

堆肥工程

DUIFEI GONGCHENG
SHIYONG SHOUC

实用手册

第二版

李 季 彭生平 主编



化学工业出版社

堆肥工程 实用手册

第二版

堆肥对于有机废弃资源的再生利用，保障城乡环境优美，推动区域经济可持续发展具有重要的理论和实践意义。

本书结合作者十多年的研究和实践经验，详细介绍了堆肥的发展及展望，堆肥原料及调节，堆肥系统及特点，堆肥厂规划与设计，堆肥过程控制，堆肥设备与维护，堆肥产品及加工，堆肥质量评价，堆肥产品使用及效果，堆肥产品登记及营销，堆肥厂案例以及堆肥厂运行管理等内容。

本书以实用为宗旨，系统性强，实例典型，有较强的技术性和参考价值，可供环境工程、市政工程、农业工程、生物工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学校相关专业师生参阅。



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

销售分类建议：环境 / 农业工程

ISBN 978-7-122-12173-8



9 787122 121738 >

定价：68.00 元

堆肥工程 实用手册

第二版

李 季 彭生平 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

堆肥工程实用手册/李季, 彭生平主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2011. 9

ISBN 978-7-122-12173-8

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 (2011) 第 174793 号

责任编辑: 刘兴春

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 陈 静

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 3/4 字数 545 千字 2011 年 11 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《堆肥工程实用手册》编写人员

主 编：李 季 彭生平

参编人员：李国学 吴德胜 李彦明 孙长征 罗 维
 张陇利 任 莉 冉文静 付 博 王定美
 杨玉宝 丛昊燃 王见月

前言

堆肥是一门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很强的工程科学。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、适合于土壤培肥及环境修复的有机类肥料产品。

传统堆肥是一种操作简单、时间漫长、自产自用的劳动实践，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，突出了人与社会、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，主要养殖省市如广东、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 30 亿吨，实际处理率尚不足 20%。一些大型养殖场畜禽粪便因无法消纳而大量堆积，在造成环境污染的同时还对养殖安全构成巨大威胁。我国目前已建成近 3000 座污水处理厂，未来污水处理厂将达到 4000 座以上，目前全国污泥产生量约 300 万吨（干），未来可预测的污泥产生量至少在 1000 万吨（干）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等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现实需求。

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生物堆肥处理，实现废弃物的减量化、无害化和资源化。

然而在开展有机固体废弃物生物堆肥生产有机肥料的过程中，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：堆肥厂如何设计建设，堆肥物料如何选择和合理配比，堆肥过程通风、臭气、养分等如何控制与管理，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，有机肥、生物有机肥和有机无机复混肥的生产应遵循哪些生产标准等，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有机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、功能有机肥以及有机无机复混肥生产、有机农业生产技术等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，尽快推动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。

本书是在国内堆肥产业发生重大变革的背景下，对 2005 年出版的《堆肥工程实用手册》的修订。作者结合十余年来各自的长期研究与实践，充分吸收自 2004 年以来共六届全国堆

目 录

第一章 ● 绪 论

1

第一节 堆肥及其特点	1
一、堆肥定义	1
二、堆肥特点	2
第二节 堆肥历史	4
一、西方堆肥历史	4
二、中国粪肥利用及早期堆肥历史	6
三、中国历史时期有机原料使用及堆肥制作方法	7
四、现代堆肥发展	9
第三节 堆肥原理	10
一、堆肥基本过程	10
二、堆肥反应基本原理	11
三、堆肥生物学原理	11
四、堆肥热力学原理	13
五、堆肥热失活原理	14
第四节 堆肥产业发展前景	16
一、国外堆肥产业发展趋势	16
二、国内堆肥产业发展趋势	18
参考文献	19

第二章 ● 堆肥原料及调节

20

第一节 原料来源及数量	20
第二节 原料特点	20
一、畜产副产品	22
二、秸秆类	23
三、厨余垃圾	24
四、食品副产品	24
五、污泥	27
六、木质废弃物	28
七、沼气发酵残渣	28
八、其他	28
第三节 堆肥初始条件及原料配比	29
一、碳氮比	29
二、水分	30
三、容重	31

一、水分	73
二、通透性	73
三、温度	74
第二节 通风控制	74
一、通风量	74
二、通风速率及控制	76
三、翻堆控制	78
第三节 臭味控制	80
一、常见臭气化合物	80
二、臭气指数	81
三、臭气浓度和释放速度	82
四、臭气处理的方法	83
第四节 氮素损失与控制	86
一、影响堆肥氮素损失的因素	87
二、氮素转变规律及影响因素	87
三、堆肥氮损失控制的方法	88
第五节 堆肥接种及注意事项	90
一、堆肥接种的作用	90
二、国内外堆肥接种的应用效果	90
三、堆肥菌种使用及注意事项	92
第六节 堆肥过程监测及常见问题	93
一、堆肥温度监测	93
二、堆肥湿度监测	93
三、堆肥气味监测	94
四、堆肥常见问题	94
参考文献	95

第六章 ● 堆肥设备与维护

97

第一节 原料预处理设备	97
一、高碳类辅料揉搓机	97
二、高碳类辅料粉碎机	98
三、卧式配料混合机	99
四、立式配料混合机	100
五、布料机	101
第二节 堆肥设备	102
一、螺旋式条垛翻抛机	102
二、链板式槽式翻抛机	104
三、桨叶式槽式翻抛机	105
四、堆肥反应器	106
五、移行机	107
第三节 粉碎、配料、混合设备	108
一、立式链锤粉碎机	108
二、电子配料秤	109
三、连续式双轴桨叶搅拌机	110
四、立式搅拌机	111

第四节 造粒、烘干、冷却设备	112
一、制粒设备	112
二、烘干设备	115
三、冷却设备	118
第五节 筛分、包装、输送设备	120
一、筛分设备	120
二、自动打包秤	123
三、输送设备	124
第六节 控制系统	128
一、传统控制系统	128
二、智能控制系统	129
第七节 加工成套设备	130
参考文献	132

第七章 ● 堆肥产品及加工

133

第一节 产品类型与技术要求	133
一、产品类型	133
二、产品技术要求	135
第二节 堆肥产品加工技术与工艺	138
一、有机肥料加工工艺	138
二、生物有机肥加工工艺	139
三、有机无机复混肥料的配方原理与加工工艺	139
四、复合微生物肥料加工工艺	141
五、育苗与栽培基质配方原理与加工工艺	142
第三节 堆肥造粒成型技术与工艺	143
一、团聚造粒法	143
二、挤压造粒与成型技术	145
参考文献	146

第八章 ● 堆肥质量评价

147

第一节 堆肥质量评价指标	147
一、堆肥腐熟度评价	148
二、堆肥其他质量要求	151
第二节 堆肥质量控制标准	151
一、有害物质安全限量标准	152
二、其他特性控制标准	154
第三节 堆肥厂化验室建设	156
一、化验室检测主要内容	156
二、化验室基本配置选择	157
三、化验室建设要求	158
四、化验室分析质量控制	158
第四节 堆肥质量评价简易方法	160
一、外观评分法	160
二、发芽试验法	160

三、滤纸层析法	161
四、塑料袋法	161
五、蚯蚓法	161
六、Solvita 测试法	162
七、Dewar 自热测试法	162
八、明胶测试法	163
九、耗氧量分析法	163
十、二氧化碳探测管法	163
参考文献	163

第九章 ● 堆肥产品田间使用及效果

165

第一节 堆肥产品特点及使用原则	165
一、堆肥产品类型及特点	165
二、堆肥产品特点	166
三、堆肥施用原则	166
第二节 不同堆肥产品田间施用技术	167
一、基肥施用	167
二、追肥施用	168
三、用作种肥	168
四、用作育苗肥	168
五、有机营养土施用	169
六、滴灌施肥	169
七、有机肥全层施肥与集中施肥	169
第三节 堆肥在粮食生产中的应用效果	170
一、堆肥原料	170
二、试验地基本情况	170
三、试验设计	170
四、结果与分析	171
五、总结	176
第四节 堆肥在蔬菜生产中的应用效果	176
一、日光温室蔬菜长期定位实验	176
二、露地蔬菜堆肥施用效果	179
第五节 堆肥在果树生产中的应用效果	182
一、有机肥葡萄肥效试验	182
二、有机肥苹果肥效试验	185
参考文献	187

第十章 ● 堆肥产品登记及营销

188

第一节 堆肥产品市场定位	188
一、堆肥产品的一般特点	188
二、堆肥与传统有机肥区别	188
三、堆肥产品市场状况	189
第二节 产品登记	191
一、肥料登记管理办法	191

二、临时登记	192
三、正式登记	193
四、续展登记	194
五、变更登记	195
第三节 产品包装及标签	195
一、肥料标识	195
二、堆肥产品包装及标签规范	197
第四节 产品市场销售策略	198
一、肥料市场网络及特点	198
二、肥料产品营销模式	198
三、堆肥产品销售常见问题及策略	199
参考文献	199

第十一章 ● 堆肥厂运行管理

200

第一节 堆肥设施的维护管理	200
一、维护管理的基本内容	200
二、工艺管理	200
三、环境管理	204
第二节 预处理工艺的管理	205
一、原材料条件	205
二、预处理工艺的管理	206
第三节 发酵工艺的管理	207
一、发酵温度管理	207
二、水分管理	207
三、通风管理	208
四、翻堆管理	208
五、发酵周期管理	208
第四节 堆肥储存管理	209
一、堆肥储存的作用	209
二、分类储存	209
三、储存条件	209
参考文献	210

第十二章 ● 典型堆肥厂案例

211

第一节 养殖场堆肥项目案例：张家口牛粪堆肥项目	211
一、项目背景	211
二、工艺说明	211
三、工程建设	212
四、效益分析	213
第二节 垃圾堆肥厂案例：以北京南宫堆肥厂为例	215
一、项目背景	215
二、工艺说明	215
三、工程建设	217
四、效益分析	219
第三节 污泥堆肥厂案例：以渭南市污泥处置中心为例	219

一、项目背景	219
二、工艺说明	220
三、工程设计	222
四、成本与效益分析	225
第四节 糖厂滤泥堆肥项目案例：广西金穗项目	226
一、项目背景	226
二、工艺说明	226
三、工程设计	228
四、效益分析	229
第五节 堆肥-沼气联合工程案例：鄂尔多斯现代农牧业园区	230
一、项目背景	230
二、工艺说明	231
三、工程设计	232
四、效益分析	236
参考文献	236
附录 1 堆肥原料成分表	237
附录 2 堆肥场记录表	247
附录 3 堆肥常见问题及解决办法	253
附录 4 中华人民共和国固体废物污染环境防治法	255
附录 5 畜禽养殖业污染物排放标准（GB 18596—2001）	261
附录 6 农用污泥中污染物控制标准（GB 4284—84）	264
附录 7 城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质（CJ 248—2007）	266
附录 8 城镇污水处理厂污泥处置农用泥质（CJ/T 309—2009）	270
附录 9 城镇垃圾农用控制标准（GB 8172—87）	274
附录 10 生活垃圾堆肥厂运行管理规范（DB 11/T 272—2005）	275
附录 11 城市环境卫生专用设备垃圾堆肥（CJ/T 19—1999）	280
附录 12 恶臭污染物排放标准（GB 14554—93）	284
附录 13 粪便无害化卫生标准（GB 7959—87）	288
附录 14 有机肥料（NY525—2002）	289
附录 15 有机-无机复混肥料（NY 481—2002）	296
附录 16 生物有机肥（NY 884—2004）	300
附录 17 复合微生物肥料（NY/T 798—2004）	302
附录 18 出口有机肥、骨粒（粉）检验规程（SN/T 1049—2002）	307
附录 19 专业术语	313

第一章

绪 论

第一节 堆肥及其特点

一、堆肥定义

目前堆肥还没有一个被广泛认同的定义。堆肥可作为一种处理工艺或方法，也可作为一种有机肥料或土壤改良剂产品。有人提出作为一种工艺可以用堆肥化来描述，堆肥只针对肥料类产品。但实际中堆肥既可在工艺中作为动词使用，也可在产品中以名词出现。

从堆肥的处理工艺区分，一般又可分为好氧堆肥和厌氧堆肥。其中好氧堆肥指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；而厌氧堆肥则是在无氧气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，单位重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。传统堆肥以厌氧堆肥为主，而现代堆肥系统则大都采用好氧堆肥。

欧盟堆肥品质检查委员会把堆肥定义为：“在通风条件下，通过自身发热分解的产物，是一类不会招致害虫、无臭气，可防止病菌繁殖的有机物”。英国堆肥协会（UKCC，现英国有机循环协会）的定义与欧盟的定义也完全一致。

美国堆肥协会（USCC）这一民间事业团体，则认为堆肥为：“有控制地通过生物分解有机废弃物后得到的产物，在分解过程中产生的热量可使原材料得到无害化和稳定化以有益于植物生长，其物理性质与初始的原材料已截然不同。堆肥是一种有机质资源，其特有的性质可以改善土壤或生长基质的化学、物理和生物性质，它虽含有植物养分，但还不是一种典型肥料”。

加拿大堆肥协会的定义是：“堆肥是一自然的生物过程，它在可控条件下把有机物转化成一种稳定的、类腐殖质的产品。堆肥过程中主要通过微生物，包括细菌和真菌把有机物分解为简单的化合物。堆肥是一好氧过程，意味着微生物需要氧气来完成其工作”。

日本于2000年修订的肥料管理法中把传统堆肥定义为：“把稻秸、稻壳、树皮、动物的排泄物及其他动植物的有机物质（污泥及鱼贝类的内脏器官除外）进行堆积或搅拌，腐熟而成的肥料”。日本有机资源协会于2003年出版的堆肥化手册则把堆肥化定义为：在堆积、搅拌、通风的好氧状态下，利用微生物分解原材料中的有机物，分解产生的热量可使水分蒸发，能杀死病原菌、寄生虫卵和杂草种子，是一安全、卫生、有机物稳定化的过程。

国内对堆肥的理解是，指在人工控制和一定的水分、C/N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。

从上述概念分析，堆肥实际就是废弃物稳定化的一种方式，但它需要特定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 55℃，保持这种高温可以使病原菌失活，并杀死杂草种子。堆肥后残留的有机物分解率较低并趋于稳定，其臭味得到明显控制。

堆肥实际上也是一种脱水工艺，而且由于其主要依赖微生物作用，不需要外部能量，因此往往具有低投入、低成本、产品增值使用等特征，受到废物处理界的欢迎。

二、堆肥特点

堆肥无论是从废物处理还是土地利用方面均有许多好处。其中最重要的有两点：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。但是堆肥往往需要时间，也面临众多风险。表 1-1 给出了堆肥的主要利弊特点，具体描述如下。

表 1-1 堆肥的利与弊

堆肥的优点	堆肥的缺点	堆肥的优点	堆肥的缺点
优良的土壤改良剂	费时耗本	可杀灭病原菌	原料及其养分的异地转移
产品可销售	加工需要场地	作为养殖垫料	可能损失肥料中的氮素
改变了原料性状	可能产生臭气	减轻土传病害	堆肥养分释放缓慢
改善了土地利用	受天气影响大	获得政府补贴	作为商业企业有一定风险
降低污染风险和臭味抱怨	需要市场销售		

（一）堆肥优点

堆肥的优点主要包括土壤改良，能生产可出售的产品，改变原料性状，改善土地利用，降低污染和卫生风险，杀死病原菌，使用堆肥作为养殖垫料，抑制病害以及获得处理或利用补贴。

1. 土壤改良

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

2. 产品可销售

堆肥最具吸引力的特征之一就是产品有市场。其潜在的消费者包括蔬菜、园林、庭院、草坪种植企业、农户以及高尔夫球场等。由于被看作一种废弃物产品，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. 改变原料性状

通过堆肥处理可以明显减轻原料的重量、水分和活性，便于后续操作，由于没有臭气和苍蝇问题它可以方便长期储存，随时使用，从而减少了原料堆放导致的径流和氮素损失。

4. 改善了土地利用

有机废弃物的相当部分还在直接或简单处理后土地利用，虽也有肥料价值，并能起到改善土壤质量的作用，但还不能与堆肥相比。废弃物堆肥后使用具有以下优点：①堆肥可以使废弃物中的氮素转变为更加稳定的有机氮，尽管其中也有部分氮素的损失，但剩余的氮素通常不容易被淋失和挥发掉；②初始废弃物碳氮比偏高或偏低，直接施用到土壤后，会导致土壤中氮不足或氮过量，影响作物生长，相反经过堆肥后碳氮比趋于合理，更适合于土地利用；③堆肥过程产生的热量可以减少废弃物中杂草种子的数量，减轻了草害的影响。

5. 降低污染风险和臭味抱怨

在城市化和农业不断规模化发展的过程中，有机废弃物开始成为一种负担而不是财富。

特别对一些农业养殖企业来说,由于没有大面积土地吸纳这些动物粪便,动物数量远远超过了土地的承受能力,使得粪便的处理就成了很头疼的问题。另外在城市垃圾及污泥的堆放场所也普遍存在臭气问题,由此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,因此其出路就不再是问题。堆肥可以储存和处理的性质允许它可以被运到比粪便或其他原料更远的地方。一个运行良好的堆肥设施基本不会产生臭气和滋生苍蝇的。

6. 杀灭病原物

近年来一些研究发现有机废弃物包括畜禽粪便中可能含有一些病原生物,如鞭毛虫(*Giardia*)和隐孢子虫(*Cryptosporidium parvum*)。这些病原生物若得不到控制,会通过被感染动物的排泄物向环境传播,以致污染饲料、饮水,进一步感染牲畜特别是年幼动物。

多数病原生物在堆肥温度达到 60°C 的条件下30min内可以被杀死。有时堆肥靠近表层的部分可能达不到这个温度,但可以通过翻堆使所有的原料都达到所需的温度。

若堆肥温度达不到 60°C ,一般认为在较低的温度如 55°C 下停留较长时间,也能杀死这些病原生物。

7. 养殖垫料替代物

从动物福利及养殖环境的改善角度认为,养殖圈舍内应铺设垫料层,一方面有利于吸附动物排泄物,减轻环境污染,另一方面也给动物提供了一舒适的地面环境。

许多研究表明,堆肥可用来替代锯末、秸秆粉等在养殖场作为垫料使用。

8. 减轻土传病害

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赞赏。

9. 获得政府补贴

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善堆肥的原料构成。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单独处理,并且必须考虑臭气问题和臭气控制措施、邻居抱怨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(比如重金属)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) 堆肥缺点

堆肥的缺点包括费时、臭气影响、天气影响、市场销售、原料分散等。

1. 费时耗本

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,但是大部分中等到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. 占用场地

堆肥处理、原料储存以及堆肥成品储存等都需要占用土地,有时甚至是建筑用地。

3. 产生臭气

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,这些有活性的原材料,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。

对臭气的敏感是必要的。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,一个管理得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. 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. 需要市场销售

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. 原材料及其养分的转移

堆制肥料然后作为产品出售出去,会把原料中的养分、有机质和培肥当地土壤的能力转移出去,意味着养分及有机质的向外转移。若再通过购买商品肥料来补充农田失去的养分显得得不偿失。

7. 氮素流失

堆制过的堆肥常常只含有新鲜粪便不到一半的氮素。一个好的废物管理系统应能保留住绝大部分的氮素,堆肥实际上就代表了控制氮素损失的一条潜在途径。但是,除了土壤混合和恰当的储存,废物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,需要在植物利用之前被矿化。比如,堆肥的总氮中仅有约15%的氮素能在首个种植季节被利用。与新鲜粪便相比,堆肥起始的使用量应大一些,才能达到与化学氮肥相同的肥效水平。

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。

9. 作为商业企业有一定风险

堆肥一旦作为一个独立企业运行,就面临众多风险。如投资过高,产品成本过高失去竞争力;设备运行不正常,产能达不到,迟迟没有收益;产品质量控制不严,使用过程中技术服务跟不上,导致用户抱怨甚至赔产等,这些均要求堆肥企业在开始就要科学规划与实施。

第二节 堆肥历史

一、西方堆肥历史

堆肥是一门古老的学科,在人类有历史记录以前可能就已开始应用,但直到20世纪50

年代才开始了堆肥的科学研究。

1950年, J. I. Rodale 在其巨著《堆肥全书》中写到:“堆肥的起源连同成千上万的其他古老的实践已经丢失在历史暗淡的阴影中, 不为人们所知。当人类首次发现粪便和来自森林的叶子对植物生长有益时, 那还只是一种推测。重要的事情是人类发现了有机质的好处, 并把这种知识传播到世界各地”。

西方对堆肥的介绍起始于1940年由英国农学家 Albert Howard 出版的《农业圣典》(An Agricultural Testament)一书, 该书介绍了 Howard 先生于1905~1934年在印度创造的堆肥技术, 就是广为人知的 Indore 方法。该方法是现代堆肥的第一个有组织的技术方案, 其实施程序是: ①在地上铺一层干草, 为堆体提供一个基础; ②一层层地建堆, 首先铺0.15m厚的“绿色物质”, 如作物废弃物或树叶, 接着铺5cm厚的粪便, 然后在上面覆盖一薄层表层土壤或石灰石(注意绿色物与粪便的体积比为3:1); ③重复铺层直至堆高达到1.5m。在3个月内每隔6周翻一次堆。

Indore 方法之所以成功是因为堆体会像预言的一样发热, 而且不会腐败。至少有两个原因使这项技术成为迈向现代堆肥系统的重要一步。首先, 它提供了基质的配方, 这比只用一种简单的基质得到的堆肥效果好, 这就意味着堆肥原料调理的重要性得到了认识。第二, 它认识到成功的堆肥一定要满足科学的操作步骤, 在原料配方和操作步骤确定下均可得到可重复的结果。据报道, 1935年, 印度和斯里兰卡的茶园用 Indore 方法一年可生产堆肥100万吨。

实际上不少西方人认为堆肥发源于东方。F. H. King 在《四千年的农民》一书中就提出, 美国在农业生产上浪费地力和物资很多, 长久下去会对美国的农业不利, 应该借鉴远东农业古国是怎样养地保土, 维护而且提高地力的优良传统做法, 使美国农田能长久保持肥力, 不致衰竭。金氏的考察重点对象是中国, 所花时间约占2/3。其考查重点项目是远东农民如何维持以及提高地力, 使之经久不衰。

由 Roger T. Haug 编写的堆肥工程实用手册在其前言中曾引用了法国作家雨果(Victor Hugo) 1862年在其巨著《悲惨世界》中的描写:“经过长期的实验, 科学现已证明人粪尿是最肥沃, 也是最有效的肥料。我们不得不惭愧地承认中国比我们早知道了这一点。中国的农民没有进城不用扁担挑回两桶粪的。由于人为的施肥, 中国的土地才保持着地力的年轻。中国的小麦产量是种子的120倍。没有哪种天然肥料可以比得上这种肥料的肥力。大城市是一个巨大的肥料库。如果利用城市来肥田, 将会取得巨大的胜利。如果的我们的黄金是粪便, 那么, 换句话说, 我们的粪便就是黄金。”

第二次世界大战以后, 西方的堆肥进入快速工业化发展阶段, 许多堆肥工艺及方法被开发出来并进入产业, 如贝盖洛尔(Beccari)工艺、范曼奈(van Mannen)工艺、丹诺(Dano)工艺、贝特斯维勒(BELTSVILLE)工艺、爱温森(EWESON)转鼓式反应器工艺以及比尔德(Beard)筒仓工艺等。西方由此进入一个工业化的堆肥发展时期。

其中贝盖洛尔法(Beccari)为了促进堆肥的好氧发酵, 提出将固体废物和人粪肥分层交替堆积, 并使翻堆由1~2次改为多次翻堆(堆积4~6个月)。

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。

二、中国粪肥利用及早期堆肥历史

我国祖先为农田施肥大约始于殷商时代，相传伊尹创造区田法，“教民粪种”；并有施肥可以增产的卜辞。

确切的文献记载，春秋战国、秦汉时期已经使用畜粪和农业废弃物作肥料。孟子（约公元前 372—公元前 289）说：“耕者之所获，一夫百亩，百亩之粪，上农夫食九人。”（《孟子·万章下》），是说一人耕种一百亩地，全部施肥，所产粮食能养活九口人。

图 1-1 为古代“粪”字的演变。甲骨文及小篆体汉字“粪”的含义即双手拿着簸箕倒掉或撮取什么东西，或把粪储存起来，反映出粪肥远在秦以前即开始得到广泛利用。



图 1-1 古代“粪”字的演变

近年来学术界对老子在道德经中的“天下有道，却走马以粪；天下无道，戎马生于郊”

展开讨论（图 1-2）。其基本含义应是“天下太平时，养马是为了肥田；而天下战乱时，养马则是为了征战”，也反映出公元前 475~公元前 221 年即道德经成书时期，人们已认识到利用动物粪便肥田，并发展农业生产、休养生息的道理。

《吕氏春秋·任地篇》提出：“地可使肥，又可使棘。”指明了土壤肥力可以改变的客观规律。在社会大变革时期的春秋战国时期，群雄蜂起，互相争霸，各诸侯国为立足图存，竞相发展经济，尤其重视农业生产。战国末期思想家荀况曾说：“树落为粪本”（《荀子·致士篇》），“掩田表亩，刺草殖谷，多粪肥田，是农夫众庶之事也”（《荀子·富国篇》）。荀况的学生韩非也说：“积力于田畴，必且粪灌”（《韩非子·解老篇》）。成



图 1-2 老子道德经有关粪的记载

书于战国时代的《周礼》所提“土化之法”，就是主张利用肥料改造土壤，把瘦地变为沃土，其中所提“粪种”，是利用各种牲畜粪来提高土壤肥力，如“騂刚用牛，赤缙用羊”，就是说“騂刚”（赤刚土）用牛粪，“赤缙”（赤黄土）用羊粪等，开创了因土施肥的先河。

陕西脂县官庄村出土的拾粪画像石（图 1-3）证明早在汉代先民即有利用动物粪便进行农业生产的习惯。

西汉时《汜胜之书》开宗明义提出：“凡耕之本，在于趋时，和土，务粪泽，早锄早获。”并提出“区田以粪气为美，非必须良田也”。

北魏著名农学家贾思勰在《齐民要术》提到：“凡人家秋收后，场上所有穰、谷稭等，并须收贮一处。每日布牛脚下，三寸厚；经宿，牛以蹂践便溺成粪，平旦收聚，除置院内堆



图 1-3 汉代画像石有关拾粪的记载

积之。每日俱如前法，至春可得粪三十余车。至十二月、正月之间，即载粪粪地”。这是目前看到的有关传统堆肥（厌氧）的最早记录。

宋元时期农田施肥蓬勃发展，尤其南宋出现了家家积肥的局面，据南宋程泌《洺水集》记载：“每见衢、婺之人，收蓄粪壤，家家山积，市井之间，扫拾无遗。故土膏肥美，稻根耐旱，米粒精美。”由于当时粪肥需要量极大，积肥的人日益增多，促使粪肥转化为商品，还出现了专门经营粪肥的专业户，南宋吴自牧在《梦粱录》中就有这样的记载：京师杭州的积肥专业户，走街串巷收集各家的粪便，然后车装船载，来往穿梭于水陆交通之中。

《陈敷农书》善其根苗篇（公元 1149 年）则描述了好氧堆肥的过程及特点，是我国最早对堆肥的科学记载：“于始春又再耕耙转，以粪壅之，若用麻枯尤善。但麻枯难使，须细杵碎，和火粪窖罨，如作曲样；候其发热，生鼠毛，即摊开中间热者置四旁，收敛四旁冷者置中间，又堆窖罨；如此三四次，直待不发热，乃可用，不然即烧杀物矣。”

该段文字特别提到了好氧堆肥中的两个科学点：一是堆肥的配料问题，只有把麻枯和火粪堆积发酵才能产热，显然这种配料的发明具有重要的微生物发酵意义；二是提出了堆肥物料一旦发热后要进行翻堆，起到调节温度、混合物料、均匀发酵的作用，这也是现代堆肥必须遵循的基本科学原则。这说明宋代的农民对堆肥的科学操作远早于目前西方的记载。

三、中国历史时期有机原料使用及堆肥制作方法

（一）不同历史时期对有机原料的使用

中国不同历史时期对有机原料的农业利用经历了一个逐渐认识发展的过程。不同阶段的主要农学著作对此均有详细的记录。

（1）西汉及以前 西汉及以前使用的“粪”主要是动物骨汁、雪汁、粪肥及部分中药。

（2）北魏时期 《齐民要术》中提到的堆肥原料包括植物残秆、果实、动物骨骼、家畜或动物的粪便（牛粪、羊粪、鹿粪、猪粪、狗粪等）、大麻等。其中还有一样，是比较特殊的——陈墙土。

（3）南宋时期 这个时期的肥料在种类和数量上有了显著的增加。新出现的肥料有河泥、麻枯（即芝麻饼）以及无机肥料石灰、石膏、食盐、硫黄等。另有大粪（即人粪）、牛粪、马粪、石灰（可使土变暖，有益发苗）等。

(4) 元朝时期 《王祯农书》中提到的肥源有苗粪、草粪、火粪、大粪、小便、泥粪、旧墙土、草木灰、糠粃、谷壳、腐草、败叶、泔水、马蹄羊角灰、沃鱼水、沟泥水、淘米水、禽兽毛羽等，比以前农书中得到的肥源大为增加了。

(5) 明清时期 明代袁黄的《宝坻劝农书》记述了苗粪、草粪、火粪、毛粪、灰粪、泥粪等，并指出“泥粪为上”。

苗粪按《齐民要术》云：“美田之法，绿豆为上，小豆、胡麻次之，皆五六月下种，七八月犁，掩杀之，为春谷田，则亩收十石，其美与蚕矢、熟粪同。”

草粪《礼》云：“仲夏之月，利以杀草，可以粪田畴，可以美土疆”。农书谓，草木茂盛时芟倒地内掩烂则肥田。江南三月，草则刈以蹈稻田，岁岁如此，地力常盛。凡治田者，腐蘖、败叶、枯枝、朽根皆至宝也。

火粪：积上草木，叠而烧之，碾细听用。江南每削带泥草根，成堆而焚之，极暖田。

毛粪：禽兽退下毛羽，亲肌之物最为肥泽，积之为粪，胜于草木，以水浸烂连汁用之尤妙。

灰粪：灶中之灰，南方皆用壅田，又下曰水冷，亦有用石灰为粪，使土暖而苗易发。

泥粪：江南之家，河港内乘船，以竹为筏，夹取青泥，锨拨岸上，凝定裁成块子，担开用之。北方河内泥多，取之尤便，或和粪内用，或和草皆妙。他粪或有害田者，唯泥粪最中和而有益，故为第一也。

明末著名科学家徐光启在《粪壅规则》中记录的数据显示，当时还出现了用乌柏、油麻、豆渣、糖渣、酒糟、豆屑等制造的饼肥。饼肥在宋元时主要为麻饼和豆饼，明清时期已有菜籽饼、大眼桐饼、乌柏饼、芝麻饼、棉籽饼、楂饼、猪干豆饼等。

另有“粪丹”，是一种综合性的肥料，其中包括多种动植物及各种物质，如麻渣、豆饼、鸟粪、鸡鸭粪、鸟类羽毛以及无机肥料砒霜等，约三五石在一起拌和，实际上是一种高浓度的有机复合肥料。

(6) 清末至中国开放之前 适合于堆肥的原料在这一时期达到前所未有的全面，几乎农村的所有有机废弃物均得到了充分利用，主要类别包括以下几种。

① 粪尿类：包括人粪尿、家畜粪尿、禽粪、海鸟粪、蚕沙等。

② 饼肥类：包括各种饼肥和糟渣肥。

③ 海肥类：有动物性海肥、植物性海肥、矿物性海肥。

④ 绿肥类：有冬季绿肥、夏季绿肥、水生绿肥、多年生绿肥、野生绿肥。

⑤ 草炭类：有草炭、褐煤、腐殖酸肥料。

⑥ 杂肥类：有熏土、炕土、硝土、垃圾、烟筒灰、肥泥、草木灰、屠宰场废弃物等。

(二) 历史时期堆肥制作方法

而涉及历史时期各种有机原料的利用方式，明代《宝坻劝农书》给出了六种堆肥方法的介绍。

(1) 踏粪法 “南方农家凡养牛羊豕属，每日出灰于栏中，使之践踏。有烂草腐柴，皆拾而投之足下，粪多而栏满，则出而叠成堆矣。北方猪、羊皆散放，弃粪不收，殊为可惜。然所有穰谷稭等，并须收贮一处。每日布牛之脚下三寸厚，经宿，牛以蹂践便溺成粪。平旦收聚，除置院内堆积之。每日如前法，得粪亦多。”

(2) 窖粪法 “南方皆积粪于窖，爱惜如金，北方唯不收粪，故街道不净，地气多秽，井水多盐。使人清气日微，而浊气日盛。须当照江南之例，各家皆置坑侧，滥则出而窖之，家中不能立窖者，田首亦可置窖，拾乱砖砌之，藏粪于中。窖熟而后用，甚美。”这个方法主要是在南方用得比较多。

(3) 蒸粪法 “农居空闲之地，宜诛茅为粪屋，檐务低，使遮风雨，凡扫除之土，或烧燃之灰，箕扬之糠秕，断蒿落叶，皆积其中。随即栓盖，使气熏蒸糜烂。冬月地下气暖，则为深潭，夏月不必也。”

(4) 酿粪法 “于厨栈下深凿一池，细甃使不渗漏，每舂米，则聚砉簸谷及腐草败叶，沤渍其中，以收涤器肥水，沤久自然腐烂。”

(5) 煨粪法 “干粪积成堆，以草火煨之。”

(6) 煮粪法 郑司农云：“用牛粪，即用牛骨浸而煮之，”其说具“区田”中。

这些历史记录也反映出我国古代为了保持土壤肥力、提高农业生产力以及满足人口的食物需要，在有机废物的循环利用方面做出了令现代人叹为观止的成就，其利用范围和利用程度远超出当代。反过来我们才开始了处理这些废物和治理环境的艰辛历程。

四、现代堆肥发展

现代堆肥技术在我国的发展起始于 20 世纪 50 年代。大致可分为以下 3 个阶段。

(1) 初始阶段 (20 世纪 50~60 年代) 初始阶段的堆肥工艺技术较为简单，是在农村传统堆肥技术基础上发展起来的，工艺只包含一次发酵。较早建立有代表性的，具有一次性发酵工艺特点的堆肥厂是天津河西区堆肥厂。这一时期的堆置方式多为露天堆垛，采用表面耕层土覆盖保温，自然通风供氧，没有专用的机械设备，也很少进行堆体维护管理，不考虑堆肥物料配比和堆肥条件，多为厌氧或者兼氧堆肥；堆肥产品主要用于农田、果园或苗圃。

(2) 发展研究阶段 (20 世纪 70~80 年代) 这一阶段是我国堆肥工艺技术快速发展期。20 世纪 70~80 年代，中国城市垃圾问题日益突出、土地资源日益紧张，焚烧垃圾又带来更为严重的二次污染问题，因此堆肥化处理各种有机废弃物成为研究的热点。堆肥专用设备得到大量引进与开发，涌现出大量新工艺、新技术，堆肥机理也得到了深入研究。这一阶段主要采用二次发酵工艺。早期为“静态发酵工艺”，由北京市环境卫生科学研究所进行小试，以后由同济大学、无锡市环卫处共同承担建设部“七五”科研项目建成的处理规模 100t/d 的无锡环境卫生工程试验厂，该厂为典型的静态发酵工艺。1987 年，我国开始了动态堆肥的研究。北京董村建立了处理规模 100t/d 的间歇式翻堆工艺的堆肥厂，杭州市环境卫生科学研究所建立了规模 10t/d 的采用间歇式出料动态工艺的试验装置。城市建设研究院在海口市建立了 50t/d 规模的达诺连续动态发酵装置。在堆肥机理方面，陈世和等 (1994) 对堆肥的全过程及其微生物类群进行了研究，为工程中堆肥极限温度的控制和通风量等提供了可靠理论依据。张所明等 (1988) 通过对堆肥过程控制指标的综合研究，提出耗氧速率是一个合理可行，易于工程上应用的堆肥腐熟度指标。张永豪 (1994) 通过消化脱水污泥堆肥小试，建立了通气量与消化污泥堆肥平均反应速率的函数关系式，可用于消化污泥堆肥工厂的工艺设计。

(3) 推广应用阶段 (20 世纪 90 年代至今) 20 世纪 90 年代开始，国内已掌握了堆肥基本技术，主要堆肥工艺趋向成熟，具备了产业化发展的条件。1990 年中国市政工程华北设计院进行了污泥与城市垃圾混合堆肥的中试。1997 年北京市环境保护科学研究院设计、研制了污泥动态发酵器，该装置效率高、能耗低，便于操作管理和设备自动化。中国农机院畜禽机械所于 1999 年开发出国内最早的槽式翻堆机，并与中国农业大学在山西建立了处理量 60t/d 的污泥堆肥示范工程。中国农业大学于 2002 年开发出用于堆肥的复合微生物接种剂，并在众多堆肥厂得到应用。

总体来讲，中国堆肥技术及工艺仍远落后于许多欧美日等发达国家，应该根据我国的国情和生产实践，不断加强堆肥有关技术的研究推广，发展适合我国经济和社会发展水平的堆

肥工艺及堆肥产业。

第三节 堆肥原理

一、堆肥基本过程

堆肥过程通常分两个阶段，即一次堆肥（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界限和区分（图 1-4）。

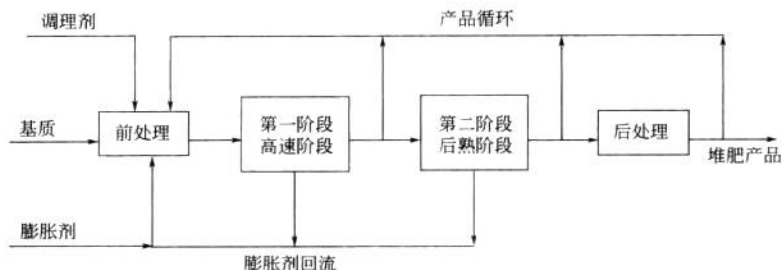


图 1-4 一般堆肥流程

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，因此需要提供通风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 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，包括细菌、真菌和放线菌，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。

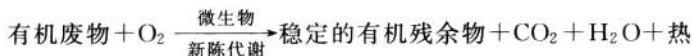
（2）高温阶段 堆温升至 45℃ 以上即进入高温阶段，在这一阶段，嗜温微生物受到抑制甚至死亡，而嗜热微生物则上升为主导微生物。堆肥中残留的和新形成的可溶性有机物质继续被氧化分解，复杂的有机物如半纤维素-纤维素和蛋白质也开始被强烈分解。微生物的活动交替出现，通常在 50℃ 左右时最活跃的是嗜热性真菌和放线菌，温度上升到 60℃ 时真菌几乎完全停止活动，仅有嗜热性细菌和放线菌活动，温度升到 70℃ 时大多数嗜热性微生物已不再适应，并大批进入休眠和死亡阶段。现代化堆肥生产的最佳温度一般为 55℃，这是因为大多数微生物在该温度范围内最活跃，最易分解有机物，而病原菌和寄生虫大多数可被杀死。

（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作进一步的分解，但微生物

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。

二、堆肥反应基本原理

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。

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。好氧堆肥反应过程如图 1-5 所示。

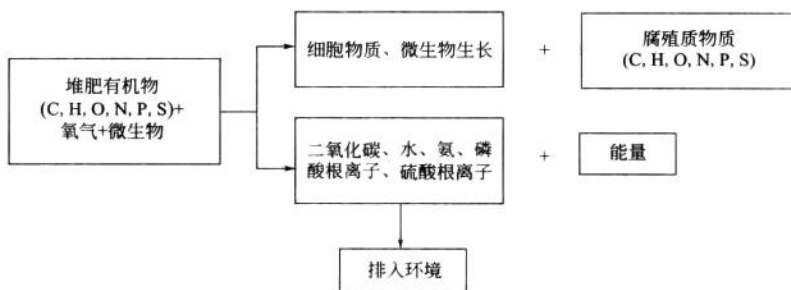
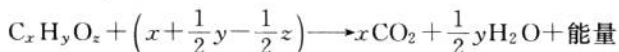


图 1-5 好氧堆肥反应过程

堆肥中有机物的氧化与合成基本过程如下。

(1) 有机物的氧化

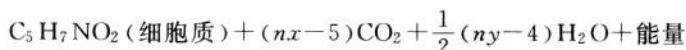
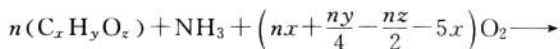
不含氮的有机物 ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$) 的氧化:



含氮有机物 ($\text{C}_s\text{H}_t\text{N}_u\text{O}_v \cdot a\text{H}_2\text{O}$) 的氧化:



(2) 细胞物质的合成 包括有机物的氧化,并以 NH_3 作为氮源。



(3) 细胞物质的氧化



三、堆肥生物学原理

(一) 堆肥微生物种类

堆肥过程有许多不同种类的微生物参与。由于原料和条件的变化,各种微生物的数量也在不断发生变化,所以堆肥过程中没有任何微生物是始终占据主导地位的。每一个环境都有

其特定的微生物种群，微生物的多样性使得堆肥在外部条件出现变化的情形下仍可避免系统崩溃。

参与堆肥过程的主要微生物种类是细菌、放线菌以及真菌。这三种微生物都有中温菌和高温菌。

1. 细菌

在好氧堆肥系统中，存在着大量的细菌。细菌凭借大的比表面积，可以快速将可溶性底物吸收到细胞中。所以在堆肥过程中，细菌在数量上通常要比体积更大的微生物（如真菌）多得多。在不同的堆肥环境中分离的细菌在分类学上具有多样性，其中包括假单胞菌属（*Pseudomonas*）、克雷伯菌属（*Klebsiella*）以及芽孢杆菌属（*Bacillus*）的细菌。

一些细菌，例如芽孢杆菌，能够生成很厚的孢子壁以抵抗高温、辐射和化学腐蚀。因此芽孢杆菌属（*Bacillus*）的一些种，例如枯草芽孢杆菌（*B. subtilis*）、地衣芽孢杆菌（*B. licheniformis*）和环状芽孢杆菌（*B. circulans*）成为堆肥高温阶段中的代表性细菌或优势菌。嗜温细菌是堆肥系统中最主要的微生物，研究表明，在堆肥过程的初始阶段，嗜温细菌最为活跃，其数量为 $8.5 \times 10^8 \sim 5.8 \times 10^9$ 个/g 干物料，随着堆温达到最大值，其种群数量达到最低；在降温阶段，嗜温细菌的数量又有所回升。

2. 放线菌

放线菌是具有多细胞菌丝的细菌，因此它更像是真菌。放线菌可以分解纤维素，并溶解木质素。同时，它们比真菌能够忍受更高的温度和 pH 值。所以，尽管放线菌降解纤维素和木质素的能力并没有真菌强，但是它们在堆肥过程中的高温期却是分解木质纤维素的优势菌群。在条件恶劣的情况下，放线菌则以孢子的形式存活。研究表明，诺卡菌（*Nocardia*）、链霉菌（*Streptomyces*）、高温放线菌（*Thermoactinomyces*）和单孢子菌（*Micromonospora*）等都是在堆肥中占优势的嗜热性放线菌，它们不仅出现在堆肥过程中的高温阶段，同样也在降温阶段和熟化阶段出现。

3. 真菌

真菌，尤其是白腐真菌可以利用堆肥底物中所有的木质纤维素，由此，真菌的存在对于堆肥的腐熟和稳定具有重要的意义。嗜温性真菌地霉菌（*Geotrichum* sp）和嗜热性真菌烟曲霉（*Aspergillus fumigatus*）是堆肥物料中的优势种群，其他一些真菌，如担子菌（*Basidiomycotina*）、子囊菌（*Ascomycotia*）、橙色嗜热子囊菌（*Thermoascus aurantiacus*）也具有较强的分解木质纤维素的能力。但随着温度的升高，真菌的菌数开始减少，在 64°C 时，几乎所有的嗜热性真菌全部消失。当温度下降到 60°C 以下时，嗜温性真菌和嗜热性真菌又都会重新出现在堆肥中。研究显示，温度是影响真菌生长的最重要因素之一，绝大部分的真菌是嗜温性菌，可以在 $5 \sim 37^\circ\text{C}$ 的环境中生存，其最适温度为 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 。但是，在堆肥过程中，由于高温时间持续较短，在增强真菌降解能力的同时却不足以将其致死。

病原体是对人体、动物或者植物有害的生物。动物的粪便、植物秸秆以及庭院废弃物中都能发现病原体，城市污泥也含有人体病原微生物。高温堆肥能大量减少植物和动物病原体的数量。

在整个堆肥微生物群落中，细菌占主导地位，真菌、放线菌也有较多的数量，研究表明，每克堆肥中细菌数约为 $10^8 \sim 10^9$ ，放线菌数为 $10^5 \sim 10^8$ 、真菌数为 $10^4 \sim 10^6$ ，藻类数目 $< 10^4$ 。细菌是中温阶段的主要作用菌群，对发酵升温起主要作用；放线菌是高温阶段的主要作用菌群；芽孢杆菌、链霉菌、小多孢菌和高温放线菌是堆肥过程中的优势种。堆肥过程中微生物种类和数目如表 1-2 所列。

表 1-2 堆肥微生物群体数量单位

单位: MPN/g 湿重

微 生 物	温 度	
	$T < 40^{\circ}\text{C}$	$40^{\circ}\text{C} < T < 70^{\circ}\text{C}$
嗜温细菌	10^8	10^6
嗜热细菌	10^4	10^9
嗜热放线菌	10^4	10^8
嗜温真菌	10^5	10^3
嗜热真菌	10^6	10^7

资料来源: Haug, 1993。

总之,堆肥过程主要靠微生物的作用进行,微生物是堆肥发酵的主体。参与堆肥的微生物有两个来源:一是有机废物里面原有的大量微生物;二是人工加入的微生物接种剂,这些菌种在一定条件下对某些有机废物具有较强的分解能力,具有活性强、繁殖快、分解有机物迅速等特点,能加速堆肥反应的进程,缩短堆肥反应的时间。

(二) 堆肥过程微生物演替规律

堆肥过程中微生物的种群随温度的变化发生如下的交替变化:低、中温菌群为主转变为中、高温菌群为主,中、高温菌群为主转变为中、低温菌群。随着堆肥时间的延长,细菌逐渐减少,放线菌逐渐增多,霉菌和酵母菌在堆肥的末期显著减少。研究发现:堆肥温度在 50°C 时,高温真菌、细菌和放线菌非常活跃; 65°C 时,真菌极少,细菌和放线菌占优势; 75°C 时仅有产孢细菌是唯一存活的微生物。

在高温堆肥中,微生物的活动主要分为三个时期:糖分解期、纤维素分解期、木质素分解期。堆制初期主要是氨化细菌、糖分解菌等无芽孢细菌为主,对粗有机质、糖分等水溶性有机物以及蛋白质类进行分解,称为“糖分解期”。当堆内温度升高到 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的高温阶段,高温性纤维素分解菌占优势,除继续分解易分解的有机物质外,主要分解半纤维素、纤维素等复杂有机物,同时也开始了腐殖化过程,这一阶段称为“纤维素分解期”。当堆肥温度降至 50°C 以下时,高温分解菌的活动受到抑制,中温性微生物显著增加,主要分解残留下来的纤维素、半纤维素、木质素等物质,称为“木质素分解期”。

堆肥既然是微生物作用的过程,如何通过各种手段满足微生物的生长需要就成为堆肥工程的核心。堆肥实际工作者应了解这些基本的微生物作用特点,为合理的物料配比、过程控制以及保障产品质量奠定良好的生物学理论基础。

四、堆肥热力学原理

热力学是一个涉及能量和其转化的学科,其原理也广泛用于堆肥系统的分析。

热力学第一定律为能量守恒定律,即能量既不会凭空产生也不会消失。因此,可以认为能量进入一个系统后只有两条出路:一是储存起来;二是流出此系统。堆肥工艺中的主要能量输入是堆肥基质的有机分子,当这些分子被微生物分解时,能量可转化为微生物机体或以热释放到周围环境中。由此可见,有机物分解产生的能量推动了堆肥化进程,使温度升高,同时还可干燥湿基质。实际上也正好可以使微生物继续获得能量对周围有机质进行分解。

热力学第二定律则提出了热量的散失方向,即对于所有独立系统来讲,其熵的变化总是向着无序增加的状态进行。堆肥过程中始终伴随着热量的散失,热量一旦损失,就不可逆转,必须靠微生物进一步利用有机碳源来获得能量。

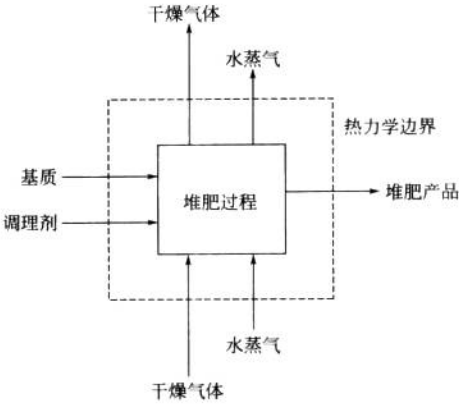


图 1-6 堆肥中的热力学边界和主要的输入输出过程

堆肥热力学过程简图（图 1-6）描述了系统的主要输入输出过程。主要输入有基质、其他调理剂、空气及其携带的水蒸气；主要输出是堆肥产品、排出的干燥气体和水蒸气。图1-6分析了与这些物质相关的热量输入和输出，虽然散发到环境中的热损失没有计在内，但通常是热输出的一小部分；堆肥回料和膨胀剂回料没在图中标出，这些物料的流动属于系统边界的内部因素，它们对系统内的平衡是重要的，但不影响整个系统热平衡。

有机物分解产生的热量使堆肥混合物中的水、气和固体基质温度升高，也驱动了水分随气体排出而蒸发。由于堆垛温度比周围环境温度要高，热量会从暴露于空气的堆体表面散

失。堆垛的隔离效应一定程度上可限制热传导，并减少了热损失。条垛或堆体在机械搅拌下也会产生热量损失。

五、堆肥热失活原理

许多堆肥用的基质携带人类、动植物的病原体，以及令人讨厌的生物如杂草种子，来源于城市污水处理后的污泥，就是典型的携带病原体的基质。在堆肥过程中，通过短时间的持续升温，可以有效地控制这些生物的生长。因此，高温堆肥的一个主要优势就是能够使人 and 动植物病原体以及种子失活。

细胞的死亡很大程度上基于酶的热失活。在适宜的温度下，酶的失活是可逆的，但在高温下是不可逆的。热力学的观点表明，在一个很小的温度范围内酶的活性部分将迅速降低。如果没有酶的作用，细胞就会失去功能，然后死亡。只有少数几种酶能够经受住长时间的高温。因此，微生物对热失活非常敏感。

研究表明，在一定的温度下加热一段时间可以破坏病原体或者是令人讨厌的生物体。通常在 60~70℃（湿热）的温度下，加热 5~10min，可以破坏非芽孢细菌和芽孢细菌的非休眠体的活性。在表 1-3 中，资料表明，利用加热灭菌，在 70℃ 条件下加热 30min 可以消灭污泥中的病原体。但在较低的温度下（50~60℃），一些病原菌的灭活则长达 60 天（表 1-4），因此堆肥过程中保持 60℃ 以上温度一段时间是必须的。

表 1-3 污水污泥中消灭病原体所用的时间和温度

微生物	灭菌时间/min				
	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃
内阿米巴属	5				
蛔虫卵	60	7			
布鲁菌		60		3	
棒状杆菌		45			4
沙门菌			30		4
埃希菌属大肠菌			60		5
微球菌					20
肺结核分支杆菌					20
病毒					25

表 1-4 几种常见病菌与寄生虫的死亡温度

名 称	死亡情况	名 称	死亡情况
沙门伤寒菌	46℃以上不生长;55~60℃,30min 内死亡	血吸虫卵	53℃,1 天死亡
沙门菌属	56℃,1h 内死亡;60℃,15~20 分钟死亡	蝇蛆	51~56℃,1 天死亡
志贺杆菌	55℃,1h 内死亡	霍乱产弧菌	65℃,30 天死亡
大肠杆菌	绝大部分,55℃,1h 死亡;60℃,15~20min 死亡	炭疽杆菌	50~55℃,60 天死亡
阿米巴虫	50℃,3 天死亡;71℃,50min 内死亡	布氏杆菌	55℃,60 天死亡
美洲钩虫	45℃,50min 内死亡	猪丹毒杆菌	50℃,15 天死亡
流产布鲁菌	61℃,3min 内死亡	猪瘟病毒	50~60℃,30 天死亡
酿脓链球菌	54℃,10min 内死亡	口蹄疫病毒	60℃,30 天死亡
化脓性细菌	50℃,10min 内死亡	小麦黑穗病菌	54℃,10 天死亡
结核分枝杆菌	66℃,15~20℃min 内死亡;67℃,死亡	稻热病菌	51~52℃,10 天死亡
牛结核杆菌	55℃,45min 内死亡	麦蛾卵	60℃,5 天死亡
蛔虫卵	55~60℃,5~10 天死亡	二化螟卵	55℃,3 天死亡
钩虫卵	50℃,3 天死亡	小豆象虫	60℃,4 天死亡
鞭虫卵	45℃,60 天死亡	绕虫卵	50℃,1 天死亡

表 1-4 中的数据也表明,热失活效应与时间和温度有关。短时间的高温和长时间的低温具有相同的热失活效果。

Yanko 等研究了污水污泥堆肥过程中病毒的动态。他们得出结论,有效的堆肥可以使病毒的密度减少到检测临界值(约 0.25CFU/g ds)以下,在堆肥过程中,温度可能是影响病毒失活的主要因素。关键在于要不断保证有效的堆肥条件并使所有的堆肥物质达到热失活温度。如果堆肥物质达不到足够高的温度,病毒可以在肥堆中存活 25 天。如果堆肥的最高温度低于 50℃,粪大肠菌在肥堆中的密度也会很高。

Farrell 认为 53℃或者更高的温度保持充足的时间可以有效地消除病原体细菌、肠病毒和蛔虫卵。

Hay 和 Kuchenrither 将露天条垛堆放的消化污泥肥料与土壤改良剂混合,研究了其中总大肠菌的密度,经过两步条垛堆肥过程,总大肠菌的密度减少到 10MPN/g 固体,或者更少。在条垛堆肥系统优化之前,冬季的杀菌效果通常低于夏季。例如,在 8 月份,堆肥内部的温度和加热时间平均是 66℃和 33 天,大约 85%的条垛堆肥的大肠菌数低于 1MPN/g。2 月份,堆肥内部的温度和加热时间平均是 59℃和 50 天,但是没有一条垛堆肥的大肠菌数低于 1MPN/g。

Strauch 分析了欧洲几个堆肥反应器中的肥料,包括 Weiss/Kneer 生物反应器,BAV 反应器和 Schnorr 反应器,均使用污泥、锯屑、树皮和回收产品等混合物在反应器中进行堆肥,然后进行回收。假定在达到失活温度时,反应器中的沙门菌、病毒和蛔虫卵很容易被杀死。但当工艺的温度仅在 49~53℃这种情况下,沙门菌仍能生存。

从以上的讨论中,可以得出以下几个结论。①堆肥可以完全破坏专性寄生的病原体,也可以把指示细菌和非专性寄生细菌病原体减少到很低的水平。②维持多种微生物的种群可以抑制非专性寄生细菌病原体的再生。如果堆肥的温度接近周围的温度,微生物种群就会增加。③所有的物质应该暴露在失活的时间/温度条件下,这一点很重要。保证所有的物质都能在失活的条件下,可以获得高概率的病原体破坏。④为了保证病原体在统计学上的高破坏概率,要进行质量控制。⑤全程监控堆肥系统或者应用堆肥反应器都可以使病原体的破坏概率提高,尤其适用于低温和潮湿的地区。

第四节 堆肥产业发展前景

一、国外堆肥产业发展趋势

堆肥已成为世界范围内处理有机固体废弃物的一种普遍工艺。据报道,美国 1997 年共有 8500 余座堆肥设施,其中 15 座用于处理市镇混合垃圾,250 座处理城市污泥,138 座处理食品垃圾,3316 座处理园林垃圾,5700 余座处理农场废弃物。到 2009 年,美国每年产生养殖粪便 6600 万吨(干),污泥 700 万吨(干)和 5500 万吨(湿)有机垃圾;一般估计美国仍有 4500~5000 座堆肥设施,而且总的趋势是随着填埋场对有机物的限制以及食品垃圾等有机物处理的兴起,堆肥产业呈现持续发展态势。

2006 年美国生活垃圾产生量为 2.28 亿吨,折合人均 2.09kg/天。其中 59.3% 为有机垃圾。目前 32.6% 回收利用(24.3% 回收,8.3% 堆肥),12.5% 焚烧和 5% 填埋。总的方向是减少填埋比例,增加回收及有效利用。2004 年美国污泥(干)产生量为 6500 万吨,折合人均 60.9g/天或相当于 1.22kg 湿污泥(95% 含水量)/天,其中 49% 得到了有效利用,包括 74% 农业利用,1% 林业利用,3% 土地改良,22% 堆肥及作为有机肥,另外 51% 用于填埋、焚烧等。污泥土地直接利用成本仅为堆肥的一半左右,但受到病原菌、气体排放和水污染等影响。污泥堆肥一直受到臭气、氨、运行成本高的挑战,需要探讨新的方法。目前污泥脱水技术的提高使得污泥含水量降低到 70%~78%,大大减少了添加调理剂的数量和成本。厌氧发酵由于在土地利用前还可生产沼气近来受到关注。

农业废弃物包括作物秸秆和动物粪便,一般堆肥较简单,且成本较低。动物粪便由于水分含量高,通常需要进行调节。NEW ERA 农场的堆肥设施,已有 30 年历史,年生产 7~9 万吨堆肥,其原料来自 SAN JOAQUIN 山谷方圆 60 英里的 10 个大型养牛场。采用条垛堆肥,堆肥时间 90~120 天。产品销售到周围 400 个种植基地约 40 万公顷土地上,其中 1.4 万公顷为有机认证基地。堆肥售价为 13~23 美元/t。

美国环保署对堆肥过程的要求是:对容器堆肥或静态通气堆肥,堆肥温度大于 55℃ 保持 3 天;对条垛堆肥(有翻堆),堆肥温度大于 55℃ 保持 15 天,翻堆 5 次。

为了控制臭气及氨气排放,一系列堆肥工艺提了出来。包括 HIGH RISE 猪舍结合条垛堆肥,鸡粪皮带输送系统结合反应器堆肥,高层养鸡结合深堆发酵,牛粪通气堆结合条垛翻堆等。这些系统均考虑了臭味、苍蝇及病原菌控制,同时实现了养殖粪便向种植基地的回流。

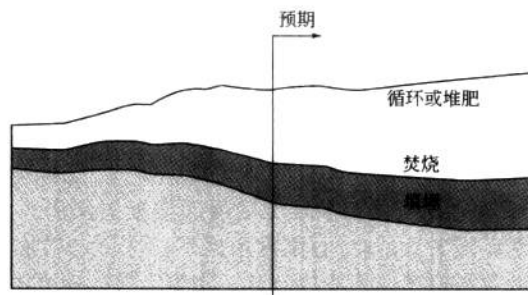


图 1-7 欧洲 27 国生活垃圾产生及处理变化

资料来源: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/trends-and-outlook-for-management>。

小规模的就地堆肥系统近些年得到开发和应用,如 EARTH TUB 技术,配备有搅拌、通风及臭味处理设施,专门用于学校、饭店等场所。

欧盟 27 国 2007 年生活垃圾 2.61 亿吨中,填埋占到 41%,焚烧 20%,循环或堆肥利用 39%。预计 2020 年欧洲垃圾产生量将达到 2.79 亿吨,其中循环和堆肥达到 49%,填埋减少到 28%,焚烧略微增加到 23% (图 1-7)。

欧美众多国家 2005 年不同污泥处理处置方式中,土地利用占到 50%,填埋占到 32%,焚烧占到 12% (表 1-5)。

表 1-5 2005 年欧美各国污泥不同处理处置方式及比例

国家	土地利用/%	填埋/%	焚烧/%	其他/%	国家	土地利用/%	填埋/%	焚烧/%	其他/%
美国	58	13	20	9	瑞士	50	30	20	0
卢森堡	80	20	0	0	丹麦	43	29	28	0
葡萄牙	80	12	0	8	意大利	34	55	11	0
英国	66	6	28	0	奥地利	28	35	37	0
西班牙	61	10	0	29	法国	27	53	20	0
瑞典	60	40	0	0	德国	25	65	10	0
比利时	57	43	0	0	爱尔兰	23	34	0	43
荷兰	53	29	10	8	平均	50	32	12	6

德国年有机废物资源量为 1290 万吨,其中 68.7% (880 万吨) 经过源头分类。德国现有堆肥设施约 980 个,年处理 1000 万吨生物垃圾,生产 400 万~500 万吨堆肥产品;沼气设施约 650 个,年处理 240 万吨生物垃圾。

德国年收集到的 880 万吨分类生活垃圾中,83% 经过堆肥处理,17% 通过厌氧处理。其中厌氧处理中只有 5% 缺乏后期的堆肥处理,绝大部分 (12%) 在其后结合有堆肥。荷兰和意大利也有类似趋势。如 WILP 采用干式中温厌氧发酵结合通气静态堆肥,年处理能力 7 万吨; HENELO 采用干式高温消化结合隧道堆肥,年处理能力 5 万吨。

国际范围在有机废弃物处理方面的总体趋势如下。

(1) 减少废物产生 即通过产品及工艺设计在源头即减少废物的产生,并减少废物中有毒物质的危害水平;以及通过普及宣传号召居民改变生活及消费习惯,减少废物产生。

(2) 农业废弃物处理 欧美各国农业废弃物的处理均建立在种养结合或种养平衡基础上,即养殖业规模与周围土地环境负荷相协调的原则。在此基础上,养殖废物的处理基本采取了简单的就地处理就地利用方式,如废物混合稳定塘处理结合土地利用,或厌氧发酵结合土地利用,或堆肥结合土地利用等。

(3) 生活垃圾源头分离 混合垃圾堆肥由于运行成本较高以及产品使用难受到限制,人们开始关注垃圾源头分选而后进行堆肥。由于控制臭味成本增加及臭味抱怨增多导致一些垃圾堆肥厂关门。相反园林垃圾堆肥则较为成功,美国已有 3200 余座,这也与一些州禁止园林垃圾进入填埋场以及填埋处理费提高有关。

(4) 堆肥工艺创新 国外堆肥工艺种类繁多,仅 Haug 主编的堆肥手册中就涉及 55 种不同工艺。现代堆肥工艺的几个方向是:密闭化、快速高效、环境友好和低成本。

(5) 加强堆肥质量控制 欧美很多国家建立起了堆肥产品认证制度,并形成了一系列控制体系。包括对堆肥产品理化指标如水分、容重、碳、NPK、pH 值、重金属、挥发性固体、腐熟度的全程检测,了解这些指标的实际变化,为控制质量奠定基础;尽量从原料及工艺角度出发保持堆肥中的养分 (NPK) 水平,以确保产品的肥效及竞争力;优化堆肥施用技术,如施肥时间、施肥方法和施肥量等;消除堆肥毒性;生产抗病堆肥等。

二、国内堆肥产业发展趋势

调查表明,我国每年畜禽粪便产生量约 30 亿吨,实际有效处理率不到 20%。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,截止到 2008 年底,全市各类养殖总存栏达 3000 万只(头),其中生猪存栏 179.8 万头,家禽存栏 2724.26 万只,肉牛存栏 60630 头,各类畜禽养殖粪污量为 580 万吨,全市目前耕地的畜禽粪污平均负荷量达到 $25\text{t}/\text{hm}^2$,明显高于全国平均水平。养殖粪污已经成为农村主要的环境污染源,不仅造成土壤及水环境污染,而且成为制约养殖业可持续发展的主要因素。

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。截止到 2010 年底,我国已建设污水处理厂 2800 多座,城镇污水处理量已达到 300 亿立方米,处理废水产生的污泥量(含水量 80%)达 3000 万吨左右。根据调研结果显示,我国污水处理厂所产生的污泥,有 80%没有得到妥善处理,污泥随意堆放及所造成的污染问题已经凸显出来,并且引起了社会的关注。未来可预测的污泥产生量至少在 1000 万吨(干)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。

另一方面,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。

另外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。事实上,中国目前已成为世界最大的有机固体废弃物产生国,仅养殖畜禽粪便年产量就达到 30 亿吨左右。大量的有机废弃物未加处理进入环境,带来了土壤和水体的富营养化和严重污染,实现有机废弃物有效处理和土地循环利用将成为未来重要的发展方向。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。具体表现在如下几个方面。

(1) 有机固体废弃物的堆肥处理和土地利用实质上是保持土壤和生态系统碳平衡的重要途径和方向,根据我们的研究结合欧洲的经验,我国有机废弃物土地利用合理的比例应占到

产生总量的 50% 以上, 这样才能保障土壤有机质的平衡、实现环境安全和农业生产能力的稳定与长久。

(2) 有机废弃物的堆肥利用关系到城镇有机废弃物及新农村的环境治理、固废环保产业的壮大、土壤长期培肥与生态建设以及持续农业生产体系的建立等重大农业与环境发展议题, 目前国内研究及技术水平均不足以支撑上述发展需求, 应加强相关领域的技术和设备研制, 并鼓励建立不同模式的示范工程。

(3) 过去 60 年来, 我国有机肥料的施用比例从 1949 年的 100% 下降到 2003 年的 20%, 科学研究表明理想的施肥结构应该是有机无机各占 50%, 由此分析, 未来我国有机肥料即使按实物量估算年生产能力也将达到 5000 万吨以上, 有机肥产业前景十分广阔。

(4) 中国的堆肥工艺和设备水平还较低, 需要大量引进国外先进的技术和工艺, 开展国际堆肥产业合作有很大的发展空间。

(5) 不同于欧美国家, 中国堆肥及有机肥的发展基本上走了一条独具特色的市场化道路, 包括自主技术和设备的开发, 堆肥菌剂的应用, 快速堆肥工艺的提出和有机-无机复混肥工艺和设备的建立。这些技术模式对世界各国都有借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 陈勇. 陈勇农书. 北京: 农业出版社, 1965.
- [2] 汜胜之. 汜胜之书. 北京: 科学出版社, 1956.
- [3] 郭文韬. 中国古代农业科技史. 北京: 中国农业科技出版社, 1989.
- [4] 郭文韬. 中国农业科技发展史略. 北京: 中国科学技术出版社, 1988.
- [5] 何道全. 太上老子. 道德经 (明). 1644.
- [6] 贾思勰. 齐民要术. 北京: 团结出版社, 1996.
- [7] 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. 北京: 农业环境科学学报, 2003, 22 (2): 252~256.
- [8] 刘更令. 中国有机肥料. 北京: 农业出版社, 1991.
- [9] 毛达如. 有机肥料. 北京: 农业出版社, 1982.
- [10] [南宋] 吴自牧. 梦粱录. 西安: 三秦出版社, 2004.
- [11] 农业部种植业管理司全国农业技术推广服务中心. 土壤有机质提升. 北京: 中国大地出版社, 2007.
- [12] 王永厚. 农家肥的历史功绩. 见: 农业文明史话. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [13] 王桢. 王桢农书. 北京: 农业出版社, 1981.
- [14] 杨荫冲. “粪”字词义考释及其在古文献中的应用. 湖北社会科学, 2008, 6: 108~110.
- [15] 游修龄. 从《齐民要术》看我国古代的肥料科学. 见: 农史研究文集. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [16] 袁黄宝. 坵劝农书. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 中国农业博物馆. 汉代农业画像砖石. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [18] 《中国农业年鉴》编辑委员会. 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 1981, 2004.
- [19] Albert H. An agricultural testament. Oxford: Oxford University Press, 1940.
- [20] Alexander, Ron. Valuing the U. S. composting industry, BioCycle, 2009.
- [21] Harold M. Keener. Challenges and Opportunities in Composting Organic Waste. In: R. Lal et al. (eds.), Climate Change and Food Security in South Asia, 295, Springer Science+Business Media B. V. 2011.
- [22] KingFH, D. Sc. Farmers of forty centuries. Rodale Press. Inc. 1911.
- [23] Rodale JI. The complete book of composting. RODALE BOOKS. Inc. 1972.
- [24] Roger T H. The practical handbook of compost engineering. Boca Raton, Fla; Lewis Publishers. 1993.

