

徐 刚, 高文瑞, 王 虹, 等. 不同初始 pH 值及覆盖材料对中药渣堆肥效果的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(6): 1330-1336.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2015.06.021

不同初始 pH 值及覆盖材料对中药渣堆肥效果的影响

徐 刚, 高文瑞, 王 虹, 李德翠, 孙艳军, 韩 冰, 史珑燕
(江苏省农业科学院蔬菜研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以废弃中药渣为原料进行高温堆肥试验, 在不同初始 pH 值及不同覆盖材料下, 采用好氧人工翻堆堆肥方式, 研究中药渣高温堆制过程中理化性状(温度、电导率、pH、全氮、全磷、全钾)的动态变化及种子发芽率。结果表明: 中药渣初始 pH 6~7 处理的堆肥温度较高, 其种子发芽率在堆制 25 d 时达到 81.25%, 初始 pH 4~5 处理的堆肥在堆制结束后其有机质、全氮、全磷、全钾含量最高。覆盖白膜处理的中药渣腐熟效果比黑膜覆盖处理的好。覆盖白膜处理的中药渣堆肥温度较高, 在堆制过程中 pH 上升快, 堆制结束后有机质、全氮、全磷、全钾含量较高。

关键词: 中药渣; 堆肥; 理化性状

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)06-1330-07

Effect of initial pH values and covering plastic films on herbal residues composting

XU Gang, GAO Wen-rui, WANG Hong, LI De-cui, SUN Yan-jun, HAN Bing, SHI Long-yan
(*Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The high temperature composting experiment using the herbal residues, an industry waste, as the basic material under an aerobic fermentation was carried out. The dynamic changes of temperature, electrical conductivity (EC), pH, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK) and the germination of Chinese cabbage were studied. When the initial pH of herbal residues was between 6 and 7, the temperature of the compost was the highest, and the seed germination rate reached 81.25% in 25 d. However, when the initial pH was between 4 and 5, the contents of organic matter, TN, TP, and TK were higher at the end of the composting. Herbal residues covered with white plastic film outplayed those with black film in getting higher composting temperature, faster pH rise in the fermentation process, and more organic matter, total nitrogen, total phosphorus, and total potassium after fermentation.

Key words: herbal residue; compost; physical and chemical property

中药渣来源于中成药生产、原料药生产、中药材加工与炮制以及含中药的轻化工产品生产等。以中成药生产带来的药渣量最大, 约占药渣总量的

70%^[1]。随着医药卫生事业的发展, 中草药加工过程中产生的中药渣日益增加, 年排放量达 3.0×10^7 t。目前, 药渣运出厂后多采用堆放、填埋和焚烧等方式处理, 其中以堆放为主^[2]。中药渣的处理已经成为严峻问题。中药渣一般为湿物料, 长期堆放极易腐坏, 其味臭异, 在夏季更为严重, 对环境造成极大污染。目前已有报道中药渣被用于蔬菜花卉育苗及栽培基质、食用菌栽培^[3]、禽畜饲料及废水处理。但是, 废弃的中药渣尚未被更好地利用, 中药渣

收稿日期: 2015-09-02

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[cx(14)2035]; 江苏省科技支撑计划项目(BE2014387)

作者简介: 徐 刚(1963-), 男, 江苏东台人, 博士, 研究员, 主要从事蔬菜设施栽培技术及相关栽培生理等研究。(E-mail) xugang90@163.com

如果直接还田处理,会造成作物病虫害侵染。因此,经过适当的堆肥化处理,利用微生物发酵将中药渣制成良好的有机基质,合理利用开发中药渣废弃物,使其变废为宝,将会产生巨大的经济效益和环境效益^[4]。

