

# 麦秸秸秆花盆堆肥化研究及评价

黄红英, 孙恩惠, 武国峰, 曲 萍, 常志州\*, 徐跃定

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 南京 210014)

**摘要:** 为探明麦秸秸秆花盆堆肥化过程养分变化规律, 为废弃秸秆花盆堆肥化处理提供理论参考, 提出将秸秆花盆粉碎物料 (Crushed straw flowerpots, CSF) 分别与半腐熟有机肥 (4 份腐熟平菇渣+1 份腐熟中药渣+1 份新鲜金针菇渣) 按照干质量比 0:10 (CK)、1:10 (T I)、2:10 (T II)、3:10 (T III) 混合进行 4 种处理堆腐发酵试验, 研究秸秆花盆堆肥化阶段理化性状动态变化, 并结合综合性腐熟评价指标——种子发芽指数 (GI), 对其堆腐程度进行评价。结果表明: CSF 添加量对堆腐温度、pH 及水分变化无显著影响, 但显著影响了堆腐发酵产物中有机碳和全氮含量, 全氮随 CSF 添加量的增加显著升高, T I、T II 和 T III 3 个处理堆腐结束与初期的全氮含量相比均有所下降, 表明添加适量 CSF 后会发生氮素的降解。氮形态分析发现, CSF 的添加可提高堆腐发酵产物中铵态氮相对含量, 堆腐初期氨基酸态氮和氨基糖态氮存在上升趋势, 适量添加 CSF 利于植株生长及微生物的活动; 反映种子活力的 GI 指标分析结果显示, T I、T II 和 T III 处理的 GI 值均高达 0.8, 表明添加 CSF 堆腐优于 CK, 可削弱对种子萌发的毒害作用。

**关键词:** 秸秆花盆; 堆腐; 有机态氮; 发芽指数

**中图分类号:** X712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2015)12-2386-08 **doi:** 10.11654/jaes.2015.12.019

## Composting of Wheat Straw Flowerpots and Its Evaluation

HUANG Hong-ying, SUN En-hui, WU Guo-feng, QU Ping, CHANG Zhi-zhou\*, XU Yue-ding

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Jiangsu Agricultural Waste Treatment and Recycle Engineering Research Center, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Utilizing straw flowerpots to grow plant seedlings and ornamental plants would promote comprehensive use of crop straws. However, how to dispose discarded straw flowerpots has become a new concern. The present study investigated dynamics of nutrients in crushed straw flowerpot (CSF) during composting. Seed germination index (GI) of composted flowerpots was also examined. The composting experiment included four treatments, which was CSF amended with partially composed material mix (PCMM) of composed mushroom residues: composted Chinese medicinal dregs; fresh flammulina residues of 4:1:1 at 0:10 (CK), 1:10 (T I), 2:10 (T II), and 3:10 (T III). Results showed that CSF amount had no significant effects on temperature, pH and moisture during composting, but significantly influenced total carbon and nitrogen, which increased significantly with CSF rates. CSF increased ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ) in the composts. The content of amino acid nitrogen and amino sugar nitrogen in the composts had a rising trend, which was beneficial to plant growth and microbial activity. The greater GI values in all CSF treatments than CK indicated that composting process made the compost harmless. Temperature, moisture content, pH, organic carbon, TN and GI could be used as indexes for evaluating compost maturity.

**Keywords:** straw flowerpot; composting; organic nitrogen; germination index

农作物秸秆可用于生产肥料<sup>[1]</sup>、饲料<sup>[2]</sup>、燃料<sup>[3]</sup>、生物质板材<sup>[4]</sup>等, 其中利用秸秆等植物纤维作为增强材

料模塑成型的农用秸秆花盆, 可替代塑料花盆, 不仅可以减少塑料的“白色污染”, 也有助于减轻农业废弃物不合理应用给环境带来的影响, 对资源开发利用和环境保护具有重要意义<sup>[5]</sup>。欧美等西方发达国家, 正在大力推广生物可降解盆钵, 并且对使用塑料制品出台了严格的限制措施。美国、加拿大和其他欧洲国家也在积极研发生物可降解育苗与栽培容器, 日本、加拿大和瑞士等国的可降解容器在蔬菜及园艺上的使用

收稿日期: 2015-07-08

基金项目: 农业部公益性行业专项(201403019); 江苏省科技支撑计划 (BE2013420); 江苏省农业自主创新项目 (CX(12)1002)

作者简介: 黄红英 (1967—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为农业废弃物资源化利用的研究。E-mail: sfmicrolab@163.com

\* 通信作者: 常志州 E-mail: czhizhou@hotmail.com

量已经超过塑料容器的使用量。但秸秆花盆在使用过程中力学强度会逐渐下降、性能劣化<sup>[5]</sup>,影响其花盆使用价值。一般地,秸秆花盆使用寿命在 1~3 年,被废弃秸秆花盆不能得到及时处理,可能成二次污染。因此,开展秸秆花盆再利用技术研究十分必要。

利用堆肥方法处理有机固体废弃物是一种集处理和资源循环再生利用于一体的生物方法<sup>[6-9]</sup>。研究结果表明,有机固体废弃物经过堆肥处理可以实现无害化、减量化与资源化,腐熟产物可作为有机肥或加工成植物育苗、栽培基质<sup>[10-12]</sup>。近年来,本课题组以模压成型方法开发一种秸秆花盆,该材料与其他一般堆肥原料的区别在于添加了一定量的改性脲醛树脂黏合剂<sup>[5]</sup>,但制品密度大且氮含量高,不适宜直接进行堆肥处理。

