

不同 C/N 下鸡粪麦秸高温堆肥腐熟过程研究

赵建荣, 高德才, 汪建飞, 邹长明

(安徽科技学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:用鸡粪与小麦秸秆为堆肥原料进行高温好氧堆肥试验,研究添加鸡粪对小麦秸秆高温好氧堆肥过程中堆体温度、pH 值、碳氮比和养分等理化指标的影响,寻求鸡粪与小麦秸秆高温堆肥的最佳配比,为农作物秸秆快速资源化利用提供科学依据和技术指导。结果表明,鸡粪与小麦秸秆在 C/N=25 时堆体达到的温度最高,为 62 ℃,达到最高温度所需的时间最短,为 2 d。堆肥过程中各处理 pH 值变化基本一致,都是先上升后下降的过程。堆肥结束时 A2 处理 C/N=14.4, NH_4^+-N 含量比最高时降低了 76.2%,腐殖质比初始增加了 50.2%,胡敏酸相对于最低点升高了 160%,富里酸与堆肥前相比降低 57.1%。堆肥结束时,全氮含量除 A1 处理有所降低外,其余处理均有所增加。各处理堆肥全磷、全钾、速效磷和速效钾含量在堆肥结束时比堆肥初始均有所增加。综合判断,鸡粪与小麦秸秆 C/N=25 进行堆肥较为适宜。

关键词:鸡粪;小麦秸秆;堆肥

中图分类号:S141.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)05-1014-07

The High-rate Composting of Chicken Manure and Wheat Straw in Different C/N

ZHAO Jian-rong, GAO De-cai, WANG Jian-fei, ZOU Chang-ming

(Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: In the research, chicken manure and wheat straw were used as compost material, high-rate aerobic composting was carried out. Effects of adding chicken manure on compost physicochemical indexes including temperature, pH, C/N and nutrients were studied to find the optimum ratio of chicken manure to wheat straw, and provide a scientific basis and technological guidance for rapidly utilizing agricultural straw. Results showed: compost temperature reached the highest 62 ℃ and it used only 2 d when C/N was 25 in chicken manure and wheat straw compound. The pH changed similarly between treatments, they all increased firstly, then decreased during the process. At the end of composting, C/N=14.4, and the content of NH_4^+-N reduced 76.2% compared with the highest, HR increased 50.2% and fulvic acid decreased 57.1% compared with the beginning, humic acid increased 160% compared with the lowest in treatment A2; total nitrogen decreased in treatment A1, but it increased in other treatments; total phosphorus, total potassium, available phosphorus and available potassium increased in all treatments. In conclusion, C/N=25 in chicken manure and wheat straw compound was optimum for composting.

Keywords: chicken manure; wheat straw; composting

农业废弃物的妥善处理是当前农业环境保护研究的热点。随着中国农业规模化、集约化发展,农业有机废弃物产生量不断增加^[1],由于处理方法不当,造成环境的污染越来越严重,大量有机质资源也未得到有效利用,已成为我国农村面源污染的主要来源之一^[2]。通过堆肥实现禽畜粪便和秸秆还田无疑是

解决这些问题的最佳途径。堆肥可杀灭废物中的病菌和草种、减小堆存的体积和重量、有利于贮存和施用,不仅可解决规模化养殖厂和燃烧秸秆产生的环境污染问题,而且对发展有机肥、保持和提高土壤肥力、促进农业可持续发展具有重要意义^[3]。在麦秸堆腐时添加鸡粪不仅能改善麦秸堆肥的结构、吸收水汽,而且可作为微生物的氮源,既解决了麦秸单独堆肥时本身所存在的弊端,还可以将废弃的鸡粪充分资源化利用。本文通过研究鸡粪与小麦秸秆不同配比堆肥的腐熟进程,寻求鸡粪与小麦秸秆高温堆肥的最佳配比,为农作物秸秆快速资源化利用提供科学依据和技术

收稿日期:2010-11-02

基金项目:安徽省科技厅农业科技成果转化资金项目(10140306017);
安徽省教育厅自然基金重点研究项目(KJ2009A108);安徽省教育厅自然一般研究项目(KJ2009B098Z)