第二章

堆肥原料及调节

第一节 原料来源及数量

据估算，我国目前每年畜禽粪便排放量（湿重）超过 $3 \times 10^9 \text{t}$ ，农作物秸秆总产量为 $6.87 \times 10^8 \text{t}$ ，其中稻草 $2.3 \times 10^8 \text{t}$ ，玉米秸秆 $2.2 \times 10^8 \text{t}$ ，豆类和秋杂粮作物秸秆 $1.0 \times 10^8 \text{t}$ ，花生、薯类藤蔓和甜菜叶等 $1.0 \times 10^8 \text{t}$ ；另外还有城市生活垃圾 $3.0 \times 10^8 \text{t}$ ，城镇污泥（湿） $3 \times 10^7 \text{t}$ ，油料饼粕 $1.2 \times 10^7 \text{t}$ ，花生壳 $0.5 \times 10^7 \text{t}$ ，肉类加工厂（包括肉联厂、皮革厂和屠宰场）废弃物 $(0.5 \sim 0.8) \times 10^7 \text{t}$ 。

经推算仅农业废弃物（包括秸秆和畜禽粪便）氮磷钾养分储量为氮（N）2264.4 万吨，磷（ P_2O_5 ）459.1 万吨，钾（ K_2O ）2715.7 万吨，相当于全国当年磷肥（ P_2O_5 ）施用量的 1/2、钾肥（ K_2O ）施用量的 2/3，另外还含有 6 亿多吨有机质以及作物生长所必需的中、微量营养元素。目前这些废弃物的利用率很低，只有 20% 左右，大量的秸秆被焚烧，污染了大气环境，规模化畜禽养殖场的粪便未经处理即排入河流湖泊，成为水体污染的重要来源。如何有效利用这些废弃物，变废为宝，实现经济社会的持续发展已成为政府及科技界的重要使命。

堆肥原料，一般来源于农业及市政固体废弃物。适合于堆肥的原料很多，表 2-1 给出了常用到的堆肥原料。附件 1 则提供了详细的备选原料清单以及它们的性质（碳、氮、碳氮比、水分等）。

表 2-1 堆肥常用原料

牲畜粪便	水藻和其他水生植物	市政污泥	木灰
家禽粪便	淤泥和污泥	造纸污泥	石灰
牛粪	厨余垃圾、木屑和刨片	甘蔗和甜菜滤泥	屠宰场废弃物
羊粪	制药业培养基废渣	化学肥料（如尿素）	米糠及稻壳
马粪	中药渣	水果和蔬菜废弃物	麸皮
作物秸秆及残渣	粉煤灰	食品加工废弃物	花生壳
饼粕	树皮	泥炭	堆肥回料

一般讲，堆肥原料的运输距离不超过 100km，所以堆肥厂应尽量在本地寻找合适的有机原料。

第二节 原料特点

要选择合适的堆肥原料，首先要了解各种原料的基本特性，特别是一些适合于产业化、商品化生产的特性，比如原料的来源是否广泛、稳定，原料的各项养分指标能否满

足制作肥料的要求,原料是否能够快速腐熟等。表 2-2 列出了当前全国各地堆肥生产中可能会碰到和使用的一些原料,并对原料来源进行了描述,表中对养分和腐熟难易概括性的描述是经验性的,目的是为生产者进行原材料的初步筛选提供参考,这是非常有意义的。由于原材料的种类太多,不可能对每一种原料的特点做出详细描述,下面仅对几种常见原料进行介绍。

表 2-2 堆肥原料类型及评价

原料种类	原料名称	主要来源	评价
作物秸秆	稻秸、麦秸、油菜秸等	水稻、小麦、油菜	易腐熟、养分低
	棉花秆、黄豆秆等	棉花、黄豆	不易腐熟、养分偏低
	花生藤、红薯藤等	花生、红薯	易腐熟、养分偏低
	玉米秸等	玉米	较易腐熟、养分偏低
谷物加工副产品	谷壳	稻谷	难腐熟、养分低
	米糠	稻谷	较易腐熟、养分中等
	麦麸	小麦	较易腐熟、养分中等
畜禽粪便	猪粪、牛粪、马粪	养殖业	极易腐熟、养分低
	鸡粪、鸽粪、鹌鹑粪	养殖业	极易腐熟、养分偏高
	羊粪、兔粪	养殖业	极易腐熟、养分中等
食品加工业副产品	甘蔗滤泥、甜菜滤泥	制糖工业副产品	极易腐熟、养分偏高
	甘蔗渣	制糖工业副产品	难腐熟、养分低
	甜菜渣	制糖工业副产品	易腐熟、养分低
	啤酒泥	啤酒工业副产品	养分高
	酱油渣	酱油厂副产品	极易腐熟、养分偏高
	木薯渣	柠檬酸厂副产品	极易腐熟、养分中等
	味精厂废水回收物	味精厂废液	养分高
	麦芽粉	啤酒厂副产品	易腐熟、养分高
饼粕	豆粕、花生粕、芝麻粕	植物油加工副产品	易腐熟、养分高
	棉粕、菜粕、蓖麻粕	植物油加工副产品	易腐熟、养分偏高
	葵花籽粕、胡麻粕	植物油加工副产品	易腐熟、养分中等
	桐籽粕、茶籽粕	植物油加工副产品	不易腐熟、养分偏低
制药工业副产品	西药药渣	抗生素培养基	易腐熟、养分高
	中成药药渣	中成药加工副产品	易腐熟、养分偏高
	中药药渣		不易腐熟、养分极低
	酶制剂废渣	酶制剂生产厂	养分高
城市垃圾	动植物类厨房垃圾	厨房垃圾	易腐熟、养分中等
	其他类有机垃圾	纸、布、塑料等	难腐熟、养分低
	城市污泥	河道、污水处理厂	养分低
煤及燃煤废物	风化煤	煤矿	养分低
	煤灰、煤渣	电厂、工厂燃煤	养分低
水生植物	浮萍	河道湖泊野生	极易腐熟、含钾量高
	水花生	河道湖泊野生	极易腐熟、含钾量高
	其他水生植物	河道湖泊野生	依对象而定
其他	锯木屑	木材加工厂	难腐熟、养分中等
	花生壳	食用油厂	较难腐熟、养分偏高
	菇渣	食用菌基地	较易腐熟、养分低
	剑麻渣	剑麻加工厂	易腐熟、养分低
	糠醛渣	相关厂	较难腐熟、养分低
	木糖醇渣	相关厂	较难腐熟、养分低
	鱼粉	商品	易腐熟、养分高

一、畜产副产品

1. 禽类粪便

主要有鸡粪、鸽粪、鹌鹑粪等，这类粪便通常含氮量高，水分适中，并含有较多的钙等其他中量和微量元素，适合与含碳量较高的一些原料如秸秆粉、蘑菇渣、草炭、锯末等配合。通常从养殖场取出时可能有一部分已经腐熟，由于高氮量和高 pH 值会导致释放氨造成氮素损失，同时还易产生臭气，可能需要用低 pH 值的调理剂来降低酸碱度。家禽粪便容易腐熟并且腐熟温度较高，属于热性肥料，使用禽类粪便做原料，发酵分解迅速，并能制成养分较高的肥料，是非常好的堆肥原料。

2. 牲畜粪便

这类原料以猪粪为代表，含氮量较高但含水量大，含有较多的腐殖质，对提高土壤肥力有很好的作用；其水分含量和 C/N 取决于是否使用垫料、垫料的类型和数量、管理方式、养殖方法以及气候等，通常臭味重。采取干湿分拣方式收集可有效降低含水量，并控制臭气，也是一类较好堆肥原料。牛粪中的有机质部分较难分解、腐熟较慢、发酵温度较低；羊粪质地较细、含水量少，其氮素形态主要是尿素态氮，易被分解利用；马粪尿中有机质含量较高，还含有大量的纤维分解菌，在堆肥时能产生高温。

3. 其他牲畜粪便

如山羊、绵羊、兔子和其他牲畜粪便作为堆肥原料通常都很好堆制，因为它们大多从堆积粪便的垫层收集，因此相对水分含量低但 C/N 较高；在没有垫层的情况下该类粪便湿度大、含氮量高。其中，兔粪中氮、磷、钾含量分别是鸡粪的 1.53 倍、2.88 倍和 1.6 倍，羊粪的 3.29、4.6 和 2.67 倍，每吨兔粪相当于硫酸铵 108.5kg、过磷酸钙 100.9kg、硫酸钾 17.85kg。如果将粪便与垫料分离后是很好的堆肥原料。主要家畜粪便的污染物含量与特征见表 2-3。

表 2-3 主要家畜粪便的污染物含量与特征

指标	含量	乳牛	肉牛	猪	蛋鸡	小型肉用鸡
BOD	粪/(mg/L)	24000	24000	60000	65000	65000
	尿/(mg/L)	4000 (5800)	4000	5000 (3300)		
	合计/(mg/L)	18400	18400	23300	65000	65000
COD	粪/(mg/L)	19000	19000	35000	45000	45000
	尿/(mg/L)	6000	6000	9000		
	合计/(mg/L)	15360	15360	17667	45000	45000
SS	粪/(mg/L)	120000	120000	220000	130000	130000
	尿/(mg/L)	5000 (5800)	5000	5000 (5300)		
	合计/(mg/L)	87800	87800	76667	130000	130000
氮	粪/(mg/L)	4500	3000	5000	25000	20000
	尿/(mg/L)	8000	12000	7000		
	合计/(mg/L)	5480	5520	6333	25000	20000
磷	粪/(mg/L)	1000	1000	5000	4500	2500
	尿/(mg/L)	100	100	500		
	合计/(mg/L)	748	748	2000	4500	2500
有机物含量	粪(干基)/%	80	80	85	70	70
	尿(干基)/%	70	70	70		
	合计(干基)/%	79.90	79.90	84.50	70	70

资料来源：社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册，“（ ）”内为育肥牲畜。

在考虑各种家畜粪尿的水分含量时,因为乳牛、肉牛、猪的粪中含有70%以上的水分,所以即使把粪、尿分别进行收集,也有必要调整水分。大多数情况下,是用稻壳等辅料进行水分调整,但同时也要注意常年保证畜禽粪便的需求量和在堆肥化工艺中的处理量。

4. 畜禽残体

畜禽残体大多具有强烈的恶臭,且黏性强。例如内脏中水分约占65%,氮约为0.5%,磷酸为0.35%,钾为0.09%,pH值为6.9,但是部位不同,内脏的性状也大不相同。此外,有些内脏不能进行发酵和堆肥化,所以选原材料时必须进行分拣。由于死畜禽堆肥不能实现堆肥原料的完全混合,同普通堆肥在条件控制上有一定的不同。堆肥处理死畜禽的过程中,氧含量不能低于5%,最好在10%以上,这样可以很好地维持死畜禽的分解过程。由于死畜本身含水量较大,堆肥处理时应适当减少死畜周围填充剂的含水率。畜禽残体一般来说难以利用,容易被认为是难以堆肥的原材料。但实际上,它是使堆肥产品变成附加价值高的有机肥料的贵重原材料。畜禽加工原材料的成分见表2-4。

表 2-4 畜禽加工原材料的成分比例

原材料	pH 值	水分/%	氮/%	磷/%	钾/%	电导率/(mS/cm)
生血液	6.9	92.15	1.38	0.11	0.02	33.3
处理血液	8.6	64.04	5.76	0.47	0.08	2.5
内脏(胃、肠等)	6.9	64.62	0.5	0.35	0.09	1.1
未孵化的蛋	6.8	50.06	2.06	0.53	0.2	2.4
肺	6.5	79.13	2.75	0.7	0.16	3.3
毛	5.9	52.5	1.15	0.46	0.08	0.7
其他	4	43.7	3.24	0.07	0.14	37.5

资料来源:社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

二、秸秆类

农田秸秆的有机质含量高,富含农作物生长所需的营养元素,几乎不含杂质,是堆肥的较佳原料,其堆肥产品的农用价值较高。秸秆类具有低水分的特点,大约为8%~15%。稻秸和稻壳的C/N为60~70,麦秸的C/N为110~120,比适合堆肥的C/N值高(表2-5)。可以说,秸秆类不适合单独作为堆肥的原材料。稻壳是用来保护米的,因此含有很硬的硅酸质。若不加工就处理的话,吸水率不高,仅为75%~85%,堆肥化需要很长的时间。但粉碎后,吸水率变为130%~250%,利于堆肥。

表 2-5 常见秸秆类的性状

物 质	稻秸	小麦秸秆	大麦秸秆	稻壳	粉碎稻壳
水分/%	9.7~15	9.2~11.9	12~15	9.5~15.0	8.3~9.1
容积重/(t/m ³)	0.05	0.03	0.02	0.1~0.13	0.2
吸水率/%	300~430	226~498	285~443	75~80	136~250
TC/%	35.6	37.3	—	33.5~39.8	—
TN/%	0.61	0.3	—	0.56	—
C/N	58	124	—	60~72	—
纤维素/%	24.7			32~42	
半纤维素/%	20.6			29~37	
木质素/%	7.7			1.3~38	

资料来源:社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

三、厨余垃圾

厨余垃圾的性质各不相同。特别是由于季节和地域的不同,性质也各不相同,有必要根据计划事先进行分析检测,确实把握其性质。一般来说,水分约占 70%~85%,BOD 为 24000~58000mg/kg,氮为 2000~11000mg/kg,磷酸为 210~2900mg/kg,pH 值为 4~6。最近,垃圾进行分类回收,因此堆肥的原材料多为厨余垃圾比率高的家庭垃圾。厨余堆肥系统升温快,堆肥周期短,堆制过程中的生物可利用碳短缺,堆肥氮素损失量大,可通过添加适当碳源等措施来减少厨余堆肥的氮素损失。餐厨垃圾的含水率高达 90%,发酵过程中糊状垃圾易将整个堆垛全部空间填死,空气无法进入内部,致使微生物处于厌氧状态,使降解速度减慢,并产生硫化氢等臭气,同时使堆肥温度下降,影响堆肥质量。

四、食品副产品

食品产业残渣中有机物含量很高,达到了 40%,氮、磷等肥料成分丰富,C/N 平均约为 7。但是普遍含有浓缩分离后脱水率差的物质,比较容易腐烂和变质,易产生恶臭和寄生虫,应注意保存和保管。食品制造业使用原材料的肥效成分见表 2-6。

表 2-6 食品制造业使用原材料的肥效成分

业种	调查/件	氮/%	磷/%	钾/%	胃蛋白酶消化率/%
乳业	11	6.94	5.01	0.99	46.55
乳酸饮料	9	6.81	3.92	0.53	44.46
肉类加工	7	8.53	4.73	0.75	55.6
屠宰	2	5.67	1.72	0.14	65.78
清凉饮料	6	6.67	3.87	0.87	53.05
啤酒	10	6.73	3.44	0.65	42.15
面包	10	6	3.75	0.58	43.62
酵母	4	7.14	2.38	1.61	51.98
馅儿	3	7.71	3.79	0.65	41.26
酱油	4	5.92	2.67	0.33	58.21
黄酱	3	7.08	6.36	2.14	50.72
小麦淀粉	4	9.29	6.77	0.69	70.24
玉米淀粉	2	8.07	4.82	1.01	63.95
橘子加工	9	4.39	2.31	0.44	44.33
水产加工	2	9.8	3.97	0.49	51.16
沙拉酱	3	7.35	2.76	0.58	46.16
制油	2	5	6.11	0.64	26.72
平均		7.01	4.02	0.77	50.37

资料来源:社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

1. 豆渣

豆渣干基中一般含蛋白质、脂质,还含有碳水化合物矿物质和维生素等其他许多成分,营养成分非常丰富,适合作堆肥原料。湿豆渣的含水在 80%~90%左右,极易腐败变质。由于豆渣含氮量较高,堆肥时应适当加入碳素。豆渣的成分见表 2-7。

2. 啤酒渣

啤酒厂发酵产生的酒渣通常作为饲料在利用,但也可作为优质的堆肥原料。啤酒泥(干基质)成分见表 2-8。

表 2-7 豆渣的成分分析值

成分名称	水分 /%	蛋白质 /%	脂肪 /%	粗纤维 /%	灰分 /%	K /(mg/kg)	Ca /(mg/kg)	磷 /(mg/kg)	Mg /(mg/kg)	铁 /(mg/kg)	铜 /(mg/kg)
样品 1	80.9	5	2.2	3.5	0.7	2900	680	630	360	20	1.3
样品 2	84.2	4.1	1.8	2.8	0.5	2280	550	500	270	10	1.2
样品 3	78.2	5.3	2.5	3.7	0.8	4070	600	810	390	20	1.8
样品 4	77.5	5.9	3.8	3.8	0.8	3520	620	840	420	20	1.8
样品 5	78.8	4.9	3.2	4.2	0.8	3480	740	790	380	10	0.7
样品 6	81.3	4	1.9	4	0.6	2750	780	590	290	10	0.7
平均值	80.2	4.9	2.6	3.7	0.7	3160	662	693	352	15	1.3
干基质含量	0	24.5	13	18.4	3.5	15940	3340	3490	1770	80	6.5

资料来源：社团法人日本有机资源协会。堆肥化手册。

表 2-8 啤酒泥（干基质）的成分

单位：%

水分	碳	氮	C/N	纤维	蛋白质
10.3	40.7	2.9	14	60.7	24.28

资料来源：社团法人日本有机资源协会。堆肥化手册。

3. 酒渣

酒渣含有大量的有机质，但是 N、P、K 含量偏低，含水量约为 90%，通过堆肥过程中微生物的分解作用降解有机质，可以产生 N、P、K 等物质，提高有机肥的质量。对由各种原材料制成的酒渣分析见表 2-9。

表 2-9 对由各种原材料制成的酒渣（湿基）的分析结果

原材料	水分/%	BOD/(mg/L)	pH 值	氮/%	磷/%	钾/%
甘蔗	93.5	41900	4.2	0.24	0.03	0.18
麦		37700	3.7	0.39	0.04	0.04
红糖	95.1		4.2	0.49	0.04	0.89

资料来源：社团法人日本有机资源协会。堆肥化手册。

4. 咖啡渣

咖啡渣成分分析见表 2-10。

表 2-10 咖啡渣（干基质）的成分分析表

样品名称	咖啡渣 A	咖啡渣 B	咖啡渣 C
水分(实物)/%	66.3	3.7	4.99
表观比重(实物)/(g/mL)			0.55
pH 值	5.8	5.9	5.1
电导率/(mS/cm)			0.65
有机物/%	98.8	98.9	98.7
粗脂肪/%			6.1
全碳/%			55.2
全氮/%	1.99	2	2.17
C/N			25.4
NH ₄ ⁺ -N/(mg/kg)			3.68
NO ₃ ⁻ -N/(mg/kg)			0.14
全 P ₂ O ₅ /%	0.24	0.22	0.24
全 K ₂ O/%	0.27	0.26	0.44
CEC/(meq/100g)			26.5

续表

样品名称	咖啡渣 A	咖啡渣 B	咖啡渣 C
CaO/%	0.24	0.18	0.14
MgO/%	0.26	0.24	0.2
MnO/(mg/kg)	36.8	37.3	
B ₂ O ₃ /(mg/kg)	3.3	13	
Fe/(mg/kg)	1.190	1.970	44
Cu/(mg/kg)	39	25	18
Zn/(mg/kg)	15	9	6.7
As/(mg/kg)	0.09	0.06	<0.1
Cd/(mg/kg)	ND	ND	<0.1
Hg/(mg/kg)	0.03	0.03	0.02
水溶性酚/%			840
7 日后	<0	<0	<0
氮元素的无机化比率/%	14 日后	<0	<0
	28 日后	<0	<0

资料来源：社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

5. 精糖渣

精糖渣饼粕、甘蔗渣的成分见表 2-11。

表 2-11 精糖渣饼粕、甘蔗渣的成分

成 分	饼粕/%	甘蔗渣/%
水分	74	42
有机物	60	91
全氮	1.77	0.39
磷	1.57	0.09
钾	0.62	0.25
CaO	2.43	
C/N	34	105
有机碳		41

资料来源：社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

6. 果实残渣

柳橙渣及苹果渣的成分分析见表 2-12、表 2-13。

表 2-12 柳橙渣的分析表

单位：%

材 料	水分	TS	VTS	RTS	VTS/TS	NH ₄ ⁺ -N	有机氮	TN	PO ₄ ³⁻
柳橙残渣	87	13	12.5	0.5	96.1	0.009	0.193	0.202	0.042

表 2-13 苹果渣的一般成分、糖质及果胶的含量

单位：%

材 料	一般成分						糖质		果胶
	水分	粗蛋白质	粗脂肪	NFE	粗纤维	粗灰	单糖	多糖	
苹果渣	79.7	0.9	0.9	14.2	3.9	0.4	2.3	2.7	2.9

资料来源：社团法人日本有机资源协会·堆肥化手册。

7. 蔬菜残渣

蔬菜残渣废弃物原料成分及含量见表 2-14。

表 2-14 蔬菜废弃物原料成分及含量

样品名称	含水率/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	有机碳/%	C/N
白菜	94.93~95.9	2.72~5.56	0.56~0.77	4.40~4.99	29.70~35.90	8.57
花椰菜	88.24	4.23	0.53	0.80	34.98	8.27
紫甘蓝	89.62	3.78	0.46	1.57	36.86	9.75
生菜	93.90~94.80	3.56~4.77	0.47~0.61	4.93~5.37	35.00~41.70	10.00
青菜	88.00~88.70	3.99~5.69	0.35~0.54	1.85~2.01	36.68~47.41	9.80
西芹	92.80~94.00	2.76~3.96	0.67~0.82	4.99~6.08	33.03	9.83
萝卜	91.25	4.04	0.52	1.99	36.17	8.94
胡萝卜	87.04	3.23	0.49	2.96	39.51	12.23
平均值	90.67~91.19	3.54~4.41	0.51~0.59	2.94~3.22	35.24~38.14	9.67

资料来源：席旭东，2010。

五、污泥

分为生污泥和消化污泥，富含氮素并且水分含量很高，需要用高碳素含量的干物料来调节。淤泥和生污泥分解迅速，消化污泥分解能力中等。生污泥产生臭气的可能性大，消化污泥臭味稍轻。污泥中常含有大量病原微生物，工业污泥的重金属含量较高，使用污泥做堆肥需要采取一些工艺和技术的措施，如采用生活污水处理厂产生的污泥进行堆肥比较合适。生活排水污泥分为以下三种。

1. 粪尿处理污泥

粪尿处理污泥（脱水污泥）的性质根据脱水机的机种和脱水凝结剂的种类不同而不同。基本性质为水分 75%~85%，有机物 43%，C/N 7.2，氮 4.3%，磷 1.8%，钾 0.5%，pH 值为 7.3。根据实测数据得出的收集粪尿及收集净化槽污泥的性状见表 2-15。粪尿处理污泥（脱水污泥）的成分见表 2-16。

表 2-15 根据实测数据得出的收集粪尿及收集净化槽污泥的性状 单位：mg/L

项目	低于如下概率 区分	收集粪尿			收集净化槽污泥		
		50%	75%	84%	50%	75%	84%
pH		7.9	8.3	8.4	6.8	7.3	7.5
BOD		9500	12000	13000	3900	5600	6400
COD		5600	6800	7400	3400	4700	5300
浮游物质		11000	14000	16000	8100	12000	13000
蒸发残留物		22000	27000	29000	9700	13000	15000
全氮		3100	3900	4300	530	980	1200
全磷		460	580	640	110	170	200
氯离子		2400	3200	3500	140	520	710

资料来源：社团法人日本有机资源协会。堆肥化手册。

表 2-16 粪尿处理污泥（脱水污泥）的成分

项 目	水分/%	有机物/%	C/N	全氮/%	全磷/%	钾/%
平均值	75.03	42.96	7.2	4.31	1.77	0.53
标准偏差	14.23	22.72	2.15	2.51	0.95	0.83
数据数	103	17	4	98	6	94

资料来源：社团法人日本有机资源协会。堆肥化手册。

2. 下水污泥

一般情况下，下水污泥含有水分 70%、有机物 60%~70%、C/N 为 10、氮 1%~8%、

磷 3%~5% 和 1% 的微量钾、pH 5~7。但是若使用石灰凝结剂，pH 值则为 8~12。重金属等有害物质不利于堆肥化的进行，所以若解决好这个问题，那么下水污泥则可成为品质优良的堆肥原材料。

3. 村镇排水污泥

村镇排水处理设施产生的污泥为浓缩污泥，通过污泥脱水机脱水，移动脱水车收集脱水后，称为脱水污泥，其中水分含量会有所改变，但其他性质不变。浓缩污泥中，水分约为 98%，C/N 为 5.3~6.6，氮为 5.6%~7.0%，磷（ P_2O_5 ）为 4.7%~5.5%，钾（ K_2O ）为 0.5%~0.9%，pH 值为 6.7~6.9。村镇排水污泥不会有工厂排放的污水和重金属混入，所以有利于堆肥化。

六、木质废弃物

木质废弃物的水分含量低，富含纤维素和木质素，分解所需的时间长，甚至不易分解，能较长时间保持原有的形态，通风性好，能确保好氧分解正常进行。

1. 树皮

树皮的堆积过程中 C/N 及有机成分的变化见表 2-17。

表 2-17 树皮的堆积过程中 C/N 及有机成分的变化

堆积期间	TC/%		TN/%		C/N		可溶性碳水化合物/%		纤维素%		木质素/%		还原糖成分/%	
	针叶	阔叶	针叶	阔叶	针叶	阔叶	针叶	阔叶	针叶	阔叶	针叶	阔叶	针叶	阔叶
原材料	51.7	49.2	0.3	0.37	172	133	14.5	16.2	34.7	28.0	31.5	27.9	42	40
30 天	48.9	43.4	1.17	1.27	41.8	34.2	11.8	12.2	33.4	25.2	31.8	28.1	41	38
70 天	47.8	43.4	1.11	1.22	43.1	35.5	11.4	11.1	34.1	23.2	31.4	30.5	42	35
140 天	45.5	40.0	1.19	1.79	38.2	22.3	10.6	8.8	26.6	17.1	33.1	35.1	36	29
350 天	40.4	37.5	1.31	1.98	30.8	18.9	9.3	7.5	21.5	9.9	33.0	35.7	34	21

资料来源：社团法人日本有机资源协会，堆肥化手册。

2. 锯屑、木屑

木材加工时产生的锯屑和木屑，在加工前由于被人为或自然干燥，水分含量比较低。其中锯屑的水分含量为 25%~45%，木屑的水分含量为 15%~30%，所以可以作为堆肥原材料的水分调节材料，或者作为水分含量高的污泥、畜禽粪尿、厨余垃圾的辅料。虽然锯屑、木屑的产量和供给不稳定，并且和树皮一样，C/N 在 100 以上，不易分解，但是能够很好地保持通风性，所以在供给稳定，能够保证堆肥产品品质的情况下，可以充分加以利用。

七、沼气发酵残渣

通过沼气发酵，有机物中易分解的成分可变成沼气，产生能量，剩下沼气发酵液中含不易分解的木质素、纤维素和盐分。沼气发酵液可直接使用于土地，也可以脱水，以液肥和堆肥的形式还原土地。最近在有机废弃物的资源化处理方面，提倡先进行沼气发酵，再把残渣进行堆肥，提高有机废弃物复合化、资源化的效率。

八、其他

1. 堆肥返料

堆肥返料通常可作为湿物料的调理剂，由于 C/N 中等偏低，通常需跟其他物料混合使用。返料水分含量不高，适合与中等水分含量的物料配合，并能部分提供初始微生物，但频

繁的循环使用可能造成盐分浓度过高，在不需要提高 C/N 而使混合物水分降低的情形下是一种好的调理剂。

2. 尿素及其他化肥

尿素或其他高浓度氮源的化肥有时被添加到高含碳量的原料中，用来降低 C/N。虽然这些原料确实能降低初始 C/N，但作用不可能长期有效。化肥中的氮素比有机物中的碳素更易被微生物吸收利用，特别是当易分解的碳素很快被分解完后，氮素就出现剩余，并以氨的形式挥发掉，所以无机氮的利用率通常较低。

3. 石灰

像肥料一样，石灰也被当作一种添加剂，既可以用来调节 pH 值也可以控制臭气。但一般的原料是不用添加石灰的，使用过量会导致 pH 值上升，造成氨的过量损失。其他含碱浓度较高的原料如炉灰、木灰也与石灰作用类似。

第三节 堆肥初始条件及原料配比

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。

堆肥配方的形成就是对 C/N 和水分的平衡过程，目的是使它们均处于合理的范围内。

通常一个指标先调整合适后，堆肥的配方就可基本确定下来，若需要进一步调整比例，则一般要在不明显影响第一个指标的情形下对第二个指标进行优化。

一、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，氮还是构成细胞中蛋白质、核酸、氨基酸、酶、辅酶的重要成分。

据研究，一般情况下，微生物每消耗 25g 有机碳，需要吸收 1g 氮素，微生物分解有机物较适宜的 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。

常见的有机固体废物含碳量一般为 40%~55%，但氮的含量变化却很大，因此 C/N 的变幅也较大。一般禾本科植物的 C/N 较高，大约在 40~60 之间；畜禽粪便、城市污泥 C/N 较低，大约为 10~30。为达到理想的堆肥有机物分解速度，通常用 C/N 较高的秸秆粉、草炭、蘑菇渣等与 C/N 较低的畜禽粪便、城市污泥等进行混合调整。在堆肥化过程中，由于微生物的作用，有近 2/3 的碳素会以 CO₂ 的形式释放出来，剩余部分与氮素一起合成细胞生物体，所以堆肥化过程是一个 C/N 逐渐下降并趋于稳定的过程，腐熟堆肥的 C/N 一般为 15 左右。

此外，不同的堆肥原料其适宜的 C/N 也存在差异，这种差异主要有两方面构成：一方面为取决于堆肥原料中有机物的生物有效性（或可降解性，表 2-18）；另一方面取决于堆肥

原料粒度。虽然从理论上讲堆肥物质中的大多数碳是可以利用的,但也存在一些很难生物降解的有机化合物,如木材中的木质纤维素,因此,当这类物质含量较高时,应设置一个较高的 C/N 值;相同原料由于粒度不同,比表面积存在差异,可被微生物利用的碳或者说其被微生物分解的速度也存在差异,这些都是进行堆肥 C/N 设计时应考虑的。

表 2-18 某些有机基质的可降解性

基 质	降解性(占挥发性固体比例)/%	基 质	降解性(占挥发性固体比例)/%
垃圾(总有机组分)	43~54	牛粪	28
庭园修剪废弃物	66	垃圾	66
鸡粪	68		

二、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,推荐的含水量上限为 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,如使用挤压测试时,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。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 2-19 列出了部分原料的最大水分含量范围,水分含量值与堆肥基质的结构有关,含纤维或不易处理的基质如稻秸、木屑,在保持结构完整的条件下持水量均较高。

表 2-19 不同堆肥基质的最大水分含量

基质类型	水分含量(占总重)/%	基质类型	水分含量(占总重)/%
理论上	100	城市垃圾	55~65
稻秸	75~85	粪便	55~65
木屑	75~90	消化的或生污泥	55~60
稻壳	75~85	湿基质(厨余等)	50~55

许多堆肥基质如城市垃圾、农业废弃物和庭院废物都是以相对干燥的状态进行堆肥的,甚至动物粪便在堆肥前都需进行风干。污泥和其他湿有机物却不然,城市污泥含水率一般大于 70%,况且污泥不含亲水性的纤维,如果单独以污泥饼进行堆肥,则会因其缺乏储存氧气的自由通气孔隙而需要不断的机械搅拌输入空气。

图 2-1 表明牛粪堆肥中水分控制的重要性。该实验在 2.4m 深的堆肥仓中进行,仓底装有强制通风系统。当水分含量为 66% 时(起始点),系统最高温度上升到 55℃ 就停止了;清仓后向其中加入干基质并调节水分含量到 61%,温度会迅速升到 75℃ 以上;如果继续提高水分含量则会阻碍堆肥进程,因为过量的水分会因基质挤压而减少自由通气孔隙,以致减少空气在基质中的分布。

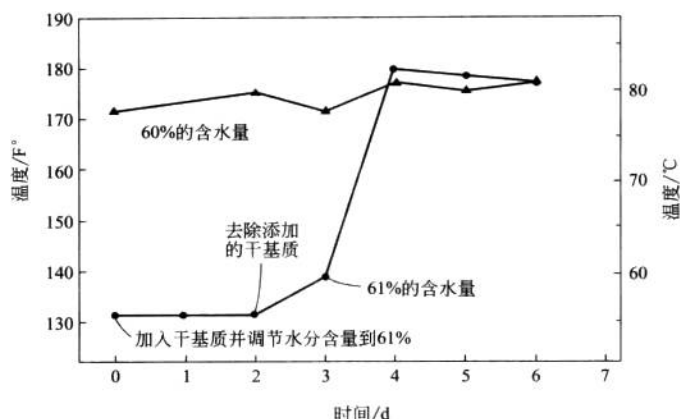


图 2-1 初始基质水分含量对堆肥过程温度的影响 (引自 Senn, 1971)

保持适当的水分和孔隙率是平衡堆肥过程的重要手段。要保证足够的生物稳定性，必须有足够的水分含量，但不能高到由于自由通气孔隙量减少而导致氧气传输量下降的状态，进而降低生物活性。另外，适当的水分和自由通气孔隙量有利于生产干燥的堆肥产品，易于储存和运输。当然在实际操作中是不可能使所有的控制因素同时达到最佳的，所以有时需要相互协调。

三、容重

水分调节可改善通气性，同时也可调节容重。相同的水分条件下，容重（比重）越小，堆肥化过程中的温度上升越快。在现场，可以参考容重判定通气性的改善效果。例如，通过在一定容积的水桶中装满材料，计量重量，能够简便的测定容重。

四、粒径

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。实验证明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。例如，有些堆肥系统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。为规范调理剂的使用，美国一些地方规定木屑应不少于总固相的 65%，95% 可以通过 12mm 筛，而通过 2.23mm 的应小于 50%；有的规定粗木屑占总固相的 50%~70%，95% 可通过 12.5mm 筛，通过 4.75mm 的应小于 20%。同时，对粒径大的颗粒进行限制是为了避免最后的产品颗粒过大而需过筛。如果堆肥产品应用于园艺或在草坪、花园上施用，粒径一般不要大于 10mm。

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。

五、pH 值

pH 值是影响微生物生长繁殖的重要因素之一。虽然不同研究得出的堆肥微生物适宜的 pH 值范围存在些许差异,但共同的研究结果表明,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,但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 $\text{pH} > 10.5$ 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,如氨基、羧基基团变异,改变其物理结构,并使酶蛋白失活。

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。

六、堆肥配方确定及计算

表 2-20 列出了影响堆肥的一些初始因素并推荐了一些基本参数,供参考。

表 2-20 快速堆肥的推荐条件

条 件	合理范围 ^①	最佳范围
碳氮比 (C/N)	20~40	25~30
水分含量	40%~65%	50%~60%
颗粒直径	0.32~1.27cm	可变 ^②
pH 值	5.5~9.0	6.5~8.0

① 这些推荐是对快速堆肥而言的,在这些范围以外的条件同样可以产生成功的结果。

② 依特定的物料、堆体大小和天气条件而变。

在处理湿物料时,水分就成为最重要的指标,因为高水分会引发厌氧条件、臭气和低分解率。不合适的 C/N 影响并不严重,通常最好先根据水分来设计一个初始配方,然后再逐步调整,获得一个可接受的 C/N。干物料与 C/N 是成比例的,因为比较容易通过加水来调节。

下面给出了堆肥配方的计算公式,它是以干重为基础计算的。

1. 单个原料计算公式

$$\begin{aligned}
 \text{水重量} &= \text{总重量} \times \text{水分含量} \\
 \text{干重} &= \text{总重量} - \text{水重量} = \text{总重量} \times (1 - \text{水分含量}) \\
 \text{氮含量} &= \text{干重} \times \text{含氮百分数} \\
 \text{碳含量} &= \text{干重} \times \text{含碳百分数} = \text{氮含量} \times \text{C/N}
 \end{aligned}$$

2. 混合物料一般计算公式

$$\text{水分含量} = \frac{\text{原料 a 水分含量} + \text{原料 b 水分含量} + \text{原料 c 水分含量} + \dots}{\text{所有原料的总重量}}$$

$$= \frac{a \times M_a + b \times M_b + c \times M_c + \dots}{a + b + c + \dots}$$

$$\begin{aligned} C/N &= \frac{\text{原料 a 碳重量} + \text{原料 b 碳重量} + \text{原料 c 碳重量} + \dots}{\text{原料 a 氮重量} + \text{原料 b 氮重量} + \text{原料 c 氮重量} + \dots} \\ &= \frac{C_a \times a \times (1 - M_a) + C_b \times b \times (1 - M_b) + C_c \times c \times (1 - M_c) + \dots}{N_a \times a \times (1 - M_a) + N_b \times b \times (1 - M_b) + N_c \times c \times (1 - M_c) + \dots} \end{aligned}$$

式中, $a, b, c \dots$ 为原料 $a, b, c \dots$ 的总重量; $M_a, M_b, M_c \dots$ 为原料 $a, b, c \dots$ 的水分含量; N_a, N_b, N_c, \dots 为原料 $a, b, c \dots$ 的氮含量 (干重), %; $C_a, C_b, C_c \dots$ 为原料 $a, b, c \dots$ 的碳含量 (干重), %。

对单个组分来讲, 必须知道其水分含量、氮含量 (% , 干重) 和碳含量 (% , 干重) 以及 C/N。若要把重量转变为体积或相反, 则还要知道每一成分的密度。

下面给出了计算堆肥配方比例、水分和 C/N 的案例和步骤。对两种原料的配方来说, 如粪便和调理剂, 调理剂的比例可以直接从预期 C/N 或水分含量求得。

针对两种物料时的计算步骤:

(1) 在预期水分含量下, 单位重量原料 b 所需原料 a 的重量为

$$a = \frac{m_b - M}{M - m_a}$$

(2) 在预期 C/N 下, 单位重量原料 b 所需原料 a 的重量为

$$a = \frac{N_b}{N_a} \times \frac{(R - R_b)}{(R_a - R)} \times \frac{(1 - m_b)}{(1 - m_a)}$$

式中, a 为单位重量原料 b 所需原料 a 的重量; M 为预期混合物料水分含量; m_a 为原料 a 水分含量; m_b 为原料 b 水分含量; R 为预期混合物料 C/N; R_a 为原料 a 的 C/N; R_b 为原料 b 的 C/N。

然后, 再检查混合物料水分是否合适。

但对三种或三种以上原料来说, 其配方应根据上式反复计算求得。在这种情形下, 各原料的配比可先确定下来, 然后计算相应的 C/N 和水分, 若无论是 C/N 还是水分均不合适, 就要调整配方继续计算, 直至取得合适的 C/N 和水分为止。这种计算很烦琐, 若依赖计算机程序则要简单许多。

【案例 2.1】

一堆肥厂以鸡粪为原料, 鸡粪水分为 70%, 为获得良好堆肥效果, 需要用 35% 水分含量的锯末进行调节。假定鸡粪的 C/N 为 10:1, 氮含量为 6%; 锯末的 C/N 为 500:1, 氮含量为 0.11%, 试确定合适的堆肥配方。

第一步: 根据确定的混合物料水分含量, 求物料的搭配比例。

如设定混合物料的水分不超过 60%, 1kg 鸡粪需要 S kg 锯末

$$\begin{aligned} \text{则混合物料水分} &= \frac{\text{鸡粪中水分含量} + \text{锯末中水分含量}}{\text{总重量}} = \frac{0.7 + (0.35 \times S)}{1 + S} = 60\% \\ S &= 0.4 \end{aligned}$$

即每千克鸡粪至少需要用 0.4kg 水分含量为 35% 的锯末进行搭配, 才能保证混合物料的水分含量不超过 60%。

第二步: 根据上述搭配比例, 检验混合物料的 C/N 是否合适。

首先计算两种物料的 C 量和 N 量

每 1kg 鸡粪含:

$$\text{水} = 1\text{kg} \times 0.7 = 0.7\text{kg}$$

干物质 = $1\text{kg} - 0.7\text{kg} = 0.3\text{kg}$

氮 = $0.3\text{kg} \times 0.06 = 0.018\text{kg}$

碳 = $0.018\text{kg} \times 10 = 0.18\text{kg}$

每 1kg 锯末含:

水 = $1\text{kg} \times 0.35 = 0.35\text{kg}$

干物质 = $1\text{kg} - 0.35\text{kg} = 0.65\text{kg}$

氮 = $0.65 \times 0.0011 = 0.00072\text{kg}$

碳 = $0.00072\text{kg} \times 500 = 0.36\text{kg}$

然后计算混合物料的 C/N

$$C/N = \frac{\text{鸡粪 C 量} + \text{锯末 C 量}}{\text{鸡粪 C 量} + \text{锯末 C 量}} = \frac{0.18 + (0.4 \times 0.36)}{0.018 + (0.4 \times 0.00072)} = 17.7$$

计算结果表明, 混合物料 C/N 过低, 须调整物料比例, 增加 C 含量即锯末的使用量。

第三步: 不断调整锯末比例, 每调整一次, 都按上述步骤重新计算混合物料的水分含量和 C/N, 直到都符合堆肥基本要求为止。

经过反复计算, 本案例的优化结果是每千克鸡粪添加 0.6kg 锯末, 混合物料水分为 57%, C/N 为 21。

第四节 原料调节与预处理

一、原料调节

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。在实践中, 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。

(一) 调理剂和膨胀剂的使用

1. 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、垃圾组分、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。堆肥产品再循环可使混合物的容重变小, 在这个意义上, 参加再循环的堆肥产品就可称为调理剂。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新的物料。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加入的调理剂的数量。

2. 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, 使堆体不致坍塌。有时也称“蓬松剂”或“蓬松颗粒”。膨胀剂形成三维的固体颗粒结构, 通过颗粒之

间的相互联系可以自我支持。

如果膨胀剂是有机的,还可提高混合物的能量含量。3~5mm 长的木屑是应用最普遍的膨胀剂,其他材料包括粒状垃圾、碎轮胎、花生壳、树木的修剪物等。

无论是基质,还是调理剂或膨胀剂,都属于原料的一部分。

(二) 湿基质处理

由于湿基质含水率可达 70%~80%,如果水分得不到控制,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、污泥均属不易碎的物料,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,这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,以获得易碎的混合物料,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,包括添加能值高的物料或添加接种剂。

另外还要考虑通畅的空气供应系统和温度控制系统,同时还要保护堆肥混合物免受风雨的侵蚀,因为水分过大堆制就很难进行。

1. 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,去除表面多余的水分。

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如消化污泥、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。

2. 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。

烘干法的另一种方法是把堆肥基质和回流产品一起加热以更好地调节水分含量,这时若把堆肥基质固相从 50%干燥到 70%,每 1g 固相堆肥需去除 0.57g 水分,显然要比直接烘干基质成本低。

(三) 干基质的调节

干基质一般都是易碎多孔的,不必像湿基质一样进行结构调整,且干基质很少需要膨胀剂。但为了使结构更合理,需进行预处理以减小粒径,另外要分离杂质。

【案例 2.2】

50t/d 的风干粪便,固相含量为 60%,与 25t/d 固相含量为 55%的庭院垃圾、25t/d 固相含量为 65%的回流堆肥混合。要求初始混合基质水分含量为 50%,计算所需水分。

基本变量如下:

X_s 为每天生产的主要基质的湿重; X_r 为每天物料循环的湿重; X_a 为每天进入堆肥混合物的调理剂的湿重; X_w 为每天加入的水重量; X_m 为每天进入堆肥过程的混合物料的湿重; S_s 为堆肥基质中固相的比; S_r 为固相中循环物料的比; S_a 为调理剂固相比; S_m 为进料混合物的固相比。

(1) 初始基质要求的固相含量 $S_m = 1 - 0.50 = 0.50$ 。

(2) $S_m = 0.50$ ，由下式计算水分量 X_w ：

$$\begin{aligned} X_w &= [X_s(S_s - S_m) + X_a(S_a - S_m) + X_r(S_r - S_m)] / S_m \quad (X_w > 0) \\ &= [50 \times (0.60 - 0.50) + 25 \times (0.55 - 0.50) + 25 \times (0.65 - 0.50)] / 0.50 \\ &= 20 \text{ t/d 水} = 20 \times 2000 / (0.83 \text{ kg/L}) = 21817.25 \text{ L/d} \end{aligned}$$

(3) 由下式可计算不加水的 S_m 值：

$$\begin{aligned} X_s + X_a + X_r &= X_m \\ S_s X_s + S_a X_a + S_r X_r &= S_m X_m \\ X_m &= 50 + 25 + 25 = 100 \text{ t/d} \\ S_m &= 50 \times 0.60 + 25 \times 0.55 + 25 \times 0.65 = 0.60 = 60\% \end{aligned}$$

我们了解到当水分含量小于 40%~50% 时，堆肥过程受水分限制很明显。因此，利用干基质进行堆肥时需考虑随时加水防止干燥。

(四) 营养调节

某些基质可能除了需要进行水分和孔隙调整外，还需其他的调节。如有些富纤维物质像庭院垃圾和部分城市固体废物，可能缺少微生物快速增长的必需营养，所以，需对初始基质进行调节，以保证微生物有合适的环境生长繁殖。

另外堆肥基质需要一些无机营养来保证微生物的生长。在堆肥系统中氮的需求比其他无机营养物高，所以主要调节氮营养。

在好氧代谢过程中，微生物利用 1 份氮需要 15~30 份碳，即 $C/N = 15 \sim 30$ 。如果 C/N 增加，则堆肥时间延长，如 C/N 为 20，堆肥需要 12 天， C/N 为 78，则需要 21 天。含氮量低会造成“氮”营养受限，限制微生物生长，影响整个堆肥进程。去除一部分高含碳物质或（和）加入一些高含氮物质可以解决高 C/N 的问题。

如果 $C/N \leq 15$ ，则氮过量，不会出现氮限制的情况。堆肥文献中通常认为混合基质的 C/N 必须在 15~30 范围内，其实不然，只是 C/N 在 15~30 时可避免氮营养受限。当 C/N 小于 15 时，过量的氮会随氨挥发而损失。

应用 C/N 时一般假定碳源和氮源基质都是易降解的。需注意的是：对于难降解的有机氮，则不管 C/N 多少，这部分氮都是无效的。所幸的是，自然状态下基质所含的氮绝大部分都是在蛋白质分子中，相对易降解。另外，如果存在难降解的碳源基质，即使是高 C/N ，也不会影响堆肥进程，因为这部分碳几乎不参与微生物的分解和合成。

二、原料预处理

原料预处理是堆肥生产的一个重要环节，对堆肥化进程、发酵效果以及产品质量影响极大，然而在堆肥实践中却往往被忽视。

(一) 预处理对堆肥的影响

由于常用的堆肥原料要么是些没加任何处理的新鲜物料，水分大、杂质多，如畜禽粪便中通常混杂有大量秸秆或垫料；要么是些放置时间较长，形成了大小不一块状的物料，如干鸡粪等。即使是一致性较好的原料，原料间也存在粒度的差异。由于水分、 C/N 、 C/P 、 pH 值等对发酵的影响将在堆肥发酵与调控部分作详细介绍，这里重点讨论物料粒度对堆肥的影响。

1. 对发酵速度的影响

物料粒度过大，不仅影响水分调节的效果，而且也影响混合的均匀度，特别是一些较大团块或纤维素含量较高的物料，如不加破碎或不破碎到一定程度，会造成微生物分解速度的

减慢。如常见的稻秸堆肥,如果稻草不加粉碎,即使在夏季,完全腐熟大概需要2个月左右;如将稻草切成10cm左右的小段,完全腐熟大概不到一个月;如果将稻草磨成3~5mm的草粉,则其完全腐熟时间只要10~15天。由此可见原料预处理对发酵速度的影响。

2. 对发酵效果的影响

不仅原料水分、C/N、C/P以及pH值等影响发酵效果,物料粒度也影响到发酵效果。堆肥过程中,通常能够观察到一些较大的团块没有发酵或发酵不彻底的,主要原因是团块较大时,要么水分吸收过多,含水量过大,物料内部处于一种厌氧状态,好气性微生物不能繁殖或存活;要么是团块吸水性较差,物料内部水分过低,微生物也无法繁殖。

3. 对产品质量的影响

堆肥过程中,如部分物料没经发酵或发酵不彻底,会相应增加未降解有机物的比例,同时也会提高病原微生物发生的概率;如部分物料处于厌氧发酵,该部分物料的养分损失也大,同时厌氧性病原微生物繁殖或发生的概率也高,这些对产品质量都会产生较大影响。

(二) 预处理环节

原料预处理涉及水分调节、粒度及均匀度调节、养分调节以及C/N、C/P、pH值调节等,通俗地说,就是涉及物料的破碎、物料的相互搭配以及物料的均匀混合。

1. 水分调节

由于堆肥原料水分差异大,而堆肥对水分又有比较严格的要求,通常采取物料水分高低搭配、干湿混合的办法进行水分调节。当主料水分较高时,应搭配较低水分含量的辅料;当主料水分含量较低时,辅料的干湿状况对水分调节不会产生大的影响;当主辅料水分含量都高时,应首先选择干燥辅料或部分易干燥的主料,但应以成本最低化为原则。

2. 粒度及均匀度调节

堆肥有机物的分解主要发生在物料颗粒的表面或接近颗粒表面的地方,物料比表面积越大,也就是说物料颗粒越细,有机物的降解速度越快,但其前提条件是需要有足够的氧气供应。通常情况下,当物料粒度达到一定限度后,它和孔隙度是成反比关系的。生产和日常生活中,我们经常遇到当物料过细遇水呈“面糊”状的现象,所以粒度调节是为了寻求物料比表面积和物料空隙度的平衡,保持物料较好的自然供氧量,以维持较高的堆肥有机物分解速率。一般堆肥物料适宜的粒度范围为3~15mm,最佳粒度范围为5~10mm。不同的发酵或供氧方式对物料粒度要求不同,条垛式或静态堆肥取上限,而具有曝气或强制性通风系统的取下限。常用的粒度调节方法有破碎法和混合法,破碎法就是将大的物料用粉碎设备进行破碎至合适的粒度,混合法就是将高水分、过细的物料用适宜粒度的干物料进行混合,调整至适宜的粒度。实际生产中一般都是将两种方法同时使用。

在堆肥调节过程中,与粒度调节密切相关的还有均匀度调节,即原料的混合均匀度。均匀度调节的好坏不仅影响到粒度调节,而且也影响到水分、C/N、C/P、pH值等调节,并最终影响到发酵效果。由于均匀度调节目前还没有一个量化标准,只能采取目测或通过随机取样检测水分、C/N、pH值等进行判断,而在生产实践中往往被忽视。

3. 养分调节

另一个易被忽视的环节是堆肥的养分调节,也是导致堆肥产品质量和应用效果不稳定的重要因素。几乎目前所有的堆肥设计和生产都没考虑过养分调节,而堆肥产品的销售和实际应用效果又主要是由养分决定的。我们知道不同的C、N、P含量可以获得相同的C/N、C/P,但在肥料产品中却形成了不同的养分含量。所以在项目和产品设计中,应首先确定产品类型,根据产品类型估算出C、N、P等指标基数,再根据现有物料的C、N、P的实际数,按照C/N、C/P确定值和发酵过程中C的挥发量,计算出应补充的C、N、P数量。

大量研究表明,快速堆肥适宜的 C/N 为 20~40、C/P 为 75~150、pH 值为 5.5~9.0,最适 C/N 为 25~30、pH 值为 6.5~8.0,堆肥过程中,应根据原料类型,结合养分调节,选择合适的 C/N、C/P、pH 值。

参 考 文 献

- [1] 傅海平,常硕其,刘红艳等.茶园绿肥品种的筛选.茶叶通讯,2010,37(3):6~7.
- [2] 黄芬,曹建华,丁俊峰等.黔西南岩溶区饲料灌木营养元素分析.热带地理,2010,30(3):237~241.
- [3] 解开治,徐培智,陈建生等.绿肥压青配伍不同促腐剂对稻田土壤肥力及其水稻产量的影响.中国农学通报,2010,26(21):177~181.
- [4] 李瑜,付海冬,姚慧敏.集约化畜禽养殖场畜禽粪便资源化利用途径.现代农业科技,2009,5:241~242.
- [5] 李爱萍,郑开斌,林碧英等.蚕豆提高土壤肥力及土壤效力研究.农业与技术,2007,27(2):61~63.
- [6] 李银平,徐文修,李钦钦等.绿肥压青对棉田土壤肥力的影响.新疆农业科学,2009,46(2):262~265.
- [7] 刘红献,铁桂春,李启业.小冠花特性及应用价值.安徽农业科学,2007,35(6):16~46.
- [8] 罗瑛,刘壮,赵君华等.肿柄菊的矿质营养元素分析及评价.热带农业工程,2009,33(3):36~39.
- [9] 牛俊玲,李彦明,陈清.固体有机废物肥料化利用技术.北京:化学工业出版社,2009:202~203.
- [10] 孙志翱,金保升,章名耀等.玉米秆在流化床中燃烧特性的初步研究.太阳能学报,2008,29(12):1563~1568.
- [11] 王晓军,于凤芝,宿庆瑞等.不同绿肥品种综合利用价值的比较.黑龙江农业科学,2010,(6):55~57.

