

# 羊粪好氧堆肥最佳工艺参数的优化研究\*

李红霞<sup>1, 2</sup>, 蔡禄<sup>1</sup>, 季祥<sup>1</sup>, 蒋海明<sup>1</sup>, 潘建刚<sup>1</sup>, 王蕾<sup>1</sup>

(1. 内蒙古科技大学生命科学与技术学院, 内蒙古包头, 014010; 2. 达茂旗百灵庙第二中学, 内蒙古包头, 014500)

**摘要:**为优化羊粪高效堆肥的工艺条件, 得到最佳堆肥方案, 采用好氧堆肥技术对内蒙古达茂旗的羊粪进行好氧堆肥, 在腐熟过程中以堆料的温度、pH、含水率、种子发芽指数(GI)的变化和有机质降解率为测验指标进行三因素三水平正交优化堆肥试验  $L_9(3^4)$ 。结果表明: 当环境的平均温度为  $15\text{ }^\circ\text{C}\sim 17\text{ }^\circ\text{C}$  时, 堆肥在第 2~4 d 达到高温阶段 ( $>50\text{ }^\circ\text{C}$ ) 且持续时间达 5~8 d。堆熟后, 各处理的种子发芽指数均已达 75% 以上, 另外 3 因素对有机物降解率的影响显著性顺序为初始含水率  $>$  初始 C/N 比  $>$  翻堆频率, 同时得出羊粪堆肥最优工艺参数组合为: 初始碳氮比为 25、初始水分含量为 60%、翻堆频率为 2 d/次。

**关键词:**羊粪; 堆肥; 正交试验

**中图分类号:** Q939.96 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553(2019)06-0215-06

李红霞, 蔡禄, 季祥, 蒋海明, 潘建刚, 王蕾. 羊粪好氧堆肥最佳工艺参数的优化研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(6): 215-220

Li Hongxia, Cai Lu, Ji Xiang, Jiang Haiming, Pan Jiangan, Wang Lei. Optimization of optimum process parameters for aerobic composting of sheep manure [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(6): 215-220

## 0 引言

内蒙古是我国最大的牧区, 同时也是我国养羊业的主要区域。最近几年养羊业呈现加快发展趋势, 但在发展的同时, 也产生了相关的环境污染问题。养殖场每天都会大量排放羊粪、污水、恶臭气体, 这会严重污染周围环境, 所以, 畜禽粪便的科学处理会直接关系到人类健康和生态平衡。

当前, 世界范围内资源化处理中堆肥已成为有机固体废弃物的重要工艺<sup>[1]</sup>。畜禽粪便中不稳定的有机物可以采用堆肥技术利用微生物的好氧发酵, 逐步降解为性质稳定且对作物无害的有机质或土壤改良剂<sup>[2-3]</sup>。这对实现农业废弃物实现资源化利用、发展有机肥、促进农业可持续发展具有重要意义<sup>[4-6]</sup>。

我国废弃物资源化利用研究方面起步较早, 但是目前, 国内对羊粪常用一些粗放式的堆肥方式, 实际效果不明显, 如堆肥所需时间长、腐熟度不达标, 而且其中还包含大量有害病菌, 所以优化堆肥方式显得尤为重要, 堆肥受多种因素的影响, 主要影响因素有温度、C/N、含水率、通风供氧、pH、以及颗粒度等; 其中堆肥

过程中 C/N 比是非常重要的<sup>[7-8]</sup>, 碳为微生物提供能量, 氮是细胞生长过程中蛋白质、氨基酸、核酸等大分子物质的必须元素; 水分作为溶剂溶解有机物参与微生物的新陈代谢; 此外, 堆肥过程中水分可以带走一部分热量, 起到调节堆体温度的作用<sup>[9]</sup>。堆料中水分的多少会直接影响堆肥过程的快慢和堆肥的质量<sup>[10-12]</sup>; 另外, 充足的氧气供应是好氧堆肥的必备条件之一, 目前堆肥系统常用的通风供氧方式有定期翻堆, 因为定期翻堆是目前最经济方便的供氧方式, 翻堆次数直接影响堆肥产品的质量和堆肥的速度。