作者简介:赵建荣(1979—),男,山西人,硕士,讲师,主要从事土壤肥料研究工作。E-mail:zjr0105@163.com

指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

供试鸡粪和麦秸均取自安徽科技学院种植园,其主要成分见表 1。

表 1 堆肥原料的主要成分

Table 1 Component of raw materials used in composting				
项目 Items	全氮/g·kg ⁻¹ Total N	全磷/g·kg ⁻¹ Total P	全钾/g·kg ⁻¹ Total K	有机质/g·kg ⁻¹ Organic matter
鸡粪 Chicken manure	24.4	18.9	10.2	282
麦秸 Wheat straw	6.3	0.51	31.7	422

以鸡粪作为堆肥化氮源,以粉碎 5 cm 长的小麦秸秆为碳源,设置 5 个处理(表 2)。按表 2 将原料混合均匀,以洁净自来水调节物料水分含量为 55%,采用条形垛式堆置,堆体长 1.5 m、宽 1.0 m、高 1.0 m。各组堆肥均用麻布袋覆盖保温。每处理设 3 次重复。堆肥开始第 1 周每 3 d 翻 1 次堆,之后每周翻 1 次。

表 2 堆肥试验方案

Table 2 Design of the composting experiment					
处理 Treatments	C/N	养分含量 Nutrient content/g·kg ⁻¹			
		全氮 Total N	全磷 Total N	全钾 Total N	有机质 Organic matter
A1	20	16.9	11.4	18.9	338
A2	25	14.4	8.7	22.1	360
A3	30	12.4	6.7	24.3	372
A4	35	11.0	5.3	26.1	380

1.2 采样及测定

每日上午 9:00 在各处理 50 cm 深处沿 3 个不同

方向分别插入温度计,测定其温度取平均值。

分别于堆肥第 0、3、6、13、20、27、34、48、62 d 采样。在翻堆充分拌匀后,按五点采样法,每处理每次采集 3 个混合样。

称取鲜样 10.000 g,与蒸馏水以体积比 1:5 混合,振荡 30 min,4 000 r·min⁻¹ 离心 20 min 后过滤,滤液用于测定 pH 值(pH 计测定)、铵态氮(靛酚蓝比色法)、硝态氮(紫外分光光度法)。鲜样风干后,粉碎过 1 mm 筛,用于测定有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷和速效钾,含量分别采用重铬酸钾容量法-外加热法、硫酸-水杨酸-催化剂消化法、硫酸-硝酸消煮-钼钒黄比色法、硫酸-硝酸消煮-火焰光度法、NaCl 浸提-Zn-FeSO₄ 还原蒸馏法、1/2NaHCO₃ 法、NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[4]。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化

从图 1 可以看出,各处理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。处理 1、2、3 和 4 堆肥温度达到 50 ℃的时间分别为 3、2、2、4 d,最高温度分别为 56、62、60、53 ℃,堆温≥50 ℃的保持时间分别为 8、13、11、7 d。其中以 A2(C/N=25)达到的温度最高,且达到最高温度所需的时间最短,A3(C/N=30)次之。高温持续时间也以 A2(C/N=25)的最长,A3(C/N=30)次之。说明 C/N 为 25 的堆肥处理效果最好。

2.2 堆肥过程中 pH 的变化

堆肥过程中 pH 值的变化如图 2 所示,各处理呈现的 pH 值变化基本一致,都是先上升后下降。在堆肥初期,A1~A4 处理的 pH 值分别为 8.21、8.23、8.14、8.15,说明初期各处理的差异不大。但随着堆肥的进

