

固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展

李国学¹, 李玉春², 李彦富²

(1. 中国农业大学资源和环境学院; 2. 北京市垃圾渣土管理处)

摘要: 本文在综合阅读了国内外几十篇文献的基础上, 对堆肥化的原理及影响因素做了介绍, 在堆肥的影响因素中重点讨论了添加剂的发展概况, 对近年来堆肥添加剂的种类和作用做了初步的总结。结果表明了近年来堆肥添加剂已经有了较大的发展, 根据其作用可分为微生物接种剂、营养调节剂、膨胀剂(疏松剂)、特定目的调节剂等。其作用可以优化堆肥过程的环境条件, 提高微生物活性; 加快堆肥化进程, 促进堆肥的腐熟; 减少氮素损失, 保持养分含量; 调节堆肥中各种营养元素的含量, 提高堆肥质量。

关键词: 固体废物; 堆肥化; 添加剂

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2003)02-0252-05

Advance on Composting of Solid Waste and Utilization of Additives

LI Guo-xue¹, LI Yu-chun², LI Yan-fu²

(1. College of resource and environment science, China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2. Beijing Solid Waste Administration Department)

Abstract: The principle and effecting factors for composting were introduced after a comprehension evaluation based on tens articles from both home and abroad. The study centered on development of compost additives among all effecting factors and summarized category and effect of compost additives. The results showed that: the development of compost additives is great in recent years. Compost additives can be divided into four groups: i. e. microbe inocula, nutrient adjust, bulking agents and adjust for special aims according to the action of compost additives. The additives have the action on composting as following: optimizing the situation of composting process, improving the microbe activity, accelerating composting process, reducing nitrogen losses, retaining nutrient content, adjusting all kinds of nutrient elements in compost, improving the quality of compost.

Keywords: solid waste; composting; compost additives

目前, 我国总有机废物排放量为 $41.3 \sim 43.4 \times 10^8 \text{t}$, 其中蕴含粗有机质为 $12.27 \times 10^8 \text{t}$, 氮、磷、钾总贮量约为 $87.34 \times 10^6 \text{t}$ 。在这些有机固体废弃物中, 从氮、磷、钾养分资源来看, 占主要地位的是畜禽粪便, 其氮、磷、钾总贮量约为 6330 万 t, 相当于 4930 万 t 尿素, 11940 万 t 的过磷酸钙和 3380 万 t 的氯化钾; 占第二位的是城市生活垃圾; 其次是农业秸秆, 其氮、磷、钾总贮量约为 914 万 t。从有机质养分资源来看, 占主要地位的是农业秸秆, 占第二位的是畜禽粪便, 第三位是城市生活垃圾^[1]。如何处置这些固体废弃物以保护环境是我国科学家面临的重要课题。我国是一个传统的农业大国, 对肥料、饲料、能源有着巨大的需求, 因而处理农牧业废弃物的目标应该是使之成为农业的资源返回农业生态系统中, 即农用资源化。畜禽粪便和秸秆这类废物分布广, 廉价易得, 是进行堆肥和沼气发酵的理想材料。

收稿日期: 2002-07-20

作者简介: 李国学(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事废弃物处理与资源化、绿色食品生产和土壤污染与防治等方面研究。

lix@ mail. cau. edu. cn

1 堆肥原理及影响因素

1.1 堆肥的定义及原理

堆肥化 (composting) 是在微生物作用下通过高温发酵使有机物矿质化、腐殖化和无害化而变成腐熟肥料的过程, 在微生物分解有机物的过程中, 不但生成大量可被植物吸收利用的有效态氮、磷、钾化合物, 而且又合成新的高分子有机物——腐殖质, 它是构成土壤肥力的重要活性物质。

1.2 堆肥过程的影响因素

(1) C/N 比和 C/P 比 有机固体废弃物含碳量一般为 40% ~ 55%, 氮的含量变化却很大, 因而 C/N 比的变化也很大, 一般均超过 30, 少数废弃物的 C/N 比小于 30, 如鸡粪 C/N 比一般为 9.0, 化纤污泥 C/N 为 9.96。因此为了使参与有机物分解的微生物营养处于平衡状态, 堆肥 C/N 比应满足微生物所需的最佳值 25 ~ 35, 最多不能超过 40, 应通过补加 N 素材料 (含氮较多的物质) 的方法来调整 C/N 比使其不超过 40, 畜禽粪便、肉食品加工废弃物、污泥均在可利用之列。

