

# 废弃烤烟茎秆与鸡粪堆肥化利用的研究

李 放<sup>1</sup>, 唐莉娜<sup>2</sup>, 蔡海洋<sup>1</sup>, 熊德中<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省烟草公司, 福建 福州 350003)

**摘 要:** 采用特制的堆肥箱, 对废弃烤烟茎秆与鸡粪的堆肥化利用进行了研究。结果表明, 烤烟茎秆+鸡粪(处理 A)混合堆肥处理的堆温保持在 50 ℃ 以上的时间为 10 d, 而烤烟茎秆+碳酸氢铵(处理 B)处理的仅为 2 d。堆肥 30 d 时, 处理 A 的碳素含量基本趋于稳定, C/N 为 15.8; 处理 B 的碳素含量仍不稳定, C/N 为 23.5; 处理 A 的铵态氮与硝态氮的比值为 0.43, 处理 B 的达 0.60。堆肥 20 d 时, 处理 A 堆料浸出液浸种后的种子发芽指数比处理 B 的高 15 个百分点, 差异达极显著水平。堆肥 50 d 时, 两处理的种子发芽指数差异不明显, 种子发芽率均达到 100%。烤烟茎秆与鸡粪堆肥成品的有机质和总养分(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O)含量、重金属(As, Hg, Pb, Cd, Cr)含量控制标准等完全达到有机肥质量的要求。

**关键词:** 烤烟茎秆; 鸡粪; 有机肥

中图分类号: S141.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2009)01-0194-05

## Utilization of Waste Tobacco Stem and Chicken Manure by Aerobic Composting

LI Fang<sup>1</sup>, TANG Li-na<sup>2</sup>, CAI Hai-yang<sup>1</sup>, XIONG De-zhong<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Tobacco Company, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** The composting effects of waste tobacco stems mixed with chicken manure were studied, which will provide a new way to rationally use waste tobacco stems and chicken manure, and could also reduce non-point source pollution caused by agricultural and poultry wastes and increase circular use of agricultural wastes. The results indicated that the treatment temperature of tobacco stems composted with chicken manure (treatment A) exceeded 50 ℃ for 10 days, and that of tobacco stems composted with ammonium bicarbonate (treatment B) exceeded 50 ℃ only for 2 days in the composting process. The harmful bacteria in treatment A could be eliminated easily. On the 30th day of composting, the carbon contents of treatment A remained basically stable and the rate of C/N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N were 15.8 and 0.43 respectively, but those of treatment B were still changeable and C/N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N rate were 23.5 and 0.60 respectively. The Germination Index (GI) of radish seed in solution lixiviated from treatment A was 15% higher than that extracted from treatment B, and their difference was greatly significant on the 20th day of composting. The GI of radish seed in extracting solution from both treatment A and B reached 100% and was not significantly different on the 50th day of composting, which indicated the poison contents in composting products decreased to safety range. The contents of organic matter, total nutrients (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) and heavy metals (As, Hg, Pb, Cd, Cr) in the composting product of tobacco stems and chicken manure conformed to the standard of organic manure quality.

**Keywords:** tobacco stem; chicken manure; organic manure

福建是我国主要的优质烤烟生产基地, 其烟叶质量居全国前列。2007 年福建烤烟种植面积达 6 万 hm<sup>2</sup>, 烟叶产量 12 万 t 左右, 烟叶产量与烤烟茎秆产量的比例约为 1:1, 由此推算福建每年产生约 12 万 t

烤烟茎秆。烤烟茎秆中含有大量的木质素和纤维素, 因此不易腐烂, 不能就地直接进行还田处理。福建烟区绝大部分的烟秆被当作废弃物堆积于田头、沟渠、河流旁或直接焚烧, 烤烟茎秆未能合理利用。堆肥是作物秸秆资源化利用的有效途径<sup>[1]</sup>, 但烤烟茎秆的 C/N 较高, 不能单独进行堆肥。近年来, 福建养殖业快速发展, 如位于福建烟区的圣农集团年产鲜鸡粪达 10 万 t, 如何合理利用鸡粪资源已成为企业可持续发展