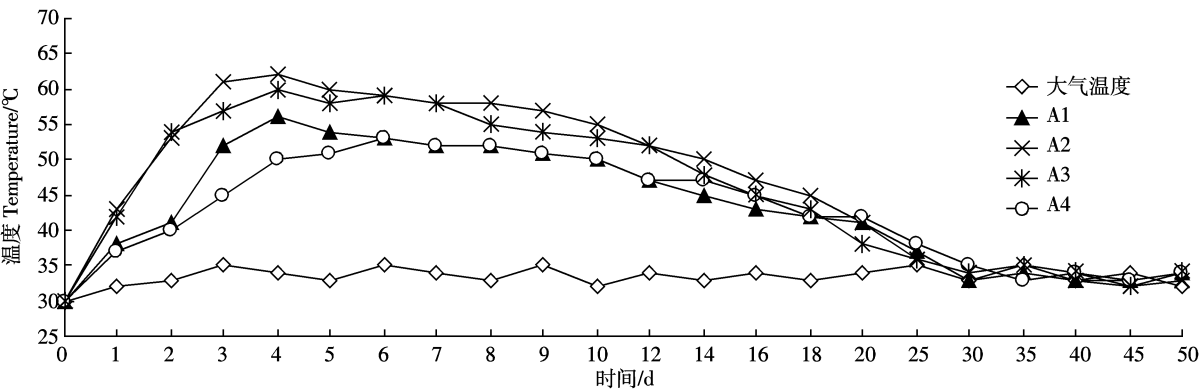


图 1 堆肥过程中温度的变化

Figure 1 Change of temperature during composting

行,各处理表现出差异:堆肥第 13 d, A1~A4 处理的 pH 值分别为 8.74、8.67、8.72、8.62; 堆肥第 62 d, A1~A4 处理的 pH 值分别下降为 8.59、8.43、8.41、8.33, 符合腐熟堆肥 pH 值标准(pH8.0~9.0)^[5]。

2.3 堆肥过程中碳氮比的变化

C/N 是检验堆肥产品腐熟度常用的指标,堆肥产品 C/N 比值降为 15~20 时,可以认为堆肥腐熟^[6]。由图 3 可知随着堆肥的进行,4 个处理的 C/N 均呈下降的趋势,至堆肥结束,各处理 C/N 分别为 16.1、14.4、16.4、18.4。Morel 等建议采用 $T=(\text{终点 C/N})/(\text{初始 C/N})$ 来评价腐熟度,认为当 T 值小于 0.6 时堆肥达到腐熟^[7]。张鸣等实验也表明 T 值小于 0.6 时堆肥基本达到腐熟^[8-9]。本试验在堆肥结束时, A2~A4 T 值在 0.52~0.81 之间,只有 A1 处理 T 值为 0.81 大于 0.6,堆肥没有达到腐熟。

2.4 堆肥过程中铵态氮、硝态氮的变化

在堆肥开始时,堆肥中 NH_4^+-N 浓度迅速增加,在第 6~13 d 达到峰值后,趋于下降(图 4)。堆肥结束时,各处理的 NH_4^+-N 含量分别比最高时降低了 46.1%、76.2%、74.2%、55.2%。处理 A2、A3 变化幅度

大于处理 A1、A4,说明处理 A2、A3 的微生物的同化作用强烈。

如图 5 所示,各处理经过高温堆肥阶段以后,堆肥中 NO_3^--N 的含量开始明显增加,这可能是由于前期的高温条件抑制了硝化细菌的生长活动,影响硝化作用的顺利进行。堆肥结束时,处理 A1、A2、A3、A4 的 NO_3^--N 含量分别为 965、836、787、613 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。说明鸡粪的加入可以促进硝化细菌的生长,有利于 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化,而且随着鸡粪添加比例的增加而显著增加。

2.5 堆肥过程中腐殖质的变化

堆肥的腐熟是一系列微生物活动的复杂过程,包含着堆肥材料的矿质化和腐殖化过程。在有机碳的分解转化过程中,一方面碳素物质在急速分解,另一方面分解产物在微生物作用下又重新合成新腐殖质^[10-11]。腐殖质与全碳的比值称之为腐殖化率(HR),其数量表征腐殖化程度的强弱^[11]。由图 6 可知,随腐解进行,各处理腐殖质占全碳的比例呈增加趋势。堆肥结束时,各处理 HR 比开始分别增加了 28.4%、50.2%、58.8%、40.6%。增加幅度依次为 A3>A2>A4>A1。处理 A2、A3