中药渣堆肥是一个微生物新陈代谢作用占主导作用的生物化学过程,而微生物生命活动又与许多外在的因素有关,这些因素主要包括:温度、含水率、pH 值、供氧量、碳氮比(C/N)、调理剂等^[5]。温度是影响堆肥过程的一个重要因素,温度影响堆肥过程中的含水率,进而直接影响参与反应的微生物活性与种类,对最终堆肥效果有重要影响^[6]。初始 pH 也是影响中药渣堆肥的一个重要因素,不同的初始 pH 会影响微生物的生长,从而影响之后的堆肥过程与效果^[7]。由于黑膜覆盖下堆体温度要低于白膜覆盖的堆体温度,因此本研究采用覆盖白膜和黑膜的方式调节堆肥发酵期间的发酵温度,同时设定不同的初始 pH,研究中药渣堆制发酵的初始 pH 值和覆盖材料对中药渣发酵过程中堆体温度、pH、电导率(EC)及氮、磷、钾含量等的影响,以期对中药渣的资源化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以中药渣作为堆肥的基本原料,发酵前进行粗粉碎,使其粒径小于 3 cm。堆肥原料的基本理化性状:pH4.5, EC 1.2, 有机质 48.87 g/kg, 总氮 0.275%,总磷 0.206%,总钾 0.600%。采用中国农业大学提供的微生物菌剂作为腐熟剂,用生石灰调节中药渣发酵的初始 pH 值。试验在南京市蔬菜研究所科技园进行。

1.2 试验设计

将中药渣与微生物菌剂混合,调节含水量至 60%~70%,pH 值调节为 4~5、5~6 和 6~7,搅拌混合均匀后堆成 3 m³ 的堆体,采用白膜和黑膜两种膜覆盖(表 1)。每隔 5 d 人工翻堆 1 次,如果堆温过高则立即翻堆。

1.3 采样及测定

1.3.1 采样方法 分别于堆制后第 0 d、10 d、15 d、20 d、25 d、30 d、40 d 采样,按 5 点采样法,混合均匀后一部分烘干用于测定有机质、全氮、全磷、全钾含量,一部分作为鲜样存放于 4 ℃ 冰箱用于测定水溶

性指标(pH 和 EC 值)。

1.3.2 温度测定 每天上午 10:00 测定堆体温度,温度计垂直向下测定 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm 深处温度,取其平均值。

表 1 中药渣堆肥试验设计

Table 1 The experiment design of the herbal residues composting

| 编号 | 处理 | 通风方式 |
|----|---|------|
| 1 | 3 m ³ 中药渣+3 kg 微生物菌剂(初始 pH 4~5,盖白膜) | 翻堆 |
| 2 | 3 m ³ 中药渣+3 kg 微生物菌剂+11 kg 石灰(初始 pH 5~6,盖白膜) | 翻堆 |
| 3 | 3 m ³ 中药渣+3 kg 微生物菌剂+17 kg 石灰(初始 pH 6~7,盖白膜) | 翻堆 |
| 4 | 3 m ³ 中药渣+3 kg 微生物菌剂(初始 pH4~5,盖黑膜) | 翻堆 |

1.3.3 pH 值与 EC 值的测定 新鲜样品用去离子水按土水比 1:10 浸提 1 h 后,用 85-2 型恒温磁力搅拌器搅拌 5 min,取滤液。用 IS128 型 pH 计(上海仪迈仪器科技有限公司产品)和 DDS-11A 型 EC 计(上海康仪仪器有限公司产品)分别测定 pH 值、EC 值。

1.3.4 种子发芽指数的测定 培养皿内垫一块纱布,均匀放入 100 粒青菜种子,加入堆肥浸提滤液 5 ml,在 25 ℃ 培养箱中培养,同时用去离子水做空白试验^[2,8]。每天统计发芽率。

1.3.5 化学分析项目及方法 全氮含量用 H₂SO₄-H₂O₂ 蒸馏法测定,全磷含量用钼兰比色法测定,全钾含量用火焰光度计测定,有机质含量用重铬酸钾容量法测定^[4,9]。