收稿日期: 2008-03-05

基金项目: 福建省教育厅资助项目 (JB07093)

作者简介: 李 放 (1980—), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与施肥。

通讯作者: 熊德中 E-mail: xiongdz@126.com

的难题。鸡粪的 C/N 较低,单独进行堆肥,缺乏微生物活动所需的碳源,不利于堆料的养分保存。因此,研究烤烟茎秆与鸡粪混合堆肥的利用途径,对减少农业废弃物和养殖业造成的面源污染、保护烟区生态环境、提高农业废弃物的循环利用、促进烤烟种植业和畜禽养殖业的可持续发展具有重要的意义<sup>[2-3]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

在烟叶烘烤结束后采集烤烟茎秆,烤烟茎秆经粉碎后再进行堆肥。鸡粪采自养鸡场。烤烟茎秆的 C/N=38.6:1,鸡粪的 C/N=18.5:1。供试材料养分含量见表 1。

表 1 试验材料的养分及水分含量(%)

Table 1 The content of nutrients and water in experiment materials

| 堆肥材料 | N     | C     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | 水分    |
|------|-------|-------|-------------------------------|------------------|-------|
| 烤烟茎秆 | 1.10  | 42.46 | 0.22                          | 2.12             | 13.02 |
| 鸡粪   | 1.60  | 29.64 | 1.50                          | 2.03             | 10.04 |
| 碳酸氢铵 | 17.00 | 14.57 | —                             | —                | 1.37  |

### 1.2 堆肥方法

采用特制的堆肥箱进行堆肥(堆肥箱如图 1),试验设置两个堆肥处理。A 处理:烤烟茎秆+鸡粪;为比较用化学氮肥调节堆料 C/N 的效果,设 B 处理作为对照:烤烟茎秆+碳酸氢铵。A、B 处理堆料的 C/N 比均调节为 28:1,水分含量调节为 65%。堆料体积 1 m<sup>3</sup>。每一处理 2 次重复。堆肥过程中不补充水分,使水分变化处于自然状态。堆肥前 20 d 由于堆料分解反应较剧烈、耗氧量较大,所以每 5 d 翻堆一次。以后每 10 d 翻堆一次。每次采 3 个平行样品,部分鲜样密封后保存在 0~4 ℃下,部分样品经风干后进行相关指标的分析。每天上午 8:00 和下午 4:00 记录堆体温度,

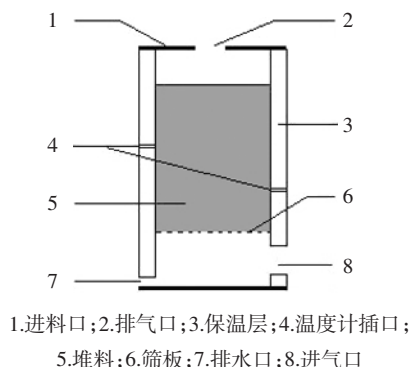


图 1 堆肥箱示意图

Figure 1 The sketch map of composting trunk

每 10 d 测定有关指标,总堆肥时间为 50 d。

### 1.3 有关指标的测定方法

堆料总碳含量用重铬酸钾容量-外加热法,全氮用蒸馏法,全磷用钒钼黄比色法,全钾用火焰光度计法<sup>[4]</sup>,有机肥氨基酸总量用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪测定,砷、汞、铅、镉、铬含量用 IPC 测定。

堆料水溶性指标:称取相当于 10 g 干样的新鲜堆肥样品,用去离子水按肥水比 1:10 在室温条件下以 150 r·min<sup>-1</sup> 下水平振荡 1 h,纱布过滤并经离心机以 10 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 30 min,取上清液用双层慢速滤纸过滤,收集滤液用作以下项目分析。pH 值用 pH S-25 型数显计测定,水溶性硝态氮用戴氏合金法测定,水溶性铵态氮用纳氏试剂光度法测定<sup>[5]</sup>。

