

堆肥工程 实用手册

李季 彭生平 ◎ 主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

堆肥工程实用手册

李 季 彭生平 主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

堆肥工程实用手册/李季, 彭生平主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 9

ISBN 7-5025-7668-1

I. 堆… II. ①李… ②彭… III. 堆肥-技术手册
IV. S141.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 109373 号

堆肥工程实用手册

李 季 彭生平 主编

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 凌亚男

封面设计: 胡艳玮

*

化学工业出版社 出版发行
农业科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 265 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7668-1

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《堆肥工程实用手册》编写人员

主 编 李 季 彭生平

副 主 编 罗 维 李国学 孙振钧

参编人员 (按姓氏笔画排列):

刘海鹰	吕贻忠	孙振钧
李 季	李国学	罗 维
胡 菊	段崇东	彭生平

前 言

堆肥是一个传统又颇具现代特点的生物科学，也是一门综合性和应用性相当强的工程科学。堆肥的目的就是通过一系列科学的工艺步骤，把各种各样的有机废弃物降解成为一种稳定的、无害化的适合于土壤培肥的有机肥产品。

传统堆肥是一种操作简单、时间漫长、自给自足的生产实践，现代堆肥则是以有机废弃物的资源化利用为基础、产业化生产为途径、产品的商品化转化为目的，突出了人与自然、资源与环境的和谐和统一，体现了循环经济的理念。

资料显示，目前我国城市及农村各类有机固体废弃物已达到惊人数量，若不加以合理利用，不仅会导致有机物资源的大量浪费，而且还会造成环境的二次污染。如何将这些宝贵的有机废弃资源利用起来，实现资源再生利用，保障城乡环境优美，推动区域经济发展，具有重要的理论和实践意义。以养殖粪便和城市污泥为例，目前全国规模养殖业已呈现出明显的区域集中趋势，主要养殖省份如广东、北京、浙江、上海、福建、山东的规模化养殖比重已超过50%，全国每年畜禽粪便产生量近 2.0×10^9 t，但实际处理率尚不足10%，一些大型养殖场畜禽粪便无法消纳而大量堆积，对环境造成极大威胁；我国目前已建成600余座污水处理厂，未来污水处理厂将达到2000座以上，目前全国污泥产量约 1.4×10^6 t，未来可预测的污泥产生量至少在 1.0×10^7 t以上，近年南方各地由于垃圾填埋场拒收、土地紧张、周围扰民等原因，污泥的处理处置已成为十分迫切的问题，探讨养殖粪便和污泥这类优质有机资源的循环利用已成为国家和地方环保产业的重大需求。

根据国内外发展经验，有机固体废弃物的处理应以资源化利用为主导方向，主要的技术途径之一就是通过对这些废弃物资源进行生物堆肥处理，实现废弃物的减量化、无害化和资源化利用。

然而在开展有机固体废弃物生物堆肥生产有机肥的过程中，由于缺乏技术指导，众多生产企业仍不同程度地面临着一系列技术难题：堆肥物料如何选择和合理配比？堆肥过程通风、臭气、养分等如何控制？添加菌种有无必要和应注意的问题？堆肥周期以及堆肥质量如何衡量？如何选择不同的翻堆设备？采取何种工艺才最适宜于堆肥条件？有机肥、生物有机肥和有机无机复合肥的生产应遵循哪些生产标准？等等，所有这些都迫切需要开展广泛深入的技术交流。

中国农业大学长期以来有一批研究人员从事固体废弃物的堆肥研究，包括养殖场畜禽粪便、农村秸秆、生活垃圾、市政污泥等的资源化利用，并在蚯蚓、微生物发酵菌剂、好氧堆肥发酵、厌氧沼气生产、堆肥工艺以及有机无机复混肥生

产方面开展了大量工作，取得了大量科研成果，并建立了众多的示范生产基地。根据国家中长期发展规划，废弃物的资源化利用将成为未来国家重点支持的领域，如何把握发展机遇，大量引进国外先进技术与工艺，尽快促进国内堆肥行业的基础研究和技术示范，成为广大科技工作者必须承担的重要任务。

