

棉花秸秆堆腐特性及腐熟度评价

孙凯宁^{1,2}, 于君宝^{1*}, 宁 凯^{1,2}, 管 博¹, 宋守旺³, 丁广民³

(1.中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东省海岸带环境过程重点实验室, 中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地研究室, 山东 烟台 264003; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.山东黄河三角洲国家级自然保护区大汶流管理站, 山东 东营 257500)

摘要:以黄河三角洲地区棉花秸秆为原材料,系统分析了菌剂和碳氮比对棉秆堆肥过程中物理、化学、生物学相关特征指标的影响,同时对堆肥进行了腐熟度评价。结果表明,单独使用菌剂处理效果不明显,单纯加氮素的处理可以延长堆体高温(>50℃)维持时间,棉秆+氮肥+菌剂(C:N=25)处理的配比是棉秆快速腐熟的最优处理。在棉秆腐熟度评价中,C/N、TOC、TN、*T*值适宜作为优选指标,pH、温度和*GI*适合作为一般性评价指标。通过试验,初步建立了棉花秸秆腐熟度指标评价体系,可为棉秆的堆腐利用提供科学指导,同时充分利用棉秆来改良土壤,可在一定程度上减少因棉秆直接燃烧向大气排放的CO₂总量。

关键词:棉秆;堆肥;腐熟度评价;发芽指数

中图分类号:S141.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)02-0393-07 doi:10.11654/jaes.2013.02.026

The Composting Characteristics of Cotton Straws and Maturity Evaluation

SUN Kai-ning^{1,2}, YU Jun-bao^{1*}, NING Kai^{1,2}, GUAN Bo¹, SONG Shou-wang³, DING Guang-min³

(1.Key Laboratory of Coastal Environment Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research(YIC), Chinese Academy of Sciences(CAS); Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, YICCAS, Yantai 264003, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Dawenliu Station, Yellow River Delta National Nature Reserve Administration Bureau, Shandong Province, Dongying 257500, China)

Abstract: Using cotton straws from the Yellow River Delta region as compost materials, the physics, chemistry, biology indexes of cotton straw compost, effected by microorganisms and C/N, were measured periodically and the maturity degree was evaluated. The result showed that the processing effect of microbial agent treatment was not obvious. Compared with CK and microbial agent treatment, the nitrogen treatments could prolong the time of compost temperature (>50℃). The cotton straw+ nitrogen+ microbial agent (C:N=25:1) treatment, finished maturity firstly after 84 days, was the optimal treatment. In the cotton straw maturity evaluation, C/N, TOC, TN, *T* were suitable to be used as optimization indexes, pH, temperature and *GI* were suitable as general evaluation indexes. The indexs for evaluating the maturity of cotton straw compost was established preliminarily and the scientific guidance for using cotton straw compost was provided. The reasonable utilization of cotton straw for soil modification could reduced CO₂ emission by fire in a certain extent.

Keywords: cotton straw; compost; maturity evaluation; *GI*

棉秆主要化学成分为纤维素、半纤维素和木质素,还含有单宁、果胶素、有机溶剂提取物、色素及灰分等

少量组分,棉秆中的粗蛋白含量为7.10%,优于稻草、麦秸。棉秆NDF(中性洗涤纤维)和有机物含量与麦秆相近,总体上讲棉秆在主要营养方面是比较丰富的,是一种产量巨大的可再生资源,开发利用棉秆资源是提高棉田经济效益的有效途径之一^[1-2]。将棉秆直接还田或堆沤还田,虽然其N、P、K的还田率高,但会对农业生产带来不利影响:①棉秆直接还田,需要3年时间才能彻底腐烂分解,有机成分才可被充分利用;②棉秆直接还田后由于棉秆不能及时腐烂,使播种后的种子不能充分接触土壤,影响种子的发芽率,阻碍种芽生长,

收稿日期:2012-08-28

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001);中国科学院知识创新重要方向性项目(KZCX2-YW-359);山东省自然科学基金杰出青年基金项目(JQ201114);国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAC02B01)

作者简介:孙凯宁(1985—),男,在读博士研究生,主要从事湿地生态修复及盐碱地改良方面的研究。

* 通信作者:于君宝 E-mail:junbaoyu@gmail.com;
E-mail:jbyu@yic.ac.cn

造成出苗不齐;③棉秆上附着的病菌和虫卵被植入土壤繁殖蔓延,造成病虫害的泛滥成灾;④棉秆直接还田需铡短切碎,增加了人工和资金的投入^[9]。

堆肥化处理是目前针对农业有机固体废弃物最主要的利用途径之一,堆肥的腐熟度评价是关系到堆肥安全利用的重要环节^[4]。堆肥腐熟度是反映有机物降解和生物化学稳定度的指标。在已有的研究中,针对易腐解固体废弃物腐熟度的研究较多^[5-7],而针对棉秆这种结构致密类有机物料的研究尚鲜见报道。单项评价参数难以准确评价堆肥的质量^[8],目前较为认同的堆肥腐熟度的评价方法是采用多种分析方法测定多个指标,然后根据这些指标综合反映堆肥的腐熟状况^[9]。如美国加利福尼亚堆肥质量协会建议必须使用两项以上的化学或生物学指标评价堆肥的腐熟度^[10]。本文采用条垛系统对棉花秸秆进行堆肥化处理,研究堆肥过程中相关理化和生物学指标的变化规律,评价棉花秸秆堆肥化处理的可行性及存在的问题,为合理利用棉秸资源提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