为解决某些如含水率过大、碳氮比不宜等有机物料堆肥问题,多物料混合堆肥是一种理想选择<sup>[13]</sup>。陈广银等<sup>[14]</sup>通过研究添加蘑菇渣和鸡粪对落叶堆肥过程中有机物的影响发现,添加蘑菇渣可以促进堆肥有机质、木质素、纤维素的分解,加快堆肥稳定腐熟。周江明等<sup>[15]</sup>研究了自然发酵条件下猪粪与菌渣不同比例高温堆肥试验,探索了猪粪和菌渣堆肥生产有机肥相关技术。

鉴于目前国内外有关秸秆花盆废弃后如何处置及堆肥化处理研究鲜见报道,本研究以课题组自主研发的麦秸秸秆花盆为材料,与半腐熟物料进行混合堆肥研究,探讨评价物料堆肥过程中理化性状变化及产物生物毒性,以期为废弃秸秆花盆肥料化利用提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以江苏省农科院资环所自制的麦秸秸秆花盆为材料,试验前粉碎至 40~60 目,制备工艺同文献[5]。

试验所用堆腐原材料取自南京宁粮象山有机肥料厂,原材料包括腐熟平菇渣(Composting oyster mushroom residue,CMR)、腐熟的中药渣(Composting in the dregs,CD)、新鲜的金针菇渣(Fresh mushroom residue,FMR),基本理化性质见表 1。

1.2 试验设计

堆肥试验于 2013 年 3 月 19 日至 4 月 20 日在宁粮集团象山有机肥料厂场房中进行。麦秸秸秆花盆堆腐处理采用好氧培养方法,阶段性采样后进行分析。试验将堆腐物料分别堆在塑料膜上,混合均匀并调节堆体含水率为 60%,自然通风,不添加任何调理剂,堆腐期为 33 d,堆腐过程中每 4~5 d 翻堆 1 次。每天下午 14:00 将温度计放入堆体中心部位,待温度稳定后读值;分别在堆腐实施的第 1、5、9、13、18、23、28、33 d 翻堆后取样,在堆体 20~30 cm 深度,采用 5 点取样法,测定含水率、pH、有机碳、全氮、铵态氮、硝态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮含量及种子发芽指数。试验设计秸秆花盆粉碎物料与腐熟原料按照一定比例混合,以保证堆体具有良好疏松度。试验共设置 4 个处理,每个处理 3 次重复,随机区组排列,具体见表 2。

表 1 堆肥原料的基本理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of composting raw materials

| 堆肥原料<br>Raw materials | pH        | 水分<br>Moisture/% | 有机碳<br>Organic carbon/g·kg <sup>-1</sup> | 全氮 Total<br>nitrogen/g·kg <sup>-1</sup> | 全磷 Total<br>phosphorus/g·kg <sup>-1</sup> | 全钾<br>Total potassium/g·kg <sup>-1</sup> | 容重 Density/<br>g·cm <sup>-3</sup> |
|-----------------------|-----------|------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| COMR                  | 7.65±0.38 | 54.64±2.03       | 471.1±10.92                              | 29.27±1.79                              | 3.63±0.48                                 | 5.70±0.48                                | 0.25±0.01                         |
| CD                    | 8.41±0.46 | 31.12±1.96       | 339.6±11.85                              | 25.93±2.10                              | 5.87±0.74                                 | 7.88±0.42                                | 0.26±0.02                         |
| FMR                   | 5.89±0.31 | 46.43±3.60       | 549.5±13.86                              | 20.09±1.56                              | 3.62±0.49                                 | 1.30±0.12                                | 0.25±0.02                         |
| CSF                   | 7.25±0.41 | 8.48±0.44        | 485.8±12.69                              | 111.6±9.22                              | 2.0±0.21                                  | 1.42±0.11                                | 0.81±0.04                         |

注:COMR-腐熟平菇渣;CD-腐熟中药渣;FMR-新鲜金针菇渣;CSF-秸秆花盆粉碎料。

Note; COMR-Composted oyster mushroom residue; CD-Composted Chinese medicinal dregs; FMR-Fresh mushroom residue; CSF-Crushed straw flowerpots.

表 2 堆腐原料配比

Table 2 Ratios of composting raw materials

| 处理 Treatment | 堆腐原料配比 Ratio of composting raw materials | 氮碳比 C/N |
|--------------|------------------------------------------|---------|
| CK           | 半腐熟物料=腐熟平菇渣:腐熟中药渣:新鲜金针菇渣=4:1:1(堆腐)       | 17.01   |
| T I          | 秸秆花盆粉碎料:半腐熟物料=1:10(干重比)                  | 13.32   |
| T II         | 秸秆花盆粉碎料:半腐熟物料=2:10(干重比)                  | 11.31   |
| T III        | 秸秆花盆粉碎料:半腐熟物料=3:10(干重比)                  | 10.02   |

### 1.3 测定项目与方法

采用堆腐物料与去离子水按体积比 1:5 混合,在室温下用振荡器连续振荡 30 min,静置 30 min 后,上清液经滤纸过滤后采用 pH 酸度计(Phs-2F 型,上海精密科学仪器有限公司,上海)测定上清液的 pH 值。含水率采用烘箱干燥法测定;有机碳采用重铬酸钾外加热法测定<sup>[16]</sup>;全氮采用凯氏定氮法<sup>[16]</sup>;铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )采用靛酚蓝比色法测定<sup>[16]</sup>;硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )采用紫外分光光度法测定<sup>[16]</sup>;氨基酸态氮和氨基糖态氮测定参照文献[17]。