第三章

堆肥系统及特点

国内外堆肥已有悠久的历史，所采用的堆肥系统也各式各样，早期的堆肥一般只是简单地将原料堆成一堆，进行长时间的堆制，很少进行通风和管理，这种堆肥系统长期以来一直是我国农村普遍采用的堆肥方法，适合于农户小规模有机肥积造。由于其不能满足连续供氧的要求，因而厌氧微生物在堆肥过程中占据统治地位，其实质上就是一种厌氧堆肥，存在着堆体升温慢、温度低、有机物分解缓慢、易产生硫化氢以及其他臭味化合物的特点。为克服这种传统堆肥系统的缺点，国外自 20 世纪 50 年代以来开发出各种各样的现代堆肥系统，这些系统具有机械化程度高、处理量大、堆肥速度快、无害化程度高等诸多特点，因此得到了广泛的应用。本章主要介绍国内外一些主流的堆肥系统，以帮助读者掌握堆肥的基本工艺类型和发展趋势。

第一节 堆肥系统的分类及其特点

堆肥系统的分类，因依据要素不同，其分类结果也就丰富多样。有人将堆肥系统按堆料的运动与否分成静态堆肥系统和动态堆肥系统，有人根据堆肥化过程中所采用的机械设备的复杂程度，分为简易堆肥和机械堆肥。应用反应器的系统通常被叫做“机械的”、“封闭的”或“容器的”系统，而不用反应器的系统被称为“开放的”系统。堆肥系统也可依据反应器类型、物料流动特点、翻搅类型以及氧气供应方式等来分类。

目前看，堆肥化系统仅按某一种分类方式进行划分难以全面地介绍清楚实际所采用的不同堆肥工艺，因此，常采用多种分类方式同时并用的情形进行描述。表 3-1 基本概括了大部分历史上和目前沿用的堆肥系统。

表 3-1 国内外主要堆肥系统分类

开放性	搅动	鼓风	堆肥类型
开放	无搅动	不鼓风	传统堆肥
	有搅动	鼓风	静态堆肥
密闭	物料流动方向	不鼓风	条垛堆肥(自然通风)
		鼓风	条垛堆肥(强制通风)
	水平	干预方式	堆肥类型
		静态	隧道式堆肥
密闭	垂直	搅拌	搅拌槽式堆肥
		翻转	转鼓式(DANO)堆肥
		搅拌	塔式堆肥
		填充	筒仓式堆肥

根据堆肥技术的复杂程度以及使用情况,主要有三大类堆肥系统:条垛式、静态垛式和反应器系统。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中的有氧状态;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,能更有效地确保堆体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,通气和水分条件得到了更好的控制。表 3-2 对常见的条垛堆肥、静态堆肥和反应器堆肥的优缺点进行了比较。表 3-3 显示出了不同堆肥系统在美国污泥堆肥厂中的使用情况。

表 3-2 各种堆肥系统的优缺点比较

项 目	条垛堆肥	静态堆肥	反应器堆肥
投资成本	低	低	高
运行和维护费用	较低	低	高
操作难度	低	较低	难
受气候条件影响大小	大	较大	小
臭味控制	差	良	优
占地面积	大	中	小
堆肥时间	长	中	短
堆肥产品质量	良	良	优

表 3-3 美国污泥堆肥厂不同工艺分布情况

年份	总数	运行数	条垛堆肥	静态堆肥	反应器堆肥	其他
1985	173	79			3	
1986	178	89			8	
1987	197	107			15	
1988	219	115		61	19	
1989	227	119				
1990	255	133	25	76	24	8
1992	290	159	34	77	33	21
1993	321	182	38	92	36	18

资料来源:魏源送等,1999。

注:除总数外,其余数字均表示处在运行阶段。

国内目前大量使用的槽式堆肥严格意义上都不属于上述的堆肥分类,实际上是一种介于条垛堆肥与搅拌槽式堆肥间的特殊类型,它具备搅拌设备和通风设施,但又不属露天开放式堆肥,虽然通常建有顶棚遮盖设施,但又不具备严格的反应器控制系统,考虑到这种堆肥方式的普及性,下面也将给予专门介绍。

第二节 条垛堆肥

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,适合多种原料以及运行成本低,目前已得到广泛应用。

印度的 Albert Howard 先生在 1925 年提出的堆肥工艺实质上就属于条垛堆肥系统。他将垃圾、厩肥、大粪、土壤、稻草或木材类物质等堆成层直到 1.5m 高,堆制时间一般是 120~180 天,期间手工翻堆若干次,这种工艺经印度农业研究委员会改进之后被广泛应用。1931 年提出的 VAM 工艺实质上是 Indore 工艺的改进,主要用于堆制垃圾。现代条垛系

统配套的场地更大、设备更先进、处理能力更大，已广泛地用于堆制包括粪便、污水污泥、树叶和庭院废弃物等多种有机废弃物。

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形、不规则四边形或三角形，常见的堆体高1~3m，宽2~8m，条垛堆体的长度可根据堆肥物料量和堆场的实际位置来决定，一般在30~100m。图3-1为条垛式堆肥系统示意。

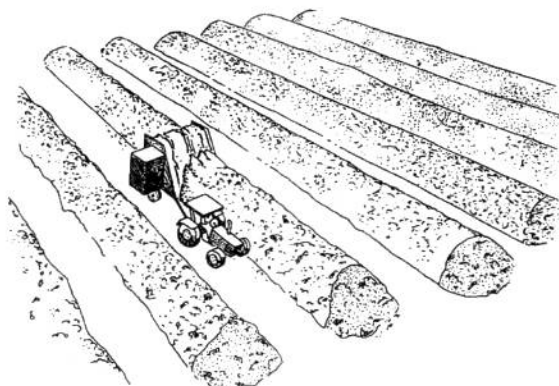


图 3-1 条垛式堆肥系统示意

条垛堆肥的氧气主要是通过条垛里的热气上升造成的自然通风或是通过强制通风来供应，同时翻堆过程中的气体交换也可以较小程度地供应（图3-2）。在强制通风条垛系统里，氧气在鼓风机的强制或诱导通风的帮助下进入条垛。在许多堆肥文献里，不管是强制还是诱导通风，都采用“强制通风”一词。严格地说，强制通风适用于环境里的空气在正压力的作用下强制进入原料里面的情况；而诱导通风则适用于环境里的空气在负压力的作用下从原料里面出来的情况。一般通风速率由条垛的孔隙度决定，条垛太大，在其中心位置附近会有厌氧区，当翻动条垛时有臭气释放；条垛太小，其散热迅速，堆温不能杀灭病原体和杂草种子，水分蒸发少。

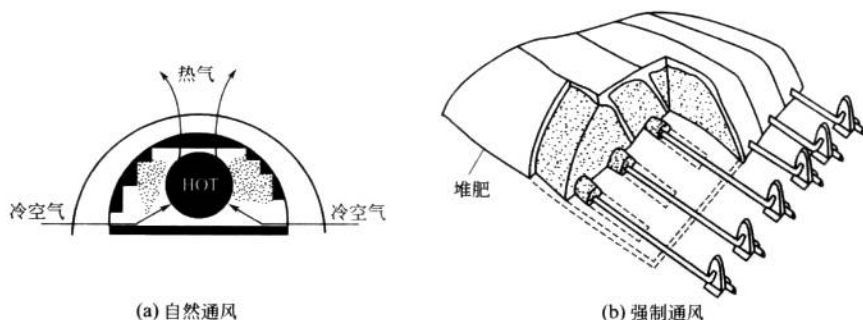
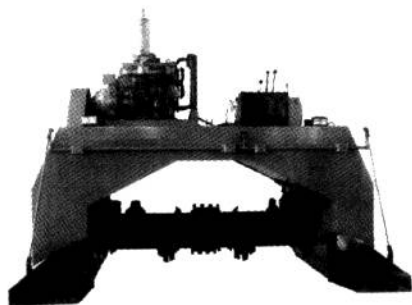


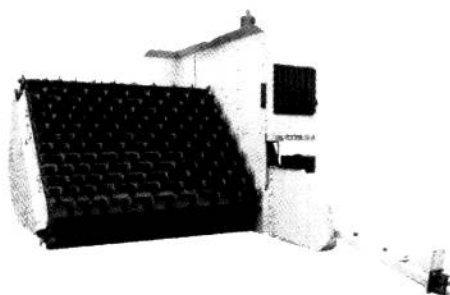
图 3-2 条垛堆肥氧气自然通风及强制通风示意

无论哪种情况下，都要对条垛进行周期性的翻动，使其结构得到调整。条垛堆肥的翻堆主要通过翻堆机完成，国内外现已开发出许多用于条垛翻堆的专门机械（图3-3）。这些机器大量的节省了时间和劳力，使原料能完全得到混合，堆肥也更均匀。在这些设备中，一部分机械靠农场拖拉机牵引，一部分自身具有驱动系统，还有一部分机器能装载在条垛旁的卡车或货车上。

条垛式堆肥系统可以作为单一系统独立使用，也可以与其他堆肥系统联合使用，例如以



(a) 自走条垛螺旋滚筒式翻堆机



(b) 牵引条垛式链板式翻堆机

图 3-3 条垛式翻堆机

色列和墨西哥将条垛堆肥系统用在其他反应器堆肥系统的后处理阶段。

第三节 静态堆肥

静态堆肥是将原料混合物堆放在用小木块、碎稻草或其他透气性能良好的材料做成的通气层上，通气层中铺设通气管道，通气管道与风机相连向堆体供气完成堆肥的工艺，与条垛堆肥不同之处是堆肥过程中不进行物料的翻堆，有专门的通风系统和风机为堆体强制供气。

静态堆肥工艺是由美国农业部马里兰州 BELTSVILLE 的农业研究中心开发的。1972~1973 年间，该中心成功开发出了利用木屑作为膨胀材料处理消化污泥的条垛堆肥工艺，但当把该工艺用于处理粗污泥时遇到了产生臭味的问题，通气静态系统就是为了解决发酵产生臭味的问题开发的，该工艺称为“静态堆肥”工艺，有时也称 BELTSVILLE 工艺。

静态堆肥工艺在美国得到了广泛应用，1990 年有超过 76 座设施在运行。它主要用于湿基质的堆肥，通常添加膨胀材料调整堆体的孔隙度。静态堆肥使用管道及鼓风机向堆体供气。当管道建造好以后，不需要对原料进行翻堆。如果空气供应很充足，堆料混合均匀，堆肥周期大约为 3~5 周。图 3-4 为静态堆肥系统简图。

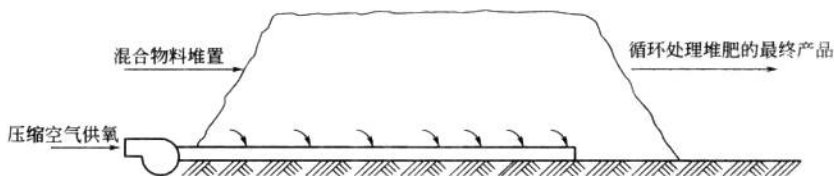


图 3-4 静态堆肥系统简图

静态堆肥堆体可根据原料的透气性、天气条件以及所用设备性能来建造，一般来说，建造相对高的堆体有利于冬季保存热量，另外可以在堆体的表面铺一层腐熟堆肥，使堆体保湿、绝热、防止热量损失、防蝇并过滤氨气和其他可能在堆体内产生的臭气（图 3-5）。

堆体的长度受堆体中气体输送条件的限制。如果堆体太长，距离鼓风机最远的位置很难得到氧气，可能产生厌氧，部分堆肥不能达到腐熟。通常需要添加硬度较大的固体调理剂（如稻草和碎木片）来维持堆体良好的透气性结构。为了使空气分布更合理，粪便或污泥在堆制之前必须和调理剂彻底混合。

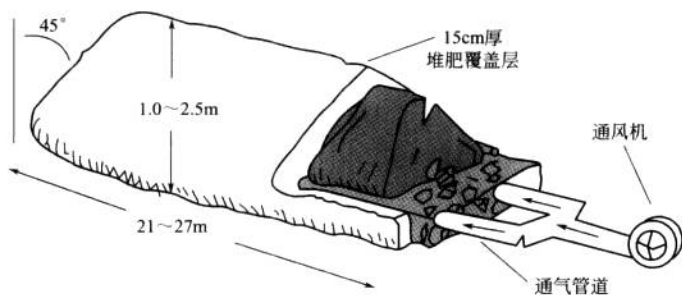


图 3-5 静态垛堆肥示意

由于静态堆肥不进行翻堆，通气是堆肥过程中的关键操作。通气可采用向堆体强制通气或诱导抽气的方式。通气控制通常有两种方法，一种叫时间控制法，其原理是采用定时器控制鼓风，是一种简单而又廉价的方法，该方法可通过控制时间来提供足够的空气以满足堆肥对氧气的需要，尽管如此，这种方法并不能保持最佳的温度，有时温度甚至会超过所需的限度，堆肥发酵的速度也会由于高温而受到限制。另外一种叫温度控制法，该方法为保持最佳堆体温度，采用温度传感器（如热电偶）进行实时监测，当堆体温度达到设定温度时，从传感器中发出的电子信号能通过控制器让鼓风机工作或停止。当温度达到设定的高温点时，鼓风机启动起到降温的作用；当堆体冷却到设定的低温点时，系统则会关闭鼓风机。和时间控制方法比较，温度控制所需的鼓风机更大，气流速率更快，因而需要更昂贵和更先进的温度控制系统。

通风速率被用来表示每吨干固形物每小时需要提供的风量 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t ds})$]，是堆肥过程中的重要工艺参数。根据通风需求和堆料组成，大部分堆料所需氧气的理论值是 $1.2 \sim 2.0 \text{ g O}_2/\text{g}$ 挥发性固形物 (BVS, biodegradable volatile solids)。通风速率可分为最小、平均和最高速率。最高通风速率通常是平均通风速率的 $4 \sim 6$ 倍，其对间歇堆肥过程的影响大于对连续堆肥过程的影响。Epstein 等认为通风管道的间距是整个堆体达到高温的关键，通风量应为 $9 \sim 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t 干污泥})$ 。BELTSVILLE 工艺通常需要提供 $14.2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t ds})$ 的风量以保持堆体氧气在 $5\% \sim 15\%$ 之间，新的设计要求通风量要达到 $56.8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t ds})$ ，顶峰时接近 $142 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t ds})$ 。高风量设计目前已无例外的均在使用。实际上，通风量应根据各系统的具体情况进行调整。

通常静态堆肥系统的操作步骤如下：①按比例把物料和调理剂混合；②在永久的通气管或临时的多孔通气管上覆盖约为 10 cm 厚的调理剂，形成堆肥床；③把物料/调理剂的混合物加到堆肥床上；④在堆体的外表覆盖一层已过筛或未过筛的腐熟堆肥；⑤把鼓风（空压）机连接到通风管道上。

此时堆体即开始发酵，鼓风机可以把空气吹到堆体内（强制式），也可把空气吸出堆体（诱导式）。在诱导式控制模式下，吹风机排出的废气可以收集起来，经过脱臭再排放出去。

考虑到湿基质发酵过程中添加的膨胀剂体积较大且成本较高（如木屑），以及清除大型膨胀剂后可改善产品质量的情形，一般要求发酵完成后要把膨胀剂分离出来并重新再利用。若采用木屑或其他可降解材料作为膨胀物，发酵过程中必然存在降解和物理性破碎，最后由于基质直径的减少有些膨胀剂会通过筛眼进入发酵料中，这样就需要在下次发酵时添加新的膨胀剂以保持平衡。

通常堆体下还会有一些淋滤液，在诱导式通风控制模式下，风机风头下必须设置一个水池，以收集沉淀物，这些淋滤液和沉淀物均应达到收集和处理。

第四节 槽式堆肥

如前所述,本书所提及的槽式堆肥实际上是一种介于条垛堆肥与搅拌槽式堆肥间的特殊类型,堆肥过程发生在长而窄的被称作“槽”的通道内,通道墙体的上方架设轨道,在轨道上有一台翻堆机可对物料进行翻堆,槽的底部铺设设有曝气管道可对堆料进行通风曝气,是可控通风与定期翻堆相结合的堆肥系统。

已有资料显示,槽式堆肥是20世纪中叶出现的一种比较新的堆肥系统,最早由日本人冈田制作所提出,又称为OKADA工艺。1966年美国出现的METRO-WASTE工艺是由多个并列的箱(槽)构成,每个宽约6.10m,深3.04m,长度60.96~121.92m,箱体墙上安装有铁轨,其上有布料机移动,并通过翻动及向前移动对堆体进行间断性搅拌。PAYGRO工艺在以上基础上还增设了臭气收集和净化系统。1985年在日本槽式系统的基础上INTERNATIONAL PROCESS SYSTEMS公司提出的IPS工艺是一种典型的槽式堆肥系统,槽宽2m,高1.83m,槽的长度依发酵时间(一般18~24天)调整,空气从槽的底部供应。堆料从每个槽的一端输入,每天翻堆一次,每次翻动物料沿槽向前移动3.05~3.66m,翻堆设备的操作是全自动的,不需要操作人员,这种系统到1991年在美国就有13套设施在运行或建设。

综合考虑已有的槽式堆肥系统,我们可以根据物料的移动方式将其分成两种类型,一种是整进整出式(图3-6),是将堆肥物料通过布料机或者铲车一次布满整个发酵槽,通过铰龙、驳齿等不同的翻拌设备,使堆肥物料通风、粉碎,并保持孔隙度,物料在整个发酵过程中不发生位移,或者位移很小,发酵结束后用出料机或者铲车再将物料清出。另一种是连续式(图3-7),堆肥物料在发酵槽中的翻堆是通过链板、料斗等能使物料发生位移的搅动而完成,一般翻堆一次,物料可以在发酵槽中前进2~4m,也可以通过皮带传输,进行更长距离的位移,在连续式堆肥发酵中原料被布料斗放置在槽的首端,随着翻堆机在轨道上移动、搅拌,堆肥混合原料向槽的另一端位移,当原料基本腐熟时,能刚好被移出槽外。这种堆肥系统因为操作简便,节约人工、能耗低,近年来在我国应用较为广泛。

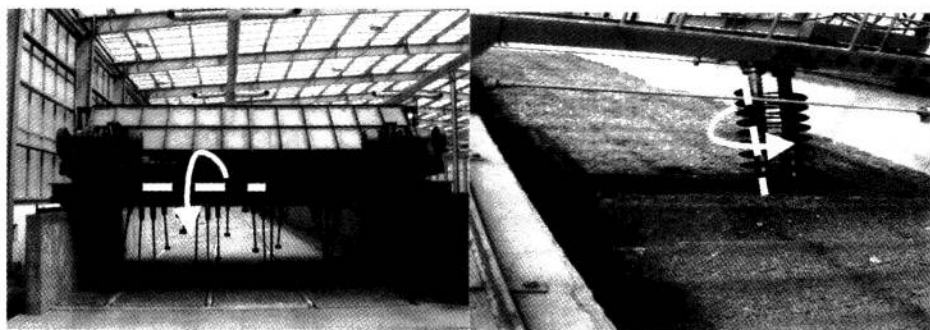


图3-6 整进整出式槽式翻堆机(注:箭头表示旋转方向,虚线表示旋转中心轴)

槽式翻堆机与条垛式翻堆机相似,它用旋转的桨叶、螺杆、链板或滚筒等使堆肥物料翻动,使原料通风、粉碎并保持孔隙度。目前使用的翻堆机自动化程度高,机器利用控制开关可以自动工作,有的还可以遥控,同时多数槽式翻堆机配备了移行车,能使翻

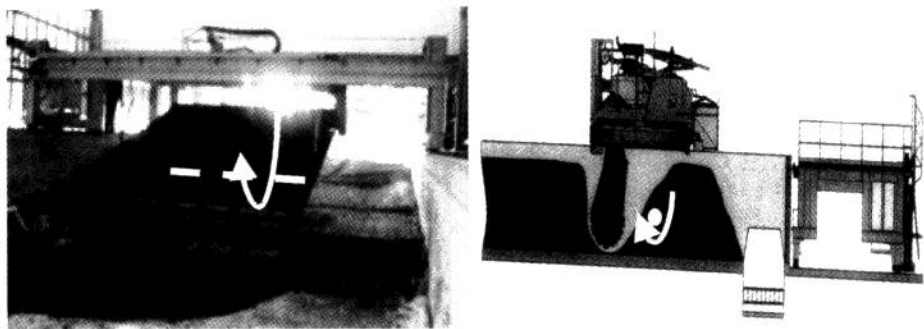


图 3-7 连续式槽式堆肥机（注：箭头表示旋转方向，虚线表示旋转中心轴）

堆机从一个槽转移至另一个槽上，那么一台翻堆机就能用于多个槽的翻堆，设备使用效率提高。

大部分工厂化堆肥系统为了达到快速堆肥的目的，都在发酵槽底安装通气装置。由于沿着槽的长度方向放置的原料处于堆肥过程的不同阶段，因而沿着长度方向将鼓风槽分为不同的通风带，槽式堆肥系统可使用几台鼓风机，每台鼓风机把空气输送到槽的一个地带，并由温度传感器或定时器独立控制。

系统的容量由槽的数量和面积决定。槽的尺寸必须和翻堆机的大小保持一致。为了保护机器设备并控制堆肥条件，槽要建造在建筑物或温室内。如果在温带的气候条件下，则仅需加上顶棚即可。

槽的长度和预定的翻堆次数决定了堆肥周期。鼓风槽式堆肥系统的建议堆肥周期为 2~4 周。槽式堆肥系统的最大优点是占地面积小、堆肥周期短、堆肥产品质量均匀以及节约劳动力。国内目前有几家单位均在开展槽式翻堆机的研究和生产，一些大型堆肥厂采用槽式堆肥，日处理规模可高达 500 余吨。

第五节 反应器堆肥

20 世纪 80 年代后，世界各国开始研发出大量的反应器堆肥系统，有的被称为“容器系统”，也有的被称为“消化器”或“发酵器”。堆肥反应器设备必须具有改善和促进微生物新陈代谢的功能，在发酵过程中要运行翻堆、曝气、搅拌、混合、协助通风等设施或操作来控制堆体的温度和含水率，同时在反应器堆肥中还要解决物料移动、出料的问题，最终达到提高发酵速率、缩短发酵周期，实现机械化生产的目的。

近年来堆肥反应器系统发展较快，不同的系统类型层出不穷，按物料的流向可将反应器堆肥系统分为：水平流向反应器和竖直流向反应器。水平流向反应器包括旋转仓式、搅动仓式；竖直流向反应器包括搅动固定床式、包裹仓式。美国国家环保局把反应器堆肥系统分为：推流式（plug flow）和动态（dynamic）混合式。推流式系统中入口进料，出口出料，不同时间阶段的物料在堆肥发酵仓中的停留时间相同；动态混合式系统中，用机械不停地搅动混匀物料。根据不同的发酵仓的形状，推流式系统又可以分为圆筒形反应器、长方形反应器和沟槽式反应器；动态混合式可以分为长方形发酵塔和环形发酵塔。也有研究者根据通风方式、有无搅拌和外形特点，将反应器系统分为被动通风反应器系统、强制通风无搅拌反应器系统、强制通风有搅拌反应器系统和滚筒反应器系统（表 3-4）。

表 3-4 国外常见的堆肥反应器系统

反应器系统	特 点	典型系统	性能指标
被动通风反应器	利用堆体内外氧气浓度和温度差异及风力作用,使外部空气向堆体内扩散	TSC 系统(英国)	32 个物料仓相连,每个仓 $4.3\text{m} \times 1.2\text{m} \times 7.3\text{m}$,处理能力 600t/d
	优点:节约能耗和成本; 缺点:不能有效控制通风量变化	HOT BOX 系统(美国)	立方体, 0.73m^3 ,底部、中部各插 3 根带孔 PVC 管
强制通风无搅拌反应器	堆肥过程中不进行翻堆和搅拌,使用风机对堆肥物料通风供氧,多采用底部进气,尾气由顶部管道排出净化,一般通过时间或时间-温度反馈控制,多采用一台风机、多个反应器和一套尾气净化装置	CSS 系统(美国)	长方体、内外两层,内层底部蓄水,外层绝热,用于室外或室内,处理能力 150t/d
		Nature-Tech 系统(美国)	4 种型号,多种容积;生产费用 $6.0 \sim 18.0$ 美元/t,投资成本 $12 \sim 36$ 美元/t
		Eco Pod 系统(美国)	是可降解材料制成的聚乙烯袋。处理能力 $76 \sim 200\text{t}$,堆置 $8 \sim 12$ 周,年处理能力 $\geq 25000\text{t}$
		CM PRO 系统(美国)	容积 1.3m^3 ,可配 16 个反应器,2 个生物滤池,堆制时间 ≥ 3 周
强制通风有搅拌反应器	所包含的设备与强制通风无搅拌反应器系统类似,增加了搅拌功能、减少了物料温度、湿度和氧气浓度的差异,加快反应进程	Earth Tub 系统(美国)	形状类似盆形,单个容器 2.3m^3 ,每周搅拌两次,堆制时间 $3 \sim 4$ 周
		Wright 系统(加拿大)	构造复杂,可进行连续的堆肥生产,内部包括含 3 个反应室和若干物料舱,堆制时间 4 周,处理能力 $136 \sim 1000\text{kg/d}$
滚筒反应器	用圆柱形滚筒作为反应器,滚筒的轴线呈水平或是与水平方向有一定的倾角,在传动装置作用下使物料的温度、水分均匀化,同时获得氧气	DANO 滚筒系统(丹麦)	直径 $2.7 \sim 3.7\text{m}$,长 45.8m ,转速 $0.1 \sim 1.0\text{r/min}$,堆制时间 $1 \sim 5$ 天
		Bedminster 滚筒系统(瑞典)	直径 $3.4 \sim 3.7\text{m}$,长 $36.6 \sim 54.6\text{m}$,转速 1.0r/min ,堆制时间 $3 \sim 6$ 天,处理能力 $10 \sim 200\text{t/d}$

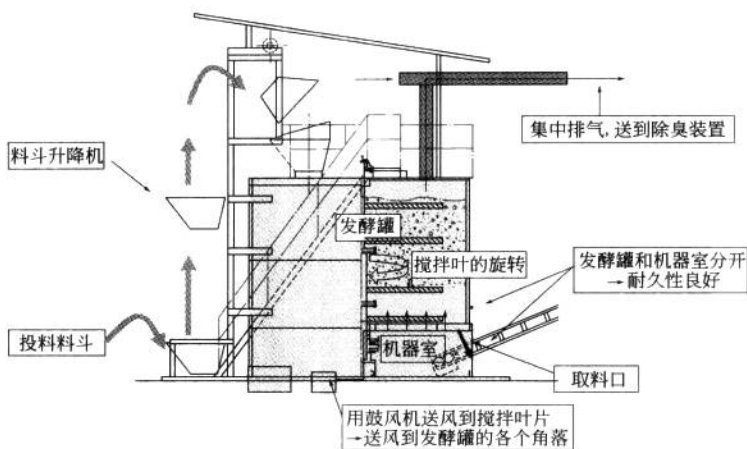
资料来源:王一鸣等,2011。

从技术水平而言,目前国外的反应器堆肥系统技术和设备已日趋完善,基本上达到了规模化和产业化的水平。如表 3-3 所列,美国污泥堆肥厂使用的反应器堆肥系统从 1985 年的 3 个增加到 1993 年的 36 个,反应器系统在实际生产中得到了越来越多的应用。

下面介绍几种常见的反应器堆肥类型。

1. 筒仓式堆肥反应器

该反应器堆肥系统是一种从顶部进料底部卸出堆肥的筒仓,每天都由一台旋转桨或轴在筒仓的上部混合堆肥原料,从底部取出堆肥。通风系统使空气从筒仓的底部通过堆料,在筒仓的上部收集和处理废气。这种堆肥方式典型的堆肥周期为 10 天。每天取出堆肥的体积或重新装入原料的体积约是筒仓体积的 $1/10$ 。从筒仓中取出的堆肥经常堆放在第二个通气筒仓。由于原料在筒仓中垂直堆放,因而这种系统使堆肥的占地面积很小。尽管如此,这种堆肥方式仍需要克服物料压实、温度控制和通气等问题,因为原料在仓内得不到充分混合,必须在进入筒仓之前就混合均匀。图 3-8 是日本的一种筒仓式堆肥系统,发酵室的总容量是 66.0m^3 ,每天通过进料料斗可进料约 6m^3 ,物料在反应室中发酵 10 天,可用于生活垃圾、养殖粪污、污泥等有机固体废弃物的处理。



(a) 示意图



(b) 实物图

图 3-8 典型的筒仓式堆肥系统

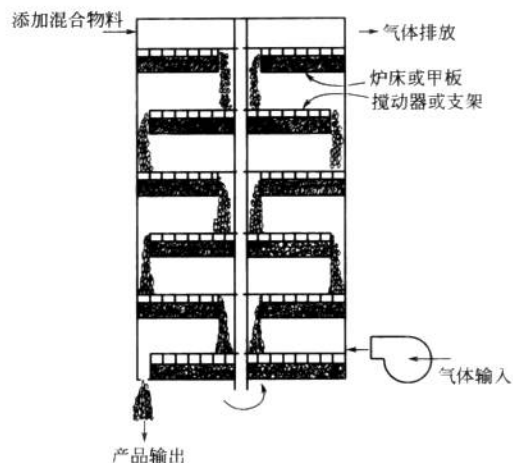
2. 塔式堆肥反应器

图 3-9 是典型的塔式发酵工艺。新鲜的畜禽粪便、发酵菌剂和发酵所需的各种辅料，搅拌均匀后经皮带或料斗设备提升到多层的塔式发酵仓内，堆肥物料被连续地或间歇地输入这些系统，通常允许物料从反应器的顶部向底部周期性地运输下落，同时在塔内通过翻板的翻动进行通风、干燥。这种堆肥系统的特点是省地省工，但相对投资较大，设备维修困难。

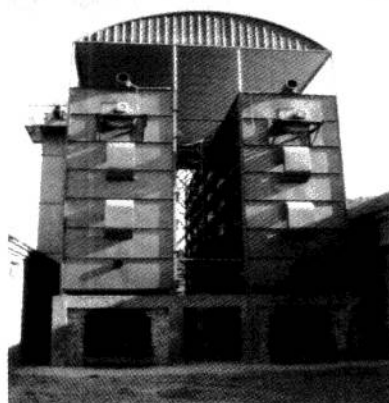
我国学者陈海滨和万迎峰（2006）设计的发酵塔反应器，其基本结构为密封式多层发酵舱（3~5 层），每层底部为活动翻板，发酵原料由装置的顶部进入，经布料装置撒入顶层发酵舱，一定间隔期后，发酵原料在重力作用下经活动翻板落入下层，以此类推，发酵塔顶部设有抽风口，外接除臭系统，装置的两侧设有通风及排风管线，将空气引入活动翻板下面，经活动翻板的缝隙进入上一层发酵舱，从上一层发酵舱的上部或顶部排出，实现供氧及散热功能，发酵周期为 4~6 天。

3. 滚筒式堆肥反应器

滚筒式堆肥反应器是一个使用水平滚筒来混合、通风以及输出物料的堆肥系统。滚筒架



(a) 示意图



(b) 实景图

图 3-9 典型的塔式堆肥系统

在大的支座上，并且通过一个机械传动装置来翻动。在滚筒中堆肥过程很快开始，易降解物质很快被好氧降解。但是堆肥必须被进一步降解，通常采用条垛或静态好氧堆肥来完成堆肥过程的第二阶段。在一些商业堆肥系统中堆料在滚筒中停留不到 1 天，滚筒基本上作为一种混合设备。图 3-10 是一个典型的滚筒式堆肥系统简图。图 3-11 是 DANO 滚筒系统。

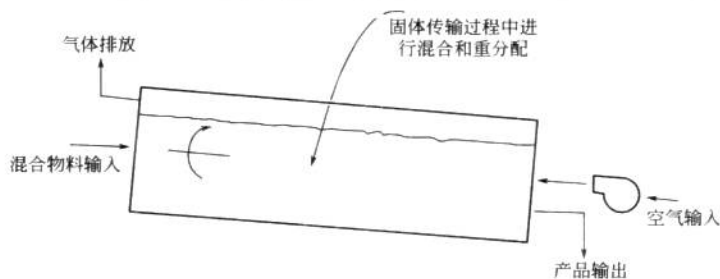


图 3-10 滚筒式堆肥系统简图

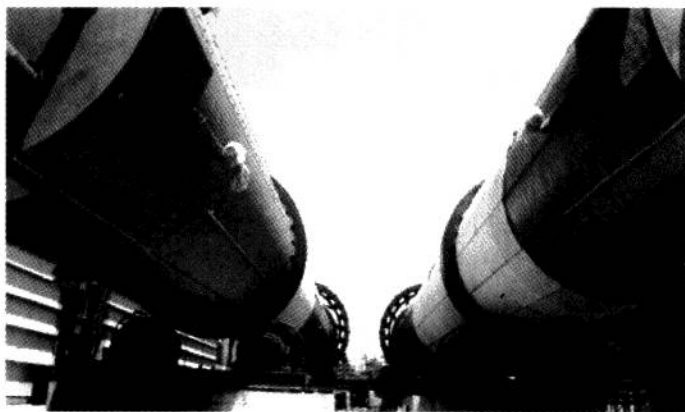


图 3-11 DANO 滚筒系统

由滚筒的出料端提供通气,原料在滚筒中翻动时与空气混合在一起。空气的流动方向和原料运动方向相反。靠近滚筒的出料端,堆肥由新鲜空气冷却;在滚筒的中部,气流温度升高且堆肥速率加快;在滚筒的入口处,添加新的堆料,气流温度最高,堆肥过程开始。

滚筒可为合体式滚筒或分体式滚筒。合体式滚筒使所有堆料按照其装入滚筒时的次序运动,滚筒旋转的速度和旋转时滚筒中轴线的倾斜度决定了堆肥的停留时间。一个分体式滚筒的管理要比合体式滚筒方便。分体式滚筒分为两或三个仓,每个仓包括一个装有一个移动门的移动箱。每天堆肥结束后,滚筒出料端的移动门被打开,隔仓被清空,其他隔仓随后开放并相继移动,一批新堆料被装入第一个隔仓。每个移动门都有一个基座以成功实现批次接种微生物。堆肥产品可由出料端直接输送到分选机,分选机去除大颗粒物质,大颗粒物质被送回滚筒中进一步堆肥处理。

对于小型滚筒式堆肥系统而言,滚筒可由旧设备(如混凝土搅拌机、饲料混合机以及旧的水泥窑)等改造而成,尽管没有商业设备那么高级,但是其功能(混合、通风以及使堆肥过程迅速开始)仍然相同。

4. 搅动箱堆肥反应器

搅动箱堆肥反应器是一种水平流动的、通风固体搅拌箱式反应器,它采用强制通风和机械搅动,可以使操作更加灵活。反应器通常不封顶,而且是安装在建筑物内,为的是能够全天操作和控制杂质。许多反应器一天只进行一次原料循环。

矩形搅动反应器系统的搅动装置安装在箱壁顶端的横竿上运转,原料从箱子的一端进入然后靠搅动装置沿箱子移动,最后从箱子的另一端出来。箱式系统的长宽可调节,有较小的箱子宽2m、长2m,较大的箱子宽可达6m、高3m、长220m。较大的箱子通过把基质沿着箱子的长度放在指定的格子内操作。原料在一个星期后翻转,而且一直保存在指定的格子内,直到可以移出。如果用小箱子,原料可以每天搅动。图3-12 矩形搅动箱反应器系统图。

5. 圆形搅拌床堆肥反应器

圆形搅拌床堆肥反应器是一种通过翻搅使物料从圆的周边向圆中心移动的堆肥装置。堆肥物料通过装在旋转臂上的输送系统从反应器的边沿进入,经过装在一个旋转臂上的垂直螺杆搅拌,原料沿外围给入。钻头在反应器里面搅动原料,而且将新的原料与旧的堆肥物质混合。原料逐渐地输送到反应器的中心,在那里经过一个可以调节的溢流口下落到一个出口传送带上,这个出口传送带位于反应器下面的传输装置上。空气从底部的分布环进入,上部为活动的圆形顶,可以根据操作要求打开或关闭圆顶(图3-13)。

文献报道纽约的Clinton县采用的圆形搅拌床堆肥反应器系统包括两个圆形搅拌床反应器,每个反应器的直径是34.14m,物料的停留时间为14天,日处理含水率为80%的污



图3-12 矩形搅动箱反应器系统

泥 170t。

6. 隧道窑式堆肥反应器

隧道窑式堆肥反应器是一种全封闭式发酵系统，把发酵槽做成了相互独立的隧道式结构，像一节矩形断面的隧道，物料在发酵过程和翻堆时产生的一些臭气和粉尘，可以通过废气收集管道抽出并集中进行处理，尽可能减少对环境和人员带来的不利影响（图 3-14）。发酵仓的尺寸和数量可以根据所处理物料量的多少来决定。在发酵仓的底部有通风管道，并通过控制系统向发酵仓内供风。隧道式发酵仓堆肥周期为 7~15 天，堆肥温度可以上升至 60~70℃。这种系统的特点是自动化程度高、环保系数高、设备相对不容易过度磨损，使用寿命较长，而且每个隧道内部工艺都可以直接独立控制，为近年来欧洲国家在垃圾堆肥领域所普遍采用。

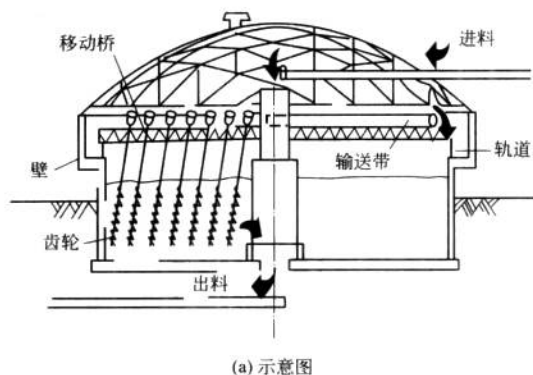


图 3-13 圆形搅拌机堆肥反应器系统

北京市南宫垃圾堆肥厂采用的好氧式隧道堆肥系统，日处理可堆肥垃圾 600t，堆肥垃圾进厂后进行称重计量，布料机把垃圾送入 30 个主发酵隧道，每个发酵隧道 200m³，垃圾经过两个星期的高温发酵后，垃圾体积可降解 30%~40%，传送系统把发酵的垃圾转送到后熟化区，再进行 3 个星期的熟化，经过筛分分成垃圾肥和残渣，残渣运到填埋场填埋，垃圾肥转入最终熟化区再进行 3 个星期的熟化，再经过一系列筛分制成 0~12mm 的成品垃圾肥。

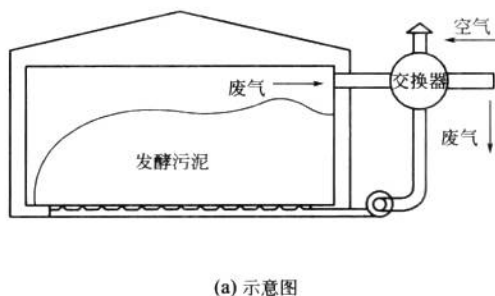


图 3-14 隧道窑式堆肥系统示意及实景

上述堆肥系统目前在世界各地均有应用，每一种系统都有各自的优缺点，实际应用中采用那一种系统主要是取决于特定的条件，也就是说，一种适宜的堆肥系统的选择永远是一个

基于因地制宜的决策,没有一个系统适合于所有的环境条件,市场上保持多样化的堆肥设施是一种合理健康的表现。堆肥厂可以根据自己的物料、场地、生产规模、当地气候、环保政策、投资、产品质量等来选择最切合自身实际的堆肥系统。

参 考 文 献

- [1] 陈海滨,万迎峰.重力翻板式垃圾快速堆肥装置的工艺设计.环境卫生工程,2006,14(1):40~43.
- [2] 王一明,林先贵.有机废弃物新型快速发酵技术研发及产业化.见:李俊等.农业微生物研究与产业化进展.北京:科学出版社,2011.
- [3] 万英,赵卫兵,霍跃文.污泥堆肥设备的现状及发展前景.环境保护,2002,20:31~32.
- [4] 魏源送,王敏健,王菊思.堆肥技术与进展.环境科学进展,1999,7(3):11~23.
- [5] 余群,董红敏,张肇鲲.国内外堆肥技术研究进展.安徽农业大学学报,2003,30(1):109~112.
- [6] 张锐,韩鲁佳.好氧堆肥反应器系统在废弃物处理中的应用.农机化研究,2006,(10):173~178.
- [7] Epstein E, Alpert J E. Composting: Engineering Practice and Economic Analysis. Wat. Sci. Tech., 1983, 15: 157~167.
- [8] Haug R T. The Practical Handbook of Compost Engineering, Boca Raton Fla: Lewis Publishers, 1993.

第四章

堆肥厂规划与设计

第一节 堆肥厂选址与布局

资源、环境、资金、政策和市场是影响堆肥项目建设的几个重要因素，也是项目建设的基础。在整个堆肥厂设计的过程中，选址和布局是一个关键的步骤。厂址选择应在当地社会经济发展规划的政策背景下，结合资源和资金条件，考虑区域范围内的市场容量，谨慎确定。

在政策、资金和市场允许的情况下，堆肥厂的选址主要考虑两个因素：一是收集原料和运输产品的便利性；二是堆肥厂与周边环境的协调。堆肥厂的布局则要在满足建设用地地形条件的基础上，考虑堆肥工艺的工序衔接，确保物料运输距离尽量短，体现系统运行节能等。

一、堆肥厂选址

（一）运输便利性

原料的资源状况是堆肥设施厂址选择的主要限制因素，建设一个规模化的堆肥项目，要求由本地化的、充足的、稳定的原料市场作保证。原料决定设备选型、产品类型和生产规模，不能掌握或控制足够原料的堆肥项目是很难具备市场竞争力的。

堆肥处理设施设计在厂址选择时，应利于原材料的收集、输入和堆肥产品的输出。充分考虑原料输入和产品输出双重因素，权衡厂址与原料产地和肥料使用地的距离后决定。由于每天都要收集、运入原材料，且原料含水率及其对环境的影响均大大高于产品，在集中建设一个大规模设施时，原料运输成本一般均高于产品运输，这样厂址选择应以原料运输为主要考虑因素，同时兼顾产品运输。一般应把堆肥厂建在距离原材料收集地 25km 内。

考虑到周边的环境影响，越来越多的堆肥厂建在了离农户聚集地较远的地点。实际规划中应综合考虑原材料的收集、运输时间和费用，与主要客户的距离等要素，在考虑勘察原材料产地和产品使用农地两方面情况之后再决定设施的建设地址。

（二）环境协调性

设施建成并投入使用时要注意避免产生公害，这在设施建设过程中非常重要。作为设施周边环境中的一个项目，设施运行时有产生臭气、粉尘、噪声、震动和污水的可能。特别是在人口密集的地方建设堆肥设施时，即使排放的臭气符合恶臭污染物排放标准，也会产生问题。为了不使臭气、粉尘、噪声、振动和污水对周边环境产生影响，应在整个设施中探讨环境污染的控制措施。

在设施设计建设的过程中，粉尘、噪声、振动和污水分别可以采取除尘、隔声、减震和

污水回用的措施加以消除,实践证明这些措施非常有效,因此在堆肥设施实际运行时,臭气处理成为环境污染控制的主要考虑因素。

综上所述,堆肥厂址的选择应遵循的一般原则为:①主要原料集中、量大,取运方便;②交通、通讯便利;③水、电及其他能源有保障;④尽可能远离居民区;⑤靠近规模化特色农业种植区。

二、平面布局

(一) 厂区平面布局原则

堆肥厂布局应根据秩序、效率的原则进行设计和建设,所谓秩序原则就是布局应遵循堆肥系统顺序和工艺顺序,保证工艺的顺畅;所谓效率原则就是布局应能满足最大限度地提高劳动生产效率,保证生产的便捷,能以较低的能耗、较少的用工、适宜的劳动强度获得较高的产能和最佳产品质量。

1. 区域布局

总体布局要功能分区明确,建筑平面布局要考虑洁污分区的环境卫生要求。在资金、场地允许的情况下,应尽可能地明确划分生产区、办公区和生活区,尽量减少堆肥原料对办公环境和生活环境的影响;同时也便于维护和保持厂内正常生产秩序。一般情况下,应将办公区和生活区安排在整个项目区的上风向。

2. 系统布局

系统布局要充分考虑堆肥生产的原料、工艺以及产品的特点。一般情况下,选用的堆肥原料多为有机废弃物,如畜禽粪便、市政污泥和城市垃圾等,水分大,臭味重,运输、储存及预处理过程中多少会对生产生活和周边环境产生一定影响。布局设计中,应将原料储存系统和预处理系统建设在项目区的下风向;同时,在满足工艺要求的情况下,布局的设计要尽可能地提高场地或土地的利用率。

3. 系统规模

一般情况下,系统规模是由项目规模决定的,但原料种类、原料性质、产品类型以及工艺因素也影响到系统设置的大小。例如,原料的性质、来源决定原料储存系统的大小,原料水分低、来源广、取运方便的,相应储存系统规模就小,反之就越大;原料的性质也影响预处理系统的大小,原料组成越复杂,均匀度越差,预处理系统规模就越大;原料的性质和选择的发酵方式不同,发酵系统的大小也存在差异,条垛式发酵场地占用面积大;产品类型则决定加工系统的规模,有机-无机复混肥比例越大,加工系统规模相应也越大。

4. 系统连接

由于各系统在时间和空间上都有相对的独立性,堆肥化体系是否完善依赖于系统间的有机衔接。布局设计中,通常通过建筑物连接、设备连接和工艺连接将各系统整合成一个有机整体。如在同一建筑物或车间内划分不同的功能区域,或者比邻的建筑物间通过传输设备实现物料转移,或者通过翻堆设备实现物料位移等。系统连接方式不是单一的,它受场地、原料形式和资金状况等因素制约。在实际设计过程中,应注意生产运行路线的便捷,管线经济合理的工程技术要求;工程平面布置力求经济、合理,充分利用土地;在便于施工、便于安装和便于维护的前提下,使近期工程各处构筑物尽量集中,节约用地,并使工程区环境与周围环境协调一致。

(二) 平面布局方法

堆肥厂区设施平面布置的方法是依据场地平面的几何形状、项目所在地常年主风向及周边道路交通情况,按照有利于生产工艺流程、有利对外交通、有利环境保护的原则进行

布局。

一般堆肥厂主要包括原料区、发酵和除臭区、肥料加工储存区及配套办公、生活区。物料流动方向为原料区→发酵和除臭区→肥料加工储存区，随着物料在系统中停留时间的增加，物料水分逐渐减少，臭味逐渐减弱。在平面布置时，将原料区、发酵和除臭区布置在厂区的最下风向，其次是肥料加工储存区。配套办公、生活区相对独立，布置在厂区的上风向，与其他区域间设置绿化隔离带。

在平面布置过程中，要考虑物料在厂区内的输送问题。在充分利用土地的基础上，尽量减少物料输送距离。机械设备和发酵设备的配备、发酵设施中原材料的投入、从一次发酵设施中排出混合物、二次发酵设施中用铲斗装载机翻堆、向产品化工艺的滚筒筛和包装装置移送堆肥、堆肥产品的堆放地移送等活动要在最短的路线中顺利进行。

厂区内交通实现人员和物料分流，在办公、生活区内设置人员进出大门，原料区内设置物料进出大门，大门的具体位置与周边交通路网相协调。为了定期检点设施内的设备和机器，使之易于维修、替换，应决定好设施内外道路的位置和宽度。通常情况下，搬入原材料和搬出堆肥产品的车辆能同时通过的道路的宽度为6m以上，若为单行道则为4m左右。

为了使原材料从高处合理省力地移动到低处，应把输送设备建在高于发酵设备1~4m左右的地方。因此，应该改变建设场所应平坦的陈旧观念，根据实际的土地的高低进行建设。

第二节 堆肥工艺流程、系统构成及规模

一、原料储存及预处理

(一) 工艺流程

堆肥原料及调节在第二章已有详细介绍，在此不再赘述。预处理工艺不单单处理各种原材料，还要调节水分、有机物，改善通气性，使原材料具备符合发酵的条件。实践中常根据各种原料的不同性质，调整原料配比，使混合物料的水分和碳氮比等重要参数符合堆肥要求，并在各种原料充分混匀的同时添加高效微生物菌种以促进发酵过程快速进行。

进行原料预处理时，首先通过筛分机筛分出原料中的石块等不可降解物，然后将粪污、酒糟、果渣等有机废弃物分别加入到混料机的各个料斗中。同时将微生物菌剂储存在菌液罐中用小型计量泵加入。

堆肥化生产中，发酵设备的投入条件，应由是否能生产出良好的堆肥化产品来决定。

为了使原材料的水分和有机物含量符合投入发酵设备应具备的条件，预处理工艺有添加工艺（辅料的添加）、返送工艺（二次发酵堆肥返送混合）、干燥工艺（利用外部能量进行干燥）、返送工艺+添加工艺、返送工艺+添加工艺+干燥工艺和返送工艺+干燥工艺等多种方式。根据原材料的水分、有机物含量、堆肥产品的生产需求量、辅料的获得难易程度、选址条件，可以单独使用上述工艺，或进行组合使用。用含石灰的脱水辅助剂进行脱水的污泥，需要调节其pH值，所以应采用返送工艺和添加工艺。预处理工艺应根据原材料的条件选择，单独采用一种或同时采用多种预处理工艺，可达到较好的预处理效果。

(二) 系统构成

由于用作堆肥的原料种类繁多，不同原料水分含量各异，即使同一原料因季节、年份或收集方式的不同也存在较大差异，因此需设置原料储存及预处理系统。一般情况下，为了提

高土地利用效率,将原料储存和预处理置于同一建筑物内。

储存过程中,通过物料水分的自然挥发,可有效降低物料水分,有利于后续工艺段原材料的处理和搭配(配方)、降低生产成本、提高发酵效率。通常可采用阳光棚进行该类物料的储存,通过光照提高棚温,促进水分的快速挥发。

原料储存及预处理系统常用设备如下。

(1) 输送设备 接受原材料、辅料和堆肥返料,并暂时保存,稳定供给发酵原材料的设备。

(2) 混合设备 为了使原材料符合好氧发酵的条件,在确定原材料、辅料和堆肥返料的数量之后,应在混合设备中混合这些原材料。

(3) 脱水设备 畜禽养殖场根据畜种、饲养方式、有无输出垫料和畜禽粪便的输出方式,会排出性质各异的粪便,且通常含水量很高(87%~95%),不能直接输入设施中,要进行预处理,即设置脱水设备,实行固液分离后,把固态粪便输入发酵设施进行处理。

(4) 干燥设备 畜禽粪便、厨余垃圾、污泥等含水量高的原材料进行堆肥化时,在很难获得辅料,或为了使堆肥返料的水分低于所规定的值时,需要配备干燥设备。另一方面,若过量使用辅料和堆肥返料,就会使得投入发酵时的物料有机物含量减少,不能顺利进行好氧发酵,此时就应减少添加物,利用干燥设备将原材料干燥。

(5) 粉碎、分拣设备 堆肥原料预处理常用的粉碎设备有链式粉碎机和锤式粉碎机,链式粉碎机适合于纤维含量低、硬度偏小、半湿物料的粉碎,应用较多;锤式粉碎机适合纤维含量高、硬度较大的干物料的粉碎;高速粉碎机一般很少使用,仅在对一些特殊物料进行处理时才使用。

作为废弃物使用的稻秸可被粉碎机粉碎成2cm大小,但要防止被粉碎的稻秸卷入发酵设备中。分类回收的厨余垃圾中,由于混入了块状物,因此有必要用粉碎机粉碎。此外,塑料袋收集的厨余垃圾进行堆肥化时,应事先除去垃圾袋,可用粉碎机+筛分机或者粉碎分拣机除去。分类回收的厨余垃圾中混入若干瓶盖、干电池等异物,也应先除去这些异物。通常做法是在预处理阶段把这些异物除去,并在产品化阶段将剩余的异物除去。经压滤机脱水的块状污泥进行堆肥化时,应在预处理阶段安装粉碎设备。为了增强稻壳的吸湿性、均匀度和表观比重,应用稻壳粉碎机进行粉碎。剪枝也不能按原样进行处理,也应用粉碎机粉碎成1cm大小,作为辅料使用。粉碎成3cm的剪枝等作为堆肥返料也可以循环使用。

(三) 系统规模

1. 原料储存系统规模

原料储存系统的面积可通过下式计算:

$$\text{每天的发酵产量} \quad W = \frac{W_0 + W_m R}{T}$$

$$\text{湿原料储存面积} \quad S_1 = \frac{W R_1 T_1 (1 - V_1)}{D_1 H_1 K_1 V_1}$$

$$\text{干原料储存面积} \quad S_2 = \frac{W R_2 T_2}{D_2 H_2 K_2}$$

式中, W 为每天发酵产量; W_0 为有机肥设计规模; W_m 为有机-无机复混肥设计规模; R 为有机发酵料在有机-无机复混肥中所占比例; T 为年生产天数; S_1 为湿原料储存面积; S_2 为干原料储存面积; R_1 为湿原料在发酵料中所占比例; R_2 为干原料在发酵料中所占比例; T_1 为湿原料周转天数; T_2 为干原料周转天数; H_1 为湿原料储存高度; H_2 为干原料储存高度; V_1 为湿原料含水率; D_1 为湿原料相对密度; D_2 为干原料相对密度; K_1 为湿原料储存系数(原料堆放面积占库房面积的比值); K_2 为干原料储存系数。

设计过程中,应首先进行原料调查,主要内容为确定原料的基本性质和供求关系。原料的基本性质,诸如水分含量、碳氮磷含量、堆积密度、堆积性状等是确定原料堆积高度的重要参数,原料供求关系则决定了原料储存周期。

根据以往工程项目设计经验,原料的堆积高度为1~2m,含水率越高堆积高度越低;畜禽粪便原料的相对密度为0.6~1.0,根据其含水率不同而有较大变化,宜根据实测数据进行设计;污泥类原料的密度影响因素较多,主要取决于污水水质、污水处理工艺及污泥脱水工艺,一般生化法剩余污泥采用带式机脱水后,含水率正常维持在80%~85%,含水率为80%的污泥的相对密度约为1.24;秸秆类原料的密度取决于粉碎粒度和秸秆种类。混合后原料的体积根据实测取值,一般添加秸秆类蓬松物料后,混合物料的体积比原有体积直接加和减少10%~20%。

2. 原料预处理系统规模

原料预处理系统的大小主要受产量规模和系统内连接方式限制,当然原料类型对其也有一定影响。产量规模决定设备的大小和数量;系统内连接方式决定设备的间距,一般采用传送带输送时,设备间距大,而采取斗式提升传输时,设备间距小,也有采用人工手推车输送的,设备间距就可自主调整;原料类型有时也影响设备类型的选择,如原料种类多,类型复杂,需要多种粉碎设备同时使用时,对系统规模也会产生影响。但由于原料预处理在整个堆肥系统构成中规模不大,所以不同产量、不同系统内连接方式以及不同原材料的系统规模差异也不是太大,通常为50~200m²。

二、堆肥发酵

(一) 工艺流程

发酵的目的是使废弃物中的挥发性物质降低,臭气减少,杀灭寄生虫卵和病原微生物,达到无害化目的。同时使有机物料的性质变得疏松、分散,矿化释放N、P、K等养分,便于储存和使用。

堆肥发酵工艺流程一般包括发酵、翻堆、曝气等环节。堆肥发酵过程中,通过翻抛、曝气等强制供氧方式,在发酵堆体内形成好氧发酵环境。氧的供给情况和发酵车间保温程度对堆肥的温度上升有很大影响。可根据堆肥物料的温度、水分、氧含量等参数的变化及时进行工艺控制,使堆肥温度可以上升至60~70℃。堆肥周期一般为15~20天,经过一个周期的堆肥,发酵后的含水率大幅度降低(一般小于40%)。

(二) 系统构成

发酵系统设备因堆肥类型而存在差异,条垛式堆肥设备配置简单,功能单一,通过对物料的机械搅动起到翻堆曝气作用;而槽式堆肥设备相对齐全,有布料系统、翻堆系统、曝气系统等。以槽式堆肥为例,其发酵系统由发酵槽、布料机、翻堆机、移行车、曝气系统等组成。

发酵工艺为设施的核心工艺,分为一次发酵和二次发酵(熟化),基本设备由发酵设施、通风设备和加水设备构成。

1. 发酵设施

发酵设施是使原材料中所含的有机物被好氧微生物分解、稳定,同时通过水分蒸发,使体积减少的设施。有机物在发酵设施中被分解、放热,使发酵设施里的物料的温度升高,并维持一定的高温时间,从而可以生产出安全、卫生的堆肥产品。

根据堆积情况、搅拌、翻堆方式的不同,处理方式有多种多样,决定处理方式时应考虑到原材料的条件、占地面积、作业性、环境条件、设备投资和运行成本等各方面因素。除此

之外,还必须采用满足上述温度条件的发酵处理方式。

发酵设施主要包括发酵槽、翻堆机(搅拌机)、布料车、移行车。其中,发酵槽单槽尺寸($L \times W \times H$)通常为 $(60 \sim 100) \text{ m} \times (4 \sim 6) \text{ m} \times (1 \sim 1.2) \text{ m}$,槽的壁上部铺设导轨,便于布料车、翻堆机行走。翻堆机(搅拌机)的主要作用是通过机械搅动将物料搅拌均匀,促进热量和水分挥发并将物料在槽内缓慢位移,主要由行走底盘部分、搅拌齿、液压升降部分、传动部分及电控部分组成。典型翻堆机的行走速度 0.6 m/min 、搅拌轴转速 32.5 r/min 、工作幅宽 6 m 、行走动力 $2 \times 0.75 \text{ kW}$ 、搅拌动力 $2 \times 7.5 \text{ kW}$ 。布料车的作用是将物料均匀地撒布在发酵槽内,由行走底盘、布料斗、传动部件等构成。典型布料车行走速度 11.5 m/min 、车旋转速度 0.036 r/min 、配套动力 $2 \times 0.75 \text{ kW}$ 、布料斗有效容积 6 m^3 、工作幅宽 8 m 、布料斗旋转角范围 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。移行车的作用是用于将搅拌机及布料车从一个槽移至另一个槽上。一般配套动力 $2 \times 0.75 \text{ kW}$ 、运行速度 0.8 m/min 。

2. 通风设备

为了使全部原材料在均一的好氧状态下进行发酵的同时蒸发原材料中的水分,在一次发酵设施中应安装通风设备。通过通风,还可以缩短发酵天数。进行二次发酵时,虽然有机物所需的空气没有一次发酵多,但是通过通风也可以促进发酵的进行。

曝气系统其作用是向槽内发酵物料通风充氧,主要由高压风机、曝气管道组成,通风管道的口径 75 mm , 4 m 宽的槽至少应铺设三条曝气管道,管道上钻有小孔,通过高压风机向槽底送风充氧。一般风压 300 mbar 、风量 $9.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 、配套动力 5.5 kW 。

3. 加水设备

在一次发酵和二次发酵进行好氧发酵中,可以利用有机物分解产生的发酵热来蒸发水分。在发酵过程中,原材料的水分减少到 40% 时,微生物就会停止发酵,此时,应该由加水设备给原材料加水,使好氧发酵继续进行。是否加水取决于发酵过程中物料的水分多少,一般在堆积物的水分减少较多的一次发酵的后半部和二次发酵里进行。

(三) 系统规模

发酵和熟化(陈化、二次发酵)是堆肥工艺的两个阶段,两者可以选择在一个车间或两个独立车间内进行。由于发酵和陈化两个阶段的控制参数不尽相同,高温快速好氧堆肥工艺一般要求将两个阶段分别在两个独立的车间内实现,条垛式堆肥工艺则倾向于将两个阶段合并设计。

1. 车间面积计算

高温快速好氧堆肥工艺的发酵周期为 $12 \sim 18$ 天,陈化周期为 $15 \sim 20$ 天,即发酵车间和陈化车间面积应满足存放发酵周期内相应体积的物料。车间内的物料堆放形式主要由翻堆设备决定,同时兼顾布料设备、出料设备和通风设备布置要求。车间面积计算步骤如下。

(1) 确定发酵槽尺寸 根据堆肥处理量和物料每天移动前进的距离确定槽的宽度和数量,选择相应的翻堆机。确定发酵槽宽度和数量时要结合翻堆机的实际翻堆距离、厂房跨度和其他设备布置要求进行反复试算,最终确定较为合适的发酵槽的宽度、长度和数量。

(2) 确定发酵槽布置 根据曝气设备和曝气方式确定发酵槽间距,根据翻堆机运行净空要求确定发酵槽和柱子间距。

(3) 长度、宽度和跨度布置 根据布料设备和出料设备布置要求确定发酵槽进料、出料端长度。综合考虑控制发酵槽布置的各个因素,确定发酵车间的长度、宽度和跨度。

2. 发酵系统规模计算

发酵系统的大小主要由产量规模和发酵方式决定,项目目标产量确定后,则发酵方式决定系统规模。各种工艺的设计思路基本相同,下面以高温快速好氧堆肥的槽式工艺为例进行

具体设计计算的说明。发酵系统规模可按以下步骤计算。

(1) 每天处理不同原料的体积

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$

式中, V_1 、 V_2 、 $V_3 \cdots V_n$ 为各种原料的体积。

(2) 混合原料的校正体积

$$V_a = V \times 0.80$$

(3) 系统(发酵车间)内全部混合物原料体积

$$V_b = \text{发酵天数} \times V_a$$

(4) 系统(发酵车间)内因原料收缩后的实际体积

$$V_c = \text{收缩系数} \times V_b$$

不同原料及配方, 收缩系数存在差异, 通常可以 0.75 计。

(5) 单个槽(堆体)体积

$$V_d = ML_a$$

式中, M 为堆体截面积; L_a 为堆体长度。

(6) 堆体数量

$$N = V_c / V_d$$

(7) 系统(发酵车间)长度

$$L_T = L_a + L_b$$

式中, L_b 为堆体两端预留操作通道的宽度。

(8) 系统(发酵车间)宽度

$$W_T = WN + W_a + W_b$$

式中, W 为单个堆体宽度; W_a 为堆体间距宽度; W_b 为两侧过道宽度。

(9) 系统(发酵车间)面积

$$M_T = L_T W_T$$

也可按下列方式进行简单推算: 通常条垛式堆肥的条垛间距大约为 80~100cm, 场地利用率大约为 60%~70%, 堆体空间利用率不到 20%, 如果按批次发酵周期平均 10 天, 年生产日数 200 天计算, 结合堆体大小, 每平方米年发酵产量大约为 4t, 即年产万吨有机肥至少需要发酵场地 2500m²; 槽式堆肥的场地利用率较高, 通常可以达到 80%~90%, 槽内空间利用率 80% 左右, 如果按上述发酵周期和生产日数计算, 每平方米年发酵产量大约为 12t, 即年产万吨有机肥需要发酵场地大约 1000m², 需要 60m×6m×1m 的发酵槽约 3 个。不同规模类型的发酵系统大小可依此类推。

三、堆肥熟化与储存

(一) 工艺流程

经过一次堆肥发酵后的有机固体废弃物尚未达到腐熟, 需要进行二次发酵。堆肥熟化(即陈化)的目的是将有机物中剩余大分子有机物进一步分解、稳定、干燥, 同时作为后续处理利用的储备。

一次发酵后期大部分有机物已被降解, 由于有机物的减少及代谢产物的累积, 微生物的生长及有机物的分解速度减缓, 发酵温度开始降低, 此时可将发酵槽内的物料移至陈化车间进行二次发酵, 在陈化车间中进行堆垛、翻堆等操作。陈化周期约为 15~20 天, 根据生产调整, 陈化后期堆肥的温度逐渐下降, 稳定在 40℃ 时, 堆肥腐熟, 形成腐殖质。

当堆肥经过一段时间的熟化并趋于完全稳定, 水分下降到约 30% 以下后, 便可进入储存阶段。进入储存前须先经过筛分和包装, 根据其水分含量确定储存时间。

（二）系统构成

不同熟化模式的系统构成存在差异。

采用自然堆置法进行熟化时，其系统构成与条垛式堆肥系统类似。将完成高温发酵的物料按照条垛式堆肥的方式，堆积在专门的车间或陈化棚内，堆宽 5~6m、堆高 2m 左右，由于采取静置堆积的方式，堆体不宜过高过宽，否则不利于温度和水分的散发，最好能定期用棍棒插出排气孔，有利于提高熟化效率。

采用熟化（陈化）仓法进行熟化时，其系统构成包括进、出料系统和曝气系统。在陈化仓底部铺设通气管道，能通过间歇式低强度的鼓风，促进热量和水分挥发。通常熟化仓的料堆高度可达到 3m 以上。

采用槽式陈化法进行熟化时，其系统构成与槽式堆肥系统类似，仅工艺控制参数有所区别。

（三）系统规模

堆肥熟化系统的大小主要由产量规模和熟化方式决定，其计算方式同堆肥发酵系统。堆肥储存系统规模应根据堆肥水分与储存时间确定，如储存时间不超过 3 个月，则水分含量可在 18% 左右，如果储存时间在 3 个月甚至更长时间，则水分含量要相应降低，但一般达到 14%~15% 即可。同时堆肥应采用防潮包装。堆肥储存过程中，应注意码放高度，一般以不超过 1m 为宜。

四、成品加工及储存

（一）工艺流程

成品加工是对腐熟物料进行筛分、包装的过程。

经过陈化后的腐熟物料呈粉状、棕褐色。产品类型根据市场需求确定，主要有粉状和颗粒状两种剂型。首先对腐熟物料进行筛分，将物料中石块、玻璃片等废弃物筛出，粉状制肥直接通过皮带输送机将筛下物料输送到自动打包秤中计量包装，颗粒制肥要经过造粒和烘干后输送到自动打包秤中计量包装。目前，肥料生产系统设备比较成熟，有完备的粉状、颗粒制肥生产线。

虽然经过堆肥化处理后，有机废物的可利用物质形态已发生根本性的改变，养分含量也得到显著提高，但由于堆肥产品总体养分偏低，只能做底肥使用，应用范围存在局限，与现有的种植习惯和作物需肥特性存在差距，所以通常会将堆肥产品进一步加工成有机-无机复混肥料。

有机-无机复混肥的生产工艺与无机复混肥大致相同，如图 4-1 所示。

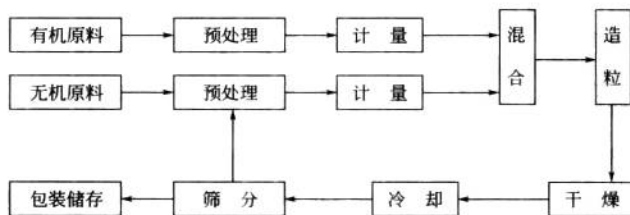


图 4-1 有机-无机复混肥生产工艺流程

堆肥产品的需求期主要集中在春秋两季，季节变动大，所以必须设置储存场所来储存必需的用量。一般情况下是储存半年的用量。延长二次发酵物料的停留天数，也可作为堆肥产

品的储存场所。

（二）系统构成

产品化工艺是提高堆肥产品的出路和商品价值的工艺，包括堆肥的保管，还包括生产符合用户意向的高品质的堆肥产品。

以前大多数情况下，堆肥产品经过发酵工艺后就直接施向农田，而产品化工序没有受到重视。现在为了提高堆肥产品的出路、生产出满足用户需求的高品质堆肥产品，产品化工艺的作用十分重要。

（1）筛分设备 在发酵过程中，为了除去堆肥产品中混入的一部分未发酵物质和以厨余垃圾为原材料而得到的堆肥产品中的异物，以及为了使堆肥产品的粒径一致，需安装筛分设备。

（2）包装设备 包装设备是为了使堆肥产品便于处理、储存、运输，而对产品进行包装的设备。现在还添加了把堆肥产品装在铁箱里的铁箱装载机作为包装设备进行使用。

（3）造粒设备 为了使堆肥产品易于施用，减少储存容积，使之易于撒施，用造粒机把堆肥产品生产成圆柱状或球状的粒状产品。针对圆盘成粒时间长、成粒率低，一般通过加大造粒圆盘，调整圆盘角度来提高产量。

（4）干燥设备 为防止或减少有机物炭化，粒状肥料的干燥温度较低，进风口温度一般控制在 220~270℃ 之间，为提高干燥的热效率，滚筒直径一般控制在 120~140cm 之间，同时要增加滚筒长度，滚筒长最低不小于 1700mm。

（三）系统规模

肥料加工车间的设置主要由肥料加工设备确定，并根据加工流程顺序布置肥料加工设备。肥料储存车间的规模主要由肥料产量和储存周期确定。

目前有机肥产品主要有粉状和颗粒两种剂型，分别对应两种不同的生产线。粉状有机肥加工设备主要包括粉碎筛分和自动打包系统；颗粒有机肥加工需增加配料、造粒和烘干冷却设备。

在设计中要注意车间高度的取值，在粒状有机肥生产系统中，由于烘干、冷却设备对车间高度有一定限制，车间高度要满足设备的运行需求。粉状有机肥生产线所需厂房面积较小；采用圆盘造粒时，年产 3 万吨有机肥生产车间约占地 1700m²。

成品车间面积主要由产品储存周期和产品是否包装确定。由于肥料使用具有明显的季节性，产品储存周期宜根据市场需求和周边种植作物施肥特点进行设定，一般堆肥产品的需求期主要集中在春秋两季，储存半年的用量是比较适宜的。

产品不进行包装，直接堆积储存时主要控制参数为堆积密度和堆积形状，计算过程与原料车间类似。产品进行打包后，其包装袋形式对其堆积影响不大，一般设计中，包装成品储存车间单位面积的储存能力取 2t/m²。

五、环境影响控制系统

堆肥设施对周围环境的影响包括臭气、排水、粉尘、噪声和振动等。其中，在规划、建设和运转设施时，除臭措施是非常重要的，因此将除臭系统作为堆肥系统组成的一部分考虑。

（一）除臭措施

堆肥设施建成运营时对周围环境尤其是附近居民的影响主要是臭气，应采取切实可行的除臭措施。堆肥设施运行过程中，多个环节均会产生臭气，因此除臭措施要从多个环节入手。

首先,应保持畜禽粪便、厨余垃圾等搬运车辆及容器密封,防止臭气和污水的泄漏。根据场合的不同,还应重视有机废弃物的收集渠道,通常有机废弃物的收集、搬运渠道应远离居住聚集区,并设定合理的收集频率。此外,收集、搬运有机废弃物的车辆卸载物料后,应利用设施内配套清洗设备,用来清洗搬运车辆,防止臭气和污水影响周边环境。此外,设计中要根据原料性质、运输距离及周边环境综合考虑并采取适宜的控制措施,目前常用的方法为物理法、化学法和生物法,包括运输车辆改造、干湿物料混合运输、添加化学吸附剂以及微生物除臭剂等。

