

# 小麦秸秆静态高温堆腐过程中的理化特征

孙利宁<sup>1</sup>, 谷洁<sup>2</sup>, 高华<sup>2</sup>, 张社奇<sup>1</sup>, 陈胜男<sup>1</sup>, 陈强龙<sup>2</sup>, 甄丽莎<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为了解小麦秸秆堆肥过程中的生物化学特征, 进行了高温好氧堆肥试验。结果表明, 添加复合微生物腐解菌剂处理较不添加复合微生物腐解菌剂(CK)升温快, 温度高, 高温持续时间长; 堆腐第2d添加菌剂处理堆体温度上升到50℃以上, 第3d达到最高温度67.1℃, 50℃以上持续6d; CK堆腐第3d达到50℃, 第4d达最高温度59.5℃, 50℃以上持续5d。堆腐第9d添加菌剂处理E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值达高峰值3.419, CK的达高峰值4.085, 堆腐第23d后添加菌剂处理的胡敏酸E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值为1.512~1.709, 而CK处理的E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值为1.649~2.060, 堆腐过程添加菌剂处理的E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值一直低于CK, 表明添加菌剂能促进腐殖质的缩合和芳构化。堆肥腐熟后pH值较堆制前有所提高, 添加菌剂处理的pH值相对较低, 变化幅度较小。加入微生物菌剂处理的电导率(EC)值较高, 且在持续高温阶段高于后熟阶段。

**关键词:** 小麦秸秆; 高温堆腐; E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值; pH值; EC值

**中图分类号:** X71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0156-05

农作物秸秆数量大, 分布广, 是农业生产的副产品, 也是一种重要的生物资源。中国每年秸秆产量约 $6 \times 10^8$  t, 其中含氮量超过 $3 \times 10^6$  t, 含磷约 $7 \times 10^5$  t, 含钾近 $7 \times 10^6$  t<sup>[1]</sup>, 其总养分相当于中国目前化肥施用量的1/4以上, 并且还含有大量的有机质及微量元素。大量农作物被弃置或秸秆被焚烧于田间, 既污染环境又浪费了有机肥资源。堆肥化处理则是秸秆无害化与资源化的有效途径, 在治理农业污染源的同时, 生产出优质有机肥, 可为发展生态农业和绿色农业提供重要的技术支撑<sup>[2]</sup>。农作物秸秆的有机质含量高, 是堆肥的较佳原料, 其堆肥产品的农用价值较高<sup>[3]</sup>, 是重要的有机肥。传统堆肥过程主要是一个由自然微生物参与实现腐熟的生理生化过程, 一般都是采用增加营养和改善环境条件的方法, 利用堆制原料中土著微生物来降解有机污染物。由于受初始微生物数量和有益菌所占比例的限制, 传统堆肥法存在发酵时间长、产生臭味且肥效低等问题<sup>[4]</sup>。大量研究表明, 堆肥中接种微生物制剂能使堆温快速升高, 有效杀灭堆肥物料中的病原微生物和杂草种子, 显著加快堆肥的腐熟, 提高堆肥质量<sup>[5]</sup>。

因此, 本研究以小麦秸秆为试验材料, 采用高温好氧堆肥技术, 通过对添加复合微生物腐解菌剂和CK两种处理的温度、胡敏酸E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>值、pH值、EC值在不同发酵阶段的变化进行分析, 研究小麦秸秆腐解过程的变化, 为秸秆肥料化利用提供理论依据。

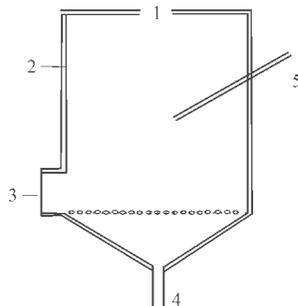
## 1 材料方法

### 1.1 试验材料

堆肥有机物料为小麦秸秆, 其含水率(MC)为10%, 总有机碳(TOC)396.1 g/kg, 全氮(TN)6.3 g/kg, 全磷(TP)、全钾(TK)分别为1.86 g/kg, 12.4 g/kg, C/N为62.9; 无机肥料尿素(Urea, U)为中国石油乌鲁木齐化工集团生产, 总氮(TN)≥46.4%, 复合微生物腐解菌剂为陕西省循环农业工程技术研究中心研制, 使用量为堆料干重的0.6%。