种子发芽指数测定<sup>[18]</sup>:将每处理新鲜堆腐样品与水按照 10:1(V/m)比例混合振荡 2 h,上清液经滤纸过滤后待用;将辣椒、黄瓜种子放入 100 mL 烧杯中,加入 55 ℃的温水,水量以浸没种子为宜,不断搅拌使水温降至 30 ℃,浸泡 6 h;然后将滤纸放入干净无菌的 11 cm 培养皿中,用浸提液将其浸湿,滤纸上均匀摆放 30 粒浸泡好的种子(辣椒为苏长红,黄瓜为露丰,江苏省农科院蔬菜所提供);准确吸取 5 mL 滤液于培养皿中,在 30 ℃恒温培养箱中培养,同时用去离子水做空白对照,每组 3 个平行。每天检查 1 次,测定种子发芽率和根长,并用等量滤液浸润滤纸。根据发芽种子数量及根长,按下式判断种子的活力:

发芽指数  $\text{GI} = (\text{堆腐处理的种子发芽率} \times \text{种子根长}) / (\text{对照的种子发芽率} \times \text{根长})$

### 1.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2007, Origin 8.0 及 SPSS 17.0 软件对数据进行统计处理和分析,不同处理间的理化指标差异,采用邓肯法检验(Duncan' test),显著性水平为 0.05。

## 2 结果与讨论

### 2.1 麦秸秸秆花盆堆肥过程中温度变化

堆料温度是微生物活动的标志,温度的高低反映堆肥腐熟的快慢,又是使堆肥达到无害化和稳定化的重要条件<sup>[15]</sup>。通过温度的升降,完成有机物的分解,从而实现堆肥的腐熟和无害化过程。

由图 1 堆腐过程中温度变化曲线可以看出,CK、T I、T II 和 T III 4 个处理温度变化趋势基本相同,均经历快速升温、高温、降温 3 个阶段。堆腐初期,嗜温性微生物活动释放出大量的热量,当产生的热量大于消耗的热量时,堆体温度迅速上升。CK、T I、T II 和 T III 在堆肥第 3 d 堆体温度均超过 50 ℃,且持续天数分别为 15、14、14、12 d,可见添加花盆粉碎物料对半腐

熟物料堆肥初期升温速率无显著影响,但高温期持续时间有所缩短。从堆肥全程均温和最高温度看,CK、T I、T II 和 T III 处理 33 d 平均温度分别为 46.9、47.9、47.7、46.6 ℃,分别在堆肥后第 10、7、7、10 d 达到最高温度 62.3、63.7、63.3、60 ℃。结果表明,花盆粉碎物料添加与否和添加量对堆肥全程均温影响不显著,而对最高温度出现时间与温度值可产生显著影响。添加 10%、20% 有利提高堆肥温度,缩短高温持续时间,添加 30% 可使堆肥均温和最高温有轻微降低,延缓高温期,原因可能是秸秆花盆以改性脲醛树脂作为胶黏剂,粉碎物料中含有较高新鲜有机碳和氮素,适量添加有利提高堆肥微生物活性,加速堆肥呼吸作用和生化过程。因秸秆花盆通过压缩而成,其初始密度达到  $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,粉碎后容重为  $0.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,过多添加增大了堆体密度,降低了堆体孔隙度,影响堆肥氧气供给,反而降低了堆肥温度。堆肥结束时,CK 的温度降至 28 ℃左右,而 T I、T II 处理的温度略大于 30 ℃,T III 处理温度略高于 T I、T II。这是由于物料中仍含有一定量的有机质,是否达到腐熟,还需结合其他指标来综合判定。

总体而言,所有处理均满足《城市生活垃圾堆肥处理厂技术评价指标》(CJ/T 3059—1996)<sup>[19]</sup>和《畜禽粪便无害化处理技术规范》(NY/T 1168—2006)<sup>[20]</sup>对堆肥温度的无害化卫生要求。

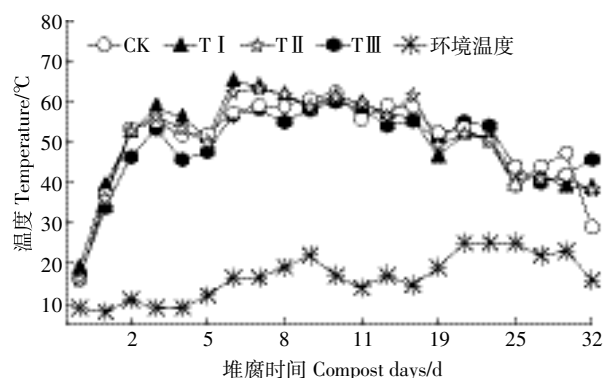


图 1 堆腐过程中温度变化

Figure 1 Changes of temperature during composting

### 2.2 麦秸秸秆花盆堆肥过程中含水率、pH 变化

堆肥过程中,水分是微生物生长所必需的,堆腐物料为 50%~60% 的含水率最利于微生物分解<sup>[21]</sup>。由图 2 可知,各处理堆腐物料在堆腐过程中含水率随时间变化均呈下降趋势。CK、T I、T II 和 T III 含水率分别下降了 5.75%、10.34%、6.57% 和 4.65%。在堆肥第 23 d, T III 处理含水率有一个明显上升的趋势,分析认

为是取样不均匀,取样点湿度较大所致。到 4 月 20 日堆肥结束时,CK、T I、T II、T III 4 种处理含水率分别为 55.89%、53.53%、54.22% 和 57.02%,已达到基本腐熟。从图 2 可明显看出 T I 呈现前期脱水率快且稳定,最终含水率低等特点,一定程度说明了 T I 堆腐效果良好。

pH 值反映微生物的酸碱度生长环境。一般而言,细菌和放线菌最适宜的 pH 值是中性或弱碱性<sup>[21]</sup>。由图 2 中 pH 得知,4 种堆腐物料的 pH 值在堆肥试验开始时基本保持在 7.8~8.0 之间,之后均先上升后下降最后基本平稳。由于在堆肥初期,各处理物料加水将含水率调节至 65%,堆体中具有秸秆花盆粉碎料或/和新鲜物料(新鲜金针菇渣),含有新鲜有机物,腐熟物料(腐熟食用菌渣和腐熟中药渣)富含丰富微生物,在 65%堆肥适宜水分下,微生物对碳氮矿化作用显著增强,大量有机态氮矿化成氨或形成铵离子,使堆肥 pH 逐渐升高。堆肥后期,随着有机态氮矿化作用减弱和铵态氮被微生物转化或以氨形式挥发,堆体 pH 逐渐下降。堆肥结束后,CK、T I、T II 和 T III 的 pH 值分别为 8.63、8.6、8.49、8.44。可见添加秸秆花盆材料未使堆肥产物最终 pH 升高,各处理物料 pH 值均