本书的编写就是在这样一个背景下开始的，作者结合各自的长期理论与实践，大量吸收了国外堆肥工程的成熟工艺和技术，形成了目前的雏形。全书共分十章，第一章绪论，介绍堆肥的发展历史和基本特点；第二章堆肥原理，全面介绍了堆肥工程涉及的生物、化学、动力学与热力学原理；第三章堆肥原料及调节，介绍了堆肥原料来源、特点、配方、调节与检测方法；第四章堆肥类型及特点，全面介绍了不同堆肥工艺和特点；第五章堆肥布局与加工，介绍堆肥车间布局、原料收集与贮存、原料混合、发酵及调控、堆肥熟化与贮存、有机无机复混肥生产等；第六章堆肥过程控制，包括通风控制、臭味控制、氮素损失与控制、堆肥过程监测与常见问题；第七章堆肥接种及发酵机理，结合实际说明堆肥接种原理、接种机理与注意事项；第八章堆肥产品及应用，全面分析了堆肥腐熟及评价指标、堆肥质量与标准，并对堆肥产品田间效果进行了分析，第九章堆肥产品销售，对堆肥产品市场定位、产品登记、产品包装及标签、市场销售策略等进行了总结；第十章典型堆肥厂案例，针对一个典型堆肥厂进行了可行性分析与工艺设计，并对堆肥成本及效益进行了分析。

本书编写主要分工是李季（第一、第三、第六、第八章），彭生平（第五、第七、第九章）、罗维（第二、第四章）和段崇东（第十章），最后由李季、彭生平统稿和校对。在本书编写过程中，得到了众多热心人士的支持与参与。感谢农业部肥料处杜森博士、农业部微生物肥料检测监督中心李俊博士、国家环保总局农村环境处李远先生对本项工作的支持；感谢农业部农业工程研究设计院韩捷研究员、中国农业机械科学研究院黄希国研究员等在编写教材、培训交流中给予的大力支持；感谢山西沃土生物有限公司、北京沃土天地生物科技有限公司、厦门闽星环境工程有限公司、武汉合缘绿色生物工程有限公司、北京世纪阿姆斯特生物技术有限公司、河北石家庄神喻王果蔬科技开发有限公司、山东诸城金大地有机肥有限公司、宁夏绿泰生物工程有限公司、广东肇庆市兆晖生物科技有限公司等在开展堆肥研究与示范中给予的鼎力协助；感谢中国农业大学资源环境学院何英、许晓英、黄雅曦、张亚宁、贺琪、陈展、牛志蓉等同志为本书编写工作提供的辛勤劳动。

由于准备时间仓促以及水平所限，文中难免出现一些不合大家要求以及不甚清楚的地方，恳请各地堆肥工作者提出宝贵意见。

编者

2005年8月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 堆肥定义.....	1
第二节 堆肥历史.....	2
第三节 堆肥特点.....	2
第四节 堆肥前景.....	6
第二章 堆肥原理	8
第一节 堆肥基本过程.....	8
第二节 堆肥基本原理.....	9
第三节 堆肥生物学原理.....	10
第四节 堆肥热力学原理.....	12
第五节 堆肥动力学原理.....	14
第三章 堆肥原料及调节	18
第一节 原料来源及数量.....	18
第二节 原料特点及评价.....	18
第三节 堆肥初始条件及原料配方.....	21
第四节 原料调节.....	28
第五节 堆肥原料检测及方法.....	31
第四章 堆肥类型及特点	34
第一节 堆肥系统的分类及其对比.....	34
第二节 条垛堆肥.....	35
第三节 静态堆肥.....	36
第四节 槽式堆肥.....	38
第五节 反应器堆肥.....	39
第五章 堆肥生产布局及加工	44
第一节 堆肥系统构成及工艺流程.....	44
第二节 堆肥场布局与物料流动.....	45
第三节 原料选择及贮存.....	47
第四节 原料预处理.....	51
第五节 堆肥发酵系统.....	53
第六节 堆肥熟化与贮存.....	56

