

## 高寒地区好氧堆肥技术

**技术概述：**利用好氧堆肥原理，在可控条件下把有机物转化为一种稳定的类腐殖质产品，使原料得到无害化和稳定化处理，产物的理化性质和初始状况发生了改变，可以改善土壤或生长基质的性质，更有利于作物生长。

**增产增效情况：**提高有机质转化率 20%以上，减少因施肥带来的杂草影响、减轻土传病害、培肥土壤。

### 技术要点及注意事项：

#### 一、合理碳氮比

堆肥化过程中，碳素是堆肥微生物的基本能量来源，也是微生物细胞构成的基本材料。堆肥微生物在分解含碳有机物的同时，利用部分氮素来构建自身细胞体。一般情况下，微生物每消耗 25g 有机碳，需要吸收 1g 氮素，因此，有机物较适宜的 C/N 为 25 左右。C/N 过高，微生物生长繁殖所需的氮素来源受到限制，微生物繁殖速度低，有机物分解速度慢，发酵时间长；有机原料损失大，腐殖质化系数低；并且还会导致堆肥产品 C/N 高，施入土壤后易造成土壤缺氮，从而影响作物生长发育。C/N 过低，微生物生长繁殖所需的能量来源受到限制，发酵温度上升缓慢，氮过量并以氨气的形式释放，有机氮损失大，还会散发难闻的气味。合理调节堆肥原料中的碳氮比，是加速堆肥腐熟，提高腐殖化系数的有效途径。下表是西藏不同有机物碳氮含量。

物料	秸秆	蘑菇渣	城市淤泥	牛粪	鸡粪	羊粪
有机碳 %	74.6	62.1	44.8	55.4	12.9	57.1

全氮 %	0.61	2.37	0.58	2.01	1.92	1.81
------	------	------	------	------	------	------

## 二、控制原理水分

堆制过程中保持适宜的水分含量，是堆肥制作成功的首要条件。由于微生物大都缺乏保水机制，所以对水分极为敏感。当含水量在35%—40%之间时，堆肥微生物的降解速率会显著下降，但水分下降到30%以下时，降解过程会完全停止。通常有机物吸水后会膨胀软化，有利于微生物分解；水分在堆肥中移动时，所带菌体也会向四周移动和扩散，并使堆肥分解腐熟均匀；水中溶解的各种物质还会为微生物提供营养，并为微生物的繁殖创造条件。水分太少，微生物活动受限制，影响堆肥速度；水分太多，会堵塞堆肥物料间空隙，影响其通透性，易形成厌氧状况，并产生臭气，养分损失大，堆肥也同样缓慢。堆制过程中不同的原料具有不同的最适水分上限，并由这些原料物质的粒径和结构特性所决定。对于绝大多数堆肥混合物，适宜的含水量上限为50%—60%。一般情况下，可以用不太精确的挤压测试来测量混合物料的湿度，用手握堆肥混合物应该感觉起来比较潮湿，并有渗水的情形，但还不至于呈现大量水滴即可。要计算出堆肥物料的最佳混合比例，首先必须了解不同物料的最大持水能力，然后根据设定的混合物最适水分含量，以调节C/N为前提，确定不同物料的比例。表2列出了部分原料的最大水分含量范围。

表2 不同堆肥基质的最大水分含量

物料	秸秆	蘑菇渣	城市淤泥	牛粪
最大水分含量%	75-85	75-90	55-60	65-70

## 三、注意粒径大小

堆肥物料的分解主要发生在颗粒的表面或接近颗粒表面的地方，由于氧气可以扩散进入包裹颗粒的水膜，所以这些地方有足够的氧气保证有氧代谢的需求。在相同体积或质量的情况下，小颗粒要比大颗粒有更大的表面积。所以如果供氧充足，小颗粒物料一般降解得要快一些。将