磷是磷酸和细胞核的重要组成元素, 也是生物能 ATP 的

重要组成成分,一般要求堆肥料的 C/P 比在 75~150 为宜。

(c) 水分含量的调节 堆肥中适宜的水分含量是堆肥的关键因素。大量研究结果表明,堆肥合适的水分含量一般控制在 60%~80% 为佳。这时堆肥中的 CO_2 生成速率、细菌生长和氧的摄入量能达到最大。

(d) 温度 对堆肥而言,温度是堆肥得以顺利进行的重要因素,温度的作用主要是影响微生物的生长,一般认为高温菌对有机物的降解效率高于中温菌,现在的快速、高温、好氧堆肥正是利用了这一点。初堆肥时,堆体温度一般与环境温度相一致,经过中温菌 1~2 d 的作用,堆肥温度便能达到高温菌的理想温度 50℃~65℃,在这样的高温下,一般堆肥只要 5~6 d 即可达到无害化。过低的温度将大大延长堆肥达到腐熟的时间,而过高的堆温 (>70℃) 将对堆肥微生物产生有害的影响。

(e) 通风供氧 通风供氧是堆肥成功的关键因素之一。堆肥需氧的多少与堆肥材料中有机物含量息息相关,堆肥材料中有机碳愈多,其好氧率愈大。堆肥过程中合适的氧浓度为 18%,最低为 8%,氧浓度一旦低于 8%,就成为好氧堆肥中微生物生命活动的限制因素,容易使堆肥厌氧而产生恶臭。

(f) 接种剂——堆肥发酵素 向堆料中加入接种剂可以加快堆腐材料的发酵速度。向堆肥中加入分解较好的厩肥或加入占原始材料体 10%~20% 的腐熟堆肥,能加快发酵速度。在堆制中,按自然的方式形成了参与有机废弃物发酵以及从分解产物中形成腐殖质化合物的微生物群落。通过有效的菌系选择,从中分离出具有很大活性的微生物培养物,建立人工种群——堆肥发酵要素母液。Tiwari 比较添加纤维分解真菌和添加固氮菌及溶磷剂对堆肥总氮和 C/N 的影响,其效果非常明显^[2]。表 1 为前苏联哈巴夫斯克推荐的利用植物性原料堆肥加入发酵素的标准。其中发酵素由糠、麸子、糖、淀粉与由小麦粉、大豆粉、玉米粉、蛋白胨、 K_2HPO_4 、 MgSO_4 、 MnSO_4 按比例配制的发酵母液混合后再发酵制成。

表 1 植物性原料堆肥加入发酵素的标准

Table 1 Criterion for adding fermentable powder into compost with plant material

产品名称	原料含量 (kg)	方案 1		方案 2	
		麸子	发酵素	麸子	发酵素
木质堆肥	900	10	1	7	3
秸秆堆肥	970	30	2	20	10
厩肥	900	10	1	7	3
木质饲料(锯末)	640	360	8	340	20

(g) pH 值 微生物的降解活动,需要一个微酸性或中性的环境条件。但大部分植物残渣却具有很高的酸性,pH 为 4.5~6.0。因此为了调节原料的 pH 为 6.5,应向每吨堆料中加 0.6~6.1 kg 消石灰或 0.8~8.5 kg 的碳酸钙。利用秸秆堆肥,由于秸秆在分解过程中能产生大量的有机酸,因此需要添加石灰中和。如果采用畜禽粪便作为氮源,则其中的氨气会中和堆腐材料中的有机酸。

2 堆肥添加剂

添加剂是指为了加快堆肥进程或/和提高堆肥产品质量,

在堆肥物料中加入的微生物、有机或无机物质。根据其作用添加剂可以分为接种剂、营养调节剂、膨胀剂(疏松剂)调理剂等。

2.1 微生物接种剂

好气性高温堆肥是由群落结构演替非常迅速的多个微生物群体共同作用而实现的动态过程,在该过程中每一个微生物群体都有在相对较短时间内适合自身生长繁殖的环境条件,并且对某一种或某一类特定的有机物质的分解起作用。