1.4 统计分析方法

数据采用 Excel 软件进行分析处理。

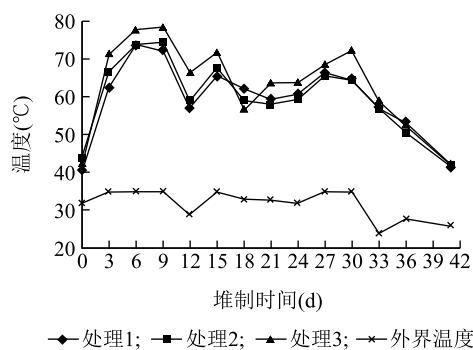
2 结果与分析

2.1 中药渣堆肥进程中温度的变化

堆体温度是好氧发酵的核心参数,是判断堆体是否达到无害化要求的重要依据,同时也是反映发酵过程中微生物活性的重要因素。在发酵过程中,由于微生物分解有机物释放热量而使得物料温度上升^[10]。堆肥温度过低会导致有机物分解缓慢,过高则会抑制并杀死部分有益微生物^[11]。

本研究各处理的堆温变化主要有 3 个阶段,分别为升温阶段、高温阶段和后熟降温阶段。其中,高温阶段是高温好氧堆肥化处理有机固体废弃物的关键阶段,大部分有机物在此过程中氧化分解,堆肥物料中几乎所有致病微生物在此过程中被杀死而达到稳定化^[12]。

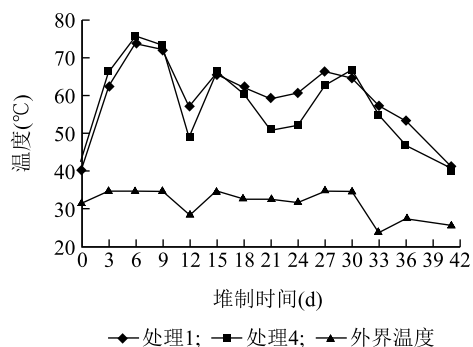
图 1 和图 2 显示,堆制初期,物料中易分解的有机质在微生物的作用下迅速分解,产生大量热量导致堆制第 3 d 堆肥温度就都达到 60 ℃ 以上,在堆制第 3~9 d 各处理堆肥温度达到堆制过程中的最高温度(70~80 ℃)。之后堆体温度进入了一个较长时间的高温动态平衡阶段。堆制过程中如果堆体温度过高则立即翻堆降温,期间因翻堆造成热量的散失使堆肥温度出现几次明显的变化。处理 3(初始 pH 6~7)的堆温最高,处理 1(盖白膜)的堆温较处理 4(盖黑膜)的高。