供试棉秆中有机碳、氮、磷(P_2O_5)和钾(K_2O)平均含量分别为45.17%、1.09%、0.162%、2.02%。尿素含氮量为46.4%。EM菌液:包含放线菌、双歧菌、乳酸菌、芽孢杆菌、光合细菌、酵母菌等菌种,有益菌数 ≥ 10 亿个 $\cdot mL^{-1}$ 。秸秆腐熟剂:由能够强烈分解纤维素、半纤维素、木质素的嗜热、耐热细菌、真菌、放线菌和生物酶组成。EM菌液和秸秆腐熟剂均购自安徽广宇生物技术有限公司。

堆肥试验在中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站进行,供试棉秆取自试验站试验田上一年种植的棉花,棉秆经机械粉碎后将棉秆不同部位充分混合,按不同碳氮比和菌剂添加比例(质量比)进行棉秆

腐熟试验,共设计6组处理(表1)。试验时将试验材料分4层堆放于塑料布上,在堆置的层与层间和最上层添加秸秆腐熟剂;以氮肥(尿素)调节碳氮比,菌液、尿素与水按一定比例稀释后,均匀喷洒于棉秆上,调节棉秆含水量在65%左右。堆体长200 cm、宽100 cm、高70 cm,棉秆总干重为150 kg。在试验开始后第4、6、8、10、15、20 d进行人工翻堆。堆肥过程中,分别在第1、3、7、14、28、42、56、70、84 d按上、中、下部多点采样。样品混匀后,风干磨碎过0.45 mm筛,冷冻保存备测。

1.2 测定方法与数据分析

1.2.1 理化指标

表观分析法^[11]为每次采样时观察记录堆体物料的机械结构、颜色、气味及蚊虫滋生情况等。温度取每日堆体上、中、下部温度的平均值;棉秆堆腐样品按固液比1:10($w:v$,以干重计)配置后,150 $r \cdot min^{-1}$ 振荡浸提1 h,测定悬浮液的pH值;有机碳采用重铬酸钾氧化法测定;全氮采用浓 H_2SO_4 消煮,KDY-9840凯氏定氮仪测定^[12];碳氮比变化(T 值)用堆肥结束时C/N与初始C/N的比值表示。

1.2.2 生物学指标

采用发芽指数作为棉秆腐熟度的生物指标,首先按测pH和EC的方法制备样品浸提液,然后在直径为9 cm的培养皿内垫一张滤纸,均匀放入10颗水芹(*Cress*)种子,加入样品浸提滤液5 mL,在25℃黑暗的培养箱中培养48 h后,计算发芽率并测定根长,每样品3次重复,同时用去离子水做空白试验,发芽指数计算公式如下^[13]:

$$GI(\%) = \frac{G_t L_t}{G_c L_c} \times 100$$

式中: GI 为种子发芽指数,%; G_t 和 G_c 分别为处理和对照的平均种子发芽率,%; L_t 和 L_c 分别为处理和对照的平均根长,cm。

表1 棉秆腐熟试验设计

Table 1 The experiment design of the cotton straw composting

处理号	处理	碳氮比	EM菌液/ $mL \cdot t^{-1}$	秸秆腐熟剂/%
1	空白	41:1	—	—
2	棉秆+氮肥	30:1	—	—
3	棉秆+氮肥	25:1	—	—
4	棉秆+菌剂	41:1	200	0.4
5	棉秆+氮肥+菌剂	30:1	200	0.4
6	棉秆+氮肥+菌剂	25:1	200	0.4

注:秸秆腐熟剂加入量为质量百分比。

1.2.3 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析,使用 Excel 软件对测定数据进行分析 and 绘图。

2 结果与讨论

2.1 棉花秸秆堆腐过程中特征理化指标的变化

2.1.1 温度的变化

堆体温度变化是评价堆肥化过程的重要指标之一,同时也被认为是堆肥稳定度评价最简便快捷的物理指标。根据我国的相关规定:一般认为堆体温度在 50℃ 以上并维持 5~10 d,即达到我国的粪便无害化卫生标准^[14]。当堆体趋于环境温度时,表明物料已稳定。本试验各处理的温度呈先升后降的趋势,并在第 7 天前达到峰值(图 1)。除了处理 4 仅在 50℃ 以上维持 4 d 外,其他处理均维持了 11~19 d,说明大部分处理达到了《粪便无害化卫生标准》(GB 7959—1987)的要求。

表观分析法是通过外观来分析堆肥过程的方法。经反复观察分析可知,虽然大部分处理达到了《粪便无害化卫生标准》的温度要求,但在本试验结束时,大部分处理(处理 1、处理 2、处理 3 等)的堆体颜色深浅不均匀,有蚊蝇孳生,颜色为浅褐色,棉秆质地较硬,同时伴有令人不快的气味,说明这些处理尚未达到腐熟要求。因此,温度指标只能作为本试验棉秆腐熟度的参考指标。