微生物的表面积体积比大,代谢强度高,数目巨大,繁殖迅速,在堆肥化过程中对有机物质降解起主导作用。研究表明,单一的细菌、真菌、放线菌群体,无论其活性多高,在加快堆肥化进程中作用都比不上多种微生物群体的共同作用。因此人们在人工条件通过接种方法提高堆肥微生物数量加速堆肥反应过程,广泛进行了接种效应的研究^[3]。按接种微生物对堆肥的作用,可以从以下四方面来考虑:

(1) 堆肥过程的初期加入,其目的是促进堆肥腐熟,缩短堆制周期

传统的堆肥法堆肥腐熟的时间常需 2 个月,堆制过程中堆肥周围恶臭难闻,污水流淌,蚊蝇滋生,成为农业环境中重要的污染源。因此如何缩短堆制时间,使新鲜畜禽粪便快速腐熟,是现代农业生产中急待解决的问题。由于传统堆肥腐熟过程主要是一个由自然微生物参与的生理生化过程,因而有可能利用添加外源微生物来加速该过程。

接种微生物促进堆肥腐熟的机理有:①提高堆肥初期微生物的群体,增强微生物的降解活性;②缩短达到高温期的时间;③接种分解有机物质能力强的微生物。一些从堆肥中分离出来的高温菌、中温菌、放线菌和真菌常作为堆肥接种剂加速细胞壁和木质素、纤维素水解,促进腐殖化过程。目前应用的主要三种接种剂:微生物培养剂,营养添加剂,有效的自然材料。有效自然材料主要是指粪便堆肥、牛粪、耕层土壤和菜园土壤等,其中含有种类极其丰富的微生物群体。

目前,国内外对于堆肥接种剂的研究已经有了较大的进展,明显地促进了初期堆肥化进程和保持较高的降解速度。传统的自然堆肥法对于性冷牛粪不仅耗时长,而且发酵温度也不高,难以杀灭粪中所含的大量杂草种子和虫卵病菌^[4]。日本、美国等国家已经开始利用专门微生物菌剂对性冷牛粪进行了高温堆肥发酵处理,部分菌剂产品已打入我国市场。针对这一现状,上海市农科院环境科学研究所的沈根祥、袁大伟等人在蘑菇培养料微生物增温发酵的基础上,筛选培养出了能促进性冷牛粪高温发酵的专门微生物菌剂(Hsp 菌剂),并在牛粪堆肥中进行了试验应用。结果表明,在 Hsp 菌剂作用下,牛粪发酵温度迅速上升,并在一定供氧条件下,始终保持 55℃ 以上的高温发酵状态;可使新鲜牛粪在 20 d 左右时间内达到堆肥熟化要求。

酵素菌也是一种理想的堆肥接种剂。酵素菌技术是由日本微生物专家岛本觉也先生于 20 世纪 40 年代研究开发,80 年代日渐成熟并广泛应用于种植业、人体保健、环保等方面的微生物应用技术^[5]。目前已在世界上二十多个国家推广应用。

1994年引入我国,短短的几年时间,其推广已覆盖24个省(市、区),在种植业、养殖业上都表现出良好的应用效果,并逐渐拓展到人体保健、环保等领域^[6]。酵素菌是由细菌、真菌和放线菌3类微生物的24种益菌组成,他们在生理活动和新陈代谢中产生多种酶和活性物质,例如,淀粉酶、蛋白分解酶和麦芽糖酶,以及维生素B类群及核酸等活性物质。因此,分解难溶矿物质、纤维素等无机物和有机物能力增强,从而提高了这些物质的转化率和利用率,在短时间里分解转化成为可供植物利用的有效成分,是快速堆制高质量农肥的催腐剂。

另外,腐熟堆肥的回用,可以改善堆肥初期的环境条件,提供驯化微生物,从而提高微生物活性,也可促进堆肥初期的发酵过程。

② 堆肥后期加入,保持微生物活性,可以作为土壤的修复剂

土壤里有10000多种微生物,其中有益菌,也有有害菌^[5]。益菌和有害菌的数量是在不断变化之中,呈动态平衡状态。如果土壤中施用富含有益微生物的堆肥,可以大大增加土壤里益菌数量,排挤和抑制有害菌的活动,提高益菌的活动能量,促进土壤改良和培肥地力,供给作物的营养更加全面丰富。