其次,在发酵阶段,潜在的环境风险是粪污、酒糟等废弃物在发酵过程中会产生硫化氢、氨气等恶臭气体,会对周围环境产生不良影响。当周边环境对空气质量要求较高时,原料的接纳供给设备应设在密闭的室内,或采用密封槽。为了防止原料在搬运、堆积过程中臭气的扩散,应在原料堆放场所安装方便开关的窗帘和防臭塑料布,除了用来搬运原料的装载机外,其余的设备都制成密封的,必要时还可以从密封的原料堆放场收集臭气进行处理,防止臭气扩散。为此可设置自动化臭气收集及生物过滤处理设施,能够对臭气进行吸附过滤。将发酵车间厂区的废气通过引风机导出到生物滤池中,确保臭气经过生物滤池处理后硫化氢、氨气等气体被完全吸附吸收,达到《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93),对周围环境和大气不会产生污染。

(二) 污水控制措施

堆肥设施运行中排出的污水主要为发酵过程中产生的渗滤液,原则上,堆肥设施产生的污水可在车间内回用,用来调节堆肥过程中的水分。若污水量超出了发酵车间所能处理的能力,那么有必要配备排水处理设施。处理方法多为就地处理,或利用真空清洁车把污水运出设施,或就近排入市政管网等。

发酵车间屋顶应设置集露装置,收集凝结后的露水进行处理。除臭装置中喷淋水要定期清空处理。

堆肥厂区内生活污水可直接进入市政管网处理。

(三) 粉尘控制措施

控制粉尘的基本方法是抑制粉尘的产生和发生场所的密闭化。堆肥设施运行时产生粉尘的主要环节是生产后期肥料加工、粉碎、筛分和烘干时应采取防尘措施,目前常用两级除尘装置,一级采用旋风除尘工艺回收物料,二级采用沉降室工艺达标排放。

(四) 噪声、振动控制措施

预处理阶段的粉碎机、分拣设备中的粉碎机、发酵设备的通风机、产品化阶段的筛分设备、脱臭设备的脱臭鼓风机等,均会产生振动和噪声。把粉碎、分拣设备的粉碎机放在厂房内的坚固的钢筋建(构)筑物或混凝土上,可以降低震动、噪声的泄漏。发酵槽内的通风机、脱臭鼓风机等会产生大量的噪声,因此,当把其放置在发酵槽的侧壁时,应采取隔音对策,以防对周围造成噪声污染。

第三节 土建与建筑工程

一、堆肥化车间设计注意事项

1. 保护环境

为了防止车间外的雨水和表面流水进入设施内部,在堆肥化车间的运入、运出口,建成

约5%的坡度，高度差至少在10cm以上。另外，为了防止雨水等从堆肥化设施的周围进入，可采取在堆肥化设施周围设置排水沟等措施。

在堆肥化设施的内部，存在发生堆肥渗漏的可能性，此时，使地面保持2%的坡度，将渗漏液排入设施内的排水沟。

受设施所在地的条件影响，臭气有可能成为设施建设的很大制约因素。预料到可能存在问题时，必须探讨如何采取除臭措施。一般在对环境要求较高时采用封闭式发酵厂房。

另外，苍蝇的出现将给周边居民带来不利影响，必须探讨处理措施。

2. 太阳能的利用

堆肥的发酵、干燥可有效利用太阳的热能。为了能够更有效地利用太阳能，屋顶材料建议采用透光性良好的树脂板等。

但是，在采用大面积的树脂板等作为屋顶材料时，消防安全方面必须遵循相关规定。并应对堆肥化设施内严禁烟火以及与周边建筑的距离等进行充分协商。

3. 冬季对策

堆肥化生产受温度的影响大，所以为了即使在冬季也能让好氧发酵继续进行，安排好设施的设计、施工和运行管理是十分重要的。有关发酵设备，发酵设施建筑物的构造和运行管理，在设计时应予以重视。

利用太阳能是确保冬季运行的有效措施之一。此外，厂房的保温结构和通风的协调也值得注意，要求厂房的结构既能满足夏季通风，同时兼顾冬季保温。对于要求一年四季运行的项目，冬季的保温应优先考虑。

4. 腐蚀防止措施

堆肥化设施在发酵过程中可产生大量的氨气和硫化氢等铁质腐蚀性气体。因此，建议尽量采用木质结构。采用铁质结构时，必须进行镀锌等防腐蚀处理。另外，即使以铁质材料建造时，主架和横筋等部件要采用耐久性高的木质材料。

发酵过程中产生的水汽容易在屋顶处凝结成露，在发酵车间屋面与墙相接处设置集露槽。

5. 低成本化

不仅需要从结构标准的宽松方面降低成本，还需要从降低建筑材料的等级来降低成本。例如，墙壁材料可采用挡风板，虽然多少会引起少量雨雪的侵入，但与铁板相比，可获得良好的通气性，并可降低成本。

6. 使用年限

以前，堆肥化设施的机械电气设备在处理畜禽和农家粪便时，机器的使用年限与农业机械的使用年限一样，为5~7年左右。另一方面，下水污泥和厨余垃圾的堆肥化设施与污泥和垃圾的熔炉设施的设计、设置方法相同，所以使用年限为15年左右。即使是生产同种堆肥的设施，其使用期限也有较大的差异。

有机废弃物的堆肥化中畜禽粪便、厨余垃圾、污泥等性质不同，作业环境也不同，若不考虑堆肥化生产系统和设施环境的差异，则使用年限应力求一致。

现在，人们摒弃了以往一次性使用的想法，爱惜物品的意识渐渐普及。因此，设施的建设也应符合时代的要求，使设施品质良好，耐用。建设设施时，应计划建设能长期使用并且保养费低廉的设施。现在材料的耐久性、耐腐蚀性逐渐增强，制造技术也逐渐提高。因此，应把上述的使用年限理解为下限来规划设施，使得构成设施的机械电气设备中主要设备的使用年限尽量达到15年左右，建筑物的使用年限争取为25年左右。

一般来说，主要机械电器设备的使用年限为7年以上，土木建筑的使用年限在20年以

上。建筑物原则上为钢筋水泥结构。

二、堆肥化车间的建筑设计

(一) 车间面积确定

原料车间和成品车间可选择封闭式、敞开式或部分敞开式 3 种形式, 不同形式厂房结构面积计算步骤相同, 发酵车间和陈化车间根据堆肥工艺选择的不同计算结果不同, 但计算参数均由原料的堆积密度和堆肥设施的处理规模(或产能)决定。

首先确定堆肥设施的处理规模(或产能), 根据物料的堆积密度计算原料体积, 然后根据发酵物料的堆积方式, 计算各车间的面积。

(二) 厂房结构设计

1. 结构设计决定因素

目前, 我国还未出台专门针对堆肥厂房的结构设计标准, 在设计中, 应在满足一般厂房结构设计标准的基础上, 兼顾堆肥化厂房的特点进行确定。

(1) 堆肥堆积的压力 由于堆肥的堆积, 作用于堆肥设施护墙产生的压力, 可利用土木工程领域确立的护墙设计方法进行计算确定。

堆肥化设施的发酵槽, 一般采用高度 1.5~2.2m 的钢筋混凝土或混凝土块建造护墙。设计护墙的强度时, 首先需要考虑由于堆肥堆积所带来的压力。

堆肥与一般的无机质土壤相比, 有高水分、轻质、高压缩性、低强度的特性, 具有与土木工程领域采用的有机质腐殖土类似的物理性质。据此分析, 可采用土质工程学领域确立的护墙设计方法。

(2) 作业机械的压力 采用翻堆机进行翻堆作业的堆肥化设施, 需考虑翻堆作业作用于发酵槽墙面的压力来设计发酵槽墙壁的强度。

采用链板式翻堆设备时, 槽间净空应满足翻堆机运行要求, 防止翻堆过程中翻堆机与槽壁摩擦形成侧向压力。翻堆过程中翻堆设备对槽壁产生的影响主要来自于翻堆设备自重和翻堆时的机械振动。

发酵槽的结构设计应同时满足堆肥堆积压力和作业机械压力的双重要求。

(3) 影响混凝土隔墙耐久性的因素与对策 影响隔墙耐久性的因素有盐害、酸碱中和等化学作用以及冻害、磨损等物理作用。特别是盐害和酸碱中和与内部钢筋的腐蚀有直接关系。

对应措施是在施工时采用紧实的混凝土, 确保对钢筋的覆盖厚度。另外, 由于多种原因会导致混凝土墙面出现裂纹, 当裂纹较大时, 通过修补可确保耐久性。

① 影响耐久性的因素。混凝土发酵槽壁在接触堆肥时受到酸碱中和、盐害等化学作用, 以及冻害、堆肥翻堆作业时与重型机械接触等物理作用, 会不断发生老化。引起堆肥间混凝土隔墙老化的主要化学原因如下: a. 空气中二氧化碳引起的混凝土酸碱中和; b. 堆肥中的氯离子(Cl^-)向混凝土中渗透; c. 堆肥中氯离子以外的化学物质导致的化学腐蚀。

钢筋混凝土由于混凝土保持碱性, 可保护内部的钢筋不受腐蚀, 从而确保强度和耐久性。上述的因素 a. 诱发空气和水向混凝土中渗透, 因素 b. 破坏钢筋表面的膜, 使钢筋内部发生腐蚀。因钢筋腐蚀生锈后的体积比原本的钢筋体积大, 膨胀压导致混凝土墙壁出现裂纹。这种情况下, 空气和水分进入混凝土内部的量进一步增大, 加速钢筋的腐蚀。如果继续发展, 会因钢筋截面减少导致耐力降低, 发生混凝土的剥落等。

② 设计、施工方面的注意事项。为了提高堆肥间混凝土槽壁的耐久性, 必须提高混凝土的密实程度, 使其抵御物理性作用的能力强, 使氯离子等有害物质难以侵入。为此, 在挑选混凝土的使用材料、搭配、设计、施工等各阶段都必须高度注意。特别是需要注意以下事

项(精细施工): a. 在成本允许的范围内, 尽可能使用水灰比小的混凝土(增加混凝土的密实性); b. 不使用塌落度大的混凝土(缩小单位水量); c. 钢筋的覆盖厚度不低于建筑工程标准中的规定值; d. 精心进行混凝土浇筑后的养生, 尽量长时间保持混凝土表面的湿润(需要5~7天左右)。特别是夏天(日平均气温 25°C 以上), 表面易干燥, 利用保水垫等进行湿润养生。另外, 在冬天(日平均气温低于 4°C), 为了防止硬化前发生冻结, 需进行保温养生。

此外, 建议混凝土连续浇筑。在被迫中断再度继续浇筑时, 必须充分去除先前混凝土表面的浮浆膜皮(混凝土内的微细粒子上浮形成的薄层)。

③ 维持管理方面的注意事项。影响耐久性的裂纹, 除了化学作用的因素外, 干燥收缩、温度、结构性的破坏等各种原因均可导致裂纹的发生。一般情况下, 混凝土墙体结构完全不出现裂纹, 在施工方面是极其困难的。因此, 在结构上不构成重大问题的瑕疵是可以允许的, 通过日常维持管理过程中的检查、修补等来确保耐久性也是非常重要的。

例如, 发生裂纹延伸贯穿墙壁达到外侧的状况时, 空气和堆肥的水分等渗透到混凝土墙壁中, 腐蚀钢筋, 有可能降低墙壁的安全性。另外, 裂纹宽度达到1mm时, 裂纹达到内部钢筋位置的可能性很大, 钢筋的腐蚀速度加快。为了维持强度和耐久性, 必须尽早修补。

为了确保耐久性, 在裂纹扩大到0.5mm宽度以前, 使用水泥材料、树脂材料填充修补是有效的维护手段。

(三) 堆肥车间的结构

堆肥车间结构可以有多种形式, 应根据工艺需要和环境保护要求进行选择。当环境要求较高时应选用尽量封闭式的车间结构, 当环境保护要求不高时, 在满足工艺要求的基础上, 可以选择敞开式或部分敞开式(仅有顶棚)的车间结构。

敞开式车间结构仅涉及地面硬化, 部分敞开式结构涉及地面硬化和顶棚结构, 封闭式结构则同时考虑墙柱结构, 与一般工业厂房结构设计中考虑的因素相同。

1. 墙体、隔墙的结构

墙体在车间结构中起到维护和支撑作用, 结构可采取下部砖混上部阳光板结构、普通砖混结构或钢混结构; 墙体采用砖混结构时, 构造柱间距应满足结构要求。隔墙仅起到维护、隔离作用, 可采用砖混结构。墙体基础深度具体结构应由施工地质决定, 兼顾堆肥工艺要求。

墙体和隔墙的设计在工艺上应考虑机械的负载, 如臭气引风系统的吊装负载。结合堆肥车间使用机械的实际状况进行结构计算, 采用必要强度的低成本墙体和隔墙的结构。

关于配筋方法, 钢筋的混凝土覆盖厚度需要考虑钢筋防锈及保持强度的措施等, 同时参考建筑行业的规格说明书来制订。受磨损或化学作用的特殊部位覆盖厚度另行考虑。墙体和隔墙的配筋, 确保与普通建筑物同等即可。

采用双层配筋的墙壁时, 如果施工不良, 可导致支撑墙壁强度的外侧纵向配筋的覆盖厚度降低, 容易出现裂纹。为了确保墙壁强度采用双层配筋时, 需要格外注意确保覆盖厚度。

为了工艺要求, 向阳面墙面经常需要开大窗或采用部分阳光板结构, 以使堆肥设施在冬季能够利用太阳能实现堆体升温, 确保堆肥设施冬季的稳定运行。

2. 发酵槽结构

发酵槽是槽式堆肥工艺用到的特殊结构, 在整个槽式堆肥系统中具有重要地位, 其结构设计的成败决定了堆肥设施使用功能的发挥。发酵槽同时受到堆肥堆积压力和翻堆机压力的作用, 设计中要同时考虑料堆对槽壁产生的侧压力、翻堆机对槽壁产生的压力和振动。

发酵槽槽壁直接接触堆肥物料, 是堆肥设施中受酸碱中和和盐化作用最为严重的部分, 设

计中要考虑结构的耐腐蚀性和施工工艺,确保发酵槽在堆肥设施使用年限内结构的稳定性。

当使用砖混结构时,要采用间距适宜的构造柱,同时采用耐腐蚀的抹面材料。

3. 屋顶结构

堆肥间的屋顶形状选择舍内换气良好的形式,发酵车间和陈化车间水汽较大,应采用合理的通风设置,目前常采用双向墙面开窗对流和屋顶高窗换气的方式进行。当堆肥设施设计有除臭系统时,可以对车间内通风和换气起到较好的效果。

屋架使用钢结构,屋面可采用彩钢板或阳光板结构;采用适宜的跨度设置,横宽较宽时,考虑设置中柱。柱、梁结构可能会遭到堆肥发酵产生化学物质的腐蚀,采用铁质材料时应做好防腐处理。

关于堆肥间的屋顶形状,小规模堆肥舍一般采用一面坡屋顶,大规模的堆肥舍多采用人字形屋顶。在选择屋顶形状时,必须充分考虑内部换气。人字形屋顶,在中央的屋脊部大多设置高窗。如果堆肥舍内部的换气良好,铁架部分生锈现象极少。

屋顶材料采用促进堆肥干燥的通透性良好的材质。在多雪地区,选择积雪易于滑落的材质和安装方法。屋顶材料采用太阳光线通透良好的阳光板结构可以有效地促进堆肥干燥。

堆肥间由于堆肥的产热,积雪易于滑落,特别是多雪的地区,为了不妨碍积雪滑落,考虑屋顶材料的固定方法也很重要。另外,如果滑落的积雪累积,可阻碍屋顶积雪的滑落,同时对设施形成巨大的侧面压,因此,必须对堆肥间的侧面进行除雪处理。

4. 地基、地面和其他

地基设计除考虑上部的负载外,还要考虑墙壁的弯曲。

厂房的地基结构大多采用独立地基。在低强度的情况下,不设置墙壁地基。

另外,采用曝气槽曝气时,在地面凹陷部位的弯曲部分采用连续的配筋,确保该处不易出现裂纹。

第四节 曝气系统设计

在好氧堆肥工艺系统中,不仅通过翻堆供氧,还利用鼓风机等曝气设备进行强制性供氧,以促进堆肥物料的好氧分解。好氧堆肥工艺与普通堆肥相比,有机物的分解速度更快,发酵时间更短,腐熟效果更好。

好氧堆肥的曝气系统主要包括曝气设备和曝气管道。广义的曝气系统还包括翻堆系统,本节仅讨论曝气设备和曝气管道,不对翻堆系统做详细介绍。

一、曝气系统构成

1. 曝气设备

曝气设备的作用是为堆肥物料提供强制通风。现阶段常用的曝气设备为鼓风机,按其所提供的压力分为高压鼓风机、中压鼓风机两种,应根据堆肥所需的供气量和风压进行选择。

堆肥原料不同,其适宜的通气量也有所差异,日本堆肥设计中 1m^3 堆肥原料每分钟的通气量范围为 $50\sim 300\text{L}$,一般每分钟 100L 左右的情况较多;我国堆肥设计中常采用实验数据。所谓通气阻力,是指为堆肥原料供给空气时的阻力值,同时还要考虑管道系统的管路损失。

堆肥原料通过阻力值根据原料的性质变化范围较大,宜通过实验确定,在有条件的情况下可采用相关工程设计数据。曝气管道系统的压力损失取决于管道系统的沿程损失和局部损失,与管道材质紧密相关。

2. 曝气管道

曝气管道是用于将空气从送风机输送到通气床的管道，其作用是使空气均匀分散到堆肥原料内部、维持好氧状态。通气型堆肥车间的配管采用聚氯乙烯和聚乙烯等，机械性强度不大，但轻便，耐腐蚀性好。

管路设计时，为了尽量减少管路的压力损失，必须尽量缩短管路长度，减少弯曲部、膨胀部、缩小部、分叉部。

二、曝气系统设计注意事项

① 堆肥车间的设置场所应选择雨水等无法从外部流入的场所。

此外，在场所选择时，应选取具有高强度地面承载力的场所，并确保运输和拆卸检查所需的空间。

② 堆肥原料的水分调节到 70% 以下。运进高水分家畜排泄物时，在确保水分调节所需区域的同时，由于堆肥原料的排污，需设置排污的排水沟和贮留槽。

③ 堆肥原料的水分高，如果堆积高度达到 200cm 以上，原料在自重的作用下压实，会存在无法均一供给空气的隐患，因此，堆积高度以 200cm 为最大限度。超过 200cm 时，需进行多次翻堆。

④ 通气设备的机能未被充分发挥的情况下，很难维持好气性条件，并减缓发酵，因此，需用发烟筒随时监测通气状态，在通气不良时，进行通气床的改善。

⑤ 具有隔墙和护墙的堆肥舍，经常发生因铲车冲撞造成破损的情况，因此，在确保铲车移动和回旋所需的通路幅度的同时，在进出发酵槽时必须高度留意操作状态。

⑥ 安装配管时，保证接口部正确连接，避免配管重量过大，无法架设到送风机上。

三、设备选择

堆肥中曝气系统的主要设计参数是风量和风压，风机型号和曝气管道系统的选择主要取决于这两个参数，其他设计参数包括每台风机的曝气面积、物料高度、曝气频率等，均为次要参数。在设计计算中通过主要设计参数和次要设计参数的不断调整和校核，确定设备型号和管道系统布置方式，优化曝气系统。

（一）设计参数

1. 风量

在堆肥过程中，曝气通风有三个主要目的，分别是供氧、除湿和降温，这三个目的主要通过调节曝气风量、通风速率来实现。设计过程中，风机风量的选择要满足最大通气速率的要求，然后通过氧气、温度、水分等在线监测参数，确定曝气频率。

$$Q=qM$$

式中， q 为最大通风速率； M 为单台风机服务的物料体积，其取决于物料的密度和堆积高度。设计中通风速率取值宜根据实验结果确定，由混合原料的 C/N 决定，鸡粪、生污泥、厨余垃圾等若在进行发酵时不添加辅料和返料用量少，所需的通风量就多，通风速率取值较大。各种原料的通风速率如表 4-1 所列，当混合原料 C/N 值较大，采用辅料和返料量多时，应采用通风速率取值的下限，反之则取上限。

设计中为了满足后期运行、维护和监控需要，通常采用统一型号的曝气风机。随着发酵过程的进行，物料水分降低、体积变小，单位体积物料所需风量也随之变小，因此在曝气管道设置时，单台风机的服务面积随着物料在槽中的推移逐渐增加，以提高曝气风机的利用率。

表 4-1 各种原料的通风速率

单位: $\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$

主要原料种类		一次发酵	二次发酵
畜禽粪便	牛粪	0.05~0.10	0.05~0.10
	猪粪	0.07~0.10	0.05~0.10
	鸡粪	0.10~0.15	0.05~0.10
污泥	厨余垃圾	0.10~0.15	0.05~0.10
	生污泥	0.07~0.10	0.05~0.10
	消化污泥	0.05~0.10	0.05~0.10

资料来源: 社团法人日本有机资源协会: 堆肥化手册。

2. 风压

曝气管道系统的压力损失取决于管道系统的沿程损失 h_f 、局部损失 f_j 和气体通过料堆时的损失 h_c 。堆体损失 h_c 与料堆高度、含水率、孔隙率等参数有关, 宜根据实验确定。

$$h = h_f + f_j + h_c$$

$$h_f = \frac{\lambda v^2 \gamma L}{d 2g}$$

$$h_j = \zeta \frac{v^2 \gamma}{2g}$$

$$P = h + P'$$

式中, λ 为摩擦阻力系数; γ 为空气容重, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; $\frac{v^2 \gamma}{2g}$ 为动压, mmH_2O ; ζ 为局部阻力系数; P' 为风机超压。

风机压力在满足沿程损失 h_f 、局部损失 f_j 和气体通过料堆时的损失 h_c 三者之和的同时, 宜留有一定的超压, 以确保风机运行状态和物料性质变化导致压力变化使风机风压仍能满足设计要求; 其中, 风机超压宜根据实验确定。

(二) 管道设计和设备选择

1. 管道设计

曝气管道系统设计之初, 应先根据堆体形状大小和多少对曝气管道进行合理布置。通常遵循的原则是: 曝气管道对称布置, 曝气管道上的通风孔分布也应均匀, 从而保证对堆体各部分能均匀供氧使物料充分发酵。

按照通风设计标准, 通风系统中干管风速应控制为 $6 \sim 14 \text{m}/\text{s}$, 支管则为 $2 \sim 8 \text{m}/\text{s}$ 。利用下式确定各干管与支管管径。此外, 管道材质的选择应满足堆肥设施运行所需防腐要求。

$$d = 1000(4Q/3600\pi v)^{0.5}$$

式中, Q 为通过风管风量, m^3/h ; v 为气体设计流速, m/s ; d 为风管管径, mm 。

常见条垛式堆肥曝气管道布置如图 4-2 所示。

2. 风机选择

风机的选择根据整个通风系统所需风量及风压确定。

其中风机额定风量由下式确定:

$$Q_{\text{额}} = kQ_{\text{总}}$$

式中, k 为通风系数, 一般取 1.1; $Q_{\text{总}}$ 为系统通风量, m^3/h ; $Q_{\text{额}}$ 为风机额定风量, m^3/h 。

曝气风机的驱动一般采用电动机驱动, 动力

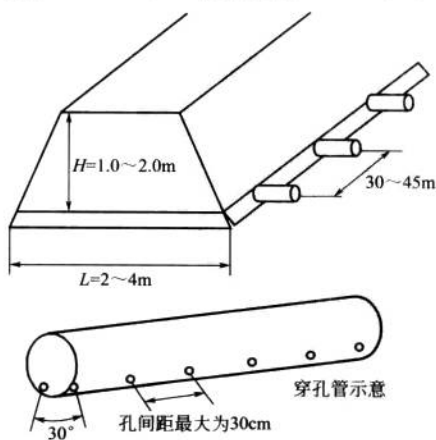
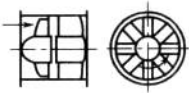
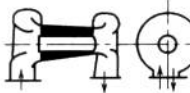
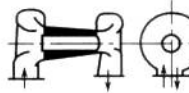
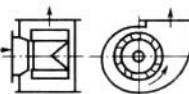
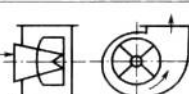
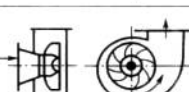
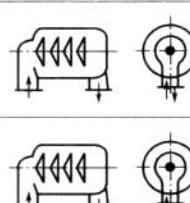
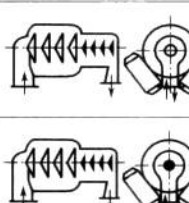
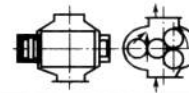
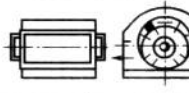
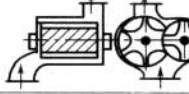
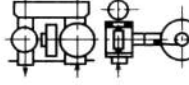


图 4-2 条垛式发酵堆肥设施曝气管道布置

传输方式有传送带式和直接式两种，常见曝气风机种类如表 4-2 所示。

表 4-2 曝气风机种类

<div>名称</div> <div>压力上升</div> <div>种类</div>			送风机		压缩机
			送风机	鼓风机	
			<10kPa	10~100kPa	>100kPa
涡轮形	轴流式	轴流			
	离心式	多翼			
		径流			
		离心			
容积形	旋转式	二叶			
		叶轮			
		螺旋			
	往复式	往复			

资料来源：引自日本堆肥化设施设计指南。

选择风机后进行设计校核，风机正常运行时工作点应满足风量和风压要求，并处于风机高效工作区内。

第五节 臭气处理设计

一、臭气的发生特征

在堆肥厌氧发酵时，堆肥化过程中将产生大量的恶臭物质。其原因是在厌氧条件下，可产生低级脂肪酸和硫化物。低级脂肪酸和硫化物的臭气阈值低（感受到臭气的最低浓度。恶臭物质的这一数值越低，恶臭越强），少量生成即可产生恶臭。因此，堆肥化条件中最为重

要的是确保好气性条件，特别留意水分调节和通气，尽量抑制恶臭的发生。

堆肥化开始，原料温度尚未大幅上升时，硫化物等恶臭较强，随着原料温度的上升，氨气增加。堆肥化处理设施中的臭气浓度比畜舍高，氨浓度有时可达到数千毫升/立方米。

另外，堆积-翻堆型的堆肥与强制通气型的堆肥相比，在臭气的发生量和发生模式方面有很大差异。堆积-翻堆型堆肥在翻堆时产生恶臭显著，其他时间产生的恶臭较少。强制通气型堆肥随温度上升，氨浓度在通气期间保持较高，在选择除臭工艺时，须选择能够去除这种高浓度氨气的工艺。

二、臭气的抑制方法

在堆肥化过程中确保好气性条件，能够抑制臭气的发生。特别需要注意的是，通过调节水分改善通气性，通过强制通气保障好气性条件，间隔适宜的天数进行翻堆，或用搅拌设备搅拌。

以抑制臭气发生和促进发酵为目的，市场上出售有大量的添加剂。这些添加剂中大多含有微生物，因此也被称为微生物添加剂。堆肥化起主要作用的是微生物，如果微生物添加剂在适宜的条件下使用，绝对不会产生不利效果。但是，关于添加剂对臭气的抑制效果目前尚未形成定论，今后仍需在这些方面开展试验研究。分离降低臭气的数种微生物，对其性状进行调查的同时，应开展实践研究。

三、除臭设施设计

（一）除臭系统构成

臭气的抑制是积极的除臭方式之一，但是在堆肥设施运行过程中，仅靠抑制方法是无法满足环境目标的，因而除臭系统成为堆肥设施的必要组成部分。除臭系统由除臭设施和臭气收集系统构成。

1. 除臭设施

在建设堆肥化设施时，恶臭对策是不可或缺的，应配套设置除臭设备。除臭设备引进时，应选择满足除臭效果好、具有持续除臭功能、运行成本低等条件的除臭设备。

防止恶臭的方法是堆肥化设施建设时必须考虑的基本问题之一。在设置除臭工艺时，需要考虑周边环境条件选择适合场所。在堆肥化设施建设的同时，必须探讨引入除臭工艺设计。建设初期无视臭气对策，当出现危害时再考虑臭气的解决方式为时已晚，在问题发生后采取对策必将花费庞大的费用，并将遭受巨大的精神痛苦。

常见的除臭方法如表 4-3 所列。目前常用的除臭方法是生物除臭法，下面以生物滤池为例介绍除臭设施及其相关设计参数。

生物滤池是一种空气污染控制技术，它使用生物活性固体介质床来吸收/吸附气流中的化合物，并保留其以进行后续的生物氧化。生物滤池中的填料一般选用具有良好的结构稳定性和透气性能的木屑、树皮及树叶堆肥组成，并喷洒专门除臭功能的微生物菌剂。研究表明堆肥过程中产生的重要潜在臭味物质主要有脂肪酸、胺类、芳香族、无机硫、有机硫、萜烯等。臭味物质在随气流通过生物滤池的过程中被介质吸附并被微生物降解。

相关研究表明，猪粪堆肥中，臭气产生的主要形式是铵态氮以氨气的形式挥发。堆体温度大于 50°C ，pH 值大于 7 的堆肥条件会增强这种作用。生物滤池中填料高度对鸡粪堆肥尾气除臭效果有影响，尾气在填料层中的停留时间 60s；填料为 2~5mm 餐厨垃圾堆肥及 4~6mm 陈腐树皮按照质量比 2:1 混合而成，调节水分为含水率 50%；进气氨浓度在 $115\sim 1600\text{mg}/\text{m}^3$ 之间，氨浓度的最大值出现在堆肥开始后第 2 天。在气体停留时间以及其他一致的情况下，增加生物滤池的填料层高度可以提高生物滤池对堆肥尾气中氨的去除效果；填

料层高度为 60cm 的生物滤池对堆肥尾气中氨的去除效果较好, 累积去除率达 94.47%。试验中采用的生物滤池对氨的去除, 主要是通过填料对氨的吸附及吸收作用。

表 4-3 不同除臭方法及其优缺点

序号	方法		原理	优点	缺点
①	水洗法		使臭气溶解于水中。一定量的水溶解的臭气成分量有界限	适合易溶于水的臭气	水和气体需要良好的接触, 并需要大量的水。还必须有处理后的排水对策
②	燃烧法	高温燃烧法	将臭气在 700~800℃ 的温度条件下维持 0.3~0.5s, 使其氧化分解	具有良好的效果。在臭气浓度高时采用较为有利	化学燃料的消耗量大
		低温燃烧法	利用催化剂(铂、钯等)使臭气在 250~350℃ 的温度条件下氧化分解	在臭气浓度高时采用较为有利。低温装置简单, 节省所需燃料	催化剂昂贵
③	吸附法		用活性炭、硅胶、活性黏土、锯末、木屑等吸附、除去臭气成分	适用于浓度较低的臭气	在吸附一定量的臭气成分后失效。再生利用的成本高或难以再生利用
④	药液处理法		酸液(稀硫酸、木醋)、碱液(氢氧化钠)与臭气在催化剂的作用下发生化学反应去除臭气	适用于脂肪酸、胺类等易溶于水的臭气成分	需要后续废液处理对策, 药品费增加成本
⑤	生物除臭法	堆肥除臭法	在发酵料中通入臭气, 在微生物的作用下使臭气成分消失	运转成本比其他方式低, 适用于低浓度的臭气	不适用发酵材料水分高、通气性不良的情况。微生物的作用比土壤、石棉条件低
		土壤/石棉除臭法	将臭气通过火山灰土壤、石棉等除臭材料, 利用微生物作用实现无臭化	运转成本比其他方式低。在设备确保适当规模时, 可实现高性能除臭	不适用于高温气体。设备面积规模大, 石棉除臭的面积是土壤的 1/3~1/5
		活性污泥除臭法	使臭气与活性污泥接触, 利用污泥中的微生物作用实现无臭化	低浓度、高浓度的臭气均适用。残留污泥特有的臭味	在利用曝气槽时, 不适于高浓度气体。需要活性污泥净化设备, 需要处理后的污泥处理措施
⑥	空气稀释法		将臭气用大量无臭空气稀释, 使其浓度降低到人类嗅觉无法感知	适用于比较低浓度的臭气	需要大量的无臭空气, 在现实中比较困难
⑦	屏蔽法		在臭气中混入芳香成分, 使人类的嗅觉感受芳香	适用于比较低浓度的臭气	畜牧业中需要大量的芳香成分物质, 运转成本高
⑧	臭氧氧化法		利用臭氧对臭气氧化分解实现无臭化	臭氧的气味还具有屏蔽效果。对含硫臭气成分有效	受臭氧浓度影响, 有导致呼吸性疾病的危险

资料来源: 引自日本堆肥化设施设计指南。

设计中常用除臭生物滤池包括水喷淋段和生物滤池两部分, 生物滤池部分布气区高度根据臭气收集系统管道尺寸确定, 生物滤料有效高度为 1~1.5m。生物滤池使用有机的生物滤料, 设计计算生物滤料的处理负荷为 100~150m³/(m³·h) 为宜。

2. 臭气收集系统

敞开式结构和部分敞开式结构的车间宜将臭气发生源用塑料温室等覆盖, 使其保持接近密封的状态, 在其中的某个部位设置换气口, 通过强制通风将气体全部送入除臭设备中。另一方面, 必须将新鲜空气的流入口设置在距离换气口最远的地方。封闭式车间则可以直接对

车间内臭气进行置换,当车间面积非常大时,在车间内宜采用能够进一步密闭化的简易温室(二重结构温室),分别将每个发酵槽覆盖,用帘子将其隔开,尽量减少内部的容积;或在车间内增加隔墙,减少单个室内的换气量。内容积不必要的增加将导致换气量增加,使除臭设施规模扩大的同时,运转成本也随之增加,有可能对经营带来不利影响。在厂房内设置多个通气性发酵槽的堆肥化设施,密封臭气较强的发酵槽,将槽内换出的臭气送往脱臭槽的方法也是缩小除臭设施规模的方法之一。

换气量是指所需换气空间(换气室内容积),换气量以换气室内容积为基础呈比例放大,所需的除臭设备规模也随之增大,运转费用提高。因此,如前所述,在实施密闭化时,必须尽量缩小换气室内容积。

换气频率是选择换气风机的重要参数,由除臭目标设定。在自动化较高的情况下,发酵车间和陈化车间等臭气严重的部分尽量减少人员滞留,从而可以采用较小的换气频率,降低除臭的运转费用。换气频率一般不低于2次/h。不同场所换气频率如表4-4所列。

表 4-4 不同臭气收集场所换气频率

单位:次/h

设备名称	机器名称	牛粪、消化污泥市政排水污泥	猪粪	鸡粪、厨余垃圾生污泥
接收设备	站台	2	2	2
	原料放置场	3	5	5
	原料储槽	5	10	10
脱水设备	脱水机	10	10	—
粉碎、分拣设备	粉碎、分拣机	—	—	10
搬运设备	传送带	10	10	10
发酵设备	一次发酵槽	7	10	10
	二次发酵槽	1	2	2
其他设备	污水槽	5	10	10

资料来源:同表4-1。

第六节 环保与消防

一、环境保护

堆肥厂对环境的影响主要包括建设期环境影响和运营期环境影响;其中,建设期环境影响是暂时的,在工程建设完成后可逐步消除和恢复。本节主要讨论堆肥厂运营过程中的环境影响及环保对策。

1. 环境影响

堆肥厂运营过程中对环境的影响包括臭气、污水和粉尘三个方面,其中臭气问题及其处理方式见上节内容。

运营期生活、办公、生产活动产生的污水主要收集进入污水管网,不会产生环境问题。原料车间和成品车间均为密闭的厂房,不会产生降雨带来的淋滤液。原料车间附近会存在少量撒料。雨水要尽量收集后进入管网入污水处理系统。

运营期的粉尘主要来自于堆肥处理过程中各种固化材料的输送、混合搅拌等,在设备周围容易形成粉尘污染。另外设备上容易吸附一部分粉尘,地面也会撒落一些粉尘,遇到有风

的天气会造成粉尘污染。

2. 环保对策

堆肥厂设计过程中要在易被污染、经常冲洗的地区预留排水系统,运营期间因冲洗、降雨产生的污水能够及时进入排水管网。设备区域和经常需要冲洗的区域地面要硬化,防止污水被截留。畜禽粪便储存及其处理的整个过程要在车间内进行,不得在户外堆存。

复混肥生产车间混合装置需要配备除尘罩,除尘罩要定期清理。生产车间要设置防尘设备和通风换风设备,确保车间的环境卫生。

在整个厂区要做好绿化种植,减噪减臭,净化环境。

二、消防

堆肥厂运行过程中不存在易引起火灾的工艺,主要构筑物也不属于易燃材料,一般情况下不易发生火灾。只有在误操作设备、违反管理规程或意外事故状态下,才可能由于各种不可预见因素导致火灾发生。因此,为了防止火灾事故的发生,减少因火灾事故造成的损失,在工程设计上也采取了相应的防范措施。

① 为保证消防畅通,主要、次要干道宽为 4.0~8.0m,形成环路,转弯半径能够满足消防通道的要求。

② 办公、生活等建筑物耐火等级至少达到Ⅱ级,工程建筑物的防火要求严格按照《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)的要求执行。

③ 建筑物内应急照明电源除可以由低压配电系统供电外,还可以通过自动切换装置由直流电源瓶供电,直流电源瓶能够提供不少于 30min 的应急照明时间。此外,各建筑物内还应装有自带直流蓄电池的事故自动应急灯。

④ 电气设备防火均采用手提式化学灭火器,在配电间、控制室等除配备灭火器外,并配制沙箱。

⑤ 在厂区中水系统设置消火栓,保障各个建筑物周边有消火栓。

第七节 其他

堆肥厂区作为一个具有完整功能的生产厂区,应具有完善的附属设施设计,主要包括给排水设计、电气设计、消防设计和通信设计。

给排水设计优先考虑纳入市政给排水系统。生活、消防和绿化是主要的用水环节,生产过程中无生产废水排出,排水系统仅承担生活污水和雨水排出,宜采用雨污分流系统。

电气设计中根据车间内用电设备的负荷确定设备的最大功率负荷和全厂装机照明总负荷,然后计算配电负荷,一般计算负荷取总负荷的 70%~80%为宜。

通信设计确保配备计算机网络系统与 INTERNET 网络连接,与国内外保持密切的信息交流,同时满足 PLC 现场控制站和中央监控站通信要求。

参 考 文 献

- [1] 常勤学,魏源送,夏世斌.堆肥通风技术及进展.环境科学与技术,2007,30(10):98~108.
- [2] 魏源送,樊耀波,王敏健,等.堆肥系统的通风控制方式.环境科学,2000,21(2):101~104.
- [3] 魏源送,樊耀波,王敏健,等.堆肥系统的通风设计.环境污染治理技术与设备,2000,1(3):1~9.
- [4] 郭小品,羌宁,裴冰等.城市生活垃圾堆肥厂臭气的产生及防控技术.环境科学与技术,2007,30(6):107~111.

第五章

堆肥过程控制

第一节 堆肥控制基本要素

如前所述,影响堆肥发酵的因素很多,但一旦进入发酵过程后,堆肥的水分(水)、通透性(气)、温度(温)便成为关键控制因素,所以通常把水、气、温称为堆肥三要素,三者相互影响,互为关联。概括表述为:通透性调节是基础,水分调节是关键,温度调节是保证。

一、水分

不同物料因理化特性存在差异,适宜发酵的水分含量是不一样的,同时温度、湿度等环境因素也会对其产生影响。通常情况下,水分偏低或偏高,会导致堆肥堆体温度急剧上升,或形成“烧白”,或发酵温度居高不下;水分过低或过高时,往往会不升温,即无发酵温度产生。关于堆肥物料的水分控制和调整,一般应遵循以下原则。

(1) 南方地区的物料水分应适当调低,北方地区适当调高。南方地区空气湿度大,物料水分的自然挥发或蒸发量小,所以物料水分相对于北方来说应调低一些。

(2) 雨季时应适当调低物料水分,旱季适当调高。主要原因是空气湿度会对水分自然挥发或蒸发量产生影响。

(3) 低温季节适当调低,高温季节适当调高。环境温度较低时,发酵温度上升相对缓慢,热量损失大,水分挥发少,环境温度较高时则正好相反。

(4) 陈料熟料适当调低,鲜料适当调高。陈放时间较长的物料在陈放过程中,环境微生物已将部分有机物不同程度分解,相对于新鲜物料其生化反应过程的剧烈程度有所减弱,水分需求量相对也要少,经过物理或化学手段处理后的物料,其生化反应的需水量更少。

(5) 低 C/N 适当调低,高 C/N 适当调高。C/N 低意味着可分解的碳水化合物数量少,生化反应的需水量也少,反之则需水量大。

总之,应根据地域、气候、物料及配方的特点,摸索相应的最适水分含量,并在堆肥化过程中,仔细观察物料的水分变化及其对堆肥化的影响,及时采取调整措施,确保发酵的正常进行。

二、通透性

堆肥过程中,通透性即物料的供氧状况是通过温度和气味来反映的。堆肥温度的异常变化或有臭味、异味产生就说明物料的通透性发生了问题。工业化堆肥一般不太可能通过空气的自然渗透来满足堆肥有机物生化反应对氧气的需要,必须采取相应的辅助增氧措施,

目前常用的是采取翻堆或强制通风(曝气)方式。通过翻堆或强制通风,不仅可以提供堆肥生化反应足够的氧气,而且还能将热量带走,避免堆体温度过高导致微生物失活,同时随着热量散失还可带走大量水分。所以堆肥化过程不仅是堆肥有机物氧化还原的过程,同时也是堆肥水分逐渐散失的过程,这一点对高水分的有机物料尤为重要,有利于降低后期干燥成本。

条垛式堆肥由于堆体与空气的接触面大,一般通过翻堆就能满足其通透性需要;槽式堆肥则由于堆体大特别是堆体高,与空气的接触面相对较小,需要采取翻堆和强制通风的双重办法来满足其供氧需要。翻堆和强制通风的频率及次数应该视物料性质和堆温变化确定,正常情况下只需每天翻堆一次,强制通风也可采取间歇式方式,每天上下午各一次,每次10~30min,通风流量参照 $0.05\sim 0.2\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$ 值,并根据物料性质、混合物料比重等确定。

三、温度

堆肥的温度变化是反映发酵是否正常最直接、最敏感的指标。由于它与水分、通透性以及其它各项堆肥控制因子都有着极其密切的联系,所以它又是一个最复杂的因子。对堆肥温度变化的要求可概括为:前期温度上升平稳、中期高温维持适度、后期温度下降缓慢。堆肥前期的温度变化一定要处理好“快”与“稳”的关系,即发酵起温要快,但温度上升不能过快,要尽可能的平稳;堆肥中期高温维持的温度值要适度,时长也要适度,快速堆肥理想的高温值为 $50\sim 60^\circ\text{C}$,严禁突破 70°C ,高温维持时间的长短反映配方调整和前期原料预处理的好坏,理想时长一般为5~10天,时间过长或过短都需要对配方重新调整。图5-1反映的是在环境温度 5°C 以上时,接种酵素菌后堆肥的正常温度变化曲线,从中可以看出,发酵温度经24h(1天)后上升到 40°C 左右,48h(2天)后上

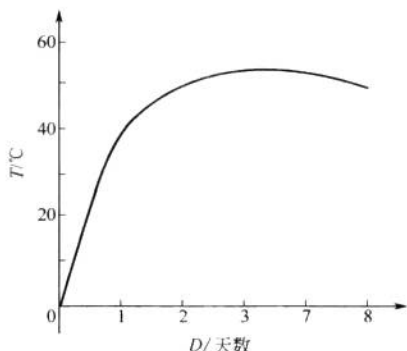


图 5-1 发酵温度变化曲线

升到 50°C 左右,至第3天时温度达到 50°C 以上,随后几天温度始终维持在 $50\sim 60^\circ\text{C}$ 之间,稍后温度才开始小幅下降。

正常堆肥发酵的温度主要通过翻堆和强制通风来调控,一般遵循“时到不等温、温到不等时”的原则,即在堆肥前期,即使发酵起温缓慢甚至不起温,48h后必须翻堆或通风,避免堆体形成厌氧环境,在堆肥中后期,一旦温度超过设定值,必须及时翻堆,不能等达到规定时间后再翻堆。

第二节 通风控制

一、通风量

对于现代堆肥系统来讲,通风体系的建设是一个十分重要环节。通过控制通风速率,可以达到调节系统温度的目的,为微生物生长代谢活动提供良好的环境,因此堆肥中的通风是必要的。在堆肥过程中,通风有三个主要目的,分别是供氧、除湿和降温。

(1) 供氧需求 通风为好氧微生物的生长繁殖和代谢活动提供氧气以完成堆肥过程。

(2) 除湿需求 在温度较高条件下通风可以除去湿基质之中的水分, 当空气被堆肥基质加热以后, 可以蒸发掉水分, 使得堆肥物料得到烘干。

(3) 降温需求 通风可以除去有机质分解产生的热量, 以控制过程温度。

供氧所需的通风量主要取决于堆肥原料中有机物含量、有机物中可降解成分的比例和可降解系数等, 可以通过堆肥中有机质的化学构成及其降解程度来计算。表 5-1 中所列为各种有机质和有机质混合物典型的化学成分。

表 5-1 不同有机物料的一般化学组成

有机物料	典型的化学成分
碳水化合物	$(C_6H_{10}O_5)_x$
蛋白质	$C_{16}H_{24}O_{10}N_4$
脂肪和油	$C_{50}H_{90}O_6$
污泥	
原始	$C_{22}H_{39}O_{10}N$
混合	$C_{10}H_{19}O_3N$
垃圾(总有机成分)	$C_{64}H_{104}O_{37}N$
	$C_{99}H_{148}O_{59}N$
木材	$C_{295}H_{420}O_{186}N$
草	$C_{23}H_{38}O_{17}N$
生活垃圾	$C_{16}H_{27}O_8N$
食物垃圾	$C_{18}H_{26}O_{10}N$
纸屑	$C_{266}H_{434}O_{210}N$
场院垃圾	$C_{27}H_{38}O_{16}N$
细菌	$C_5H_7O_2N$
真菌	$C_{10}H_{17}O_6N$

在堆肥过程中, 硝化需氧量远低于有机质氧化的需氧量, 而且大多数产生的氨并没有被氧化, 其中一些氨直接参与了细胞合成, 另外相当部分由于堆体升温 and $pH > 7$ 的条件而挥发。因此, 通常不考虑硝化需氧量。

化学需氧量随着基质的变化而变化, 对于高度氧化的基质, 如淀粉和纤维, 需氧量的最小值大约是 $1.0g O_2/g$ 有机质, 对于饱和碳水化合物, 需氧量则可高达 $4.0g O_2/g$ 有机质。对许多复杂基质, 如含有蛋白质、糖类和脂肪的污水污泥来说, 平均需氧量为 $2.0g O_2/g$ 有机质。在输入不同的混合基质情况下, 总需氧量为各个组分及其加权平均需氧量相乘后的总和。

原料中易分解性有机物的含量越多, 所需的通风量也越多。在发酵初期, 易分解性有机物的含量多, 而二次发酵中易分解性有机物的分解已基本结束, 因此在发酵初期所需的通风量明显高于二次发酵。反之, 类似于消化污泥类有机物含量少的堆料, 则需要较少的通风量。

当作为投入发酵设施的堆肥返料和辅料的量较多, 且 C/N 值较大时, 应采用通风量的下限, 当采用无添加方式且 C/N 值较小时, 应采用通风量的上限。在二次发酵中, 若在翻堆频率为数日不到一次的话, 那么采用的通风量为零到下限值, 翻堆的频率为一周一次以上的话, 则通风量采用上限值。

理论上讲, 堆肥过程中被氧化的碳量决定发酵的需氧量。实践中, 由于堆体中有机物分解速率的不稳定性, 很难确定精确的需氧量, 而且对于含水率较大的有机物料, 要维持堆体温度就需要加大通风量以去除水分。

进口空气受到堆肥化物料的加热, 不饱和热空气就可以带走水蒸气而干化物料。堆肥物料的含水率较高时, 干化所需的空气量将显著增加。有机物分解产生的热量使堆

肥混合物中的水、气和固体基质温度升高，也驱动了水分随气体排出而蒸发。在堆肥高温时期会产生大量的热量，因此，在这段时期内适当地进行通风，就可以使大量的水蒸气蒸发。

去除水分所需的通风量因季节的不同而发生变化。在炎热的夏季，微生物新陈代谢活动旺盛，可以促进易分解性有机物的分解，需要大量的通风量。但是大量的水分蒸发使投入物的水分含量减少过多，会影响堆肥进程。而在寒冷的冬季，为了防止散热，通常情况下要缩小通风量，这样堆料中水分的蒸发量减少，导致堆肥产品的水分含量变高。为了避免这些现象，在冬季，把原料投入发酵设备时，应使原料中的水分含量比通常情况下的含量更少，或在发酵设施中，利用加温设备减少槽内堆积物的水分含量。

随着温度的增加，生化反应的速率通常呈指数增长。然而，堆肥过程中，温度升高到某一点时，微生物种群会发生热失活。这时，温度变成了速率的限制因子。为了满足微生物种群的最适宜温度范围，控制过程温度时常需要增加空气供应以去除热量。

由于堆垛温度比周围环境温度要高，热量会从暴露于空气的堆体表面散失。堆垛的隔离效应一定程度上可限制热传导，并减少了热损失。条垛或堆体在机械搅拌下也会产生热量损失。

堆肥常被作为一个基质处理的问题。如果是这样，应该认识到进气和排气通常在物质平衡中起决定性作用。在某些情况下，堆肥所需空气的重量是基质干重的 30~50 倍。由于气体是看不到的，空气活动有时候总是被忽略。应该牢记基质处理既包括固体，也包括气体部分。

二、通风速率及控制

（一）通风速率

向发酵设备内的堆肥物料通风时，应使通入的空气均匀地分布在全部堆料中。好氧堆肥的通风供氧方式主要有自然扩散、翻堆、被动通风及强制通风。条垛式堆肥系统常采用自然扩散、翻堆和被动通风方式，静态垛和大多数反应器堆肥系统常采用强制通风。堆肥期间需要供应的总空气量包括供氧的需要量、除湿需要量和除热需要量。当把这些空气量转化为实际的气体供应速率时，就可以指导通风控制。

对于分批给料工艺，如条垛和好气静态堆肥，根据堆肥持续的时间，可以把总空气量转化为通气速率。除平均速率外，还会用到通气最大速率和最小速率。研究者认为，在 45~65℃ 的温度范围内，最大速率大约为 $4\sim14\text{mg O}_2/(\text{g VS}\cdot\text{h})$ ，对于混有木屑的粗污泥来说，最大通气速率约为 $108\sim136\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{t 干物质})$ 。

如果通气系统不能满足最大通气需求，堆肥过程中的温度会超过设定的温度。分批给料堆肥系统多采用不同的通气方式。对于一些通气堆和条垛系统，一个堆或者系统仅用一个吹风机；在这种情况下，通过吹风机可以满足最大需求。其他的一些系统采用中央吹风设施和许多单个堆相连，这样，由于所有的堆不可能同时达到最大耗氧量，最大需求就要分别考虑。

堆肥系统操作时要在最小速率和最大速率范围内变换，对于单个的堆或者条垛，平均最小通气速率通常出现在堆肥开始或结束时，数值约为 $5.68\sim14.2\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{t 干物质})$ 。

很多堆体可以设定为连续或半连续进料，基质的停留时间通常大于 10 天，每天的进料进度可以连续进行计算。

对于连续进料系统，根据每天进料基质的重量，可以把需要空气的量转化为通气的平均速率。针对不同堆肥原料与不同堆肥规模采用的通风速率见表 5-2，可作为参考。

表 5-2 堆肥通风速率

堆肥底物	通风速率	备注
鸡(牛)粪+玉米糠(秸秆)	$0.3\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	堆肥规模 1m^3
污泥+木屑(煤灰)	$0.1\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	堆肥规模 45L
鸡粪+锯木	$0.1\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	堆肥规模 90L
蔬菜、花卉废物和养殖粪便	$0.5\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	堆肥规模 2m^3
重庆城市生活垃圾	冬: $0.11 \sim 0.12\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$ 夏: $0.12 \sim 0.15\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	
厌氧污泥+木屑	$6.7 \sim 8.3\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$	0.085m^3 螺旋装置
猪粪+木屑	$3\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	堆肥规模 0.1m^3
农业废弃混合物	$0.5\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$	
农业废弃混合物	$0.4\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	堆肥规模 20L
污泥	$0.3\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{t 干泥})$	
污泥	$0.3\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{t 干泥})$	
	$0.69\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
猪粪	$0.3 \sim 0.9\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
	$0.34 \sim 1.10\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
城市垃圾	$0.5 \sim 1.16\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
牛粪	$0.87 \sim 1.87\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
	$0.42 \sim 1.25\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgOM})$	
猪粪废弃物	$0.04 \sim 0.08\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgVM})$	
	$0.3 \sim 2.8\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgTS})$	强制通风静态垛
猪粪+稻草	$0.002 \sim 0.018\text{m}^3/\text{s}$	被动通风
猪粪	$0.7 \sim 1.5\text{mg}/(\text{s} \cdot \text{gTS})$	被动通风
狗食+木片	$0.06 \sim 0.60\text{L}/(\text{min} \cdot \text{kgTS})$	实验室规模

注: 1. 备注列中没有特殊标明的为强制通风反应器系统 (常勤学, 2007)。

2. OM 代表有机物; VM 代表挥发性有机物; TS 代表总固开/物。

(二) 通风控制

一旦确定了最小、平均和最大通气速率, 就可以根据需要进行选择控制系统来调节通气速率。在实际过程中, 有很多控制方式。

(1) 不进行控制 条垛式自然通风是一个实例。这种方法不能应用于好气堆或反应器系统。

(2) 手动控制 用节流阀进行手动控制通气速率。在整个堆肥期间, 通过节流阀可以手动调节各个倾斜式排气管或者吹风机中的流速。

(3) 通过定时器开/关控制 这种方法通常用于静态堆和一些反应器系统中。定时器和节流阀相连接, 调节开放时间和流速。虽然定时器开/关控制方法能够提供堆肥所需的氧气, 但是堆肥不能保持最佳温度, 温度超过适宜范围, 反而限制堆肥进程。

(4) 根据 O_2 或者 CO_2 的含量, 进行反馈控制 将 O_2 和 CO_2 探针插入堆肥混合物料或者排气管中, 可获得 O_2 和 CO_2 产生的信号, 调节空气的供应, 并维持一定的 O_2 或者 CO_2 的含量。 O_2 或者 CO_2 的含量是可以控制的变量, 通气速率是可以调节的变量。有研究表明, 控制 O_2 浓度在 15% 左右, 堆体最高温度为 70°C , 有机质降低了 14%, O_2 反馈通风系统能耗较低 (不用搅拌), 但堆体温度容易过高。

(5) 根据温度, 进行反馈控制 在堆肥混合物中插入热电偶, 它产生的控制信号可以用来调节空气的流速或者吹风机上的定时开关, 维持一个设定的温度。温度是一个可以控制的变量, 通风速率也是一个可以调节的变量。当温度超过设定上限时, 风机通风速率自动提高使堆体冷却; 当温度低于设定下限时, 风机通风速率自动降低以维持堆体温度。这种控制方

法用于很多静态堆和反应器系统，证明效果很好。

(6) 空气流速控制 如果日进料量是一个合理的常数，对于操作者来讲，通过手动调节扇形节气阀或者设定一个控制流速的回路，能够把流速控制到一个预期的值。一些条件变化不大的反应器系统使用这种方法。

三、翻堆控制

翻堆是通过翻倒、搅拌等方式使堆料、水分、温度和氧气等达到均一化，还可以起到供给空气、混合物料、散发水蒸气的作用。但翻堆也会造成发酵温度下降。对于强制通风式堆肥系统和很多发酵仓堆肥化系统，供氧的作用过程十分清晰，比如，固定通风量的堆垛系统，鼓风机通入空气，使之穿过堆垛，借此提供需要交换的空气。但对于没有通风的条垛堆肥系统，主要的通气机制是通过搅拌来补充氧气的。在进行温度管理时，尤其是当外界气温比较低时，可以通过调整搅拌和翻堆的频率，使得原材料的温度不下降。一般情况下，翻堆频率越高，堆肥原料可进一步均一化细粒化，再通过翻堆，供给空气，加快堆肥化原料和微生物的表面更新作用，促进好氧发酵。同时，通过翻堆，可以同时蒸发水蒸气，引起原料中的水分含量下降。但是，若翻堆频率过高，发酵中已升温的原料的散热量也增加，反而有可能使得发酵温度降低。相反，在发酵设施的翻堆频率小的情况下，就不能享受到上述翻堆所得到的效果，所以好氧发酵的效率不高，发酵天数就变长了。因此，要根据堆肥化原料中有机物的含量和翻堆机种，设定最适合的翻堆频率，通过翻堆来改善各种效果，促进发酵，尽量减少其散热。

翻堆主要可以通过压缩堆积材料来防止通风不良的现象产生、防止块状物质产生、补充新鲜空气、防止散发以氨气为主的气体以及防止发酵产生的热量使水分蒸发。在进行水分管理时，如果水分较少，可以通过减少频率，来防止发酵速度减慢和微生物的活性降低。若发酵设施的翻堆频率高，可以使发酵设施密闭化来减少散热量，或者用保温材料建造发酵设施的外壁来维持温度，或者利用其他的热源加温等来阻止发酵温度下降。

在寒冷的季节，当外界气温低于 10°C 时，由于搅拌、翻堆时会放出大量的热量，因此，很难使温度升高，相反，有时还会引起温度降低。因此，对搅拌、翻堆等运转进行管理，以减少排放的热量，必要时需对通入的空气升温。在二次发酵中，分解反应速度减慢，产生的热量也变少了，所以搅拌、翻堆的频率也可以降低。在二次发酵中，若持续产生大量的热量时，说明一次发酵的时间不足。原材料在寒冷季节，很可能不能在所设定的一次发酵期间内充分进行分解反应。在这种情况下，有必要在二次发酵的前半段对搅拌、翻堆的频率进行调整，并进行运转管理，确保生产出高品质的堆肥产品。

翻堆控制的通气机制如下。

1. 交换体积

假设混合基质中的自由孔隙已知，一旦确定了所需空气的总体积，就可估算出交换体积数。交换体积数被认为是混合物料自由孔隙空气在满足化学需氧量下空气更新的次数。

假定每次搅拌条垛时，可完全更新孔隙中的空气，而且没有其他的通气机制发生。在这种条件下，搅拌条垛的次数就一定等于体积交换的次数。研究人员观察到，在不通气污泥条垛中，搅拌后的几分钟至几个小时内，氧气的浓度通常就降低到不能检测的浓度（图 5-2）。根据条垛的大小，可以估计约有 50% 条垛体积为好氧，剩余的是微好氧或者厌氧。

例如污泥中固体含量越高，则可被微生物降解的有机物越多，所需的换气数也就越多。在堆肥的前期阶段，所需的换气数为 300~4500 次，在堆肥的中期阶段，自由孔隙将随着水分的蒸发而不断增大，堆肥所需的换气数通常为 1500 次左右。

关于条垛堆肥需要搅拌的频率，一般认为需隔一天搅拌一次最好，总共需要 4~5 次。

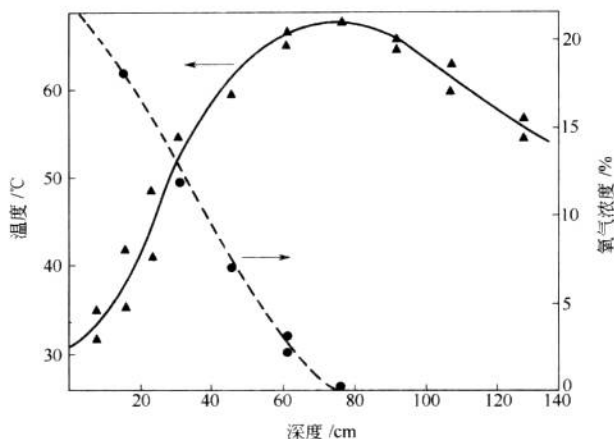


图 5-2 由消化污泥和堆肥回料堆置的条垛，其不同深度 (cm) 的温度和氧气浓度 (%) 的曲线图
(Lacoboni et al., 1979, 在搅拌条垛 5h 之后测量)

第 4 次或者第 5 次搅拌结束时，堆肥中的物料应该很稳定，不需要再进行搅拌。如果物料很湿或者很结实，增加搅拌频率效果会更好。

显而易见，通过搅拌条垛而交换自由孔隙中的空气并不能满足空气需求。在条垛堆肥过程中还需要其他的通气机制。

2. 分子扩散

如果不强制通风，在搅拌过程中，供应的氧气通过两种方式进入条垛孔隙内部：①通过分子扩散；②能量梯度驱动下的空气质量运动。

液体分子间一定的随机碰撞导致了分子扩散，由于多次碰撞，分子从高浓度向低浓度运动。如果条垛堆内的氧气耗尽，分子运动的结果使环境中的空气进入堆内。同样，二氧化碳和水蒸气从条垛内部扩散到外部空气中，因为外部空间的二氧化碳和水蒸气浓度低。

然而，分子扩散的速率和堆肥所需的氧气供应速率相比很慢。而且，随着含水量的增加，扩散的速率降低，对于湿基质来讲，问题更明显。如果堆肥层很薄 (5~10cm)，分子扩散就很重要。即使在这种情况下，氧气的扩散速率估计仍小于最大需氧速率的 5%。因此总体上分子扩散在通风方面作用有限。

3. 自然通风

由于分子扩散是不现实的氧气输送机制，所以很显然只有通过能量梯度驱动空气质量运动才能供给足够的氧气。

可以观察到，即使不经常搅拌堆体，在它们顶部仍会经常冒出蒸汽，这表明在堆体内部本身就进行着水蒸气的流动和排放。这种运动是堆体内部高温气体作用的结果，类似于烟囱内热气流的上升。这种作用称之为自然通风。

在条垛或者反应器内部，气体的温度和湿度高，而周围环境的空气温度和湿度低，两者的密度差产生向上的浮力，从而引起自然通风 (图 5-3)。自然通风的概念很容易理解，但问题是自然通风的速率是否能够满足实际氧气的需求。

在传统的 (不进行强制通风) 条垛或者反应堆中，自然通风可能是多数氧气传递的驱动力；条垛内外部气体之间密度差、物料颗粒的大小以及自由孔隙空间，三者共同决定通气速率；如周期性的机械翻堆对自然通风的效率有很大影响，这是由于翻堆增加了堆肥物料的自然

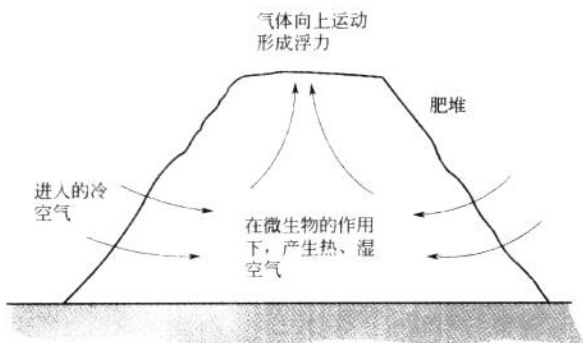


图 5-3 堆肥期间产生的热、湿空气作用的浮力

由孔隙,在物料颗粒尺寸不变的情况下,自由孔隙直接与自然通风率相关;增加堆肥混合物中颗粒的尺寸可以增加自然通气率,对于颗粒尺寸在 0.1~1cm 范围内的物料,自然通气可以满足堆肥所需氧气量;另外堆体中添加适合的调理剂如锯屑、稻壳将影响物料的颗粒尺寸进而增加自然通气率。通气速率在其他因素不变的情形下和堆体的高度无关。随着高度的增加,自然通风速率相对不变,然而堆体底部单位面积的氧气消耗量增加。因此,对堆体的高度就有一个限度,超过它就不能通过自然通风供给充足的氧气。一般认为,对于高度为 1~3m、颗粒大小约为 0.1cm 或者更大和温度差约为 40℃ 的堆体,自然通风可以供给充足的氧气。据报道,当好氧条垛大约 1.2m 深时,自然通风的效果很好。