处理 1~3 见表 1。

图 1 不同初始 pH 值对堆肥温度的影响

Fig. 1 Effect of initial pH values on the temperature during composting



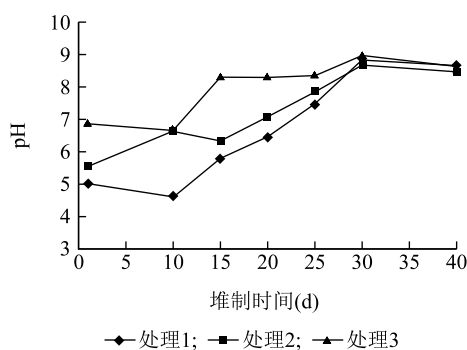
处理 1、4 见表 1。

图 2 不同覆盖材料对堆肥温度的影响

Fig. 2 Effect of covering materials on the temperature during composting

2.2 中药渣堆肥进程中 pH 值和 EC 值的变化

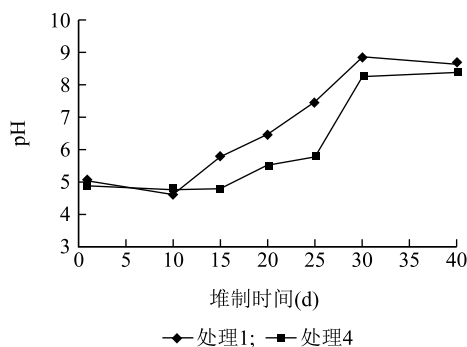
据报道,腐熟堆肥的 pH 值指标为 8.0 到 9.0^[13]。本试验堆制开始时各处理 pH 值下降,然后迅速上升,最后稳定在 8 至 9 之间(图 3)。堆制开始时产生的有机酸使 pH 值下降,随着堆制的继续进行,温度升高使堆体中的乙酸、丁酸挥发,含氮有机物分解产生的氨使堆体 pH 值上升^[14]。从图 3、图 4 中可以看出,初始 pH 值较高的处理在发酵过程中 pH 值始终也较高;与覆盖黑膜处理(处理 4)相比,覆盖白膜处理(处理 1)在发酵过程中 pH 值上升较快。



处理 1~3 见表 1。

图 3 不同初始 pH 对堆制过程中堆肥 pH 值的影响

Fig. 3 Effect of initial pH values on the pH values during composting



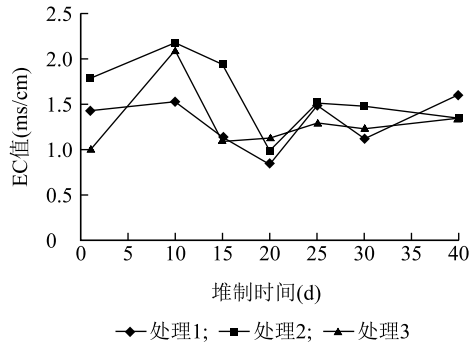
处理 1、4 见表 1。

图 4 不同覆盖材料对堆制过程中堆肥 pH 的影响

Fig. 4 Effect of covering materials on the pH values during composting

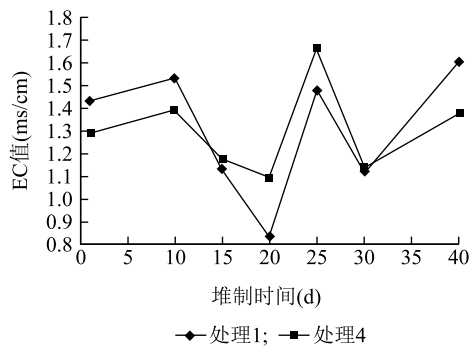
电导率(EC)反映了堆肥提取液中离子总浓度,EC 大小与含盐量有关。堆肥中水不溶性的固体有机物质经微生物作用不断降解成水溶性物质,水溶性物质也同时不断地被微生物进一步降

解成更小的无机分子,另有少部分水溶性物质被微生物重新同化为不溶性的有机物^[15]。如图 5 和图 6 所示,在整个堆制过程中各处理的 EC 值呈不规则的波动变化,在堆制后期处理 3 的 EC 值变化较小。



处理 1~3 见表 1。

图 5 不同初始 pH 值对堆制过程中堆肥电导率 (EC 值) 的影响
Fig.5 Effect of initial pH values on the electrical conductivities (EC) during composting



处理 1、4 见表 1。

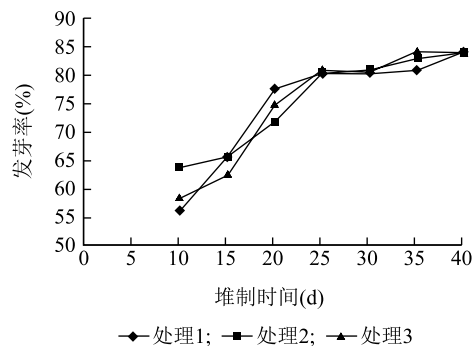
图 6 不同覆盖材料对堆制过程中堆肥电导率 (EC 值) 的影响
Fig.6 Effect of covering materials on the electrical conductivities (EC) during composting