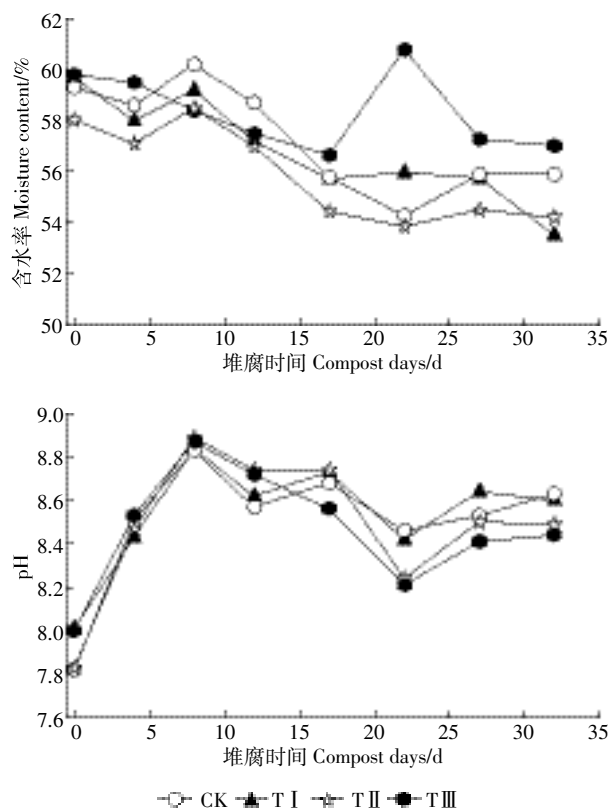


图 2 堆腐过程中含水率、pH 变化

Figure 2 Changes of moisture content and pH during composting

能维持在 8.5 左右,基本符合堆肥腐熟酸碱标准要求<sup>[22]</sup>。由上述分析可知,低碳氮比的混合物料堆肥对发酵物料的含水率及 pH 影响不大<sup>[23]</sup>。

## 2.3 麦秸秸秆花盆堆肥过程中有机碳含量变化

堆肥过程中有机质的转化主要有 2 个过程:一是有机质的矿化过程,即把复杂的有机质分解成简单的物质,最后生成二氧化碳、水和矿质养分;二是有机质的腐殖化过程,即有机质经分解再合成,生成更复杂的特殊的有机质-腐殖质。由图 3 可知,4 种堆腐处理有机碳含量总体呈现下降趋势,在堆腐初期,可利用营养丰富,结合上述堆腐物料的温度、含水率和 pH 均在适宜范围的结果,微生物新陈代谢速率加快,有机物降解率高,有机质含量呈下降趋势,但堆腐后期下降缓慢。CK、T I、T II 和 T III 处理,有机碳含量分别在堆腐周期的第 22、22、22、17 d 达到最低值,堆腐结束时 4 种处理的有机质含量基本在 42%~45%,有机碳降幅分别为 8.64%、8.87%、2.02% 和 4.00%。这表明,T I 处理的有机碳含量降幅最大,T II、T III 处理与 CK 差异不显著。

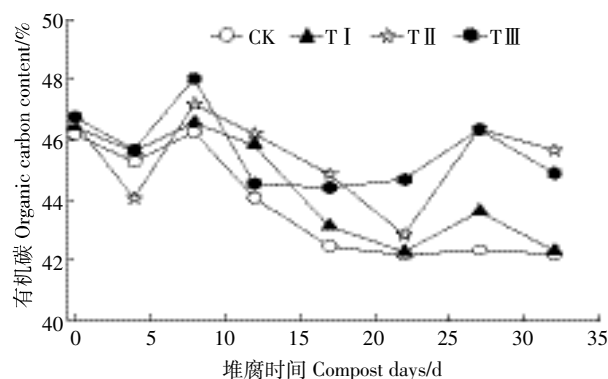


图 3 堆腐过程中总有机碳含量变化

Figure 3 Changes of total organic carbon during composting

## 2.4 麦秸秸秆花盆堆肥过程中氮形态变化

### 2.4.1 全氮、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ 变化

堆腐过程中,氮的转化过程包括氨化、硝化、反硝化、挥发和生物吸收固定等,氮形态是堆肥质量的重要指标之一<sup>[18]</sup>。

图 4 给出了堆腐过程物料全氮含量变化趋势。由此得知,CK、T I、T II、T III 4 个处理全氮含量在 0~32 d 堆腐过程中的总体趋势均是上升。理论上,有机废弃物堆腐过程是一个不断损失氮素的过程,其总氮绝对含量应该逐渐降低,但是相对含量并不一定呈现逐渐降低趋势。本研究中,CK、T I、T II、T III 全氮的增幅