堆肥实际生产运行中,通风、搅拌是运转管理的重要因素。而机械搅拌中,根据装置和机器变更范围会有所限制,这时利用铲斗装载机进行翻堆时,可以人为的进行调整处理。一般情况下,在横型发酵设施中,搅拌的频率为 1~2 次/日,在密闭式的发酵设备中为 5~20 次/日,在旋转窑炉式的发酵设施中进行初次发酵时为数次/分,一次发酵中为数次/时。使用密闭隧道式和密闭容器式的发酵设施时,对原材料的水分进行调整之后,再把它投入密闭式的发酵设施中,进行翻堆通风控制。

第三节 臭味控制

堆肥过程中常伴随着臭气、灰尘、虫卵的生长,这些致臭气体随着水蒸气和二氧化碳一起排出,污染堆肥场周围空气和周边环境,吸引苍蝇及鼠类等,传染疾病。毫无疑问,臭气控制在堆肥生产中是一个十分重要的问题,在堆肥厂设计时,很有必要对臭气进行专门设计,防止二次污染。

一、常见臭气化合物

所有生物,包括植物和动物都会释放出臭味分子,并进入大气,以微小的浓度存在于大气中。即使堆肥初始物料不包含气味分子(这种情况不太可能),通过生物代谢途径也会产生许多有气味的中间化合物。研究表明堆肥过程中产生的重要潜在臭味物质主要有脂肪酸、胺类、芳香族、无机硫、有机硫、萜烯、氨气、酮类及醛类等。

(1) 脂肪酸 脂肪酸是一种具有相对长链结构,由脂肪类、油类和蜡状物组成的一元羧酸。这种长链酸可以水解成易挥发的小分子酸类,如乙酸、丙酸、丁酸。乙酸像被人熟知的醋一样具有明显的可辨别的气味。挥发性脂肪酸易于降解。

(2) 胺类 胺类是由氨引出的一类烷基,是由蛋白质和氨基酸在厌氧分解下产生的。胺类会产生于一些工业废弃物,尤其是加工鱼类和甜菜类的工厂。由甲胺、乙胺、二甲胺、三乙胺、尸胺、腐胺等组成的胺类都具有腐烂味和腥臭味。

(3) 芳香族和杂环化合物 芳香族有机物是以一个或多个苯环组成的一类有机物,芳香族导致了许多木头具有气味。在好氧发酵过程中大量的木质素分解会产生芳香族类物质。吡啶和粪臭素是具有代表性含有一个苯环和一个含氮的环状结构组成的杂环化合物,它们产生于蛋白质的厌氧分解过程中,而且具有让人讨厌的气味。

(4) 无机硫化物 硫化氢是在废水工业中常见的一种臭味物质,它产生一种类似臭鸡蛋的气味。硫化氢的产生一般有两条途径:第一,在厌氧发酵过程中由蛋白质或者含硫有机物的分解产生;第二,有机物和硫酸盐在无氧的条件下,硫酸盐可以作为电子受体被还原成硫化氢。在堆肥过程中如果有厌氧条件存在,例如物料内部有通气性差的块状物时就会产生硫化氢。

(5) 有机硫化物 硫醇是酒精的含硫异构物,通常结构式为 $R-SH$ 。它典型的特征是令人可恶和讨厌的气味,并随分子量的提高而减轻。人的鼻子可以闻到 30 亿份空气中含有一份乙硫醇。烷基硫化物是带有 $R-S-R$ 结构,醚的含硫异构物,它们被发现存在于洋葱、大蒜这种具有特殊气味的植物中,10 亿份空气中含有 1 份烷基硫化物就可以闻出。

在厌氧和好氧条件下硫醇可从含氨基酸的硫化物形成,在厌氧条件下更容易产生。例如堆肥块周围存在一些厌氧区的情形下,若供应氧气,硫醇可能会被氧化成二甲基硫化物和二甲基二硫化物,因此这些化合物的每一种都可在堆体中产生和分解。

(6) 萜烯 萜烯是由一个或多个碳环派生出来的环烷化合物,它是一组天然的有机化合物。萜烯主要存在于植物王国,许多植物具有香味就是因为含有它。因此当用植物做原料进行堆肥时它们也会放出有气味的分子。研究总结出在用木屑和锯屑堆肥过程中会有较多萜烯产生。

(7) 氨 蛋白质和氨基酸的好氧和厌氧分解过程都会产生氨。任何低 C/N 的物料都易于释放出过量的氨到大气中。污水污泥、渔业垃圾、粪便和草类都具有较高的蛋白质含量,从污泥堆肥中排出的气体,其氨气的含量可达到 $1000\text{mL}/\text{m}^3$,短期内人体吸入大量氨气后可出现流泪、咽痛、咳嗽、呼吸困难,并伴有头晕、恶心、乏力等症状。若吸入的氨气过多,导致血液中氨浓度过高,则会通过三叉神经末梢的反射作用而引起心脏的停搏和呼吸停止,危及生命。幸运的是,氨气具有相对较高的气味浓度阈限,若快速稀释就难于检测到。通常认为离开工厂一段距离该气体就变得相当稀少。

(8) 酮类 酮类是羰基与两个烃基相连的化合物。根据分子中烃基的不同,酮可分为脂肪酮、脂环酮、芳香酮、饱和酮和不饱和酮。酮类可与醛类反应产生胺类物质。

(9) 醛类 醛类是分子中由烃基跟醛基相连而构成的化合物。白酒发酵过程中会产生醛类。低沸点的醛类有甲醛、乙醛等,高沸点的醛类有糠醛、丁醛、戊醛、己醛等。醛类的毒性大于醇类,其中毒性较大的是甲醛,毒性比甲醇大 30 倍左右,是一种原生质毒物,能使蛋白质凝固,10g 甲醛可使人致死。在发生急性中毒时,出现咳嗽、胸痛、灼烧感、头晕、意识丧失及呕吐等现象。

(10) 其他类 事实上,堆肥过程中具气味的有机化合物的数量非常多。在物料初期或者经过微生物新陈代谢作用产生的酒精、烯烃、酯、丙烯酸盐、丁酸盐等都是具有气味的代表性物质。

二、臭气指数

臭气指数 (OI),用来测定特定气味物质引起臭味的潜力。臭气指数是以有气味的气体

分子为基础建立的,这种气体必须具备以下条件:①它必须存在于大气中,并可被输送和接纳;②它在大气中必须具有一定的蒸汽压力。蒸汽压力越高存在的分子就越多。一旦这些分子存在于大气中,人类就会对它有所反应,这种反应取决于人们对特定分子的灵敏程度。因此臭气指数被定义如下:

$$\text{臭气指数 (OI)} = \frac{\text{蒸汽压}}{\text{臭气识别域限 (100\%)}}$$

臭气指数 (OI) 是一比率,可有效表明一种臭气物质进入大气并产生可识别反应的能力,它可测量一种特定气味物质在蒸发条件下导致臭味的潜力。

不同臭气组分的沸点和蒸发压力见表 5-3。氨、硫化氢、乙硫醇、二甲基硫和乙醛的沸点都低于堆肥过程中的普通温度。所以,堆肥过程中产生这些物质后就会以气态挥发出来。氨和硫化氢在液相会离子化,由此减少了非离子化的浓度,限制了挥发。其余的物质沸点接近或高于堆肥过程的一般温度,不过,它们也有明显的蒸发压力,也可以蒸发成气态。

表 5-3 部分臭气化合物的臭气指数及臭气浓度域限

化合物	TOC/(mL/m ³) ^⑤		温度 /℃	蒸汽压 /mm Hg	臭气指数
	可检测 ^①	可识别 ^②			
氨	0.037	47	-33	bp ^③	167300
硫化氢	0.00047	0.0047	-62	bp	17000000
1-丁烯	0.069		-6	bp	43480000
甲基硫醇	0.0011	0.0021	8	bp	53300000
乙胺	0.026	0.83	17	bp	1445000
二甲(基)胺	0.047	0.047			
乙醛	0.004	0.21	20	bp	2760000
乙硫醇	0.002		23	bp	289500000
1-戊烯	0.0021		30	bp	376000000
二甲基硫	0.001	0.001	36	bp	2760000
二甲基二硫醚	0.001	0.0056			
二乙基硫	0.0008	0.005	88	bp	144000000
丁硫醇	0.0005		65	bp	49340000
丁酮			80	bp	3800
乙酸	0.008	0.2	63	100 ^④	15000
丙酸豚			66	40	112300
α-松萜,松油	0.011		37	10	469000
桉油酚,桉树油			54	10	
柠檬油精,柠檬油			54	10	
丁酸			61	10	50000
粪臭素	0.0012	0.47	95	1	30000

① 可检测域限。

② 可识别域限。

③ 760mmHg 下的沸点。

④ 相应温度的蒸汽压力。

⑤ 臭气浓度域限 (TOC), 指能够引起感觉的有臭味气体的最小浓度值。

三、臭气浓度和释放速度

要恰当的处理臭气,必须定量地测量它们。如果气体中的化合物比较少,那么用分析技术可以确定其中产生臭味的物质的浓度,如气相色谱/质谱技术,如果臭气的最低限定浓度已知并且各种组成成分明了,则确定稀释程度就可处理臭气,这种方法最适合于气体成分数量有限的一般工业生产中。

然而大多数的臭气来源广泛,并且其组成通常都是未知的。在这种情况下,人的鼻子仍然是检测和确定臭气强度标准的一个可接受的标准。毕竟它是人感觉气味的器官,没有任何的机械能够来模拟它的反应,而且实际中器官感觉方法要比化学分析仪器更加灵敏。

臭气浓度域限(TOC)是指能够引起感觉的有臭味气体的最小浓度值。一般情况下,使用的临界值都是通过嗅觉小组给出的50%、100%(包括最迟钝的)和10%(最灵敏的)水平下的临界值。当给出的TOC没有进行任何界定时,就可用50%的临界值。所以,50%的绝对感觉临界值或检测临界值就意味着嗅辨小组50%的成员都检测到了臭气时的浓度。实践中臭气浓度域限的测定也存在着一些困难,例如采集样品,对于堆垛式堆肥系统气体采集不容易,即使收集到臭气,储存过程中样品浓度可能会发生变化。臭气的分析成本高昂,而且由于人们对于臭气的敏感性各不相同,所得到的结果也不尽相同。

由于许多堆肥系统直接暴露在空气下,这时测定表明臭气排放速率就很有意义。臭气的浓度以及气体流量的乘积被假定等于表面臭气排放速率(SOER)。通过在样品表面盖罩,从罩内抽取空气,测定抽取空气的臭味浓度和空气的流量进行SOER的检测。SOER的正确表示单位是 $\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。假想空气以 $1\text{m}^3/\text{min}$ 的速度通过一个 0.5m^2 的样品区域,如果样品气中含有臭气10ou(ou为臭气单位),那么SOER就应该为 $20\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。

表5-4给出了一个条垛堆肥厂的SOER值。从数据看,随堆肥化过程的进行,臭气释放是减少的。开始7天臭气没有明显降低,可能与低温有关,SOER值因此显著提高,翻堆前平均可达 $15\sim 30\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,翻堆后SOER值迅速增加到 $550\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,然后在接下来的3~4h开始降低。通过综合分析该衰减曲线,可确定翻堆后的4h内释放的臭气几乎占全天的50%。堆肥区平均臭气释放率约 $2.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{min}$ 。

表5-4 洛山矶县卫生区垛式污泥堆肥厂的堆肥温度和SOER的比较

堆垛时间/d	平均堆体温度/℃		SOER/ $[\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)]$	
	1972 年	1977 年	1972 年 ^①	1977 年 ^②
0	32.2	28.3	9.8	13.1
1	40.0	29.4	8.5	12.8
2	45.5	34.4	7.6	35.4
3	50.0	34.4	7.0	45.1
4	52.2	37.8	6.1	46.3
5	53.3	37.8	5.5	65.2
6	53.9	42.2	4.6	138.7
7	54.4	31.7	4.0	28.4

资料来源:Render, 1978。

① 1972 年的 SOER 值由嗅辨小组测定。

② 1977 年的 SOER 值由便携式嗅觉计测定。

臭气的报警浓度,指无论臭气的性质如何,只要臭气的浓度超过50ou,人们很容易察觉到的浓度就是臭气报警的极限水平,也称为分散极限。而当臭气浓度为10ou就达到臭气报警水平的,则能够引起人们身体不适和心理亚健康。堆肥过程中有时臭气浓度很高,所以把臭气浓度控制在被大部分人所接受的一个很低的水平是最为现实的目标。

四、臭气处理的方法

目前堆肥臭气的控制主要使用以下几种措施:a.堆肥过程优化控制技术;b.分析调查臭气产生的来源;c.臭气的收集;d.臭气的处理;e.残留臭气的有效稀释扩散。堆肥过程的优化控制技术包括制定合适的堆肥物料混合比,调节碳氮比;保持堆肥混合物料合理的孔隙度以保障通气;抑制堆体中产生厌氧发酵的条件,使堆肥微生物代谢充分;在堆肥起始物

料中添加生石灰调节堆体 pH 值以降低臭气排放。堆肥的过程控制十分重要,但不能达到直接排放的要求,故对臭气进行处理就必不可少。目前臭气处理的方法主要有:物理吸附、化学洗涤、生物过滤以及基于热化学原理的热处理等。

(一) 吸附

吸附是指颗粒状物质从气体或液体中分离和储存不溶物质的过程。使用最广泛的吸附材料是活性炭。吸附材料的孔隙度与面积和质量比相关,而面积质量比决定材料的吸附效率。此外气体的性质也与吸附的效率有关,气体的溶解度越高,吸附效果越好,比如氨气、硫化氢和二氧化硫等。常规的吸附装置由内设活性炭吸附床的圆柱形容器组成,臭气由上而下通过吸附床被活性炭吸附,另外活性炭还可浸泡氢氧化钠,但活性炭使用一段时间后需要活化或者重新更换。吸附法对于浓度低于 5mg/L 的臭气去除效率较高。

(二) 洗涤

液体洗涤是指通过特定的洗涤装置,把臭气化合物溶解到洗涤液中的一种臭气处理方法。液体使用水或者化学吸收液,吸收可以仅仅是溶解,也可以通过化学反应去除臭气。常用洗涤装置包括喷雾塔、填充式洗涤床、流体洗涤床、板式塔、喷射洗涤器。

用水做吸收液可以吸收氨气、硫化氢等气体,其脱臭效率随液气比增加而增加。但是臭气在水中溶解度小,并且性质不稳定,有可能从水中再次逸出。用化学吸收液,由于吸收过程伴随着化学反应,其除臭效率较高,同时也可节省大量用水,所以堆肥厂选择吸收除臭气时,应尽可能选择化学吸收。

通常的化学药剂包括:

氧化剂,例如次氯酸钠 (NaOCl)、过氧化氢 (H_2O_2) 及高锰酸钾 (KMnO_4); 碱性物,例如 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH ; 酸类,例如 H_2SO_4 、 HCl ; 还原剂,例如 Na_2SO_3 、 H_2O_2 ; 吸收增强剂,例如表面活性剂。

在大多数堆肥条件下人们关注的臭气化合物包括:①氨,以一定的比例存在于基质中的有机氮内;②有机硫化物,如硫醇、二甲基硫化物等;③无机硫的化合物,如硫化氢;④其他有机化合物,如萜烯;⑤非完全氧化产物以及化学洗涤形成的剩余臭气化合物。要去除所有这些化合物必须具备不同的吸收条件,单一臭气的吸收对于复杂的堆肥过程效果并不好,目前的最优方案是采用多级洗涤,在每一阶段设置可吸收特定化合物的条件,一般至少要两级或多级处理。

加拿大蒙哥马利市建造的三级雾化洗涤塔示意如图 5-4 所示,三段雾化塔中一号塔直径 2.44m、22.86m 高,二号塔直径是 4.27m、高 22.86m,三号塔直径是 2.44m、高 17.68m。这些塔分别提供了约 4.5s、14s、3.5s 的气体停留时间。

在每一个塔内通过雾化(雾化作用或气雾喷嘴)和喷雾嘴引进化学溶剂。雾化过程产生的大面积小雾滴可以吸收塔中经过的化合物,喷雾嘴产生的大的液滴带来的附加气体可以促进液体的接触并帮助黏和及部分除去浮质。雾化塔相对于填充床一般需要更长的气体停留时间。

在第一阶段洗涤过程中完成了除氨,硫酸被用来中和不溶解的氨。第二阶段的设计主要是除去有机硫化物和其他有机的有气味的气体如萜烯,通常采用氧化洗涤溶液。第三阶段洗涤的目的是除去第二阶段排出的氯,通过过氧化氢和亚硫酸氢钠来除去残留氯,弱碱性过氧化氢溶液是最有效的去除氯的还原剂。

(三) 生物过滤

生物除臭系统主要有两种,分别是生物滤池和生物滴滤池。原理是在有氧条件下,利用好氧

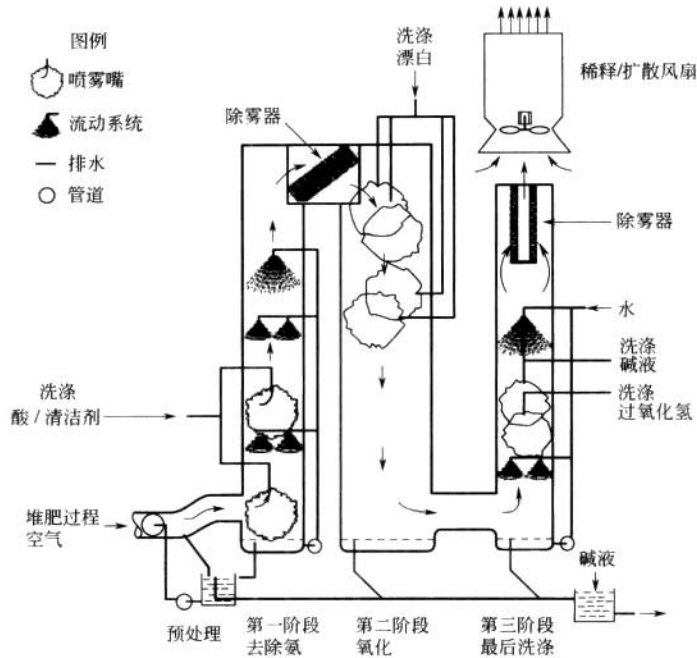


图 5-4 蒙哥马利市建造的三级雾化洗涤塔示意

微生物的代谢活动将臭味气体转化成无味或较少气味气体的方法。生物滴滤池与生物滤池基本相同，不同之处是生物滴滤池间歇向滤床材料喷水，而生物滤池连续向滤床材料喷水。

生物过滤就是一种空气污染控制技术，由生物滤床和相应的气体分配系统组成，生物滤床的材料具有一定的孔隙度。图 5-5 给出一种生物过滤器系统的框图。有气味的气体在进入生物过滤器前要增湿，一多支管系统用来将气体分配穿过过滤器介质，当臭气通过滤床层时，一部分被吸附，同时作为材料上微生物的养分而被消化利用，有味的气体因此被转化为无味或者较少气味的气体。

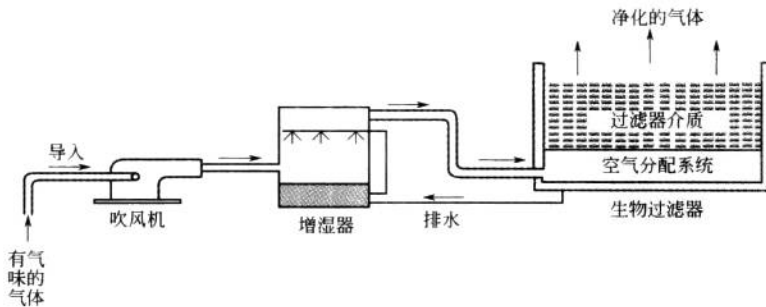


图 5-5 一种生物过滤器系统的框图 (Leson 和 Winer, 1991)

已有成功使用生物过滤的案例表明， 836m^2 的生物过滤器处理了大约 $1193\text{m}^3/\text{min}$ 的混合气体，表面气流速率为 $1.52\text{m}/\text{min}$ [$91\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]。入口气体浓度为 $500 \sim 600\text{ED}_{50}$ (ED_{50} 为臭气单位)，出口浓度一般在 $15 \sim 30\text{ED}_{50}$ 的范围。开始的生物过滤器主要由于介质干燥而没有达到这种性能，人们使用了工厂的后熟堆肥作为生物过滤器的介质，后来这种介

质被木屑、树皮及树叶堆肥组成的新介质所代替。新的介质非常透气，不易渍水。四个喷水滴头被插入供气管道，以使气体浸透而减少氨水的浓度。在生物过滤器的顶部还设有二级管喷洒，确保介质全部湿润，共有 225~450L/min 的次级管道与支管喷头相连。整个喷淋一直持续了一个夏天，在冬天就关闭了，以防止冷冻。生物过滤器的排水被返回了堆肥厂，生物过滤器每隔几个月清理一次以防止开裂和堵塞。气味测量一直每天进行以监测生物过滤器的性能。这些物理和运行改进导致除臭系统具备了高效率、可靠和相对低的操作成本的特点。

设计生物滤池主要考虑以下四个方面。

(1) 介质的性质 所用介质需要满足的条件有：较大的颗粒比表面积；颗粒粒径均匀且孔隙度大；pH 值缓冲能力强。滤床的厚度不宜过高，因为一般情况下只有 1/5 的滤床厚度用于发生去除作用。

(2) 空气分配 常用的空气分配系统有：多孔管系统、压力通风系统、底部排水系统。多孔管置于介质底层，合适的管径大小以保证气体分配均匀。压力通风系统采用鼓风机，均化空气压力。底部排水系统空气向上运动，底部收集排水。

(3) 湿度控制 好氧微生物最适宜的湿度条件是 40%~60% 之间，湿度过高或过低都会影响微生物的代谢活动，降低除臭效率。严重时会导致滤床中产生厌氧环境，一般喷洒水的投加量为 $0.75 \sim 1.25 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

(4) 温度控制 生物滤池最有利的温度条件是 25~35℃ 之间，这时微生物的生长繁殖最快，除臭效率明显。在环境温度较高时，进气可适当冷却；环境温度较低时，进气可适当加热，滤池也应采用保温措施。有研究表明填料温度每增加 10℃，微生物的降解速率可提高 1 倍左右。

(四) 掩蔽与中和

掩蔽剂是用一种舒适气体来掩蔽或压制另一种不舒适气体的方法，一些芳香气味如香草、苹果或柠檬就被加入到环境空气或气流中来掩蔽或混合这些讨厌的气味。

掩蔽剂的一个主要优势是设备易得，便携式和相对成本较低。一个典型的系统由一装满掩蔽化学试剂的桶和安装在其上的喷雾嘴组成。但是通常使用掩蔽剂和臭气产生的混合物不够稳定，有时其气味比原有臭味还难闻，限制了掩蔽剂在堆肥场的利用。

中和剂是采用一些中和化学物质，与一种臭气发生反应而产生较少气味的混合物。在一些情况下，中和剂可以和臭气分子相结合产生出较小气味的混合物，并有较高的蒸气压。中和剂可以用来中和的臭气类型为胺、硫醇类、乙醛和芳香物。中和剂反应很快，不像掩蔽剂。常用的中和剂有甲酸、稀硫酸、硫酸亚铁、石灰、过磷酸钙等。

有报道称，将中和剂喷进一个静态堆肥设备的吹风机尾气中，获得了 44% 的 ED_{50} 减少率。通过改进，即引入化学药剂，将四个喷嘴安装于尾气风扇的下面。通过使用嗅辨小组和具有强选择性的动力嗅觉计测量了气味浓度，共做了八次重复，未处理气体浓度平均 720ED_{50} ，范围为 $610 \sim 910\text{ED}_{50}$ ，处理后的气体浓度平均为 135ED_{50} ，范围为 $100 \sim 158\text{ED}_{50}$ 。

基于这些数据，中和剂看来可以减少堆肥气味浓度。然而，需要指出结果并不总如报道中的那样令人满意。

第四节 氮素损失与控制

堆肥过程中，会发生大量氮素损失。如何在堆肥中保持尽可能多的氮素是获得堆肥产品很重要的一个目标，因为含氮高就意味着堆肥价值高，同时也可减少氨的挥发。

在堆肥过程中几乎所有氮的损失都是由于有机氮化合物分解导致氨释放所致。微生物分解含氮的有机源,使之转化为简单的化合物来为新细胞物质的合成提供氮素。一些氮被转化为氨(NH_3),如果氮素出现富余,氨就积累起来,由于它比空气轻,就会从堆体中逸出。

高温堆肥过程中普遍存在氮素损失的现象,大量的氨气挥发通过干湿沉降等方式又会进入自然水体,造成水体富营养化,不仅污染环境,而且降低肥料中的养分含量。据研究表明,城市垃圾堆肥化处理过程中N损失量为50%~60%,污泥约为68%。粪便平均值为40%,最高达77%。因此在堆肥中进行氮素损失控制成为一关键问题,而高温堆肥中的氮素运动规律研究是进行氮素损失控制的基础。

一、影响堆肥氮素损失的因素

堆肥过程中的氮素损失受堆肥原料组成、C/N、pH值、通风、温度、湿度、堆肥添加剂和微生物活动等的共同影响。

(1) 堆肥原料的组成 堆肥的氮损失与初始原料的组成和含氮量密切相关,原料含氮量高,氮损失的比例相应就高。

研究表明,厨余垃圾与树叶等混合堆肥的净氮损失是43%~62%,鸡舍废物(鸡粪、锯末混合物)在强制通风堆制过程中的氮损失为初始氮的59%,单独的牛粪堆制比牛粪与生活垃圾堆肥以1:1体积联合堆制的氮损失高4~10倍。

(2) 堆肥物料C/N 在堆肥过程中,C/N对氨挥发和有机物分解速率有重要影响。若C/N较高,可供消耗的碳素多,氮素相对缺乏,细菌和其他微生物的生长受到限制,有机物分解速度慢,堆肥化过程延长,这种堆肥施入土壤后会与作物争氮并影响作物生长;若C/N较低,可供消耗的碳素少,氮素相对过剩,则氮极易变成氨气而挥发,导致氮素营养大量损失,堆肥物料C/N越低,氮素损失越严重。对鸡粪和锯末高温堆肥研究表明:C/N越低,氮素损失越严重,堆肥合适的C/N范围为25~35。杨毓峰等以畜禽饲养场排放的鸡粪、牛粪为底物,以玉米糠和玉米秸秆作调理剂和膨胀剂进行堆制,堆肥化过程中的氮素损失随起始堆料的C/N升高而降低。

(3) 不同通风方式和pH值 翻堆、强制通风以及鼓风能加快氨从条垛/堆体中逸出的速度。但适当通风是堆肥的关键,因此,不能由于保氮而减少翻堆或通风,只有当保存氮素很重要的时候,才可减少对原料的不必要的翻动。

好氧堆肥初期,pH值一般下降到5~6,而后开始上升,过程完成前可达8.5~9.0,最终成品达到7.0~8.0。pH值在5~6之间时氨挥发较少,在6~7之间次之,呈碱性时挥发损失最大。高pH值增加了氨的损失,特别是像家禽粪便等含氮量高的原材料。在堆肥原料中有两种氨的存在形态:气态氨(NH_3)和溶解在堆肥中的铵离子(NH_4^+)。这两种形态都会出现并能从一种形态转化为另一种,转化比例由堆体条件所决定。较高的pH值能帮助气态氨从堆体中逸出。

(4) 微生物活动的影响 堆肥的初期阶段,堆体内的中温微生物迅速繁殖,随着堆体温度升高,中温微生物活动减弱,超过40℃时降解活动转由嗜热微生物进行,在堆肥的高温期,铵态氮快速积累并提高pH值,此时过量的有效氮就以氨的形式释放出来。55~60℃时微生物的生物量和种类最丰富,降解速率最大,这个时期氨的挥发损失率非常大。

二、氮素转变规律及影响因素

堆肥过程中氮素转化很复杂,主要包括氮素固定和氮素释放。其中氮素的释放主要指有机氮的矿化、氨的挥发以及硝态氮的反硝化。

堆肥原料中氮以有机形态为主,通常主要以蛋白质和肽的形式存在,分布在不同的微生

物群落和腐殖质库中。有机氮作为堆肥全氮的主要组成部分与全氮一样，在堆肥过程中，始终呈降低趋势。一次发酵初期，氮损失速率较快，主要由于 NH_3 高温挥发所致，另外易挥发含氮有机物的直接挥发也是造成氮素大量损失的另一个主要原因；二次发酵阶段基本无氮损失。

堆肥过程氮的转化是一个复杂的微生物活动过程（图 5-6）。

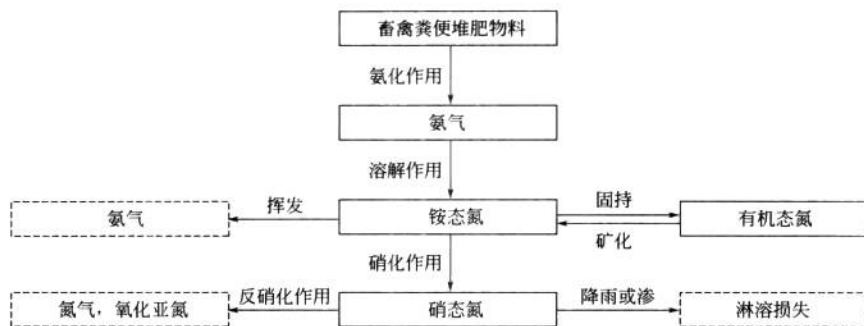


图 5-6 畜禽粪便堆肥过程中的氮素转化与损失途径（黄向东，2010）

一次发酵初期（前 10 天），在微生物作用下，易降解有机物迅速分解，由于物料的含水率较高，生成的氨主要以 NH_4^+ 的形式存在于物料中， NH_4^+-N 的含量不断增加，至第 10 天左右增至最高点。随后，由于高温作用，水汽蒸发加强，引起大量 NH_3 挥发， NH_4^+-N 含量不断降低。

二次发酵（20~50 天）过程中， NH_4^+-N 含量的变化规律与一次发酵类似，但其作用机制与一次发酵完全不同。发酵初期，因微生物作用， NH_4^+-N 含量呈不断增加的趋势，但随着硝化作用的加强， NH_4^+-N 在硝化细菌的作用下，被进一步氧化为 NO_3^--N 。这一过程一直持续至堆肥结束。

硝态氮（ NO_3^--N ）含量主要取决于硝化和反硝化速率之差，物料所处环境为好氧状态时，硝化作用占绝对优势。另外硝化过程还受温度及基质等参数影响。硝化细菌属于嗜温菌，对高温尤其敏感，一般认为，温度高于 40°C 时，硝化作用将受到严重抑制。一次发酵中，因堆料温度高，硝化作用受到严重抑制， NO_3^--N 含量一直很低。故一次发酵的硝化反应表现为温度控制。二次发酵中，由于条件合适，硝化作用强烈， NO_3^--N 含量迅速上升。

三、堆肥氮损失控制的方法

目前，国内外堆肥过程中的氮损失控制方法主要有两类：①改变工艺条件，如保障适量的通风/控温、适当的湿度等；②在堆肥过程中加入添加剂，加入的物质主要有：富含碳的物质，如秸秆、泥炭等，目的是使物料 C/N 升高，减少氮损失；金属盐类及硫元素，如过磷酸钙、 CaCl_2 、 CaSO_4 、 MgCl_2 、 MgSO_4 、 MnSO_4 、 CuSO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 和 SO_2 ；吸附剂，如沸石、黏土、椰壳纤维等；添加微生物，通过固氮、锁氮减少氮损失。

适宜的堆肥工艺条件：研究表明在条垛堆肥过程中，在腐熟期足够长的前提下，加水和翻堆有利于确保氮素。张相峰等提出，通过控制物料初始水分和采用温度反馈的通气量控制工艺可以快速去除水分，使堆体内的氧含量始终保持在较高水平，可以减少堆体内的局部厌氧，抑制反硝化的进行，减少硝态氮的损失。

不同通风方式对猪粪高温堆肥氮素和碳素变化也有影响。单一强制通风由于缺乏对混合物料的翻动，物料之间互相黏结成块，造成堆体较为坚实且分布不均匀；另外，由于堆体孔

隙度较小, 气体交换受阻, 不利于好氧堆肥的进行。多次翻动可以破碎结块的物料, 并通过多次混合使物料分布均匀, 从而减少或消除物料结块及不均匀的现象, 增加堆体孔隙度, 有利于气体交换及好氧堆肥化的进行。强制通风与机械翻堆相结合能促进堆肥温度的升高和腐熟, 加快有机碳的降解和硝态氮的升高, 是相对较好的一种通风方式。

堆肥添加剂的使用: 添加剂是指为了加快堆肥进程或提高堆肥产品质量, 在堆肥物料中加入的微生物、有机或无机物质。在控制堆肥氮损失时, 加入的物质主要有四种。

(1) 富碳物质 保氮的最好方法是使氮降解的速率和氮被微生物吸收的速率相配合。微生物利用氮素的量和可利用的碳素总量是有一定比例的, 因此高碳氮比可明显减少氮的损失。

在堆肥过程中添加高 C/N 的混合物可降低氮损失。畜禽粪便中含有大量的氮素, C/N 一般都低于 15, 为了使堆肥初期满足营养平衡, 在禽粪堆制时, 通过加入富碳物质(秸秆和泥炭)可使 NH_3 损失分别降低 33.5% 和 25.8%; 通过添加 C/N 高且吸附性能好的原料(如泥炭、锯末等)提高混合物料的 C/N 与吸附特性, 可以减少 NH_4^+-N 在堆体内的累积及吸附较多的 NH_4^+-N , 从而减少 NH_3 的挥发。畜禽粪便中的碳素较难被微生物降解, 因此筛选能被微生物高效利用的含碳素丰富的物质来降低氮挥发损失是至关重要的。

(2) 金属盐类及硫元素 金属盐类的添加可降低堆肥过程中 NH_3 的损失。考虑到金属铜、锰的作物安全性和价格, 选择沸石、过磷酸钙和少量 MnSO_4 作为氮素损失抑制剂是切实可行的。

在堆肥中加入过磷酸钙, 可形成磷酸-铵的配合物从而减少氮挥发的损失, 同时 NH_4^+ 可交换复合体上的 Ca^{2+} , 减少 NH_4^+ 的损失。添加过磷酸钙的推荐用量是粪便干重的 2%~5%。

上述这类化学物质对抑制氮挥发具有添加量少、效果快等优点, 但因其成本高、副作用大, 在使用时要进行筛选并控制用量, 以免对环境产生不良影响。

(3) 吸附剂和调理剂 吸附剂和调理剂的添加也可使氮损失降低。目前物理吸附添加剂主要有分子筛、硅胶、沸石、活性炭和玄武岩等, 另外一些天然吸附材料如稻草、橘皮等农业废弃物也可在粪便好氧堆制过程中降低氮损失。钱承梁等(1996)研究结果表明红壤是牛粪吸收氮效果较好的添加物, 稻草是猪粪和羊粪吸收氮较好的添加物, 红壤及稻草是马粪吸收氮较好的添加物。

(4) 外源微生物 外源微生物的添加可调控堆肥过程中氮、碳的代谢, 调控氮素物质分解为 NH_4^+-N 后的气态挥发损失, 保留更多的氮养分。

实验证明, 在固氮菌的作用下, 堆肥的含氮量有一定提高, 纤维素分解菌对固氮菌的生长有一定协同效应。

利用鸡粪和锯末在自动化高温堆肥装置中进行堆肥试验, 并引入两种外源微生物 FM 菌和 EM 菌。结果表明: 两种外源菌对水溶性氨态氮的转化和水溶性有机氮的形成都有明显的促进作用, 对氮素保存有较好的效果。其中 FM 菌对促进有机碳的分解、有机氮的形成和缩短堆肥时间更为有利。

(5) 其他保氮措施 在堆体外面铺一层堆肥或泥炭, 能帮助减少氮素的损失。王岩(2002)等研究发现, 黏土对氨气有很好的吸附作用, 并且覆盖黏土还可起到除臭的作用。但覆盖黏土也有不利于翻堆, 透气性不好, 易导致厌氧发酵等缺点。魏宗强(2009)等研究发现实验的所有处理中, 覆盖篷布和秸秆处理的全氮含量最高, 说明覆盖处理具有良好的保氮效果。

近年来, 国内筛选出多种有机无机脲酶抑制剂如: 酰氢醌、1,4-对苯二酚、邻苯二酚、对苯醌、硫酸铜等。无机脲酶抑制剂对堆肥脲酶活性具有很强的抑制能力, 从而抑制尿素在

脲酶的作用下分解为 NH_4^+ ，后又挥发损失掉，以此抑制尿素的转化率。

第五节 堆肥接种及注意事项

堆肥接种是指从多样化的环境或物料中分离驯化具有不同功能作用的优势微生物菌株，并通过培养发酵形成菌剂，然后将菌剂接种到堆料当中的一类方法。传统的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，因而可以通过添加外源微生物来加速该过程。其原理是通过增加堆肥初期微生物的群体数量来加速有机物质的分解活动，产生大量的热量，使堆体迅速升温，从而缩短堆肥时间，降低对环境的不良影响，提高产品质量。

一、堆肥接种的作用

关于堆肥接种或堆肥接种剂的作用，长期以来存在不同看法。部分研究者认为，堆肥物料中土著微生物种群数量大，接种微生物种群在还没有来得及繁殖成为优势种群前，堆肥物料中土著微生物已迅速繁殖，抑制了接种微生物的生长繁殖；堆肥有机物的种类多、成分复杂，堆肥物料中土著微生物已经对环境条件形成了较好的适应性，并相应具备了对该类有机物的分解利用能力，而接种微生物首先需适应这些有机物或对这些有机物分解利用不充分，很难达到理想效果。但多数研究者和堆肥生产者认为，用于堆肥接种的微生物，都是通过压力筛选，比绝大多数土著微生物具有更强的抗逆性、更好的适应性，繁殖速度快，功能明确；不仅不同堆肥原料土著微生物种类和数量存在差异，即使同一原料因收集途径、储存方式甚至水分含量不同，土著微生物的种类和数量也存在差异，堆肥接种有利于平衡原料微生物种类和数量差异，保证产业化生产中产品质量的稳定；堆肥接种时配套加入适量起爆剂（一般为碳素营养，如蔗糖），能促进接种微生物的迅速繁殖，有效提高堆肥过程中有益微生物种群数量，缩短堆肥化周期；多数堆肥接种剂都含有分解有机废物特别是畜禽粪便、市政污泥中臭味或异味的菌株，有利于净化或改善生产生活环境；由于堆肥接种剂中有目的地复合了一些具有抗病、促生长的微生物菌株，堆肥接种能大幅度地提高产品质量，提升堆肥产品的商品价值。

二、国内外堆肥接种的应用效果

近年来，国内外在堆肥接种研究方面取得了较大的进展。研究者们主要针对接种剂对堆肥的作用、优质高效菌株及菌群筛选以及菌剂的接种量和接种时间等几方面问题进行了研究。Ichida（2001）等认为土著微生物种群可以降解畜禽废物，但是用羽毛降解专性菌则可以加快降解进程。电镜扫描结果表明，接种细菌比不接种细菌的处理角蛋白降解更完全，生物被膜形成的更早。Sharma 等（2009）将筛选得到的丝状真菌接种于以麻风树外皮为原料的堆体中，结果发现，接种的处理具有较高的木质纤维素酶活性，在一个月内存种丝状真菌有利于麻风树外皮的腐熟；堆肥四个月时，发现由于丝状真菌木质纤维素酶作用，降低了堆肥中植物毒性，接种丝状真菌无论在麻风树外皮的腐熟还是降低植物毒性均有显著效果。从我们统计到的 15 篇文献中大部分表明接种是有效的，仅有 3 篇效果不佳（见表 5-5）。

表 5-5 国外堆肥接种效果

原料	接种类型	接种量	时间	效果
麦秸	真菌 牛粪,堆肥,土壤	干重的 0.2% 干重的 5%	60d	有

续表

原料	接种类型	接种量	时间	效果
污泥	堆肥	干重的 20%	120h	无
生活垃圾	堆肥	干重的 30%	200h	有
葡萄渣	细菌	1.4×10^8 CFU/g 干重	12d	无
豆腐废渣	堆肥	干重的 10%	159h	无
狗食	细菌	1.4×10^8 CFU/g 干重	150h	有
马粪、鸡粪、麦秸	<i>Scytalidium thermophilu</i>	0.05%~1.4% (干重)	15d	有
生活废弃物	活性堆肥	30% (干重)	42d	无
	耕层土	40% (干重)		有
				有
蘑菇废弃物	筛选出的野生菌		20d	有
葡萄渣、稻秸	菌剂	5% 的干重	300h	有
猪粪	<i>Bacillus licheniformis</i>	马克法兰氏浊度 1.0	28d	有
麦秸	<i>Streptomyces</i> sp.			
	<i>Trichurus spiralis</i>		42d	有
胡椒、橄榄油废弃物、修剪树枝、杏壳	<i>Bacillus shackletonni</i> , <i>Streptomyces thermovulgaris</i> , <i>Ureibacillus thermosphaericus</i>	$10^6 \sim 10^7$ CFU/g 干重	180d	有
麻风树果壳	霉菌	300g/t	30d	有
蔬菜废弃物、稻秸、牛粪	细菌	2×10^8 CFU/g 干重	60d	有

我国学者对堆肥接种也进行了广泛的研究,其中涉及的微生物种类包括乳杆菌属、芽孢杆菌属、假单胞杆菌属、固氮菌属、微杆菌属、木霉属、曲霉属、白腐真菌、裂殖酵母属、链霉菌属和高温放线菌属等,这些微生物多从自然界中分离获得,并在堆肥应用中取得了良好的效果。陈世和(1990)提出在原有的土著微生物基础上添加微生物菌剂或酶制剂能缩短堆肥周期。李国学等(1999)用鸡粪、稻壳和猪粪堆肥,添加质量分数为0.5%的快速发酵菌剂,可以加速稻壳堆肥进程,显著缩短发酵时间,一般堆制14~21d即达到腐熟要求。庞金华等(1999)在猪粪堆肥制作时,加入两种微生物制剂,可以快速提高堆肥升温速度,促进发酵腐熟,缩短堆制时间。席北斗等(2001)把复合菌剂加入到生活垃圾堆肥和污泥堆肥中,堆肥时间缩短18d。冯明谦(2000)筛选比较了625株细菌、153株霉菌、27株放线菌对果胶、淀粉、纤维素和半纤维素的降解能力。选用了降解能力和抗逆能力均强的芽孢杆菌、霉菌和放线菌各1株作为种子,进行了人工接种堆肥试验,试验表明,接种1.5%能缩短发酵时间16h。李季等(2001)筛选出9株具有不同功能作用、繁殖速度快的细菌、真菌、酵母菌等,并经过组合,研制出能广泛用于畜禽粪便、市政污泥等有机废物堆肥的VT菌剂;席北斗(2003)利用从环境中分离的微生物,通过诱变培育出活性较高的纤维素分解菌株,并将康氏木霉、白腐菌、变色栓菌与EM菌、固氮菌、解磷菌、解钾菌按一定比例组合成高效复合微生物菌剂,应用于有机堆体,加速了堆肥温度升高与原料腐熟。胡菊等(2005)在堆体中接入VT菌剂后,与空白对照堆体相比较,C/N降低得多,并且VT菌剂对堆肥有机碳分解及肥力的提高有一定的促进作用。路伟明(2008)从牛粪中筛选到一株耐低温的纤维素降解真菌,最适生长温度为20~25℃,能作为低温条件下堆肥的外加菌剂使用。籍宝霞(2009)在冬季使用低温发酵菌剂对鸡粪进行堆肥,研究表明在日平均温度为4.9~7.1℃,48~72h即可启动发酵。

根据我们对国内近10年70篇堆肥接种文献统计,接种菌剂效果普遍表现明显,只有8篇反映效果不明显。

堆肥接种效果主要表现为:加快升温,使高温持续时间延长;加速有机物分解;减少氮素损失,提高养分含量;提高堆肥过程中纤维素酶、脲酶等的活性和峰值;提高堆肥的腐熟

度, 缩短腐熟时间; 提高堆肥产品肥效等作用 (表 5-6)。虽然目前一些学者对堆肥接种持怀疑态度, 但许多研究结果对堆肥过程中接种菌剂的促进作用还是充分肯定的。

表 5-6 堆肥接种效果总结

项 目	主 要 效 果
温度	加快堆肥升温速度, 提高堆肥的最高温度, 高温持续时间长
有机碳	加速有机物分解, 加快堆肥腐熟进程
全氮、C/N	减少氮素损失, C/N 降低, 提高养分含量
类大肠菌群	大肠杆菌数量大幅度降低, 有效杀灭病原微生物
主要微生物菌群	增加堆肥过程中细菌总数, 提高微生物种群质量、群落功能多样性和群落均匀度
纤维素酶、脲酶	提高堆肥过程中纤维素酶、脲酶的活性和峰值
腐熟度	提高堆肥的腐熟度
发酵时间	加速腐熟, 缩短腐熟时间
堆肥品质	提高堆肥产品肥效

三、堆肥菌种使用及注意事项

影响堆肥接种效果的因素很多, 不仅有温度、湿度、供氧量、C/N、C/P、pH 值以及堆高、堆体大小、发酵方式等诸因素, 而且还与发酵接种剂的菌种构成、接种比例、接种剂类型等有更密切的关系, 甚至堆肥过程控制也影响其效果。堆肥条件和过程控制对发酵的影响实际上就是对堆肥微生物的影响, 前面章节已有介绍, 在此不再赘述, 现就菌种选择和使用中的几个关键问题概述如下。

1. 菌种选择

如前所述, 堆肥有机物构成的复杂性决定了堆肥过程的复杂性, 也决定了作用微生物组成的多样性, 接种单一微生物很难满足堆肥化的这种多样化需求, 所以一般应选用复合微生物发酵接种剂。在菌种的选择上, 首先要考虑生态安全性, 没经菌种安全评价或农业部登记的制品不能选用; 其次要根据堆肥有机物的特点选用合适的菌种, 不同的菌种制品各有其特点, 但任何菌种都不是万能的, 生产企业应该根据有机物类型、产品目标选用合适菌种制品; 第三是不具备规范的工业化生产条件生产的菌种, 以及没有菌种保藏措施下连续扩繁的菌种不得选用, 发酵菌种的研制和生产是个复杂的和规范化的过程, 只有具备相关条件的机构才能生产出合格的制品; 第四是实验室菌种慎重选用, 由于实验室菌种没有经过工业化过程, 批量有限, 并且无法提供菌种在堆肥产生化生产中的相关参数。

2. 接种比例

任何堆肥接种剂都有其最适的接种比例, 并非多多益善。影响接种比例的因素很多, 主要有堆肥有机物性质、含水量、环境温度等。一般堆肥有机物中可溶性物质含量较低、物料水分偏高、环境温度较低时, 应适当加大接种比例。接种比例确定的原则是以发酵效果为基础、以成本构成为参考。堆肥生产一旦确定接种比例, 非特殊情况一般不要改变, 以利保持生产工艺和过程控制参数的稳定, 从而达到堆肥质量的稳定。菌剂的接种量一般为 0.05%~5%, 我国近年来文献中所述的接种量大多为 0.1%~1%, 接种时间多为堆肥初期。

3. 起爆剂

堆肥接种后, 由于堆肥有机物能立即提供给微生物的小分子营养物有限, 为了在较短时间内使微生物种群数量激增, 快速启动发酵进程, 通常以一些低分子的单糖、淀粉、蛋白质作为微生物最初的营养底物, 使微生物的数量和活性似“爆炸”一样, 所以便将该类物质形象地称为“起爆剂”。常用的起爆剂有红糖、糖蜜、淀粉等。在起爆剂的使用上, 最好是将菌种和起爆剂互溶或混合后再接种在堆肥有机物上, 以便达到充分“起爆”的效果。

总之,堆肥有机物的性质、堆肥条件和过程控制的设定与堆肥接种剂的应用是个密切关联的有机整体,堆肥有机物的性质决定了如何设置堆肥条件和过程控制参数,堆肥条件和过程控制参数的调整和优化是为了有效发挥堆肥接种剂的效率,最大限度地发挥堆肥接种剂的效率,反过来促进堆肥有机物的快速分解。所以在堆肥接种剂的使用上,必须将三者作为一个有机整体通盘考虑。

第六节 堆肥过程监测及常见问题

堆肥生产中,应根据产品用途制定相应的产品标准,并依据标准对产品质量做出判断。但由于多数产品标准不能反映堆肥的过程变化,并且其技术指标仅依照肥料标准制定,而堆肥的过程变化往往对堆肥质量产生重要影响,所以在生产实践中,通常将过程变化作为控制指标,并对其进行监测,主要的监测指标有:①温度变化,温度上升及变化是否正常;②湿度变化,湿度对堆肥产品质量的重要性;③气味变化,发酵正常时,原料的异味、臭味应在1~2天消失,后期应有发酵的味道或曲香味,腐熟堆肥应该为腐殖泥土味道。

一、堆肥温度监测

温度是堆肥的一个关键指标。系统会不会升温?升温多高?它能保持多久?原料配比怎样影响温度?所有这些都是堆肥工作人员所关心的。

热量是由微生物降解有机物产生的,可以根据堆肥温度来判断系统进行得怎样,以及分解过程怎样。堆肥温度不能太低也不能太高。温度低微生物的反应速率慢,发酵时间长,易产生臭气且不能达到高温杀灭致病菌即无害化的要求;温度过高如超过70℃时,杀灭致病菌的同时也将放线菌、嗜热菌杀死,不利于堆肥进程。因此堆肥适宜温度为50~65℃。例如,如果堆肥温度达到40~50℃时,则可以推断堆肥组分含有足够的氮和水分供微生物快速增长。

读取温度时,一定要确保将温度计深入堆肥内部,将温度计放置一会儿,使温度稳定后再进行读数,然后将其移至一新位置(包括从顶部边缘不同深度的几个位置的温度)。堆肥的温度有高有低,这主要取决于水分含量和堆肥组分的化学组成。堆肥温度变化有一定的梯度变化规律,对于底部有通风的系统,温度最高的位置大约在离底部2/3或更高一点的地方。

将堆肥温度随时间的变化情况作图,就可以判断分解过程进行的怎样。一个好的堆肥系统会在两三天内达到40~50℃。当可分解的有机物质耗尽时,温度开始下降,分解过程也相对变慢。

任何一点的温度都主要依赖于微生物产生了多少热量,以及通风和表面冷却损失的热量。而系统能保温多久则依赖于堆肥组分的化学组成,以及堆体的大小和形状。水分含量同样会影响温度变化,因为水的比热容比其他物质高,假如能维持足够的水分供微生物生长,那么较干的混合物的升温 and 降温都比较湿的混合物要快。

二、堆肥湿度监测

水分是微生物生长繁殖、维持其代谢活动的基础,堆肥含水率的变化是否适宜与发酵速率和腐熟程度直接相关。因此堆体含水率的变化是堆肥成功与否的关键因素。

堆肥水分与许多堆肥参数有关:物料的含水率,微生物降解有机物产生的水分,氧气含量和温度及蒸发作用。固体废物的物理组成决定物料的含水率:一般物料的有机物含量小于

50%时,最适宜的含水率为45%~50%;物料的有机物含量大于60%时,最适宜的含水率为55%~60%。堆肥物料的含水率低于30%时,微生物的活性会显著降低;当含水率大于65%时,物料的孔隙被水分填充,产生厌氧发酵,不仅影响降解速率还导致臭气产生、温度降低、营养物损失等。

水分的测定,首先要保证选取样品的均匀和代表性。生产中堆肥物料通常混合并不均匀,需要采取多点取样的方法。而且堆肥的温度与湿度有关系,温度高的地方水分含量低,可考虑顺从温度梯度取样。

随着微生物呼吸和水分蒸发,堆肥水分不断减少,当水分减少太多时,添加水分以保持含水率在微生物活性适宜的范围内。到堆肥的腐熟阶段,堆肥水分含量应该减少到30%左右,这时堆肥产品比较稳定。对于含水率较高的堆肥物料,可采用回流堆肥后的干物料或直接添加干的调理剂如锯末、秸秆粉等,也可适当放干物料再进行堆肥。

三、堆肥气味监测

尽管堆肥系统不可能没有气味,但一个好的堆肥系统不应该产生不良气味。堆肥过程中可以用鼻子觉察潜在的问题。例如,如果你闻到氨的气味,你的混合物可能是氮含量太高(C/N过低),应该添加一些像秸秆或木屑等物质作为碳源。如果你闻到霉味,有可能是混合物太潮湿,可以通过增加更多的填充剂来改善它。如果不改变这种状况,太湿的堆肥有可能进行厌氧发酵,产生硫的恶臭味,这一点不容忽视。在室外堆肥中,可以充分搅动堆体以改变厌氧状况,尽管这样做开始会使气味更明显。

一个堆肥系统臭味的大量释放,通常是一些重要管理因素被忽略或误解的象征。导致臭味的常见因素有:①水分含量太高;②孔隙度不够;③原料迅速腐败;④堆体过大。

所有这些因素都使氧气在耗尽之前难以渗入堆体内部,或者使气流在发酵区域周围短路,这样就造成厌氧情况。氧气运输的一个机制是扩散,这是外部空气(21%氧)和堆体内部氧气浓度(如果厌氧的话为0)不同的作用。在强制通风或一处鼓风的系统中,通过自然对流促进扩散,但这种作用一般局限于堆体上部和外部。即使是强制通风系统,鼓风机的作用也大大受制于通气孔隙,因为氧气扩散需要从大气孔送到小气孔以及固体微粒周围。

四、堆肥常见问题

1. 季节影响

堆肥可以常年进行,甚至在寒冷气候下也不受影响。但根据季节和天气的变化经常需要做一些调整,特别对条垛堆肥来说影响较大。相比之下,静态好氧堆肥和仓式堆肥受的影响要小得多。

寒冷天气下,由于堆体和条垛热量损失加大会减慢堆肥进程。较低的温度至少降低了堆肥表面微生物的活动能力。在极端情况中,整个条垛会被冷冻,堆肥因此暂时停止活动。冬天堆肥时为减少寒冷影响,应调整原材料投入发酵设备时的条件,增加发酵设备中原材料的厚度,减少原材料散发的热量,或者把发酵设施建成隔热性质的,或在发酵设施内铺上隔热材料,或在内部覆盖塑料布等。此外,发酵需要很长时间,应保证发酵设施里储存足够的堆积物,或加热通向发酵设施中的空气温度,或向原材料中投入发热量大的鸡粪和米糠等。另外,在原材料的投入阶段,还应采取对策防止搬入的原材料冻结。

相反在温暖天气下,通过水分蒸发可以增加条垛/堆体表面的水分损失。条垛堆肥就可以通过增加翻堆次数能使更多水分蒸发,这样可以得到较干燥的堆肥产品。如果条垛/堆体变得太干燥时,还需要加水。高温天气下,堆肥温度可能过高影响发酵进程,这时可采取向堆体喷洒水,同时加大通风量或翻堆频率的措施。

降雨有时会成为一个问题,特别对露天条垛堆肥影响较大,降雨使许多堆肥设备的操作问题面临困难。另外雨水会使地面变得泥泞,土壤松软,并在泥坑处积水导致厌氧状态,或产生令人讨厌的蝇蛆和臭气。在堆肥场所应有良好的下水道系统。这种情况下,可利用天气周期变化的特点,在晴朗的月份进行风干然后堆放起来,提高物料中固体的含量,使微生物的活性降到非常低的水平。在降雨阴湿的月份用堆放的干物料与湿物料混合达到适宜的固体含量和水分含量进行堆肥。

2. 安全管理

堆肥过程中涉及的安全风险主要来自于设备方面。如使用粉碎机、铲车以及其他机械时,需要对眼睛和耳朵进行保护和预防。当使用专门的条垛翻堆设备时,需要遵守相关的规定。一些翻堆机包含可高速旋转的甩刀,与此接触的人和动物应有很好的保护。当混合甩刀旋转通过堆肥条垛时,他们会甩出条垛内的物质成为危险因素,在场的设备操作人员必须了解和具备防护措施。

户外堆肥一般不会有火灾风险,因为水分合适的堆肥原料不会轻易地燃烧。尽管如此,如果原料很干以及条垛堆体过大,就可能发生自燃,这多发生在水分含量大约在 25%~45% 之间的时候。堆体超过 3m 高时,堆体内部产生的热量会发生一些化学反应,然后会导致自燃。为防止这些问题,应对含水率、温度以及堆体大小给予充分关注,包括配备一些供水和灭火装置,应对生产控制室、发酵设施、地下建筑物内及地下管线等沼气聚集的场所进行定期监测,并做好记录;空气中沼气浓度大于 1.25% 时应进行强制通风。

堆肥中涉及另外一类安全问题是健康问题。动物粪便、城市污泥等废弃物原料均含有一些病原菌,还有一些对人类有致敏性。常规的简单防治方法是让工人在操作时佩戴防尘面具,接触到原料要洗手。具有粉尘、异味及有害、有毒气体的场所,应采取通风措施,并保证通风设施完好。个别有感染或过敏反应的,就不宜派去从事堆肥操作。

建立完善的生产安全管理制度和生产安全操作规程,岗位操作人员必须严格执行本岗位安全操作规程,并定期对全厂进行安全检查,记录检查结果。

参 考 文 献

- [1] 蔡建成. 堆肥工程与堆肥工厂. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [2] 常勤学, 魏源送, 夏世斌. 堆肥通风技术及进展. 环境科学与技术, 2007, 30 (10): 98~103, 107.
- [3] 陈世和, 张所明. 城市垃圾堆肥原理与工艺. 上海: 复旦大学出版社, 1990.
- [4] 冯明谦, 汪立飞, 刘德明. 高温好氧垃圾堆肥中人工接种初步研究. 四川环境, 2000, 19 (3): 27~30.
- [5] 胡华锋, 介晓磊. 农业固体废物处理与处置技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [6] 胡菊, 肖湘政, 吕振宇等. 接种 VT 菌剂堆肥过程中物理化学变化特征分析. 农业环境科学学报, 2005, 24 (5): 970~974.
- [7] 黄向东, 韩志英, 石德智等. 畜禽粪便堆肥过程中氮素的损失与控制. 应用生态学报, 2010, 21 (1): 247~254.
- [8] 籍宝霞, 张丽萍等. 低温发酵剂在鸡粪冬季处理中的作用. 江苏农业科学, 2009, (6): 418~420.
- [9] 李必琼, 贺亮等. 微生物菌剂对城市污泥堆肥过程中氮素转化的影响研究. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2009, 34 (6): 61~66.
- [10] 李国学. 不同堆肥材料及引入外源微生物对高温堆肥腐熟度影响的研究. 应用与环境微生物学报, 1999, 5 (5): 139~142.
- [11] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [12] 李吉进. 畜禽粪便高温堆肥机理及应用研究. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [13] 李季. 土壤微生物复合菌剂及高效有机肥开发. 世界肥料大会会议论文, 2001.
- [14] 李顺义, 张红娟, 郭夏丽等. 畜禽粪便堆肥过程中氨挥发及调控措施. 农机化研究, 2010, (1): 13~17.
- [15] 刘婷, 陈朱蕾等. 外源接种粪便好氧堆肥的微生物相变化研究. 华中科技大学学报, 2002, 19 (2): 57~59.
- [16] 隆梦佳. 白腐菌对污泥堆肥木质素降解及重金属钝化影响. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [17] 鲁娟. 接种白腐菌对城市污泥堆肥腐熟度及养分转化的影响. 武汉: 华中农业大学, 2009.

- [18] 路伟明;李淑芹;曹知平等.一株低温牛粪降解真菌的筛选及生长条件的确定.东北农业大学学报,2008,39(11):36~38.
- [19] 马怀良,许修宏.畜禽粪便高温堆肥化处理技术.东北农业大学学报,2005,36(4):536~540.
- [20] 庞金华;程平宏;余廷园.高温堆肥的水气矛盾.农业环境保护,1999,18(2):73~75.
- [21] 钱承梁,鲁如坤.防止粪肥氨挥发的研究.土壤,1996,28(1):8~13.
- [22] 施宠,谢晶晶等.不同腐熟剂对牛粪好氧堆肥的影响.新疆农业科学,2010,47(2):410~414.
- [23] 孙海英,许修宏.接种纤维素分解菌与固氮菌对牛粪堆肥发酵的影响.东北农业大学学报,2009,40(10):52~54.
- [24] 汪建飞,于群英,陈世勇等.农业固体有机废弃物的环境危害及堆肥化技术展望.安徽农业科学,2006,34(18):4720~4722.
- [25] 王洪涛,陆文静.农村固体废物处理处置与资源化技术.北京:中国环境科学出版社,2006.
- [26] 王岩,霍晓婷,杨志丹等.畜禽粪便堆肥化过程中的生物除臭及展望.河南农业大学学报,2002,36(4):374~379.
- [27] 魏源送,樊耀波,王敏健等.堆肥系统的通风控制方式.环境科学,2000,21(2):101~104.
- [28] 魏源送,李承强,樊耀波等.不同通风方式对污泥堆肥的影响.环境科学,2001,22(3):54~59.
- [29] 魏宗强,李吉进,邹国元等.不同覆盖措施对鸡粪堆肥氨挥发的影响.水土保持学报,2009,23(6):108~111.
- [30] 席北斗,刘鸿亮,黄国和等.复合微生物菌剂强化堆肥技术研究.环境污染与防治,2003,25(5):264~262.
- [31] 席北斗,刘鸿亮,孟伟等.高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用.环境科学,2001,22(5):122~125.
- [32] 徐智,张陇利,李季等.接种内外源微生物菌剂对堆肥效果的影响.中国环境科学,2009,29(8):856~860.
- [33] 杨毓峰.畜禽废弃物好氧堆肥化条件研究.陕西农业科学,1998,(6):10~11.
- [34] 张金金,刘爱民等.不同菌剂处理下猪粪和牛粪堆肥前期性质变化.资源开发与市,2010,26(6):481~484.
- [35] 张树清,张夫道,刘秀梅.规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究.植物营养与肥料学报,2005,11(6):822~829.
- [36] 张小平.固体废物污染控制工程.北京:化学工业出版社,2004.
- [37] 赵由才,牛冬杰,柴晓利.固体废物处理与资源化.北京:化学工业出版社,2006.
- [38] 朱志平,董红敏,尚斌.育肥猪舍氨气浓度测定与排放通量的估算.农业环境科学学报,2006,25(4):1076~1080.
- [39] Sharma D K, Pandey A K, Lata. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(1): 159~162.
- [40] Jann M. Ichida, Lucie Krizova, Colleen A. LeFevre et al. Bacterial inoculum enhances keratin degradation and biofilm formation in poultry compost. Journal of Microbiological Methods, 2001, 47(2): 199~208.
- [41] Lacoboni M, LeBrun T, and Livingston J. Composting Study, Technical Services Department, Los Angeles County Sanitation Districts, 1979.
- [42] Leson G, Winer A M. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions. Air waste manage assoc. 1991, 41(8): 1045~1054.
- [43] Redner J, Wilson G E, Scroepfer T W, et al. "Control of Composting Odors," in Proceedings of the National Conference on Design of Municipal Sludge Compost Facilities, Rockville, MD; Information Transfer, 1978.

