植物营养与肥料学报 2014,20(3):718-725
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0325

添加硫酸对牛粪堆肥过程及其养分变化的影响

胡雨彤[1,2], 时连辉[1,2,3*], 刘登民[1,2], 仝少伟[1,2], 魏美艳[1,2], 孙 杰[1,2]
(1 土肥资源高效利用国家工程实验室,山东泰安 271018; 2 山东农业大学资源与环境学院,
山东泰安 271018; 3 山东省农业环境重点实验室,山东泰安 271018)

摘要: 为研究不同浓度硫酸对畜禽粪便条垛式堆肥中 pH 值以及养分含量动态变化的影响,以牛粪和锯末为试验材料,以实验室常用浓硫酸稀释成不同浓度为添加物,在露天进行 43 d 的条垛式堆肥,测定堆肥过程中温度、水分、pH 值、全量和速效养分含量,并以种子发芽指数测定堆肥效果。结果表明,在初始物料中添加 0.2 mol/L、0.3 mol/L 的硫酸对缩短堆肥高温上升期,降低堆肥 pH 和促进有机质分解,提高堆肥中全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量具有明显效果。其中添加 0.2 mol/L 硫酸堆体在堆肥 43 天时全氮、全钾、全磷、速效钾、有效磷与堆肥对照相比分别增加了 19.51%、13.49%、6.07%、21.39%、9.03%。堆肥结束时各个处理发芽指数均达到 80% 以上,不会对植物造成毒害作用。整体来说,牛粪堆肥中添加 0.2 mol/L 的硫酸,堆肥效果最好。本研究为硫酸添加物应用于实际堆肥工程提供了理论依据。

关键词: 硫酸; 牛粪; 堆肥; pH; 养分变化
中图分类号: X705; S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2014)03-0718-08

Effects of adding sulphuric acid on composting process of cattle manure and changes of main nutrients

HU Yu-tong[1,2], SHI Lian-hui[1,2,3*], LIU Deng-min[1,2],
TONG Shao-wei[1,2], WEI Mei-yan[1,2], SUN Jie[1,2]
(*1 National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an, Shandong 271018, China;*
2 College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;
3 Shandong Provincial Key Laboratory of Agricultural Environment, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: In this study, to explore the effects of different concentrations of sulphuric acid on changes of pH and main nutrient elements during the windrow compost, an experiment of cattle manure composting was carried out for 43 days. Besides the control, three mixtures were treated with addition of different concentrations of sulphuric acid, 0.1 mol/L, 0.2 mol/L and 0.3 mol/L. The results show that during 43 days, the sulphuric acid addition treatments at 0.2 mol/L and 0.3 mol/L decrease the stage of initial high temperature, pH and carbon losses significantly, and increase the contents of total N, total K, total P, available potassium and available phosphorus effectively. The total N, total K, total P, available potassium and available phosphorus in the 0.2 mol/L sulphuric acid compost are increased by 19.51%, 13.49%, 6.07%, 21.39% and 9.03% respectively compared to the control in the 43 days. The germination index (GI) value is over 80% at the end of composting, implying that the phytotoxicity is eliminated completely. On the whole, the addition of the 0.2 mol/L sulphuric acid has the best composting effect. The addition of sulphuric acid can provide technical support and basis for cattle manure composting engineering.

Key words: sulphuric acid; cattle manure; composting; pH; nutrient change

收稿日期: 2013-04-11 **接受日期:** 2013-09-03
基金项目: "十二·五"国家"948"计划重点项目(2011-G30); 国家"十二·五"科技支撑计划项目(2014BAD16B02); 国家"十二·五"科技支撑计划项目(2014BAL04B05); 泰安市科技发展计划项目(20123064); 肥城桃提质增效工程项目资助。
作者简介: 胡雨彤(1989—),女,安徽亳州人,硕士研究生,主要从事栽培基质与农业废弃物利用研究。E-mail: shihezidetian@126.com
* 通信作者 E-mail: shilh@sdau.edu.cn

近年来,随着奶牛养殖业规模化、集约化的迅速发展,奶牛场粪便集中排放造成的环境污染问题日益凸显。2007 年全国奶牛存栏量 1218.9 万头,牛粪日排泄量高达 20 ～ 30 万吨,尤其是规模化奶牛场,若缺乏有效处理手段,大量牛粪堆积容易造成严重的污染[1]。一般畜禽粪便的资源化利用主要包括肥料化、饲料化和能源化三个方面,研究表明,好氧堆肥技术目前是处理固体有机废弃物最根本、最经济、最有效的方法,其主要是通过对有机废弃物资源进行高温堆肥处理,将废弃物进行无害化、资源化利用[2-3]。但是国内外牛粪堆肥产物普遍存在 pH 值较高的问题,pH 值过高会加大堆肥过程中氨的挥发,使堆体散发出刺激性氨气味道; 降低养分元素的活化速率,特别是中微量元素; 同时抑制微生物和酶活性,使堆体有机质降解较慢[4-6]。目前国内外用酸或酸性盐等化学改良剂在降低堆肥氮素损失、促进氮素贮存方面研究较多,如顾文杰[7]等人研究表明,硫磺对牛粪好氧堆肥保氮效果较好,李冰[8]等人研究表明硫酸可以降低猪粪堆肥产品 pH 值, 与常规堆肥相比可明显促进氮的固定。而针对酸性物质对堆肥过程中 C/N 比转化,以及速效钾与全钾、有效磷与全磷等指标在堆肥过程中的动态变化研究较少。本试验针对 pH 值、EC 值、有机碳、全氮、全磷、全钾以及有效磷、速效钾、发芽指数等多项指标在堆肥过程中的动态变化进行系统研究,以确定牛粪堆肥化生产中添加硫酸的最佳浓度,为提高牛粪堆肥产品的质量提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　堆肥材料