种子发芽指数(GI):在培养皿中垫一张滤纸,均匀放入 10 粒白玉萝卜种子,肥料浸提液 7 mL,在 25 ℃ 黑暗恒温培养箱中培养 48 h 后,以公式(1)计算发芽率并测定根长,然后用公式(2)计算种子发芽指数<sup>[6]</sup>。每个样品做 3 个重复,同时以蒸馏水作空白试验。

$$\text{种子发芽率} = (\text{发芽种子的数量} / \text{种子的总数量}) \times 100\% \quad (1)$$

$$GI = (\text{浸提液种子发芽率} \times \text{发芽长度}) / (\text{空白液种子发芽率} \times \text{发芽长度}) \times 100\% \quad (2)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 堆肥过程中堆温的变化状况

堆温是反映堆体内微生物活性变化的重要指标,在一定程度上可反映堆料的腐熟度。如图 2 所示,堆温变化主要包括升温期、高温期、降温期 3 个阶段。堆肥 1 d 时,处理 A(烤烟茎秆+鸡粪)的堆温上升至 64 ℃,处理 B(烤烟茎秆+碳酸氢铵)的温度只上升到 37 ℃。此时处理 A 的堆温已达到整个堆肥过程的最高值,而处理 B 仍处于堆温上升期。在我国一些堆肥研究中,大部分堆料需经 3~5 d 的升温期才达到堆温的最高值<sup>[7,11]</sup>。处理 B 的堆温上升速度要比处理 A 的慢,这与两处理的堆料有关。鸡粪中含有大量的半消化物质,其纤维素含量较低,易分解物质含量高,同时它的磷含量高,可为微生物生长提供部分磷素。烤烟茎秆+鸡粪混合堆肥处理的堆温保持在 50 ℃以上的时间为 10 d,而烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的仅 2 d,说明烤烟茎秆+鸡粪混合堆肥可更有效杀灭堆料中所含的致病微生物<sup>[8]</sup>。随着易分解有机物的消耗和木质纤维素类物质的累积,堆料降解速度逐渐减小,A、B 两处理的堆温逐渐降低,处理 A 的降温速度比处理 B

稍慢,这可能与处理 A 中易降解有机物含量较高有关。A、B 两处理的堆温分别在堆肥的第 26、27 d 基本与气温达到平衡。

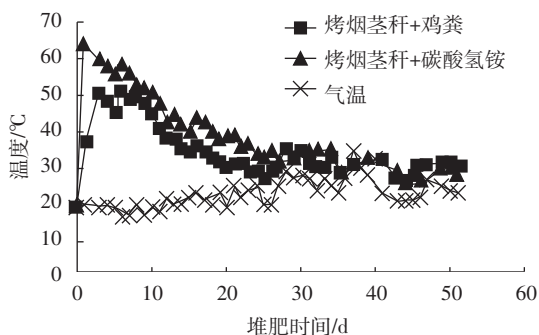


图 2 堆肥过程中堆体温度的变化

Figure 2 Change of temperature of tobacco stems composted in the composting process

## 2.2 堆肥过程中堆料 pH 值的变化

pH 是评价堆肥腐熟度的另一个重要指标,一般认为 pH 值在 7.5~8.5 时可获得最大的堆肥速度<sup>[7]</sup>。本试验中堆料 pH 值的变化趋势如图 3 所示。堆肥初期由于易分解有机物大量分解,产生大量氨气,使 A、B 两处理的堆料浸提液 pH 值上升。在堆肥第 10 d 时,烤烟茎秆+鸡粪处理的堆料浸提液 pH 值上升至 8.47,烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的 pH 值则上升至 8.98。堆肥进入降温期以后,有机物料的分解速度减慢,氨气释放率下降,堆料浸提液的 pH 值也有所下降。堆肥 30 d 以后,堆料浸提液的 pH 值基本趋于稳定。但在整个堆肥过程中,烤烟茎秆+鸡粪处理的堆料浸提液 pH 值比烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的低。