分别为 35.6%、17.8%、25.6%、18.0%，可能是由于堆腐物料中复杂含氮有机物较多，矿化比较缓慢，并且其碳素含量较高，在堆腐过程中可以形成较多的腐殖质，对铵态氮起到很强的固定作用，从而降低了氮素的挥发损失，当其他易挥发物质的损失总量大于氮素损失量时，单位干物质中全氮相对含量呈现增加趋势<sup>[18]</sup>。另一方面，随着加入秸秆花盆物料量的增加，堆腐物料含氮量增加，则是因为秸秆花盆制作过程中加入含氮量较高的脲醛树脂胶黏剂<sup>[5]</sup>。从图 4 可以明显看出堆腐过程全氮含量  $TIII > TII > TI > CK$ ，堆肥第 1 d 原始混合物料  $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  全氮含量分别高出  $CK$  约 26%、41%、49%，在堆肥结束后  $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  全氮含量分别高出  $CK$  15%、37%、42%，表明添加秸秆花盆粉碎物料存在氮素的降解。

由图 5 可知，4 种处理  $NH_4^+-N$  变化较平稳，堆腐过程中略有上升，堆腐后期下降， $TII$ 、 $TIII$  处理  $NH_4^+-N$  分别上升 73.61% 和 71.36%， $CK$  和  $TI$  分别下降 29.71% 和 49.85%。 $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  处理  $NH_4^+-N$  含量高于  $CK$ ，表明在堆腐过程中添加的秸秆花盆粉碎物料对  $NH_4^+-N$  上升有一定促进作用，可能是由于秸秆花盆粉碎物料中氮转化成  $NH_4^+-N$  或改性脲醛树脂分解转化作用<sup>[24]</sup>。课题组较深入地研究了大豆蛋白水解液改性脲醛树脂的结构及降解性能<sup>[25]</sup>，发现改性后的脲醛树脂经土培一定时间后质量损失率最高约 20%，且 FTIR 分析表明其  $N-H$  键特征峰显著增强，与上述分析结果一致。

研究表明，当腐熟堆体中  $NO_3^- - N$  含量升高时，表明堆肥已经经过强烈的高温阶段，达到稳定<sup>[18]</sup>，因此  $NO_3^- - N$  的增加也可以作为堆肥腐熟的一个评价指标。结合  $NO_3^- - N$  含量变化可以看出，一开始不同处理的  $NO_3^- - N$  含量极低，由于高温环境强烈抑制硝化细菌的生长和活动，导致堆腐初期无机氮主要以  $NH_4^+-N$  形式存在，在堆腐前 12 d， $NO_3^- - N$  含量上升比较缓慢，由于高温期硝化作用受到抑制，从堆腐的第 12 d 到物料堆腐结束，堆腐物料温度逐渐降低，硝化细菌活动加速，硝态氮含量迅速上升。堆腐结束时  $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  分别高出  $CK$  66%、197% 和 253%，表明堆腐物料已经经过高温堆腐过程，基本稳定。

综上所述，如果按照相关文献<sup>[26]</sup>腐熟度要求，由于秸秆花盆物料中含氮量较高，导致  $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  处理中  $NH_4^+-N$  含量较高，且  $NH_4^+-N$  含量受温度、pH、通气条件以及氮源条件等的影响，很难用一个绝对值来表示，因而本研究继续探讨了  $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  的变

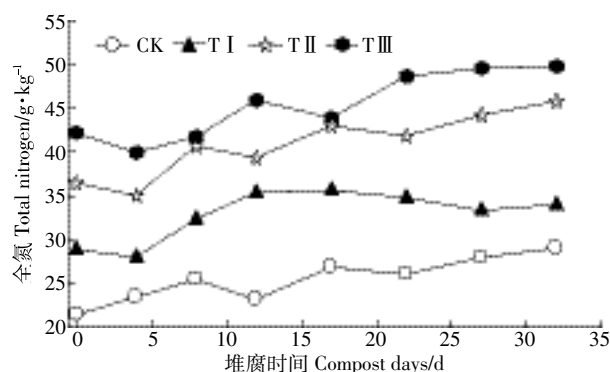


图 4 堆腐过程中全氮变化

Figure 4 Changes of total nitrogen during composting

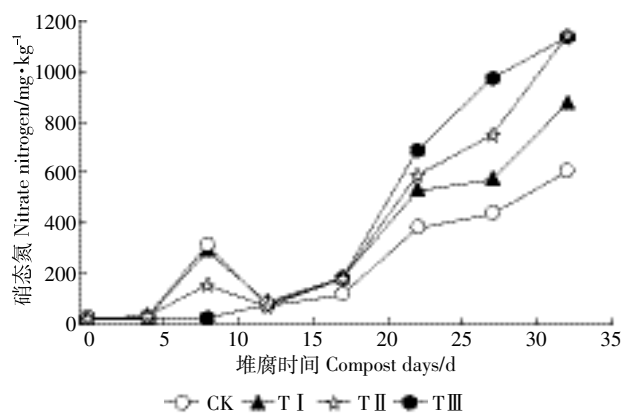
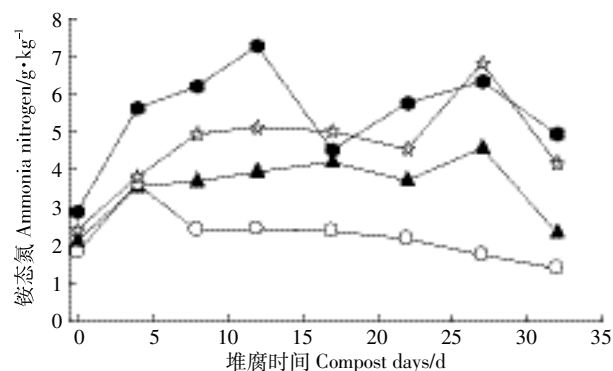