2.3 中药渣堆肥种子发芽指数

种子发芽试验可以作为评价腐熟物植物毒性的一种快速、简便的方法,它不但能检测堆肥的植物毒性水平,而且能预测堆肥植物毒性的变化。一般情况下,当发芽指数达到 80.00% 时,可认为堆肥没有植物毒性或堆肥已经腐熟^[16]。堆肥腐熟度可以通过堆肥产品对种子发芽及植物生长的抑制程度进行评价^[17]。

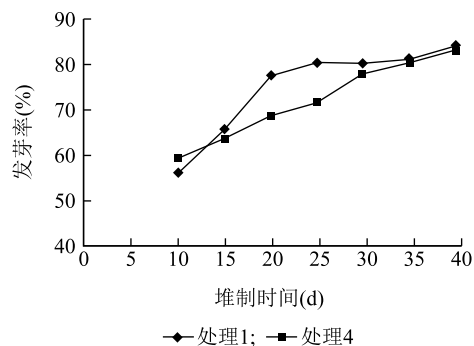
如图 7 所示,随着堆肥时间的延长,青菜种子在中药渣堆体初始 pH 为 4~5、5~6 和 6~7 3 个处理的浸提液中发芽率都呈现先增加后平缓的趋势,其

中处理 3 (pH6~7) 在第 25 d 时种子发芽率达到 81.25%。图 8 显示,青菜种子在中药渣堆体覆盖白膜和黑膜 2 种处理浸提液中的发芽率均随着堆肥时间的延长不断提高,在堆制 10 d 时覆盖黑膜处理的种子发芽率高于覆盖白膜处理,堆制 15 d 后覆盖白膜处理的种子发芽率高于覆盖黑膜处理,覆盖白膜处理在堆制 25 d 时发芽率达到 80.56%,而覆盖黑膜处理在堆肥 35 d 时发芽率才超过 80.0%。覆盖白膜处理中药渣腐熟进度比覆盖黑膜处理提前了 10 d。



处理 1~3 见表 1。

图 7 不同初始 pH 值对堆肥种子发芽率的影响
Fig.7 Effect of initial pH values on the seed germination during composting



处理 1、4 见表 1。

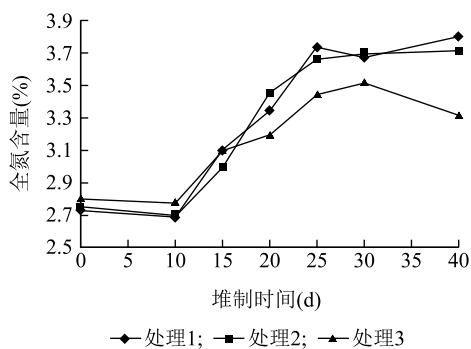
图 8 不同覆盖材料对堆肥种子发芽率的影响

Fig.8 Effect of covering materials on the seed germination during composting

2.4 中药渣堆肥进程中总氮、有机质、磷及钾含量的变化

所有处理的全氮含量在堆制初期都有一个下降阶段(图 9),这可能是由于在堆制过程中有机物的矿化分解、CO₂ 的损失、水分蒸发引起干物质的减少

以及无机氮在高温过程中的损失而引起的^[8]。堆制后期微生物的固氮作用有助于堆肥全氮量的增加,使堆肥全氮量趋于稳定^[13]。堆制结束后处理 1 和处理 2 的全氮含量较高,分别为 3.81% 和 3.72% (图 9)。处理 1(覆盖白膜)的全氮含量在堆制结束后较处理 4(覆盖黑膜)的高(图 10)。



处理 1~3 见表 1。

图 9 不同初始 pH 值对堆制过程中堆肥全氮含量的影响

Fig.9 Effect of initial pH values on the total nitrogen content during composting