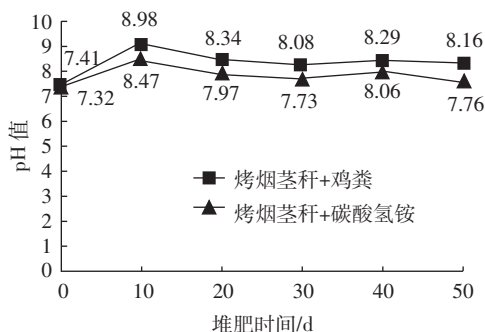


图 3 堆肥过程中堆料浸提液 pH 值的变化

Figure 3 Change of pH in solution lixiviated from tobacco stems composted in the composting process

## 2.3 堆肥过程堆料中铵态氮、硝态氮的变化状况

### 2.3.1 铵态氮的变化状况

堆肥过程中堆料浸提液铵态氮的变化如表 2 所示。A、B 两处理的堆料浸提液铵态氮浓度均表现出先上升后下降的趋势,与黄国锋等的研究结果基本一致<sup>[7]</sup>。处理 A 的堆料浸提液初始铵态氮含量比处理 B 的稍低,这主要是因为处理 B 以碳酸氢铵补充氮素。堆肥 10 d 时,处理 A 堆料浸提液铵态氮浓度为  $1.9400 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,处理 B 堆料浸提液铵态氮浓度为  $2.0105 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。堆肥 30 d 后,处理 A、B 的堆温基本与气温平衡,硝化作用不再因堆温过高受到抑制,堆料中的铵态氮被硝化细菌转化为硝态氮,A、B 两处理的铵态氮含量均逐渐下降。在堆肥 40 d 时,A 处理堆料浸提液的铵态氮浓度基本稳定,B 处理的仍有所下降。

### 2.3.2 硝态氮的变化状况

堆肥前 10 d,处理 A 的硝态氮含量比处理 B 的硝态氮含量上升幅度小(表 2),主要是因为处理 A 堆肥 1~10 d 的堆温比处理 B 的高。在高温和高浓度  $\text{NH}_3$  的条件下,硝化细菌的生长活动受到抑制<sup>[9]</sup>。堆肥 10~20 d 期间,处理 A 堆料硝态氮含量剧增,处理 B 堆料硝态氮的含量增幅也比堆肥 1~10 d 时的增幅大。这可能是进入降温期,使硝化作用不再受到抑制,硝化作用加强的结果。在堆肥 20 d 后,烤烟茎秆+鸡粪处理的硝态氮含量比添加碳酸氢铵处理的高。

美国加利福尼亚州堆肥质量委员会(CCQC)提出,铵态氮与硝态氮的比值是评价堆肥腐熟度的主要指标。如表 2 所示,烤烟茎秆+鸡粪处理的铵态氮与硝态氮的比值在 30 d 时为 0.43,40 d 后为 0.11;而烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的铵态氮与硝态氮的比值在 30 d 时仍达 0.60,40 d 时为 0.14。说明烤烟茎秆+鸡粪比添加碳酸氢铵更有利于堆料的腐熟。

## 2.4 堆肥过程中堆料全碳、全氮含量的变化

### 2.4.1 全碳含量的变化

在堆料腐解过程中,微生物首先利用易降解的有机碳进行新陈代谢,碳素物质不断以二氧化碳和易挥发有机酸等形式释放。因此碳素含量的稳定也是堆肥腐熟度的一个重要指标。一些研究认为总碳降解 38% 以上堆肥达腐熟<sup>[12]</sup>。但是这一指标受堆肥物料及堆肥工艺的影响,并没有统一的阈值。如表 3 所示,本试验中 A、B 两处理全碳含量均表现出下降趋势。堆肥第 30 d,处理 A、B 堆料的碳含量分别为 25.00%、35.00%,比堆肥初期的碳素含量分别下降了 12.69%、6.45%。堆肥 30 d 后,烤烟茎秆+鸡粪处理的碳素含量基本趋于稳定;烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的碳素含量仍有所下降。从堆料全碳含量的变化可知,

