

应用灰色关联度评价不同物料堆肥腐熟度的研究

弓凤莲¹, 汪强², 李培培²

(1. 郑州市污水净化有限公司, 河南郑州 450044; 2. 河南农业大学资源与环境学院, 河南郑州 450044)

摘要 [目的]采用多个指标评价堆肥的腐熟度,必须要有一定的评价标准。[方法]参考国内外堆肥腐熟度评价方法,制定出一套由5个评价指标(发芽率、C/N降解率等)和4个腐熟等级(完全腐熟,较好腐熟,基本腐熟和未腐熟)的堆肥腐熟度的评价标准,并通过灰色关联度分析法综合性地判别4种不同物料配比堆肥的腐熟度。[结果]A配方堆肥与较好腐熟的关联度最大 $r=0.735$;B配方堆肥与较好腐熟的关联度最大 $r=0.675$,C配方堆肥与基本腐熟的关联度最大 $r=0.713$,D配方堆肥与完全腐熟的关联度最大 $r=0.704$ 。[结论]4种堆肥样品分别判定为较好腐熟、较好腐熟、基本腐熟和完全腐熟。

关键词 堆肥评价;灰色理论;评价指标;腐熟度

中图分类号 S141.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)29-10054-03

Application of Grey Correlation Degree of Evaluation of Different Organic Fertilizer Rotten Proportion

GONG Feng-lian¹, WANG Qiang², LI Pei-pei² (1. Zhengzhou City Sewage Purification CO., Ltd, Zhengzhou, Henan 450044; 2. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450044)

Abstract [Objective] In order to evaluate the compost maturity with many indicators, a definite evaluation criterion should be acquired. [Method] According to the evaluation methods of compost maturity at home and abroad, the evaluation standard of five evaluation indicators and four maturity degrades was worked out. And the maturity of the composts with four different materials' ratios was distinguished comprehensively with gray relational analysis grade method. [Result] The correlation of A recipe compost and preferable decompose was the highest, reaching 0.735. The correlation of B recipe compost and preferable decompose was the highest, reaching 0.675. The correlation of C recipe compost and fundamental decompose was the highest, reaching 0.713. And the correlation of D recipe compost and entire decompose was the highest, reaching 0.704. [Conclusion] The four compost samples were determined as preferable decompose, preferable decompose, fundamental decompose and entire decompose.

Key words Evaluation of compost; Grey theory; Evaluation indicator; Maturity

堆肥是固体废物生物处理的一种方法,其终产物可作为料或土壤调节剂,从而使废弃物中的有机物得到循环再利用。其原理是在微生物的作用下将污泥或生活垃圾中的各种可腐有机物降解,并且在降解过程中通过温度的升高杀死各种微生物、病原菌,最终使堆肥产品无害化、稳定化、腐殖化。随着我国农村经济的迅速发展和大量农业劳动力的转移,农牧业生产过程中产生的大量废弃物如畜禽粪便和农田秸秆等随地堆放和就地焚烧现象相当严重,不仅造成极大的资源浪费,而且引起严重的环境污染问题。对农牧业废弃物进行堆肥处理可以解决农牧业废弃物的出路问题,改善农村生态环境,也可以促进生态农业和循环经济的发展。堆肥后的物料是否达到处理和利用的目的主要是通过腐熟度进行评价。如果将未腐熟的物料直接用于农田,不但会引起微生物的剧烈活动,导致厌氧环境,而且会产生大量中间代谢产物,严重毒害植物的根系,影响作物的正常生长。另外,未腐熟的堆肥散发出的刺激气味也会给环境带来二次污染^[1]。因此,保证堆肥的腐熟度是堆肥工艺和堆肥产品质量控制的重要环节。随着堆肥的产业化发展,寻找一种有效的堆肥腐熟度综合评价方法,对于我国堆肥产业的发展是十分必要的。单一指标只能从某一方面反映堆肥腐熟的程度,不能全面反映实际堆肥过程的腐熟特征。因此,采用多指标从不同侧面综合反映堆肥腐熟度,已成为近年来研究的重点。综合评价的关键是建立评价标准,而现在我国尚缺乏统一的堆肥腐熟度评价标准。灰色聚类法、灰色关联法、模糊数学法等