第六章

堆肥设备与维护

第一节 原料预处理设备

原料预处理是堆肥生产的一个重要环节，对堆肥进程、发酵效果以及产品质量影响极大。堆肥常用的原料预处理设备主要包括粉碎设备和配料混合设备等。

一、高碳类辅料揉搓机

1. 结构特点

适合揉碎含水率 $\leq 15\%$ 的秸秆等软质纤维类物料；揉碎和风送一体式结构、无筛网、皮带传动（图 6-1）。

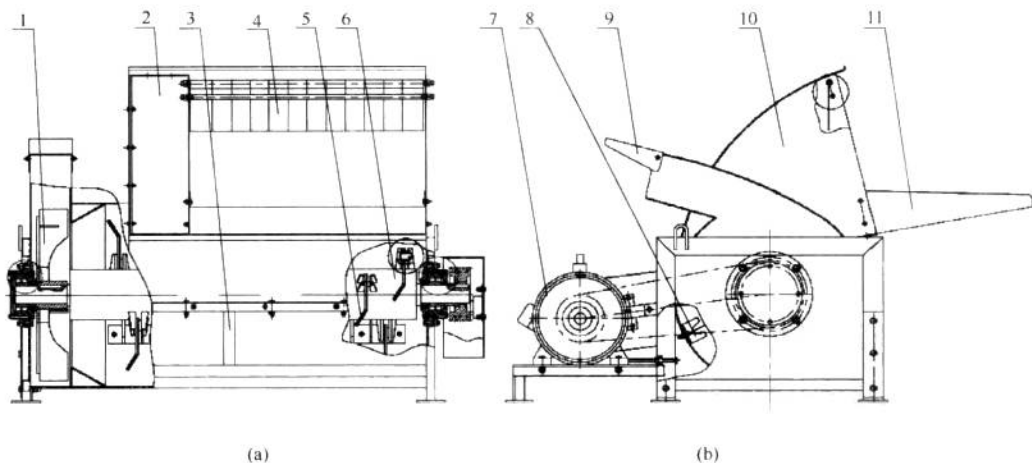


图 6-1 高碳类辅料揉搓机

1—风扇；2—挡料盖板；3—底架；4—返料挡板；5—动刀；6—主轴；
7—电机；8—定刀；9—导料帽；10—上罩；11—喂入板

2. 工作原理

高碳类秸秆等辅料由人工或机械投入喂料板处，在气流及锤片的抓取作用下进入揉碎室，经过多组动刀和定刀的综合作用，物料被打击、揉搓、揉碎后，由输送风扇抛送到机体外。为防止揉碎室内的物料反喷，进料口处设有返料挡板。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~4.0t/h，揉碎细度 0~50mm；
- (2) 配套动力：11~30kW；
- (3) 投料口大，喂料方便；
- (4) 无筛网，风选出料，不易堵料；
- (5) 可与带筛网粉碎机配套使用，生产效率更高。

4. 设备维护

- (1) 更换锤片时，严格按照顺序安装，注意锤片重量的平衡，否则会产生剧烈振动，加速轴承和其他零件的损坏。
- (2) 长时间停止使用时，应将机器内部清理干净，防止锈蚀。
- (3) 每班工作后，轴承部位应加润滑油一次，工作 500h 左右检查清洗，重新加润滑油，以保证设备状况良好，延长使用寿命。
- (4) 三角胶带传动应经常检查胶带张力是否适当，胶带磨损后，应及时更换。

二、高碳类辅料粉碎机

1. 结构特点

适于粉碎含水率在 15% 以下的秸秆等纤维状有机辅料；负压吸料结构、有筛网、粉碎室上盖可拆卸（图 6-2）。

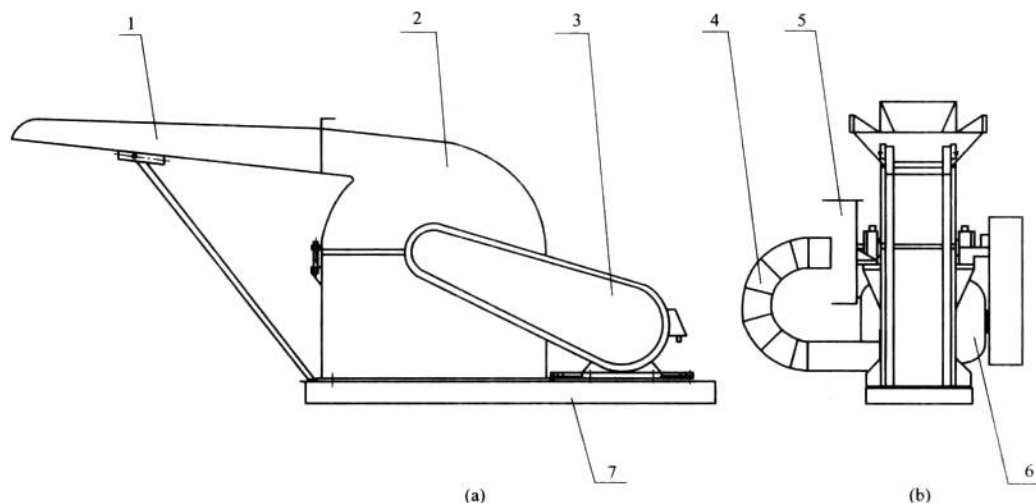


图 6-2 高碳类辅料粉碎机

1—进料口；2—机壳；3—电机罩；4—输料管；5—风机（出料口）；6—电机；7—底座

2. 工作原理

由人工将物料均匀、适量地投入进料口，粉碎室内设有高速旋转的锤片，上机体上装有齿板，加入的物料在锤片的强烈打击撕裂和齿板的搓擦作用下迅速被粉碎成粉状，由于离心力和粉碎机下腔负压的作用，细碎的物料通过筛孔落到下腔，之后被风机吸入，再由风机送到集料间里集尘，以便分离、卸料、装袋。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：0.5~1.0t/h，粉碎细度 0~10mm；

- (2) 配套动力：22.5~26.0kW；
- (3) 可通过更换不同孔径的筛网来满足不同粉碎细度的要求，筛网拆卸方便；
- (4) 负压吸风，风选出料，粉碎效果更高；
- (5) 需配有集料间，以便粉碎后物料的储存和除尘。

4. 设备维护

- (1) 每班工作后，轴承部位应加润滑油一次，工作 500h 左右检查清洗，重新加润滑油，以保证设备状况良好，延长使用寿命。
- (2) 每个锤片可轮换使用四个角，不管是同方向调换棱角还是调头调换棱角，以及全部更换锤片都要四组锤片同时进行，决不允许单个或单组锤片以旧换新或调换；
- (3) 定时检查，如发现部分筛片被击破可进行铆补，如破坏严重则需要更换；
- (4) 传送皮带在使用中不可粘上油污，应经常检查胶带张紧力是否适当，胶带磨损后，应及时更换。

三、卧式配料混合机

1. 结构特点

该设备主要用于堆肥前各种原料的配比和混合，从而满足微生物对堆肥原料 C/N、水分等的需要，特别适合黏结性强、水分偏高或偏低的物料；大拨轮、双螺旋卧式结构，侧门强制出料（图 6-3）。

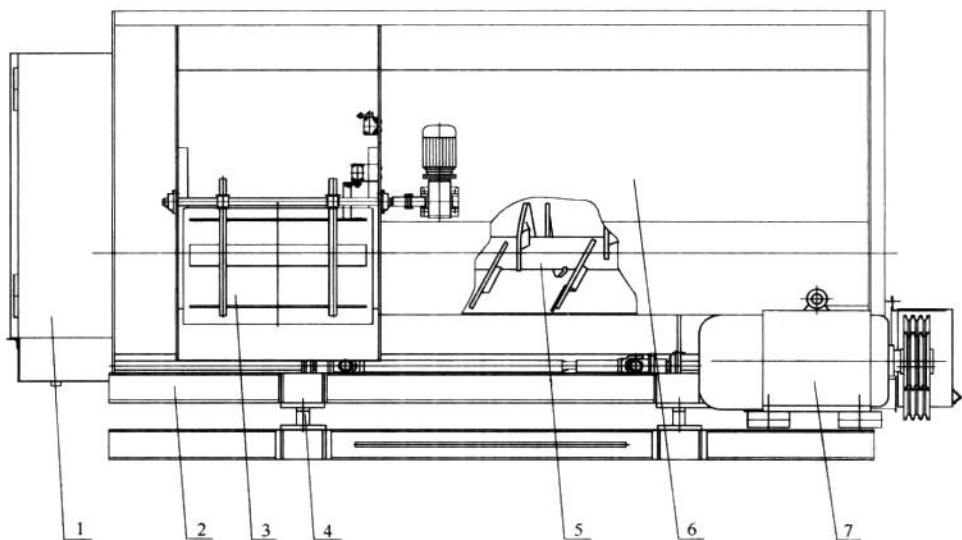


图 6-3 卧式配料混合机

1—传动系统；2—机座；3—出料系统；4—称重系统；
5—搅拌系统；6—箱体；7—动力系统

2. 工作原理

启动搅拌主电机，通过链轮减速传动带动搅拌部件工作，按照电子仪表设定好的配方，将各种原料分别通过装载机或人工投入到配料混合机内，通过称量系统计量好的各种物料在混合机内进行混合、翻转、剪切、揉搓，达到将各种原料及菌种充分混合的目的，最后由出料电机带动料门启闭，实现出料作业。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.3~2.5t/批，2~3批/h；
- (2) 配套动力：15~30kW；
- (3) 搅拌室容量大，单次处理能力强，特别适合低密度的有机物料；
- (4) 投料点集中，占地面积小，集配料和混合于一身；
- (5) 计量精度高，按程序设定配方，液晶数字显示、触摸按钮操作，直观方便；
- (6) 出料方式独特，从而解决了由于物料黏结而造成卸料门漏料等问题。

4. 设备维护

- (1) 定期检查所有螺母连接件是否松动；
- (2) 检查轮罩内链条的润滑情况，同时要给轴承添加油脂；
- (3) 检查各传动链条、皮带的张紧度，并进行必要的调整；
- (4) 如搅拌主电机转动而料箱内蛟龙转速降低或不转，应检查电机皮带是否松动，并进行张紧；
- (5) 当异物混入料箱内时，会出现蛟龙被堵死现象，此时应停机，然后反攀蛟龙使物料逐渐松散，取出异物；
- (6) 当开启出料门电机而门未开，应检查电机是否反接或料门卡死。

四、立式配料混合机

1. 结构特点

该设备主要用于堆肥前各种原料的配比和混合，从而满足微生物对堆肥原料 C/N、水分等的需要，适合流动性好、含纤维较多物料的搅拌。立式锥螺旋搅拌结构，侧门强制出料（图 6-4）。

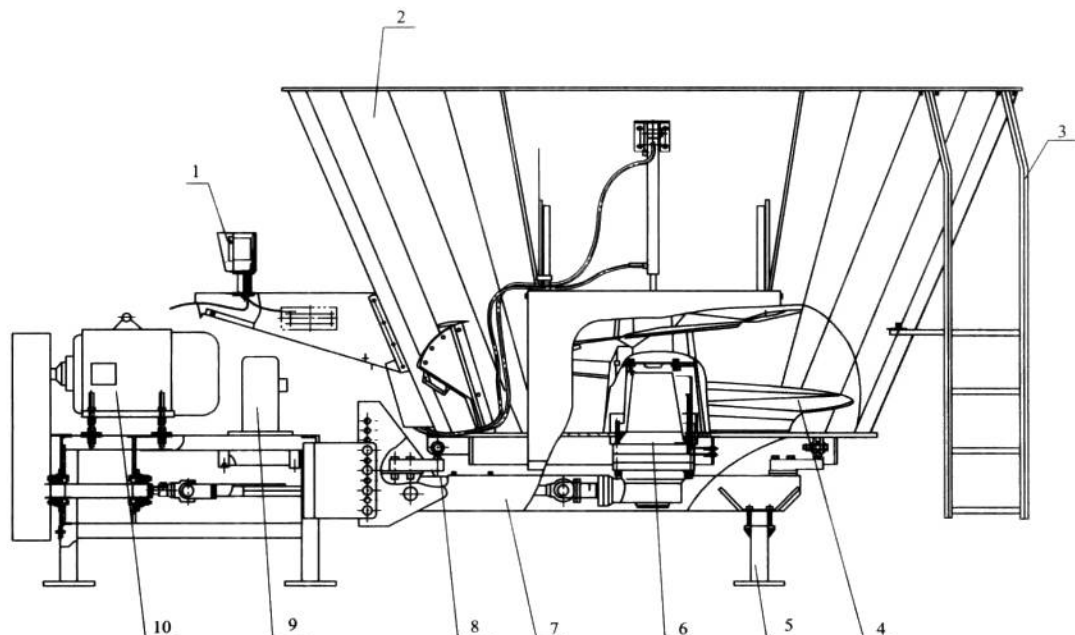


图 6-4 立式配料混合机

- 1—称重仪表；2—混合箱体；3—爬梯；4—搅拌系统；5—支腿；6—出料系统；
7—独立底盘；8—称重系统；9—卸料泵站；10—动力系统

2. 工作原理

由电动机作为动力单元,通过 PTO 传动轴将动力传递给减速系统,减速器驱动立式螺旋搅拌系统工作,完成物料在混合箱体内的切割、揉搓和搅拌过程,达到将主料和辅料混合均匀的作用。卸料时,开启卸料液压系统,由油缸实现出料门启闭控制,实现卸料作业。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.3~4.5t/h, 2~3t/h;
- (2) 配套动力: 15~55kW;
- (3) 搅拌室容量大,单次处理能力大,特别适合低密度的有机物料;
- (4) 投料点集中,占地面积小,集配料和混合于一身;
- (5) 计量精度高,按程序设定配方,液晶数字显示、触摸按钮操作,直观方便;
- (6) 出料方式独特,从而解决了由于物料黏结、卸料门漏料等问题。

4. 设备维护

- (1) 确保机器在运行前经过适当润滑。
- (2) 特别要注意 PTO 轴滑动外形,当扭矩很大时这些管子必须能够前后滑动;如果忽视润滑外形管将产生很大的轴力,这会破坏外管及轴和齿轮箱。
- (3) 液压系统运转 200h 后,应将液压油全部放空,清除液压系统滤清器内的杂质,检查是否需要更换滤芯;根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后是否回用。排放液压油的时候,应当先将油缸杆缩回到油缸筒内;每工作 800h,应对液压系统进行清洁。
- (4) 定期检查所有螺母牢固度。

五、布料机

1. 结构特点

物料转运散布设备,可将散装物料撒布到堆肥槽不方便使用其他运输工具的位置。液压翻转结构,开式储料仓(图 6-5)。

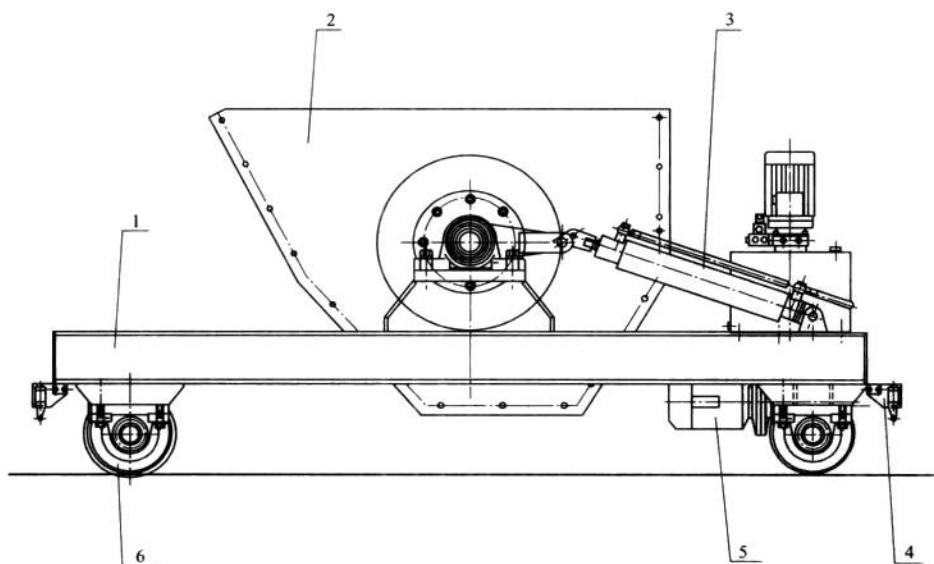


图 6-5 布料机

1—机架; 2—料斗; 3—液压升降系统; 4—限位控制; 5—行走系统; 6—行走轮

2. 工作原理

将布料机装满物料后, 开动布料机在轨道上行走, 到达指定位置后, 发出正翻启动指令, 液压动力系统驱动油缸动作, 油缸推动料斗绕旋转轴翻转。当料斗翻转到一定角度时, 开始倾倒入物料。发出翻转停止指令, 油缸停止动作控制料斗停止翻转。可根据现场实际工作状况, 使布料机边行走边卸料, 或者使布料机停下卸料。当油缸推到终点时, 料斗翻转到最大限度位置, 卸料工作完成。然后发出反翻启动指令, 使油缸带动料斗返回原始装料位置。最后, 开动布料机返回接料的位置。至此, 完成一个工作循环。

3. 设备特点

- (1) 料斗容积 $3.0 \sim 5.0 \text{ m}^3$, 料斗旋角 $0^\circ \sim 180^\circ$;
- (2) 行走速度 $6 \sim 12 \text{ m/min}$, 工作幅宽为 $4.5 \sim 6.0 \text{ m}$, 行走动力 1.5 kW , 液压动力 3.0 kW ;
- (3) 实现远距离定点倒料和均匀布料, 如配置监控系统, 可实现控制室内人料分离操作;
- (4) 可实现多种物料的分层铺撒和搬运, 而且铺料料层厚度可调节;
- (5) 可以通过移行车来实现运输布料车由一个发酵槽转移到另一发酵槽, 可实现一机多槽用。

4. 设备维护

- (1) 定期检查各部件的连接螺栓是否有松动现象。
- (2) 运转 200h 后, 应将液压系统内的液压油全部放干净, 清除液压系统滤清器内的杂质, 检查是否需要更换滤芯; 根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后灌回还是更换液压油。排放液压油的时候, 应当先使油缸杆缩回到油缸筒内。每工作 800h, 均应该对液压系统进行清洁。
- (3) 根据工作的频繁程度, 定期检查轴承温升和润滑情况, 及时加注润滑油脂。
- (4) 在运行过程中, 应经常检查减速机、电动机的温度。若发现温度超过 85°C , 应停止使用并检查原因。

第二节 堆肥设备

堆肥设备根据当地气候、占地面积等情况一般可以分为地面条垛式堆肥设备、槽式堆肥设备以及立式堆肥反应器。

一、螺旋式条垛翻抛机

1. 结构特点

该设备主要用于在条垛式发酵条件下对料堆进行翻抛供氧。卧式螺旋翻抛结构、液压升降、履带行走 (图 6-6)。

2. 工作原理

(1) 柴油机动力一部分主输出, 通过皮带轮减速传动驱动翻抛滚筒; 另外一部分动力通过柴油机分动力箱输出驱动液压泵。液压泵与执行元件滚筒提升油缸、柴油机离合油缸和行走履带驱动电机组成液压回路系统, 实现翻抛滚筒的提升和下降、柴油机主动力驱动滚筒工作与停止和设备的自走。

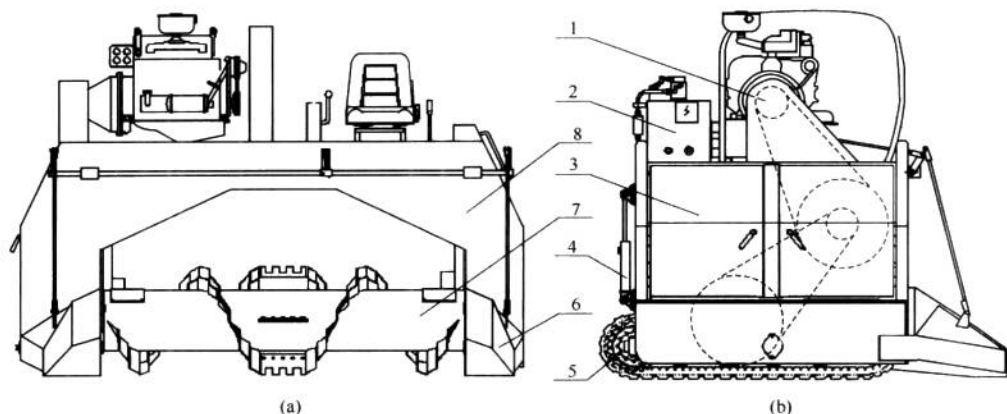


图 6-6 螺旋式条垛翻抛机

1—柴油机；2—液压系统；3—传动系统；4—滚筒升降油缸系统；5—行走履带系统；6—拾铲机构；7—翻抛系统；8—门式壳体

(2) 工作时，由驾驶室人员启动发动机，通过操控液压阀组，可实现如下功能指令：操作“行走电机”阀杆，使机器前进、后退及左右拐弯；操作“滚筒升降油缸”阀杆，使滚筒置于堆体内距地面合适高度，并且可以将滚筒提升一定高度，方便机器快速行走转移工作地点；操作“发动机离合器油缸”阀杆，实现滚筒旋转和停止；操作“行走电机变速”阀杆，实现机器高低速双挡状态切换。

(3) 翻抛滚筒由左右两段反向螺旋和中间直段抛齿组成，旋转的螺旋滚筒将三角形条垛物料向中间收拢，同时随着滚筒旋转使物料向后翻抛，从而实现顶层物料和内部物料充分混合，物料和氧气充分接触，堆垛内热气曝出。从而实现物料混合、通风、曝气、翻抛，达到堆肥发酵的目的。

3. 性能特点

- (1) 处理能力：400~800m³/h，堆料宽度 2.0~4.0m，堆料高度 1.0~2.0m；
- (2) 配套动力：22~45kW；
- (3) 前进/后退速度：5~15m/min；
- (4) 配套土建投资少，适合较干燥地区堆肥，但建堆和收料不方便，工作环境差；
- (5) 履带式自走设备，工作运行方便可靠，具有良好的附着力；
- (6) 具有双速工作状态，滚筒工作时低速，其他时间可高速行驶；
- (7) 螺旋滚筒不工作时，液压系统可使滚筒提升使之与地间隙增大；
- (8) 采用可拆卸螺旋叶片，维修更换方便，互换性好。

4. 设备维护

- (1) 定期检查所有螺母连接件是否松动；
- (2) 定期检查翻抛滚筒叶片刀片的磨损情况及螺栓是否松动；
- (3) 定期检查轮罩内皮带的张紧情况；
- (4) 定期向轴承添加润滑脂；
- (5) 定期对柴油机进行检查；
- (6) 液压系统运转 200h 后，应将液压油全部放空，清除液压系统滤清器内的杂质，检查是否需要更换滤芯；根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后是否回用。排放液压油的时候，应当先将油缸杆缩回到油缸筒内；每工作 800h，应对液压系统进行清洁。

二、链板式槽式翻抛机

1. 结构特点

该设备主要用于在槽式发酵条件下对料堆进行翻抛供氧。链板输送翻抛结构、液压升降(图 6-7)。

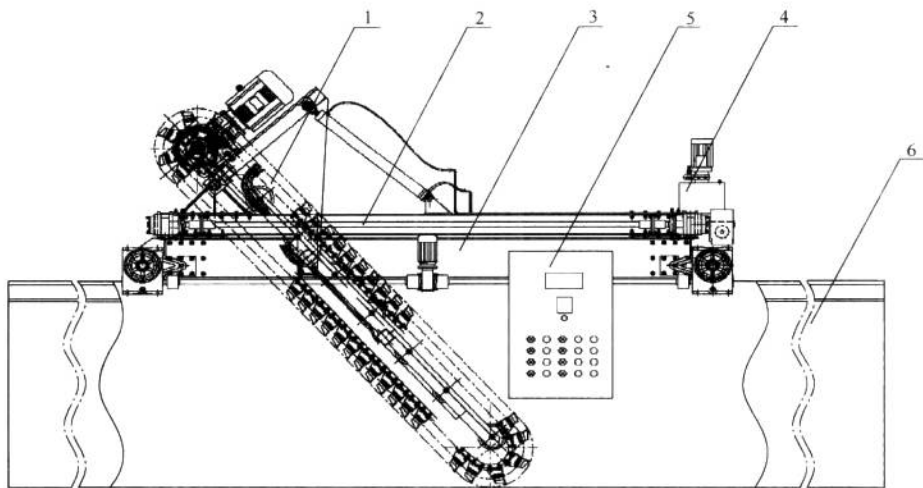


图 6-7 链板式槽式翻抛机

1—翻抛部件；2—横向移动装置；3—纵向移动装置；
4—液压系统；5—电控系统；6—发酵槽

2. 工作原理

工作架置于发酵槽上，可沿槽上轨道前后行走。小车置于工作架上，翻抛部件和液压系统安装在小车上。进行翻抛作业时，工作架从发酵槽初始端以一定速度前进，小车相对于工作架静止，翻抛部件深入槽中，随设备整体前进，链板连续转动，以此不断攫取槽内物料并输送到后方重新置堆。沿槽完成一个行程的作业后，液压系统抬升翻抛部件到不与物料接触的高度，小车横向移动一个幅宽的距离，工作架后退至发酵槽初始端，然后使翻抛部件归位，深入槽中，开始下一幅的作业。

该机沿发酵槽轨道行走作业，翻抛机在翻抛过程中将发酵物料连续的抛起、散落并产生一定的位移，使物料在池内有规律、等距离的渐进式后移 4m，从而形成了一种连续的好氧发酵过程。这种高效率的翻抛作业有利于加快发酵槽内物料发酵腐熟、降低水分和提高发酵后物料的稳定性。

3. 性能特点

- (1) 翻抛链板宽度 2.0m，每次抛料距离 4m；
- (2) 发酵槽宽度 2.0~9.0m，料层最大高度 1.8m；
- (3) 处理能力/槽 $15\sim 65\text{m}^3/\text{d}$ ；
- (4) 配套动力 28.0kW；
- (5) 前进速度 90m/h，后退速度 360m/h；
- (6) 采用优化的多齿链板式结构，运行阻力低，非常适合深槽作业；
- (7) 通过横向和纵向移位可以实现槽内任意位置作业；
- (8) 物料水平移动距离大且高位抛撒，与空气接触充分，易降水分；

- (9) 翻抛链板升降采用液压控制系统, 可靠快捷;
- (10) 翻抛链板坚固耐用, 整机运行平稳, 翻后物料均匀平整;
- (11) 控制柜集中控制, 可手动控制、自动控制或遥控控制, 装有安全行程开关;
- (12) 由于翻抛深度深, 翻抛过程物料与空气接触充分, 翻抛移料距离远, 故发酵槽占地面积小, 适合处理量大、气候潮湿、连续发酵的场合。

4. 设备维护

(1) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(2) 每周一次检查油量, 当发现油位下降, 检查是否有漏油处查明原因, 添加齿轮油在最低油面上。需要换油时, 拆下上面的油管空气从油箱排出, 旋开放油塞, 收集油液, 然后再拧紧放油塞。

(3) 液压系统运转 200h 后, 应将液压油全部放空, 清除液压系统滤清器内的杂质, 检查是否需要更换滤芯; 根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后是否回用。排放液压油的时候, 应当先将油缸杆缩回到油缸筒内; 每工作 800h, 应对液压系统进行清洁。

(4) 定期向轴承部位加润滑油。

(5) 定期清理翻抛链板上粘带的绳头或铁丝等杂物。

三、桨叶式槽式翻抛机

1. 结构特点

该设备主要用于在槽式发酵条件下对料堆进行翻抛供氧; 拨齿翻抛结构、液压升降(图 6-8)。

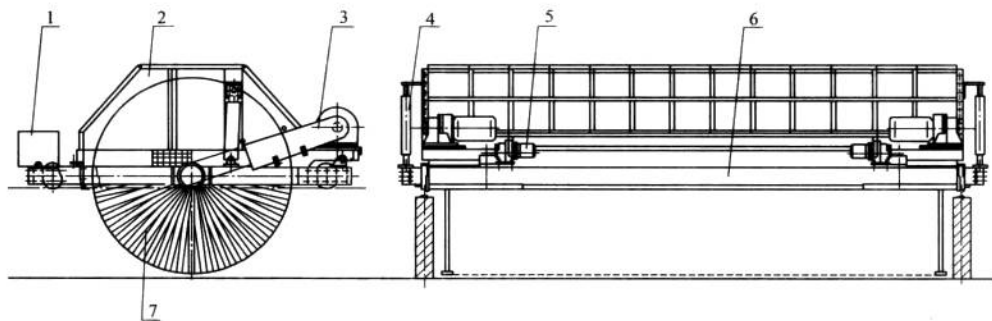


图 6-8 桨叶式槽式翻抛机

1—电控系统; 2—上罩; 3—搅拌驱动系统; 4—液压驱动系统;
5—行走驱动系统; 6—底架系统; 7—搅拌系统

2. 工作原理

行走机构通过行走减速电机实现沿发酵槽轨道上的行走, 减速电机通过链条将动力传送到翻抛主轴, 翻抛主轴带动桨叶拨齿对料堆进行全幅翻抛作业, 实现物料与空气充分接触; 当需要不翻抛前进或后退时, 液压升降机构可翻抛桨叶及上罩抬起。

3. 性能特点

- (1) 翻抛部件宽度 6.0m, 每次抛料距离 1.2~2.0m;
- (2) 发酵槽宽度 6.0m, 料层高度 0.9~1.2m;
- (3) 处理能力 槽 $6.5 \sim 15 \text{m}^3/\text{d}$;

- (4) 配套动力 26.5~41.5kW;
- (5) 前进速度 50m/h, 后退速度 100m/h;
- (6) 液压自动控制升降机构, 柔性工作, 安全可靠;
- (7) 工作部件拨齿耐磨抗腐蚀且可拆换, 对物料具有一定的破碎和搅拌功能;
- (8) 现场集中控制与远程遥控相结合, 操作更方便;
- (9) 可实现正反方向的翻抛作业, 工作效率高;
- (10) 可实现连续式或整槽式发酵;

(11) 由于翻抛部件为可拆换耐磨桨叶式结构, 料层较浅, 故适合中等产量、气候潮湿、连续或批量发酵场合, 特别适合含石块、铁器、绳头较多的物料。

4. 设备维护

(1) 翻抛机在工作时直接与物料接触, 其腐蚀性较强。所以对翻抛机上粘有的污物, 特别是底盘上的污物应及时进行清理, 如有防护漆脱落现象都要进行补刷。

(2) 应经常检查传动链条松紧程度并及时调整。当调节张紧仍达不到要求, 可拆掉几节链条, 使其达到要求; 如发现传动链条链节之间转动不灵, 应及时用黄油或机油润滑; 底盘上的行走支承轴承、搅拌轴旋转支承轴承(与上为一体)升降支承轴承应定期加注黄油润滑。

(3) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(4) 液压系统运转 200h 后, 应将液压油全部放空, 清除液压系统滤清器内的杂质, 检查是否需要更换滤芯; 根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后是否回用。排放液压油的时候, 应当先将油缸杆缩回到油缸筒内; 每工作 800h, 应对液压系统进行清洁。

四、堆肥反应器

1. 结构特点

集废弃物收集、存储及发酵腐熟功能为一体的好氧堆肥装置, 适合中小型养殖场粪便和住宅小区生活垃圾处理。立式结构、多位曝气(图 6-9)。

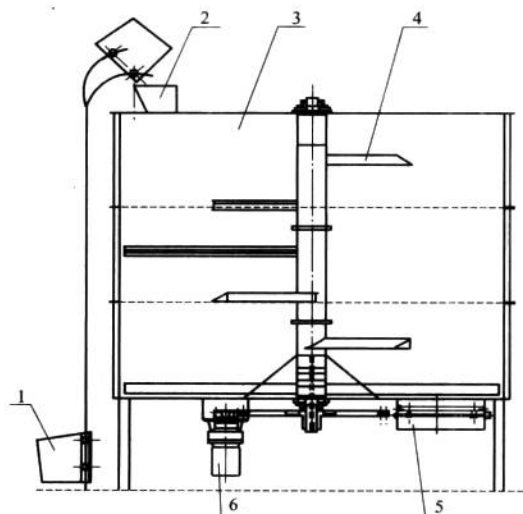


图 6-9 堆肥反应器

1—投料斗; 2—进料口; 3—发酵仓; 4—搅拌装置;
5—曝气系统; 6—搅拌驱动系统

2. 工作原理

每天需处理的待发酵物料经过由卷扬电机驱动的投料斗进入到发酵仓内, 一般发酵周期为 10 天左右, 故发酵仓高度方向应分为 10 等分, 最底部的为已发酵 10 天的物料, 最上部的为第 1 天刚投入的鲜料。在物料自重的作用下, 实现每天物料的不断流动, 下部配有出料机构。搅拌电机驱动搅拌主轴实现仓内物料的搅拌, 根据物料需要, 每天可以通过搅拌主轴和搅拌臂进行好氧曝气, 以满足微生物对氧气的需求。臭气从塔顶收集后进行处理。

3. 性能特点

- (1) 处理能力: 2~10t/d。
- (2) 总装机功率: 15~30kW。
- (3) 连续发酵, 随时接料, 集废弃物日常收集、存储和肥料化处理于一体。
- (4) 反应器密闭, 需处理的臭气量大

幅度下降。

(5) 曝气系统集成于搅拌器内，在桨叶翻拌处及时准确供氧，曝气充足，效率更高。

(6) 结构紧凑，不需建设厂房，固定投资小。

(7) 操作简便，定时搅拌与曝气，一台设备相当于一座工厂。

4. 设备维护

(1) 每班定期检查并清理投料斗上黏结的物料。

(2) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。

(3) 每周一次检查油量，当发现油位下降，检查是否有漏油处，查明原因，添加齿轮油在最低油面上。需要换油时，拆下上面的油管空气从油箱排出。旋开放油塞，收集油液，然后再拧紧放油塞。

(4) 液压系统运转 200h 后，应将液压油全部放空，清除液压系统滤清器内的杂质，检查是否需要更换滤芯；根据排放出液压油的清洁程度决定过滤后是否回用。排放液压油的时候，应当先将油缸杆缩回到油缸筒内；每工作 800h，应对液压系统进行清洁。

(5) 定期向轴承部位加润滑油。

五、移行机

1. 结构特点

该设备主要用于槽式发酵条件下对翻抛机或布料机进行换槽作业；可调节式轨道固定结构、布局紧凑（图 6-10）。

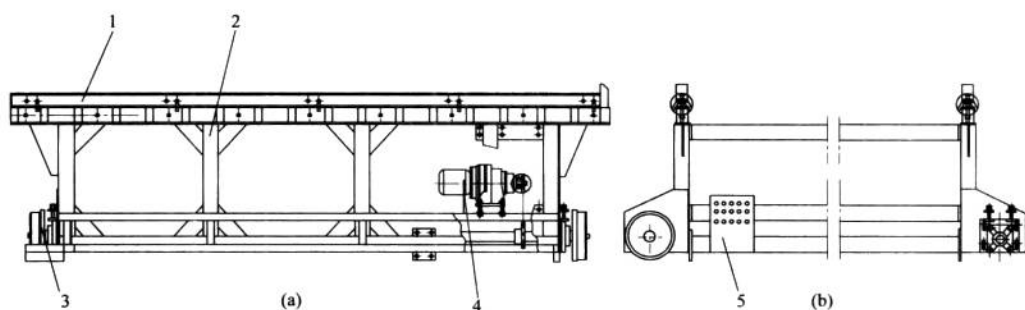


图 6-10 移行机

1—轨道；2—桁架；3—行走系统；4—驱动系统；5—电控系统

2. 工作原理

右框架和左框架上装有轨道，两轨道的中心距与相匹配的翻抛机的行走轮中心距相等。左、右框架的轨道离地高度和发酵槽上轨道的离地高度相等。要移行时，翻抛机从发酵槽开到移行车上，移行车可在垂直于轨道的方向移动，移动到与另一发酵槽轨道相对应的位置后，翻抛机从移行车开到发酵槽上，后退到位后开始工作。

3. 性能特点

(1) 负载移行速度为 50m/h。

(2) 空驶运行速度为 100m/h。

(3) 功率：0.75/0.45kW，双速电机。

(4) 结构坚固，操作简单，移行方便。

(5) 电耗小，使用成本低。

(6) 适合与槽式翻抛机和铺料车等配套使用。

4. 设备维护

(1) 轴承部位应定期加润滑油和清洗，以保证设备状况良好，延长使用寿命。

(2) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。

(3) 每班检查移行机上部轨道是否与发酵槽上轨道高度误差不大于 10mm，平行度误差不大于 5mm。

(4) 每班定期检查并清理移行机行走轮上黏结的物料。

(5) 注意检查移行机由于长期受到翻抛机重压而出现的局部变形现象。

第三节 粉碎、配料、混合设备

一、立式链锤粉碎机

1. 结构特点

该设备适合粉碎含水 30% 以下的有机原料和含水在 12% 以下的无机原料；粉碎室采用立式变径结构，内设可拆换耐磨衬板，皮带传动（图 6-11）。

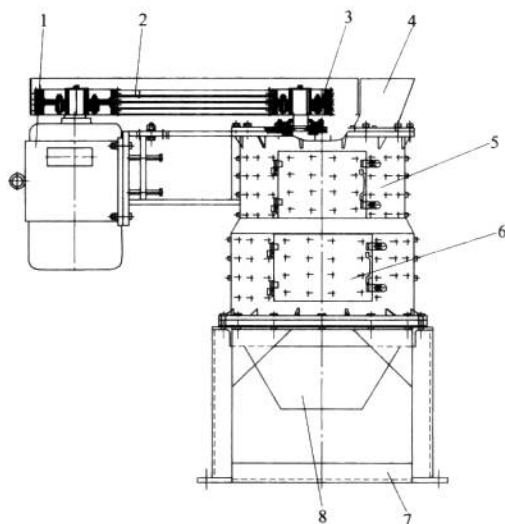


图 6-11 立式链锤粉碎机

1—驱动系统；2—传动系统；3—粉碎主轴；

4—进料口；5—粉碎室；6—检修门；

7—机架；8—出料口

2. 工作原理

电机通过皮带轮传动系统与主轴联接，主轴通过轴承分别支撑在粉碎室的上、下端盖上。为了提高粉碎率，增加物料在粉碎过程中的击打次数，故粉碎室设计成阶梯筒状。上粉碎室布置三排粉碎环链，下粉碎室布置两排粉碎环链。

被粉碎物料通过进料口进入粉碎室后，在高速旋转的粉碎链板击打和与筒壁的碰撞下进行粉碎。物料由于重力作用向下运动，则逐次进行粉碎。经过上粉碎室的三排链后，物料进入下粉碎室。由于两粉碎室的筒径差异，使下落物料落在下粉碎室的粉碎链板上，则再经过两排环链粉碎。物料经过在下落过程中的多次粉碎，最后经出料口排出。

3. 性能特点

(1) 生产能力：1.0~4.0t/h，粉碎细度 $\leq 3\text{mm}$ 占 85%。

(2) 配套动力：15~30kW。

(3) 筒体为立式变径紊流结构，不易堵塞，粉碎效率高。

(4) 设有检查口，便于更换磨损部件，链锤为特殊耐磨材质。

(5) 内设可拆换耐磨衬板，易损件成本低。

(6) 安全可靠，坚固耐用。

4. 设备维护

(1) 更换新链锤后,应用手盘动主轴是否转动灵活,各层链板是否与筒体内壁相碰,检查完毕后,关闭粉碎室门。然后启动主电机,空运转一定时间后,如整机运转平稳,无异常声响,可投入正常使用。

(2) 开机时先检查是否有残留物,若有待残留物料排出后再启动粉碎电机。启动 10min 后,进行加料(要求上料均匀,不允许超负荷工作),即可开始正常工作。

(3) 根据物料和粉碎的情况,随时观察粘壁情况,停机清理。每班生产后应打开粉碎室两边的门清理粉碎室内壁残留物料。

(4) 轴承应定期加油和清洗。

(5) 三角胶带传动应经常检查胶带张紧力是否适当,胶带磨损后,应及时更换。

二、电子配料秤

1. 结构特点

适合有机肥厂多种原料的动态计量及配料控制,特别适合腐蚀性大、易黏结物料的连续式计量;秤体采用框架式结构、分散计量集中卸料(图 6-12)。

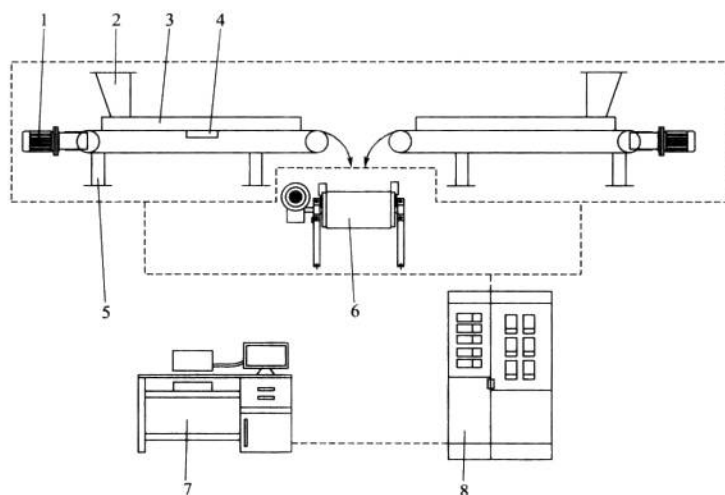


图 6-12 电子配料秤

1—电机；2—进料斗；3—挡料板；4—称重传感器；
5—支架；6—出料皮带；7—工控机；8—控制柜

2. 工作原理

系统中每台皮带秤的 DEL 型变频调速定量给料机与智能控制仪表(或工业控制计算机)配套使用,物料经接料斗进入到皮带上,随着皮带的转动,物料均匀被输送出来,皮带上的载荷经称量机构由荷重传感器检测,皮带转速由速度传感器检测,测控系统将载重量及速度量进行叠加处理,一方面通过 CRT 显示出各种流量参数,另一方面经处理后得出实际给料速率,将实际的给料速率与所设定的给料速率不断地进行比较,并调整皮带速度,使之精确地以所设定给料速率给料,从而实现定量给料和连续计量。

3. 性能特点

(1) 生产能力: 1~50t/h。

(2) 配料精度: $\pm 3\%$; 配料数量: 2~10 种。

(3) 特别适合腐蚀性大、易黏结物料的连续式计量，需与连续式混合机配套使用。

(4) 连续式电子配料系统适合有机肥多种原料的动态计量及配料控制。采用计算机自动控制，动态显示配方情况，可储存多个配方，具有配料精度高，便于生产统计和管理等优点。该电子配料秤按实际情况也可实现手动配料。

(5) 电动机调速控制采用高性能数字式变频控制器，调速范围广，启动平稳。低速时调速性能良好，节约电能并且不受现场恶劣环境的影响。

(6) 框架式结构，把输送机 and 计量称量框架设计成一个整体，装配紧凑占用空间少，具有精度高，维护方便，外形美观等特点。

(7) 采用裙边式环形输送带是在普通环形皮带基础上，两边固接与环形皮带垂直的裙边。使用过程中能防止皮带上物流失和撒料现象，从而保证配料皮带秤正常工作。

(8) 设置皮带表面清扫装置，保持皮带的清洁，不粘料。

(9) 传感器内、外部密封性好，防尘抗腐蚀。

(10) 操作简单，运行安全可靠。

4. 设备维护

(1) 秤体的维护保养

- ① 要经常保持秤体及各部件的清洁；
- ② 定期检查减速机的润滑情况保证润滑正常；
- ③ 传动链条要定期加油，定期清除链罩内积尘；
- ④ 停机检查时，应将称量机构顶起，以防外力损坏传感器；
- ⑤ 在运行过程中应严禁非正常压力附加于传感器各称量机构上；
- ⑥ 注意检查皮带在松紧及跑偏情况使之保持正常；
- ⑦ 经常注意入料口有无大块物料卡住，并及时处理，以免损坏皮带；
- ⑧ 皮带应保持平整及完好，如有破损应及时调换。

(2) 电控部分的维护保养

- ① 控制室内应保证清洁、干燥、通风，最好安装空调，保持室内恒温；
- ② 系统每次关机重复启动后，应把主机、通道仪等通电预热 15min 后再投入运行；
- ③ 观察毫安表上的指针，在重载情况下，不能超过 10mA；
- ④ 保持秤体的预压力，一般情况下空载为 1~2mA（由表指针指示），重载为 6~8mA，否则应重新调整或调换传感器；
- ⑤ 保持传感器部位的清洁，传感器应固定在安装基座上，连接放大器的电缆插接头不应松动；
- ⑥ 控制柜应由预埋螺丝固定，外壳应可靠接地，（接地电阻小于 4Ω）；
- ⑦ 控制室内应无振动源，辐射源和强电磁源；
- ⑧ 严禁在控制柜台面上放置茶杯、饭碗等物，严禁在控制柜下方放置电炉等取热设备；
- ⑨ 定期对控制柜内的主机、通道控制仪及电气等进行清灰，保持内部的清洁，清灰时应注意不要碰断电线及损坏电器件，清灰工作必须在停机断电状态下进行；
- ⑩ 配料系统停机后，若较长时间不用的话，应关掉主机、通道仪、电气控制的全部电源；若系统连续停机在 15 天以上时，应每隔 15 天对主机及通道仪通电预热半小时以上，以防止潮气侵入。

三、连续式双轴桨叶搅拌机

1. 结构特点

适合腐蚀性大、易黏结各种物料的连续式混合；桨叶式结构、齿轮传动（图 6-13）。

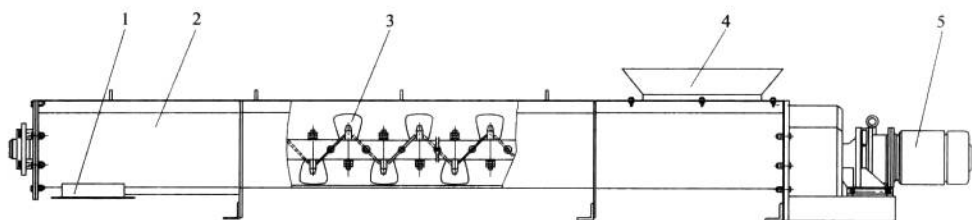


图 6-13 连续式双轴桨叶搅拌机

1—出料口；2—搅拌机壳体；3—搅拌轴；4—入料斗；5—驱动系统

2. 工作原理

几种物料由入料口同时均匀地进入搅拌机，搅拌机内部有两根装有特殊形状叶片且缓慢相向旋转的搅拌轴。物料在搅拌叶片的作用下，不断相互混合且缓慢向前移动，并由出料口流出，完成连续混合作业。

3. 性能特点

(1) 生产能力：1.0~10.0t/h，混合均匀度 $\geq 85\%$ 。

(2) 配套动力：4.0~18.5kW。

(3) 可连续搅拌物料，解决了物料腐蚀性大、易黏结料门等问题，应与连续式配料方式相配套。

(4) 搅拌器设计特殊形状的叶片混合及输送物料，物料不易在搅拌根部黏附，从而减少清理困难的问题，非常适合腐蚀性大和黏性物料的搅拌作业。

(5) 结构紧凑，占用空间少。

4. 设备维护

(1) 双轴搅拌机启动 5min 后，方能加入物料进行混合搅拌。

(2) 如长期停产，应将机体内部的物料清理干净，特别是机体后部必须清理干净，防止物料在机体内部板结和黏连，影响以后物料混合的顺利进行。

(3) 轴承应定期加油和清洗。

(4) 减速机在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长间隔时间为一年。

四、立式搅拌机

1. 结构特点

适合小规模人工计量生产的场合；立式圆盘搅拌结构、高度低便于投料（图 6-14）。

2. 工作原理

每批待混合的各种原料经计量后，人工投入到搅拌室内，搅拌均匀后，通过人工或电动出料机构卸出，实现一个批次的搅拌。

3. 性能特点

(1) 生产能力：1.0~4.0t/h，混合均匀度 $\geq 90\%$ ；

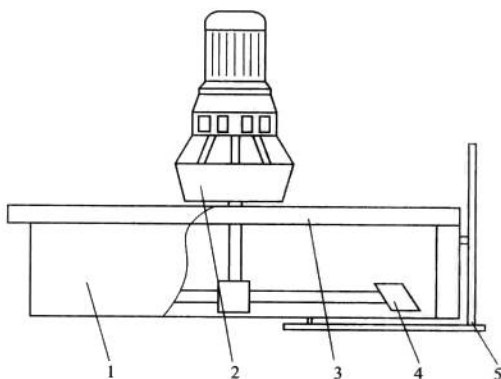


图 6-14 立式搅拌机

1—搅拌室；2—驱动系统；3—支架；4—搅拌系统；5—出料机构

- (2) 配套动力：4.0~11.0kW；
- (3) 精度低，工作环境差；
- (4) 批量搅拌，需人工控制全过程，卸料门由于黏结容易造成漏料。

4. 设备维护

- (1) 启动 5min 后，方能加入物料进行混合搅拌；
- (2) 每班应将搅拌室及搅拌装置上黏结的物料清理干净，防止物料板结和黏连，影响以后物料混合的顺利进行；
- (3) 轴承应定期加油和清洗；
- (4) 减速机在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。

第四节 造粒、烘干、冷却设备

一、制粒设备

造粒不仅可以减小运输体积，适应施肥机的要求；同时颗粒状物料还具有缓释性，为土壤创造团粒结构。制粒方式一般分为团粒法和挤压法，团粒法分为圆盘制粒和转鼓制粒，挤压法分为平模制粒和环模制粒，而环模制粒由于模、辊加工成本高，结构复杂等原因不适合有机物料的加工。

(一) 圆盘制粒

1. 结构特点

主要用于黏结性较好、粉状均质物料的滚球造粒；盘式结构、齿轮传动见图 6-15。

2. 工作原理

圆盘造粒机的圆盘与水平面形成一定角度（35°~65°）进行旋转。在旋转时，输入的物料随着圆盘的旋转而上升，同时在重力作用下向下滚动，物料与盘底发生摩擦作用，物料又由于离心力而被甩向圆盘的边缘，此时随着液体通过雾化喷嘴不断地向物料喷洒，物料在旋转过程中形成“母球”且母球不断增大，在旋转中与不断增大的颗粒碰撞下，颗粒的强度也不断增高，颗粒达到一定量时，在离心力的作用下，由圆盘边缘溢出，完成造粒工序。

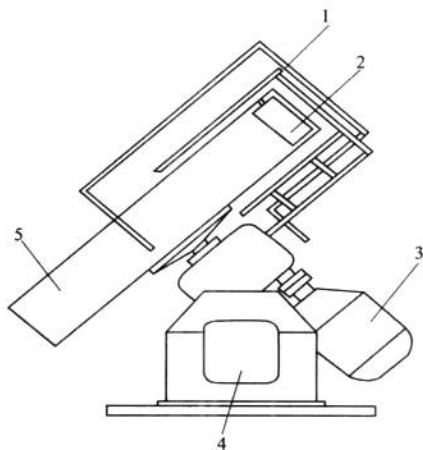


图 6-15 圆盘造粒机

1—喷水装置；2—刮料装置；3—驱动系统；4—底座；5—造粒室

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~3.0t/h；
- (2) 配套动力：7.5~15.0kW；
- (3) 噪声低，易损件成本低；
- (4) 要求原料较细，一般需过 20 目筛，故粉碎能耗高；
- (5) 操作直观、易于人为观察颗粒物料状况，但工作环境差；
- (6) 成球率约 70%，返料量大；
- (7) 在制粒过程中，需喷入 10%~15% 的水

分,所以成品必须烘干,故干燥能耗较大。

4. 设备维护

(1) 定期检查各连接部位的螺栓是否有松动现象。

(2) 每次维修完毕,应攀动圆盘无卡滞现象,造粒机无负荷工作 10~15min 后,无异常噪声,轴承部位温升不大于 30℃。

(3) 轴承应定期加油和清洗。

(4) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油,最初运转 100h 后更换新油,接下来每工作 1000h 换一次新油,最长时间间隔为一年。

(5) 雾化喷嘴应经常观察雾化情况,如有堵塞或雾化不好、滴水,应将喷嘴拆下,调整喷嘴内的旋流片按正确方法安装。

(6) 刮刀磨损后,应进行间隙调整,调整后须将所有紧固件锁紧,磨损严重,应予更换。

(二) 转鼓制粒

1. 结构特点

主要用于黏结性较好、粉状均质物料的滚球造粒;滚筒式结构、齿轮传动(图6-16)。

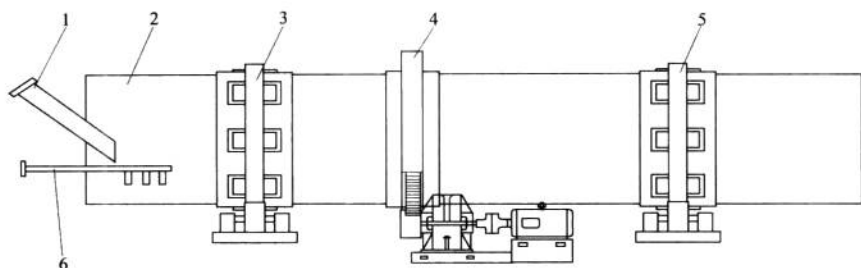


图 6-16 转鼓造粒机

1—进料口；2—转鼓；3—前托轮装置；4—齿轮驱动系统；5—后托轮装置；6—蒸汽管路

2. 工作原理

转鼓造粒的原理是物料依靠表面张力、适量的液相、物料间滚动所产生的挤压力,以及物料在造粒机内正确的运动方向上以小颗粒为核心,在滚动中黏结成球。

工作时,粉状原料由进料口加入带一定斜度且缓慢旋转的滚筒后,在内部抄板的带动下物料层向上转动,至一定高度时,在重力和惯性力的作用下,物料沿弧形轨道下落,使物料完成造粒时所需要的滚动运动。筒体内部通过蒸汽或水喷洒在滚动的料层上,使细粒表面与其他细粉黏附团聚成粒。物料在造粒区成粒,然后越过环形挡料圈进入抛光区。在抛光区,粒子经过陈化、抛光,细粒长大后,从转鼓出口下料。

3. 性能特点

(1) 生产能力: 1.0~6.0t/h。

(2) 配套动力: 7.5~45.0kW。

(3) 噪声低,易损件成本低。

(4) 要求原料较细,一般需过 30 目筛,故粉碎能耗高。

(5) 成球率约 60%,返料量大。

(6) 在制粒过程中,需喷入 15%~20% 的水分,所以成品必须烘干,故干燥能耗较大。

4. 设备维护

(1) 轴承担负机器的全部负荷, 所以良好的润滑对轴承寿命有很大的关系, 它直接影响到机器的使用寿命和运转率, 因而要求注入的润滑油必须清洁, 密封必须良好。

(2) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(3) 注意检查易磨损件的磨损程度, 随时注意更换被磨损的零件。

(4) 轴承油温升高, 应立即停车检查原因加以消除。

(5) 转动齿轮在运转时若有冲击声应立即停车检查, 并消除。

(三) 平模制粒

1. 结构特点

主要用于各种有机原料的挤压造粒; 一级齿轮二级带式传动、机箱整体铸造 (图6-17)。

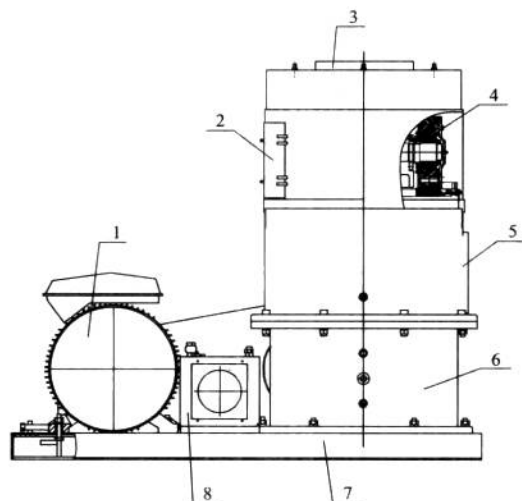


图 6-17 平模压力机

1—主机动力系统; 2—检修门; 3—进料口; 4—模辊压缩室;
5—出料口; 6—传动箱; 7—底架; 8—强制润滑冷却系统

2. 工作原理

减速电机是平模压粒机的动力系统, 主要采用皮带及齿轮减速将动力传到主轴, 主轴带动刮料器、切刀、压辊工作。工作时压辊轴随主轴旋转, 压辊与主轴公转的同时带动压辊与压模间物料挤压摩擦而自转, 这样使物料受到摩擦挤压在模孔中形成颗粒, 随着压辊的连续不断运动, 颗粒不断形成, 颗粒连续从压模底部挤出。当挤出达到一定的长度时, 压模底部的切刀将颗粒切断。颗粒下落到刮料器底板上时由刮料器输送出制粒机, 完成制粒过程。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.0~4.0t/h;
- (2) 配套动力: 22.0~90.0kW;
- (3) 物料要求细度不高, 一般3~4mm;
- (4) 成形率可达到95%、返料最小;
- (5) 制粒过程无需添加水分;
- (6) 产品呈圆柱状, 光滑均匀;

(7) 平模易于加工,可双面使用;

(8) 虽然造粒电耗及配件成本相对较高,但由于原料无需粉碎、造粒过程无需加水以及成型率高等优点,总体生产成本较低;

(9) 如需球状颗粒,可与磨圆机配套使用;

(10) 工作环境好,劳动强度低。

4. 设备维护

(1) 物料中不得有过量石块,铁杂质等硬质异物。

(2) 关闭主电机前要喂油性饲料,停机后要及时清除制粒室的积料。

(3) 试运转时应调整好切刀的位置。

(4) 各部轴承定期加润滑油(脂)。

(5) 制粒机第一次使用 50h 后更换动力箱内的机油,以后每工作 500h,更换一次机油。使用的机油夏季 60# 机油,冬季 40# 机油或用汽机油。每次更换应将脏油全部放净,然后用煤油或汽油清洗干净,再注入新机油。

(6) 压辊轴承使用高温润滑油脂,如 2 号复合钙基润滑油脂,滴点在 150℃ 以上。每工作 4h 加注一次。开机前,检查压辊转动情况,若转动困难,则需拆开后对轴承及密封件进行检查,如无损坏,清洗干净后再安装,并注满润滑油脂。

(7) 机器季节性停机时,要清除各部件内的残料,压模要浸油防锈蚀。其他部件也应进行防锈蚀护理,如涂防锈油脂等。

(8) 压模、压辊磨损后应及时更换。

(9) 三角胶带传动应经常检查胶带张紧力是否适当,胶带磨损后,应及时更换。

一般故障及排除方法见表 6-1。

表 6-1 一般故障及排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
不出粒,粉料在压粒室内板结	模孔堵塞 模孔锈蚀 模辊间隙过大	电钻钻出孔内残料 用含油高的物料研磨 调整间隙 0.1~0.5mm
粉料多	含水率低	加大给水量
颗粒过硬	含水率过低	加大供水量
颗粒过软,松散	含水率过高 压模厚度不够	降低物料含水率(减少蒸汽用量) 更换压模
闷车	有较大异物进入模辊之间 供料过多 不出粒,模孔堵塞	停机,打开上罩去除制粒室异物 减少供料量 调整出粒,打通模孔

二、烘干设备

为了去除制粒后物料中的水分,满足成品水分要求,在制粒后需要对颗粒进行烘干。常用的烘干设备有滚筒烘干机和刮板式流化干燥机。

(一) 滚筒烘干机

1. 结构特点

主要用于粉状、颗粒状,尤其是黏结性较强物料的干燥;滚筒式结构、齿轮传动(图 6-18)。

2. 工作原理

烘干热气流由燃烧室经炉口接管进入筒体内干燥物料,燃烧的烟尘及干燥产生的水蒸气

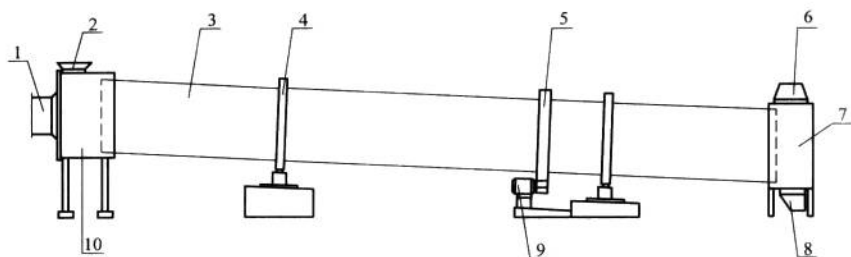


图 6-18 滚筒烘干机

1—进风口；2—进料口；3—筒体；4—托轮滚圈；5—传动齿轮；6—出风口；7—出料室；8—出料口；9—动力系统；10—进料箱

由抽烟尘装置通过抽风管排出。进入筒体的气体温度由进料室上的热电偶测试，通过控制燃烧煤的数量和进自然风的流量来实现炉温的调整。物料从进料口进入旋转的筒体内，由抄板不断翻动和抛散，使物料保持与干热气体的良好接触，达到激烈的热交换，从而使物料得以烘干，烘干后的物料由出料口流出，整个过程是连续进行的。烘干机的筒体通过前后滚圈支持在挡轮装置和托轮装置上，挡轮装置上的挡轮防止筒体前后窜动。传动装置是由电动机通过摆线针轮减速机带动筒体上大齿轮旋转。筒体两端设有密封装置，防止冷空气进入筒体和燃烧室进入筒体内的烟气、粉尘外溢。筒体、进料室和出料室内堆集的物料，可进行清理。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~10.0t/h；
- (2) 配套动力：7.5~90.0kW；
- (3) 与燃烧炉和抽风除尘装置配套使用；
- (4) 占地面积大，造价较高；
- (5) 具有整型功能。

4. 设备维护

- (1) 随时检查轴承部位温度，最高不得超过 60℃。
- (2) 轴承应定期加油和清洗。
- (3) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。
- (4) 筒体不应有单向窜动和剧烈往复窜动。
- (5) 传动中齿轮不得有剧烈震动和过高的噪声。
- (6) 电机应有良好的接地保护；电机运转平稳，电流无显著波动。
- (7) 定期打开出料口的门，清理筒体内和进、出料室黏着物料。
- (8) 机器发生故障后，应停车检查。
- (9) 每班生产完工停车后，每隔 15min、30min、60min 转动滚筒一次，直至冷却到筒体温度<100℃为止，以防筒体弯曲。

(二) 刮板式流化干燥机

1. 结构特点

适合干燥热敏性、易破碎颗粒状物料；立式多层网带式结构、链传动（图 6-19）。

2. 工作原理

主要由封闭的机体、两层多孔筛板、关风器、链式刮板输送、电机减速传动装置和换热

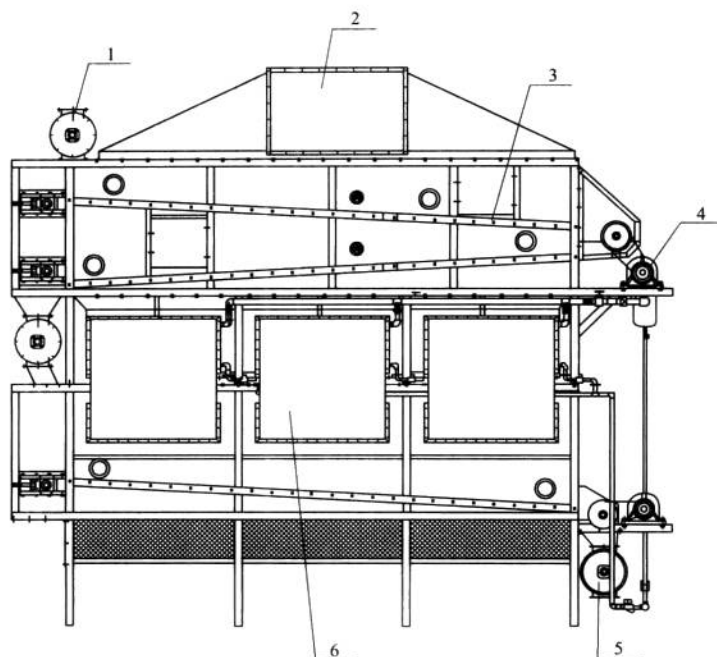


图 6-19 刮板式流化干燥机

1—进料口；2—出风口；3—物料烘干输送系统；4—驱动系统；5—出料口；6—散热器及蒸汽管路

器蒸汽管路等部分组成，另外，配有排风除尘系统。设备工作时，上部安装的排风管道将干燥机上部空气室中的空气排出，使干燥机内部形成负压，这样，外部的空气便穿过机体下部侧面的热交换器被加热后进入干燥机内部，从下向上分别穿过两层筛面，高速热气流冲击筛面上的颗粒物料使之悬浮跳跃并进行热交换，加热干燥筛面上的物料后到达上部的空气室，随后通过管道被风机排走。物料从干燥机上部入口落到多孔筛面上后，高速的热空气穿过多孔筛后又穿过物料层。热空气在穿过筛板时风速加快，吹起颗粒物料并使之处于悬浮状态，从而带动物料在筛面上悬浮跳跃，这时，热空气与潮湿的物料充分接触，接触面积加大，干燥效果好。由于筛面有一定的倾角，物料在悬浮跳跃的同时沿筛面向低处缓慢移动，一直移动到筛板的尾部。由于设备刚开始工作时，物料并未完全充满筛面，热空气的绝大部分从没有物料的筛孔处通过，使得物料不能很好的被干燥。因此，干燥机设有链式刮板，在开始阶段强制物料缓慢移动，使得物料能够充满筛面，顺利地进行流化干燥。刮板的运动速度很低，这样，物料的破碎率最小。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~4.0t/h；
- (2) 配套动力：30~75kW；
- (3) 适合干燥热敏性、易破碎颗粒状物料；
- (4) 干燥过程密闭，避免臭气和粉尘的泄漏，工作环境好；
- (5) 热质交换均匀、充分、生产效率高。