目前,国内各厂家生产的酵素菌肥中的土曲子,就是一种以改良土壤为主的普通粒状肥,它是以山土(或沸石、页岩)经酵素菌发酵后制成的一种酵素菌肥^[7]。除了自身含有多种营养成分外,还有多种分解酶,能使土壤中各种有机肥和无机肥从难溶矿质养分变为作物可吸收的养分。土曲子能提高土壤的盐基交换量,改善作物根际土壤环境,提高保水保肥能力,对作物生长发育有利。它还能分解化肥、农药的有害残留,减轻环境污染,防止作物病害,克服作物的重茬病,促进作物早熟。

③ 减少堆肥过程中氮素损失,提高养分含量

畜禽粪便在堆制过程中会散发出大量恶臭物质,造成畜禽粪便堆肥恶臭的主要原因是氨的挥发^[7]。在恶臭扩散的同时,堆肥中氮养分大量损失,从而使堆肥的农用价值降低^[8]。传统堆肥过程是一个自然微生物参与的生理生化过程,因而能利用添加外源微生物的办法来调控堆肥过程中氮、碳的代谢,通过氮素物质分解为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 后的气态挥发损失来控制臭味的产生,并保留更多的氮养分。

Tiwari^[2, 9]分别比较添加纤维分解真菌和添加固氮菌及溶磷剂对堆肥总N和C/N比的影响,其效果非常明显,结果见表2。

表2 不同微生物制剂对堆肥效果的影响

Table 2 Effect of different microbe preparation on composting process

地点	堆肥材料	总氮 (%) [*]		C/N比 ^{**}	
		不加调节剂	加调节剂	不加调节剂	加调节剂
A: 增加纤维分解菌 [*]					
New Delhi	高粱秸 + 麦秸	1.41	1.65	20.0	14.3
New Delhi	Jamun 叶	1.44	1.56	20.4	15.7
New Delhi	稻秸	1.15	1.30	23.9	18.9
New Delhi	稻秸	1.52	1.76	15.5	12.3
Kanpur	日常农业废弃物 ^{***}	0.57	0.63	22.6	16.6
Ranchi	麦秸 + 水风信子	1.00	1.37	28.4	18.6
Ranchi	稻秸	0.9	1.20	41.0	30.0
Hissar	混合秸秆	1.38	1.52	24.0	20.0
Pune	蔗糖渣	0.98	1.54	35.0	24.0
B: 增加固氮菌和溶磷菌 ^{**}					
New Delhi	麦秸 + 高粱秸	1.38	1.82	20.6	12.0
New Delhi	稻秸	1.52	1.82	15.6	11.6
New Delhi	稻秸 + 合欢(4:1)	1.16	1.85	22.2	12.2
New Delhi	切碎稻秸	1.30	1.78	20.0	13.3
New Delhi	不切碎稻秸	1.26	1.72	25.2	15.5
New Delhi	香蕉叶	1.9	2.80	19.3	11.6
Kanpur	日常农业废物	0.58	0.64	20.1	15.5
Pune	蔗糖渣	1.08	1.34	26.0	33.0

* 开始加入调节剂; ** 3个月取; *** 堆肥后1个月加调节剂; **** 不完全腐解, C/N = 61.1

上海市农科院环境科学研究所的赵京音等人作了微生物制剂EM促进鸡粪堆肥腐熟和臭味控制的研究。其结果表明在进行鸡粪堆肥时添加微生物制剂,能显著加快堆肥的腐熟,常温下堆制20d即可;堆肥及其周围的环境卫生状况得到极大的改善,不滋生蝇蛆,不流淌污水,不散发臭味,发酵10d左右,主要致臭源 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量减少40%左右,氮素和有机质的保留率显著提高,这不仅提高了堆肥的农用价值,也改善了环

境质量。

④ 堆制法中微生物对有机污染物的清消

堆制处理法是在人工控制条件下,对生物来源的固体有机废物进行好氧生物分解和稳定化过程。在堆制过程中主要利用多种微生物(包括中温、高温微生物)的活动,经历较长时间,使多种有机物质得到降解和转化^[10]。目前,国外用堆制法处理的土壤有机污染物质包括石油燃料、煤焦油、杂酚油、农药、炸

药和火箭推进剂等。

在堆制处理过程中,通过控制堆制的环境因素,给微生物提供一个较为良好的环境条件,促进微生物的繁殖,同时微生物降解有机物质产生大量的能量(主要以热的形式产生),又提高了微生物代谢的速率,因而可以提高有害废物的处理效果。有机污染物在堆制过程中消失的两条主要途径:生物降解和非生物损失(包括挥发、沥滤、水解、光解、络合和螯合等),其中生物降解起着重要作用。目前,对于可降解特定有机污染物(如农药、石油烃、多环芳烃(PAHs)及硝基芳香烃等)的微生物种群已有了较为深入的研究,在其生物活性、代谢途径、遗传操作等方面取得了一定的成果。