于 2012 年 5 月 9 日至 6 月 21 日,牛粪堆肥试验在山东农业大学南校区堆肥基地进行,在山东农业大学资环学院进行堆肥理化性质分析。以鲜牛粪和锯末为原料进行条垛式翻堆堆肥。牛粪取于山东省泰安市岱宗北集坡赵庄,锯末购自泰安市木材市场,为松树板材加工下脚料,发酵菌剂由山东省泰安亚细亚食品有限公司有机肥料厂提供。堆肥原料的理化性质见表 1。

表 1　堆肥原料的理化性质

Table 1　Physical and chemical properties of aerobic composting

原料 Material	含水率 Water content (%)	有机碳 Organic C (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	有效磷 Avail. P (g/kg)	速效钾 Avail. K (g/kg)
牛粪 Cattle manure	72	310.9	16.0	8.5	14.6	4.0	8.2
锯末 Sawdust	15	550.9	2.7	3.3	1.3	0.8	0.6

1.2　试验设计

根据堆肥原料的性质,将牛粪和锯末按照 2∶1 (v/v)的比例进行混合,调整 C/N 为25 ～30∶1。同时,每立方米均匀加 3% 的发酵菌剂,调整含水率至 50% ～60% ,堆置成长 2 m、下底宽 1.5 m、上底宽 0.5 m、高 0.5 m 的长条状堆肥。腐解期间定期人工翻堆,在每次采集样品后进行翻堆。堆肥周期为 43 d。

试验进行初期,将鲜牛粪样品采集至室内,在 1 L 牛粪中添加不同量不同浓度的硫酸,发现用 50 mL 0.02 mol/L 的硫酸可以将牛粪中 pH 值调节至 7.5 左右, 用 50 mL 0.1 mol/L 的硫酸可以将牛粪中 pH 调节至 6.3 左右。针对堆肥过程中堆肥初期 pH 值在中至微碱性之间微生物活跃,酸性环境下抑制微生物活动,堆体温度上升较慢,易产生臭味等, 综合考虑各个因素,同时达到降低牛粪中 pH 值的作用,本试验共设 4 个处理: 1)不加硫酸仅原料堆肥 +蒸馏水 10 L/m^3(CK); 2)原料 +0.1 mol/L 硫酸 10 L/m^3(H1); 3)原料 +0.2 mol/L 硫酸 10 L/m^3(H2); 4)原料 +0.3 mol/L 硫酸 10 L/m^3(H3)。将蒸馏水和硫酸溶液在堆料堆制过程中均匀地喷洒到原料中。在堆肥堆制第 0、3、6、13、20、27、43 d 进行采样,共计 7 次。采样方式为 5 点采样法,即中心和四角部位采集样品共约 1 kg。采样点为距堆体表面 30 cm 处,然后进行混合均匀。将采集的新鲜样品用于测定含水量、有机碳、发芽指数; 部分放于室内风干,取部分测 pH 值、EC 值,其余粉碎,过 1 mm 筛贮存,用于全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾的测定。剩余样品于 4℃冰箱保存。

1.3 测定项目与方法

温度：于每天早上10：00用温度计插入堆体表层下30 cm处，采用多点测量取平均值的方法，同时监测环境温度的变化。

含水率：用80℃恒温箱烘24 h后测定，含水率=（湿重－干重）×100%/湿重。

pH、EC：采用1∶5（v/v）蒸馏水提取液测定基质pH和EC值。取自然状态下风干基质10 mL装入震荡瓶中，加蒸馏水50 mL，震荡30 min，过滤，用PC700测定仪测定。

堆肥中全氮、全磷、全钾指标按照农业行业标准NY525-2011测定；有效磷按照NY/T300-1995测定；速效钾按照NH_4OA_C浸提—火焰光度法测定；有机碳按照灰化法测定，随后求出C/N。

种子发芽指数：取5 g鲜样加入50 mL蒸馏水，振荡1 h，吸取5 mL滤液，加到铺有2张滤纸的9 cm培养皿中，每培养皿中均匀放入10粒新白菜籽（品种为北京3号），以蒸馏水作对照，每个处理重复3次，在25℃黑暗条件下培养24 h，测定种子发芽率和根长，然后按以下公式计算种子的发芽指数GI值。