2.1.2 pH 的变化

pH 值可作为评价堆肥腐熟程度的指标^[15],但由于 pH 值受堆肥原料和条件的影响较大,一般作为堆肥腐熟的一个必要条件,而非充分条件^[16]。由图 2 可知,除空白和处理 4 外,其他处理在第 1 d 的 pH 值均

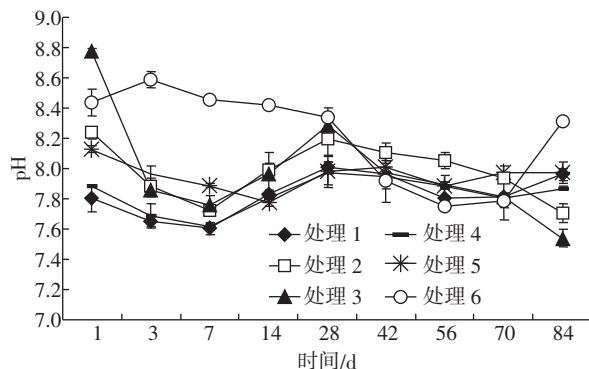


图 2 棉花秸秆堆腐过程中 pH 值的变化

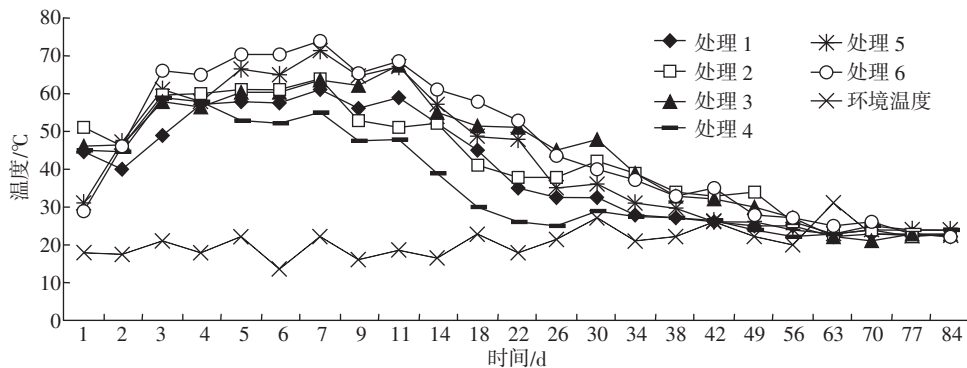
Figure 2 The changes of pH value during the cotton straw composting

高于 8.0,这与原料中添加的尿素水解产生了氨有关。随着堆体有机酸的产生,各处理 pH 呈下降趋势,随后因氨化作用产生的铵态氮逐渐累积,pH 值逐渐升高^[17];经过 28 d 后,有机物质分解产生的有机酸起到中和作用,pH 值呈降低的趋势^[18],同时堆腐物质起到了缓冲的作用^[19]。相关研究表明:腐解物腐熟完成时一般呈弱碱性,pH 值在 8~9 之间^[15-16]。在本试验结束时,处理 6 的 pH 值为 8.31。

2.1.3 碳、氮的变化

棉秆堆腐过程中各处理 TOC 随着堆腐时间呈逐渐下降趋势(图 3)。从第 8 d 至 84 d,除处理 6 外,其他各处理逐步趋于稳定,TOC 维持在 36.6%~44.6%之间。这是因为此阶段可溶性糖、蛋白质等容易分解利用的物质被微生物分解代谢^[4]。相对于其他处理,处理 6 的降低趋势较为明显,至试验结束时,该处理的 TOC 含量为 27.8%,显著低于其他处理。

在整个试验过程中,4 个加氮素处理的总氮量均明显高于未加氮素处理,并呈先降后升的变化趋势



处理 1:空白(CK,C:N=41:1);处理 2:棉秆+氮肥(C:N=30:1);处理 3:棉秆+氮肥(C:N=25:1);处理 4:棉秆+菌剂(C:N=41:1);
处理 5:棉秆+氮肥+菌剂(C:N=30:1);处理 6:棉秆+氮肥+菌剂(C:N=25:1)。下同