### 1.2 堆肥装置

堆肥装置如图1所示, 为高1.0 m, 内径0.6 m,



1. 装料、通气口 Entrance of material and gas exit  
2. 隔热层 Layer of heat insulation  
3. 出料口 Exit of material  
4. 通气口 Entrance of air  
5. 温度计 Thermometer

图1 堆肥发酵装置

Fig. 1 Diagram of composting device

收稿日期: 2009-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(40771109); 科技部农转资金(2007GB000394); 国家科技支撑计划(2007BAD89B16, 2006BAD17B01-01)

作者简介: 孙利宁(1981-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事农业废弃物生物腐解研究。E-mail: sunlining19810505@126.com。

通讯作者: 高华(1956-), 男, 陕西咸阳人, 高级农艺师, 主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail: gaohua929@163.com。

外径 0.7 m 的圆柱形发酵罐(反应器)。发酵罐由双层不锈钢构成外壳,层间有 0.05 m 厚的保温材料;发酵罐底部的不锈钢圆板上有小孔,空气从罐底部进入,通过圆板的透气小孔进入罐内,穿过堆肥物料后从上部排出。

### 1.3 试验方法

试验于 2008 年 3 月 26 日至 5 月 16 日在西北农林科技大学资源环境学院堆肥试验场进行。分添加复合微生物腐解菌剂处理和不添加复合微生物腐解菌剂(CK)两组;先将小麦秸秆切成 3~5 cm 长,添加菌剂处理的需先将活化好的菌剂溶于水中均匀喷洒;再将尿素溶于水中均匀喷洒,调节混合物 C/N 比为 30:1;加水使堆料水分含量在 70%~72%,充分搅拌,混匀。将以上处理的混合有机物质分别装入堆肥装置中。堆料不同部位插有热敏温度计(精度 0.1℃),记录堆肥物料的温度变化。定期从堆肥装置中部采样,混匀,冷藏 4℃ 冰箱用于测定各种指标。堆肥腐熟后停止采样。

### 1.4 测定项目与方法

1.4.1 温度测定 将温度计插入堆料中,深度为 25~30 cm,每天 10:00、16:00 测定温度,以两次温度的平均值作为堆体温度,绘制温度变化曲线。

1.4.2 胡敏酸 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值测定方法 蒸馏水浸提样品(蒸馏水与样品的质量比为 20:1),离心后取上清液,分别在 465 nm 下和 665 nm 波长下用 UV-2100 型分光光度计测定吸光值,计算其比值<sup>[6,7]</sup>。

1.4.3 pH 值的测定 将新鲜样品与蒸馏水按 1:10 (W:V) 比例混合,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用精密 pH 计(PHS-3C)测定上清液的 pH 值。

1.4.4 EC 值的测定 将新鲜样品与去离子水按 1:10(W:V) 比例混合,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用电导率仪(DDS-11A)测定上清液的 EC 值<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 堆肥过程中温度变化

堆体温度变化是堆肥进程的宏观反映,也是影响微生物活动和堆肥工艺过程的重要因素<sup>[9]</sup>。依据温度变化可将堆肥分为 3 个阶段即升温阶段、高温阶段和降温阶段,由图 2 可见,两种处理都包含了这 3 个阶段。堆体温度能在一定程度上反映堆肥系统中的微生物活性,同时也对其中微生物的活性产生影响,因此它是堆肥过程控制的一个重要指标<sup>[10]</sup>。