第七节	堆肥生产复混肥	57
第六章	堆肥过程控制	62
第一节	堆肥控制基本要素	62
第二节	通风控制	64
第三节	臭味控制	74
第四节	氮素损失与控制	81
第五节	季节影响及安全管理	84
第六节	堆肥过程监测与常见问题	85
第七章	堆肥接种与快速发酵机理	88
第一节	堆肥接种原理	88
第二节	堆肥接种的作用	89
第三节	堆肥接种剂	92
第四节	堆肥接种机理	95
第五节	堆肥菌种使用及注意事项	103
第八章	堆肥产品及使用	105
第一节	堆肥腐熟及评价指标	105
第二节	堆肥质量与标准	112
第三节	堆肥产品效果	114
第四节	堆肥产品应用	115
第九章	堆肥产品销售	129
第一节	产品市场定位	129
第二节	产品登记	134
第三节	产品包装及标签	140
第四节	产品市场销售策略	143
第十章	典型堆肥厂设计案例	146
第一节	项目背景	146
第二节	工艺说明	151
第三节	工程设计	154
第四节	成本与效益分析	158
附件	162
附件一	堆肥原料成分表	162
附件二	堆肥场温度检测记录	169
附件三	堆肥常见问题及解决办法	170
附件四	堆肥相关政策标准	172
附件五	专业术语	212
参考文献	214

第一章 绪 论

第一节 堆肥定义

堆肥是在一定条件下通过微生物的作用，使有机物不断被降解和稳定，并生产出一种适宜于土地利用的产品的过程。

堆肥一般分好氧堆肥和厌氧堆肥两种。好氧堆肥是在有氧气情况下有机物料的分解过程，其代谢产物主要是二氧化碳、水和热；厌氧堆肥是在无氧条件下有机物料的分解，厌氧分解最后的代谢产物是甲烷、二氧化碳和许多低分子量的中间产物，如有机酸等。厌氧堆肥与好氧堆肥相比较，单位质量的有机质降解产生的能量较少，而且厌氧堆肥通常容易发出臭味。由于这些原因，几乎所有的堆肥工程系统都采用好氧堆肥。

堆肥实际就是废弃物稳定化的一种形式，但它需要特殊的湿度和通气条件以产生适宜的温度。一般认为这个温度要高于 45℃，保持这种高温可以使病原菌失活，并杀死杂草种子。在合理堆肥后残留的有机物分解率较低并相对稳定，堆肥的臭味可以大大降低。堆肥还可以产生明显的干燥效果，这一点对于处理市镇和工业污泥等潮湿物料非常有用。堆肥中有机底物的降解与干燥过程同步进行能够降低后续处理的费用，从而有利于增加堆肥的再利用或处置。

目前堆肥还没有一个被广泛认同的定义。完整意义上的堆肥，是指在人工控制下，在一定的水分、C/N 比和通风条件下通过微生物的发酵作用，将废弃有机物转变为肥料的过程。通过堆肥化过程，有机物由不稳定状态转变为稳定的腐殖质物质，其堆肥产品不含病原菌，不含杂草种子，而且无臭无蝇，可以安全处理和保存，是一种良好的土壤改良剂和有机肥料。

有机堆肥施用于农田有许多好处。第一，堆肥可以作为一种有机质来源，以保持和形成土壤腐殖质，有效地改善土壤结构和持水能力。第二，堆肥可以提高商品化农业中作物的生长和活力，稳定的堆肥可以降低植物病原菌，并且提高植物对病害的抵抗力。堆肥后期有益菌群的定植能对病菌起到抑制作用。第三，堆肥含有许多有价值的营养元素，包括 N、P 和多种必要的微量元素。堆肥的养分含量与初始有机基质的质量有关。许多堆肥养分含量太低，不能被划分为肥料，它们的主要用途是作为土壤改良剂、覆盖物或与肥料调节剂一起作为有机底质。另一方面，堆肥中的养分如 N 素通常与有机物结合在一起，在植物生长期可以

缓慢地被释放出来，因此比起液体肥料来就不易淋失。

第二节 堆肥历史

有机废物堆肥有着悠久的历史，自古以来我国农村地区就普遍将秸秆、落叶、野草、动物粪便及垫圈料等堆积在一起，进行发酵制成肥料。据古书记载，我国公元六世纪就出现了“踏肥”，即厩肥的生产利用；1591年就出现了“蒸粪法”，即堆肥的积制利用方法；1633年就开始了“酿粪法”，即沤肥的积制利用方法。

