明在烟草废弃物高温堆肥进程中,在加入合适比例猪粪的基础上添加微生物菌剂,能够进一步加快堆肥发酵速度,缩短发酵堆肥时间。

除纯烟草废弃物处理1,最高温度为43℃未进入高温分解阶段外,其他堆肥处理都在1~4 d进入高温分解阶段,高温持续时间在10~15 d之间,满足堆肥腐熟要求^[13]。添加微生物菌剂处理3、4与添加猪粪处理2相比,达到50℃所需时间都缩短了2 d,高温持续时间分别增加了5、2 d,达到环境温度的天数都分别缩短了2、1 d。在添加微生物菌剂处理中,综合温度各项指标,添加NNY微生物菌剂的处理3效果较优。

表3 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中温度的影响

Table 3 Effects of microbial agents on temperature in tobacco fine waste composting

处理	堆肥达到 50℃ 所需时间/d	>50℃持续的 时间/d	达环境温度 的时间/d	最高温度/℃
1	—	—	28±1	43±0.5
2	4	10±1	25±1	60±1
3	2	15±1	23±1	60±1
4	2	12±1	24±1	56±1

2.2 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中总氮含量的影响

堆肥过程中总氮的动态变化如图1所示,表明添加猪粪和微生物菌剂显著提高了堆肥腐熟进程中的总氮含量。堆肥各处理总氮总体呈现增加趋势,堆肥6 d以后总氮增加迅速,后又下降或趋于平稳的过程;至11 d时,添加NNY、FB微生物菌剂处理的堆肥总氮含量升至最高,较添加纯猪粪处理分别增加了11.7%、24.3%。堆肥结束后各处理总氮含量分别为1.02%、1.13%、1.25%、1.26%,添加纯猪粪处理2较纯烟草废弃物处理1,总氮含量增加了10.8%,添加微生物菌剂处理(3、4)总氮含量显著高于添加猪粪处理2,分别增加10.6%、11.5%,而添加微生物菌剂处理3、4间差异不显著。

2.3 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中 NH_4^+-N 含量的影响

NH_4^+-N 的缺失及减少是腐熟堆肥的标志^[14]。图2

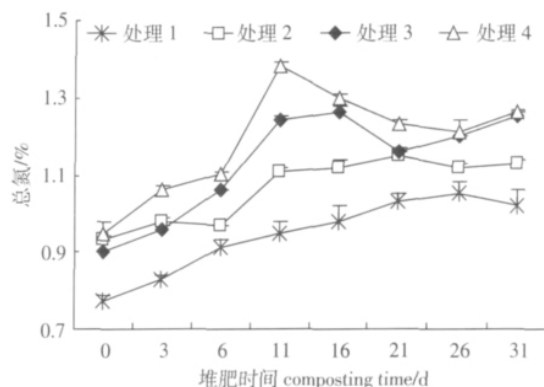


图1 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中总氮含量的影响

Figure 1 Effects of microbial agents on change of T-N content in tobacco fine waste composting

表明,添加猪粪和微生物菌剂可以显著促进堆肥进程中 NH_4^+-N 的上升与下降。处理2、3、4在堆肥6 d时 NH_4^+-N 含量均升至最高,而纯烟草废弃物处理1至堆肥16 d升至最高。堆肥6 d各处理 NH_4^+-N 含量分别达695.3、1 233.8、1 298.3、1 436.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,添加微生物菌剂和猪粪显著加快 NH_4^+-N 含量的上升。添加纯猪粪处理2较纯烟草废弃物处理1, NH_4^+-N 含量提高了77.5%,添加NNY与FB微生物菌剂处理3、4较添加纯猪粪处理2, NH_4^+-N 含量分别提高了5.2%和16.4%,添加FB微生物菌剂处理4显著高于NNY处理3。

添加猪粪和微生物菌剂可以显著促进 NH_4^+-N 含量的下降。至堆肥16 d,各处理 NH_4^+-N 含量分别为1 031.2、645.1、449.6、348.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,添加纯猪粪处理2与纯烟草废弃物处理1相比,降低了37.4%,添加微生物菌剂处理3、4与添加猪粪处理2相比, NH_4^+-N 含量分别降低了30.3%、45.9%,其中降低速率最快的