图 5 堆腐过程中铵态氮、硝态氮的变化

Figure 5 Changes of  $NH_4^+-N$  and  $NO_3^- - N$  during composting

化<sup>[18]</sup>，进而评价秸秆花盆堆腐程度。

表 3 给出了秸秆花盆堆腐基质堆腐过程  $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  的变化。 $CK$ 、 $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  处理初始的  $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  值分别为 86.85、214.32、107.72 和 125.76，堆腐周期结束时， $CK$ 、 $TI$ 、 $TII$ 、 $TIII$  4 个处理  $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  值下降为 2.32、2.68、3.65 和 4.36，由于堆腐初期  $NO_3^- - N$  含量极低，导致  $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  值过大，堆腐结束后，当  $NO_3^- - N$  含量趋于平缓时， $NH_4^+-N/NO_3^- - N$  值下降也趋于平缓。根据加拿大政府有关标准，当

表 3 堆腐过程中  $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$  的变化Table 3 Changes of  $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$  ratios during composting

| 堆腐时间 Time | CK    | T I    | T II   | T III  |
|-----------|-------|--------|--------|--------|
| 0 d       | 86.85 | 214.32 | 107.72 | 125.76 |
| 33 d      | 2.32  | 2.68   | 3.65   | 4.36   |

$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N} \leq 0.5$  时堆肥腐熟,可见本研究中堆腐不达标,而针对本研究中各处理比较而言,T I 处理的堆腐状况较其他处理良好。

#### 2.4.2 氨基酸态氮、氨基糖态氮及未知态氮的变化

氨基酸态氮主要在微生物细胞质中,占有有机态氮很大一部分。由图 6 可知,氨基酸态氮总体趋势是先上升再平稳后下降,4 个堆肥处理物料氨基酸态氮变化趋势总体类似。整个堆肥过程中,T III 处理中氨基酸态氮的含量相对较高,表明在物料堆肥过程中随添加秸秆花盆粉碎料的增加能够提高氨基酸态氮的相对含量。T III 处理中堆肥第 33 d 氨基酸态氮含量异常,可能是测量误差而致。有研究证明氨基酸态氮分子可直接进入植株内,被作物直接吸收利用<sup>[27]</sup>,因此在有机物料堆肥过程中适量添加秸秆花盆物料利于植株生长。

氨基糖是细胞壁的组成成分,一般认为土壤中的氨基糖多来源于微生物。细菌细胞壁主要由肽聚糖构成,肽聚糖是由 n-乙酰葡萄糖胺和 n-乙酰胞酸以及氨基酸肽链所组成的多糖支架<sup>[28]</sup>。因此,氨基糖态氮含量高低在一定程度上反映微生物的丰度与活性。在堆肥初期中温阶段主要是嗜温真菌和细菌尤其是嗜热细菌,所以氨基糖在堆肥初期呈现上升趋势。由图 6 可知,T I、T II、T III 处理的微生物活动大于 CK 处理,表明添加秸秆花盆物料可显著增加微生物活性。从第 3 d 开始,氨基糖态氮突然显著下降,并在第 12~16 d 均降低至最低水平,以后又逐渐升高并在后期下降。氨基糖态氮变化与堆肥温度变化呈现密切关联性,初期升温氨基糖态氮显著升高,中期高温期氨基糖氮显著下降,后期温度下降其含量又升高,终末时含量降至较低水平。本研究发现,堆肥高温期氨基糖态氮不升反降,其原因尚不清楚。

根据图 6 得出,堆腐过程中除去氨态氮、硝态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮后,还有一些未知态氮。由于秸秆花盆中胶黏剂的氮形态主要是酰胺态氮,主要包括尿素、缩二脲、天冬酰胺、谷氨酰胺、菸酰胺,但 Brenner-蒸馏法不能测出酰胺态氮含量,无法推知酰胺态氮变化趋势,对于脲醛树脂中酰胺态氮降解形式