图 1 棉花秸秆堆腐过程中温度的变化

Figure 1 The temperature change during the cotton straw composting

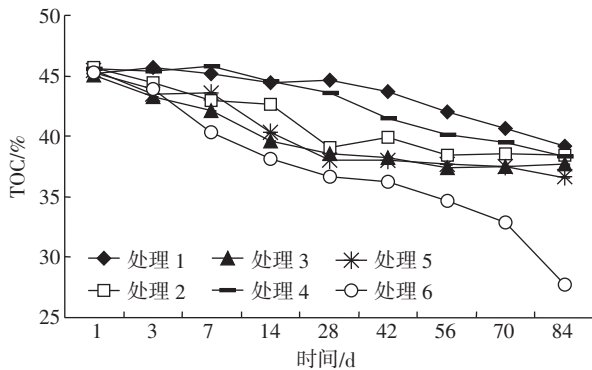


图 3 棉花秸秆堆腐过程中 TOC 的变化

Figure 3 The changes of TOC during the cotton straw composting

(图 4)。这是由于试验前期(7 d 内)各处理的温度处于峰值附近,微生物处于高活性状态,物料中的有机氮在微生物的作用下转化为铵态氮,一部分以 NH_3 的形式挥发,造成氮素损失^[20];第 7~14 d,全氮含量呈增加趋势,这是由于在氨挥发减缓后,含碳有机物降解转化为二氧化碳而挥发,导致总干物重的下降幅度明显大于全氮下降幅度,全氮的相对含量增加^[21]。空白和处理 4 的全氮量在整个试验过程中变化较为平稳,在各时段均低于其他处理。至堆腐结束,各处理全氮量为处理 6>处理 3>处理 5>处理 2>处理 1>处理 4。

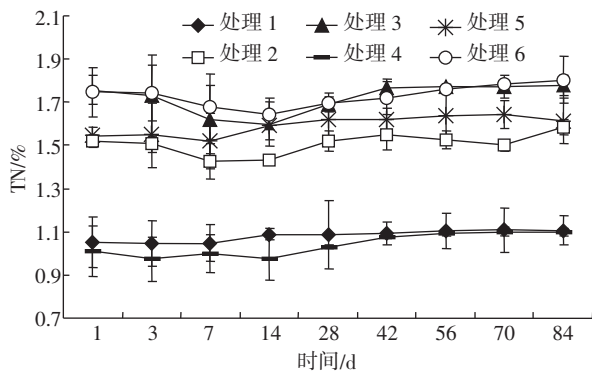


图 4 棉花秸秆堆腐过程中 TN 的变化

Figure 4 The changes of TN during the cotton stalk straw composting

碳氮比(C/N)是最常用的比较直观评价腐熟度的参数,堆肥过程中 C/N 不断下降,理论上应趋于微生物菌体的 C/N 即 16 左右,一般堆肥原料的 C/N 下降到 20 以下时即认为堆肥发酵腐熟^[22-24]。堆肥原料能够进行堆腐的适宜条件为 C/N 小于 30^[25]。在本试验中,各处理 C/N 总体呈现逐渐降低的趋势(图 5),第 56 d 后各处理趋于平稳。这是由于随着堆制进行,微生物消耗大量碳水化合物,总碳量呈下降趋势,全氮相对增加,使堆体 C/N 逐渐减少,堆肥逐渐达到腐熟^[26]。试验

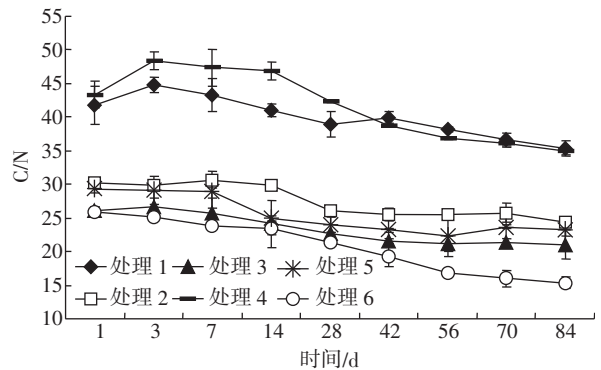


图 5 棉花秸秆堆腐过程中 C/N 的变化

Figure 5 The changes of C/N during the cotton composting

结束时,处理 6 的 C/N 为 15.4,可以判断其已达到腐熟标准(小于 20)。Rosen 等^[27]研究指出,理想的腐熟肥料的 C/N 在 15~20 之间。说明处理 6 达到了较好的腐熟效果,而其他处理 C/N>20/1,均未腐熟。

采用 T 值[(终点 C/N)/(初始 C/N)]评价腐熟度更具有合理性,当 T 值小于 0.6 时,堆肥达到腐熟程度^[28-29],张鸣等^[30]试验也表明 T 值小于 0.6 时堆肥基本达到腐熟。不同物料堆肥的 T 值变化不大,在 0.5~0.7 之间,因而 T 值适用于不同物料堆肥的腐熟度评价^[31]。从表 2 可以看出,在本试验进行至第 84 d 时,仅处理 6 的 T 值(0.592 7)小于 0.6,其他处理的 T 值在 0.79~0.85 之间,同时处理 6 与其他处理的 T 值差异达极显著水平($P<0.01$)。

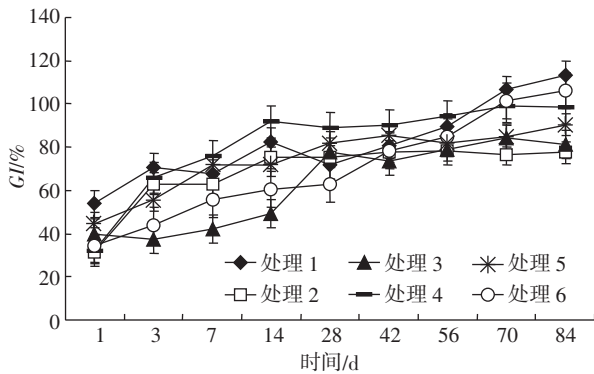
2.2 棉花秸秆堆腐过程中生物指标的变化

种子发芽指数值(GI)被认为是目前最能反映堆肥产品植物毒性和判断堆肥无害化和腐熟度的参数,可综合体现堆肥样品的低毒性(影响根长)或高毒性(影响发芽)^[32]。在本研究中,各试验 GI 值呈现逐步增加的趋势(图 6),表明抑制种子生长的有毒物质被慢慢消除,堆肥产物对植物的毒害作用逐渐减弱^[13,33]。Zucconit 等^[13]认为,当 $GI>50\%$ 时,堆肥对植物已基本