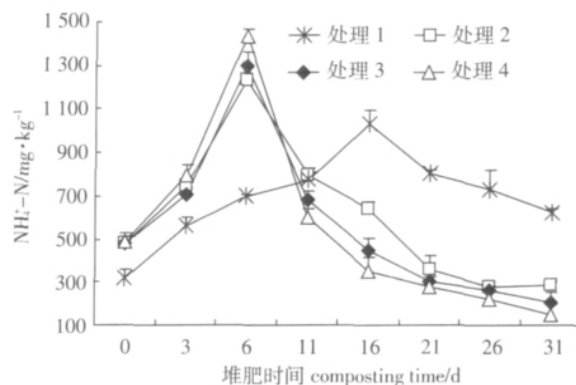


图2 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中 NH_4^+-N 含量的影响

Figure 2 Effects of microbial agents on NH_4^+-N content in tobacco fine waste composting

为添加FB处理4,已达堆肥腐熟标准^[14]。至堆肥21 d,处理2、3、4均达堆肥腐熟标准^[14], NH_4^+-N 含量分别为355.7、300.2、274.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而纯烟草废弃物处理1至堆肥结束 NH_4^+-N 含量仍为624.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.4 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中C/N比的影响

C/N比是堆肥腐熟度的重要指标,堆肥产品C/N降为(15~20):1时,可以认为堆肥腐熟^[15]。由图3可知,添加猪粪与微生物菌剂可以显著加快堆肥进程中C/N的降低。

至堆肥11 d,添加纯猪粪处理2较纯烟草废弃物处理1,C/N降低了35.1%;添加微生物菌剂处理3、4较添加纯猪粪处理2,C/N分别降低了0.7%、8.9%,其中以添加FB微生物菌剂处理4下降速率最快,堆肥11 d时C/N即降到18.8,对C/N下降的促进效果较优,已达腐熟标准,而添加NNY微生物菌剂处理3至堆肥16 d降到20以下。添加微生物菌剂处理效果均优于添加纯猪粪处理的21 d满足腐熟标准。堆肥腐熟后各处理C/N分别为21.4、18.2、16.5、17.9。除纯烟草废弃物处理外,添加猪粪和微生物菌剂处理都满足堆肥腐熟要求,其中以添加FB微生物菌剂处理效果较优。

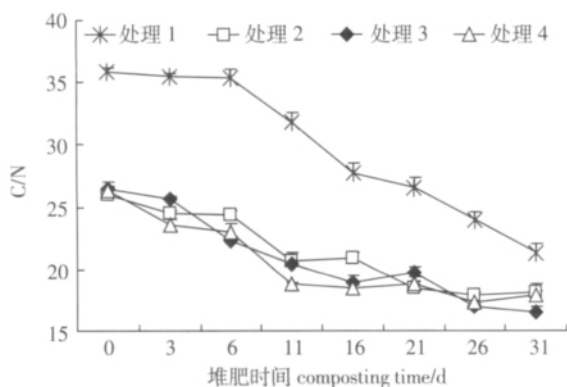


图3 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中C/N比的影响
Figure 3 Effects of microbial agents on C/N ratio in tobacco fine waste composting

2.5 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥种子发芽指数(GI)的影响

用生物学方法测定堆肥的植物毒性是检验堆肥腐熟度的有效方法。种子发芽指数(GI)是评价堆肥无害化、稳定化程度的重要指标^[16]。

图4可知,添加猪粪与微生物菌剂显著加快堆肥过程中种子发芽指数的提高。至堆肥11 d,各处理种子发芽指数(GI)分别达28.8%、58.2%、82.1%、62.6%,添加纯猪粪处理2较纯烟草废弃物处理1,提高了102.3%;添加微生物菌剂处理3、4较添加纯猪粪处理

2,分别提高了41.4%、7.6%,其中以添加NNY微生物菌剂处理3的种子发芽指数上升速度最快,已达堆肥腐熟标准^[16]。至堆肥21 d,各处理种子发芽指数(GI)分别为66.1%、71.6%、89.7%、81.6%,添加FB的处理也达到腐熟标准^[16],添加微生物菌剂处理3、4较纯猪粪处理2,种子发芽指数分别提高了25.2%、13.9%。至堆肥26 d,添加纯猪粪处理2种子发芽指数达84.1%,满足腐熟要求^[16],而纯烟草废弃物处理1至堆肥结束,仍未满足堆肥腐熟要求^[16]。微生物菌剂NNY对烟草废弃物堆肥种子发芽指数的促进效果较优。