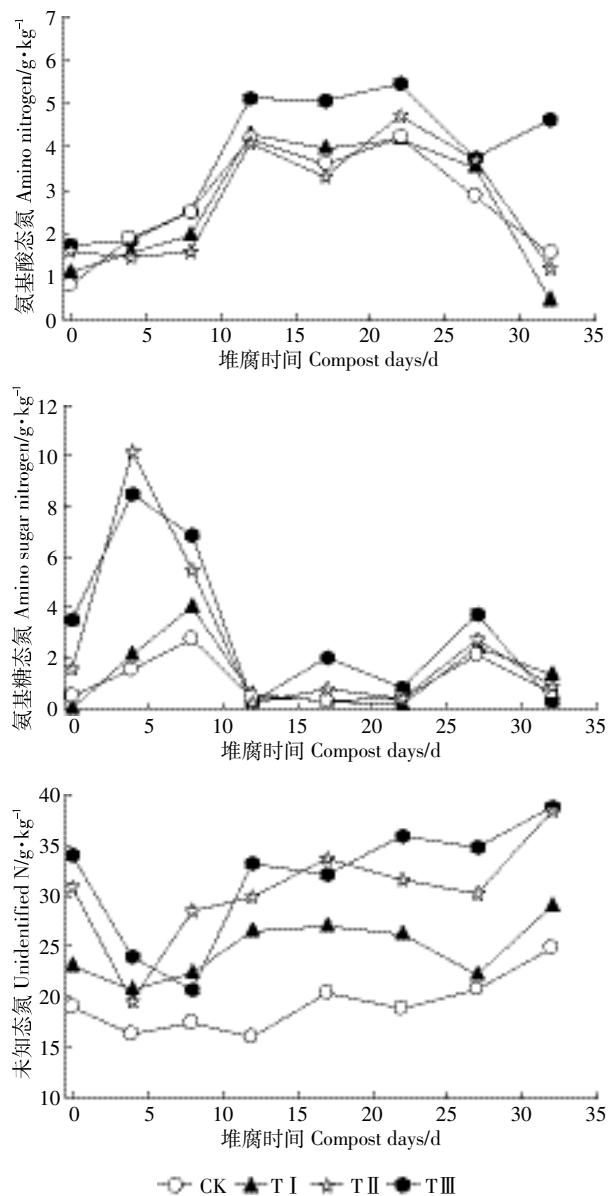


图 6 氨基酸态氮、氨基糖态氮及未知态氮的变化

Figure 6 Changes of amino N, amino sugar N, and unidentified N during composting

有待进一步研究。

#### 2.5 麦秸秸秆花盆堆肥对种子发芽指数(GI)的影响

研究采用 GI 来评判废弃秸秆花盆混合物料生物毒性及腐熟程度,以确定是否适宜作有机肥或基质原料使用。由于堆肥腐熟程度受很多影响因素制约,采用不同的方法评价腐熟度会有不同的结果。GI 值可综合体现出堆腐样品对植物毒性及腐熟度<sup>[18]</sup>。

由图 7 可知,CK、T I、T II、T III 处理堆腐结束时物料对辣椒和黄瓜两种大小不同的种子 GI 的影响趋势类似。4 个处理堆腐周期结束后 GI 值均超过 0.8,其中 T I 处理辣椒、黄瓜种子的发芽指数均超过 CK、

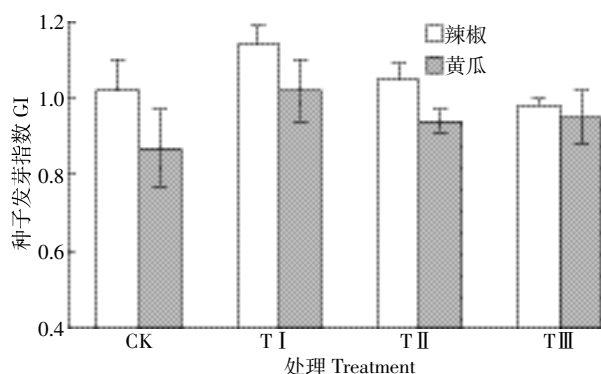


图7 秸秆花盆堆腐物料种子发芽指数(GI)

Figure 7 Changes of GI values in compost from straw flowerpots

T II 和 T III。一般认为,GI 值超过 0.5 即可认为物料基本腐熟,对植物生长基本无毒性<sup>[18]</sup>。试验结果印证了以改性脲醛树脂为胶黏剂的花盆与其他半腐熟物料堆肥具有一定的可行性,改性后的脲醛树脂降解后可作为缓释氮肥使用<sup>[25]</sup>。前期试验结果也表明,固化后的胶黏剂甲醛释放量小,对作物生长基本无负面影响,甚至有促进作用<sup>[29]</sup>。

从研究结果看,按照本文设计的原料配比,经 33 d 堆肥处理后物料可以达到腐熟与低植物生理毒性要求<sup>[18]</sup>。

### 3 结论

(1)秸秆花盆与半腐熟有机物料按质量比(1~3):10 比例进行堆肥处理,在 33 d 堆肥结束时,除  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ / $\text{NO}_3^--\text{N}$  指标未达到腐熟标准外,温度、含水率、pH、有机碳、全氮以及发芽指数均符合有机物料稳定化和无害化要求。低碳氮比的秸秆花盆混合物料堆肥发酵在生产上可行。

(2)堆肥过程中前期微生物快速增长,氨基酸态氮和氨基糖态氮显著升高,未知态氮显著下降,其中秸秆花盆物料含有较多微生物可利用氮,对这一过程具有明显促进作用。

(3)CK、T I、T II、T III 处理堆腐周期结束时,辣椒和黄瓜的发芽指数均大于 0.8,其中 T I > T II,且优于 CK 和 T III。从堆肥产物肥料化角度考虑,秸秆花盆堆腐优选方案为 T I 或 T II。

(4)通过混合堆肥方式可以实现秸秆花盆的稳定化与无害化处理。秸秆花盆材料与其他半腐熟物料适当配比,可促进堆肥过程中微生物活动,加速物质转化,且可能有利于降低堆腐物料植物毒性,对作物生长起到较好促进作用。

### 参考文献:

- [1] Zhao S C, He P, Qiu S J, et al. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in North-central China[J]. *Field Crops Research*, 2014, 169: 116–122.
- [2] Menardo S, Cacciatore V, Balsari P. Batch and continuous biogas production arising from feed varying in rice straw volumes following pre-treatment with extrusion[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 180: 154–161.
- [3] Binod P, Sindhu R, Singhanian R R, et al. Bioethanol production from rice straw: An overview[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(9): 4767–4774.
- [4] Song W, Gao B Y, Zhang T G, et al. High-capacity adsorption of dissolved hexavalent chromium using amine-functionalized magnetic corn stalk composites[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 190: 550–557.
- [5] 孙恩惠, 黄红英, 武国峰, 等. 稻壳粉/改性脲醛树脂模压成型材料的力学性能[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 228–237.  
SUN En-hui, HUANG Hong-ying, WU Guo-feng, et al. Mechanical properties of moulding material made from crops stalks and modified UF resin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(13): 228–237.
- [6] Yang X G, Choi H, Park C, et al. Current states and prospects of organic waste utilization for biorefineries[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 49: 335–349.
- [7] Wei Y Q, Zhao Y, Xi B D, et al. Changes in phosphorus fractions during organic wastes composting from different sources[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 189: 349–356.
- [8] Hait S, Tare V. Optimizing vermicomposting of waste activated sludge using vermicompost as bulking material[J]. *Waste Management*, 2011, 31(3): 502–511.
- [9] Alvarenga P, Mourinha C, Farto M, et al. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors[J]. *Waste Management*, 2015, 40: 44–52.
- [10] 黄国锋, 钟流举, 张振铤, 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.  
HUANG Guo-feng, ZHONG Liu-ju, ZHANG Zhen-tian, et al. Physicochemical changes and maturity evaluation of solid waste compost[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 813–818.
- [11] 聂艳丽, 周跃华, 李 娅, 等. 甘蔗渣堆肥化处理及用作团花育苗基质的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(2): 380–387.  
NIE Yan-li, ZHOU Yue-hua, LI Ya, et al. Sugar cane bagasse compost used as *Anthocephalus chinensis* nursing substrate[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(2): 380–387.
- [12] 孙凯宁, 于君宝, 宁 凯, 等. 棉花秸秆堆腐特性及腐熟度评价[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(2): 393–399.  
SUN Kai-ning, YU Jun-bao, NING Kai, et al. The composting characteristics of cotton straws and maturity evaluation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(2): 393–399.
- [13] 曾清华, 孙 锦, 郭世荣, 等. 小麦秸秆混配基质对甜椒幼苗生长和光合参数的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2012(1): 89–94.