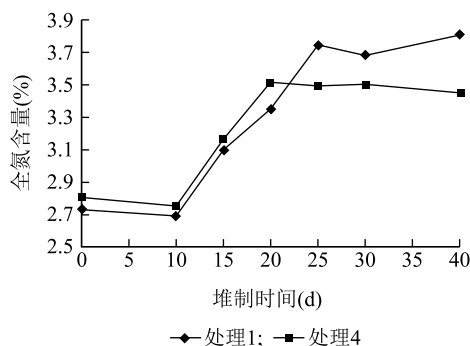
中药渣堆制过程中各处理的有机质呈现先增加后降低的趋势,总磷和总钾含量总体上呈增加趋势,堆制结束后均比堆制前有所增加。处理 1 的有机质、总磷、总钾含量在堆制后均为最高,分别为 69.2%、0.32% 和 0.92%;而处理 3 的有机质、总磷、总钾含量在堆制后最低(表 2、表 3)。这可能与添加生石灰有关,处理 1 和处理 4 都没有添加生石灰,而处理 2 和处理 3 均添加了生石灰,并且处理 3 比处理 2 添加的多。

表 2 不同初始 pH 值对堆制过程中堆肥有机质、总磷和总钾含量的影响

Table 2 Effect of initial pH values on the contents of organic matter, total phosphorus and total potassium during composting

| 时间 (d) | 有机质含量(g/kg) | | | 总磷含量(%) | | | 总钾含量(%) | | |
|-----------|-----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | 处理 1 | 处理 2 | 处理 3 | 处理 1 | 处理 2 | 处理 3 | 处理 1 | 处理 2 | 处理 3 |
| 0 | 48.87 ± 1.57d | 48.87 ± 1.57d | 48.87 ± 1.57d | 0.21 ± 0.01c | 0.21 ± 0.01b | 0.21 ± 0.01a | 0.60 ± 0.03c | 0.60 ± 0.03d | 0.60 ± 0.03b |
| 10 | 63.80 ± 0.28c | 61.38 ± 0.28c | 57.83 ± 1.46cd | 0.34 ± 0.03ab | 0.32 ± 0.02a | 0.30 ± 0.02a | 0.64 ± 0.03c | 0.71 ± 0.03cd | 0.61 ± 0.01b |
| 15 | 70.88 ± 0.56a | 68.29 ± 0.42ab | 68.22 ± 0.45a | 0.26 ± 0.04bc | 0.26 ± 0.05ab | 0.26 ± 0.04a | 0.74 ± 0.04bc | 0.73 ± 0.03bc | 0.77 ± 0.03a |
| 20 | 67.50 ± 0.28abc | 71.10 ± 0.57a | 52.13 ± 0.28de | 0.42 ± 0.01a | 0.31 ± 0.0a | 0.29 ± 0.02a | 0.91 ± 0.04a | 0.91 ± 0.03a | 0.81 ± 0.03a |
| 25 | 66.03 ± 2.83abc | 69.29 ± 3.24a | 59.76 ± 0.10c | 0.31 ± 0.01b | 0.31 ± 0.03a | 0.29 ± 0.03a | 0.89 ± 0.03ab | 0.89 ± 0.06a | 0.83 ± 0.01a |
| 30 | 65.06 ± 1.41bc | 70.86 ± 0.85a | 67.39 ± 2.80ab | 0.28 ± 0.03bc | 0.30 ± 0.01ab | 0.29 ± 0.04a | 0.88 ± 0.06ab | 0.86 ± 0.01a | 0.85 ± 0.03a |
| 40 | 69.20 ± 0.14ab | 63.24 ± 0.57bc | 61.93 ± 1.23bc | 0.32 ± 0.01b | 0.29 ± 0.01ab | 0.28 ± 0.01a | 0.92 ± 0.03a | 0.85 ± 0.01ab | 0.84 ± 0.03a |

处理 1~3 见表 1。同列数值后不同字母表示差异达 0.05 显著水平。



处理 1、4 见表 1。

图 10 不同覆盖材料对堆制过程中堆肥全氮含量的影响

Fig.10 Effect of covering materials on the total nitrogen content during composting