4. 设备维护

- (1) 离心风机机座内的润滑油应定期更换，一般情况下，每工作 200h 更换一次。

(2) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(3) 对传动链条视情况加注润滑油。

(4) 机器各轴上的轴承要定期加入润滑脂。

(5) 定期检查机器的密封状况, 若机体和管路有漏风处, 应及时封堵, 以保证流化干燥的正常进行。

(6) 当蒸汽管路中有漏水、漏气等问题时, 应及时加以解决, 以免降低蒸汽的热效率。管道外的保温层对降低蒸汽的热损失、提高蒸汽的热效率起着重大的作用, 当保温层有破损脱落处时, 应及时修补好。

三、冷却设备

从烘干机出来的物料温度较高, 不能直接筛分包装, 必须经过冷却, 冷却不仅可降低物料温度, 还可以进一步降低水分, 提高颗粒强度和外观质量。

(一) 滚筒冷却机

1. 结构特点

适用于粉状、颗粒状, 尤其是黏结性较强物料的冷却; 卧式滚筒结构、齿轮传动 (图 6-20)。

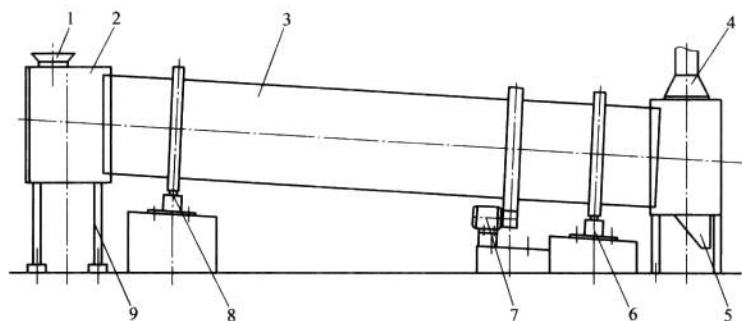


图 6-20 滚筒冷却机

1—进料口; 2—进料室; 3—筒体; 4—抽风筒; 5—出料口; 6—后挡托轮装置; 7—传动装置; 8—前挡托轮装置; 9—支架

2. 工作原理

物料输入冷却机后, 在旋转的滚筒内, 靠筒体倾斜角度将物料向前输送, 筒体内配置扬料板, 不断地将物料翻动和抛散, 出料室配制一套抽风除尘装置, 使进入滚筒内的物料迅速冷却, 冷却后的物料即可进入到下道工序。冷却机的筒体通过前后滚圈支承在挡托轮装置和托轮装置上, 挡托轮装置防止筒体前后窜动。传动装置由摆线针轮减速机带动筒体上的大齿轮旋转, 筒体两端设有密封装置, 防止空气进入筒体内。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.0~10.0t/h;
- (2) 配套动力: 7.5~75.0kW;
- (3) 适用于粉状、颗粒状, 尤其是黏结性较强物料的冷却;
- (4) 结构庞大, 造价较高;
- (5) 具有一定的整型功能。

4. 设备维护

- (1) 机器开动期间, 禁止检修, 机器下站人等;
- (2) 定期往轴承部位加入钙基润滑脂;
- (3) 随时检查轴承部位温度, 最高不得超过 60°C ;
- (4) 筒体不应有单向窜动和剧烈的往复窜动;
- (5) 转动中齿轮不得有剧烈震动和过高的噪声;
- (6) 电机运转平稳, 电流无显著波动;
- (7) 电机应有良好的接地保护;
- (8) 定期打开清料门, 清理筒体内和进出料室黏着物料;
- (9) 减速机在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(二) 逆流强制冷却器

1. 结构特点

适用于各种物料的冷却, 是目前较先进的肥料等颗粒冷却设备之一, 可以广泛用于烘干后颗粒物料的冷却。立式箱体结构、翻板式卸料 (图 6-21)。

2. 工作原理

(1) 从烘干机出来的高温颗粒料, 通过旋转闭风喂料器均匀, 经菱形散料器均匀地堆放在冷却箱体中, 冷风从冷却箱体下面排料机构底部与集料斗上部空隙中全方位进入冷却器, 并垂直穿过料层与湿热颗粒进行热交换, 后经吸风系统吸出, 从而使颗粒料得以冷却。

(2) 逆流冷却器内设有三个料位器, 按下“逆流冷却器启动”钮后, 即为自动控制状态。逆流冷却器处于工作状态 (这时其出料门为“关”状态), 允许进料。当物料达到中料位时, 逆流冷却器出料门自动启动, 由时间继电器控制间歇式地打开出料门放料; 当物料降至下料位时, 逆流冷却器停止放料 (这时其出料门为“关”状态), 直到物料再次达到中料位时启动。

(3) 如此循环, 生产结束时, 用“手动放料钮”可将逆流冷却器内的剩余物料全部排空。时间继电器动作为开门时间是 60s 内可调; 关门时间 120s 内可调; 当物料达到上料位时, 电控系统报警并给出通断信号。逆流冷却器开关门采用气动控制, 其工作是由料位器和时间继电器控制气动系统的电磁阀通断来实现料门的开关。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: $1.0 \sim 15.0 \text{ t/h}$;
- (2) 配套动力: $1.5 \sim 2.6 \text{ kW}$;
- (3) 占地少, 冷却效果好, 对颗粒破碎率低;
- (4) 具有气动系统控制的翻板卸料机构;
- (5) 卸料速度可调, 卸料均匀、流畅, 对颗粒破损小;

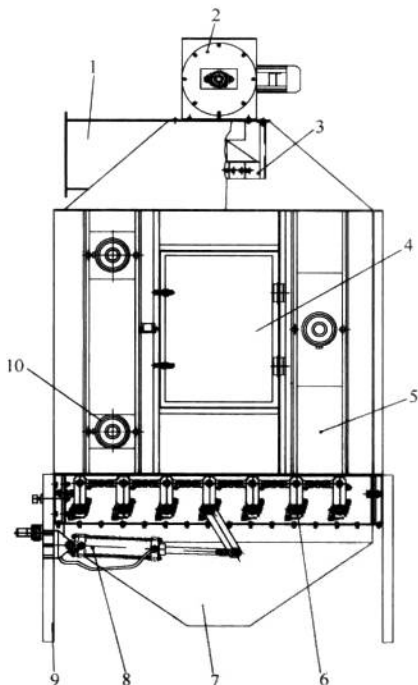


图 6-21 逆流强制冷却器

1—出风口; 2—进料喂料器; 3—均料机构; 4—检修门; 5—冷却室; 6—排料机构; 7—出料口; 8—气动系统; 9—机架; 10—料位器

(6) 独特的旋转撒料机构, 保证了物料得到均匀、彻底的冷却并可明显减少粒料破碎。

4. 设备维护

(1) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(2) 机器各轴承处定期加油润滑。

(3) 停车后, 料仓内不应留有物料。

(4) 气动系统不应有渗漏。

第五节 筛分、包装、输送设备

一、筛分设备

(一) 二维振动筛分机

1. 结构特点

适合堆肥后高湿度、高纤维含量的物料; 曲柄连杆强制驱动筛体、异角度吊杆悬挂、皮带传动 (图 6-22)。

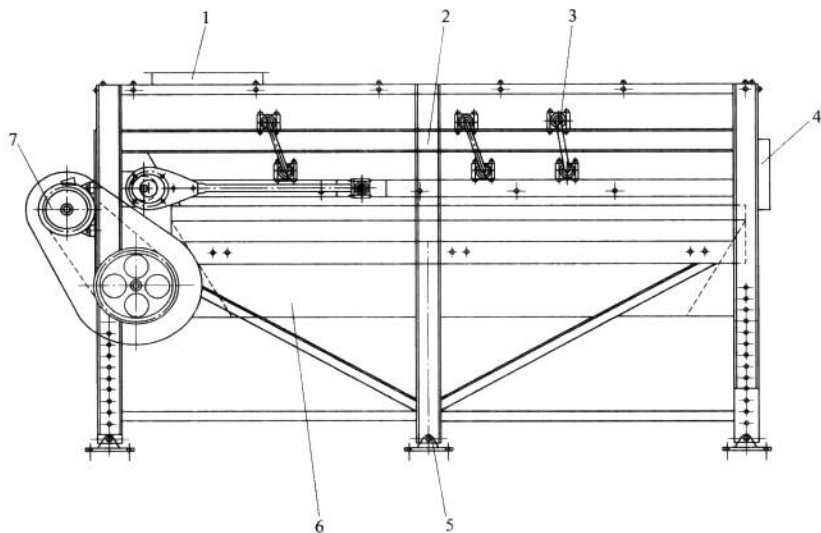


图 6-22 二维振动筛分机

1—进料口; 2—筛箱; 3—驱动机构; 4—大料出口; 5—机架; 6—小料出口; 7—驱动系统

2. 工作原理

筛箱由驱动装置驱动, 电机通过两级皮带减速后驱动曲柄连杆机构带动筛箱做水平往复运动, 筛箱吊于前后垂直、夹角不同的两对吊杆上, 两组吊杆绕各自固定端往复摆动, 使筛箱在往复运动的同时产生垂直振动, 由于两对吊杆的垂直夹角不等, 筛箱前后的垂直振幅不同, 物料在筛面上垂直跳动的同时产生向前的水平跳动。

进料口集中喂入的物料在筛体的振动作用下, 迅速分布在整個筛宽上, 并产生自动分级。从而使物层下面粒度较小的物料迅速过筛, 而大于筛孔尺寸的颗粒迅速向出口方向跳动, 直到排出机外, 完成物料的整体筛分。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.0~6.0t/h;
- (2) 配套动力: 4.0~15.0kW;
- (3) 筛面垂直和水平二维振动, 且频率及振幅恒定;
- (4) 筛体前后垂直振幅不等, 使物料在筛分过程中产生二维跳跃, 并向出料端运动;
- (5) 结构紧凑, 筛分效率高。

4. 设备维护

- (1) 每班应做好必要的检查和清洁工作。
- (2) 三角胶带传动应经常检查胶带张紧力是否适当, 胶带磨损后, 应及时更换。
- (3) 使用时, 各轴承及摩擦部位应注一定量润滑脂, 定期用油枪通过油杯向轴承内加入润滑脂, 润滑脂必须保持干净, 不得有污染。
- (4) 机器运转 500h 后, 应进行一次全面检查, 发现机器零部件, 特别是转动件中有损坏或严重磨损时, 应进行修理或更换。
- (5) 机器停机时间较长时, 应将设备内外打扫干净, 去掉尘污, 以免机器生锈和筛孔堵塞, 同时卸下三角胶带, 松开压紧机构。

(二) 圆筒筛分机

1. 结构特点

适合堆肥后含水率较低、纤维类杂质较少的物料; 滚筒式筛网结构、减速电机传动 (图 6-23)。

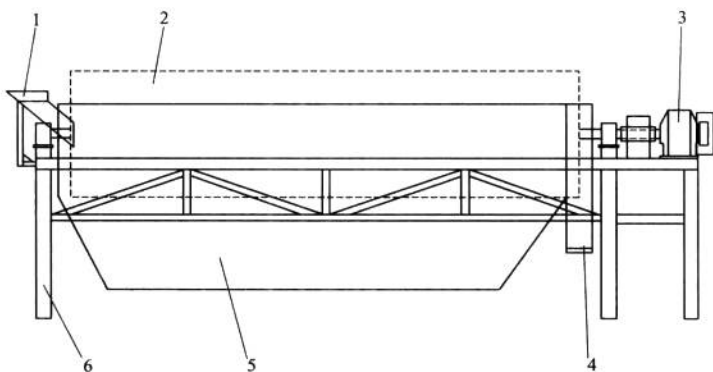


图 6-23 圆筒筛分机

1—进料口; 2—筛筒支架; 3—传动装置; 4—大料出口; 5—小料出口; 6—机架

2. 工作原理

滚筒装置倾斜安装于机架上, 电动机经减速机与滚筒装置通过联轴器连接在一起, 驱动滚筒装置绕其轴线在一定的转速下旋转。物料自上而下通过筛分筒得到分离, 细级别物料从筒形工作表面的筛孔通过, 粗粒物料从圆筒的下端尾部排出。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.0~6.0t/h;
- (2) 配套动力: 5.5~30.0kW;
- (3) 运转缓慢均匀, 冲击振动很小、工作平稳;
- (4) 振动小, 噪声低, 自身能耗小;
- (5) 占地面积较大。

4. 设备维护

(1) 正常工作情况下, 轴承的温升不应超过 40°C , 最高温升不得超过 70°C 。

(2) 停车前, 应先停止加料, 待筛筒全排出后方可关闭电动机。

(3) 维修完毕后应清除安装工具等, 筛筒内外不允许残留异物。

(4) 经常注意并及时做好设备各部位的润滑工作, 保证机器的正常运转, 延长设备的使用寿命。

(5) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长时间间隔为一年。

(三) 回转式筛分机

1. 结构特点

主要用于肥料厂成品颗粒状物料的筛选和分级; 平面两层筛网结构、皮带传动 (图6-24)。

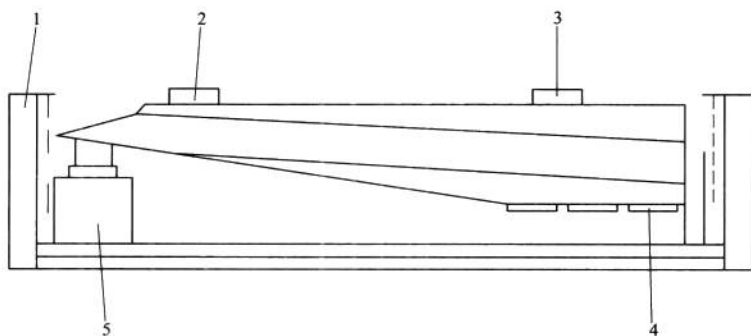


图 6-24 回转式筛分机

1—机架; 2—进料口; 3—吸尘口; 4—大/中/小料出口; 5—驱动装置

2. 工作原理

(1) 筛体由驱动装置驱动, 其运动轨迹在进料端为横向椭圆 (椭圆长轴沿筛宽方向) 在长度方向逐渐变成圆、纵向椭圆 (椭圆长轴沿筛长方向), 最后在出料端变成近似往复直线运动。

(2) 进料口集中喂入的物料, 在筛体进料端横向椭圆运动作用下, 迅速分布在整個筛面上, 并产生自动分级。从而使物层下面粒度较小的物料迅速过筛, 而上面粒度较大的物料则向出料端运动。在移动过程中, 由于没有搅动和垂直跳动, 因而其中较小的颗粒始终紧贴筛面, 随时可以过筛。在出料端筛体的运动为近似往复直线运动, 使筛理作用逐渐减弱, 从而使大于筛孔尺寸的颗粒迅速向出口方向移动, 直到排出机外, 完成物料的整体筛分。在筛理过程中, 不断跳动的弹性小球, 打击筛网, 有效地防止物料堵塞筛孔, 保证了筛理的高效率。

(3) 该分级筛分上、下两层, 上层筛的筛下物落到下层筛面上继续筛理, 从而使出料口物料分为粗、中、细三个等级。

3. 性能特点

(1) 生产能力: $1.0 \sim 15.0 \text{ t/h}$;

(2) 配套动力: $1.5 \sim 4.0 \text{ kW}$;

(3) 产量大, 筛粉效率高;

(4) 因而振动小, 噪声低;

(5) 占地面积小, 结构紧凑;

(6) 可实现多层分级, 筛网拆换方便, 且装有筛面清理装置。

4. 设备维护

(1) 每班应做好必要的检查和清洁工作。

(2) 三角胶带传动应经常检查胶带张紧力是否适当, 胶带磨损后, 应及时更换。

(3) 使用时, 各轴承及摩擦部位应注一定量润滑脂, 定期用油枪通过油杯向轴承内加入润滑脂, 润滑脂必须保持干净, 不得有污染。

(4) 机器运转 1000h 后, 应进行一次全面检查, 发现机器零部件, 特别是转动件中有损坏或严重磨损时, 应进行修理或更换。

(5) 机器停机时间较长时, 应将设备内外打扫干净, 去掉尘污, 以免机器生锈和筛孔堵塞, 同时卸下三角胶带, 松开压紧机构。一般故障及排除方法见表 6-2。

表 6-2 一般故障及排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
三角带发热	① 胶带松紧不当 ② 带轮带槽损坏或表面比较粗糙	① 松开电机固定螺栓, 调节电机轴和传动轴主轴间距 ② 检修带轮
轴承发热	① 轴承润滑脂过多、过少或不良 ② 轴承损坏 ③ 轴承外圈与轴承座配合不紧 ④ 胶带过紧 ⑤ 长期超负荷工作	① 换润滑脂, 按规定加润滑脂 ② 更换轴承 ③ 拆换与轴承配合的轴承座 ④ 调节胶带松紧度 ⑤ 减少喂料量
电机转动无力	① 电机两相运转 ② 电机绕组短路 ③ 长期超负荷工作	① 接通短组, 使其三相运转 ② 检修电机 ③ 使电机在额定负荷下工作
电机启动困难	① 电压过低 ② 导线截面积过小 ③ 保险丝烧断	① 待电压正常后启动 ② 换适当导线 ③ 换与电机容量相适应的保险丝
筛体发生强烈振动或扭震	① 偏重块安装不当 ② 主轴发生弯曲 ③ 轴承损坏	① 调整偏重块的安装位置 ② 更换或校直主轴 ③ 更换轴承
成品中有不符合粒度要求的颗粒	① 筛网有破损、孔漏 ② 挺杆未压紧筛框或密封不严	① 更换筛网或补漏 ② 把筛框挺杆压紧, 检修密封毡带, 填补漏洞
产量显著下降	① 物料水分过高, 堵塞严重 ② 筛孔大小不符合要求 ③ 转速过低或皮带过滑 ④ 喂入量不足 ⑤ 弹性球磨损严重	① 调换低水分物料 ② 更换筛网 ③ 检查带轮, 调整胶带张紧度 ④ 增加喂入量 ⑤ 更换弹性球

二、自动打包秤

1. 结构特点

主要用于肥料厂粉状或颗粒状物料的计量和包装; 皮带喂料、无斗计量 (图 6-25)。

2. 工作原理

打包秤进入自动运行状态, 当控制器接收到启动信息后, 夹袋机构迅速反应, 夹紧料袋, 延时一段时间, 控制器同时开启快速加料阀门, 物料落入袋中, 当料袋中的重量达到设定的快速加料设定值时, 加料速度转入慢速加料, 使加料速度减缓, 确保称重的精度, 当料重达到慢速加料设定值时, 关闭慢速加料阀, 稍作延时, 待空中物料达到料袋, 再开启夹袋机构, 完成动态称重过程。快、慢加料的设定值可根据物料的流动性、密度等状态, 以及根据用户的经验, 由用户自行设定。

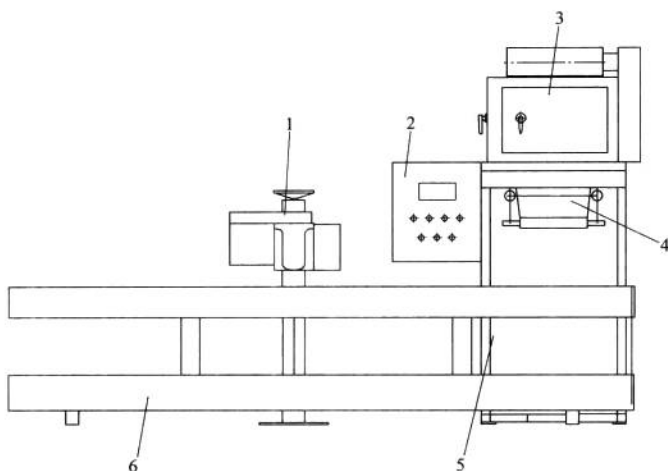


图 6-25 自动打包秤

1—封口系统；2—控制箱；3—皮带喂料机；4—夹袋装置；5—机架；6—成品输送机

3. 性能特点

- (1) 多量程计量，计量范围 20~50kg/袋；
- (2) 自动夹包、缝包，打包能力 3~6 包/min；
- (3) 称量精度高，计量精度 3/1000；
- (4) 采用微电脑控制，包装自动计数、自动去皮重和检测功能；
- (5) 包装颗粒状物料应采用皮带喂料方式，如计量高水分粉状物料应选用专用包装秤。

4. 设备维护

- (1) 定期对秤体进行标定，无特殊情况，一般来说每间隔半年应标定一次。
- (2) 杜绝超载工作，以免损坏传感器。
- (3) 定期对秤体各部分进行清理、检查，把故障消除在萌芽状态中。
- (4) 减速机在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。
- (5) 在秤体或其周围设备维修使用电焊机时，注意千万不要将传感器与焊把线形成电流回路。
- (6) 保证设备及控制箱有良好的电气接地。
- (7) 保证支撑秤体的平台或钢结构稳定，切勿将秤体与振动的设备连成一体。
- (8) 保证来料均匀、稳定、充足；保证气、电源稳定可靠。
- (9) 每天工作结束后，将油水分分离器中的水放尽，并定期加油。
- (10) 发现问题应及时处理，以免故障扩大，影响生产。

三、输送设备

由于有机原料水分高、腐蚀性大、流动性差和黏结性强等特点，像刮板输送机和螺旋输送机等设备几乎不能肥料输送上，皮带输送机和链式斗提机等可以用在原料和成品的输送上。

(一) 皮带输送机

1. 结构特点

特别适合腐蚀性较大、容易黏结的物料；驱动滚筒鼠笼结构、托辊采用双向螺旋橡胶托

辊形式 (图 6-26)。

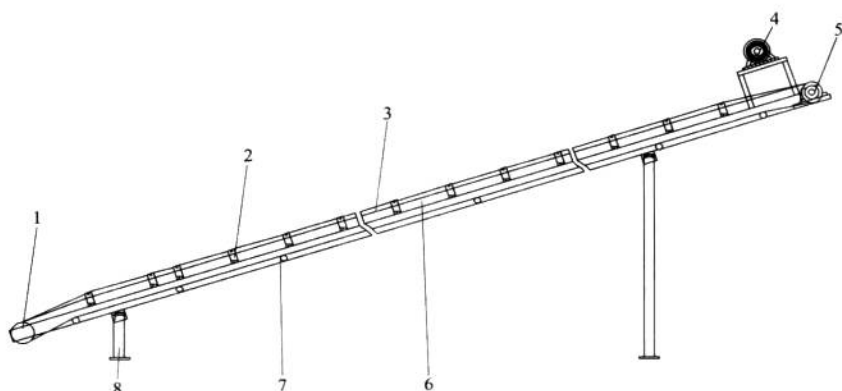


图 6-26 皮带输送机

1—从动滚筒；2—承载托辊系统；3—输送皮带；4—驱动装置；
5—主动滚筒；6—机架；7—下托辊；8—支架

2. 工作原理

皮带输送机是根据摩擦传动原理，利用皮带的运动使其上物料沿皮带运动方向定向流动来完成输送任务的机械。用于生产设备之间衔接，以实现生产环节的连续性和自动化，提高生产效率和减轻劳动强度。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~10.0t/h；
- (2) 配套动力：1.5~15.0kW；
- (3) 皮带宽度：0.3~1.5m；
- (4) 输送量大、能耗低；
- (5) 噪声低，维修方便；
- (6) 体积较大，敞开式结构，物料易暴露在空气中；
- (7) 针对有机物料特性，驱动滚筒宜采用鼠笼形式，托辊宜采用双向螺旋橡胶托辊形式，以防止物料黏结和皮带跑偏；
- (8) 皮带机倾斜输送角度一般为 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，为缩短两设备间的距离，可采用大倾角波形挡边带。

4. 设备维护

- (1) 胶带是橡胶制品，应防止与机油、汽油、柴油类接触，以免腐蚀变质，影响使用寿命。
- (2) 随时检查滚筒、支撑装置、轴承等运转情况，注意这些转动件是否转动灵活，要注意加润滑油。
- (3) 胶带输送机不使用时，应盖上帆布，以免日晒雨淋，损坏机体。
- (4) 一般情况下，每年应进行一次大修，先拆进料装置、防护罩、传动零件，然后将胶带拆下，再拆支撑装置和滚筒，认真进行清洗和检查，上油安装。安装步骤和拆卸时相反。输送机安装完毕，要进行必要的调整，再投入使用。
- (5) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长间隔时间为一年。

常见故障和排除方法见表 6-3。

表 6-3 常见故障和排除方法

故 障	发生原因	排 除 方 法
输送带跑偏	①驱动滚筒和张紧滚筒(或头尾滚筒装置)不平行 ②托辊不正(即托辊轴线与输送机中心线不垂直) ③输送带接头不正 ④进料位置不正 ⑤机架放置不平	①调整驱动滚筒轴承位置或调节张紧装置使之平行,输送带向右偏,紧右边螺杆;向左偏,紧左边螺杆 ②将跑偏一边的托辊支架,顺带子运行方向,向前移动一些 ③重新装正接头 ④调整进料位置 ⑤将机架放平
输送带打滑	①输送带张力不够 ②滚筒表面太光滑 ③滚动轴承转动不灵 ④输送机超载	①调紧张紧装置 ②可在轴面上覆一层胶体 ③重新拆洗、加油或更换轴承 ④调整输送量
轴承发热	①缺油 ②油孔堵塞、轴承内有脏物 ③滚珠损坏 ④轴承安装不当	①加油 ②疏通油孔,拆洗轴承 ③更换轴承 ④重新安装轴承
轴辊不转	①输送带未接触托辊 ②轴承缺油、太脏或损坏	①调整托辊位置 ②清洗、加油或更换轴承
输送带撕裂	物料中有大形带尖角异物(如金属零件或竹木片等)混入,这种物料被卡于进料斗或挡板与输送带之间,造成纵向划破输送带	①加强管理,及时清出混入的异物 ②发现跑偏应立即纠正
输送带接头撕裂	①接头质量太差 ②张紧装置调节过紧 ③输送带长度太长	①按要求重新连接接头 ②放松张紧装置 ③调节输送带长度

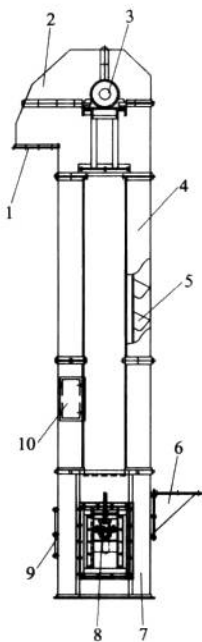


图 6-27 斗式提升机

1—出口口; 2—机头; 3—驱动系统; 4—调整机筒; 5—胶带/链条料斗组合; 6—进料口; 7—机座; 8—输送带/链张紧机构; 9—清料口; 10—检修观察口

(二) 斗式提升机

1. 结构特点

适合粉状或颗粒物料的输送, 特别适合设备间距离较小的场合; 驱动滚筒采用鼠笼结构、碾子链或环链传动(图 6-27)。

2. 工作原理

斗式提升机是在绕于驱动轮和张紧轮上的环形牵引构件上, 相隔一定距离装一畚斗, 通过畚斗的运动, 来垂直或接近垂直地提升物料的输送机械。

料斗把物料从下面的储藏中舀起, 随着输送带或链提升到顶部, 绕过顶轮后向下翻转, 斗式提升机将物料倾入接受槽内。带传动的斗式提升机的传动带一般采用帆布带, 装在下面或上面的传动滚筒和上下面的改向滚筒上。链传动的斗式提升机一般装有条平行的传动链, 上面或下面有一对传动链轮, 下面或上面是一对改向链轮。斗式提升机一般都装有机壳, 以防止斗式提升机中粉尘飞扬。

3. 性能特点

- (1) 生产能力: 1.0~10.0t/h;
- (2) 配套动力: 1.5~15.0kW;
- (3) 垂直输送, 占地面积小;
- (4) 密封性好, 环境污染少;
- (5) 根据物料特性, 畚斗可配置塑料或铁制材料, 输送链可配置单碾子链、双环链或皮带型。

4. 设备维护

(1) 斗式提升机运转时, 应保证畚斗带在机筒正中间运行。如果发现跑偏现象和畚斗带松弛而引起畚斗和机筒摩擦时, 要及时调整张紧装置的螺杆, 使其正常运行。

(2) 斗式提升机必须空载启动, 进料必须均匀, 出料管必须畅通, 以免进料过多或排料不畅而引起堵塞。若发生堵塞, 应立即停止进料和停机, 将机座上的插板拉开, 排出物料(注意不能用手去扒), 直至畚斗能重新运行, 再把插板插上。然后开机, 进料。

(3) 在正常运转时, 严禁打开提升机机头上罩或抽开机座插门。

(4) 必须在机内物料卸完后, 才能停机或更换升运物料品种。

(5) 提升机地坑内残留物应及时清除。

(6) 轴承应定期润滑和清洗。

(7) 定期检查畚斗及紧固件, 若发现松动、脱落或损坏应及时旋紧或调换, 以免发生重大事故。

(8) 长期停机时应将排料插门打开, 清除机内存料, 再关好插门。

(9) 减速箱在使用之前必须检查其内是否有油, 最初运转 100h 后更换新油, 接下来每工作 1000h 换一次新油, 最长间隔时间为一年。

常见故障及排除方法见表 6-4。

表 6-4 常见故障及排除方法

故障现象	发生原因	排除方法
堵塞严重	①喂料先于启动 ②畚斗带张力不足而打滑 ③进料流量(包括回料过多)超过输送能力 ④有大块物料进入机座	①严格遵守开停车操作顺序, 空载启动 ②调节张紧装置张紧畚斗带 ③停机清除并加强前路的清理 ④停机清除并加强前路的清理
输送量降低	①传动带或畚斗带打滑 ②电机转速不足 ③进料不匀 ④回料严重 ⑤畚斗带选择不合理	①调节张紧装置 ②检查调整 ③均匀进料 ④查明原因, 及时排除 ⑤根据原料合理选择畚斗
回料过多	①带速太快或太慢 ②出料淌板与畚斗间隙太大 ③出料口不畅	①调整主轴转速, 把回料控制在最小程度 ②调整淌板与畚斗间隙 ③疏通出料口
机壳磨损严重动力消耗大	①轴承安装偏差 ②轴承积灰, 润滑不良 ③轴承损坏 ④畚斗带过紧 ⑤回料过多 ⑥机座堵塞	①重新安装调整 ②清洗或重新更换润滑油 ③更换轴承 ④调整适当 ⑤检查原因, 及时排除 ⑥排除堵塞物
提升机跑灰	①机身密闭不严 ②检修窗, 观察窗开后未关或有机玻璃变形	①加强密闭措施或增加吸风 ②关严窗子或更换变形的有机玻璃

(三) 圆盘给料机

1. 结构特点

适合含水率 $\leq 35\%$ 的各种粉状和颗粒状物料的定量给料; 机械式定量给料, 结构紧凑(图 6-28)。

2. 工作原理

工作时圆盘匀速旋转, 通过调节出料节流环的调节螺杆高度, 调节节流环的高度来控制

出料量；再调节挡料装置，刮取适量料环，反复调节至所需产量的喂料量；可以任意调节给料方向。

3. 性能特点

- (1) 生产能力：1.0~15.0t/h；
- (2) 配套动力：0.75~3.0kW；
- (3) 机械式定量给料结构，给料均匀；
- (4) 调节范围大，物料破损率小；
- (5) 结构合理紧凑，使用操作简便；
- (6) 能耗小，噪声低。

4. 设备维护

- (1) 定期检查所有螺母连接件是否松动；
- (2) 检查各轴承润滑情况，同时要给轴承添加油脂；
- (3) 减速机在使用之前必须检查其内是否有油，最初运转 100h 后更换新油，接下来每工作 1000h 换一次新油，最长时间间隔为一年。

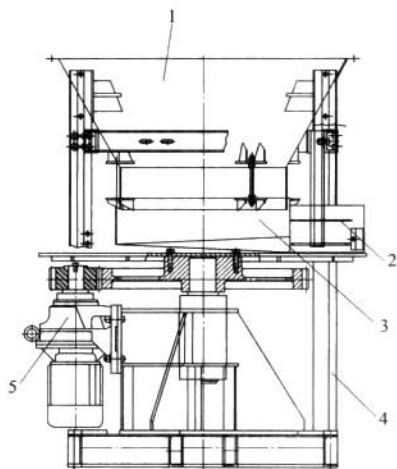


图 6-28 圆盘给料机

1—料斗装配；2—挡料装置；3—节流环装置；4—机架；5—传动系统

第六节 控制系统

一、传统控制系统

（一）系统操作界面

传统控制系统操作界面如图 6-29 所示。

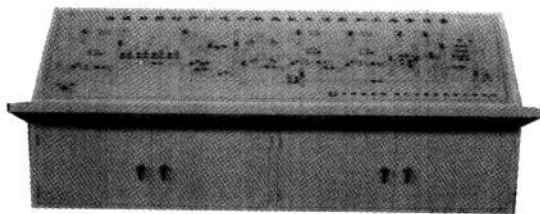


图 6-29 系统操作界面

（二）组成及功能

由空气断路器、接触器、继电器、变频器、软启动器及近距离遥控器等电气元件按照电路原理图连接而成的控制系统。操作员通过面板按钮、开关控制各控制对象。系统具备手/自动切换，过载保护及联锁、超温、超压报警等简单功能。

1. 系统特点

- (1) 操作直观简单，操作员通过操作界面的按钮、开关手动干预各设备的启停。
- (2) 故障检修直观容易，破损器件更换省时省钱。
- (3) 系统成本低。

2. 维护

- (1) 控制室、变电房内严禁吸烟，室温超过电器件容许环境温度时，要采取降温措施。

(2) 电源电压超出额定电压 $\pm 10\%$ 时,不得启动电机。

(3) 平时要注意保持控制箱内、外清洁干燥,不能有水、油污,定期用小扫风机吹干净箱内各元件及接线柱、排上的灰尘,或用刷子蘸电器清洁剂刷干净,以免影响接触器、继电器的工作或绝缘。

(4) 定期检测并保持箱体接地可靠,预防触电。

(5) 要定期检查箱内接线和螺丝的紧固情况,防止接线和螺丝松脱。

(6) 查看开关、接触器、继电器等组件有无损坏或烧蚀烧焦现象,各元件工作状态及起停、连锁功能是否正常。

(7) 要保持接触器动、静触头吸合、接触良好,避免因触头接触不好引起电动机缺相运行而烧坏。动、静触头需保持线接触或面接触,而不是点接触。接触不良会产生较大的接触电阻(电流),也就意味着负载增大,轻则导致过载保护继电器动作跳闸,重则会引起电动机缺相运行而烧坏。

(8) 更换接触器、继电器时需要注意电磁线圈工作电压,以免换错烧坏线圈,一般有AC/DC 24V、110V、220V和380V,对时间继电器,除了要注意线圈电压要求外,还要弄清时间继电器的时间调节单位(时、分、秒)及范围。

(9) 对采用星形-三角形(Y- Δ)(转换延时约5~15s)、自耦降压(转换延时约5~30s)、软启动(转换延时约5~60s)方法启动的电动机,要察看其转换启动情况是否正常。通常生产厂家对电动机的启动周期(即每分钟启动次数)有严格规定,会在启动控制箱上有警示标贴,提醒使用者防止电动机因频繁启动而损坏,同时,也为防止启动控制箱内的一些电器组件(如启动电抗器等)发热烧毁。所以,对起停频繁或电流大的电动机控制系统,应缩短检查保养周期。如鼓风机、空压机、锅炉水泵电机控制系统等都需密切注意,定期检查热过载继电器的保护功能(可拨动旁边的小红标色制),其设定动作值不要超过电动机铭牌的额定电流值,确保能起到过载保护的作用。

二、智能控制系统

1. 系统模拟界面

智能控制系统模拟界面如图6-30所示。

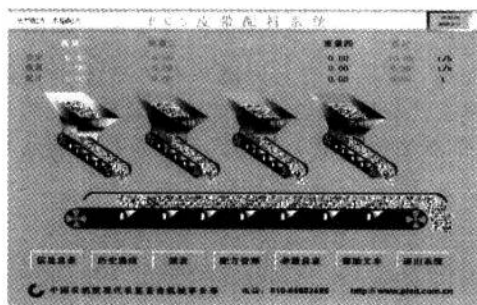


图 6-30 智能控制系统界面

2. 组成及功能

智能控制系统是在传统控制系统的基础上加上传感元件、电路板、智能仪表、PLC 及操控终端和相关的计算、控制、管理软件等组成的系统。智能控制系统的突出功能是测感元件实时测量生产过程信息、控制软件表达人的控制思维、执行元件执行控制动作,同时操控终端实时记录生产信息并生成报表等统计信息加以保存。

3. 系统特点

- (1) 生产过程动态监控;
- (2) 量化控制精确可靠;
- (3) 远程管理方便可行;
- (4) 系统成本高, 坏损智能部件更换费用高。

4. 维护

(1) 每次系统开机前检测系统柜内交直流电源, 不在正常范围应先排除异常后再开机。

(2) 有 PCB 板的设备长时间不用应定期通电除湿, 防止受潮腐蚀。

(3) 开机及运行时操作员应检测设备状态与监控画面的开关状态, 不一致时, 系统报警。通常情况下需按顺序检测, 手/自动转换开关处于正确位置, 联锁限制条件就位, 电源及按钮开关就位, 智能模块 (如 PLC) 接点指示灯状态正确, 智能模块接点地址正确, 控制柜中相关接触器、继电器的线圈、触点完好。

(4) 开机前及运行时操作员应检测监控画面参数数据与现场实际数据相符, 不相符时, 可按如下方法进行故障查找: ①传感设备端输出的电流正确与否。若不在正常范围之内 (如 $4\sim 20\text{mA}$ 、 $\text{DC } 0\sim 10\text{V}$ 等), 则检查传感器和变送器是否已损坏 (用校验仪进行校验) 或检查传感器量程范围是否与变送器一致。②PLC 输入端的电信号与设备输出端的电信号是否一致。若不同, 如是电流信号则在传输过程中有可能因受到电磁场或电磁波的干扰而衰减或增强, 应排除干扰源及检查线路的屏蔽和智能控制系统的接地情况; 若一致, 则要查找中央控制室工程师站中的参数变比设置是否正确, 量程范围是否与现场变送器一致, 在工程师站中调出控制程序更改参数变比设置或量程范围。③检查智能模块 (如 PLC 的 I/O 模块) 是否有故障。在安装调试过程中, 若处理不当, 往往会有强电或感应电串入模拟量输入模块, 造成输入通道烧坏。在线更换通道后, 往往就能解决问题。④当传感器损坏需要更换传感器时, 不要随意换用其他量程的传感器, 否则会影响此工艺参数的测量精度及中央控制室操作站所显示的数值。⑤当现场设备输出的电信号通过信号隔离器再输入至智能模块的输入端时, 若两者的信号不一致, 则往往是信号隔离器存在信号衰减。可将无源信号隔离器更换为有源信号隔离器, 消除衰减现象。⑥设备输出带负载能力不强。

(5) 带有反馈、负反馈等方式的调节控制, 一般都有可设定参数, 那么将智能模块/设备中设置的初始参数作纸质记录, 防止参数丢失、调节失控。需在生产过程中优化的参数, 经培训的操作员应根据实际情况各个小幅度调整参数。

(6) 如果监控终端显示全部数据和画面变暗变虚, 那么表明上位机与现场控制站/智能设备的网络通信已中断。应查看对应现场控制站智能设备是否运行正常或重启监控终端和现场控制站/智能设备往往能够消除掉线现象。如果依然无法连接上, 那么应检查网络连线是否松动, 接口是否正确或已损坏。

第七节 加工成套设备

时产 3 吨球状有机-无机复混肥加工工艺流程如图 6-31 所示。

生产线操作维护规程 (以上述工艺设备为例) 如下。

本规程旨在明确车间工作人员操作具体要求、职责和设备维护保养, 以确保设备及生产线运行正常。

1. 原料预处理工作岗位

- (1) 人员 3 人。

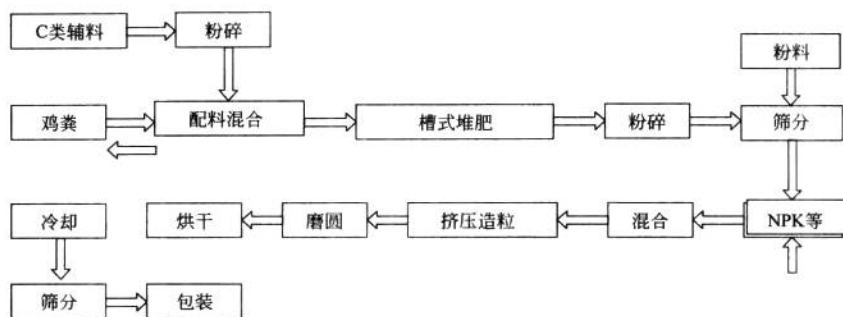


图 6-31 3t/h 球状有机-无机复混肥加工工艺流程

(2) 岗位要求 秸秆等 C 类辅料粉碎处负责秸秆的投料和储存；配料混合处负责利用装载机按照设定好的配方将鲜鸡粪和秸秆粉以及发酵菌投入原料预处理机内，还负责将配比混合后的物料利用装载机运到发酵槽内。

(3) 岗位职责 根据当天鲜鸡粪的含水率及辅料情况，及时调节原料配方，尽量减少配料误差；保证鲜鸡粪内无大块石头等杂物；观察设备的运行情况，及时排除设备故障。

2. 堆肥发酵工作岗位

(1) 人员 1 人。

(2) 岗位要求 负责每天测量并记录料槽内物料温度；负责每天开启翻抛机和曝气系统进行动、静供氧工作；负责定期排出发酵室内的湿臭空气。

(3) 岗位职责 每天必须测量并记录物料温度，结合物料其他情况判断物料发酵程度；根据发酵和出料情况每天必须定期启动翻抛机和曝气系统；每天必须按时通风换气；观察设备的运行情况，及时排除设备故障。

3. 粉碎筛分工作岗位

(1) 人员 1 人。

(2) 岗位要求 负责利用装载机将发酵槽内的物料投入到粉碎机前的皮带储存仓内；负责定期检查筛分机的筛网是否堵塞，粉碎机内壁是否黏结，粉碎机锤头是否磨损；负责观察粉碎机现场控制柜电流是否超载。

(3) 岗位职责 保证粉碎机前的皮带储存仓内有料；观察并排除粉碎机堵塞、锤头磨损、筛网堵塞等故障；观察设备的运行情况，及时排除设备故障。

4. 配料混合工作岗位

(1) 人员 3 人。

(2) 岗位要求 负责将粉碎筛分后的有机原料和 NPK 等无机原料投入配料口内，长时间堆放的粉状的潮结的无机原料应将晾干粉碎后投入，严禁将线绳、丝袋等杂物混入无机原料中；定期测量有机原料含水率（确保含水率在 30%~35%），同时清理有机原料中的铁丝、线绳、塑料制品、石子等杂物。

(3) 岗位职责 保证投料种类无误，保证配料口内有料；观察设备的运行情况，及时排除设备故障。

5. 造粒烘干冷却工作岗位

(1) 人员 2 人。

(2) 岗位要求 负责根据造粒机现场控制柜电流情况时时调节给料器的料量；负责根据物料烘干要求及炉温情况（造粒后烘干风温大约 330℃），及时加煤确保烘干后物料达到规定的要求及指标，定期清理炉条下的炉渣，以免炉渣过多堆积导致烧断炉条；负责根据烘干

后物料的温度以及造粒机的出料量,适时调节热风温度。

(3) 岗位职责 保证造粒机和磨圆机处于最佳的工作状态;保证烘干后物料水分达到14%的前提下,颗粒温度不超过60℃;保证冷却后物料水分达到12%的前提下,颗粒温度不超过环境温度3~5℃;观察设备的运行情况,及时排除设备故障。

6. 筛分包装工作岗位

(1) 人员 2人。

(2) 岗位要求 负责观察颗粒筛分机筛网的堵塞情况;负责辅助电子包装机套袋和引导封包,以及将计量封包后的物料抬入运输设备上。

(3) 岗位职责 保证颗粒筛分机筛网不堵塞;保证每包物料的精确计量和封装完好;观察设备的运行情况,及时排除设备故障。

7. 控制中心工作岗位

(1) 人员 1人。

(2) 岗位要求 电控系统是整条生产线的核心,控制操作原则:开机顺序从后向前,停机从前到后的原则;每班开始首先热风炉加煤,开动关风器、烘干风机、烘干机和造粒后烘干机前的皮带输送机;每班结束时,其他设备停止,造粒后烘干机和其前的皮带输送机保持运转(如出现停电等特殊情况,应卸掉电机后罩用手盘动风扇叶片,以防止烘干机筒体由于温度过高导致变形),直至温度下降到60℃以下时方可停机。负责控制室内控制中心内各设备的启停;负责与各工段以及各现场控制柜之间的通信。

(3) 岗位职责 确保生产线启、停机顺序;当某一设备出现故障时,应及时停止其前部所有设备(有缓冲仓的工段除外);及时与现场控制柜的设备操作人员沟通,以保证各设备与控制中心间的通信顺畅;注意烘干机工段前后设备的启停顺序。

8. 设备维护工作岗位

(1) 人员 机械维护1人;电器维护1人。

(2) 岗位要求 维护人员根据设备工况定期检查各轴承和减速器等需要润滑的部位,按设备使用说明书定期更换加注润滑油;及时检修皮带或链条的松脱、更换易损件;做好易损件备件的计划库存准备工作,以保证生产正常;定期检查电器元件及相关线路工作情况。

(3) 岗位职责 生产线是一整套设备连续有序工作的有机体,任何设备出现问题都将对整条线产生影响,维护就要确保各设备在工作时间运行正常。

参 考 文 献

- [1] 边炳鑫,赵由才.农业固体废物的处理与综合利用.北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 陈明忠,翁俊基.畜禽粪便无害化处理技术及其应用.福建农业科技,2006,(3):59~61.
- [3] 方天翰.复混肥料生产技术手册.北京:化学工业出版社,2002.
- [4] 胡跃飞.复混肥转鼓造粒机的改造.磷肥与复肥,2006,21(1):57~58.
- [5] 李春花,梁国庆.专用复混肥配方设计与生产.北京:化学工业出版社,2001.
- [6] 李典亮,谢放华.对生物有机肥生产工艺选择的几个问题的思考.土壤肥料,2004,(4):44~46.
- [7] 李国建,赵爱华.城市垃圾处理工程.北京:科学出版社,2003.
- [8] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产.北京:化学工业出版社,2002.
- [9] 全国中等职业学校种植专业教材编写组.土壤肥料.北京:高等教育出版社,1992.
- [10] 饲料工业职业培训系列教材编审委员会.饲料加工设备维修.北京:中国农业出版社,1998.
- [11] 王洪涛,李雨松.动态好氧堆肥模拟模型研究与应用.中国环境科学,2001,21(3):240~244.
- [12] 吴德胜,孙长征,马学良等.采用畜禽粪便原料生产有机无机复混肥工艺设备探讨.磷肥与复肥,2009,(5):59~61.
- [13] 朱德文,陈永生.活性生物颗粒有机肥生产技术与成型设备的研究.农业装备技术,2007,33(3):8~11.

第七章

堆肥产品及加工

农业生产包括植物生产、动物生产、有机肥料生产三个大门类，是农业生产的基本内容和主要环节（刘更另，1991）。有机肥料是农业生产的重要组成部分，是维系土壤活性和物质循环的重要物质基础，在农业生态系统中担负着重要的功能与作用，其可以改变土壤的物理、化学、微生物等方面变化，也可影响植物的生长与生产（毛达如，1982）。传统意义上的有机肥料泛指各类可以用于农业生产的有机物。有机物的种类多、来源广、用量大、质量差异大，我国古代农业的伟大成就都得益于大量有机物的循环利用，我国古农书中的“粪”，实际上指的就是有机肥料；“地靠粪养，苗靠粪长”这句古谚语反映了有机肥料对土壤改良和植物生长的作用。但由于有机肥料的养分低、体积大、肥效缓、用工多，完全依靠有机肥通常很难满足农作物迅速生长和大幅度增产的需要。因此，根据不同的农业生产目的将有机肥加工成不同的类型，比如可以把普通的有机肥料和化肥结合起来生产有机无机复混肥料，也可添加功能性微生物或具有生物活性的有机废物制成具有特定功能和目的的功能性有机肥料。

第一节 产品类型与技术要求

固体有机废物经过高温好氧堆肥化处理后的产品就是堆肥，水分含量一般在35%~40%，而且含有大量的有益微生物，但往往因原料差异会导致堆肥养分、有机质含量存在较大的差异。从农业生产的角度考虑，堆肥已可以直接施用于农田用于植物生产，培肥土壤和用于营养土以及基质育苗。由于种植业生产具有季节性的特点，加上动物生产和有机肥料生产是连续的，而且不同的植物和目的需要不同类型的产品，因此可将堆肥进一步加工制成符合一定标准和要求的產品。

一、产品类型

腐熟的堆肥含有植物所必需的营养元素以及丰富的有机质，以及大量的有益微生物。施用堆肥后的优点包括可改良土壤、促进土壤中的污染物降解、增加土壤有机质以及提高土壤的质量，同时可增强作物的抗逆性、提高作物产量、改善产品品质、降低硝酸盐累积、增加产品风味等。相对有机废物直接施用来讲，堆肥产品无异味、易于运输和储存，无病原菌传播风险，还具有抑制杂草种子的萌发的特点。就具体的用途来讲，堆肥产品可用做肥料，也可用作覆盖土，还可用做营养土或育苗与栽培基质等。目前我国市场常见的商业化的堆肥产品包括普通有机肥料、生物有机肥料，有机无机复混肥料和育苗基质等，其中生产和销售最大的是有机无机复混肥料，发展迅速的是生物有机肥料，尤其是微生物有机肥料和复合微生物有机肥料。下面根据我国农业主管部门对有机肥料产品的分类进行分别论述。

1. 有机肥料

已有大量的实验研究报道证明,腐熟堆肥直接使用可提高作物的品质,改良土壤,促进植物生长,提高化学肥料的利用率,降低化肥的环境污染风险。为规范商品有机肥料市场,我国农业部于2002年颁布了农业行业标准《有机肥料》(NY 525—2002),其中关于有机肥料的定义描述是,来源于植物和(或)动物,施于土壤以提供植物营养为其主要功能的含碳物料。而且规定了有机肥料必须是以畜禽粪便、动植物残体等富含有机质的副产品资源为主要原料,经发酵腐熟后制成的产品;还不包括绿肥、农家肥和其他农民自制的有机粪肥等。

2. 生物有机肥料

20世纪70年代初,美国俄亥俄州立大学的 Hoitink 教授首次利用树皮制作的堆肥成功地防治了苗圃业中严重的腐霉病、疫霉病和立枯病等土传病害,并提出了两种利用土壤有益微生物防治土传病害的方式。一是利用有益生物的一般抗性,即利用有益微生物与病原菌竞争和拮抗;分泌抗生物质、特种酶或毒素;直接捕食病原菌;刺激作物产生诱导抗性或使作物改变根系分泌物的成分。二是利用专性抗性,即通过向有机肥料或栽培基质中接种对已知病害有防治作用的微生物,在施肥的同时达到防治该种病害的目的。这类添加了微生物的堆肥对某些植物的病原菌尤其是土传病原菌有明显的拮抗作用,通过施用富含这些微生物的肥料,即可起到为植物生长发育提供全面营养,又能改善和修复土壤微生态环境,提高土壤和植物自身抵御病害的能力,达到减少化学肥料和农药使用、降低农产品生产成本的多重目的。20世纪90年代初,我国开始生物有机肥料研究和生产,从2000年以来发展迅速,截止到2009年年底,我国登记的生物有机肥料生产企业已达800多家,年产值超过500多亿元。

农业部2005年2月开始实施的农业行业标准《生物有机肥》(NY 884—2004)中关于生物有机肥料定义论述是,以特定功能微生物与主要以动植物残体(如畜禽粪便、农作物秸秆等)为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥料效应的肥料。它区别于仅利用自然发酵(腐熟)所制成的有机肥料,产品除了含有较高的有机质外,还必须含有具有特定功能的微生物,这是此类产品的本质特征,并且所含微生物应表现出特定的功能或肥料效应,如具有提高土壤肥力、制造和协助农作物吸收营养、活化土壤中难溶的化合物供作物吸收利用,或可产生多种活性物质和抗、抑病物质,对农作物的生长有良好的刺激与调控作用,可减少或降低作物病虫害的发生,以及改善农产品品质等方面的作用。与普通有机肥相比,生物有机肥生产的技术含量相对较高,除了在腐熟过程中加入促进有机物料腐熟、分解的生物菌剂,以实现定向腐熟、除臭等目的外,并且在产品中加入具有特定功能的微生物,以提升产品的作用效果。从管理的角度来看,生物有机肥料的管理比普通有机肥料要严格得多。

3. 有机-无机复混肥料

有机废物经过堆肥化处理后,各种可利用物质形态已发生根本性的改变;对作物生长来讲,普通堆肥的养分偏低,只适合做底肥或基肥,无法满足作物生长的需要,与现有化肥的使用习惯和作物需肥特性存在差距,故需增施化肥以满足作物生长,这将增加施肥的难度和劳动强度,若利用植物营养学的原理,将堆肥和无机化肥根据作物的需肥特性制成有机-无机复混肥料,可很好地解决上述问题。

李国学和张福锁(2000)将有机-无机复混肥定义为以经过高温好氧堆肥化处理的堆肥产品为有机原料,以氮、磷、钾等作物所需的大量元素和微量元素为原料,根据农作物需肥规律和土壤养分状况按照化学的或物理的生产工艺,制造出来的一种有机-无机相结合的肥料。2002年颁布实施的《有机-无机复混肥料标准》(GB 18877—2002)中将有机-无机复混

肥料定义为含有一定量有机肥料的复混肥料。有机-无机复混肥兼具有机肥料和无机化肥的双重优势,具备养分全面、养分供应均衡、养分利用率高、能有效改良土壤的特点,是我国肥料发展的趋势。由此可见,有机-无机复混肥料的技术关键在于产品的配方和养分含量以及有机肥料的含量等几个方面。

4. 复合微生物肥料

复合微生物肥料是近年来快速发展的一个肥料品种,农业部2004年6月颁布实施了《复合微生物肥料》(NY 798—2004)标准,其定义为指特定微生物与营养物质复合而成,能提供、保持或改善植物营养,提高农产品产量或改善农产品品质的活体微生物制品。

虽然NY 798—2004规定了复合微生物肥料的主要技术指标为有效活菌数及N、P、K总养分,但由于这些功能微生物的存活、繁殖以及发挥功能作用通常需要有有机物为载体,所以这类肥料也多为堆肥的加工产品。准确的描述应该是堆肥、无机肥与功能微生物共同加工的产品,或者应称之为有机、无机、微生物三元复合肥。复合微生物肥料既含有大量的有益微生物,也含有大量有机质,同时还根据作物的养分需求规律添加了大量的营养元素,可以满足改土提质,抗逆增产的多重需要。复合微生物肥料区别于普通有机-无机复混肥料的关键就是在有益的功能微生物方面。

5. 有机基质

腐熟的堆肥可直接或混配后用作植物无土栽培和育苗生产的栽培基质。20世纪90年代中后期,美国、欧洲和日本等国家和地区就出台了关于有机废物制作的堆肥生产有机基质的标准和质量管理规定;截至目前,国内尚缺少科学统一的产品质量标准与工艺流程。有机基质是指利用由非土壤组成的有机物料经无害化处理后,单独或与其他物料按照特定的生产工艺制成的具有固定栽培植物,能够保持一定的空气、水分和养分的供植物吸收的复合物。复合基质是指由两种以上的基质按一定的比例混合制成的栽培用基质。

无土栽培技术是实现园艺植物高产、优质、高效生产的重要途径,目前无土栽培基质主要分为无机和有机两大类,有机基质是植物生长的基础和媒介,也是无土栽培技术的关键。有机基质因其具有性能稳定、缓冲能力强、设备简单、投资少、技术容易掌握等优点,而在我国设施农业生产中得到普遍应用。但目前通用型有机型无土栽培基质材料主要为草炭,而大量开发利用草炭资源会造成地球湿地生态系统不可逆转的破坏,且这种基质的价格越来越昂贵。近年来,科研工作者利用各种有机废物和堆肥研制出了环保型无土栽培有机基质,在各种作物上栽培应用效果良好,不仅解决了有机废物的处理问题,还为无土栽培提供了优质有机基质。有机基质取材方便,便于规模化工厂化生产是发展基质无土栽培的关键。因此,因地制宜,就地取材,充分利用各种有机废弃物生产出价廉物美的本土化环保型无土栽培有机基质具有广阔的前景(李艳霞等,2002;李谦盛等,2002)。

二、产品技术要求

1. 有机肥料技术要求

农业部颁布的商品有机肥料的行业标准NY 525—2002中,关于有机肥料的产品要求如表7-1所示。各种有机废物经过堆肥化处理腐熟后,经检验后若能达到该要求就可以直接粉碎或造粒后计量包装,获得产品登记后即可上市销售。若产品质量不符合该技术指标与要求的规定,则需进行产品的后续加工处理,同时根据作物的营养需求规律添加适宜的无机养分,也可采用更换堆肥发酵的原料,调整发酵工艺等手段来满足产品的质量要求。

表 7-1 有机肥料的技术指标与要求

项 目	技术指标与要求
有机质含量(以干基计)/%	≥ 30
总养分($N+P_2O_5+K_2O$)含量(以干基计)/%	≥ 4.0
水分(游离水)含量/%	≤ 20
酸碱度(pH)	5.5~8.0
外观	为褐色或灰褐色,粒状或粉状,无机械杂质,无恶臭
重金属含量、蛔虫卵死亡率和大肠杆菌值指标	符合 GB 8172 的要求

2. 生物有机肥料技术要求

微生物菌种是生物肥料产品的核心。目前国内只有少数企业专业从事微生物菌剂的研发与生产,企业技术实力相对较强,基本具备比较完备的生产条件,拥有自己的技术人员,能够对产品实施严格的质量检验,从而保证生产出合格的产品。但大部分企业不具备生产微生物菌剂的能力,而是通过购买菌剂进行复配来生产生物有机肥。由于缺少相关的技术人员和检测条件,品控体系不完善,往往影响到产品的应用效果。如腐熟不彻底会导致烧苗现象,同时还可能将没有杀灭的病原菌带入到土壤中,对环境产生危害。

生物有机肥生产过程中,有两个环节涉及微生物的使用:一是在腐熟过程中加入促进物料分解、腐熟兼具除臭功能的腐熟菌剂,多由复合菌系组成,常见菌种有芽孢杆菌、乳酸菌、酵母菌、放线菌、青霉、木霉、根霉等;二是在物料腐熟后加入的功能菌,以固氮菌、溶磷菌、硅酸盐细菌、乳酸菌、假单胞菌、芽孢杆菌、放线菌、光合细菌等为主,在产品中发挥特定的肥料效应。农业部关于生物有机肥料的菌种要求应安全、有效,有明确来源和种名。粉剂应松散、无恶臭味;颗粒产品应无明显机械杂质、大小均匀、无腐败味。生物有机肥产品的各项技术指标和要求如表 7-2 所列。若产品中加入无机养分,应明示产品中总养分含量,以($N+P_2O_5+K_2O$)总量表示。

表 7-2 生物有机肥产品的技术指标和要求

项 目		剂 型	
		粉 剂	颗 粒
有效活菌数/亿 CFU/g	\geq	0.20	0.20
有机质(以干基计)/%	\geq	25.0	25.0
水分/%	\leq	30.0	15.0
pH 值		5.5~8.5	5.5~8.5
粪大肠菌群数/(个/g)	\leq	100	100
蛔虫卵死亡率/%	\geq	95	95
有效期/月	\geq	6	6
As、Cd、Pb、Cr、Hg 含量		符合 NY/T 798—2004 中 4.2.3 的规定。	

3. 有机无机复混肥料技术要求

国家质检总局 2002 年 11 月颁布的《有机-无机复混肥料标准》(GB 18877—2002)中关于有机-无机复混肥料的要求如表 7-3 所列。

4. 复合微生物肥料技术要求

复合微生物肥料同生物有机肥料一样,功能微生物和养分含量两者都要符合肥料登记与管理的要求。农业部于 2004 年 6 月实施的复合微生物肥料标准(NY/T 798—2004)中也同样规定了使用的微生物应安全、有效。而且生产者应提供菌种的分类鉴定报告,包括属及种的学名、形态、生理生化特性及鉴定依据等完整资料,以及菌种安全性评价资料。采用生物工程菌,应具有获准允许大面积释放的生物安全性有关批文。复合微生物肥料产品按剂型可

分为液体、粉剂和颗粒型。粉剂产品应松散；颗粒产品应无明显机械杂质，大小均匀，具有吸水性。复合微生物肥料产品技术指标见表 7-4，其无害化指标见表 7-5。

表 7-3 有机-无机复混肥料的技术指标与要求

项 目	技术指标 与要求	项 目	技术指标 与要求
总养分(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)的质量分数 ^① / %	≥ 15.0	含氯离子(Cl ⁻)的质量分数 ^② / %	≥ 3.0
水分(H ₂ O)的质量分数/ %	≤ 10.0	砷及其化合物(以 As 计)的质量分数/ %	≥ 0.0050
有机质的质量分数/ %	≥ 20	镉及其化合物(以 Cd 计)的质量分数/ %	≥ 0.0010
粒度(1.00~4.75mm 或 3.35~5.60mm)/ %	≥ 70	铅及其化合物(以 Pb 计)的质量分数/ %	≥ 0.0150
酸碱度(pH)	5.5~8.0	铬及其化合物(以 Cr 计)的质量分数/ %	≥ 0.0500
蛔虫卵死亡率/ %	≥ 95	汞及其化合物(以 Hg 计)的质量分数/ %	≥ 0.0005
大肠菌值	≥ 10	外观	颗粒状或条状产品， 无机械杂质外

① 标明的单一养分的质量分数不得低于 2.0%，且单一养分测定值与标明值负偏差的绝对值不得大于 1.0%。

② 如产品氯离子的质量分数大于 3.0%，并在包装容器上标明“含氯”，该项目可不作要求。

表 7-4 复合微生物肥料的技术指标

项 目	剂 型		
	液体	粉剂	颗粒
有效活菌数 ^① /[亿 CFU/g(mL)]	≥ 0.50	0.20	0.20
总养分(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)/ %	≥ 4.0	6.0	6.0
杂菌率/ %	≤ 15.0	30.0	30.0
水分/ %	≤ —	35.0	20.0
pH 值	3.0~8.0	5.0~8.0	5.0~8.0
细度/ %	≥ —	80.0	80.0
有效期 ^② /月	≥ 3	6	6

① 含两种以上微生物的复合微生物肥料，每一种有效菌的数量不得少于 0.01 亿 CFU/g(mL)