- ZENG Qing-hua, SUN Jin, GUO Shi-rong, et al. Wheat straw residue substrate as component of mixed substrate for sweet pepper growth and photosynthesis[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(1):89-94.
- [14] 陈广银, 王德汉, 吴 艳, 等. 添加蘑菇渣对落叶堆肥过程中有机物的影响[J]. *环境化学*, 2008, 27(5):629-633.
- CHEN Guang-yin, WANG De-han, WU Yan, et al. Effect on organic matters during litter composting process by spent mushroom compost[J]. *Environmental Chemistry*, 2008, 27(5):629-633.
- [15] 周江明, 王利通, 徐庆华, 等. 适宜猪粪与菌渣配比提高堆肥效率[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7):201-207.
- ZHOU Jiang-ming, WANG Li-tong, XU Qing-hua, et al. Optimum ratio of pig manure to edible fungi residue improving quality of organic fertilizer by composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(7):201-207.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- BAO Shi-dan. Soil agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [17] 魏自民, 王世平, 席北斗, 等. 生活垃圾堆肥过程中腐殖质及有机态氮组分的变化[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(2):235-240.
- WEI Zi-min, WANG Shi-ping, XI Bei-dou, et al. Changes of humic substances and organic nitrogen forms during municipal solid waste composting[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(2):235-240.
- [18] 鲍艳宇, 周启星, 颜 丽, 等. 畜禽粪便堆肥过程中各种氮化合物的动态变化及腐熟度评价指标[J]. *应用生态学报*, 2008, 29(2):374-380.
- BAO Yan-yu, ZHOU Qi-xing, YAN Li, et al. Dynamic changes of nitrogen forms in livestock manure during composting and relevant evaluation indices of compost maturity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(2):374-380.
- [19] 中华人民共和国建设部. CJ/T 3059—1996 城市生活垃圾堆肥处理厂技术评价指标[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China. CJ/T 3059—1996 Technical evaluating targets on municipal solid waste composting plant[S]. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [20] 中华人民共和国农业部. NY/T 1168—2006 畜禽粪便无害化处理技术规范[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1168—2006, Technical requirement for non-hazardous treatment of animal manure[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [21] 赵明梅, 牛明芬, 何随成, 等. 不同微生物菌剂对牛粪堆肥发酵影响的的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊):587-590.
- ZHAO Ming-mei, NIU Ming-fen, HE Sui-cheng, et al. Effects of inoculating different microorganism agents on composting of cow manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl):587-590.
- [22] 中华人民共和国农业部. NY/T 2118—2012 蔬菜育苗基质[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 2118—2012 Plug seedling substrate of vegetables[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2012.
- [23] Djogbenou C I V, 李建新, 廖新伟, 等. 低碳氮比对蛋鸡鸡粪与蔗渣好氧堆肥的影响[J]. *中国家禽*, 2011, 33(3):9-13.
- Djogbenou C I V, LI Jian-xin, LIAO Xin-di, et al. Effect of low C/N ratio on composting of layer manure using cane trash as bulking agent[J]. *China Poultry*, 2011, 33(3):9-13.
- [24] 孙恩惠, 黄红英, 武国峰, 等. 不同环境中秸秆/SPI 改性脲醛树脂复合材料花盆降解行为[J]. *复合材料学报*, 2014, 31(5):1198-1205.
- SUN En-hui, HUANG Hong-ying, WU Guo-feng, et al. Degradation behavior of straw/SPI modified urea formaldehyde resin composite flowerpots in different surrounding[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2014, 31(5):1198-1205.
- [25] Qu P, Huang H Y, Wu G F, et al. The effect of hydrolyzed soy protein isolate on the structure and biodegradability of urea-formaldehyde adhesives[J]. *Journal of Science and Technology*, 2015, 29(6):502-517.
- [26] 吴银宝, 汪植三, 廖新伟, 等. 猪粪堆肥腐熟指标的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(2):189-193.
- WU Yin-bao, WANG Zhi-san, LIAO Xin-di, et al. Study on mature index of composting swine manure[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2003, 22(2):189-193.
- [27] Pia W L, Igor I, Ivanov S F, et al. Nitrogen regulation of root branching[J]. *Annals of Botany*, 2006, 97(5):875-881.
- [28] 张 威, 何红波, 解宏图, 等. 东北黑土氨基糖的矿化动态及其对外源物质添加的响应[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(10):2593-2598.
- ZHANG Wei, HE Hong-bo, XIE Hong-tu, et al. Amino sugars mineralization and its responses to exogenous substances in black soil of North-East China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10):2593-2598.
- [29] 南连成. 秸秆盆钵甲醛释放对种子萌发的影响及应对措施初探[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- NAN Lian-cheng. The influence of formaldehyde released by straw pot on seeds germination and preliminary exploration on measures[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.