3 讨论

温度是堆肥效果的重要评价参数,堆体的温度变化反映了堆体内微生物活性的变化,堆体温度升高是微生物代谢产热累积的结果,反过来又决定了微生物的代谢活性^[18]。本研究中各处理的堆肥温度变化主要有 3 个阶段,分别为升温阶段、高温阶段和后熟降温阶段,这与许多研究结果^[8,11-12]类似。本研究结果表明中药渣初始发酵 pH 值为 6~7 时,其堆肥温度较其他 2 个处理(初始发酵 pH 值为 4~5 和 5~6)的高,但其他 2 个处理的堆肥温度也均已达到要求的堆肥温度水平。

pH 值的变化与氨浓度变化相关,同时能够反映微生物活性的变化,堆肥腐熟后的 pH 值在 8 至 9 之间。本研究中所有处理的 pH 值都呈现先下降后

表 3 不同覆盖材料对堆制过程中堆肥有机质、总磷和总钾含量的影响

Table 3 Effect of covering materials on the contents of organic matter, total phosphorus and total potassium during composting

| 时间 (d) | 有机质含量(g/kg) | | 总磷含量(%) | | 总钾含量(%) | |
|-----------|-----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| | 处理 1 | 处理 4 | 处理 1 | 处理 4 | 处理 1 | 处理 4 |
| 0 | 48.87 ± 1.57d | 48.87 ± 1.57e | 0.21 ± 0.01c | 0.21 ± 0.01e | 0.60 ± 0.03c | 0.60 ± 0.03d |
| 10 | 63.80 ± 0.28c | 59.93 ± 0.81d | 0.34 ± 0.03ab | 0.34 ± 0a | 0.64 ± 0.03c | 0.69 ± 0.04cd |
| 15 | 70.88 ± 0.56a | 71.56 ± 0.58ab | 0.26 ± 0.04bc | 0.27 ± 0d | 0.74 ± 0.04bc | 0.77 ± 0.01bc |
| 20 | 67.50 ± 0.28abc | 71.33 ± 1.16ab | 0.42 ± 0.01a | 0.30 ± 0c | 0.91 ± 0.04a | 0.86 ± 0.04ab |
| 25 | 66.03 ± 2.83abc | 67.05 ± 0.17c | 0.31 ± 0.01b | 0.28 ± 0d | 0.89 ± 0.03ab | 0.82 ± 0.03ab |
| 30 | 65.06 ± 1.41bc | 74.60 ± 0.71a | 0.28 ± 0.03bc | 0.30 ± 0c | 0.88 ± 0.06ab | 0.92 ± 0.01a |
| 40 | 69.20 ± 0.14ab | 70.71 ± 0.51b | 0.32 ± 0.01b | 0.32 ± 0b | 0.92 ± 0.03a | 0.86 ± 0.03ab |

处理 1、4 见表 1。同列数值后不同字母表示差异达 0.05 显著水平。

上升的趋势,最后稳定在 8 至 9 之间,这与许多学者的研究结果^[19]类似。电导率(EC)的变化反映了腐熟进程中的盐分水平,本研究在整个堆制过程中各处理的 EC 值呈不规则的波动变化,在后期处理 3 (初始 pH 6~7,盖白膜)的 EC 值变化较小。可能是该处理中添加了较多石灰,将堆肥反应过程中产生的小分子络合为难溶的络合物,降低了堆肥的 EC^[20]。

由于堆肥原料中含有植物毒性物质,会对植物的生长产生抑制作用,用植物生长试验评价分析腐熟度是最终和最具说服力的方法,种子发芽指数测定可以作为评价腐熟物植物毒性的一种快速、简便的方法,堆肥腐熟度可以通过堆肥产品对种子发芽及植物生长的抑制程度进行评价^[17]。本研究各处理最终种子发芽率均达到了 80% 以上。覆盖白膜处理比覆盖黑膜处理腐熟进度提前了 10 d,这可能是由于黑膜的隔热性较好,使堆温低于覆盖白膜处理。