GI=（堆肥处理的种子发芽率×种子根长）×100%/（对照的种子发芽率×种子根长）。

试验数据用Excel 2003和SPSS 15.0进行分析。

2 结果与分析

2.1 堆体物理性状的变化

在堆肥第1 d，4个处理物料均呈现黄褐色，黏结成球块状，同时牛粪的气味基本未变。从第2 d测量温度发现，4个处理堆肥发酵速度较快，特别是添加硫酸处理。表层下30 cm左右已经开始冒热气及散发出刺激性气味。到堆肥第3 d采样发现有大量白色菌丝和强烈氨味。随着堆肥化进程的发展，堆肥物料颜色逐渐变深至黑褐色，开始腐烂。在堆肥第20天，测量发现各堆体高度与开始相比下降约25%左右。

2.2 堆体温度的变化

堆肥温度的变化反映了堆体内微生物活性的变化，能很好地反映堆肥过程所达到的状态。从图1可以看出，刚开始各处理升温迅速，温度较高，这与开始微生物活动活跃有关。在整个堆肥过程中，各处理堆体的温度变化趋势基本一致，呈先上升后平稳下降的趋势。CK、H1、H2、H3处理在堆肥温度下降至42℃左右后又经历了一次升温过程，但二次升温持续时间短，温度在50℃左右波动。各处理到达高温期所用时间以H2、H3处理最短，其次是H1处理，最慢为CK处理。然而CK中高温期持续时间（≥50℃）最长，其次是H1，最后是H2、H3。同时可以看出，4个处理在堆肥的1～4 d内都进入高温堆肥阶段（≥50℃），维持时间都满足7 d，满足了堆肥卫生指标的要求[9]。不同处理中维持40℃以上温度达到24～26 d，随后温度稳定在30～40℃，说明堆肥已达到稳定阶段。

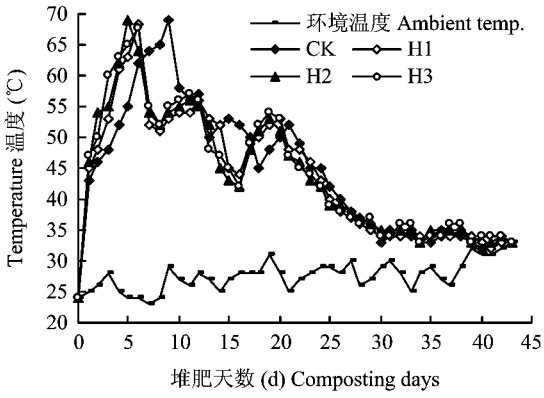

图1 不同添加量的硫酸对堆体温度的影响

Fig. 1 Temperature changes in the composting with different amounts of sulfuric acid

2.3 堆肥过程中含水量的变化

水分是影响堆肥腐熟速度的重要参数，合适的水分是保持微生物最佳活性的必要条件[10]。由图2可知，堆肥中含水量整体呈现出下降趋势，堆肥开始时堆体的初始含水量为64%～65%，随着堆肥的进行，各处理含水量因蒸发以及堆体内微生物活跃

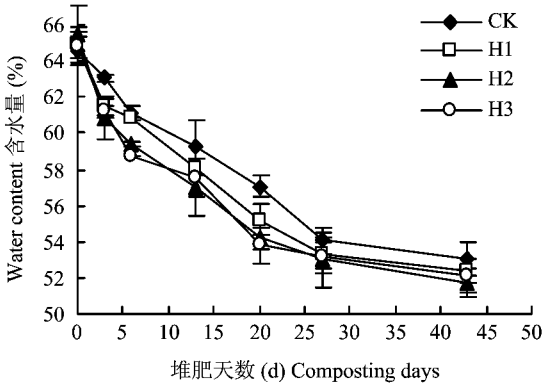

图2 不同添加量的硫酸对堆体含水量的变化

Fig. 2 Changes of moisture content in the composting with different amounts of sulfuric acid

期间消耗大量的水分,导致其含水量迅速下降。堆肥 27 d 时,CK、H1、H2、H3 中含水量分别比堆肥初期下降了 16.31%、17.91%、19.06%、17.93%,整体来说添加硫酸加速了堆肥中水分的散失。在 27 d 之后,由于堆肥稳定,微生物活动微弱,只受挥发因素影响,堆肥含水量呈现出微弱下降,堆体的含水量维持在 50%～55% 左右。