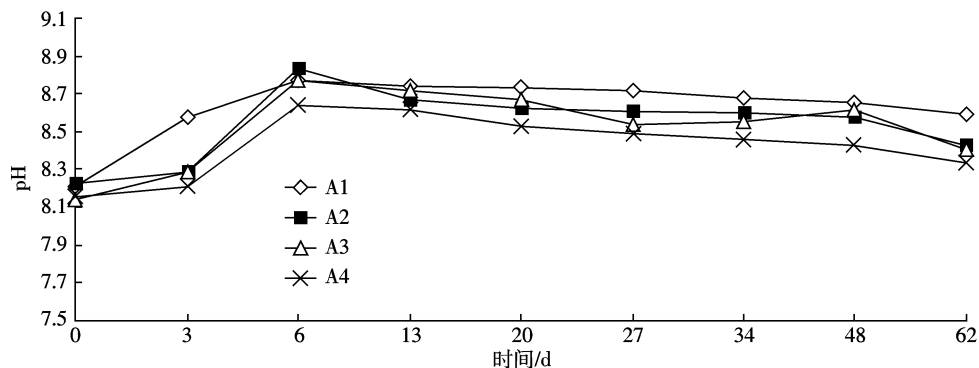


图 2 堆肥过程中 pH 的变化

Figure 2 Change of pH during composting

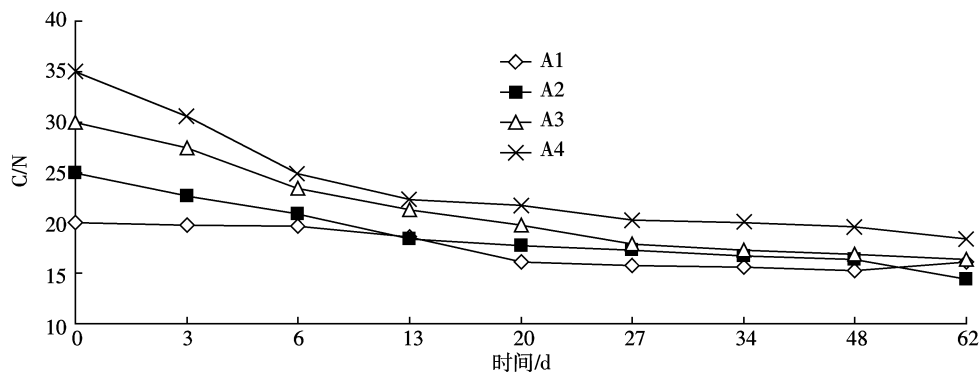


图 3 堆肥过程中 C/N 的变化

Figure 3 Change of C/N during composting

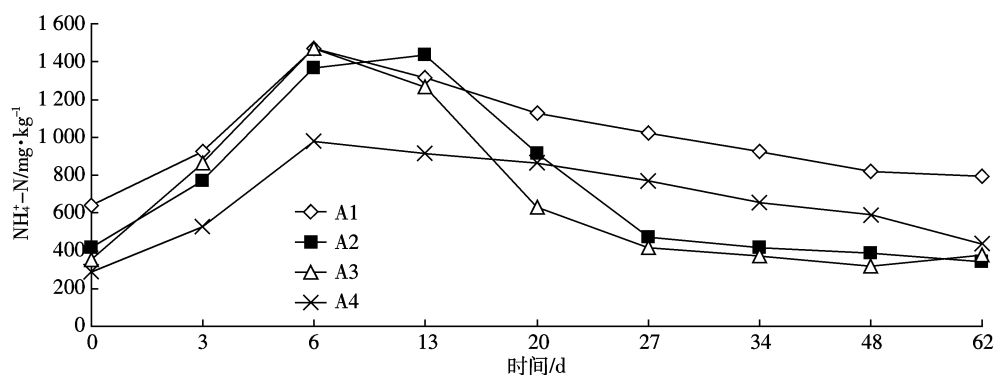
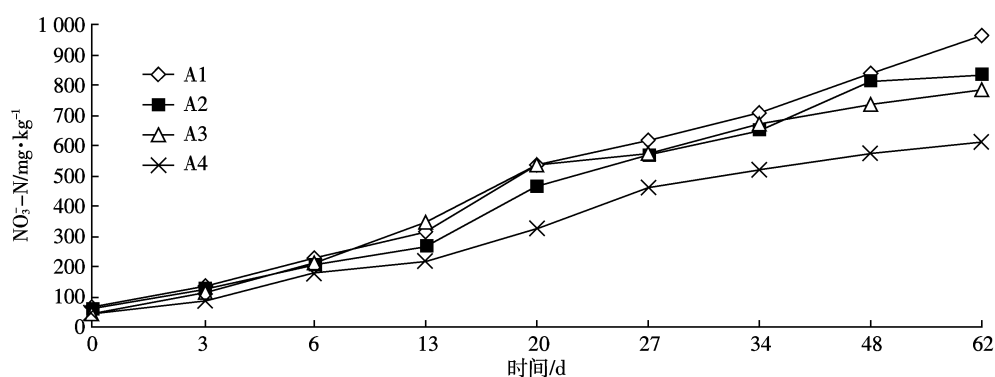
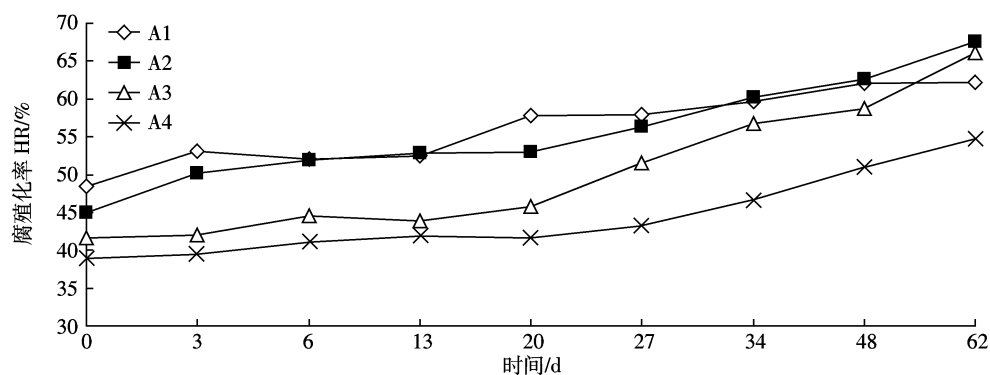
图4 堆肥过程中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化Figure 4 Change of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ during composting图5 堆肥过程中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化Figure 5 Change of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ during composting