表 2 堆肥过程中可溶性铵态氮、硝态氮及铵态氮硝态氮的变化状况( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )Table 2 Change of content of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  and the rate of  $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$  in the composting process

| 处理    | 项目     | 时间/d    |         |         |         |         |         |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       |        | 1       | 10      | 20      | 30      | 40      | 50      |
| 烟秆+鸡粪 | 铵态氮(a) | 1.840 1 | 1.940 0 | 1.570 2 | 0.530 3 | 0.145 0 | 0.140 2 |
| 烟秆+鸡粪 | 硝态氮(x) | 0.178 2 | 0.230 0 | 0.930 0 | 1.233 6 | 1.311 9 | 1.302 0 |
| 烟秆+鸡粪 | a/x    | 10.32   | 8.43    | 1.69    | 0.43    | 0.11    | 0.11    |
| 烟秆+碳铵 | 铵态氮(a) | 1.998 0 | 2.010 5 | 1.300 3 | 0.660 1 | 0.165 1 | 0.133 2 |
| 烟秆+碳铵 | 硝态氮(x) | 0.272 1 | 0.492 6 | 0.862 8 | 1.095 8 | 1.190 0 | 0.987 0 |
| 烟秆+碳铵 | a/x    | 7.34    | 4.08    | 1.51    | 0.60    | 0.14    | 0.13    |

烤烟茎秆+鸡粪比添加碳酸氢铵处理的分解速度快。

## 2.4.2 全氮含量的变化

堆肥过程中,随着有机物质的分解,堆料总量不断减少,氮素不断累积,堆料全氮含量表现出不断上升的趋势<sup>[9]</sup>。如表 3 所示,在堆肥的 1~40 d, A、B 两处理的全氮含量均表现出上升趋势, 处理 A 的氮素含量上升速度比处理 B 的氮素含量上升速度快。堆肥 40 d 时, 烤烟茎秆+鸡粪处理的全氮含量已基本趋于稳定; 此时, 烤烟茎秆+碳酸氢铵的全氮含量则继续保持上升趋势。堆肥 50 d 时, 处理 A 的全氮含量比处理 B 的多 0.12 个百分点。

## 2.4.3 C/N 比的变化

固相碳氮比也是评价堆肥腐熟度的重要指标之一。一些研究者认为腐熟的堆肥理论上应趋向于微生物菌体的 C/N, 即 16 左右<sup>[12]</sup>。但由于堆肥物料的差异, 实际堆肥中堆料碳氮比接近 16 并不代表它的腐熟度就比较高。但该指标的变化趋势在一定程度上反映了堆肥的进度, 对于同一物料其 C/N 比越低, 堆料有机质腐解就越彻底。如表 3 所示, 堆肥 1 d 后处理 A(烤烟茎秆+鸡粪处理)、B(烤烟茎秆+碳酸氢铵) 的 C/N 分别为 27.17、29.02。这可能是处理 B 以碳酸氢铵补充氮素, 碳酸氢铵中的部分氮挥发损失造成。堆肥 1~

40 d 期间, A、B 两处理的 C/N 均表现出逐渐下降的趋势; 堆肥前 30 d, 处理 A 的 C/N 下降幅度比处理 B 的下降幅度大, 所以烤烟茎秆+鸡粪的堆肥方式优于烤烟茎秆+碳酸氢铵的堆肥方式。