本研究采用试验室小型堆肥反应器系统进行不同工艺参数条件下羊粪堆肥的单因素试验和正交试验, 探讨 C/N 比、含水率和翻堆频率对羊粪堆肥腐熟度的影响, 为进一步堆肥工艺优化和过程控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本试验所用羊粪取自内蒙古包头达尔罕茂明安联合旗石宝镇某养殖户。为了制定合理的堆肥配方, 需要对原料的有关化学成分进行分析。样品风干后分别

收稿日期: 2018 年 12 月 29 日 修回日期: 2019 年 1 月 18 日

\* 基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0506706-04); 内蒙古自治区重大基础研究开放课题(201503001-4-3)

第一作者: 李红霞, 女, 1987 年生, 内蒙古乌兰察布人, 硕士研究生; 研究方向为生物质能源化利用。E-mail: 710116325@qq.com

通讯作者: 蔡禄, 男, 1864 年生, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 教授; 研究方向为理论生物物理, 生物信息学等。E-mail: nmcailu@163.com

采用重铬酸钾容量法和凯氏定氮法对有机碳(TC)、全氮(TN)进行测定<sup>[13]</sup>,试验测得堆肥原料成分结果,如表1所示。

表1 原料的部分理化性质

Tab. 1 Some physical and chemical properties of raw materials

参数	数值
原料名称	羊粪
含水率/%	9.14
总氮/%	1.47
总碳/%	36.45
C/N比	25.00
pH	7.35

## 1.2 试验设置

2016年11月2日—12月15日在内蒙古科技大学生物质能源重点实验室,将所用羊粪进行适当的粉碎放于阴凉处,称取2500g,装于容积为35cm×25cm×25cm的聚乙烯容器中,采用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验来确定最佳C/N比,含水率及翻堆频率,以有机质降解率为指标进行正交试验;正交试验因素为:C/N比、含水率和翻堆频率,每个因素设置3个水平,以温度、pH、含水率、发芽指数(GI)的变化和最终有机质的降解率为检测指标进行好氧堆肥,正交试验因素与水平设计如表2所示,正交试验序号与因素水平如表3所示。

表2 正交试验因素与水平

Tab. 2 Factor and level of orthogonal test

水平	因素		
	因素A: C/N比	因素B: 含水率/%	因素C:翻堆 频率/(d·次 <sup>-1</sup> )
1	20:1	50	0.5
2	25:1	60	1
3	30:1	70	2

表3 正交试验序号与因素水平

Tab. 3 Orthogonal test number and factor level

试验号	因素		
	因素A: C/N比	因素B: 含水率/%	因素C:翻堆 频率/(d·次 <sup>-1</sup> )
1#	20	50	0.5
2#	20	60	1
3#	20	70	2
4#	25	50	1
5#	25	60	2
6#	25	70	0.5
7#	30	50	2
8#	30	60	0.5
9#	30	70	1

通过添加适量尿素和葡萄糖调节不同C/N比、调节不同含水率和不同翻堆频率形成9个模拟堆肥体系;每天用温度计检测试样中心处温度,在堆肥的第0、4、8、12、16、20、24、28、32、36、40d采用五点采样法采样。每个堆体每次采集200g。100g风干粉碎后,过1mm筛贮存用于测定有机碳(TC)和全氮(TN),100g用于测定含水率、发芽率和pH。

## 1.3 测定项目与方法

### 1.3.1 温度的测定

堆体温度每天用精密水银温度计在各处理50cm深处堆体中心点测量温度,另外再用同样的方法在两个不同方向分别测量堆体温度。然后取这3点的平均值作为堆体温度,同时记录当时的环境温度。

### 1.3.2 PH的测定

新鲜样品与去离子水按1:10混合,然后在室温条件下用玻璃棒搅拌10min,静置1h后进行过滤,取50mL用精密PH计测定滤液的pH值。

### 1.3.3 含水率的测定

将堆肥样品放入清洗后并烘干至恒重的坩埚内,然后用分析天平称取新鲜堆肥样(M<sub>1</sub>),准确至0.01g,置于已经105℃恒温烘箱中烘烤12h,放在干燥器中冷却25min至室温称重(M<sub>2</sub>)。

$$W = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100\%$$

式中:W——含水率,%;