图6 堆肥过程中腐殖质的变化

Figure 6 Change of HR during composting

的腐殖化程度明显高于 A1、A4。

从图 7 可以看出,各处理堆肥初期胡敏酸迅速下降,后期胡敏酸含量开始缓慢上升。可能由于堆肥原料中胡敏酸不稳定,易被降解。由微生物重新合成的胡敏酸芳香结构化程度增加,稳定性强,导致胡敏酸含量上升^[12]。胡敏酸含量在堆肥第 3 d 达到最低点,然后随着腐殖质的形成,胡敏酸的含量呈明显增加趋势,相对于最低点,各处理增加幅度分别为 83.6%、160%、107%、30.9%。而富里酸含量的变化与胡敏酸

不同(图 8),总体呈现为逐渐降低趋势,与堆肥前相比,堆肥第 62 d,各处理富里酸含量降低幅度为 41.7%、57.1%、47.1%、40.8%。从胡敏酸和富里酸的增加和降低趋势可以看出,处理 A2 在堆肥过程中能更好的促进富里酸向胡敏酸转化,加快转化进程。

2.6 堆肥过程中养分的变化

由表 3 可以看出,堆肥结束时,全氮含量除 A1 处理有所降低外,其余处理均有所增加。各处理的全磷分别增加 7.01%、11.5%、5.97%、7.54%,全钾增加