表 2 棉花秸秆堆腐试验 84 d 时各处理的 T 值Table 2 The T values after the cotton straw composting of 84 days

处理	初始 C/N	终点 C/N	T 值
处理 1	41.74	35.30	0.845 8aA
处理 2	30.00	24.34	0.807 4aA
处理 3	25.00	20.99	0.808 2aA
处理 4	43.31	35.03	0.808 9aA
处理 5	30.00	23.19	0.791 4aA
处理 6	25.00	15.39	0.592 7bB

注:不相同的小写字母表明在 0.05 水平上差异显著(LSD);不相同的大写字母表明在 0.01 水平上差异显著(LSD)。

图 6 棉花秸秆堆腐过程中 GI 的变化Figure 6 The change of GI during the cotton straw composting

没有毒性,堆肥已基本腐熟;当 $GI>80\%$ 时,堆肥完全腐熟。本研究中,大部分处理在堆腐 3~7 d 时 $GI>50\%$,至第 84 d 时,各处理(除处理 2 外) $GI>80\%$ 。但就本试验通过外观直观判断,处理 1 至处理 5 的棉秆腐解尚不完全,微黄色未腐熟秸秆仍占一定比例,同时结合相关理化指标(如 C/N 和 T 值)综合分析可知,仅处理 6 达到腐熟的标准($C/N<20$; $T<0.6$)。说明 GI 不宜作为本试验棉秆腐熟的充分条件。

2.3 棉花秸秆堆腐过程中各指标之间的相关关系及腐熟度评价指标的选择

综合参比各指标后,在本研究中仅处理 6 达到腐熟标准,进一步分析棉秆腐熟过程中各评价指标的相关关系(表 3)表明: C/N 与 TN 、 pH 值的相关系数分别为 -0.955 、 -0.366 ,呈极显著负相关($P<0.01$),与 TOC 的相关系数为 0.729 ,呈极显著正相关($P<0.01$)。本研究中 C/N 和 T 值能够准确的指示棉秆的腐熟程度,为评价棉秆腐熟度相对理想的指标。 TN 与 pH 的相关系数为 0.425 ,呈极显著正相关($P<0.01$),与 TOC 的相关系数为 -0.542 ,呈极显著负相关($P<0.01$); TOC 与温度的相关系数为 0.502 ,呈极显著正相关($P<0.01$),而棉秆腐熟过程中 C/N 及 T 值的变化主要表现为 TOC 和 TN 的变化。因此, TOC 和 TN 适宜作为

表 3 各腐熟度指标间的相关性分析

Table 3 Correlation coefficient among maturity indexes

	温度	pH	TOC	TN	C/N	GI
温度	1					
pH	0.126	1				
TOC	0.502**	-0.056	1			
TN	0.018	0.425**	-0.542**	1		
C/N	0.151	-0.366**	0.729**	-0.955**	1	
GI	-0.619**	-0.306*	-0.545**	-0.188	-0.004	1

注:* 代表 $P<0.05$, ** 代表 $P<0.01$ 。

棉秆腐熟度评价优选指标。 pH 值与 C/N 、 TN 和 GI 相关性显著,虽然 pH 很好地指示了本试验的腐熟结果,但综合考虑其很大程度上受堆肥原料和条件的影响,且处理 6 的 pH 变化的规律性并不是很强,故 pH 适宜作为棉秆腐熟度评价一般性评价指标。温度与 pH 、 GI 关系显著,在本研究中,各处理(处理 4 除外)腐熟过程中温度和高温持续时间均达到完全腐熟要求,但实际上仅有处理 6 完全腐熟,因此温度仅适宜作为棉秆腐熟度评价一般性评价指标。 GI 与温度和 TOC 的相关系数分别为 -0.619 和 -0.545 ,呈极显著负相关($P<0.01$),与 pH 值的相关系数为 -0.306 ,呈显著负相关($P<0.05$),可见 GI 与其他评价参数关系比较密切。进一步分析表明,堆腐前期 $GI>50\%$,可能由于棉秆结构致密,短时间内腐解程度相对较差,产生的植物毒素相对较少,从而产生了基本腐熟的假象。84 d 时,各处理 GI 值均大于 80% 却并未腐熟(处理 6 除外),可能由于这些处理棉秆腐熟程度有限,加之经过长时间堆积,有毒物质已基本分解消除。因此,虽然大量研究表明 GI 值可以较敏感地反应堆肥的腐熟状况,但本研究中针对棉秆堆肥腐熟度的评价, GI 只能作为必要条件而非充分条件,可作为棉秆腐熟度评价一般性评价指标。