堆肥物料加以粉碎后，可以使降解速率提高 2 倍以上。一般推荐的颗粒粒径为 1.3—7.6mm，这个区间的下限适用于通风或连续翻堆的堆肥系统，上限适用于静态堆垛或其他静态通风堆肥系统。对湿基质进行结构调整时，调理剂的粒径大小也会起到非常重要的作用。如果调理剂粒径过小，会导致难以达到预期的自由通气孔隙，并可能使混合基质固相体积不易达标。由于使用粒径很小的称为“木粉”的木屑，导致混合基质呈饱和泥状，由于缺少空隙而易发生厌氧反应。总之，小颗粒调理剂如木屑等易于生物降解，但从结构角度来看，应避免使用过多的小颗粒。

#### 四、调节 pH 值

pH 值是影响微生物生长繁殖的重要因素之一。多数堆肥微生物适合在中性或偏碱性环境中繁殖与活动。细菌和放线菌最适合的生长条件为中性和微碱性，真菌嗜酸性。细菌和真菌消化有机物时会释放有机酸，有机酸通常在堆肥初期被累积而导致 pH 值下降，从而有利于真菌的生长以及木质素和纤维素的降解，随着有机酸进一步被降解，pH 值逐渐升高，细菌和放线菌的繁殖会逐渐加快。然而，堆肥体系变成厌氧状态时，有机酸的累积可以使 pH 值降低到 4.5 以下，这时会严重影响微生物的活动，通常可以通过通风增氧使堆肥 pH 值调节到正常范围；同样，当堆肥 pH>10.5 时，大多数细菌活性减弱，高于 11.5 时开始死亡。总之过高和过低的 pH 值都会引起蛋白质变性。常见的堆肥原料如畜禽粪便、市政污泥、作物秸秆、草炭、蘑菇渣等一般不需要进行 pH 值调节，但当原料 pH 值偏离正常堆肥 pH 值（5—9）较大时，就必须进行 pH 值调节当 pH 值偏酸性时（低于 4），通常用石灰调节，有时为减少氮素损失，也用碱性磷肥调节酸碱度；当 pH 值偏碱性时（大于 9），可以通过添加氯化铁或明矾来调节，有时也用强酸或堆肥返料进行调节。在 pH 值调节时要注意的，石灰的用量不宜过大，一般控制在 5% 以内，否则会延长堆肥过程的缓冲期，不利于堆肥化进程。

## 五、菌剂使用

通常在没有外源菌剂的条件下，依靠原料自身携带的菌种也可以进行发酵，但是添加外源菌剂可以加速堆肥反应过程，提高堆肥质量，并可以在极端情况下（比如低温）启动发酵。市场上所售发酵菌剂多是经过筛选、驯化、培养并改良的高浓缩细菌与真菌混合物，主要是酵母菌、芽孢杆菌等复合菌剂，有些添加了除臭、解磷、解钾等特殊功能菌剂。生存与繁殖速度快、同时产生酶，分解有机废弃物，从而在堆肥生成过程中加速有机质的分解。

## 六、配方计算

在确定物料的最佳配比时应根据主要原料的碳氮含量，通过辅料调节 C/N 比，然后调节 pH 值与水分。

$$C/N = \frac{\text{原料a碳重量} + \text{原料b碳重量} + \text{原料c碳重量}}{\text{原料a氮重量} + \text{原料b氮重量} + \text{原料c氮重量}}$$

一个好的堆肥系统首先面对的就是起始物料的配比，以保证有合适的孔隙、水分、C/N 以及热值。通常采用的方法包括：①加入有机的或无机的调理剂；②加入膨胀剂，例如木屑、花生壳等；③堆肥产品回料；④上面三种方法的结合使用。

调理剂：调理剂是一种加入到其他基质内，以调节原料混合物性质，如水分、质地、C/N 等的物质。具体主要有以下两种。

(1)结构调理剂一种有机的或无机的物质，加入基质后可降低其容重并且增加气体空间，以允许适当的通风。

(2)能量调理剂一种有机物质，加入后可提高可降解有机物在混合物中的数量，因此可以提高混合物的能量。

调理剂已被广泛用于湿基质调节，包括木屑、稻草、泥炭、稻壳、棉壳、粪便、垃圾分、庭院废弃物、蛭石和许多其他的废物。理想的调理剂是干燥的，容重小，可降解的。肥产品再循环可使混合物的容重变