堆肥中全氮包括有机氮和无机氮,其中有机氮的变化主要包括氮素的固定和释放。堆制过程中有机氮的矿化、持续性氮的挥发及硝态氮的反硝化作用均可引起堆制过程中氮素的损失^[8]。而接种外源微生物腐熟剂可提高堆肥产品的全氮含量。在堆制过程中全氮含量增加是因为有机质不断分解成 CO₂ 和 H₂O 而散失,总干物质质量下降幅度明显大于 NH₃ 挥发所引起的下降幅度,最终使干物质中全氮含量相对增加^[13]。本研究中所有处理的全氮含量在堆制初期都有一个下降的阶段,后期逐渐增加,这与前人的研究结果^[21]类似。

堆制过程是一个复杂的生物化学过程,伴随着堆制进程,磷、钾被释放和固定,磷、钾含量直接影响最终堆肥品质。本研究结果表明,中药渣堆制过程中有机质含量呈现先增加后降低的趋势,总磷和总钾含量总体上呈增加趋势。这与许多研究结果^[19]类似。堆制结束后,初始发酵 pH 值为 6~7 的处理有机质、全氮、全磷、全钾含量最低,而初始发酵 pH 值为 4~5 的处理有机质、全氮、全磷、全钾含量最高;覆盖白膜的中药渣堆肥效果比覆盖黑膜的好,覆盖白膜有利于保持较高堆肥温度,在发酵过程中 pH 值上升快,堆制结束后覆盖白膜处理的有机质、全氮、全磷、全钾含量均较高。

参考文献:

- [1] 吴纯洁,王一涛,雷佩琳.中药药渣的综合利用与处理[J].中国中药杂志,1998,23(1):59-60.
- [2] 李静娟,周 波,张 池,等.中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响[J].应用生态学报,2013,24(9):2651-2657.
- [3] 毛久庚,肖 旭,赵荷娟.中药渣培养料优化对草菇品质与产量的影响[J].江苏农业科学,2014,42(11):265-267.
- [4] 张 英.中药药渣资源利用研究现状[J].药物生物技术,2013,20(3):280-282.
- [5] 潘 攀.不同初始温度对人类便好氧堆肥过程的影响[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [6] 魏源送,王敏健.堆肥技术及进展[J].环境科学进展,1999,7(3):11-23.
- [7] 王 飞,张 硕.填充物和初始 pH 值对猪粪堆肥效果的影响[J].浙江农业科学,2005(4):298-300.
- [8] 杨国义,夏钟文,李芳柏,等.不同填充材料对猪粪堆肥腐熟过程的影响[J].土壤肥料,2003(3):29-33.
- [9] 南京农业大学.土壤农化分析[M].2 版.北京:农业出版社,1981.

- [10] 张唐娟,张俊峰,袁巧霞,等.调理料添加比例对菇渣基质发酵效果的影响[J].环境工程学报,2014,8(12):5483-5487.
- [11] 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):226-230.
- [12] 方华舟,安冬梅,王培清,等.牛粪自然好氧发酵微生物变化规律[J].环境工程学报,2013,7(1):333-339.
- [13] 李艳霞,王敏健,王菊思.有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数和指标[J].环境科学,1999,20(2):89-103.
- [14] 李国学,张福所.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.
- [15] 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.
- [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.
- [17] 黄国锋,钟流举,张振钿,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.
- [18] MACGREGOR S T, MILLER F C, PSARIANOS K M, et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 41(6):1321-1330.
- [19] 陈晓飞,呼世斌,张婷敏.微生物菌剂对农业废弃物腐熟进程影响研究[J].农机化研究,2012(4):198-202.
- [20] 陈广银,王德汉,吴艳,等.石灰预处理对树叶堆肥过程中养分转化的影响[J].生态环境,2007,16(1):77-82.
- [21] 施宠,张小娥,沙依甫加玛丽,等.牛粪堆肥不同处理全N、P、K及有机质含量的动态变化[J].中国牛业科学,2010,36(4):26-29.

(责任编辑:张震林)