3 结论

综合分析本试验堆肥过程中各处理进入和维持高温($>50\text{ }^{\circ}\text{C}$)分解的时间、 pH 值、 C/N 、 T 值和 GI 等参数的动态变化情况,在试验结束时,单纯添加氮素和单纯添加菌剂的处理均未腐熟,处理 6(棉秆+氮肥+菌剂, $C:N=25:1$) 配比是本试验棉秆快速腐熟的最优处理。说明适当调节棉秆的碳氮比和添加微生物菌剂可以促进棉秆的腐熟。通过各指标间的相关性分析, C/N 、 TOC 、 TN 、 T 值适宜作为棉秆腐熟度评价优选指标, pH 值、温度和 GI 只适合作为棉秆腐熟度评价一般性评价指标。

参考文献:

- [1] 吴杰. 新疆棉花秸秆利用现状分析和探讨[J]. 中国棉花, 2005, 33(2):9-11.
WU Jie. Analysis and discussion of Xinjiang cotton straw utilization[J]. China Cotton, 2005, 33(2):9-11.
- [2] 许国英, 热合木都拉, 马英杰. 棉花秸秆的饲用价值研究[J]. 新疆畜牧业, 1998(3):10-11.
XU Guo-ying, RE Ha-mudula, MA Ying-jie. Feeding value of cotton stalks[J]. Xinjiang Animal Industry, 1998(3):10-11.

- [3] 刘建胜. 我国秸秆资源分布及利用现状的分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
LIU Jian-sheng. Analyses on the distribution pattern of the crop-straw resource and the status quo of its application in China[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [4] 张聿柏, 李勤奋. 香蕉茎秆堆肥化处理腐熟度评价研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(9): 268-272.
ZHANG Yu-bo, LI Qin-fen. Study on evaluation of maturity during banana stem composting treatment[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(9): 268-272.
- [5] 鲍艳宇, 周启星, 颜丽, 等. 畜禽粪便堆肥过程中各种氮化化合物的动态变化及腐熟度评价指标[J]. 应用生态学报, 2008, 19(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.
- [6] 钱晓雍, 沈根祥, 黄丽华, 等. 畜禽粪便堆肥腐熟度评价指标体系研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 549-554.
QIAN Xiao-yong, SHEN Gen-xiang, HUANG Li-hua, et al. An index system for evaluating the maturity of animal manure composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 549-554.
- [7] 任春晓, 席北斗, 赵越, 等. 有机生活垃圾不同微生物接种工艺堆肥腐熟度评价[J]. 环境科学研究, 2012, 25(2): 226-231.
REN Chun-xiao, XI Bei-dou, ZHAO Yue, et al. Maturity evaluation of organic waste composted with different microbial inoculation techniques[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(2): 226-231.
- [8] Bernal M, Alburquerque J, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review[J]. *Biore-source Technology*, 2009, 100(22): 5444-5453.
- [9] 袁荣焕, 彭绪亚, 吴振松, 等. 城市生活垃圾堆肥腐熟度综合指标的确定[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(4): 54-58.
YUAN Rong-huan, PENG Xu-ya, WU Zhen-song, et al. Study on maturity of municipal solid waste compost[J]. *Journal of Chongqing Jianzhu University*, 2003, 25(4): 54-58.
- [10] 张永涛, 张增强, 孙西宁. 模糊数学法在堆肥腐熟度评价中的应用[J]. 环境卫生工程, 2009, 17(4): 45-48.
ZHANG Yong-tao, ZHANG Zeng-qiang, SUN Xi-ning. Application of Fuzzy mathematics in evaluation of compost maturity[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2009, 17(4): 45-48.
- [11] Garcia C, Hernandez T, Costa F, et al. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 1992, 23(13-14): 1501-1512.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press. 2000.
- [13] Zucconit F, Pera A, Forte M, et al. Evaluating toxicity of immature compost[J]. *Biocycle*, 1981, 22: 54-57.
- [14] 吴银宝, 汪植三, 廖新佛, 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-Environment Science*, 2003, 22(2): 189-193.
- [15] USEPA. Compost of municipal wastewater sludge. Center for Environmental information office of research and development[J]. *EPA*, 1985: 625/4-85/014.
- [16] Nakasaki K, Yaguchi H, Sasaki Y, et al. Effects of pH control on composting of garbage waste[J]. *Management & Research*, 1993, 11: 117-125.
- [17] Ivan Petric, AlmirŠestan, IndiraŠestan. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2009, 87: 206-212.
- [18] Salma Hachicha, Fatma Sallemi, Khaled Medhioub, et al. Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes[J]. *Waste Management*, 2008, 28: 2593-2603.
- [19] Zenjari B, El Hajjoui H, Ait Baddi, et al. Eliminating toxic compounds by composting olive mill wastewater-straw mixtures[J]. *Hazard Mater*, 2006, 138(3): 433-437.
- [20] 张桥, 吴启堂, 黄焕忠, 等. 城市污泥与稻草堆肥的腐熟度指标研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 782-786.
ZHANG Qiao, WU Qi-tang, HUANG Huan-zhong, et al. Maturity indices of Co-composting sewage sludge with rice straw[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(4): 782-786.
- [21] 张云舒, 徐万里, 邵华伟, 等. 乌鲁木齐市生活垃圾堆肥过程营养成分变化及腐熟度评价[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 199-203.
ZHANG Yun-shu, XU Wan-li, SHAO Hua-wei, et al. The change of components and maturity evaluation during composting of municipal solid wastes from Urumqi[J]. *Journal of Northwest Agriculture*, 2009, 18(5): 199-203.
- [22] 廖新佛, 吴银宝, 汪植三, 等. 堆体大小对猪粪堆肥影响和袋装堆肥的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 287-290.
LIAO Xin-di, WU Yin-bao, WANG Zhi-san, et al. Effects of pile size and packaging on swine manure composting[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(4): 287-290.
- [23] 李玉春, 李彦明, 李国学, 等. 通过堆制方法进行发酵素接种扩培的研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(1): 98-103.
LI Yu-chun, LI Yan-ming, LI Guo-xue, et al. Enlarged-incubating of fermentable powder through composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(1): 98-103.
- [24] Mathur S P, Dinel H, Owen G, et al. Determination of compost biomaturity II: Optical density of water extracts of composts as a reflection of their maturity[J]. *Biological Agriculture and Horticulture*, 1993, 10: 87-108.
- [25] Zorpas A, Arapoglou D, Karlis P, et al. RETRACTED: Assessment of compost from vinasse and olive stone residue[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006.
- [26] 马开星, 邹长明, 赵建荣. 鸡粪堆肥腐熟过程中腐熟度参数的变化[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 289-292.
MA Kai-xing, ZOU Chang-ming, ZHAO Jian-rong. Changes of maturity indexes during the chicken manure composting[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(3): 289-292.
- [27] Rosen C J, Halbach T R, Swanson B T. Horticultural uses of municipal solid waste components[J]. *Hort Technology*, 1993, 3: 167-173.
- [28] Hirai M F, Chanyasak V, Kubota H. A standard measurement for compost maturity[J]. *BioCycle*, 1983, 24: 54-56.