M<sub>1</sub>——新鲜堆肥物料的质量;

M<sub>2</sub>——干燥后堆肥料质量。

### 1.3.4 种子发芽指数的测定

准确称取新鲜堆肥样5g,按物料:水的比值为1:10进行混匀,用玻璃棒搅拌10min,静置1h后过滤。在培养皿中铺2层滤纸,用吸管吸取5mL滤液加入培养皿中,将20粒小油菜种子均匀放置在滤纸上,黑暗条件下25℃培养48h后,重复3次,用游标卡尺测定种子根长,以去离子水作对照。

种子发芽指数GI=(处理平均发芽率×处理平均根长)/(对照平均发芽率×对照平均根长)×100%

### 1.3.5 有机质降解率的测定

按照NY/T304—1995采用灼烧法测定堆料的有机质总量和灰分。有机质降解率计算如下<sup>[14]</sup>。

$$D = 100(A_2 - A_1) / [A_2(100 - TC_1)] \times 100\%$$

式中:D——有机质降解率,%;

A<sub>1</sub>——100g(风干质量)初始物料中的灰分含量;

A<sub>2</sub>——100g(风干质量)最终物料中的灰分含量;

TC<sub>1</sub>——100g(风干质量)初始物料中的有机碳含量。

采用 Microsoft office Excel2003 和正交试验助手软件处理试验所得数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 羊粪堆肥颜色和臭味的变化

在羊粪堆肥结束后,所有堆肥处理的体积略微减少,颜色变暗,气味减小,水分比发酵前干燥。

### 2.2 堆肥过程中温度的变化

堆体内部温度的变化可以反映微生物的活性,也可判断堆肥的无害化和稳定性<sup>[15]</sup>。从图 1 中可以看出,由于试验是在室内的进行,一天内的环境的平均温度比较稳定,维持在 15℃~17℃,并且使用聚乙烯材料在本试验中作隔热层,因此保温效果明显,每个反应器的温度可以在 1 d 内升至 50℃,并且到 2~3 d 的时间可以升至堆肥的最高温度。不同工艺参数的试验处理正交 1#、2#、3#、4#、5#、6#、7#、8# 和 9# 堆体的最高温度分别为 55.2℃、54.9℃、55.2℃、56.9℃、58.8℃、57.2℃、59.3℃、60.1℃和 57.3℃,各个堆体分别维持一段高温时间。随后每个正交试验的温度显示出缓慢下降的趋势。在堆肥 28 d 后,每个堆体的温度基本上下降至接近于环境温度的稳定状态,此时堆料达到腐熟。正交试验反应器温度超过 50℃ 的天数(简称 t<sub>50</sub>)如图 2 所示。

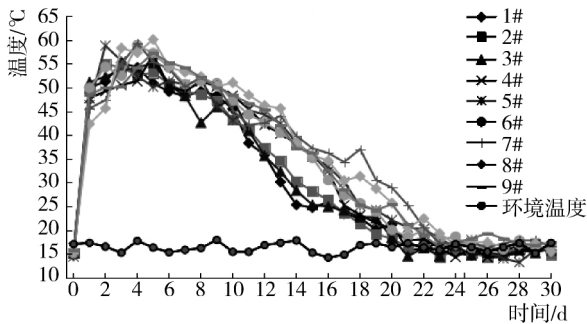


图 1 各处理温度变化

Fig. 1 Changes of temperatures of all treatments

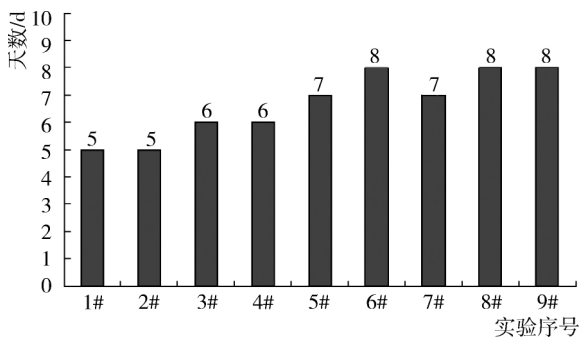


图 2 温度高于 50℃ 的维持天数比较

Fig. 2 Comparison of maintenance days at temperatures above 50℃

从图 2 中可以看出,所有正交试验反应堆的高温

(高于 50℃)持续时间基本符合国家粪便无害化卫生标准规定(GB 7959—87),好氧堆肥的最高温度必须达 50℃~55℃以上,持续 5~7 d。在某种程度上,t<sub>50</sub>的大小能够反应出整个堆肥过程的优劣。