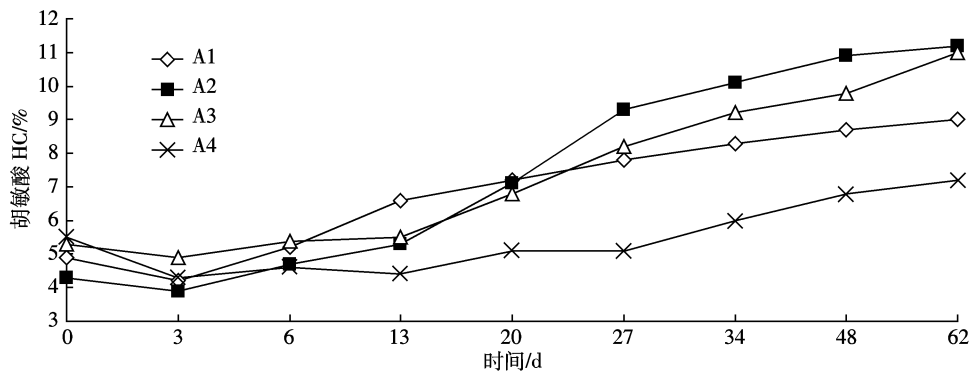


图 7 堆肥过程中胡敏酸的变化
Figure 7 Change of Humic acid during composting

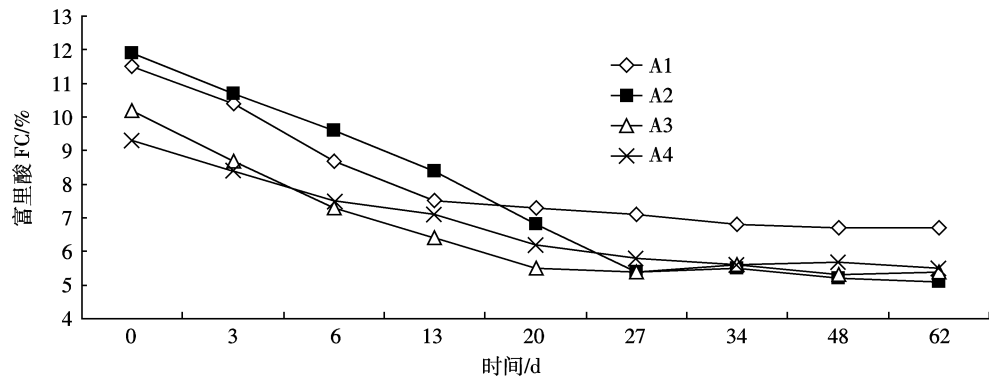


图 8 堆肥过程中富里酸的变化
Figure 8 Change of Fuluic acid during composting

表 3 堆肥过程中养分的变化

Table 3 Change of nutrients during composting

项目 Items	A1		A2		A3		A4	
	初始 Beginning	结束 End	初始 Beginning	结束 End	初始 Beginning	结束 End	初始 Beginning	结束 End
全氮 Total N/%	1.69	1.57	1.44	1.67	1.24	1.51	1.1	1.26
全磷 Total P/%	1.14	1.22	0.87	0.97	0.67	0.71	0.53	0.57
全钾 Total K/%	1.89	1.959	2.21	2.56	2.43	2.63	2.61	2.74
速效氮 Available N/%	0.28	0.23	0.25	0.225	0.22	0.197	0.21	0.17
速效磷 Available P/%	0.36	0.41	0.27	0.34	0.21	0.24	0.16	0.18
速效钾 Available K/%	1.13	1.15	1.37	1.54	1.72	1.83	2.14	2.25

3.65%、15.83%、8.23%、4.98%，速效磷增加 13.89%、25.92%、14.28%、12.5%，速效钾增加 1.77%、12.41%、6.39%、5.14%，其中 A2 处理的各种营养物质上升幅度均为最高。速效氮质量分数相比堆肥初始时略有下降，降幅分别为 17.86%、10%、10.45%、19.1%，其中 A2 处理的降幅最小。由此可知，在实际应用中，A2 处理(C/N=25)进行高温堆肥较为适宜。

3 讨论

温度是堆肥过程中非常重要的变量，温度控制对于杀灭致病菌、优化呼吸速率、去除水分和稳定堆肥

物料至关重要，在好氧堆肥过程中，温度是影响微生物活动和堆肥工艺过程的关键因素^[13-14]，因此，堆体温度的高低决定堆肥进程的快慢。在本实验中 C/N 比值低的处理 A1 和 C/N 比值高的处理 A4 堆温较低、高温保持时间短，这与低 C/N 条件下有效碳源不足和高 C/N 条件下有效氮源不足抑制微生物的生长和活性有关^[15]。pH 在堆肥初期升高，是由于有机酸分解产生大量的 NH₃ 所致，堆制后期，由于 NH₃ 挥发速率降低，以及在堆肥后期硝化菌的硝化作用产生大量的 H⁺造成 pH 的下降^[16]。