数学方法在堆肥腐熟度评价应用方面的研究^[2-4]曾有报道。蔡华帅等^[5-6]采用模糊综合评价法对垃圾、猪粪堆肥腐熟度进行了评价,但他们所选采用的评价体系不尽相同,没有统一的评价指标判别堆,提出适合我国堆肥腐熟度评价的四级标准,并在此基础上应用灰色关联分析法综合性地判别堆肥的腐熟度,将一种新的方法引入腐熟度评价领域。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试4种有机肥来自襄县有机肥厂,分别标注为A、B、C和D。堆肥物料组成分别为:A.牛粪150t,鸡粪20t,煤渣35t,花生壳10t;B.牛粪160t,鸡粪30t,煤渣30t,花生壳2t;C.饼肥80t,煤渣20t;D.花生壳80t,鸡粪20t。

1.2 选取评价指标 评价污泥堆肥腐熟度的指标包括物理指标、化学指标、生物学指标。选用表观指数、C/N降解速率(n)、种子发芽率、 $\text{NH}_3\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ 的大小、含水率5个评价指标作为评价依据。

1.2.1 表观指数。属于物理指标,可以通过堆肥的颜色、手感、气味、卫生程度进行打分。打分标准见表1。

表1 有机肥腐熟表观指标

编号	堆肥外观	腐熟等级	赋值
1	成品呈深褐色,无臭味,呈疏松团粒结构	I(完全腐熟)	9
2	成品呈暗褐色,有轻微臭味,表观较为疏松,部分粒径较大	II(较好腐熟)	7
3	成品呈褐色,略有臭味,表观较疏松,部分结块	III(基本腐熟)	5
4	成品呈浅褐色,明显臭味,有较大或明显结块	IV(未腐熟)	2

1.2.2 C/N降解速率(n)。C/N指堆肥固相中全碳和全氮

作者简介 弓凤莲(1959-),女,河南郑州人,高级工程师,从事水处理工程方面的研究。

收稿日期 2014-09-17

之比值。由于受堆料组成及堆肥工艺的影响,C/N 从堆肥初始到堆肥结束都有不同的变化。碳氮比对微生物的生长代谢起着重要的作用。若碳氮比低,则微生物分解速度快,温度上升迅速,堆肥周期短;若碳氮比过高,则微生物分解速度缓慢,温度上升慢,堆肥周期长。低碳氮比堆肥盐分过高,会抑制种子发芽率,而高碳氮比会导致堆肥肥料养分含量不达标。相比之下,碳氮比初始值为 25~30 较有利于减小氮素的损失,促进堆肥的腐熟。在禽畜粪便的堆肥过程中,碳源被消耗,转化为 CO₂ 和腐殖质物质,氮则主要以 NH₃ 的形态散失,或转化为硝酸盐和亚硝酸盐,或为微生物生长代谢所吸收。因此,碳和氮的变化是反映堆肥发酵过程变化的重要特征。总碳含量和总氮含量均呈下降趋势,且总碳含量的下降速度大于总氮含量。而碳氮比则是用来判断堆肥反应是否达到腐熟的重要指标。C/N 在总体上呈现出缓慢下降趋势。赵由才等^[7]认为,腐熟堆肥理论上讲应趋于微生物菌体的碳氮比,即 16 左右。一般认为,C/N 从最初的 25~30 或更高降低到 15~20,表示堆肥已腐熟,达到稳定程度。因此,综合考虑各个方面的因素,堆肥的碳氮比控制在 25~30 为宜。采用 C/N 降解速率来表示有机固体废物堆肥的腐熟程度较合适^[8],定义为:

$$n = (C/N \text{ 初} - C/N \text{ 终}) * 100\% / C/N \text{ 终}$$

1.2.3 种子发芽率。这是一个很重要的生物学指标。种子发芽率是一种常用的评价堆肥腐熟度的指标,也是最具有说服力的一个指标。主要由于堆肥未腐熟而产生乙酸、有机酸及大量的 NH₃、多酚等物质会阻碍植物对 N 的吸收,植物根区产生厌氧条件,增加某些重金属的溶解性。许多植物种子在堆肥原料和未腐熟的堆肥中生长受到抑制。随着堆肥的腐熟程度,抑制作用不断降低,种子发芽率不受堆肥物料的影响,只受腐熟程度的影响。种子发芽率可间接表征堆肥中的生物毒性作用。通过测定种子发芽率,可以了解堆肥产品是否对植物有毒害作用。因此,用作物种子的发芽率作为评价堆肥腐熟度的一个指标是较有说服力的。取新鲜肥样 100 g,加蒸馏水 500 ml,振荡 30 min,分别吸取上清液 5 ml(对照组吸取蒸馏水 5 ml),置于铺有滤纸的培养皿中,大白菜种 40 粒,放在 25℃ 恒温黑暗培养箱中,培养 72 h,最后取 3 个重复的平均数作为不同配方肥料的发芽率。

$$\text{种子发芽率}(\%) = \text{发芽数} * 100 / \text{放置种子数}$$

1.2.4 NH₃-N/NO₃-N。该指标反映氨态氮的转化率。NH₃-N/NO₃-N 越大,则堆肥产品臭味越浓,难以使用。NH₃-N/NO₃-N 过大,则会对植物造成毒害作用。氮化合物氨态氮、硝态氮及亚硝态氮含量的变化也是堆肥腐熟评价常用的参数。含氮成分发生降解,产生氨气。释放的氨气或被微生物同化吸收,或由固氮微生物氧化为亚硝酸盐或硝酸盐,或释放到空气中。在堆肥后期,部分氨氮通过硝化作用转化成硝酸盐氮和亚硝酸盐氮。因此,有研究者认为,对于活性污泥、稻草的堆肥,当氨化作用已完成,亚硝化作用开始时,可以认为堆肥已腐熟。但是,由于氮浓度变化受温度、pH、微生物代谢、通气条件和氮源条件的影响,这一类指标只能作为堆肥

腐熟度的参考,不能作为堆肥腐熟度评价的绝对指标。

1.2.5 水分含量。在堆肥化过程中,堆料中的不稳定有机质被微生物分解,高温过程将水分降低到一定的程度,水分的变化可以反映堆肥的腐熟程度。水分是影响堆肥效果的重要参数。堆肥过程中含水率下降。含水量是控制堆肥过程的一个重要参数。水分在堆肥过程中的作用有:①水分为微生物生长繁殖的必需物质;②水分使堆肥原料软化,并使其易被分解;③水分在堆肥中移动时,可使菌体和养分向各处移动,有利于腐熟均匀;④水分有调节堆内通气和堆温的作用。大多数学者认为,含水量应控制在 45%~65%。初始含水率 50%~60% 是较适合的。整个堆肥过程中水分含量也不应超出这个范围。

1.3 评价标准的确定 采用完全腐熟、较好腐熟、基本腐熟和未腐熟四级指数标度法确定各化学指标所对应的分级值。对于表观指数指标,采用主观赋值法。最后,得到堆肥腐熟度评价标(表 2)。

表 2 四级标准评价有机肥腐熟度

腐熟度	表观	C/N 降解率	发芽率	NH ₃ -N/NO ₃ -N	含水率
完全腐熟	9	60	100	0.50	20
较好腐熟	7	45	90	0.91	40
基本腐熟	5	21	70	1.65	55
未腐熟	2	12	60	3.00	60