### 2.3 堆肥过程中 PH 的变化

从图 3 中可以看出,各反应器的 pH 值变化趋势基本相同,并且它们都显示出先降低后升高然后接近 7 左右的变化趋势。分析原因可能是微生物在初始堆肥中分解有机氮,导致有机酸增加,导致 pH 降低;随着微生物的代谢活动会释放大量热量,嗜热微生物的生长,更进一步促进了堆体温度迅速升高,嗜热微生物会代替中温微生物进行降解活动,有机酸分解<sup>[16-17]</sup>,同时溶解在堆肥中得 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>增加,此时铵态氮迅速增加,引起堆体的碱性增强,从而导致 pH 值达到了最高值;之后,较高的 pH 值导致氨气迅速从堆体逸出,从而降低了反应物的 pH 值<sup>[18]</sup>。pH 值的变化是先降后升,并且 9 种堆肥处理的 pH 值变化基本相同,最后的成品 pH 值保持在 7.0~8.0。

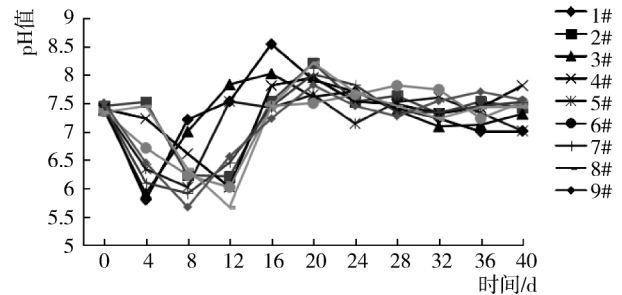


图 3 各处理的 pH 的变化

Fig. 3 Changes of pH values of all treatments

### 2.4 堆肥过程中含水率的变化

影响堆肥效果中水分也是一个的重要参数,在堆肥过程中水分对微生物的生长繁殖和有机物质的分解是不可缺少的,而且还可以通过水分蒸发来调节堆体的温度<sup>[19]</sup>。水分含量过低或过高都会影响微生物的活性和生长;过低会降低堆肥的腐熟速率,使发酵周期加长;过高会导致堆体的过分压实,从而引起通风供氧不畅,则容易出现厌氧发酵<sup>[20]</sup>。从图 4 中可以看出,为该研究选择的初始水分梯度分别为 50%、60%、70%。三种梯度堆肥的含水率呈现出先增加后减少的趋势,初始含水量为 50%的 1#、4#、7# 的堆体到堆肥结束时分别下降到 25%、24%、26%。2#、5#、8# 从开始的 60% 分别下降到堆肥结束时的 23%、20%、25%,初始含水率为 70%的 3#、6#、9# 的堆体从开始的 70% 分别下降到堆肥周期结束时的 43%、45%、46%。其中 2#、5#、8# 的含水率降低尤为明显,其水分大量散失发生在堆肥的 12~20 d,之后随着堆体温度下降,可能与堆体内部微生物新陈代谢旺盛有关,