各处理的 C/N 在堆肥腐熟时期呈下降趋势，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。本试验中 NH_4^+-N 浓度表现为前期升高后期降低的趋势,这是由于微生物活动加剧了有机氮的分解,从而产生大量 NH_4^+ 。高温期过后,堆肥 NH_4^+-N 因微生物的同化作用、 NH_3 挥发损失及硝化作用的进行而逐渐降低^[7]。另外,可能由于一些硝化菌促进了堆肥体系中 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化,而使堆体中 NO_3^--N 浓度迅速上升。所以 NH_4^+-N 浓度表现为先随全氮的分解而上升,后随 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化而下降的趋势。

胡敏酸(HA)和富里酸(FA)是腐殖质的重要组成部分,对腐殖质的质量起着决定作用。新鲜堆肥中含有较低含量的 HA 和较高含量的 FA。由于 FA 类物质分子量相对较小、分子结构简单,在堆肥过程中,一部分可能被微生物分解,而另一部分则通过转化形成分子量较大、结构复杂的 HA 类物质。因此堆肥处理过程中,HA 含量上升,FA 含量下降。

堆肥结束时,全氮含量除 A1 处理有所降低外,其余处理均有所增加。这主要是由于 A1 处理的 C/N 较低,碳源是微生物生长的限制因素,有机物的分解速度慢,大量富裕的氮素在堆肥初期随着温度、pH 的升高而出现损失^[6]。而其余处理的全氮含量上升,主要是因为堆肥重量减轻,造成全氮绝对含量下降,而相对含量上升,虽然这 3 个处理也有氮素损失,但是小于 A1 处理。在高温堆肥结束时,各处理堆肥全磷、全钾、速效磷和速效钾含量比堆肥初始均有所增加,这是由于堆肥过程中磷素和钾素不会挥发损失,而堆肥的总干物质下降所致^[8]。

4 结论

(1)鸡粪与小麦秸秆在 C/N=25 时达到的温度最高为 62℃,达到最高温度所需的时间最短为 2 d,鸡粪与小麦秸秆 C/N=30 的处理次之。堆肥过程中各处理 pH 值变化基本一致,都是先上升后下降的过程,在堆肥结束时保持在 8.33~8.59。

(2)加入鸡粪有利于堆体 C/N 和 NH_4^+-N 的降低,促进小麦秸秆的无害化,加快小麦秸秆堆肥腐熟进程。堆肥结束时各处理 C/N 分别为 16.1、14.4、16.4、18.4, NH_4^+-N 含量分别比最高时降低了 46.1%、76.2%、74.2%、55.2%。说明添加鸡粪可以促进硝化细菌的生长,有利于 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 的转化。而且随着鸡粪添加比例的增加而显著增加,这与徐智等研究

一致^[18]。

(3)随腐解进行,各处理腐殖质占全碳的比例呈增加趋势。堆肥结束时,各处理 HR 比开始分别增加了 28.4%、50.2%、58.8%、40.6%。胡敏酸含量在堆肥 3 d 时达到最低点,然后随着腐殖质的形成,胡敏酸的含量呈明显增加趋势,相对于最低点,各处理增加幅度分别为 83.6%、160%、107%、30.9%。而富里酸总体呈现为逐渐降低趋势,与堆肥前相比,堆肥后 62 d,各处理富里酸含量降低幅度分别为 41.7%、57.1%、47.1%、40.8%。

(4)在高温堆肥结束时,全氮含量除 A1 处理有所降低外,其余处理均有所增加。各处理堆肥全磷、全钾、速效磷和速效钾含量在堆肥结束时比堆肥初始均有所增加,全磷分别增加 7.01%、11.5%、5.97%、7.54%,全钾增加 3.65%、15.83%、8.23%、4.98%,速效磷增加 13.89%、25.92%、14.28%、12.5%,速效钾增加 1.77%、12.41%、6.39%、5.14%。

(5)综合判断,在实际应用中,鸡粪与小麦秸秆 C/N=25 进行堆肥较为适宜,C/N=30 次之。

参考文献:

- [1] 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-bai, LI Qin-fen. Study on evaluation of maturity during banana stem composting treatment[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(9):268-272.
- [2] 兰时乐,曹杏芝,戴小阳,等.鸡粪与油菜秸秆高温堆肥中营养元素变化的研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):564-569.
LAN Shi-le, CAO Xing-zhi, DAI Xiao-yang, et al. The changes of nutrition elements during the composting chicken manure and rape straw under higher temperature[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(3):564-569.
- [3] 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,2004,32(11):53-57.
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]. Jour of Northwest Sci-Tech Univ of Agri and For, 2004, 32(11):53-57.
- [4] 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 Agriculture Press, 2000.
- [5] 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):98-103.
LI Yan-xia, WANG Min-jian, WANG Ju-si. The maturity indexes and standards of organic solid waste composting[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1999, 20(2):98-103.
- [6] Garcia C, Hernandez T, Fosta, et al. Evaluation of the maturity of mu-

- municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. *Common Soil Sci Plant Annal*, 1992, 23:1501-1512.
- [7] Morel T L, Colin F, Germon J C, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost[M]. London & New York: Elsevier Applied Science Publish, 1985:56-72.
- [8] 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.
- [9] 栾冬梅, 关静姝, 孙 黎, 等. 碳氮比对牛粪好氧堆肥过程的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(8):77-81.
- LUAN Dong-mei, GUAN Jing-zhu, SUN Li, et al. Effect of different initial carbon to nitrogen ratio on dairy manure composting [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2008, 39(8):77-81.
- [10] 鲍艳宇, 颜 丽, 娄翼来, 等. 鸡粪堆肥过程中各种碳有机化合物及腐熟度指标的变化[J]. 农业环境科学学报. 2005, 24(4):820-824.
- BAO Yan-yu, YAN Li, LOU Yi-lai, et al. Changes of various nitrogen-containing compounds in composting of chicken manure and indexes of maturity evaluation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(4):820-824.
- [11] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- LI Guo-xue, ZHANG Fu-suo. Solid wastes composting and organic fertilizer production[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [12] 马怀良, 许修宏. 不同 C/N 对堆肥腐植酸的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(6):64-73.
- MA Huai-liang, XU Xiu-hong. Effect of C/N on humus in composting [J]. *China soil and Fertilizer*, 2009(6):64-73.
- [13] 秦 莉, 沈玉君, 李国学, 等. 不同 C/N 比对堆肥腐熟度和含氮气体排放变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2668-2673.
- QIN Li, SHEN Yu-jun, LI Guo-xue, et al. The impact of composting with different C/N on maturity variation and emission of gas concluding N[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12):2668-2673.
- [14] 陈同斌, 黄启飞, 高 定, 等. 城市污泥好氧堆肥过程中积温规律的探讨[J]. 生态学报, 2002, 22(6):911-915.
- CHEN Tong-bin, HUANG Qi-fei, GAO Ding, et al. Accumulated temperature as an indicator to predict the stabilizing process in sewage sludge composting[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6):911-915.
- [15] 罗泉达. C/N 比值对猪粪堆肥腐熟的影响[J]. 闽西职业技术学院学报, 2008, 10(1):113-115.
- LUO Quan-da. Effect of initial C/N ratios on pig manure compost maturity[J]. *Journal of Minxi Vocational and Technical College*, 2008, 10(1):113-115.
- [16] 卢秉林, 王文丽, 李 娟, 等. 小麦秸秆添加量对羊粪高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(2):30-34.
- LU Bing-lin, WANG Wen-li, LI Juan, et al. Effect of wheat straw on the maturity processing of sheep manure under high temperature condition[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2010, 15(2):30-34.
- [17] 邵 森, 杨淑英, 张增强, 等. 不同处理对高含水率奶牛粪好氧堆肥的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5):982-989.
- SHAO Miao, YANG Shu-ying, ZHANG Zeng-qiang, et al. Effect of different treatments on composting of high water content dairy manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5):982-989.
- [18] 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):507-511.
- XU Zhi, TANG Li, MAO Kun-ming, et al. Effect of cow manure on passion fruit marc high-temperature compost maturity[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2):507-511.