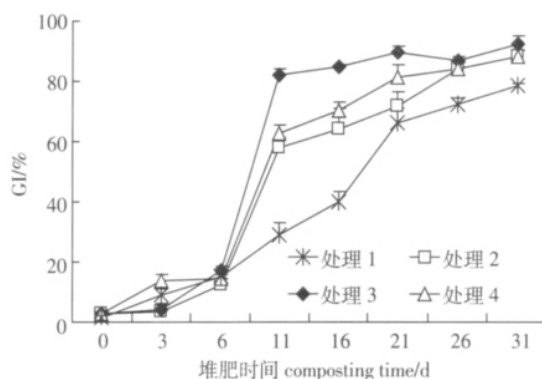


图4 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥进程中种子发芽指数的影响
Figure 4 Effects of microbial agents on GI in tobacco fine waste composting

2.6 微生物菌剂对烟草废弃物堆肥产品品质的影响

由表4可以看出,添加猪粪和微生物菌剂显著提高了堆肥产品品质。添加微生物菌剂处理3、4的堆肥产品中全氮、全磷、全钾含量显著高于添加纯猪粪处理2。添加纯猪粪处理2相比处理1,全氮增加了11.2%,全磷增加了72.9%,全钾增加了4.7%;添加微生物菌剂处理3、4相比添加纯猪粪处理2,全氮分别增加了5.0%、3.4%,全磷分别增加了2.9%、4.9%,全钾分别增加了2.5%、5.2%。

加入猪粪和微生物菌剂有降低烟草废弃物堆肥容重的趋势,显著增加了腐熟后堆肥的总孔隙度和持水孔隙度。添加纯猪粪处理与纯烟草废弃物处理相比,容重降低了6.12%,总孔隙度增加了16.6%,持水孔隙度增加了6.6%;添加微生物菌剂处理3、4与添加纯猪粪处理2相比,容重分别降低了6.5%、2.2%,总孔隙度分别增加了4.1%、7.3%,持水孔隙度分别增加了11.4%、9.1%。

3 讨论

影响堆肥快速腐熟的因素很多,如温度、pH值、

表4 烟草废弃物高温堆肥产品的品质性状
Table 4 Quality properties of tobacco fine waste compost

处理	全氮/%	全磷/%	全钾/%	容重/g·mL ⁻¹	总孔隙度/%	持水孔隙度/%
1	1.07±0.01c	1.18±0.03c	4.92±0.16d	0.49±0.01a	42.1±0.42d	33.93±0.45d
2	1.19±0.01b	2.04±0.07b	5.15±0.01c	0.46±0.01b	49.1±0.53c	36.17±0.25c
3	1.25±0.01a	2.10±0.07a	5.28±0.02b	0.43±0.01c	51.13±0.70b	40.3±0.46a
4	1.23±0.10a	2.14±0.05a	5.42±0.03a	0.45±0.01b	52.67±0.71a	39.47±0.51b

注:同列数值间不同字母表明 LSD 多重比较差异显著($P<0.05$)。

通风条件、C/N 比等。而堆肥是一个以微生物为媒介的生物发酵过程,微生物的活动对堆肥物料的分解起着重要作用^[17],加入微生物外源菌剂是加快堆肥腐熟发酵的重要手段^[6,9,18]。

堆肥需要适宜的 C/N,一般认为,高温堆肥中适宜 C/N 为 25~30^[19]。当 C/N 过低,不能为微生物提供足够的能源物质,影响其生命活动,产热量下降,无法达到高温无害化的目的;当 C/N 过高,堆肥过程中需氧要求提高,往往达不到良好的好氧条件而产生恶臭。本文所研究的烟草废弃物 pH7.2, C/N 较高(约 36),采用猪粪(pH6.5, C/N 约 13)作为调理剂,调节堆肥环境的 C/N(约 26),同时又可减少堆肥成本,降低猪粪引起的环境污染,达到烟草废弃物和当地猪粪就地利用的效果^[10]。