Dave 在对石化工业产出的废油进行生物治理时,筛选出 22 种可降解废油的菌种,其中有 7 种可以降解 40% 的废油,然后把这 7 种菌混合后,可降解 50% 的废油,如果将被废油污染的土壤和细菌混合培养物在一起培养约 30 d 后,废油的降解率增至 70%。McFarland 等人在实验中接种了 10% 的白腐真菌 *P. sordide* 处理被石油污染的土壤,堆制 30 d 后,接种真菌处理的苯并[a]芘最大去除率可达 $1.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,对照中的最大去除率只有 $0.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

目前有关这方面的研究还多停留在实验室、小试阶段,距实际应用还有很大差距,因此,吸收先进的化工理论和技术,对堆肥处理工艺和设备进行研究,缩短和简化处理流程,创造和完善新的高效低耗堆肥反应器,并且能够应用到有机污染物堆制法原位生物修复,也是今后的研究方向。

2.2 营养调节剂

(1) “起爆”剂

堆肥过程中有机物质的降解是微生物活动的结果,微生物繁殖的快慢决定着堆制时间的长短,而微生物繁殖的快慢又受营养物质丰缺的制约,有效营养丰富,微生物繁殖速度就快,反之则慢^[11]。因而,根据微生物的营养机理,选用微生物易利用的有机物质如糖、蛋白质以及适合有益微生物营养要求的化学药品,按一定比例配制而成的营养调节剂,可以增加堆肥开始时微生物的活性,起到“起爆”效果^[10]。

山东省文登市土肥站研制开发催腐剂就是根据微生物的营养机理,选用适合有益微生物的营养要求的氯化亚铁、硝酸钾、磷酸镁等化学药品,按一定比例配制而成的化学制剂,因拌于秸秆等有机物中有加速腐烂的作用,故定名为催腐剂^[12]。它是化学、生物技术结合的边缘科技产品,不仅能杀灭秸秆中的致病真菌、虫卵和杂草种子,加速秸秆腐解,提高堆肥质量,使堆肥有机质含量比碳铵堆肥提高 54.9%,速效氮提高 10.3%,速效磷提高 76.9%,速效钾提高 68.3%,而且能定向培养钾细菌、放线菌等有益微生物,增加堆肥中活性有益微生物数量,使堆肥中的氯化细菌比碳铵堆肥增加 265 倍,钾细菌增加 2 131 倍,磷细菌增加 11.3%,放线菌增加 5.2%,使堆肥成为高效活性生物有机肥。

(2) 添加尿素化肥调节 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比

一般来说,不同作物类型对 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比的要求和比例不同,如在一定目标产量条件下,番茄吸收主要营养成

分的 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比分别为 2.15 和 0.737,黄瓜分别为 1.40 和 0.583,而果树(苹果)分别为 2.22 和 0.556。通过添加尿素调节堆肥原料的 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比可以达到调节堆肥产品的 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比的目的。因此添加尿素堆肥中 N/P₂O₅ 比和 N/K₂O 比值能满足苹果的需要。

因此,在实际进行堆肥材料比例设计时,针对堆肥过程中 N、K 等营养损失的特点,适当提高 N、K 素含量及采取减少 N 素损失和 K 流失的技术措施,这样才能堆制出满足作物营养要求的肥料。

2.3 特定目的调节剂

(1) pH 调节剂

在堆肥过程中 pH 先变小,然后逐渐升高。在以废物处理为目的的大规模的堆肥时,调整 pH 值既无必要,在经济上又不可能;但如果堆肥产物是用于培养蘑菇或饲养蚯蚓时,则需要加入 pH 调节剂,以防止 pH 波动过大。常用的 pH 值调节剂有 CaCO₃、石灰和石膏等。

(2) 氮素抑制剂

前面曾提到过添加外源微生物可以调控氮、碳的代谢,从而减少氮养分的损失。在这里我们要讨论一下向堆肥中加入一些无机制剂来控制氮素损失:

① 沸石对氨的吸收

沸石是一种含水的碱金属和碱土金属的架状硅铝酸盐矿物。沸石内表面远比一般颗粒的内表面大,每克沸石的内表面积竟有千余平方米,因此沸石的吸附量特别大。另外,沸石具有选择性吸附和筛分性能,特别是对 H₂O、NH₃、H₂S、CO₂ 等极性分子,具有很高的亲和力,即使在低相对湿度、低浓度和高温等不利条件下仍能吸附^[13]。

② 脲酶抑制剂的应用

堆肥材料中,特别是畜禽粪便,含尿素和氨态氮较多,在堆制过程中,其中的一部分尿素在脲酶的作用下分解为 NH₄⁺,后又挥发损失掉。脲酶抑制剂对土壤脲酶活性具有很强的抑制能力,从而抑制尿素的转化率^[14]。近年来,国内筛选出 10 种有机无机脲酶抑制剂。其中醌氨醌、1,4-对苯二酚、邻苯二酚、对苯醌、硫酸铜等抑制率较高,平均达 44.8%,与对照比较,差异达显著或极显著水平^[15]。

③ 其他吸收氨试剂的研究

中国和印度有向堆肥中加磷酸盐可减少氮素损失的报道,在 20 世纪 70 年代后, Fenn^[16] 等从事无机盐类保氮作用的研究,证明钙盐具有保氮作用。所以在堆肥中加入过磷酸钙,可形成磷酸-铵的配合物从而减少氨挥发的损失,同时 NH₄⁺ 与交换复合体上的 Ca²⁺,减少 NH₄⁺ 的损失。

(3) 重金属钝化剂

污泥土地利用是当今国际上非常重视的污泥处置方式,防止重金属污染和危害一直是污泥施用中最重要的问题^[17]。因此,在污泥施入土壤前必须进行预处理,目前最常用的方法是进行污泥堆肥,国内有人根据固体废弃物的堆肥化原理及重金属的不同形态与生物有效性的关系。结合土壤重金属的污染治理方法,研究了在堆肥中添加粉煤灰、磷矿粉、草炭、沸石对

重金属形态及重金属的生物有效性的影响。结果表明,对污泥中交换态重金属以粉煤灰、磷矿粉的钝化效果最好。粉煤灰使污泥与稻草联合堆肥中交换态 Cu、Zn、Mn 分别减少 2.34%、7.8%、20.79%;磷矿粉使污泥与稻草联合堆肥中交换态 Cu、Zn、Mn 分别减少 2.21%、8.29%、10.36%^[18]。

2.4 调理剂或膨胀剂

(1) 调理剂

调理剂通常用于平衡堆肥原料中的含水率。堆肥过程中有机物的分解和微生物的生长繁殖,水是不可缺少的。其主要作用在于:①溶解有机物,参与微生物的新陈代谢;②水分蒸发时带走热量,起调节堆肥温度的作用。堆肥原料水分的多少,直接影响好氧堆肥反应速度的快慢,影响堆肥的质量^[19]。对于低于堆肥所需的正常含水量的堆肥原料,一般直接添加水分或者添加含水量高的调理剂如粪稀,这种方法操作起来比较容易。而为了克服供料底物中的高湿度问题,许多方法也都是有效的:①可回流堆过肥的干物料,以调节起始混合物的水分含量;②可把干的调理剂如锯末或碾碎的垃圾、秸秆等加入高湿度的原料中(如污泥和鸡粪);③可把膨胀剂如木屑和秸秆等加进高湿度的原料中,以维持堆垛结构的完整性和多孔性^[10]。

(2) 膨胀剂

当含水多、颗粒细的废物堆制时,由于通气性差常常需要加入一些质地疏松的物质来增加通气性,即膨胀剂。常用的膨胀剂有锯末、作物秸秆、粉碎的废橡胶轮胎等。污水、污泥与畜禽粪便有共同的特点,即有机质和养分含量高,但因质地较细,含水量较高所以通气性较差,影响堆体中的氧浓度、降低微生物的活性。因而通常采用添加膨胀剂等方法来控制,增大堆体的孔隙度,便于空气流通。