但是，真正对堆肥技术进行科学的探讨则始于20世纪初。根据美国公用事业协会（APWA）报道，最早的堆肥工程工艺起于1925年的印度，当时英国的霍华德先生开始把落叶、垃圾、动物及人的粪尿在土坑内堆成约1.5m高的堆体，经过6个月2次的翻堆，即可获得腐殖质这样的产品，此法称为印多尔法（Indore）。它之所以成功是因为堆体会像预言的一样可以发热，而且不会腐败。该方法的科学性表现在基质有了配方，另外有了操作的步骤描述。

后来为了促进堆肥的好氧发酵，又提出了贝盖洛尔法（Beccari），即将固体废物和人粪肥分层交替堆积，并使翻堆由一二次改为多次翻堆（堆积4~6月）。

1932年荷兰VAM公司建立了欧洲第一个改良印多尔法的规模堆肥工厂，其工艺称为范曼奈法（Van Mannen），是将垃圾用水调节后，在室外堆积4~8月（厌氧分解），然后破碎、分选。

1933年在丹麦出现了丹诺（Dano）堆肥工艺，这是一种运用转鼓进行好氧发酵的方法，特点是发酵周期短，一般只需3~4天。

罗代尔是另一位堆肥科学的先驱。1942年，他创办了《有机庭园》杂志，并于1950年出版《堆肥全书》，在他的影响下于1960年春天创办了《堆肥科学》，并在1981年重新命名为《生物循环》。目前《生物循环》已成为堆肥工业的旗帜性杂志。

20世纪70年代以后，许多堆肥工艺不断得到完善，一些新的工艺也被开发出来，如1972~1973年间美国农业部马里兰州的农业研究中心开发的通气静态堆工艺，也称贝特斯维尔（BELTSVILLE）工艺。该工艺在美国得到了广泛应用，1990年有超过76座设备在运行。还有如垂直通风搅拌固体床托马斯（EARP-THOMAS）工艺、日本的立式多层搅拌床式工艺（即塔式工艺）、爱温森（EWESON）转鼓式反应器系统以及比尔德（Beard）筒仓工艺等。

第三节 堆肥特点

堆肥有两个主要的优点：一是可以把令人讨厌的废物转变为易于处理的物

料；二是能创造有价值的商品即堆肥产品。但是不利的方面是，堆肥往往需要时间，也面临众多风险。人们不能简单地把粪便堆在牲口棚的后面，然后打算几个星期后得到好的堆肥产品；一个成功的堆肥企业如同其他任何工程一样，需要长期积累经验。堆肥的优缺点如表 1-1 所列。

表 1-1 堆肥的优缺点

堆肥的优点	堆肥的缺点
优良的土壤调节剂	花费时间和金钱
产品可出售	加工时需要土地
改善原料操作	可能产生臭气
改善了土地利用	堆肥受天气的影响
降低污染的风险和臭味	需要市场
杀灭病原菌	原料和农作物残渣的转移
垫料(养殖场)代替品	可能损失肥料中的氮素
减轻土传病害	堆肥养分释放缓慢
可能从加工中获得收入或者补贴	作为商业企业有一定风险

一、优点

堆肥的优点主要包括土壤改良、生产可出售的产品、改善粪便处理、提高土地利用、降低污染和卫生风险、杀死病原菌、使用堆肥作垫料替代物、抑制病害以及获得处理或倾倒费。

1. 土壤改良

堆肥是一种很好的土壤改良剂。当堆肥被用于农田，可以增加有机质，改善土壤结构，减少肥料的使用量，并且可以减轻土壤的潜在侵蚀。

2. 可出售的商品

堆肥最具吸引力的特征之一就是产品有市场。潜在的消费者包括庭院种植、园林、菜农、草坪种植者以及高尔夫球场经营者等。由于被看作一种废弃产品，堆肥的价格变化很大，其价格主要由本地市场需求、堆肥质量以及原材料价格等决定。