2.4　堆肥过程中 pH 和 EC 值的变化

由图 3 可知,CK、H1、H2、H3 中 pH 值呈现降低—升高—降低的趋势。刚开始堆肥 0～3 d 内 pH 值逐渐降低,可能与此时微生物活动活跃,产生大量有机酸和释放出大量二氧化碳有关。添加硫酸处理有效地降低了堆肥中的 pH 值,在堆肥初期 CK、H1、H2、H3 中 pH 值分别为 7.71、7.65、7.47、7.39。堆肥中 CK、H1、H2、H3 处理最高 pH 值分别为 8.74、8.68、8.51、8.25。整个堆肥过程中添加硫酸处理 pH 值明显低于 CK 处理,不同处理之间存在显著差异。堆肥结束时使用 0.1 mol/L 的硫酸使 pH 值降低 0.1 个 pH 单位,0.2 mol/L 的硫酸下堆肥 pH 值降低 0.3 个 pH 单位,0.3 mol/L 的硫酸一般会使 pH 降低 0.6 个 pH 单位,最大可达到 0.8 个 pH 单位,说明添加硫酸可以显著降低堆肥的 pH 值,并且当堆肥结束时 CK、H1、H2、H3 中 pH 值分别为 8.18、8.08、7.86、7.47,均在 7～9 之间,说明添加硫酸不同处理均达到堆肥腐熟中 pH 值的要求。

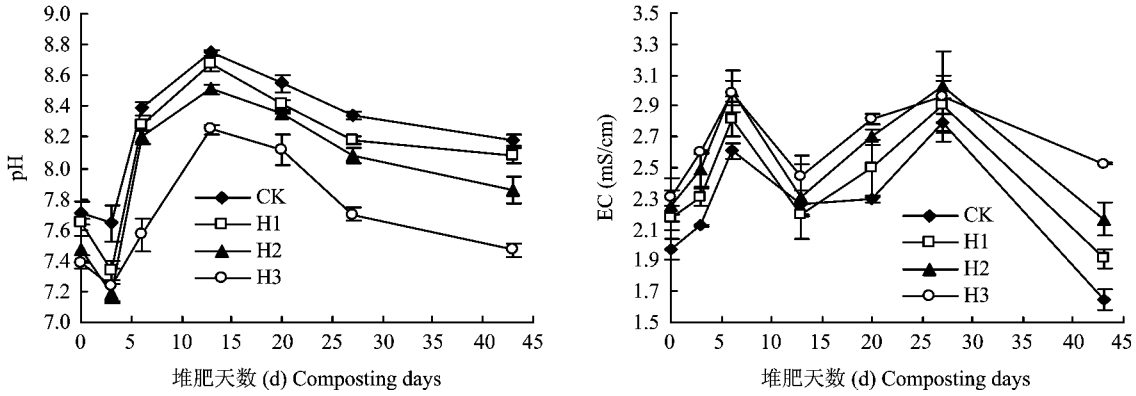

图 3　不同添加量的硫酸对堆体 pH 和 EC 的影响

Fig.3　pH and EC changes in the composting with different amounts of sulfuric acid

从图 3 中还可以看出,各处理的 EC 值在堆肥初期变化基本一致,呈现出升—降—升—降的趋势。整个堆肥过程中 CK 处理的 EC 值最低,其余 3 个处理由于硫酸的添加,增加了堆肥中可溶性盐的含量,同时由于发酵过程中产生大量小分子物质,促使 EC 值上升。研究认为,当堆肥 EC 值小于 9.0 mS/cm 时,对种子发芽没有抑制作用[11]。试验各处理 EC 值最高为 3.02 mS/cm,并且到堆肥结束各个处理的 EC 值分别为 1.65、1.91、2.16、2.53 mS/cm,因此从 EC 值上看添加硫酸处理对堆肥质量影响不大。

2.5　堆肥过程中碳、氮的变化

2.5.1 堆肥中全氮和有机碳的变化　从图 4 可以看出,各处理的全氮含量随着堆肥进程的变化呈现出先降低后升高的趋势。发酵开始阶段全氮含量下降是由于在高温期微生物活动旺盛,消耗氮的速率明显大于总干物质的下降速率[12]。随着发酵的进行,堆肥逐渐腐熟,部分有机碳还被利用转化为 CO_2,而此时 NH_3 的挥发损失较小,因此,堆肥中全氮含量转为上升。添加硫酸的 H2 处理中全氮在堆肥的 0～3 d 有小范围的下降,随后又开始上升; 而处理 CK 和添加硫酸 H1、H3 处理在堆肥的 0～6 d 呈下降趋势。H1 处理中全氮含量在堆肥的 6～13 d 迅速升高,堆肥 13 d 以后基本保持不变; H2、H3 处理在堆肥 3～20 d 呈现迅速升高趋势,处理 CK 在堆肥 6 d 以后含量逐渐增加,其中 13 d 以后增加幅度较大,在堆肥 27 d 后达到稳定阶段。堆肥结束时,CK 处理全氮含量为 11.74 g/kg,H1、H2、H3 处理的全氮含量比 CK 分别增加了 3.41%、19.51%、11.07%,说明添加硫酸起到一定的保氮效应。

在堆肥过程中,微生物参与各种生化反应,而有机碳为微生物活动提供能量和碳源,所以有机碳的变化能在一定程度上反映堆肥的进程,很多学者通过研究有机碳的降解率来判断堆肥的腐熟度[13-15]。图 4 显示,整个堆肥周期内有机碳呈现下降趋势,且添加硫酸处理中有机碳下降趋势明显大于对照 CK,堆肥结束时,H1、H2、H3 中有机碳含量分别比对照