1.4 灰色关联分析法 灰色系统理论提出灰色关联分析方法。根据系统各因素间数据列的发展态势和相异程度的比较,判断因素的关联和行为的接近程度。对某个系统做关联分析之前,必须知道系统中各指标或因素的实际映射量,一般通过打分和实验就可以知道各指标或因素的映射量^[9-12]。

将堆肥腐熟度分级标准、待评价堆肥样品视为一个灰色系统。

$u = u(i)$ (i 为 0,1,2,3,4), 其中, $i=0$,待评价堆肥样品; $i=1$,完全腐熟; $i=2$,较好腐熟; $i=3$,基本腐熟; $i=4$,未腐熟。

设待评价堆肥样品序列 $\{x_0(k)\} = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), x_0(4), x_0(5)\}$ 为参考序列; $\{x_i(k)\} = \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), x_i(4), x_i(5)\}$ 为被比较序列。

首先,初值化, X_0 除 X_i 数列,统一单位。然后,计算各对应点的绝对差值 $i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ 。其中, i 为堆肥腐熟度分级标准,4 个分级标准; K 为评价指标, k 取 1,2,3,4,5。

关联分析的基本公式是关联系数公式,在评价过程中将关联系数公式表示为:

$$L_{0i}(k) = (\min \Delta i(k) + \rho \max \Delta i(k)) / (\Delta i(k) + \rho \max \Delta i(k)) \quad (1)$$

式中, ρ 为分辨系数(0~1),一般取 0.5。

通过式(2)求出被比较序列 $\{x_i(k)\}$ 与参考序列 $\{x_0(k)\}$ 之间的关联度:

$$\gamma_{0i} = \psi \sum_{k=1}^5 L_{0i}(k) \quad (2)$$

通过关联度,可以看出待评价堆肥样品与各腐熟度标准之间的相似程度,计算出的 γ_{oi} 越大,则说明待评价堆肥样品越接近第*i*级标准。 ψ 为每个评价指标对应的权重值。最后,可以通过关联度排序,找出其中最大关联度 $\max(\gamma_{oi})$,从而判定该产品腐熟所属级别。

2 结果与分析

2.1 堆肥腐熟度 通过试验测定评判指标,获得4种堆肥样品各评价指标的结果(表3)。权重代表各指标对有机肥腐熟的影响关联度,权重之和为1。

表3 4种待评价有机肥的各项判定指标

样品	表观	C/N 降解率	发芽率//%	NH ₃ -N/NO ₃ -N	含水率
A	2	31.40	90.83	2.30	50.39
B	6	28.30	82.50	1.40	37.16
C	6	23.40	36.60	0.95	22.16
D	8	62.10	87.50	0.60	17.82
权重	0.1	0.25	0.30	0.25	0.10

通过式(1)、(2)可以得出A、B、C、D 4种配方肥料与各个腐熟状态的关联度(表4)。

表5 4种有机肥基础养分

样品	总N	总P	总K	有机质	腐殖酸	pH
A	1.72 ± 0.13b	1.09 ± 0.04	2.11 ± 0.31	52.73 ± 3.20a	8.59 ± 0.92b	8.65 ± 0.00
B	0.65 ± 0.49a	0.94 ± 0.036	2.14 ± 0.64	51.24 ± 0.57a	9.08 ± 1.51b	8.60 ± 0.001
C	5.21 ± 0.07d	1.61 ± 0.064	2.09 ± 0.05	69.79 ± 1.19b	18.06 ± 1.32c	6.36 ± 0.016
D	2.40 ± 0.10c	1.04 ± 0.084	1.61 ± 0.10	84.93 ± 1.75c	6.48 ± 0.71a	7.29 ± 0.037

3 结论与讨论

研究表明,若使堆肥更容易腐熟,则应该注意以下两点:

①合理的物料配比,堆肥初期要有合理的C/N,一般堆肥初期C/N为(25~30):1比较合适;②合适的含水量,堆肥初期要保证水分充足。这是因为水是微生物生长必须的,也可以软化物料。合适的含水量能加快堆肥腐熟。一般,堆肥的初始含水量应为50%~60%。同时,温度、pH、通风情况也是堆肥腐熟中影响腐熟程度的因素。

正确评价堆肥的腐熟度是一个复杂的问题,有些参数的确定还有争议。采用多种分析法测定堆肥的多个指标,然后根据这些指标进行综合分析,能更加实际地反映堆肥的腐熟状况。运用灰色关联度能较好地解决单个指标评价所带来的偏差和片面性,能综合地量化堆肥的腐熟状况,其关键在于准确地建立评价因子的分级指标体系。目前,美国、欧洲等许多发达国家已制定了比较完备的堆肥产品质量标准,其中对堆肥腐熟度也作了相关的规定。而我国尚没有国家的堆肥质量标准,对堆肥腐熟度的评价也缺乏统一的标准和方法。随着堆肥的产业化,制定相关标准已势在必行,因此国家相关机构应尽快制定适合我国国情的评价标准、评价方

表4 4种有机肥与四级腐熟标准的相关度

样品	完全腐熟	较好腐熟	基本腐熟	未腐熟
A	0.670	0.735	0.645	0.611
B	0.628	0.679	0.646	0.605
C	0.656	0.519	0.713	0.700
D	0.704	0.698	0.637	0.627

由表4可知,A配方堆肥关联度最大的为0.735,由此可以判断该堆肥样品的腐熟度为较好腐熟;B配方堆肥关联度最大的为0.675,表明该堆肥样品的腐熟度为较好腐熟;C配方堆肥灰色关联度最大的为0.713,表明该堆肥样为基本腐熟;D配方的堆肥样品关联度最大的为0.704,表明腐熟度为完全腐熟。

2.2 4种有机肥基础养分 由表5可知,C代表的有机肥中N和腐植酸含量最高,其配料主要是饼肥总氮含量较高,几种不同配比有机肥总磷和总钾的含量差异不显著($P > 0.05$),有机质含量以有机肥D含量最高显著高于其余3种有机肥样品($P < 0.05$),与其原料成分为花生壳有很大关系。

法,同时确定简单易行的测试方法。

参考文献

- [1] 薛文博,张增强,易爱华,等.灰色关联分析法在堆肥腐熟度评价中的应用[J].环境卫生工程,2006(10):7-11.
- [2] 黄红丽,曾光明,黄国和,等.灰色聚类法在堆肥腐熟度评价中的应用[J].安全与环境学报,2005,5(6):87-90.
- [3] 薛文博,张增强,易爱华,等.灰色关联分析法在堆肥腐熟度评价中的应用[J].环境卫生工程,2006,14(5):7-8.
- [4] 钱学玲,孙义,李道棠.模糊综合评价法判别堆肥腐熟度研究[J].上海环境科学,2001,20(2):85-87.
- [5] 蔡华帅,彭绪亚,李明,等.模糊数学方法在垃圾堆肥质量评价中的应用[J].重庆建筑大学学报,2006,28(4):87-89.
- [6] 王敦球,潘盛.模糊综合评价法在评价堆肥腐熟度中的应用[J].农业环境科学学报,2005,24(S1):212-215.
- [7] 金龙,赵由才.计算机与数学模型在固体废物处理与资源化中的应用[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [8] 赵由才.生活垃圾资源化原理与技术[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [9] DENG J I. Introduction to grey system theory[J]. The Journal of Grey System,1989,1:1-24.
- [10] DENG J I. Control problems of grey systems[J]. Syst Control Lett, 1982, 1(5):288-294.
- [11] DENG J I. Essential models for grey forecasting control[J]. The Journal of Grey System, 1990, 2(1):1-10.
- [12] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.