3. 改善粪便处理

堆肥可以减轻粪便的质量、水分含量和活性，便于处理，并在没有臭气和苍蝇的问题下得到很好的贮存。由于堆肥可储藏的性质，它可以在一年中任何方便的时间被使用，从而减少农田径流和氮素损失。尽管堆肥后粪便体积大大减小，但由于添加了调理剂，堆肥体积变化也不大。

4. 改善土地利用

堆肥和粪便都有肥料价值，都是良好的土壤改良剂。通常粪便被直接撒到农田上，也能起到改善土壤质量的作用。但粪便堆肥后使用具有以下优点。

① 堆肥可以使粪便中的氮素转变为更加稳定的有机氮。尽管这样也导致了

部分氮素的损失，但剩余的部分则不容易被淋失和进一步的氨挥发。

② 高比例的垫料粪便有较高的碳氮比。当它被直接施用到土壤后，粪便中过量的碳会导致土壤中的氮暂时不能被作物所利用；相反，高碳粪便/垫料的混合物堆肥后则降低了碳氮比，更适合于土地利用。

③ 堆肥过程产生的热量可以减少粪便中杂草种子的数量。

5. 降低污染风险和臭味抱怨

在农业特别是养殖业不断规模化的过程中，养殖粪便开始成为一种负担而不是财富。特别对一些养殖企业来说，由于没有大面积土地吸纳这些粪便，动物数量远远超过了土地的承受能力，粪便的处理就成了很头疼的问题。另外，在牲畜数量过多的地区普遍都有臭气问题，也加剧了与附近居民的矛盾。

堆肥可以减轻这些问题的影响。由于堆肥产品通常有需求，因此其的出路就不再是问题。堆肥可以贮存和处理的性质允许它可以被运到比粪便和其他原料更远的地方。一个运行良好的粪便堆肥设施基本不会产生臭气和苍蝇，堆肥还可以把氮转变为不容易渗进地下水或者被径流冲走的形态。

6. 杀灭病原菌

农场产生的废弃物中很少有人类的病原菌，但后来 *Giardia*（鞭毛虫）和 *Cryptosporidium parvum*（小型隐孢菌）被报道在牲畜间爆发。这些原生动物都可导致人和动物反复腹泻，特别是免疫系统差的动物更严重。原生动物会隐匿在被感染动物的排泄物中，类似包囊物被传播，这些包囊即使在不利的环境下也可以生存。

被感染动物（家养或野生）的粪便污染了饲料或水后，会让牲畜感染上这些寄生虫。年幼的动物经常被圈在一起饲养，因而就更容易被感染，也更容易表现出临床上的症状。

当动物因为这些原生动物而产生腹泻时，它的粪便中就会含有大量的该原生动物的包囊。一些动物即使没有表现出任何症状，但也许携带了这些原生动物并把粪便留在牲口棚里。这些原生动物暴露在摄氏 60℃ 的条件下 30min 可以被杀死。堆肥过程中的温度可以达到摄氏 60℃，但堆肥靠近表层的部分可能达不到这个温度，翻堆可以使所有的原料都达到所需的温度。

有的文献建议把原生动物暴露在低于摄氏 60℃ 的条件下几天也可能杀死这些生物。但需要更多的研究来提出专门指南来减少在堆肥过程中原生动物的数量。

7. 垫料替代物

堆肥被用在家禽和牲畜的垫料上。研究和试验表明堆肥基本上是安全和有效的垫料。

8. 抑制疾病

已经发现良好的堆肥可以在不使用化学药物控制的情况下减轻植物的土传病

害。堆肥的这种抑制病害的特点已经开始被广泛地认识和认可。

9. 处置或者倾倒费用

目前许多城市污水处理厂和垃圾场均在寻找可替代的处理方法。这时对于堆肥厂来说,就有了一个机会,即通过堆肥处理非农业废弃物来收取处理费,这种为接受废物获得的费用也称为处置费。

一些市政和工业废弃物事实上可以改进堆肥的构成。大部分的粪便需要加入相对干的并且是良好碳源的物料,如落叶、锯末、树皮和刨花都是很好的这种原料;一些湿原料,如污水处理厂的污泥和食品加工中产生的废物,可以和如稻草一类的干物料混在一起堆肥。