## 2.5 堆料对种子发芽指数的影响及堆肥成品养分含量状况

### 2.5.1 堆肥期间堆料对种子发芽指数的影响

种子发芽指数是目前较为接受的堆肥腐熟度指标, 也是评价有机肥中有毒物质含量的重要指标<sup>[12-13]</sup>。但由于堆肥物料的不同, 其判定阈值不统一。如图 4 所示, A、B 两处理的种子发芽指数均表现出上升的趋势, 这说明随堆肥过程的进行, 有毒物质逐渐分解。本试验中, 堆肥 20 d 时, 烤烟茎秆+鸡粪处理的种子发芽指数已达 50.00%, 而烤烟茎秆+碳酸氢铵处理的种子发芽指数为 35.00%, 两处理的种子发芽指数经统计分析差异达极显著水平。堆肥 50 d 时, 处理 A、B 的种子发芽指数分别达到 56.70%、58.31%, 两处理的种子发芽指数差异不明显; 此时处理 A、B 的种子发芽率均达到 100%。已经达到美国加利福尼亚州堆肥质量委员会制定的堆肥腐熟标准。因此可认为种子发芽指数  $\geq 56\%$  时堆料中有毒物质含量已降到了安全范围。

表 3 堆肥过程中堆料全 C、全 N、C/N 比的变化状况

Table 3 Change of content of total C, total N and the rate of C/N in the composting process

| 处理    | 项目    | 时间/d  |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |       | 1     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    |
| 烟秆+鸡粪 | 全 C/% | 37.69 | 31.81 | 28.35 | 25.00 | 26.00 | 26.86 |
| 烟秆+鸡粪 | 全 N/% | 1.39  | 1.27  | 1.57  | 1.58  | 1.96  | 1.98  |
| 烟秆+鸡粪 | C/N   | 27.1  | 25.0  | 18.1  | 15.8  | 13.3  | 13.5  |
| 烟秆+碳铵 | 全 C/% | 41.57 | 37.48 | 37.00 | 35.00 | 34.60 | 32.99 |
| 烟秆+碳铵 | 全 N/% | 1.43  | 1.38  | 1.56  | 1.50  | 1.59  | 1.86  |
| 烟秆+碳铵 | C/N   | 29.1  | 27.1  | 23.7  | 23.5  | 21.8  | 17.7  |

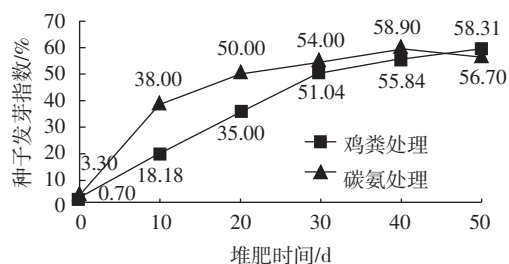


图 4 堆肥过程中堆料种子发芽指数

Figure 4 The germination index of seed in solution lixiviated from compost

### 2.5.2 烤烟茎秆与鸡粪堆肥成品养分含量状况

对烤烟茎秆与鸡粪的堆肥成品(A处理的堆肥)的养分测定表明,有机质含量为49.8%,全氮、磷、钾的含量分别为1.98%、0.32%、2.58%,总养分(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O)含量为4.88%,≥4.0%;总氨基酸含量7.14%;砷含量0.7 mg·kg<sup>-1</sup>,汞含量0.05 mg·kg<sup>-1</sup>,铅含量16.0 mg·kg<sup>-1</sup>,镉含量1.0 mg·kg<sup>-1</sup>,铬含量0.1 mg·kg<sup>-1</sup>。一些研究认为,商品有机肥中重金属含量与有机物料中重金属含量呈显著正相关<sup>[10]</sup>。本试验烤烟茎秆与鸡粪的堆肥成品总养分含量、重金属含量控制标准等完全达到有机肥质量的要求(NY525—2002)。

### 3 小结与讨论

本次试验中A、B两处理堆肥保持在50℃以上的时间分别为10 d和2 d。据有关研究,堆体温度在55℃条件下保持3 d以上或50℃以上保持10 d是杀灭堆料中所含致病微生物,保证堆肥的卫生指标合格的重要条件<sup>[8]</sup>。烤烟茎秆与鸡粪联合堆肥已经满足了这一标准。