- [29] Morel T L, Colin F Germon, Godin J C, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost[J]. *Elsevier Applied Science Publishers, London and New York*, 1985, 56-72.
- [30] 张 鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3):566-569.
- ZHANG Ming, GAO Tian-peng, LIU Ling-ling, et al. Process of high-temperature compost of sheep manure with addition of wheat straw[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3):566-569.
- [31] 罗泉达, 黄惠珠, 郑长焰, 等. 猪粪堆肥的腐熟度指标[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2009, 38(1):84-87.

- LUO Quan-da, HUANG Hui-zhu, ZHENG Chang-yan, et al. The indices of swine manure compost maturity[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition)*, 2009, 38(1):84-87.
- [32] Aparna C, Saritha P, Himabindu V, et al. Techniques for the evaluation of maturity for composts of industrially contaminated lake sediments[J]. *Waste Management*, 2008, 28:1773-1784.
- [33] Chanyasak V, Hirai M, Kubota H. Changes of chemical components and nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage[J]. *Fermentation Technology*, 1982, 60:439-446.

《农业环境科学学报》2012 年审稿专家名录

(按姓氏拼音排序)

艾绍英 安黎哲 白军红 白志辉 包木太 鲍艳宇 蔡喜运 蔡信德 曹凑贵 曹德菊 曹 慧 曹 靖 曹 军 曹林奎 曹文志 曹云者
常志州 车宗贤 陈广银 陈桂葵 陈怀满 陈家长 陈 静 陈来国 陈留根 陈能场 陈能汪 陈世宝 陈书涛 陈晓国 陈 欣 陈银广
陈永亨 陈玉成 成杭新 成杰民 成水平 仇荣亮 崔德杰 崔晓勇 崔岩山 代静玉 戴九兰 戴亦军 党 志 丁 洪 丁维新 丁振华
丁竹红 董仁杰 董元华 豆俊峰 窦 森 段学军 多立安 范丙全 范志平 方 芳 封 克 冯启言 高 定 高会议 高太忠 高彦征
葛 滢 耿金菊 龚道新 巩宗强 郭昌胜 郭朝晖 郭红岩 郭劲松 郭书海 郭永泽 韩建刚 韩照祥 杭小帅 何成达 何 江 何品晶
何文清 何寻阳 和文祥 侯 红 侯 明 侯宪文 侯晓龙 侯彦林 侯志广 胡红青 胡荣桂 胡双庆 胡 忻 胡学玉 胡振琪 胡正华
华 璐 华玉妹 化党领 黄 标 黄 灿 黄道友 黄 辉 黄 丽 黄启飞 黄清辉 黄 耀 黄 艺 黄益宗 黄毅斌 黄泽春 黄占斌