在堆肥场地上堆制污泥、垃圾等废弃物可能要进行单独处理,并且必须考虑臭气污染问题和臭气控制措施以及更多环境法规的限制。由于原材料会决定堆肥产品的市场价值以及污染物(如重金属)的浓度,因此对堆肥产品的质量和价值影响就应给以足够考虑。

二、缺点

堆肥的缺点包括费时、臭气污染、易受天气影响、市场销售、原料分散等方面,具体描述如下。

1. 费时和成本高

像其他工程一样,堆肥也需要设备、人力和管理。如果有现成机械和设备的话,堆肥的最初投入会非常低。这种方式对原料相对小的农场很适合,但是大部分中型、大型的堆肥厂已经发现仅利用现有设备会需要太多的人力,因此应购买专门的堆肥设备。堆肥设备中少的代价需要10万元左右,好一些的则需要100万以上。

2. 占用土地

堆肥场地、原料贮存以及堆肥成品贮存都需要占用相当多的土地,有时甚至是建筑用地。

3. 臭气污染

说堆肥没有臭气是失实的。尽管堆肥过程的最终产品是没有臭味的,但是用来堆制堆肥的有些原料确实会产生臭气。直到它们被堆制前,这些活性的原材料,如粪便、污泥以及食品垃圾都能产生臭气,特别是它们被放置一段时间后。如果处理不当,也可能在堆制的过程中产生臭气。

有些场地,由于位置的关系,可能需要对臭气进行处理。这与先前的堆肥可以解决臭气问题的声明并不矛盾,对大部分原料来说,一个管理很好的堆体中产生的臭气只是一定时期的,并且时间很短。在大部分例子中,堆肥比起粪便的传统处理方法来确实改进了许多。

4. 易受天气影响

寒冷的天气会降低堆肥物料的温度，也使得堆肥过程变慢。它还可能导致其他的问题，如原料和设备结冻。雨和雪的潜在影响更加严重，大的降雨量会增加堆肥混合物的水分，因此延长了堆肥的时间。目前多数堆肥厂均有顶棚设施，有的还装备了供暖设施，这些均大大减少了天气的负面影响。

5. 市场销售

销售堆肥需要市场，这意味着要寻找潜在的客户，并对产品进行包装、广告，还要管理库存，使产品符合顾客的需要以及保持产品质量。

6. 农田粪便和作物残渣转移

堆制肥料然后作为堆肥出售，会把农田产出的养分、有机质和培肥土壤的能力转移出去，作物秸秆也可进行堆肥而不是把它还田。但若购买商品肥料来补充农田失去的养分可能不够经济。

7. 流失氮素的可能

堆制过的堆肥常常只含有新鲜粪便不到一半的氮素。一个好的粪便控制系统应保留住绝大部分的氮素，堆肥实际上就代表了氮素损失的一条潜在途径。但是，除了土壤混合和恰当的贮存，粪便中的氮素会很快释放到大气，最后可能比堆肥中的残留的氮素还要少。

8. 缓慢释放养分

堆肥中的养分主要呈复杂的有机形态，然后在植物利用之前被矿化。例如，堆肥的总氮中仅有约 15% 的氮素能在首个种植季节被利用。与原来粪便相比，堆肥最初的使用量应大一些，才能达到相同的氮肥水平。

然而，在某一年份一般不会施加足够的堆肥以满足 100% 的作物氮素需要，因为这要求要耗费大量的时间与劳力。实际上在随后的几年中，前茬提供的氮素会逐渐被作物利用掉。

第四节 堆肥前景

随着国家对环境保护治理的加强以及社会资金对该行业的关注，规模化固体废弃物的生物堆肥以及有机肥生产必将进入蓬勃发展的阶段，也预示着本领域推广前景将十分广阔。

调查表明，我国每年畜禽粪便产生量约为 19×10^8 t，实际处理率不到 10%。从全国来看，规模饲养肉蛋鸡已占到全国家禽出栏量的 48%，生猪常年存栏在 200 头以上的规模化养殖场（相当于年出栏 500 头）的饲养总量已占到总出栏量的 10%。主要养殖省份（广东、北京、浙江、上海、福建、山东）的规模化养殖比重已超过 50%，个别省份达到 90% 以上。以北京郊区为例，2003 年全市年出栏生猪 417 万头，肉鸡出栏 7828 万只，肉牛出栏 14 万头；各类畜禽粪尿年产