对于堆肥腐熟指标的确定,主要从堆料的稳定性和安全性等方面进行考虑。第一,堆肥30 d后堆温与气温已达到平衡,堆料已趋于稳定;第二,堆肥40 d时A、B两处理的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N分别为0.11、0.14,此时A、B两处理的均趋于稳定,这一点反映堆肥过程中氮素转化已趋于平衡;第三,堆肥50 d时A、B两处理的固相C/N分别达到13.5、17.7,A处理的C/N已达到理论上堆肥稳定时的阈值<sup>[12]</sup>。这说明此时烤烟茎秆与鸡粪联合堆肥的有机物分解过程已接近尾声,施入土壤不会出现微生物与作物争抢养分的现象;第四,堆肥50 d时的A、B两处理的种子发芽指数分别为56.70%、58.31%,且A、B两处理的种子发芽率均达到了100%,说明堆料中的有毒物质也降到较安全的范围。

烤烟茎秆与鸡粪的堆肥成品的有机质、总养分(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O)、重金属含量等完全达到有机肥质量的要求,说明烤烟茎秆与鸡粪进行混合堆肥是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 王荣乐,王洪铭. 秸秆资源的综合利用[J]. 福建热作科技, 2005, 30(1):41-42.  
WANG Rong-le, WANG Hong-ming. Synthetic use of straw resources[J]. *Fujian Science and Technology of Tropical Crops*, 2005, 30(1):41-42.
- [2] 黄炎坤. 消除粪便污染是实现养鸡业可持续发展的关键[J]. 家畜生态, 2001, 22(3):60-63.
- [3] 刘卫东,黄炎坤. 鸡场粪污的综合治理[J]. 畜牧兽医杂志, 2000, 19(1):25-27.  
LIU Wei-dong, HUAN Yan-kun. Synthetic administration of the excreta pollution in poultry farming[J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2000, 19(1):25-27.
- [4] 南京农业大学主编. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社, 1986:200-324.  
Nanjing Agriculture University Editor. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Agriculture Publishing House, 1986:200-324.
- [5] 国家环保局. 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, 1997:278-280.  
Environmental Protection Bureau of China. The method of water and waste water monitoring analysis[M]. Environment Science Publishing House of China, 1997:278-280.
- [6] 陈世和,张所明. 城市垃圾堆肥管理与工艺[M]. 上海:复旦大学出版社, 1990:26-106.  
CHEN Shi-he, ZHANG Suo-ming. Manage and technology of composting about urban garbage[M]. Fudan University Publishing House, 1990:26-106.
- [7] 黄国锋,钟流举,张振田,等. 猪粪堆肥化处理过程中的氮素转变及腐熟度研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11):1459-1462.  
HUANG Guo-feng, ZHONG Liu-ju, ZHANG Zhen-tian, et al. On nitrogen transformation and maturity during composting of pig manure[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11):1459-1462.
- [8] GB 7959—1987, 粪便无害化卫生标准[S].  
GB7959—1987, Sanitation Standard of Excrement Innoxiousness[S].
- [9] 黄懿梅,安韶山,白红英,等. 鸡粪与不同秸秆高温堆肥中氮素的变化特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(11):53-58.  
HUANG Yi-mei, AN Shao-shan, BAI Hong-ying, et al. Study on the nitrogen changes during the composting of chicken manure and different straws under higher temperature[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 2004, 32(11):53-58.
- [10] 刘荣乐,李书田,王秀斌,等. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2):392-397.  
LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, et al. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2):392-397.
- [11] Campbell C D, Darbyshire J F. The composting of tree-bark in small reactors adiabatic and fixed temperature experiments[J]. *Biological Wastes*, 1990, 31(3):175-185.
- [12] Garcia C T Hernandez F Costa, J A Pascual. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes, germination experiments[J]. *J Sci Food Agric*, 1992, 59:313-319.
- [13] Zucconi F, M forte, A Monac, et al. Evaluating toxicity of immature compost[J]. *Biocycle*, 1981, 22:54-57.