另外,1#、4#、7#的含水率降低较明显,而3#、6#、9#的含水率下降相对不明显。

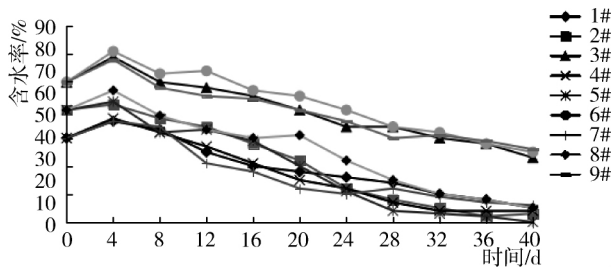


图4 各处理的含水率的变化

Fig. 4 Changes of moisture contents values of all treatments

## 2.5 堆肥过程中发芽率的变化

种子发芽指数在一定程度上可以反映物料的植物毒性,并且是可靠敏感腐熟度评价指标<sup>[21]</sup>。从图5可以得出结论,在堆肥的早期阶段,未腐熟的堆肥中高浓度 $\text{NH}_3$ 和有机酸对种子的发芽具有限制作用,因此,在试验开始时种子发芽指数(GI)都非常低,然后随着堆肥时间的进行有机酸逐渐分解, $\text{NH}_3$ 溢出或被氧化为 $\text{NO}_3^-$ ,抑制作用减弱,同时堆肥后期微生物会产生一些促进植物生长的激素如生长素、赤霉素等<sup>[22-23]</sup>,会使GI呈逐渐上升趋势,当堆肥结束时已经趋于稳定,并且保持在70%~90%的范围。一般来说,当 $\text{GI} > 50\%$ 时,堆肥可被认为对植物基本无毒;当 $\text{GI} > 85\%$ 时,堆肥产品完全没有毒性,此时堆肥就已经腐熟<sup>[24]</sup>。

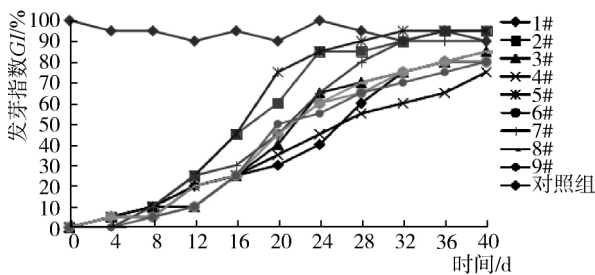


图5 各处理的发芽率变化

Fig. 5 Changes of GI of all treatments

## 2.6 正交堆肥试验极差分析

堆肥中有机质的降解率越大,说明堆肥的腐熟程度和减量化效果最好,这是最为直观的一个堆肥腐熟度指标<sup>[25]</sup>。因此本试验利用有机质的降解速率作为该正交堆肥试验的一个重要参照。在正交试验设计中,要通过极差计算来对试验进行直观分析,对堆肥试验结果指标的影响大小利用试验中各因素中各水平的极差分析,综合比较,最终确定了正交堆肥试验过程参数的最优工艺组合。正交堆肥试验中各堆体的有机物降解速率如表4所示。

从表4可以看出,初始含水量的极差最大为3.89,初始C/N的极差次之为2.49,翻堆频率的极差

为1.41,由此可见初始含水量对羊粪堆肥有机物降解率影响最大,初始C/N的影响其次,翻堆频率的影响最小。

表4 各处理的有机质降解率及其误差分析

Tab. 4 Degradation rate of organic matter and its error analysis

试验号	因素			有机质降解率/%
	因素A: C/N比	因素B: 含水率/%	因素C: 翻堆频率/ (d·次 <sup>-1</sup> )	
1#	20	50	0.5	2.84
2#	20	60	1	6.83
3#	20	70	2	6.04
4#	25	50	1	3.22
5#	25	60	2	7.56
6#	25	70	0.5	4.15
7#	30	50	2	1.91
8#	30	60	0.5	5.24
9#	30	70	1	2.05
$K_1$	5.24	2.66	4.08	
$K_2$	4.98	6.54	4.03	
$K_3$	3.07	4.08	5.17	
误差R	2.17	3.89	1.14	
最优方案	$A_1B_2C_3$			

本研究中:初始C/N最优水平为25,初始含水量的最优水平为60%,翻堆频率的最优水平为2d/次,比较各因子中相应水平的k值,若k值越大,则表明该因素在此水平下堆体的有机质降解效果就越好。因此得出最佳的堆肥方案为 $A_1B_2C_3$ ,分别为初始C/N比为25,初始含水率为60%,翻堆频率为2d/次,与前期所做单一因素对好氧堆肥过程的影响因素研究所得的结果基本一致。