3 发酵素在堆肥过程中作用

采用商业添加剂博力1号发酵素作为接种剂,以秸秆和鸡粪为堆肥原料,分别进行了发酵素扩培与堆肥效果和直接添加发酵素堆肥效果试验^[20]。通过对温度、有机碳、碳氮比和发芽指数等多个堆肥腐熟度指标的测定和分析,得出如下结果:以20%发酵素添加比例进行发酵素扩培生产的发酵素堆肥产品具有明显的发酵素功能,可以作为堆肥的发酵素接种剂来使用,能够起到加快堆肥化进程,缩短堆肥时间,促进堆肥腐熟的作用。另外,从实际生产来说,可以明显的降低成本,提高经济效益。从添加发酵素堆肥效果来看,采用20%接种比例添加“堆肥发酵素”产品(换算成直接添加5%发酵素)也是可行的,较不加发酵素堆肥提前28d进入腐熟期,大大缩短了堆肥时间,减少对环境的污染。

4 堆肥添加剂前景展望

近年来,关于堆肥添加剂的种类、作用和应用方面的研究,越来越受到国内外许多学者的重视,其应用前景是非常广阔的。但对于其在促进堆肥化进程,缩短堆制周期,提高堆肥质量方面却意见不一,有的持肯定态度,有的持怀疑态度,这方面还有待于在今后的试验中继续验证。我们希望关于堆肥添加

剂的研究应该继续下去,希望开发出性能良好、可操作性强的添加剂,这对于一些有机肥生产企业来说,至关重要。另外,针对目前堆肥添加剂市场混乱的情况,有必要对其产品进行规范化和标准化,尤其是在引进国外菌种方面,要尽快建立法规,避免盲目引进国外一些添加剂进入国内市场,尤其是一些复合菌种。

参考文献:

- [1] 李国学. 有机固体废弃物堆肥与利用研究进展[A]. 土壤与植物营养研究新动态(第三卷)[C]. 中国农业出版社,1995:319-343.
- [2] Tiwari V N. Composting of dairy farm wastes and evaluation of its manurial value[J]. *Proc National Academy of Science, India*, 1989, 59B: 109-114.
- [3] Nakasaki K, Hiraoka S. A new operation for producing disease-suppressive compost from grass clippings[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1988, 64(10): 36-41.
- [4] 沈根祥,袁大伟,等. HSP菌剂在牛粪堆肥中的试验应用[J]. 农业环境保护,1999,18(2):62-64.
- [5] 李济寰,王健,等. 我国酵素菌引进、试验及应用概况[J]. 北京农业科学,2000,18(3).
- [6] 李影,焦素芝. 怎样用酵素菌制秸秆堆肥[J]. 新农业,1999,3.
- [7] 刘萃文,侯志研. 几种常用酵素菌肥的功能及其配制方法[J]. 土壤肥料,1999.
- [8] Tam等. 两种工业用细菌制品对猪废弃物圈内处理系统中营养物质转换的影响[J]. 国外农业环境保护,1990,7(4):39-41.
- [9] Tiwari V N. Effect of cattle dung and rock phosphate on composting of wool waste[J]. *Biological Wastes*, 1989, 27: 223-241.
- [10] 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,1999.
- [11] 张书华. 不同秸秆腐解剂腐解油菜秸秆试验简报[J]. 耕作与栽培,1999,(4):48-49.
- [12] 衣桂花,耿新高,等. 催腐剂及其堆肥技术[J]. 中国农技推广,1996,(6):33.
- [13] 李增新,张启军. 天然沸石及其在农业中的应用[J]. 农业环境保护,1995,14(4):41-42.
- [14] 王秀君,罗盛国. 尿素肥效的影响因素及其施用技术[J]. 土壤学进展,1995,23(1):21-26.
- [15] 李双霖,薛由保. 脲酶抑制剂的筛选及使用条件的研究[J]. 土壤,1991,(2):96-102.
- [16] Fenn L B, Taylor R M and Matocha J E. Ammonia losses from surface applied nitrogen fertilizer as controlled by soluble calcium and magnesium: General theory[J]. *Soil Science Soc Am J*, 1981, 45: 777-781.
- [17] Darmody R G. Municipal sewage sludge compost-amended soils: some spatiotemporal treatment effects[J]. *J Environ Qual*, 1983, 12(2): 231-236.
- [18] 李国学. 施用污泥堆肥对土壤和青菜(*Brassica chinensis*)中重金属积累特性的影响[J]. 中国农业大学学报,1996,18: 563-568.
- [19] 蔡建成. 堆肥工程与堆肥工厂[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [20] 李玉春. 发酵素堆肥与有机无机复混肥关键技术及生物效应研究[D]. 中国农业大学(硕士论文),2002.