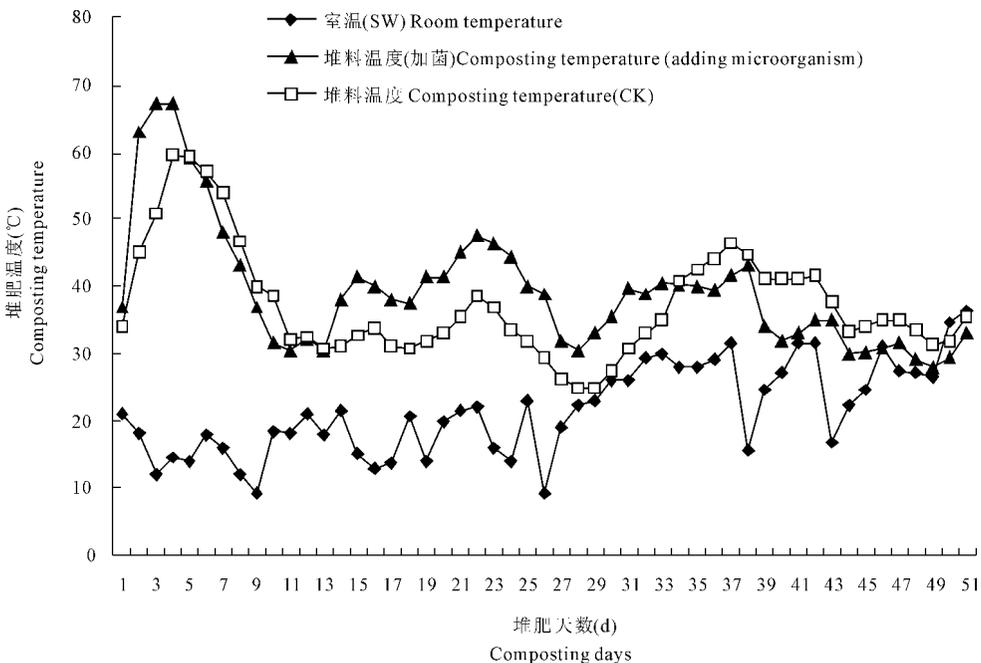


图 2 堆肥进程中的温度变化

Fig. 2 Changes of temperature during composting

由图 2 可见,两种处理的温度变化趋势基本相同,添加微生物菌剂处理堆体温度在堆肥第 2 d 上升到 50℃ 以上,第 3 d 达到最高温度 67.1℃。CK 在堆肥第 3 d 上升到 50℃,第 4 d 达到最高温度

59.5℃。添加菌剂处理和 CK 在 50℃ 以上分别持续了 6 d 和 5 d。添加微生物菌剂和 CK 均满足《农业废弃物无害化处理标准》的规定:堆肥温度在 50℃~55℃ 以上持续 5~7 d(或 55℃ 条件下保持 3 d 以

上)即可杀灭病原微生物。由温度变化曲线可以看出,升温期二者存在较大差异,且前者温度高于后者,主要是由于添加微生物腐解菌剂的作用,使有机物料得到迅速分解,温度上升较快,迅速达到 60℃ 以上,因此,添加菌剂处理要早于未添加菌剂处理进入发酵期;而降温期差异不显著,主要是因为降温期以生物合成反应为主,也应该有较大差异,但由于发酵罐保温效果较好,使热量散失较慢而造成了二者差异的不显著<sup>[11]</sup>。

## 2.2 胡敏酸 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值的变化

胡敏酸是腐殖质物质的重要组成部分,它的含量及特性在一定程度上能反映出腐殖质物质的类型和性质<sup>[7]</sup>,胡敏酸在 465 nm 和 665 nm 处的光密度的比值通常用来反映腐殖质物质的缩合、芳构化程度,其比值以 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 表示,通常, E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 越低,腐殖化和聚合程度越高,分子量愈大<sup>[12]</sup>。

由图 3 可见,添加菌剂处理和 CK 的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值变化趋势相同,堆腐前期, E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值随着温度的升高迅速增长并达到高峰,堆腐第 9 d 添加菌剂处理 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值达高峰值 3.419, CK 在堆腐第 10 d 达到高峰值,高峰值为 4.085,比加菌处理高 0.666,随后 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值随着温度的降低缓慢下降,并保持稳定,堆腐第 15 d 到堆腐结束添加菌剂处理 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值保持在 1.512~1.709, CK 的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值保持在 1.649~2.060;整个堆腐过程添加菌剂处理的 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值都低于 CK 的,这表明添加菌剂能促进腐殖质的缩合和芳构化,加快农作物秸秆腐殖化。