小，参加再循环的堆肥产品就可称为调剂。然而，再循环的堆肥不同于其他的调理剂，因为在循环时，不需要在加工过程中加入的物料。用湿基质堆肥时，再循环的产品经常与调理剂一起用。再循环的优点是可以降低入的调理剂的数量。

**膨胀剂：**膨胀剂是一种有机或无机的物质，主要用来保持堆肥基质的结构和通气性，使堆体不坍塌。常用粉碎为 3—5mm 长的木屑，或者花生壳、棉籽壳等。

**过湿物料的处理：**如果物料的含水率达 70%—80%，水分得不到控制，会导致堆肥温度降低和操作无效。通常，有机物料的水分含量越高，就需要越大的空间以保证充分通风。粪便、污泥均不易碎的物料，且缺少多孔结构，另外具有可塑性，物料自重也会使料堆变得更加紧实，样孔隙体积会变得更少，使得堆肥十分困难。对于湿基质，在设计或操作时应注意：①原料要进行结构调节，以获得易碎的混合料，如添加锯末、秸秆等；②进行能量调节，使得堆肥启动快速，保证热动力平衡，包括加能值高的物料或添加接种剂。

**风干：**除了用回流产品和调理剂进行水分调节外，还可以在堆肥前对湿基质进行风干脱水，除表面多余的水分。风干一般仅在蒸发超过降水的干燥地区适用，另外风干脱水只局限于相对稳定的基质消化污泥、粪便等。比较起来，风干是非常有效的且成本低的结构调节方式，也是能量调节的方式之一。

**烘干：**提高湿基质固相含量的另一种方法是在堆肥前对基质进行加热烘干，也称为“热脱水”烘干和风干一样能很好地完成湿基质的水分调节，即保留可生物降解的固相，除去多余的水分。另外，烘干一般不会受外界环境影响。但比较起来烘干所需设备投资与运行成本均比较高。因此，堆肥一般不采用烘干法来调节基质湿度。

通过颗粒堆肥生产中，如果仅仅通过感官或经验来判断原料搭配是否合理、水分调节是否适宜，往往偏差较大，特别是当原料或工艺发生

变化时，差异会更大，这也是造成产品质量不稳定的重要原因。要优化堆肥条件和配方，必须按照原料理化参数，通过科学的计算来确定。

## 七、采用合理堆肥形式

根据堆肥技术的复杂程度以及使用情况，主要有三大类堆肥类型：条垛式堆肥、静态堆肥、发酵罐反应器。其中条垛堆肥主要通过人工或机械的定期翻堆配合自然通风来维持堆体氧状态；与条垛堆肥相比，静态堆肥在堆肥过程中不进行物料的翻堆，能更有效地达到高温和病原菌灭活，堆肥周期缩短；反应器堆肥则在一个或几个容器中进行，通常条件得到了更好的控制。

条垛堆肥系统是开放式堆肥的典型例子，它是从传统堆肥逐渐演化而来的，典型特征是将混合好的原料排成行，通过机械设备周期性地翻动堆垛。条垛堆肥由于其操作灵活，适多种原料以及运行成本低，目前已得到广泛应用。物料量和堆场的实际位置来决定，一般在 30—100m。常见的堆体高 1—3m，宽 2—8m，条垛堆体的长度可根据堆肥条垛的高度、宽度和形状随原料的性质和翻堆设备的类型而变化。条垛的断面可以是梯型。



图2 条垛式堆肥（图片来源于网络）

## 八、堆肥质量评价方法

### 1、外观评分法

外观评分法综合考虑物理评价指标中各表现特征，结合堆肥操作条件，通过观察堆肥理性状及堆积情况，对堆肥腐熟度进行评分，合计总得分在 30 分以下为未腐熟，31—80 分为半腐熟，81 分以上为完全腐熟堆肥厂可以根据实际情况参考采用。