通过比较各因素的极差,可以得出的结论是:各因素对堆肥试验的影响顺序为:初始含水量>初始C/N比>翻堆频率。

## 2.7 验证试验

为了验证正交试验得出的结论是否为羊粪堆肥的最佳工艺,称取3份羊粪堆肥原料装于容积为35cm×25cm×25cm的聚乙烯容器中,按照正交堆肥试验极差分析确定的 $A_1B_2C_3$ 条件进行了3次重复试验,结果羊粪堆肥的有机物降解率分别为7.58%,7.69%,7.50%,平均值为7.59%,相对标准偏差RSD为1.64%,表明该堆肥条件具有稳定性和重现性,初始C/N比为25,初始含水率为20,翻堆频率为2d/次是最优羊粪堆肥工艺。

## 3 结论

1) 各堆肥温度均可以上升到50℃以上,且堆肥



高温期在 50℃以上持续了 5~8 d,满足了堆肥高温无害化卫生标准,pH 作为评价腐熟度的必要条件,最终稳定在 7.0~8.0 之间。堆肥结束时,羊粪处理的水分散失较大,各处理的 GI 符合堆肥腐熟的标准,达到了腐熟,对植物无毒害作用。

2) 在堆肥过程中,所有样品的有机质降解速率均呈现逐渐下降的趋势。另外影响羊粪堆肥过程中的有机质降解率因素的顺序是:含水率>C/N>翻堆频率。最终通过极差分析比较得出堆肥工艺的最佳工艺条件为 C/N 比为 25:1、初始含水率为 60%、翻堆频率为 2 d/次。该研究可为羊粪的堆肥发酵的工业化生产提供理论指导。

### 参 考 文 献

- [1] 李国学,李玉春,李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.  
Li Guoxue, Li Yuchun, Li Yanfu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(2): 252-256.
- [2] 张敏,王正银. 生物有机肥料与农业可持续发展[J]. 磷肥与复肥, 2006, 21(2): 58-59.  
Zhang Ming, Wang Zhengyin. Bio-organic fertilizer and sustainable development of agriculture [J]. Phosphate and Compound fertilizer, 2006, 21(2): 58-59.
- [3] Bhattacharyya P, Chakrabarti K, Chakraborty A. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure [J]. Chemosphere, 2005, 60(3): 310-318.
- [4] 柯英,陈晓群. 牛羊粪高温堆肥腐熟过程研究[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(6): 63-65.  
Ke Ying, Chen Xiaoqun. A study of high temperature composting process of cattle and sheep dung [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2012, 53(6): 63-65.
- [5] 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 Tianpeng, Liu Lingling, 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.
- [6] 代黎,全学军,项锦欣,等. 山羊粪污静态好氧堆肥试验[J]. 重庆理工大学学报, 2014, 28(1): 54-59.  
Dai Li, Quan Xuejun, Xiang Jinxin, et al. Investigation on static aerobic co-composting of goat dung with agricultural byproducts [J]. Journal of Chongqing University of Technology, 2014, 28(1): 54-59.
- [7] 魏源送,王敏健,王菊思. 堆肥技术及进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(3): 11-23.
- [8] 马怀良,许修宏. 不同 C/N 对堆肥腐殖酸的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(6): 63-67.
- [9] 吴华山,郭德杰,马艳,等. 添加羊、兔粪及稻草对猪粪堆肥腐熟进程的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1): 58-64.  
Wu Huashan, Guo Dejie, Ma Yan, et al. Effect of sheep manure, rabbit manure and straw on pig manure composting [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(1): 58-64.
- [10] 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 Tongbin, Huang Qifei, 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.
- [11] 王磊元,刘飞,秦翠兰,等. 木醋液对牛粪堆肥理化性质的影响[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 296-300.  
Wang Lei yuan, Liu Fei, Qin Cuilan, et al. Influence of wood vinegar on the physicochemical properties of cow manure composting [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(3): 296-300.
- [12] 王涛,姚爱萍,徐锦大,等. 小型多层塔式堆肥反应器的设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(8): 68-73.  
Wang Tao, Yao Aiping, Xu Jinda, et al. Design and test of small multilayer tower composting reactor [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(8): 68-73.
- [13] 李季,彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [14] 康军,张增强,贾程,等. 污泥好氧堆肥过程中有机质含量的变化[J]. 西北农林科技大学(自然科学版), 2009, 37(6): 118-120.  
Kang Jun, Zhang Zengqiang, Jia Cheng, et al. Changes of organic matter content during aerobic co-composting of sewage sludge with straw [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2009, 37(6): 118-120.
- [15] 朱凤香,王卫平,杨友坤,等. 固体废弃物堆肥的腐熟度评价指标[J]. 浙江农业科学, 2010(1): 159-163.  
Zhu Fengxiang, Wang Weiping, Yang Youkun, et al. Maturity evaluating indexes of solid waste compost [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2010(1): 159-163.
- [16] Tran Q N M, Mimoto H, Nakasaki K. Inoculation of lactic acid bacterium accelerates organic matter degradation during composting [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2015, 104: 377-383.
- [17] Nakasaki K, Araya S, Mimoto H. Inoculation of *Pichia kudriavzevii* RB1 degrades the organic acids present in raw compost material and accelerates composting [J]. Bioresource technology, 2013, 144: 521-528.