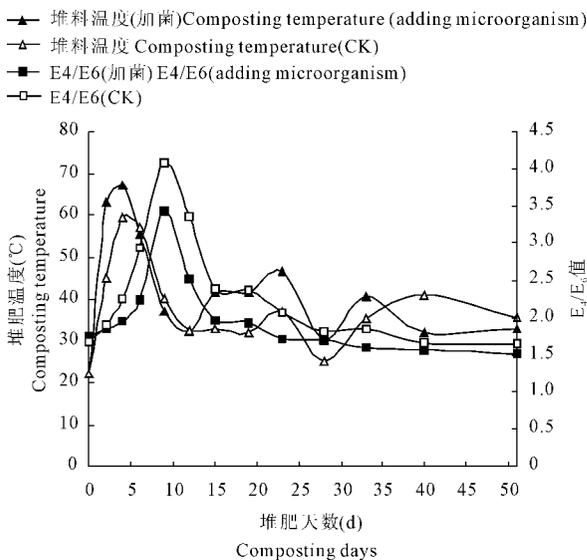


图 3 堆肥过程中 E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> 值变化

Fig.3 Changes of E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> during composting

## 2.3 pH 值变化

pH 值的变化可较为直观地揭示堆肥的进程

度<sup>[13]</sup>。由图 4 可见,两种处理的 pH 值变化趋势相同,堆腐初期有机物质矿化分解产生了有机酸, pH 值随之降低。添加菌剂处理的 pH 值在堆腐第 4 d 降至最低值 8.06; CK 的 pH 值在堆腐第 4 d 降至最低值 8.19。堆腐后期,矿质化过程产生的有机酸与其他物质合成腐殖质,使 pH 值升高。堆肥前后 pH 值变化不大。堆肥后期添加菌剂处理的 pH 值保持在 8.38~8.50 之间, CK 的 pH 值保持在 8.55~8.66 之间。根据文献<sup>[14]</sup>,腐熟堆肥的 pH 值指标为 8.0~9.0,两种处理在整个堆腐过程 pH 变化都符合堆肥标准的要求。在有机物料发酵过程中, pH 值升高,会增加氨气的产生,一般来说,应尽量控制 pH 的上升,就会减少氮素损失<sup>[15]</sup>。由图可以看出,添加菌剂处理的 pH 值一直处于较低的水平,表明添加菌剂对 pH 升高有较强的控制能力,可减少氮素的损失。

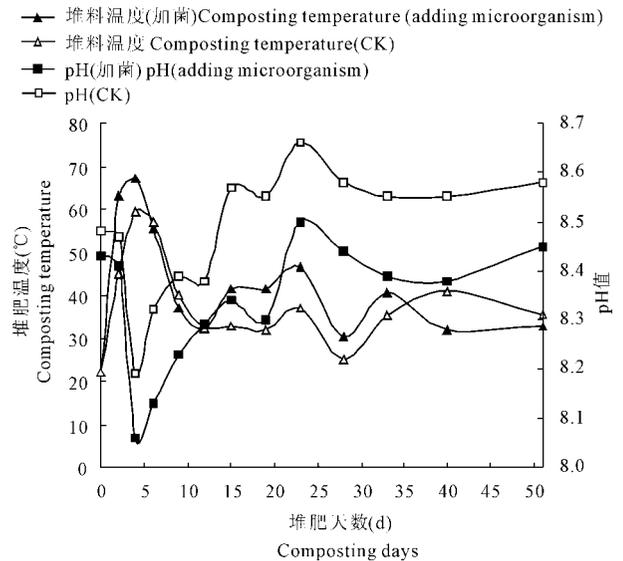


图 4 堆肥过程中 pH 值变化

Fig.4 Changes of pH during composting

## 2.4 电导率变化

电导率(EC)的大小反映了堆腐过程有机离子和无机离子浓度变化。由图 5 可以看出,堆肥初期有机物料的分解产生大量小分子物质,其中有小分子有机酸及各种阴、阳离子如  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HSO}_4^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{H}^+$  等使 EC 值上升,堆腐第 6 d 添加微生物菌剂处理 EC 值达到高峰值 1.69 mS/cm, CK 在堆腐第 9 d 达到最高值 1.56 mS/cm,对于用于肥料的堆肥产品,其 EC 值不宜过大,否则会影响植物的正常生长<sup>[13]</sup>。两种处理的电导率值均小于 Garcia 给出的堆肥的电导率值(小于 4 mS/cm),可以安全使用<sup>[16]</sup>。随着  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$  的挥发, EC 值开始缓慢下降