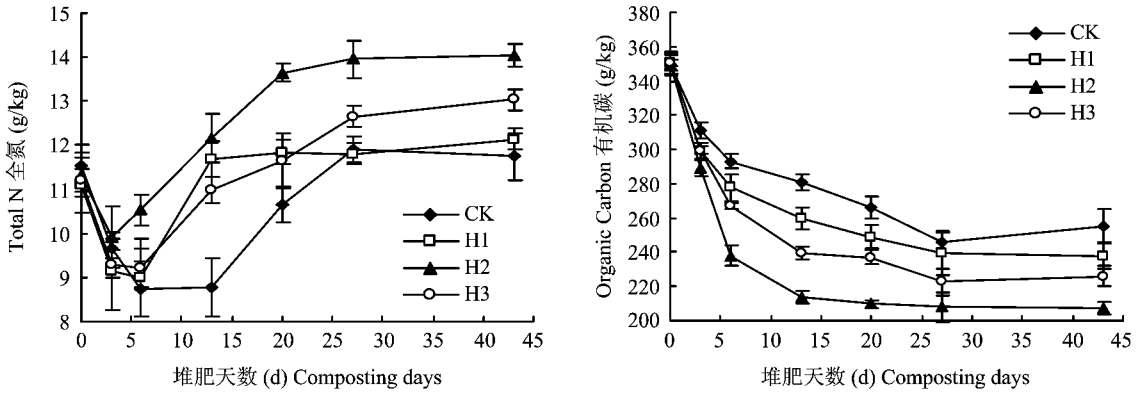

图4 不同添加量的硫酸对堆体全氮和有机碳含量的影响

Fig. 4 Total N and organic carbon in the composting with different amounts of sulfuric acid

CK 降低了 6.81%、18.85%、11.54%，说明添加硫酸对有机碳矿化有促进作用，特别是 H2 处理。

2.5.2 堆体中 C/N 的变化 C/N 比是堆肥过程中决定有机物质分解的重要因素可被作为评价堆肥腐熟的参数，反映堆肥的稳定程度以及堆肥中是否存在对植物有毒害作用的物质[16]。

由图5可知，随着堆肥过程的进行各处理间C/N呈现下降的趋势，最后趋向稳定。添加硫酸之后，开始 C/N 比下降速度较快，可能由于堆肥初期微生物活跃，消耗大量碳源，微生物腐解等以 CH_4、CO_2、N_2O 等形式散发出去，但是碳的损失速率大于氮的损失速率；后期随着腐解过程的发展，碳能源的损耗较快，C/N 比表现出较低的形式，并趋于稳定。对照 CK 处理中 C/N 比开始出现上升趋势，随后又下降，可能与开始 CK 处理中 N 损失较多有关。堆肥结束时 CK、H1、H2、H3 处理中 C/N 比分别为

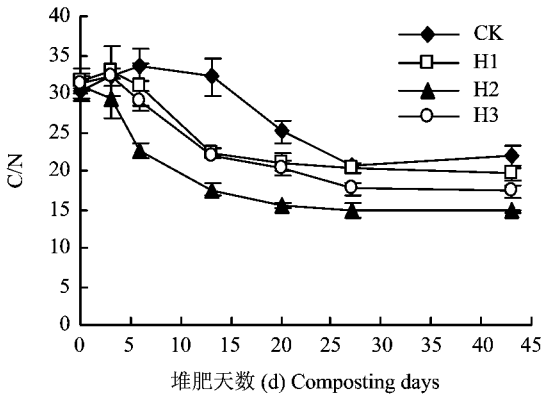

图5 不同添加量的硫酸对堆肥过程中 C/N 的影响

Fig. 5 C/N in the composting with different amounts of sulfuric acid

21.80、19.63、14.77、17.34。研究表明，当堆体中 C/N 最初的 30∶1 降到 15～20∶1 时，即堆体已经腐熟[17]。这也说明，本试验中不同处理的 C/N 在堆肥结束时基本达到腐熟要求。

2.6 堆体中钾的变化

图6表明，全钾含量在堆肥13天时略有下降趋势，随后开始上升，全钾含量上升可能由于钾在堆肥过程中不易挥发，随着堆肥过程的进行，堆体总质量下降，全钾含量发生浓缩所致。添加硫酸处理的堆肥中全钾含量显著高于对照 CK，在堆肥结束时，CK、H1、H2、H3 中全钾含量分别达到 12.40、13.43、14.08、13.91 g/kg。在堆肥过程中，有机物料中固有的养分得到了充分的活化，速效钾含量随着堆肥的进行呈现明显的增加趋势，堆肥 43 d 与第 1 d 相比，CK、H1、H2、H3 中速效钾增幅达到 64.91%、76.00%、96.00%、84.02%，说明添加硫酸可以较好将钾素转化成可溶性钾以及交换性钾，利于堆肥产品中钾素被植物吸收利用，特别是 H2 处理。图6中速效钾在全钾中的百分比在堆肥过程中出现波动，但总体趋势是增加的，其百分比出现降低的时候，可能是当时速效钾的增加量小于全钾的增加量的缘故。堆肥结束时，不同处理中速效钾占全钾的百分比基本达到75%左右。