- [18] Chen R, Wang Y, Wang W, et al.  $N_2O$  emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure [J]. *Journal of environmental management*, 2015, 160: 121–127.
- [19] 郑欢, 刘俊超, 张健, 等. 不同 C/N 比条件下污泥好氧堆肥研究[J]. *轻工科技*, 2014(4): 70–72.
- [20] Golueke C. Principles of biological resource recovery [J]. 1982(22): 36–40.
- [21] 罗源, 袁京, 李国学, 等. 种子发芽试验在低碳氮比堆肥腐熟度评价方面的适用性[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(1): 179–185.  
Luo Yuan, Yuan Jing, Li Guoxue, et al. Applicability of seed germination test to evaluation of low C/N compost maturity [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1): 179–185.
- [22] Scaglia B, Pognani M, Adani F. Evaluation of hormone-like activity of the dissolved organic matter fraction (DOM) of compost and digestate [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 514: 314–321.
- [23] 李洋, 席北斗, 赵越, 等. 不同物料堆肥腐熟度评价指标的变化特性[J]. *环境科学研究*, 2014, 27(6): 623–627.  
Li Yang, Xi Beidou, Zhao Yue, et al. Study of maturity parameter characteristics in composting process using different materials [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, 27(6): 623–627.
- [24] Zucconi F, Forte M, Monaco A. Biological evaluation of compost maturity [J]. *Biocycle*, 1981, 22(4): 27–29.
- [25] 韩涛, 任连海. 餐厨垃圾好氧堆肥工艺条件优化[J]. *环境卫生工程*, 2007, 15(6): 28–30.  
Han Tao, Ren Lianhai. Technological conditions optimization of food residue aerobic composting [J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2007, 15(6): 28–30.

## Optimization of optimum process parameters for aerobic composting of sheep manure

Li Hongxia<sup>1,2</sup>, Cai Lu<sup>1</sup>, Ji Xiang<sup>1</sup>, Jiang Haiming<sup>1</sup>, Pan Jiangang<sup>1</sup>, Wang Lei<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, 014010, China;

2. Bailing Temple No. 2 Middle School, Damao Banner, Baotou, 014500, China)

**Abstract:** In order to optimize the process conditions of sheep manure composting with high efficiency and obtain the best composting scheme, aerobic composting technology was adopted to conduct aerobic composting of sheep manure in Damao banner, Inner Mongolia. In the process of composting, three factors and three levels of orthogonal optimal composting test  $L_9(3^4)$  were conducted with the temperature, pH, moisture content of the heap, the change of seed germination index (GI) and the degradation rate of organic matter as test indicators. The results show that when the environment of the average temperature of  $15\text{ }^\circ\text{C}\sim 17\text{ }^\circ\text{C}$ , composting in 2~4 d in high temperature stage ( $>50\text{ }^\circ\text{C}$ ) and sustained time of 5~8 d. The germination index of the treated seeds reached more than 75% after heaping. In addition that descending sequence of influencing significance on organics degradation among the factors was C/N ratio, water content, turning frequency. Meanwhile, the optimal composting condition was as follows, C/N ratio was 25, water content was 60%, and turning frequency is once every two days.

**Keywords:** sheep manure; compost; orthogonal test