温度是堆肥化过程中的一个重要指标。堆肥温度过低会导致有机物分解缓慢,堆肥温度过高则会抑制并杀死部分有益微生物,均不利于有机固体废弃物的堆肥化处理^[19]。徐智^[18]研究表明,在堆肥中加入适宜比例牛粪的基础上添加微生物菌剂,能够加快堆肥发酵速度,缩短发酵堆肥时间。胡菊^[20]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,在烟草废弃物高温堆肥腐熟体系中,在添加合适比例猪粪的基础上加入微生物菌剂 NNY、FB 较纯烟末添加微生物菌剂堆肥试验的加入 FB 微生物菌剂处理^[6],进入高温分解阶段的时间都缩短了 5 d,达到环境温度的时间分别缩短了 12、11 d。添加微生物菌剂显著缩短进入高温分解阶段的时间,延长高温持续时间,加快了烟草废弃物堆肥腐熟进程。

在本试验条件下,添加微生物菌剂可以显著加快烟草废弃物的腐熟进程,但对不同腐熟指标的影响不尽相同。添加微生物菌剂 NNY、FB 的处理满足 C/N、NH₄⁺-N 含量、种子发芽指数(GI)腐熟要求分别需要 16、21、11 d 和 11、16、21 d。添加不同微生物菌剂对同

一指标的影响不相同,这与不同微生物菌剂对堆肥体系的适应性不同有关。在本试验条件下,微生物菌剂 NNY、FB 都具有良好的促进腐熟的效果,其中 NNY 微生物菌剂的促进烟草废弃物堆肥的无害化进程最快。李少明^[6,12]利用纯烟草废弃物进行堆肥试验,以添加福贝菌剂效果较优,在堆肥 35 d 左右可达到腐熟要求,而本试验在添加合适比例猪粪的基础上,加入微生物菌剂 NNY、FB 都于堆肥 21 d 达到腐熟标准,大大缩短了堆肥腐熟时间。

有研究表明,接种微生物对堆肥物质的分解作用浓缩了堆肥中的无机营养成分,而且由于水分的降低,使养分含量相对增加,有利于提高堆肥质量^[21]。本文研究结果与此相同,即添加微生物菌剂后,到堆肥腐熟时的全氮、全磷、全钾含量有所上升。加入微生物菌剂有降低堆肥容重、增加堆肥的总孔隙度和持水孔隙度的作用,这可能与添加微生物菌剂后烟草废弃物的减量化效果较好有关。

4 结论

(1)烟草废弃物单独堆肥过程中,C/N 比较高、升温慢,不能进入高温分解阶段,种子发芽指数较低,腐熟化进程较慢。

(2)在烟草废弃物高温堆肥过程中,在添加合适猪粪比例的基础上加入外源微生物菌剂(NNY、FB),有利于堆体迅速进入高温分解阶段,延长高温分解持续时间,缩短发酵堆肥时间,促进 C/N 比和 NH₄⁺-N 的降低,显著提高种子发芽指数,减少对种子的抑制作用,加速烟草废弃物堆肥腐熟进程,并且可以显著提高堆肥产品的全氮、全磷和全钾含量,降低烟草废弃物堆肥容重,显著增加腐熟后堆肥产品的总孔隙度和持水孔隙度,提高堆肥产品品质。

(3)综合分析堆肥化过程中温度、C/N 比、NH₄⁺-N 和 GI 动态变化及有关堆肥产品品质的各项指标,以添加 NNY 微生物菌剂处理效果较优。

参考文献:

- [1] 董占能, 白聚川, 张皓东. 烟草废弃物资源化[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(1): 39-42.
DONG Zhan-neng, BAI Ju-chuan, ZHANG Hao-dong. Comprehensive utilization of tobacco waste[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2008, 29(1): 39-42.
- [2] 云南年鉴编辑部. 云南年鉴[M]. 昆明: 云南年鉴出版社, 2008.
Editorial Department of Yunnan Yearbook. Yunnan yearbook[M]. Kunming: Yunnan Yearbook Press, 2008.
- [3] 彭靖里, 马敏象, 吴绍情, 等. 论烟草废弃物的综合利用技术及其发展前景[J]. 中国资源综合利用, 2001(8): 18-20.
PENG Jing-li, MA Min-xiang, WU Shao-qing, et al. On the technology and its development prospect of comprehensive utilization of tobacco scrap[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2001(8): 18-20.
- [4] 郑奎玲, 于丹梅. 废弃烟叶的综合利用现状[J]. 重庆大学学报, 2004, 27(3): 61-62.
ZHENG Kui-ling, YU Dan-mei. A summary of the comprehensive utilizations of discarded tobacco leaves[J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 2004, 27(3): 61-62.
- [5] 许晓风, 郁 锋, 杨启银, 等. 烟草工业下脚料综合利用研究[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(2): 270-271.
XU Xiao-feng, YU Feng, YANG Qi-yin, et al. Comprehensive utilization of waste material produced from tobacco industry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2003, 31(2): 270-271.
- [6] 李少明, 汤 利, 范茂攀, 等. 不同微生物腐熟剂对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 783-786.
LI Shao-ming, TANG Li, FAN Mao-pan, et al. Effect of different microbial blends on tobacco finewaste high temperature compost maturity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 783-786.
- [7] 杨兴明, 徐阳春, 黄蔚为, 等. 有机(类)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): 925-932.
YANG Xing-ming, XU Yang-chun, HUANG Qi-wei, et al. Organic-like fertilizers and its relation to sustainable development of agriculture and protection of eco-environment[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 925-932.
- [8] 徐 智, 汤 利, 毛昆明, 等. 榕风对西番莲果渣高温堆肥过程中氮变化的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(6): 800-803.
XU Zhi, MAO Kun-ming, TANG Li, et al. Effect of microbial strain rongfeng on the nitrogen dynamic changes in passion fruit marc high-temperature compost process [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2005, 20(6): 800-803.
- [9] 徐 智, 汤 利, 李少明, 等. 微生物菌剂福贝对西番莲果渣高温堆肥过程中氮变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 621-624.
XU Zhi, TANG Li, LI Shao-ming, et al. Effects of microbial strain faby on nitrogen dynamic changes in passion fruit marc high-temperature compost process[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(sup): 621-624.
- [10] 竹江良, 刘晓琳, 汤 利, 等. 猪粪比例对烟草废弃物堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 待刊.
ZHU Jiang-liang, LIU Xiao-lin, TANG Li, et al. Effect of swine feces on tobacco fine waste high-temperature compost maturity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, in press.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 第三版. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
State Environmental Protection Administration of China. The analysis method of water and waste water[M]. 3rd Ed. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [12] 李少明, 邓文祥, 郭亚妮, 等. 微生物菌剂对烟末堆肥理化性状及种子发芽指数的影响[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(5): 706-709.
LI Shao-ming, DENG Wen-xiang, GUO Ya-ni, et al. Effects of microbial strains on physical and chemical changes of tobacco fine waste compost and on germination index of *Brassica chinensis* L.[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2007, 22(5): 706-709.
- [13] 徐 智, 汤 利, 毛昆明, 等. 牛粪对西番莲果渣高温堆肥进程的影响[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 marc high-temperature compost maturity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 507-511.
- [14] Zucconi F, Forte M, Monac A, et al. Biological evaluation of compost maturity[J]. *Biocycle*, 1981, 22: 27-29.
- [15] 黄懿梅, 苟春林, 梁军峰. 两种添加剂对牛粪秸秆堆肥中氮素损失的控制效果探讨[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1219-1225.
HUANG Yi-mei, GOU Chun-lin, LIANG Jun-fen. Effect of two amendments on nitrogen loss from composting of cattle manure and corn straw [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3): 1219-1225.
- [16] 陈同斌, 罗 维, 郑国砥, 等. 翻堆对强制通风静态垛混合堆肥过程及其理化性质的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 117-122.
CHEN Tong-bin, LUO Wei, ZHENG Guo-di, et al. Effects of pile-turning on chemical and physical properties in static forced-aeration composting of sewage sludge and pig manure[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(1): 117-122.
- [17] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废弃物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.
LI Guo-xue, LI Yu-chun, LI Yan-fu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2): 252-256.
- [18] 徐 智, 汤 利, 李少明, 等. 两种微生物菌剂对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1270-1274.
XU Zhi, TANG Li, LI Shao-ming, et al. Effects of two microbial agents on high temperature composting of passion fruit marc[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1270-1274.
- [19] 李 季, 彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
LI Ji, PENG Sheng-ping. A practical handbook for composting works [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [20] 胡 菊, 秦 莉, 吕振宇, 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, LYU Zhen-yu, et al. Function and field test of compost inoculated with VT microbes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(supplement): 604-608.
- [21] 孙晓华, 罗安程, 仇 丹. 微生物接种对猪粪堆肥发酵过程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 557-559.
SUN Xiao-hua, LUO An-cheng, QIU Dan. Effect of inoculant on composting process of swine manure[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 557-559.