2.7 堆体中磷的变化

堆体中全磷和有效磷整体呈现增加趋势，在堆肥 27～43 d 时呈现稳定趋势（图7）。全磷含量上升与全钾变化原因类似，磷不易挥发，当堆体质量降低的时候，磷元素发生浓缩现象，同时可能由于有机物的分解，微生物活化磷素等使有效磷的含量上升。添加硫酸处理的堆体中全磷和有效磷含量明显高于

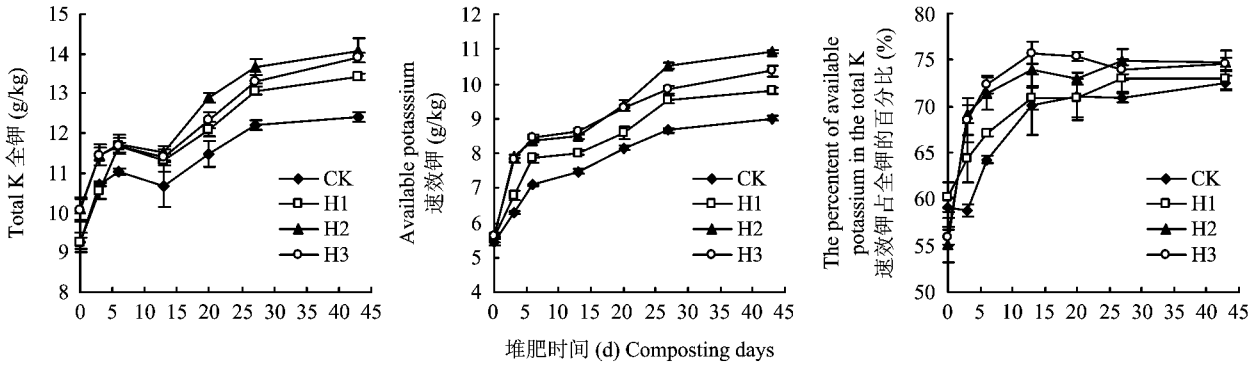

图 6　不同添加量的硫酸对堆肥过程中钾的影响

Fig. 6　Potassium in the composting with different amounts of sulfuric acid

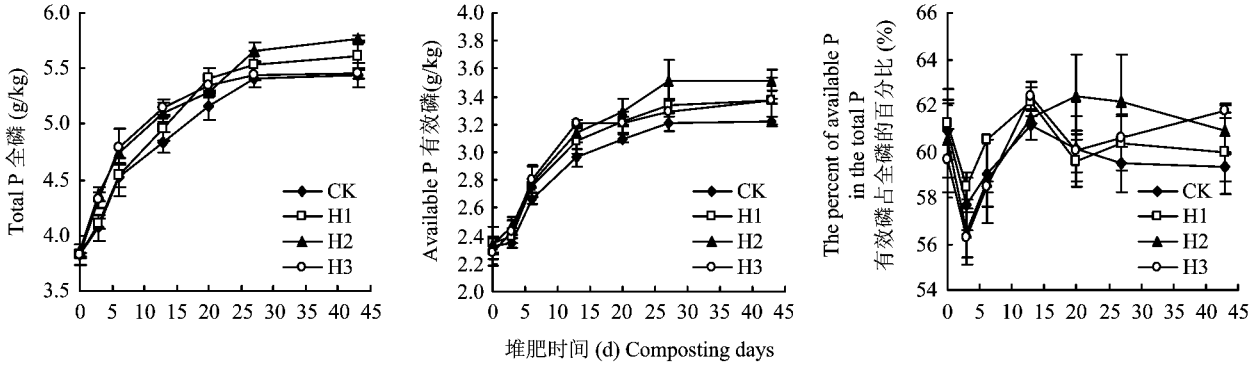

图 7　不同添加量的硫酸对堆肥过程中磷的影响

Fig. 7　Phosphorus in the composting with different amounts of sulfuric acid

CK 处理。当堆肥结束时,CK、H1、H2、H3 中全磷含量分别达到 5.44、5.62、5.77、5.46 g/kg,H1、H2、H3 中全磷分别比 CK 中升高了 3.31%、6.07%、0.37%,有效磷含量分别比 CK 升高了 4.46%、9.03%、4.53%,进一步说明添加硫酸有利于有效磷的形成。有效磷占全磷的百分比整体呈现出降—升—降—稳的趋势,第一次下降可能由于在高温期,微生物活跃,需要消耗大量有效磷,堆肥中有效磷含量此时形成和消耗量趋于稳定状态,而总磷含量在升高,从而使有效磷占总磷的百分比在下降; 随后随着维持高温期,微生物自身分解以及有效磷发生浓缩现象,有效磷含量呈递增趋势并且有效磷增大幅度大于全磷增加幅度,呈现出有效磷占全磷的百分比再上升的趋势; 堆肥 13 d 以后,有效磷增加幅度小于全磷增加幅度,有效磷占全磷的百分比表现为下降的趋势; 堆肥 20 d 以后,微生物活动微弱,有效磷和全磷含量趋于稳定状态,堆肥结束的时候,有效磷占全磷的百分比与开始相比总体变化趋势不明显,说明堆肥结束时,有效磷、全磷与堆肥开始时相比,增加幅度相接近。有效磷占全磷的百分比在 60% 左右。整体来说添加 0.2 mol/L 硫酸处理中全磷和有效磷含量显著高于其他处理。