并保持稳定。堆肥腐熟后的 EC 值较堆制前低。堆腐过程中,添加微生物菌剂处理的 EC 值较 CK 的高,表明添加微生物菌剂对有机质的矿化有促进作用。

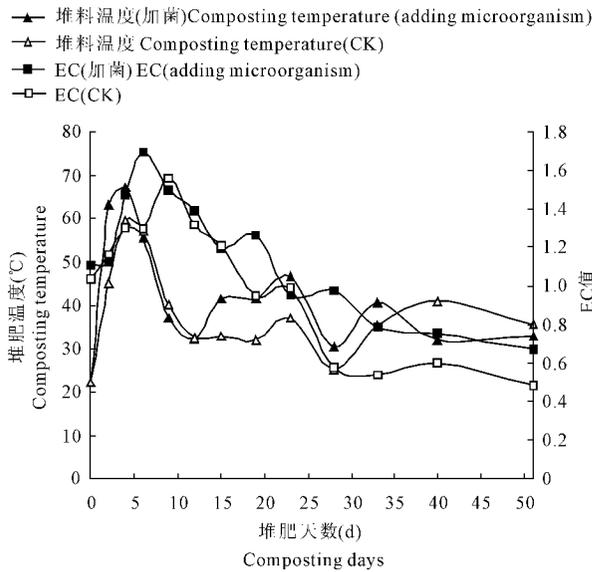


图5 堆肥过程中 EC 值变化

Fig. 5 Changes of EC during composting

### 3 结论

1) 小麦秸秆静态高温堆腐过程中添加微生物菌剂处理升温快,进入发酵期早,升温明显且高温持续时间长。添加菌剂处理的堆肥第 2 d 上升到 50°C 以上,第 3 d 达到最高温度 67.1°C;CK 第 3 d 上升到 50°C 以上,第 4 d 达到最高温度 59.5°C;添加菌剂处理和 CK 在 50°C 以上分别维持 6 d 和 5 d。

2) 堆肥过程中添加菌剂处理的  $E_4/E_6$  值高于 CK 的  $E_4/E_6$  值,堆肥第 15 d 后,  $E_4/E_6$  值保持在比较稳定的水平,添加微生物菌剂处理的  $E_4/E_6$  值为 1.512~1.709,CK 的为 1.649~2.060,说明添加微生物菌剂可降低胡敏酸  $E_4/E_6$  值,加速腐殖质的缩合和芳构化。

3) 添加菌剂处理和 CK 的 pH 变化均为先降后升,堆腐第 4 d 添加菌剂处理和 CK 的 pH 值分别降至最低值 8.06、8.19;随后 pH 开始升高,添加菌剂处理堆腐第 23 d 达高峰值 8.65,CK 处理堆腐第 22 d 达高峰值 8.48,堆肥制作后的 pH 值较堆制前有所

提高,持续高温阶段低于后期熟化阶段。EC 变化为先升后降,添加菌剂处理和 CK 的 EC 值分别在堆腐第 6、9 天达最高值 1.69 mS/cm、1.56 mS/cm,随后随着温度的降低而降低,堆肥制作后较堆制前则是降低的,持续高温阶段高于熟化阶段。