腐熟度判定方法

<b>颜色</b>	黄—黄褐色 (2)，褐色 (5)，黑褐色~黑色 (10)
<b>形状</b>	保留实物的形状 (2)，严重崩解 (5)，无法辨别 (10)
<b>臭气</b>	粪尿味强 (2)，粪尿味弱 (5)，堆肥味 (10)
<b>水分</b>	用力擦紧从指缝滴出 70%以上 (2)，用力擦紧粘住手掌 60%左右 (5)，用力擦紧也不粘手 50%左右 (10)
<b>高温度</b>	50℃以下 (2)，50—60℃ (20)，60—70℃ (15)，70℃以上 (10)
<b>堆积时间</b>	家畜粪便 5 天以内 (2)，10 天—15 天 (10)，15 天以上 (20) 与作物收获残渣的混合物 10 天以内 (2)，10 天—30 天 (10)，30 天以上 (20)与木质材料的混合物 20 天以内 (2)，20 天—45 天 (10)，45 天以上 (20)
<b>翻堆次数</b>	2 次以下 (2)，3—6 次 (5)，7 次以上 (10)
<b>强制通气</b>	无 (0)，有 (10)

## 2、发芽试验法

种子发芽试验由于其操作简便，极具实用意义，是评价堆肥腐熟度的最终和最具说服力的方法；

(1)称取堆肥样品 10.0g，置于 250mL 浸提容器中，按固液比（质量/体积）1:10，加入 100mL 的去离子水或蒸馏水，盖紧瓶盖后垂直固定于往复式水平振荡机上，调节频率约 100 次/min，振幅约 40mm，在室温下振荡浸提 1h，取下，移至 50mL 离心管，于离心机上，调节转速为 3000r/min，离心 20min，取上清液于预先安装好的过滤装置上过滤，收集滤出液，摇匀后即堆肥浸提液，供分析用。

(2)在 9cm 培养皿内垫上两张滤纸，均匀放入 10 粒大小基本一致、饱满的黄瓜种子(可选其他种子，如萝卜)，加入堆肥浸提液 5.0mL，盖上皿盖，在 30℃的培养箱中避光培养 48h，统计发芽率和测量根长。

(3)每个样品做3个重复，以去离子水或蒸馏水作对照。一般认为发芽率为对照区的90%以上，说明成品已腐熟合格。此法对鉴定含有木质纤维材料的成品尤其适用。



## 九、堆肥的应用

堆肥是一种经过堆肥化而产生的稳定的、清洁的肥料产品。在堆肥化过程中微生物将物料中的碳、氮混合物转化为更为稳定和复杂的，类似于土壤腐殖物质的有机形态。

其作用有：

1.增加土壤有效养分含量，有机物经分解矿化分解后，形成无机养分，植物可直接吸收和利用。

2.改良土壤，堆肥可以有效降低土壤容重，增加孔隙度，提高土壤的保水保肥能力，改善土壤物理性状。改良后的土壤可以调节孔隙度的大小，从而更有利于土壤中气体交换、水分保留、根系生长及微生物的活动。

3.增强作物抗逆性，堆肥中的微生物和矿化分解的有效养分能增强土壤保水保肥能力的作用，从而增强作物的抗旱、抗逆能力。

## 十、西藏堆肥模式

根据西藏畜禽废弃物的产生特点可以选择分子膜好氧堆肥模式，在养殖场或村居附近建立发酵槽，完成初级堆肥，技术人员指导养殖场对



粪便进行发酵处理，畜禽粪便原料高温堆肥处理后降低物料水分含量、减少体积，发酵物可以作为有机肥原料配送到第三方公司，根据需求生产生物有机肥、有机—无机复合肥、基质肥等产品，实现养殖粪便的肥料化利用。如图所示：



分子膜好氧堆肥发酵技术，采用密闭发酵方式，解决环境污染，发酵能耗低，运营成本低，操作智能，对操作人员技术要求不需要太高，一次性建堆，无需多次翻抛，可以对西藏养殖场畜禽粪便进行有效处理。

## 十一、技术依托单位

西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所

通讯地址：农科路科技创新园

邮政编码：850032

联系人：刘国一

联系电话：18908994005

电子邮箱：guoyiliu@qq.com