生量约 1.0×10^7 t。河北省藁城市是北方重要的一个养殖基地，养鸡规模在 3000 万只以上，年产各类畜禽粪便 2.0×10^6 t。

城市生活污水污泥的处理是一个世界性的难题，处置不当易造成环境二次污染。据统计全国目前共有污水处理厂约 600 座，根据污水处理过程中产生的污泥约为污水处理量的 $0.3\% \sim 0.5\%$ 计算，我国城市污水处理厂排放干污泥约 1.4×10^6 t/a，并以 $10\% \sim 20\%$ 的速度递增，未来可预测的污泥产生量至少在 1.0×10^7 t 以上，近年在南方各地由于垃圾填埋场拒收、土地紧张、周围扰民等原因，污泥的处理处置已成为十分迫切的问题。

畜禽粪便、市镇污泥等有机废弃物若不经合理处理，必将给周围环境带来严重威胁。根据国内外发展经验，有机固体废弃物的处理应以资源化利用为主导方向，主要的技术途径就是通过对这些废弃物资源进行生物堆肥处理，实现废弃物的减量化、资源化、无害化利用。

另外，从我国农业生产的发展和市场需求看，未来有机肥的发展潜力也十分广阔。随着我国农业产业结构调整 and “三绿工程” 的实施，优质、高效生态农业种植面积将逐年扩大，绿色食品、有机食品生产基地的扩大必然形成对有机肥的巨大需求。与此同时，国家对改善生态环境的巨大投入必将有效拉动林、草、花卉用肥需求的迅猛增长。

近年来我国经济的快速发展对环境形成了很大压力，相当多的河流湖泊受到污染。保护水资源已成为生存和发展的重大问题，党中央、国务院予以高度重视，下决心彻底解决。淮河、太湖流域“三废”污染治理的两个“零点行动”已取得初步成效。据了解，仅解决淮河、太湖流域的农业污染问题需要置换化肥施用量的有机肥年需求量就将超过百万吨。

我国许多农业集约化程度高的地区特别是东部蔬菜、水果等经济作物种植地区，由于长期大量使用化学肥料，土壤肥力已出现不同程度的退化，包括土壤盐分提高、土质变差、土传病害严重等，这些都要求对土壤增加优质有机肥料的投入，并实施“沃土工程”，其市场容量也是相当大的。

总体上，由于长期忽视对固体废物的管理以及技术装备等的不足，我国的堆肥产业目前仍处在一个发展初期，堆肥规模、堆肥厂的数量以及堆肥工艺水平基本停留在一个粗放式的简单加工阶段，与发达国家相比距离甚远，未来各类有机固体废弃物的处理任务将十分庞大，也预示着这一产业必将有着广阔的发展空间。

第二章 堆肥原理

第一节 堆肥基本过程

堆肥过程通常分两个阶段：一次堆肥（也叫快速或高温发酵）和二次堆肥（也叫后熟或陈化）。这两个阶段之间通常没有明确的定义和区别。

一次堆肥阶段的特点是：高氧气吸收率，高温，可降解挥发性固体（BVS）大量减少，高的臭味潜力。通常，一次堆肥阶段由于需要减少臭气，因此需要提供通气和保持对堆肥过程的良好控制。二次堆肥阶段的特点是：温度低，氧气吸收率低，臭味潜力低。相对一次堆肥来讲，二次堆肥阶段的管理和调控比较简单，然而从工程角度看，不能没有二次堆肥，因为二次堆肥阶段可继续降解那些难降解的有机物，还要克服反应速率变慢以及重建低温微生物群落，从而有助于堆肥腐熟、减少植物毒性物质和抑制病原菌。这两个阶段对一个完整的堆肥系统的设计和操作来说是缺一不可的，而且是生产腐熟堆肥所必需的。一般堆肥流程如图 2-1 所示。