计 勇 季 民 蒋静艳 金彩霞 金朝晖 金 辉 孔火良 匡少平 赖发英 雷 梅 雷 鸣 黎华寿 李本纲 李成芳 李成亮 李纯厚
李大鹏 李发生 李法云 李芳柏 李锋民 李国学 李海波 李恒鹏 李花粉 李 华 李辉信 李莲芳 李培军 李强坤 李取生 李仁英
李日强 李淑芹 李廷强 李晓军 李彦文 李艳霞 李永华 李永涛 李玉娥 李 元 李兆君 李正魁 李卓佳 梁东丽 梁生康 梁 涛
梁 威 梁正伟 廖柏寒 廖敏 廖晓勇 廖新伟 廖宗文 林爱军 林春野 林代炎 林 哲 凌婉婷 刘春光 刘春岩 刘丰茂 刘 峰
刘国光 刘红江 刘惠芬 刘景春 刘景双 刘静玲 刘 娟 刘可星 刘 领 刘 敏 刘 鹏 刘瑞民 刘世亮 刘 宛 刘维涛 刘文菊
刘文新 刘五星 刘学军 刘 鹰 刘 勇 刘玉荣 刘云国 龙 健 龙新宪 卢会霞 卢少勇 卢新卫 陆健健 陆隽鹤 陆开宏 吕昌伟
吕家珑 吕金印 吕贻忠 罗连光 罗 琳 罗启仕 罗 涛 罗兴章 罗 义 马恩波 马 瑾 马隆龙 马世铭 马祥庆 孟 飞 孟昭福
莫测辉 慕 卫 南旭阳 倪进治 牛晓君 欧晓明 欧阳威 潘灿平 潘根兴 逢焕成 彭绪亚 平立凤 朴 哲 齐剑英 乔有明 乔玉辉
秦伯强 秦 华 曲 东 任明忠 阮维斌 申哲民 沈 标 沈东升 沈根祥 沈新强 盛下放 施庆珊 施卫明 石利利 史新慧 司友斌
宋 波 宋正国 苏德纯 苏玉红 孙 波 孙红文 孙 楠 孙志梅 谭文峰 汤 利 唐建军 唐晓燕 唐欣昀 陶 玲 田光明 田霄鸿
田兴军 田 园 童蓁伦 涂 从 涂仕华 涂书新 万红友 汪海珍 汪 洪 汪家权 王朝辉 王代长 王德汉 王国祥 王 果 王红丽
王慧忠 王金花 王 军 王凯荣 王 磊 王里奥 王立刚 王丽红 王 宁 王起超 王慎强 王小治 王晓燕 王欣泽 王 新 王学东
王学军 王彦华 王玉军(南京)王玉军(长春) 王云霞 王正银 王中良 王忠全 王祖伟 卫泽斌 魏 静 魏树和 魏贤勇 魏源送 魏自民
文湘华 翁伯琦 吴丰昌 吴景贵 吴敬禄 吴良欢 吴 攀 吴启堂 吴淑杭 吴 伟 吴卫红 吴耀国 吴银宝 吴永贵 吴振斌 伍 钧
武兰芳 夏北成 香 宝 向言词 肖 琳 肖 昕 肖羽堂 谢国生 谢正苗 谢忠雷 熊邦喜 熊德中 熊 丽 熊双莲 熊治廷 徐德福
徐敦明 徐 恒 徐 华 徐 建 徐明岗 徐仁扣 徐卫红 徐晓燕 徐星凯 徐友宁 许 超 许其功 许修宏 许育新 薛南冬 薛生国
薛喜成 严明理 严重玲 阎百兴 阎秀兰 颜昌宙 颜晓元 颜增光 晏维金 杨长明 杨 琛 杨国义 杨合同 杨俊诚 杨丽标 杨连新
杨林章 杨柳燕 杨如意 杨 劭 杨世琦 杨永亮 杨正礼 姚丽贤 仪慧兰 易 秀 易志刚 尹大强 于方明 虞云龙 袁红莉 袁 星
袁旭音 苑宝玲 岳 明 曾希柏 翟丙年 占新华 张德咏 张芳琴 张金波 张晋京 张丽娟 张盼月 张培玉 张奇春 张晴雯 张庆忠
张瑞福 张世熔 张树兰 张树清 张素坤 张 卫 张卫建 张兴昌 张耀鸿 张义坚 张迎梅 张 颖 张永春 张余良 张雨梅 张玉斌
张玉华 张增强 章家恩 章明奎 赵保卫 赵 吉 赵建庄 赵立欣 赵同科 赵希岳 郑 平 郑天凌 郑永权 郑有飞 周东美 周鸿凯
周 青 周溶冰 周顺桂 周卫军 周鑫斌 周运超 朱 波 朱 琳 朱鲁生 朱茂旭 朱润良 朱宇恩 朱育菁 朱志良 宗良纲 邹建文

正是因为有以上专家认真及时地审稿,才使刊物的稿件质量得到有力的保证,使创新性的科研成果得以即时发表,使科技新人脱颖而出。在此,本刊编辑部对各位专家的辛勤工作表示诚挚的感谢。为不断壮大审稿专家队伍,适应日益增多的稿源需求,我们衷心地希望广大作者和读者踊跃推荐审稿专家候选人,以促进刊物的不断发展和创新。

(本刊编辑部)