2.8　种子发芽指数的变化

发芽指数是用来评价培养介质对植物毒性的参数,是检验堆肥腐熟度最精确最有效的方法,一般认为当 GI 大于 50% 时,堆肥基本腐熟且没有毒性,当 GI 大于 80% 时堆肥已完全腐熟,对植物的毒性完全消失[18]。

图 8 显示,堆肥 3 天采集样品时,添加硫酸处理的发芽指数略有下降,可能由于此时添加硫酸处理堆体内微生物活动剧烈,产生大量有机酸所致; 随后发芽指数开始上升,在堆肥 20 d 以后,试验中 4 个处理发芽指数均大于 50%,说明此时堆体已基本腐熟; 堆肥结束时 CK、T1、T2、T3 处理中发芽指数分别达到 81.54%、84.01%、93.46%、90.28%,均大于 80%,说明添加硫酸不会对堆肥产品产生植物

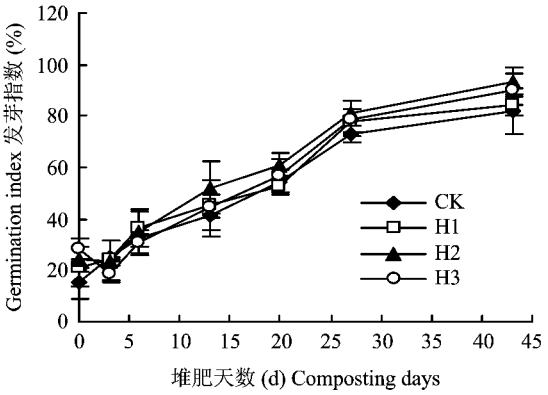

图8 不同添加量的硫酸对堆肥过程中发芽指数的影响

Fig. 8 Changes of seed germination index in the composting with different amounts of sulfuric acid

毒害作用。

3 讨论

硫酸是农业上制造农药和化肥的常用原料,常用来改良高 pH 值的石灰质土壤,在调节堆肥 pH 值的应用中直接应用硫酸的较少。本试验处理中,在添加不同浓度硫酸之后,各处理均可进行高温堆肥。在添加不同浓度硫酸之后,堆肥中氮的固定效果增强,有机碳得到充分降解(图 4),这与顾文杰等[7]、黄懿梅等[19]、林小风等[20]的研究结果相似。李晓娜等[21]研究表明,在碱性土壤中添加改良剂在降低土壤 pH 值的同时,可以活化土壤磷的有效性,徐鹏翔[22]研究表明,在猪粪中添加腐植酸可以使有效钾得到显著增加,有效磷得到活化,但转化效果不明显。该试验中添加硫酸处理,堆体中有效养分得到活化,添加 0.2 mol/L 硫酸处理下有效养分含量最高(图 6、图 7)。堆体结束时发芽指数均大于 80%,EC 值最大为 3.02 mS/cm,说明添加硫酸虽然活化了盐分离子的活性,但是对作物生长不会产生抑制作用。

本试验从保氮以及养分元素有效性来看,使用 0.2 mol/L 硫酸效果最好,pH 值降低幅度最大的是 0.3 mol/L 硫酸,在实际应用时应根据需要谨慎选择硫酸浓度,同时如果需要更大幅度降低牛粪 pH 值,在增大硫酸浓度的同时,应注意使堆肥达到无害化标准。

4 结论

1)本试验进展中,CK、H1、H2、H3 4 个处理中堆肥高温期(≥50℃)均大于 10 d,达到畜禽粪便无害化的要求,堆肥结束时 EC 值在 3 mS/cm 以下,不会对作物生长产生毒害作用。

2)添加硫酸处理对氮的固定,起到一定的作用,同时有利于堆肥组成中有机物的分解,堆肥结束时,堆体中 C/N 比在 13 ~21 之间,说明各个处理均达到腐熟要求。

3)加入适当的硫酸能提高堆肥产品中全量养分及速效养分的含量,尤其是使用 0.2 mol/L 的硫酸时,在堆肥结束的时候,养分含量最高,从养分元素的有效性上来说使用 0.2 mol/L 的硫酸处理堆肥腐熟效果最好。

4)各处理的发芽指数表明,堆肥 20 d 之后,堆体已达到基本腐熟,堆肥结束时,已达到完全腐熟,对植物无毒害作用,其中添加 0.2 mol/L 硫酸堆体发芽指数最高。

参 考 文 献:

[1] 袁立, 王占哲, 刘春龙. 国内外牛粪生物质资源利用的现状与趋势[J]. 中国奶牛, 2011(5): 3-9.
Yuan L, Wang Z Z, Liu C L. Current situation and trend of dairy manure biomass resources at home and abroad[J]. China Dairy Cattle, 2011(5): 3-9.