### 参考文献:

- [1] 李庆康, 吾雷, 刘海琴, 等. 我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 251-254.
- [2] 李玉红, 王岩, 李清飞. 外源微生物对牛粪高温堆肥的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 609-612.
- [3] 魏源送, 李承强, 樊耀波, 等. 不同通风方式对污泥堆肥的影响[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 54-59.
- [4] 席北斗, 孟伟, 黄国和, 等. 生活垃圾堆肥接种技术[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 157-160.
- [5] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用[J]. 环境科学, 2001, 22(5): 122-125.
- [6] 张亚宁. 堆肥腐熟度快速测定指标和方法的建立[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [7] 严祖升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 129-150.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 171-179.
- [9] Cardenas-Gonzalez B, Ergas S J, Switzenbaum M S. Characterization of Compost Biofiltration Media[J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1999, 49: 784-793.
- [10] 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 Environment Microbiology, 1981, 41(6): 1321-1330.
- [11] 王玉军, 窦森, 催俊涛, 等. 复合菌剂对农业废弃物堆肥过程中理化指标变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1354-1358.
- [12] 丁爱芳, 潘根兴, 李恋卿. 太湖地区几种水稻土团聚体颗粒组中 PAHs 的分布及其环境意义[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 293-299.
- [13] 黄懿梅, 苟春林, 来航线, 等. 两种添加剂对玉米秸秆堆肥氮素转化和堆肥质量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 112-118.
- [14] 李艳霞, 王敏建, 王思菊. 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): 98-103.
- [15] Smars S, Gustafsson L, Bech-Friis B, et al. Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control[J]. Bioresource Technology, 2002, 84: 237-241.
- [16] Garcia C, Hernandez T, Costa F. Study on waste extract of bio-solids composts[J]. Soil Sci Plant Nutr, 1991, 37(3): 399-408.

## Biochemical characteristics of wheat straw during composting at high-temperature and static state

SUN Li-ning<sup>1</sup>, GU Jie<sup>2</sup>, GAO Hua<sup>2</sup>, ZHANG She-qi<sup>1</sup>,  
CHEN Sheng-nan<sup>1</sup>, CHEN Qiang-long<sup>2</sup>, ZHEN Li-sha<sup>2</sup>

(1. College of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to study the biochemical characteristics of wheat straw during its composting at high-temperature and static state. There were two treatments in this experiment, one was with adding microorganism agent, and the other was without adding microorganism agent (CK). The results indicated that the treatment of adding microorganism agent had faster temperature rising, higher temperature and longer high temperature duration than CK; The  $E_4/E_6$  values increased in the initial stage but decreased thereafter, the  $E_4/E_6$  values of materials of adding microorganism fungus were 1.512~1.709, and the  $E_4/E_6$  values of materials of CK were 1.649~2.060 after 23 d, which indicated that microorganism fungus could promote processing humus; It has been discovered that pH values increased after composting while the rate of conductance decreased.

**Keywords:** straw; high-temperature composting; temperature;  $E_4/E_6$ ; pH; EC

(上接第 148 页)

## Response of two kinds of soil enzyme to different crops and fertilization modes in loess hilly and gully region

HUANG Mao-lin<sup>1</sup>, LIANG Yin-li<sup>1,2</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>, SUN Cun-xi<sup>1</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to determine a reasonable tillage system, a two-year experiment was conducted in Ansai, northern Shaanxi to test soil urease activity and sucrase activity of the fields of *Glycine max* L., *Zea mays* L., *Semen Phaseoli* and *Solanum tuberosum* Linn in the treatments of the tillage fertilizer (CF), tilling organic manure (CM), tillage no fertilizer (CN); no-till fertilizer (NF), no-till organic manure (NM), no-tillage no fertilizer (NN) in loess hilly and gully region. The results showed that; in the flowering stage soil urease activity of soybean and maize fields increased, but sucrase activity decreased, while those of adzuki bean and potato were opposite. After harvest time, soil urease activity and sucrase activity of maize field increased by 83%, while soil urease activity of potato, adzuki bean and soybean fields decreased, and the decreasing range was above 10% and sucrase activity increased by over 40%. From flowering stage to harvest time, no tillage reduced soil urease activity but increased sucrase activity. The effect of environmental protection was that the two kinds of soil enzyme showed high activity in the growth period but low activity after harvest, which can improve fertilizer efficiency in crop growth period and reduce the emission of greenhouse gas after harvest.

**Keywords:** soil and water conservation tillage; environmental protection; soil enzyme; loess hilly and gully region