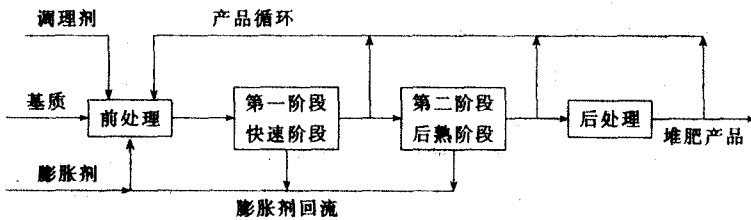


图 2-1 一般堆肥流程

一次堆肥开始之前的原料处理称为前处理，后熟阶段之后的原料处理称为后处理。前处理或后处理是否需要依赖于原料的特点和期望的产品质量。

堆肥过程一般分为升温阶段、高温阶段和降温阶段 3 个阶段。

1. 升温阶段

一般指堆肥过程的初期，在该阶段，堆体温度逐步从环境温度上升到 45℃ 左右，主导微生物以嗜温性微生物为主，包括真菌、细菌和放线菌，分解底物以糖类和淀粉类为主，期间能发现真菌的子实体，也有动物及原生动物参与分解。

2. 高温阶段

堆温升至 45℃ 以上即进入高温阶段，在这一阶段，嗜温微生物受到抑制甚

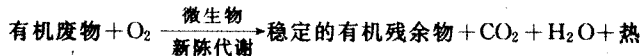
至死亡，而嗜热微生物则上升为主导微生物。堆肥中残留的和新形成的可溶性有机物质继续被氧化分解，复杂的有机物如半纤维素-纤维素和蛋白质也开始被强烈分解。微生物的活动交替出现，通常在 50℃ 左右时最活跃的是嗜热性真菌和放线菌，温度上升到 60℃ 时真菌几乎完全停止活动，仅有嗜热性细菌和放线菌活动，温度升到 70℃ 时大多数嗜热性微生物已不再适应，并大批进入休眠和死亡阶段。现代化堆肥生产的最佳温度一般为 55℃，这是因为大多数微生物在该温度范围内最活跃，最易分解有机物，而病原菌和寄生虫大多数可被杀死。

3. 降温阶段

高温阶段必然造成微生物的死亡和活动减少，自然进入低温阶段。在这一阶段，嗜温性微生物又开始占据优势，对残余较难分解的有机物做进一步的分解，但微生物活性普遍下降，堆体发热量减少，温度开始下降，有机物趋于稳定化，需氧量大大减少，堆肥进入腐熟或后熟阶段。

第二节 堆肥基本原理

好氧堆肥的基本反应过程可以表示为：



好氧条件下，堆肥物料中的可溶性有机物透过微生物的细胞壁和细胞膜为微生物吸收；固体和胶体有机物质先附着在微生物体外，由微生物分泌胞外酶将其分解为可溶性物质，再渗入细胞。好氧堆肥反应过程如图 2-2 所示。

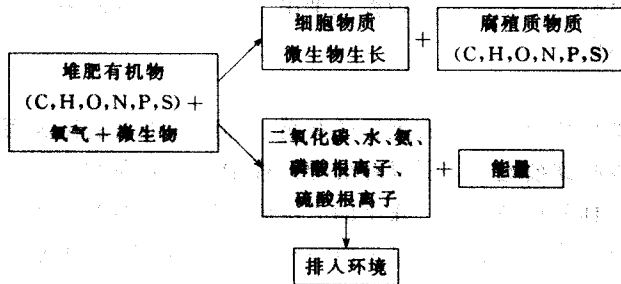


图 2-2 好氧堆肥反应过程

同时微生物通过自身的代谢活动，也使一部分有机物被氧化成简单的无机物，并释放能量，使另一部分有机物用于合成微生物自身的细胞物质，提供微生物各种生理活动所需的能量，使机体能进行正常的生长与繁殖。

堆肥中有机物的氧化与合成基本过程是有机物的氧化、细胞物质的合成及细胞物质的氧化。