[2] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
Su Y M, Li G X, Zhang F D *et al*. Status quo and developmental strategy of agricultural residues resources in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21 (8): 169-173.

[3] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析[J]. 土壤肥料, 2006, (1): 3-8.
Huang H X, Li S T, Li X L *et al*. Analysis on the status of organic fertilizer and its development strategies in China[J]. Soils and Ferterlizes, 2006, (1): 3-8.

[4] García de la Fuente R, Carrión C, Botella S *et al*. Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(18): 3561-3569.

[5] 单谷, 罗廉, 余世袁. pH 值对纤维素酶制备的影响[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(3): 60-62.
Shan G, Luo L, Yu S Y. Cellulase production by controlling the pH value of medium[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1999, 23(3): 60-62.

[6] 姚晓芹, 马文奇, 楚建周. 磷酸对石灰性土壤 pH 及微量元素有效性的影响[J]. 土壤肥料, 2005, (2): 14-16, 20.
Yao X Q, Ma W Q, Chu J Z. Effect of phosphoric acid on pH and micronutrient availability in calcareous soil [J]. Soils and Ferterlizes, 2005, (2): 14-16, 20.

[7] 顾文杰, 张发宝, 徐培智, 等. 堆肥反应器中硫磺对牛粪好氧堆肥的保氮效果研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17

(1): 224-230.
Gu W J, Zhang F B, Xu P Z *et al*. Nitrogen conservation by adding sulfur to dairy manure in compost bioreactors[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(1): 224-230.

[8] 李冰, 王昌全, 江连强, 等. 化学改良剂对稻草猪粪堆肥氨气释放规律及其腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1653-1661.
Li B, Wang C Q, Jiang L Q *et al*. Effect of chemical amendments on NH_3 emissions and compost maturity during co-composting of pig manure and straw[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1653-1661.

[9] GB7959-1987. 粪便无害化卫生标准[S].
GB7959-1987. Sanitary standard for the non-hazardous treatment of night soil[S].

[10] Liang C. Das K C, McClendon R W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend [J]. Bioresource Technology, 2003, 86(2): 131-137.

[11] 鲁如坤. 土壤-植物营养原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社,1998.
Lu R K. Principles of soil and plant nutrition and fertilizer application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998.

[12] Garcia C, Hernandez T, Costa F, Ayuso M. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1992, 23(13-14): 1501-1512.

[13] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, Chen Y. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste[J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(4): 776-785.

[14] Gennaro M C, Ferrara E, Abollino O, Paredes C. Multi-method analysis in studies of characterization and degradation of municipal treatment sludges [J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1993, 53(2): 101-114.

[15] Murwira H K, Kirchmann H, Swift M J. The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure[J]. Plant and Soil, 1990, 122(2): 197-199.

[16] Bernai M P, Paredes C, Sánchez-Monedero M A, Cegarra J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic waste[J]. Bioresource Technology, 1998, 63(1): 91-99.

[17] 黄懿梅, 苟春林, 梁军峰. 两种添加剂对牛粪秸秆堆肥化中氮素损失的控制效果探讨[J]. 农业环境科学学报,2008, 27(3): 1219-1225.
Huang Y M, Gou C L, Liang J F. Effect of two amendments on nitrogen loss from composting of cattle manure and corn straw [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(3): 1219-1225.

[18] Tognetti C, Mazzarino M J, Laos F. Improving the quality of municipal organic waste compost[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(5): 1067-1076.

[19] 黄懿梅, 曲东, 李国学. 调理剂在鸡粪锯末堆肥中的保氮效果[J]. 环境科学, 2003, 24(2): 156-160.
Huang Y M, Qu D, Li G X. Effect of adding amendments on preserving nitrogen during chicken manure and saw composting [J]. Environmental Science, 2003, 24 (2): 156-160.

[20] 林小凤, 李国学, 任丽梅, 王博. 氯化铁和过磷酸钙控制堆肥氮素损失的效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1662-1666.
Lin X F, Li G X, Ren L M, Wang B. Effect of $FeCl_3$ and $Ca(H_2PO_4)_2$ as amendments on reducing nitrogen loss during composting[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1662-1666.

[21] 李晓娜, 张强, 陈明昌, 章衡. 不同改良剂对苏打碱土磷有效性影响的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 71-74.
Li X N, Zhang Q, Chen M C, Zhang H. Study on effect of three soil conditioners on phosphorus availability of Soda-alkali soil [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(1): 71-74.

[22] 徐鹏翔, 赵金兰, 杨明. 添加不同量的腐植酸对猪粪堆肥中主要养分变化的影响[J]. 环境工程学报, 2011, 5(3): 685-688.
Xu P X, Zhao J L, Yang M. Effects of different levels of humic acid on changes of main nutrients from composting of pig manure [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(3): 685-688.