② 此项目尽在监督部门或仲裁双方认为有必要时才检测。

表 7-5 复合微生物肥料产品无害化指标

参 数	标 准 极 限
粪大肠菌群数/个/g(mL)	≤ 100
蛔虫卵死亡率/ %	≥ 95
砷及其化合物(以 As 计)/(mg/kg)	≤ 75
镉及其化合物(以 Cd 计)/(mg/kg)	≤ 10
铅及其化合物(以 Pb 计)/(mg/kg)	≤ 100
铬及其化合物(以 Cr 计)/(mg/kg)	≤ 150
汞及其化合物(以 Hg 计)/(mg/kg)	≤ 5

5. 育苗与栽培基质技术要求

由于目前国内尚未颁布统一的产品质量标准，所以市场上流通的相关产品质量良莠不齐，经常发生由于使用未腐熟的堆肥生产的有机基质，造成果蔬、花木、草坪草等的育苗或栽培遭遇种种生长障碍，如抑制发芽、“烧根”、僵苗、黄化、生长衰弱甚至死株，往往给生产造成难以挽回的损失。在实际生产中，理想基质应满足的条件是：适用广、容重小、总孔

隙度大、吸水与持水性好、具有较好的弹性和伸展性、浇水多少不影响团粒结构、绝热性好、不带病菌、便于重复使用、有一定的肥力、无难闻的气味和难看的颜色、pH 值易调节、不污染土壤、易清洗、不受地区限制、管理简便、价格适宜。

优质无土栽培固体基质能为植物生长提供稳定、协调的水、气、肥根际环境条件，具有支持固定植物、保持水分和透气的作用，有机栽培基质还具有缓冲作用，可以使根际环境保持相对稳定。要能使作物正常生长，无土栽培基质的物理化学性质和生物稳定性都要达到一定的要求。在物理性质上，栽培基质的固、液、气三相比例要恰当，容重在 $0.1 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ 之间，总空隙度在 $70\% \sim 90\%$ 之间，大小空隙比在 $(1:1.5) \sim (1:4)$ 之间；化学性质上，化学稳定性好；阳离子交换量（CEC）要大，基质适宜的 CEC 为 $10 \sim 100 \text{ meq/100g}$ ；基质的总盐分含量要小于 500 mg/kg ；基质保肥性好；同时还要具有一定的 pH 缓冲能力，适宜的 pH 值为 $6.5 \sim 7.5$ ；一定的 C/N 以维持栽培过程中基质的生物稳定性，最适宜的 C/N 为 $30:1$ 。

第二节 堆肥产品加工技术与工艺

堆肥生产中，原料来源、发酵技术和生产工艺的差异往往会导致堆肥产品理化特性存在较大的差异，堆肥产品的加工一方面是要消除这些差异对产品质量稳定性的影响，另一方面是要满足多样化的市场需求。

一、有机肥料加工工艺

完成腐熟的堆肥含水率通常都在 $35\% \sim 40\%$ 甚至更高，需要进行干燥处理后才能达到农业行业标准 NY 525—2002 的产品质量和技术要求。对于堆肥的干燥方法包括晾晒法和烘干法，晾晒法生产工艺简单，场地面积需求大，适合于气候干燥、降水量小的区域，易于造成堆肥产品的物料损失，生产环境恶劣，扬尘大，二次污染严重；烘干法具有生产效率高，产品质量好，厂区内的生产环境较好且易于二次环境污染控制等优点，但会增加设备投资和运行成本。根据最终产品的外观要求，可将普通有机肥料分为粉状和颗粒状产品，从肥料价值来讲，二者没有本质的差异，只是在运输和使用过程中存在一些差异，但颗粒化会增加产品的生产成本。从技术角度来看，目前国内有机肥料生产企业主要采用的加工工艺流程如图 7-1 和图 7-2 所示。二者主要差别就在造粒工艺、烘干、筛分与返料工艺，可见颗粒化的投资和运行成本要比粉状有机肥料高很多。目前，国内大多数学者对有机肥料造粒均持怀疑或反对态度，因此，对于有机肥料生产，笔者推荐采用粉状生产工艺即可。

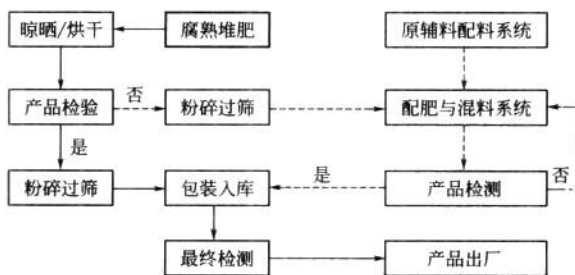


图 7-1 粉状普通有机肥料的生产工艺流程

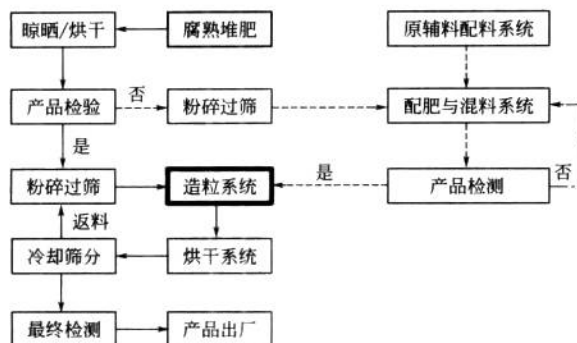


图 7-2 颗粒状普通有机肥料的生产工艺流程

二、生物有机肥加工工艺

生物有机肥生产技术与加工工艺因生产企业所使用微生物菌种的不同而存在一定的差别，主要的原则是减少生产和加工过程中对有益微生物的杀灭，确保最终产品中的功能微生物能存活下来，并满足产品的质量与技术标准要求。生物有机肥料产品质量的关键指标是产品的有效活菌数，而产品生产工艺选择又是影响产品活菌数量的重要环节。选择合适的生产工艺，不仅可以缩短生产流程，降低生产成本，而且可以提高产品质量，增加产品储存时间。只有彻底腐熟的物料才有利于后加入功能菌的存活并发挥作用，另外如何减少无机养分对功能菌的影响也是生产环节中必须考虑的一个重要问题。在发酵物料的后处理方面，可采用加入功能菌剂进行复配、定型。从成型与否和外观来区分，生物有机肥料可分为粉状和颗粒状两类产品；粉状产品生产工艺简单，生产成本较低；而颗粒状产品因其形态与传统无机肥料相似，采用的造粒技术多数以圆盘造粒为主，也有采用滚筒造粒或挤压造粒。颗粒产品克服了粉剂产品外观差、层次低及使用中随风飘扬的缺点，提高了产品的商品性，同时也提高了企业的生产成本，并对有效菌的存活产生了一定的影响。因不同的造粒方式对原料的要求不同，故生物有机肥的生产工艺存在差异。目前，粉粒状和颗粒状生物有机肥的生产工艺流程分布如图 7-3 和图 7-4 所示。

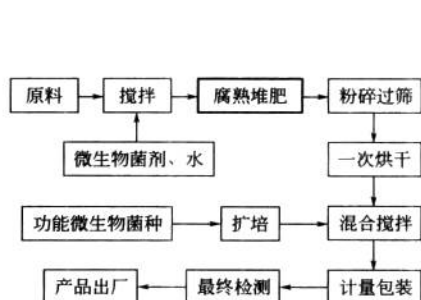


图 7-3 粉粒状生物有机肥料的生​​产工艺流程

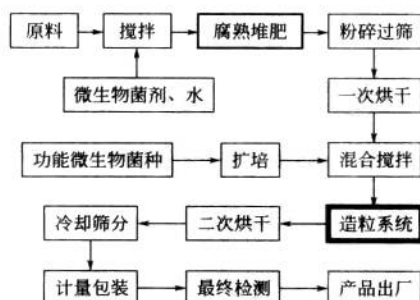


图 7-4 颗粒状生物有机肥料的生​​产工艺流程

三、有机无机复混肥料的配方原理与加工工艺

（一）有机无机复混肥配方原理

通俗地讲，有机无机复混肥的配方是指复混肥中有机质和氮、磷、钾含量的比例以

及其他元素的加入量。在制订复混肥配方时,首要考虑的是产品必须满足作物和土壤的需要,因为不同作物和不同的土壤,所要求的营养元素的比例是不同的。一般来说有机无机复混肥和无机复混肥在表示方法上没有区别,比如 9-9-9 的有机复混肥和无机复混肥,均是指 100kg 肥料中含 N9kg, P_2O_5 9kg, K_2O 9kg。即复混肥中氮磷钾的比例为 1:1:1。

1. 有机物料与无机物料比例的确定

要确定肥料中有机物料与无机物料的比例,首先要知道有机物中有机质和氮、磷、钾的含量,其次要确定拟将配制的有机-无机复混肥的有机质的含量,既 100kg 有机-无机复混肥中有机物和无机物的比例,最后要计算出 100kg 有机复混肥中有机物所能提供的氮、磷、钾数量。

例如,用含有机质为 45%、N 为 2.0%, P_2O_5 为 1.0% 和 2.0% K_2O 的有机物料和用含 N 为 46% 的尿素,含 P_2O_5 14% 的过磷酸钙和含 60% K_2O 的氯化钾配制有机质含量为 20% 和 N: P_2O_5 : K_2O = 2:1:2 的有机无机复混肥,求该有机-无机复混肥中氮、磷、钾含量和各个基础肥料的配合量。设有机物料在有机-无机复混肥中所占的比例为 P, 无机肥所占的总比例为 Q, 则列出以下两个方程:

$$P+Q=100$$

$$\frac{P \times 45}{P+Q} = 20$$

解后可以求出 $P=44.4\%$, $Q=55.6\%$, 即要生产 100kg 有机复混肥中有机物料所占的比例为 44.4kg, 化肥总量为 55.6kg。

2. 无机物料中各种化肥比例的确定

利用数学解析法,设肥中养分比例为 N: P_2O_5 : K_2O = A: B: C, N、 P_2O_5 、 K_2O 养分含量分别为 a、b、c, 而 4 种单个基础肥料 (N 素化肥、P 素化肥和 K 素化肥、有机物料) 中养分含量分别为: ① a_1 、 b_1 、 c_1 ; ② a_2 、 b_2 、 c_2 ; ③ a_3 、 b_3 、 c_3 ; ④ a_4 、 b_4 、 c_4 。又设组成复混肥料中的各个基础肥料的配合量分别为 X、Y、Z、P。为解出 a、b、c、X、Y、Z、Q (总的化肥配合量) 7 个未知数可列出 6 个方程:

$$a = a_1 \times \frac{X}{100} + a_2 \times \frac{Y}{100} + a_3 \times \frac{Z}{100} + a_4 \times \frac{P}{100}$$

$$b = b_1 \times \frac{X}{100} + b_2 \times \frac{Y}{100} + b_3 \times \frac{Z}{100} + b_4 \times \frac{P}{100}$$

$$c = c_1 \times \frac{X}{100} + c_2 \times \frac{Y}{100} + c_3 \times \frac{Z}{100} + c_4 \times \frac{P}{100}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B}, \quad \frac{a}{c} = \frac{A}{C}$$

$$X+Y+Z+P=100, \quad Q=X+Y+Z$$

例如,用含 N 为 46% 的尿素,含 P_2O_5 14% 的过磷酸钙和含 60% K_2O 的氯化钾配制 N: P_2O_5 : K_2O = 2:1:2 的有机-无机复混肥,求复混肥的氮、磷、钾含量和各个基础肥料的配合量。

已知: A=2, B=1, C=2

	N	P_2O_5	K_2O
尿素:	$a_1=46$,	$b_1=0$,	$c_1=0$

过磷酸钙:	$a_2=0$,	$b_2=14$,	$c_2=0$
-------	-----------	------------	---------

钾盐:	$a_3=0$,	$b_3=0$,	$c_3=60$
-----	-----------	-----------	----------

将上面 12 个已知数据代入上面 6 个方程式,解后可以求出复混肥料中氮、磷、钾含量

为: $N: a=7.50$; $P_2O_5: b=3.75$; $K_2O: c=7.50$ 。同时求出制取 $2:1:2$ 的复混肥 100kg 需尿素 $X=16.37\text{kg}$; 过磷酸钙 $Y=26.75\text{kg}$; 钾盐 $Z=12.48\text{kg}$ 。

(二) 有机-无机复混肥的加工工艺

有机-无机复混肥的生产首先是原料的准备, 需要将堆肥进行干燥、粉碎和筛分处理; 根据产品配方也需将无机化学肥料进行预处理, 比如国产的过磷酸钙一般含 $10\%\sim 15\%$ 的游离水, 很难粉碎, 最好将过磷酸钙进行预干燥处理, 使其含水量降至 5% 以下。将原料按配方要求的比例混合后, 如果产品检验后符合登记产品的质量标准, 即可进行计量包装, 这就是有机-无机复混肥的粉状产品, 生产工艺流程如图 7-5 所示。颗粒有机-无机复混肥料的生产则需增加造粒系统和后续的烘干筛分系统, 以及返料处理系统, 颗粒产品的生产工艺流程如图 7-6 所示。

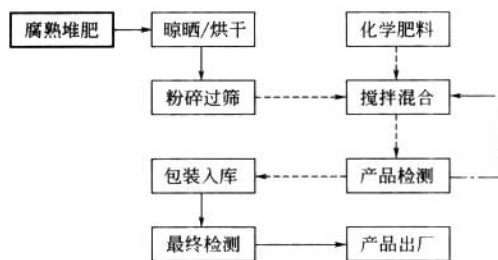


图 7-5 粉状有机-无机复混肥料的生产工艺流程

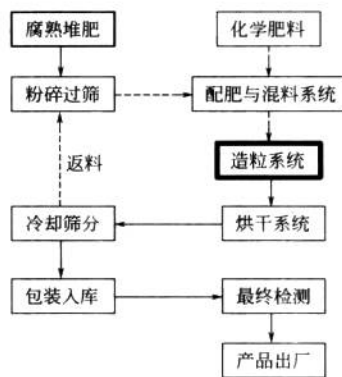


图 7-6 颗粒状有机无机复混肥料的生产工艺流程

四、复合微生物肥料加工工艺

复合微生物肥料和生物有机肥的生产工艺基本相似, 添加无机养分的部分和有机无机复混肥料的生产工艺相同, 只是在烘干温度上存在差异。同时采用的微生物菌种要具有较高的耐受性, 否则在高浓度的无机养分下很难存活。某种意义上讲, 复合微生物肥料是生物有机肥和有机-无机复混肥生产工艺的结合体。图 7-7 为粉状复合微生物肥料的生产工艺流程示意图, 图 7-8 为颗粒状复合微生物肥料的生产工艺流程示意图。由于在造粒和烘干环节会造成部分功能微生物死亡, 当活菌数不能满足产品质量要求时, 就需要在造粒过程或筛分计量系统再次添加微生物菌剂, 以保证最终产品中的功能微生物活菌数等满足质量和技术指标的要求。

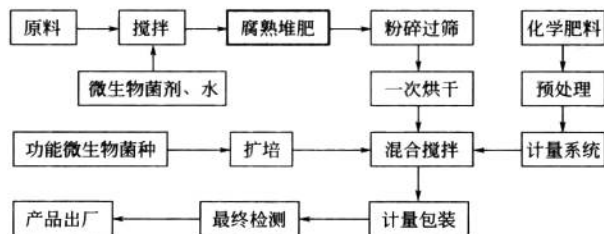


图 7-7 粉状复合微生物有机肥料的生产工艺流程

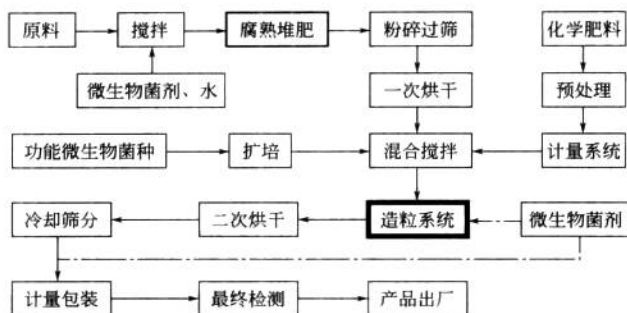


图 7-8 颗粒状复合微生物有机肥料的生产工艺流程

五、育苗与栽培基质配方原理与加工工艺

（一）育苗与栽培基质配方原理与要求

在有机基质的配方中，由于一些腐熟堆肥不宜直接作为无土栽培基质使用，为了增加基质的渗透性、透气性，提高根系的穿透能力，增加有机基质的缓冲能力，增加微生物活性和养分的慢释性，提高某些元素可利用性等，需要添加一些惰性材料，比如岩棉、蛭石、珍珠岩、沙、砾石、草炭、稻壳、椰糠、锯末、菌渣等，具体应根据植物本身的特性进行配比。基质的选用原则可以从三个方面考虑：一是植物根系的适应性；二是基质的适用性；三是基质的经济性。总之决定基质配方是否适用，应该有针对性地进行栽培试验，这样可提高判断的准确性。

作为育苗与栽培的有机基质应达到以下三项标准：易分解的有机物大部分分解；栽培使用中不产生氮的生物固定；通过降解除去酚类等有害物质、消灭病原菌、害虫卵和杂草种籽。由于有些堆肥仍含有许多对植物生长不利的物质，因此，这些基质必须与其他基质混合使用，并且不能超过一定的比例。另外，重金属含量也是必须检测的指标。

由于有机废弃物来源不一，也没有标准化的生产工艺，质量缺乏稳定性，各生产批次间的质量存在一定差异；基质的颗粒大小、形状、容重、总孔隙度、大小孔隙比等是比较重要的物理性状，但尚没有提出主要作物栽培基质的标准化物理性状参数。因此，基质的使用还存在经验性甚至盲目性。为适应标准化、规模化、工厂化生产的需要，制定作物栽培基质的标准参数，并按标准参数要求生产基质，形成标准化成型技术是当前有待解决的问题。

（二）育苗与栽培基质的加工工艺

对于有机基质的生产加工工艺，目前应用比较广泛的是将所有原料预处理后，按照一定的比例进行混合，装入穴盘或盆钵就直接用于育苗或植物栽培，由于缺乏科学统一的技术标准作指导，都是根据农民自己的经验自行混配，虽然有部分学者提出了科学的配方，但是农民限于原料的差异也很难推广。近年来，模制基质开始大面积推广，部分生产企业根据植物的生长和营养需求规律进行科学的配方，再加工成成型的模制基质，播上种子就可以完成育苗或栽培操作，不仅节省了大量劳力，而且还解决了塑料制品的二次污染问题。由于堆肥营养含量较高，加入有机基质可明显降低基质的生产成本，同时可促进植物的生长，目前已有科技工作者尝试将生物有机肥料加入有机基质的配方中，结合植物生长条件及需肥特性，加工成理化性状良好、养分配比科学的无土栽培营养基质。粉状和模制有机基质的生产工艺流程如图 7-9 和图 7-10 所示。

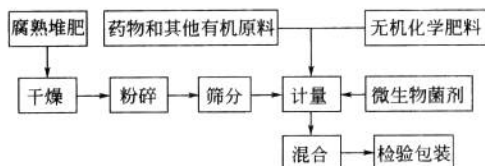


图 7-9 粉状有机基质的生产工艺流程

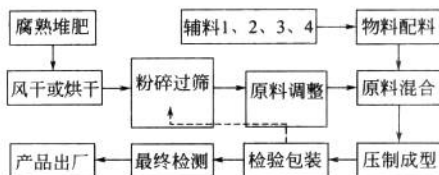


图 7-10 模制有机基质的生产工艺流程

第三节 堆肥造粒成型技术与工艺

堆肥发酵完成后,就进入后续加工工序。产品加工阶段涉及的粉碎、筛分、烘干及剂量包装与无机复混肥生产中的设备差异不大,而且对产品的性状不会产生太大影响,在此不再介绍。但造粒工序是颗粒状有机肥料生产的关键工序,其成型效率和质量是影响产品质量的关键指标,因此笔者仅就腐熟堆肥后续的成型工艺进行描述。有机肥的制粒或成型过程相对比较复杂,细粒之间由各种作用力黏结在一起而形成颗粒,影响其质量的因素包括物料组成和特性、加工技术(包括粉料的调质、造粒/成型和干燥/冷却、储存)和使用黏结剂与否等。从造粒或成型原理来看,各种有机肥料的造粒与成型工艺主要包括团聚造粒和挤压造粒两大类。

一、团聚造粒法

团聚造粒法最早由美国国家肥料开发中心和英国 ICI 公司等提出,是以液相理论为基础的颗粒成长原理进行造粒生产,主要设备类型有盘式造粒机和转鼓造粒机两类。美国 TVA(田纳西流域管理局)根据不同物料配方,对造粒过程的液相进行了长时期的研究,并用电子计算机计算出一些物料的经验液相系数如表 7-6 所列。

表 7-6 美国 TVA 测得的一些物料的经验液相系数

物料名称	液相系数 1kg/kg 物料	物料名称	液相系数 1kg/kg 物料
过磷酸钙	0.10	硫酸铵	0.10
重过磷酸钙	0.20	正磷酸或硫酸	1.00
粒状氯化钾	0.30		

利用液相系数,可以确定配方的总液相量。总液相量控制得好,造粒效果也好。温度与返料量对造粒质量也有一定影响,温度影响各物料的溶解度。温度与含水量的关系采用下列经验公式表示:

$$t = 104.9 - 4.04x$$

式中, t 为造粒温度, $^{\circ}\text{C}$; x 为造粒机出口合格颗粒物料含水量(质量分数), %。

从上式看出,物料含水率越高,造粒所需的温度越低;反之,物料含水率越低,造粒所需的温度越高。其原因是,物料含水率高时,造粒所需液相量能得到保证,不需要用提高温度来增加可溶盐溶解度的方法来增加液相量;物料含水率低时,则需提高温度增加水溶性盐溶解度以增加液相量,使其达到造粒的要求。

在有返料的造粒方法中,返料量与物料含水率相关。含水率低时,返料量少;含水率高时,返料就多,由于返料温度较高,因此,也可以起到调节温度的作用。

(一) 转鼓造粒法

最早使用转鼓造粒的是美国国家肥料开发中心(Gorelov et al., 1988; 李国学和张福

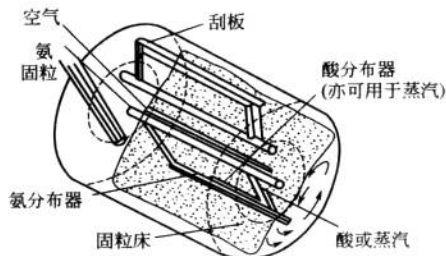


图 7-11 转鼓造粒机的示意

锁, 2000; Gluba, 2001), 目前我国大多数肥料厂采用转鼓造粒工艺。该法具有生产能力大、产品外观好、颗粒强度高、产品水分指标易控制等优点 (罗建平, 2000)。转鼓造粒设备对原料的适应性较强, 易于生产各种规格的产品, 控制好, 较适合于大规模生产。但由于其返料比高, 内壁清理较困难, 加之设备造价高, 其推广应用受到一定的限制 (Sakharov et al., 1991)。图 7-11 为转鼓造粒机示意。其主要造粒部分为一倾斜的旋转圆筒, 进口处有挡圈以防止进料溢出,

出口处也有挡圈以保证料层深度。由混料机混合好的物料, 自动定量送入圆筒内, 与喷淋出来的液滴接触, 由于圆筒不断旋转, 物料逐渐成球, 随着物料不断加入, 成球的颗粒不断排出并连续进行。圆筒内壁装有刮刀, 以避免物料黏结在筒壁上。

提高转鼓造粒机筒内造粒温度, 可有助于减少造粒过程中的加液量, 能使物料在较低含水量下成粒, 为后续的干燥提供方便, 并能明显降低造粒的能耗。转鼓造粒适宜的工艺条件是: 物料停留时间保持在 3~5min, 转速控制在 16r/min 左右, 同时筒内的造粒温度控制在 50~55℃。这样吨肥的消耗指标为 500kg 煤、53kg 蒸汽和 54kW·h 电。

(二) 圆盘式造粒技术

圆盘式造粒技术的优点是设备简单、投资低、操作较易掌握、成粒率高。缺点是不能保证工艺上造粒所需的温度。圆盘式造粒机的结构如图 7-12 所示。圆盘式造粒过程中的影响因素包括原料的细度, 基础肥料的理化性质, 投料位置, 黏结剂的加入方式与加入位置, 半成品的含水量, 适宜稳定的投料量以及造粒机的直径、倾角和转速, 造粒温度, 返料的再生产加入情况等。圆盘式造粒机的倾角一般为 45°~60°的圆盘, 转速为临界转速的 80%, 或以圆盘边的线速度在 1.5~2.0m/s。圆盘边的高度一般为圆盘直径的 10%~15%。刮刀位置与水平方向成 60°, 不使物料在刮板装置处挤压成块, 圆盘的高度与其直径的比, 一般在 0.1~0.25 之间, 料从圆盘下面半径为 3/4 之处自动排出。连续机械进料, 进料保持平稳, 料从上部偏离垂直线 45°角位置加入。

在生产中若控制不当, 易造成造粒过程比较困难, 极易造成原料消耗量增加、成粒率低、产品性能不稳定、能耗增加及生产效率下降等问题 (Nold et al., 2004)。主机转速、黏合剂的加入速度和加量、喷枪喷雾条件等对颗粒形成具有较为显著的影响 (宋洪涛等, 2003)。为了实现圆盘式造粒机的连续造粒, 投料、成粒、出盘 3 个步骤必须配合得很好,

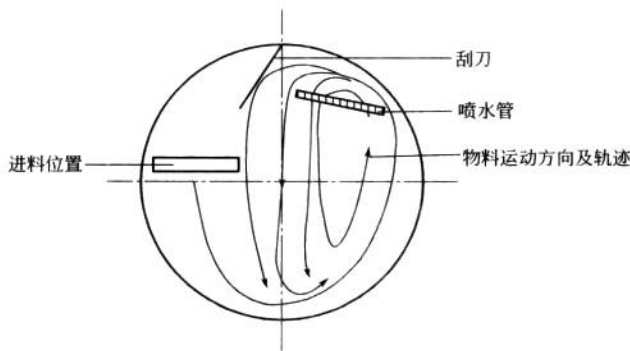


图 7-12 圆盘式造粒机造粒示意

否则无法保证肥料颗粒的质量及生产的正常进行。常用的圆盘造粒机其规格与生产能力的关系见表 7-7。

表 7-7 圆盘造粒机其规格与生产能力的关系

圆盘直径	1600mm	2000mm	2200mm
圆盘高度	300mm	240mm	360mm
圆盘转速	19r/min	30r/min	14r/min
圆盘倾斜角	45°	60°~65°	35°~55°
生产能力	0.6~1.0t/h	1.5~2t/h	6t/h

圆盘造粒机主要分为两大部分：一是圆盘（包括圆堰，一般堰高 $0.1 \sim 0.25D$ ）；二是传动机械。圆盘具有一定的倾角，一般为 $45^\circ \sim 60^\circ$ ，转速为 30r/min 。其临界的转速可按下式计算：

$$N_c = 43.2 \sqrt{\sin\theta/D} \quad \text{比转数 } r = N/N_c = 0.4 \sim 0.75$$

$$\text{当 } \theta = 45^\circ \sim 50^\circ \text{ 时 } N = \frac{14-26}{\sqrt{D}}$$

式中， N_c 为临界转速， r/min ； D 为盘的直径， m ； θ 为盘的倾角； N 为最小转数， r 。

盘式造粒机具有以下特点：本身具有良好的分级作用，生成粗粒较少，因此其成粒率较高；全部操作过程均能观察到，能及时发现操作中的问题，进行调节；生产有较大的灵活性，粒度控制范围较宽；由于设备较简单，投资较省，所以广泛地被采用。但该设备对物料不能进行氨化处理，粉尘及烟雾的收集和处理较困难。

二、挤压造粒与成型技术

挤压造粒法是将物料直接挤压成成品的造粒过程。其主要特点是降低能耗、简化工艺流程。由于产品始终保持干燥，因此可省去团粒法的干燥和冷却工序，能避免氮素的大量损失，也可避免二次环境污染问题。挤压造粒的工作原理如图 7-13 所示。立轴以一定的速度旋转，带动固定在立轴上的碾轮绕立轴中心线公转，同时碾轮分别绕自身的芯轴自转。碾轮与模板之间始终保持预先调整好的工作间隙，模板上均布小通孔。混合均匀的物料，经给料装置、连续定量地送入造粒机上筒体内。利用物料分子之间的亲和力，在碾轮与模板之间强制挤压作用下，物料在模板小孔内摩擦、压缩、挤出而形成圆柱状。再通过旋转的切刀，将其截成所需的短圆柱颗粒形状。在挤压过程中，旋加压强、粒子大小和黏结力之间的关系见图 7-14。

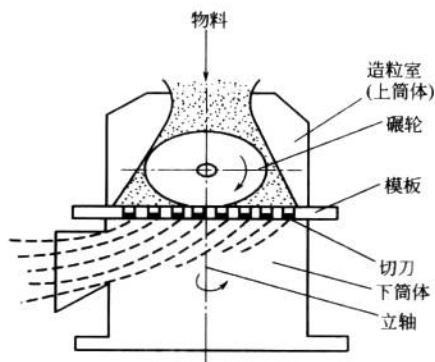


图 7-13 挤压法造粒机工作原理

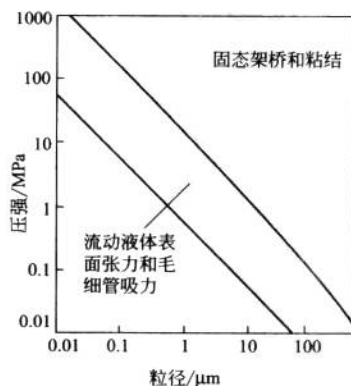


图 7-14 旋加压强、粒子大小和黏结力之间的关系

使用挤压法造粒的关键是控制进入料仓物料的水分,一般为25%~30%。物料在进入挤压机之前,最好能进行磁选,除去物料中夹带的铁屑等杂质,以免损坏机器。挤压造粒机进料由电气控制柜的电流表指针的稳定度来监控。使用中应注意各单一基础肥料的物理、化学性能的不同,其挤压造粒时的负载电流也是不同的。每次停机前,要将机内物料挤压完毕。

参 考 文 献

- [1] 陈靖宇. 复合肥料造粒技术和设备. 化肥工业, 1995, (2): 3~8.
- [2] 陈荣平, 李海涛. 助剂对复混肥成球及其强度的影响. 化学工业与工程技术, 2001, 22 (5): 12~14.
- [3] 方亭, 张延毅, 金涛. 城市生活垃圾堆肥对油菜、大豆籽粒中蛋白质含量的影响. 中国油料作物学报, 1999, 21 (4): 45~47.
- [4] 郭廓兰, 米尔芳, 田若涛等. 城市污泥和污泥与垃圾堆肥的农田施用对土壤性质的影响. 农业环境保护, 1994, 13 (5): 204~209.
- [5] 蒋卫杰, 刘伟, 余宏军等. 中国大陆无土栽培发展概况. 农业工程学报, 2001, 17 (1): 10~15.
- [6] 李典亮, 谢放华. 对生物有机肥生产工艺选择的几个问题的思考. 土壤肥料, 2004, (4): 44~46.
- [7] 李国景, 徐召忠. 我国现阶段发展蔬菜无土栽培的探讨. 长江蔬菜, 1997, (4): 1~4.
- [8] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机无机复混肥生产. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [9] 李谦盛, 郭世荣, 李式军. 利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质. 自然资源学报, 2002, 17 (4): 515~519.
- [10] 李艳霞, 赵莉, 陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响. 生态学报, 2002, 22 (6): 797~781.
- [11] 梁伟, 张纪伍, 顾建宁. 垃圾堆肥在花卉栽培中的应用研究. 应用与环境生物学报, 1995, 1 (4): 387~397.
- [12] 刘更另. 中国有机肥料. 北京: 农业出版社, 1991.
- [13] 罗建平. 复混肥生产设备常见故障的预防及处理. 磷肥与复肥, 2000, 9 (5): 48~49.
- [14] 毛达如. 有机肥料. 北京: 农业出版社, 1982.
- [15] 牛俊玲, 李彦明, 陈清. 固体有机废物肥料化利用技术. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [16] 农业行业标准: NY 525—2002 有机肥料. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [17] 农业行业标准: NY 884—2004 生物有机肥. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [18] 农业行业标准: NY 884—2004 生物有机肥. 北京: 中国农业出版社, 2005, 5.
- [19] 农业行业标准: NY/T 798—2004 复合微生物肥料. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望. 中国土壤与肥料, 2007, (6): 1~5.
- [21] 唐永良, 高坤林, 徐俊祥等. 生活垃圾堆肥对花生和猕猴桃生产品质的影响及其改土效果. 应用与环境生物学报, 1995, 1 (4): 364~370.
- [22] 张增强, 薛澄泽. 几种草本植物对污泥堆肥的生长响应. 西北农业大学学报, 2002, 24 (1): 65~69.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18877—2002 有机无机复混肥料标准. 中国标准出版社, 2002.
- [24] Gluba T. The effect of particle size distribution of a raw material on the strength of agglomerates obtained during drum granulation. Powder Handling and Processing, 2001, 13 (4): 369~372.
- [25] Gorelov V V, Nenashev E N. Calculation of the operating parameters of palletizing granulators. Chemical and Petroleum Engineering, 1988, 23 (11-12): 548~551.
- [26] Jerzy Ciba, Teofil Korolewicz, Marian Turek. The occurrence of metals in composted municipal wastes and their removal [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1999, 111: 159~170.
- [27] Sakharov V N, Selezenev A N, Tauk M V, et al. Development of granulation equipment for producing combined NPK fertilizers. Chemical and Petroleum Engineering, 1991, 27 (3~4): 190~194.
- [28] Vincent T, Breslin. Retention of metals in agricultural soils after amending with msw and msw-biosolids compost. Water, Air, and Soil Pollution, 1999, 109: 163~178.

第八章

堆肥质量评价

第一节 堆肥质量评价指标

堆肥质量通常可从堆肥的腐熟度、养分含量、杂质含量、有害物质（重金属、有机污染物）含量等方面进行评价，但由于受堆肥原料及堆肥过程控制等众多因素的影响，堆肥质量至今尚未有一个统一的判定方法。表 8-1 列出了近年来用于评价堆肥质量的一些常用指标。

表 8-1 堆肥质量常用评价指标

物理 评价指标	温度	简便、直观,不易量化,缺乏可信度
	颜色	
	气味	
	粒度	
化学 评价指标	pH 值	可以对某一指标进行定量测定,但对于不同种类的堆肥原料,差别较大,另外受取样的影响较大
	EC	
	有机质变化参数(COD、BOD ₅ 、VS)	
	氮成分变化参数(NO_3^- -N、 NH_4^+ -N)	
	CEC	
	腐殖化系数($\text{HI}=\text{HA}/\text{FA}$, $\text{DH}=[(\text{CHA}+\text{CFA})/\text{TEC}]\times 100\%$)	
	C/N	
	有机酸	
生物学 评价指标	呼吸速率	能综合反映堆肥的特征,可判断堆肥的稳定性与无害化效果,但耗时长,工作量大
	酶活性	
	ATP	
	微生物量	
	种子根长	
	种子发芽率	
	植物生长状况指标	
	(粪)大肠杆菌	
	沙门菌	
	蛔虫卵死亡率	
	杂草种子灭活率	
	植物繁殖体灭活率	

续表

波谱学指标	核磁共振 NMR(提供有机分子骨架的信息)	揭示了堆肥微观物质结构的变化,有助于评价化学指标的合理性,设备要求高,一般在生产上难实现
	红外光谱 FT-IR(辨别化合物的特征官能团)	
其他评价指标	重金属	其种类与允许含量会因地区而异
	有机污染物	
	外来物质含量	

一、堆肥腐熟度评价

腐熟度即堆肥腐熟的程度,指堆肥中有机物经过矿化、腐殖化过程后达到稳定化的程度。经完全腐熟的堆肥,在田间施用后对环境和作物不会产生有害影响;腐熟程度不够的堆肥若直接施到土壤中,还可能通过微生物降解产生一些中间产物,如一些低分子有机酸(丁酸、戊酸等)和 NH_4^+ ,对农作物特别是幼苗的正常生长发育产生不利影响。因此,腐熟度是评价堆肥成品质量的重要方面,其评价已引起广泛关注。

国内外学者在堆肥腐熟度评价方面开展了大量研究,实际应用中由于涉及堆肥原料、堆肥条件、堆肥工艺和堆肥成品要求等多方面因素,使得腐熟度评价也变得较为复杂,通常评价堆肥腐熟度包括物理、化学、生物及波谱学四类评价指标。

1. 物理评价指标

物理学指标包括温度、气味和颜色等,并随堆肥过程一直在变化着,由于比较直观,常作为堆肥腐熟度的评价指标。

(1) 温度 堆肥过程中的温度变化可分为四个明显阶段,即升温期、高温期、降温期和稳定期。升温阶段堆体温度会逐步上升到 55°C 以上,随之会维持一段时间高温阶段,其后逐渐过渡到降温阶段,并达到环境温度。尽管堆体为一非均相体系,其各个区域的温度表现不均衡,限制了温度作为腐熟度定量指标的应用,但其仍是堆肥过程最重要的常规检测指标之一。有经验的堆肥操作人员在熟悉堆肥温度曲线后会很容易通过测温来判断堆肥的进程。我国的粪便无害化高温堆肥卫生标准为最高堆温达 50°C 以上,并持续 $5\sim 7\text{d}$ 。

(2) 颜色、气味及粒度 从颜色变化看,堆肥过程中堆料颜色会逐渐变深,最终呈灰黑褐色或浅灰色。从气味变化看,通常堆肥原料具有令人不快的气味,在运行良好的堆肥体系中,这种气味逐渐减弱并在堆肥结束后消失,不再吸引蚊蝇,也不再有令人讨厌的臭味,堆肥出现白色或灰白色,呈现疏松的团粒结构,颗粒直径小于 1.3cm 。

2. 化学评价指标

化学指标即堆肥过程中堆料的化学成分或性质的变化,采用这类指标来评价堆肥的腐熟度,也是一种比较常用的简单易行的方法。

(1) pH 值 一般情况下,堆肥原料或发酵初期 pH 为弱酸性至中性,通常为 $6.5\sim 7.5$,腐熟的堆肥一般呈弱碱性,pH 值在 $8\sim 9$ 左右,但 pH 值受堆肥原料的影响较大,只能作为评价堆肥腐熟度的一个必要条件,而不是充分条件。

(2) 有机质的变化 在堆肥过程中,堆料中的不稳定有机物分解转化为二氧化碳、水、矿物质和稳定化腐殖质,堆料的有机质含量变化显著。反映有机质变化的参数有水溶性有机质(酸)、化学耗氧量(COD)、生化需氧量(BOD_5)、挥发性固体(VS)、淀粉和水溶性糖类(SC)、二氧化碳(CO_2)的释放量。这些评价指标与堆肥时间有很显著的相关性,是指示堆肥腐熟程度的合适参数。尽管水溶性有机质也受堆肥原料性质的影响,但在堆肥后期,其值一般会稳定在一定水平之下,可用来判定堆肥的腐熟稳定程度。

(3) 氮成分变化 堆肥化过程中含氮有机物发生降解：一部分转化为氨气，一部分被微生物同化吸收，另一部分则由微生物氧化为亚硝酸盐或硝酸盐。堆肥后期，由于水溶性 NH_4^+-N 一部分转化为 NH_3 而挥发减少，另外，通过硝化作用一部分 NH_4^+-N 又转化为 NO_3^--N 。因此， NH_4^+-N 、亚硝酸盐或硝酸盐的存在，可作为判断堆肥腐熟的依据， NH_4^+-N 、 NO_3^--N 及 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 的比值是评价堆肥腐熟度评价的常用指标之一。但总的来说，由于 N 浓度变化受温度、pH 值、微生物代谢、通气条件和 N 源条件的影响，这一类参数通常只作为堆肥是否完全腐熟的参考，不能作为堆肥腐熟度评价的绝对指标。

(4) 与腐殖化程度相关的参数：CEC（阳离子交换容量）和腐殖化参数

① CEC（阳离子交换容量）。CEC 值一般随腐殖化过程的进行而逐渐增加，但不同原料来源的腐熟堆肥，其 CEC 值在 $41.4 \sim 123 \text{ cmol/kg}$ 之间，变幅太大。因此，CEC 值需和其他指标结合起来才可用以判断堆肥是否腐熟。

② 腐殖化参数。一般情况下，有机质的腐殖化程度可通过以下参数来表示：

腐殖化指数 $\text{HI} = \text{胡敏酸 HA} / \text{富里酸 FA}$

腐殖化率 $\text{HR} = \text{胡敏酸 HA} / (\text{富里酸 FA} + \text{非腐殖质成分 NHF})$

胡敏酸的百分含量 $\text{HP} = (\text{胡敏酸 HA} / \text{腐殖质 HS}) \times 100\%$

腐殖化度 $\text{DH} = (\text{胡敏酸与富里酸碳 } C_{\text{HA}+\text{FA}} / \text{总可溶性碳 TEC}) \times 100\%$ 。

由于 DH 值受堆肥原料的水分含量影响较大，其作为评价指标受到很大限制。有机物的腐殖化程度不适于描述堆肥腐熟度，主要原因为其总含量在堆肥过程中变化不明显，新腐殖质形成的同时，有些腐殖质会发生矿化作用。因此，腐殖化参数在堆肥过程中的变化只可作为堆肥腐熟度评价的一个参考指标（表 8-2）。

表 8-2 堆肥腐熟度评价常用化学指标评价基准

评价参数	推荐值	备注
pH 值	8~9	堆肥腐熟的必要条件
电导率(EC)	$<9.0 \text{ mS/cm}$	堆肥腐熟的必要条件
水溶性有机质	$\leq 2.2 \text{ g/L}$	
有机碳含量	$>10\%$	
极性溶剂与非极性溶剂萃取液中腐殖酸碳的含量之比	>0.6 >0.8	
COD	$<700 \text{ mg/g}$ 干堆肥	
BOD_5	$<5 \text{ mg/g}$ 干堆肥	
水溶性糖类(SC)	$>0.1\%$	
淀粉	消失	堆肥腐熟的必要条件
CO_2 释放量	$<500 \text{ mg/100g}$ 有机质	
TN	$>$ 干重 0.6%	污泥堆肥腐熟
NH_4^+-N	$<400 \text{ mg/kg}$	污泥堆肥腐熟
	$<0.05\%$	猪粪堆肥达到腐熟
$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$	<0.16	污泥、猪粪以及城市垃圾堆肥
CEC/(水溶性有机碳)	>1.9	
腐殖化参数(HI)	>1.9	城市垃圾、污泥和猪粪等物料混合堆肥
固相 C/N	15~20	初始固相 C/N 大于 25 的堆肥
$T = (\text{终点 C/N}) / (\text{初始 C/N})$	<0.6	
水溶性有机碳(WSC)	$<0.5\%$	城市废物堆肥
WSC/WSN	<2	
液相有机 C/N	5~6	
WSC/TN	<0.7	
WSC/N-org	5~6	

资料来源：吴春芳，2007；张亚宁，2004。

(5) C/N 的变化 碳源是微生物利用的能源,氮源是微生物的营养物质。堆肥过程中有机物经过矿化、腐殖化过程,碳转化成二氧化碳和腐殖质物质,而氮则以氨气的形式散失,或变为硝酸盐和亚硝酸盐或被微生物体同化吸收。因此,碳和氮的变化是堆肥的基本特征之一。这些指标主要包括最常用于评价腐熟度参数的固相 C/N、水溶性成分(主要的参数有水溶性碳、水溶性碳与水溶性氮的比值 WSC/WSN、水溶性碳与总氮量的比值 WSC/TN、水溶性碳与有机态氮的比值 WSC/N-org)。与固相 C/N 相比,水溶性 C/N 在评价堆肥腐熟程度上更为有效,也更少受原材料的影响。

3. 生物学评价指标

(1) 呼吸作用 对于好氧堆肥来说,微生物耗氧率的变化反映了堆肥过程微生物活性的变化,也反映了堆肥过程有机物的变化。可根据堆肥过程中微生物吸收 O_2 和释放 CO_2 的强度来判断微生物代谢活动的强度及堆肥的稳定性。通常在堆肥后期,堆肥 CO_2 释放强度降低并达到相对稳定。呼吸作用可通过测定呼吸强度和溶解氧来计算,由于测定与实际误差大,这个指标较少使用,但可作为微生物代谢活动强度的指示指标。

(2) 微生物活性变化参数 反映微生物活性变化的参数有酶活和微生物量。堆肥过程中,多种氧化还原酶和水解酶与 C、N、P 等基础物质代谢密切相关。分析相关的酶活力,可间接反映微生物的代谢活性和酶特定底物的变化情况。微生物对难分解碳源的利用致使纤维素酶和脂酶活性在堆肥后期迅速增加,故可用来了解堆肥的稳定性。

堆体不同区域及不同堆肥阶段,微生物群落的特征显著不同,表明其腐熟过程有差别。通常很难用堆肥过程中某种微生物存在与否及数量多寡来指示堆肥腐熟程度,但不同微生物群落的变化却能很好地指示堆肥腐熟程度,因此生物分析可作为评价堆肥腐熟度的合适方法。ATP(三磷酸腺苷)是土壤中生物量的测定方法之一,近年来开始在堆肥中应用。ATP(三磷酸腺苷)与微生物活性密切相关,随堆肥的时间变化明显。但 ATP 的测定比较复杂,监测设备投资较大,原料中如果含有 ATP 抑制成分,对 ATP 的结果也有影响。

(3) 植物毒性反应试验 未腐熟的堆肥含有植物毒性物质,对种子萌发、植物生长产生抑制作用;腐熟堆肥植物毒性物质减少或基本消失,并出现促进种子萌发和植物生长的物质。因此,可用植物种子发芽试验、植物生长试验来评价堆肥腐熟度。常用指标主要有种子发芽率、种子根长、植物生长状况指标等。考虑到堆肥腐熟度的实用意义,植物生长试验是评价堆肥腐熟度的最终和最具说服力的方法。发芽指数(GI,见下式)不仅考虑了种子的发芽率,还考虑了植物毒性物质对种子生根的影响,能有效地反映堆肥的植物毒性大小,许多学者以 GI 为标准,来筛选其他的腐熟度指标,建立堆肥腐熟度的评价体系。

$$GI = \frac{\text{堆肥浸提液的种子发芽率} \times \text{种子根长}}{\text{蒸馏水的种子发芽率} \times \text{种子根长}} \times 100\%$$

理论上如 $GI < 100\%$, 就判断是有植物毒性。但由于不同植物对植物毒性的承受能力和适应性有差异,通常用水芹种子作为测定发芽指数的指示植物,当水芹种子的发芽系数大于 50% 时,表示堆肥已腐熟,这已成为一个使用比较普遍的评价指标。北方地区不好购买水芹种子的情况下,也可用黄瓜或玉米种子代替。

(4) 有害病原菌 污泥、城市垃圾和畜禽粪便中含有大量致病细菌、霉菌和寄生虫等有害病原菌,直接影响到堆肥的安全性。沙门菌、肠道链球菌等常用作监测堆肥安全性的指标。但这些致病微生物对温度非常敏感,当堆肥的温度高于 55°C ,并保持 4 天以上时,可杀死大多数病原菌。

(5) 杂草种子与植物繁殖体的存活率 物料经堆肥后,其中所含的杂草种子或植物繁殖体应当被灭活,有活性的种子或植物繁殖体应不存在。

4. 波谱学指标

为了从物质结构的角度认识堆肥过程和堆肥腐熟度,许多研究者还采用了波谱分析法。迄今为止,使用较多的是红外光谱法和¹³C-核磁共振法。红外光谱法可以辨别化合物的特征官能团,核磁共振法可提供有机分子骨架的信息,能更敏感地反映碳核所处化学环境的细微差别,为测定复杂有机物提供帮助。有了碳谱的化学位移及其他必要的分析数据,基本上可以确定有机物的结构。红外光谱法与核磁共振法对堆肥中有机成分的转化提供了有利的证据,但是,不同原料在不同条件下进行堆肥化,其有机成分的转化情况并不一致,至于用波谱法确定堆肥腐熟度,还有待进一步研究。

二、堆肥其他质量要求

堆肥除腐熟度的要求外,还应满足其他质量要求。

1. 理化性质

堆肥对土壤改良起作用的成分主要是有机质。干燥状态下,堆肥成品中有机质的含量应在35%以上,其他养分指标(N、P、K)应达到相关成品的要求。为了保持堆肥良好的撒播性与堆肥的可存储性,还会对堆肥成品的含水率有要求,国内有机肥料标准规定应小于30%。

2. 外来物质

为了便于堆肥成品的利用,堆肥中的惰性材料如玻璃、陶瓷、废金属、石头、塑料、橡胶、木材等,必须去除。

3. 有害物质

有害物质包括重金属、有机污染物等。重金属的种类主要包括砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、镍(Ni)、硒(Se)、锌(Zn)、钼(Mo)、钴(Co)等,有机污染物主要包括持久性有机污染物(POPs)、多氯联苯(PCBs)、多环芳烃(PAHs)等。堆肥成品中有害物质的含量应不超过规定的允许浓度,其允许值依不同地区及不同用途而有所差异。

第二节 堆肥质量控制标准

堆肥成品最终要应用到土壤中或者作为简单的土壤改良剂,或者生产出一种高养分含量的有机肥,用于粮食及园艺作物生产。

考虑到堆肥既涉及废弃物的处理,又作为一种肥料(改良剂)用于农林业,堆肥成品的质量事实上就会受到环境和肥料两方面标准的影响,即既要满足废弃物处理的相关环境标准,如堆肥卫生标准、堆肥农用标准,又要满足有机肥料、土壤改良剂的标准。

人们对堆肥质量的关注是近代以来堆肥工业快速发展的必然结果。德国废弃物联盟(RAL)于1984年的匿名调查报告《城市垃圾及其污泥堆肥的质量标准与应用》是关于堆肥质量的最早报道,引起了人们对以不受控制的废弃物特别是城市垃圾及其污泥为来源的堆肥质量的关注;同一时期(1982~1990年)关于生活垃圾中重金属的调查使人们再一次把目光聚焦到这一问题;接着,美国也开始关注以危险废弃物为来源的有机肥料及其中的重金属带来的问题。解决这些问题是制定堆肥质量标准的初衷。

从废弃物处理的角度,减轻堆肥使用对环境的危害诸如重金属、有机污染物、病原菌方面带来的环境负效应是制定堆肥质量控制标准的优先目的;其次,从市场的角度,主要考虑堆肥的农用价值如外来物质含量、养分含量等。目前,堆肥成品中的质量控制指标包括重金

属限量、有机污染物、病原菌、惰性物质、种子及植物繁殖体灭活情况等。表 8-3～表 8-12 归纳总结了世界主要地区的主要堆肥质量参数的控制水平，尽管这些控制水平会因检测方法的不同而使在本质上一致的堆肥成品的检测结果而有所差别，但了解世界各地的堆肥质量控制标准，对指导我们进行堆肥生产及成品营销有积极的意义。

堆肥质量的控制标准还与该地区的政治因素、经济发展水平、教育水平等因素息息相关，但目前国际上许多地区的堆肥质量控制标准有趋于一致的现象，因此，有人提出，应从国际化的视角，建立堆肥质量控制标准，认为应基于现今堆肥成品应用的最低标准水平建立基本的国际标准，对于无法达成一致的控制标准应按地区具体规定。为逐渐实现这一目标，大家认为最好的途径是出台推荐性控制标准，并在实际应用中研究具体的质量控制参数的水平。

一、有害物质安全限量标准

由于堆肥原料来源广泛，不可否认相当一部分原料存在安全隐患。如畜禽粪便、污泥、城镇垃圾和工业垃圾中含有一定量的重金属，有些有机物料和由此生产的商品有机肥料中重金属如镉的含量较高。此外，有机废弃物中还含有农药、抗生素、多氯联苯等有机污染物。这些有毒有害物质施入土壤后存在着被农作物吸收而污染农产品的风险。不同国家对有机肥料尤其是堆肥和农用污泥中有毒有害物质特别是重金属的含量制定了相应的限量标准。

（一）重金属安全限量标准

我国有机类肥料主要是对 As、Hg、Pb、Cd、Cr 五种重金属制定了安全限量标准。有
机肥料农业部行业标准 NY 525—2002 规定，有机肥料中的重金属含量应符合城镇垃圾农用控制标准 GB 8172 的要求；国家标准《有机-无机复混肥料》(GB 18877—2002) 中对部分重金属进行了限量；正在修订的商品有机肥料农业部行业标准（征求意见稿）规定了商品有机肥料中重金属的限量指标，见表 8-3。

表 8-3 中国大陆地区有机肥料重金属含量限量标准

单位：mg/kg 干物质

肥料类型	As	Hg	Pb	Cd	Cr
有机肥料	30	5	100	3	300
有机-无机复混肥料	50	5	150	10	500
拟修订有机肥料	15	2	50	3	150

亚洲一些国家或地区根据堆肥的不同用途，重金属限量标准也有差异。一般用于粮食作物的堆肥比用于观赏植物的堆肥重金属限量低，有机耕种、普通农业用途、非农业用途的堆肥成品重金属限量水平依次升高，如中国香港有机资源中心 2005 年制定的堆肥质量标准（适用于做有机肥料及土壤改良剂的堆肥）；中国台湾的肥料种类品目及规格印度的肥料管理法令 [The Fertiliser (Control) Order] 则按原料类型规定了重金属的限量标准；日本的肥料取缔法对污泥肥料中重金属浓度的上限值亦进行了规定，见表 8-4～表 8-6。

表 8-4 中国香港堆肥重金属含量限量标准

单位：mg/kg 干物质

堆肥用途	As	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Se	Zn
有机耕种	10	1	100	1	100	300	50	1.5	600
普通农业用途	13	1	150	3	210	700	62	2	1300
非农业用途	41	17	300	39	1200	1500	420	36	2800

表 8-5 中国台湾及印度的堆肥重金属的限量标准 单位: mg/kg 干物质

堆肥类型	As	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
禽畜粪堆肥	25	1	150	2	150	100	25	500
一般堆肥	25	1	150	2	150	100	25	250
糠堆肥	25	1	150	2	150	100	25	250
城市堆肥	10	0.15	100	5	50	300	50	1000
蚯蚓堆肥	10	0.15	100	5	50		50	

表 8-6 日本污泥肥料重金属含量限量标准 单位: mg/kg 干物质

重 金 属	上 限 值	重 金 属	上 限 值
Cd	5	Cr	500
Hg	2	Ni	300
As	50	Pb	100

欧美各国对堆肥中的重金属限量均有各自的标准,在重金属的种类和允许上限值上存在较大的差别,如表 8-7 引述的 ORBIT Association 与欧洲堆肥网络 ECN 在 2008 年报告中列举的欧洲国家法定堆肥重金属含量限量;表 8-8 概括了加拿大魁北克标准局(BNQ)、加拿大环境部长委员会(CCEM)与加拿大农业及食品部(AAFC)标准。在重金属含量的标准上,美国与欧洲明显不同,USEPA503 对重金属的标准是简单的固体废弃物标准,用于任何其他堆肥可能模糊不清,而且不能阐明有关质量方面的问题。

表 8-7 欧洲国家法定堆肥重金属限量 单位: mg/kg 干物质

国家	Cd	总 Cr	Cr ⁶⁺	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	备 注
奥地利	0.7	70	—	70	0.4	25	45	200	—	A+类堆肥
	1	70	—	150	0.7	60	120	500	—	A 类堆肥
	3	250	—	500	3	100	200	1800	—	B 类堆肥
比利时	1.5	70	—	90	1	20	120	300	—	
	2	100	—	100	1	50	100	300	10	农用堆肥
	2	100	—	170	1	65	200	500	10	园林绿化一类堆肥
捷克	3	250	—	400	1.5	100	300	1200	20	园林绿化二类堆肥
	4	300	—	500	2	120	400	1500	30	园林绿化三类堆肥
	1	70	—	70	0.7	35	100	300	—	I 类
德国	1.5	100	—	100	1	50	150	400	—	II 类
	0.8	—	—	1000	0.8	30	120 ^①	4000	25	
丹麦	—	1000	—	1000	16	300	750	2500	—	
爱沙尼亚	0.7	70	0	70	0.4	25	45	200	—	A 类肥料
西班牙	2	250	0	300	1.5	90	150	500	—	B 类肥料
	3	300	0	400	2.5	100	200	1000	—	C 类肥料
	1.5	300	—	600	1	100	150	1500	25	肥料
芬兰	3	120	—	300	2	60	180	600	—	
匈牙利	2	100	—	100	1	50	100	—	10	此外还有 Co;50;Se;5
希腊	10	510	10	500	5	200	500	2000	15	
意大利	1.5	—	0.5	230	1.5	100	140	500	—	
卢森堡	1.5	100	—	100	1	50	150	400	—	
立陶宛	1.5	140	—	75	1	50	140	300	—	
拉脱维亚	3	—	—	600	2	100	150	1500	50	
荷兰	1	50	—	60	0.3	20	100	200	15	纯净堆肥
	0.7	50	—	25	0.2	10	65	75	5	非常纯净堆肥
波兰	3	100	—	400	2	30	100	1500	—	有机肥料
英国	1.5	100	—	200	1	50	200	400	—	堆肥质量的最低要求
										如原料含有工业废弃物, 还应限量(Mo;2;As;10; Se;1.5;F;200)
欧盟	1	100	—	100	1	50	100	300	10	

① 私人花园,限 60mg/kg dm。

表 8-8 加拿大堆肥重金属含量限量标准

类 别	As	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Se	Mo	Co
BNQ(AA,A类),CCME(A类)	13	0.8	150	3	210	100	62	2	5	34
BNQ\CCME(B类),AAFC(B类)	75	5	500	20	1060	757 ^①	180	14	20	150

① 只限 BNQ。

(二) 有机污染物安全限量标准

尽管已有报道称,堆肥化可以在一定程度上对如滴滴涕、六六六、多氯联苯等有机污染物进行降解,而且通过对堆肥原料采购进行规范,也可使有机污染物进入堆肥的可能性有所降低,但仍有一些国家如奥地利、丹麦、卢森堡对堆肥中有机污染物的含量进行了规定,有机污染物的问题仍是关注的焦点。在我国,主要体现在对养殖业粪便中激素类物质所引起的食物链安全问题的关心。

(三) 其他无害化指标要求

从微生物卫生学的角度,腐熟后的堆肥必须达到无害化的要求,保证使用时不会传播疾病与危害农作物。沙门菌、粪大肠菌群数与蛔虫卵死亡率是常见的检测指标,由于病原菌对温度敏感,所以可以从堆肥温度的高低与持续时间来判定堆肥的无害化情况,亦可依此来规定堆肥无害化控制的标准(见表 8-9)。

表 8-9 堆肥中无害化控制标准比较

地 区		蛔虫卵死亡率	粪大肠菌群数	沙门菌
中国大陆		≥95%	≤100 个/g(mL)	
中国香港			≤1000MPN/g	≤3MPN/4g
加拿大	BNQ,CCME,AAFC		<1000MPN/g(干物质)	<3MPN/4g
		反应器式堆肥	≥55℃,3d	
	CCME	静态好氧堆肥	≥55℃,3d	
		条垛堆肥	≥55℃,≥15d,高温期搅拌次数≥5	
欧盟		不含发芽的种子 与植物体		未检测到/25g
英国			≤1000MNPg/g	未检测到/25g
印度			无有害微生物	

二、其他特性控制标准

在达到无害化标准的前提下,为充分挖掘堆肥的市场价值,各国(地区)还从堆肥的外来物质的含量、腐熟度(稳定度)、理化性质与养分指标等方面,规定了堆肥作为土壤改良剂、有机肥料等成品的标准。

(一) 外来物质的控制

堆肥中外来物质的种类与含量要达到合理水平,是对堆肥成品的普遍要求,各国对于进入市场流通的堆肥成品中的外来物质的种类与含量都有较明确的定性规定或量化指标(表 8-10)。

表 8-10 堆肥中外来物质的控制标准比较

地 区	外源物质要求
中国大陆	无机机械杂质
中国香港	5mm 以上的小石≤5%干质量 2mm 以上的人造物质包括玻璃、塑料、金属≤0.5%干质量

续表

地 区	外源物质要求	
中国台湾	不得混入化学肥料、矿物、污泥、植物渣粕、鱼粉、肉骨粉、厨余、炭化稻壳、泥炭等物料或经化学处理的残渣	禽畜粪堆肥
	不得混入化学肥料、矿物、污泥、厨余、炭化稻壳、泥炭等物料或经化学处理的残渣	一般杂项堆肥
	不得混入经确认可能有害的物质	禽畜粪、一般杂项堆肥
加拿大	不含有任何尺寸超过 3mm 的, 对人、动植物有害的物质(安全标准)	
欧盟	玻璃、金属、塑料杂质含量 $\leq 0.5\%$	
英国	大于 2mm 的非石头物质含量低于 0.5% (塑料 0.25%), 石块(>4mm) 含量低于 16%	
印度	通过 4mm 筛子率不小于 90%	

(二) 腐熟度 (稳定度)

腐熟程度不够的堆肥成品, 直接施用易对农作物特别是幼苗的正常生长产生不利影响。我国在腐熟度评价方面还没有明确的规定。在其他国家与地区的标准中, 有单指标也有多指标的控制标准, 且大多数国家与地区倾向于采用多指标来规定堆肥腐熟度的标准。中国台湾、印度只用 C/N 来规定堆肥的腐熟度标准, 加拿大除 C/N、发芽率等指标外, 还结合堆肥温度的变化, 规定了堆肥的腐熟度标准, 美国加州则采用结合多个腐熟度指标的综合值来对腐熟度进行等级划分 (表 8-11)。

表 8-11 堆肥腐熟度/稳定度的控制标准比较

国家/地区	腐熟度/稳定度的控制标准		备 注
中国台湾	碳氮比 10~20		禽畜粪堆肥
	碳氮比 10~25		一般堆肥杂项堆肥
印度	碳氮比≤20		城市堆肥
日本	碳氮比≤40		树皮堆肥
	碳氮比≤20		下水污泥堆肥
	碳氮比≤20		粪尿污泥堆肥
	碳氮比≤10		食品污泥堆肥
	碳氮比≤30		家畜粪堆肥
加拿大	碳氮比≤25	耗氧速率<150mgO ₂ /(kgVS·h)	BNQ,CCME,AAFC,满足其中 2 项
	独行菜(<i>Lepidium sativum</i>)和萝卜(<i>Raphanus sativus</i>)种子发芽率≥90%,在堆肥和土壤混合物中的生长率与样品试验相比误差不超过 50%		
	堆肥经过嗜热阶段后,必须再放置至少 21 天;堆肥后温度不应再继续升高并高于周围环境 20℃		CCME,满足其中 1 项
	有机物降解必须达到 60%以上(质量);堆肥经过嗜热阶段后必须再腐熟至少 21 天		
	堆体经高温无害化阶段后,堆温不再上升,且必须再堆置至少 6 个月,堆体条件必须有利于好氧微生物的活动		
中国香港	A 组	B 组	必须分别通过 A 组及 B 组内的任何一项测试
	氨氮浓度≤700mg/kg干物质量 氨氮硝酸盐比≤3 挥发性有机酸浓度≤500mg/kg干物质量	碳氮比≤25 耗氧率≤0.4g O ₂ /(kgTS·h) 二氧化碳释 放率 ≤2gC/(kgVS·d)	

续表

国家/地区	腐熟度/稳定度的控制标准		备 注
美国加州	A 组	B 组	通过分析其中任一组组内指标的水平,按预定基准综合判定堆肥腐熟程度等级。
	C/N<25;CO ₂ 的变化;需氧量; Dewar 自放热实验	C/N<25;氨氮/硝态氮;氨气浓度;挥发性有机酸的浓度;植物测试实验	

3. 理化性质

堆肥成品作为一种肥料或土壤改良剂还应满足相应的养分指标、酸碱度、盐度等标准(表 8-12),避免对土壤环境带来消极影响。

表 8-12 堆肥(有机肥料/土壤改良剂用途)理化性质的控制标准比较

	有机质/%	全氮/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%	水分/%	pH 值	EC	备注
中国大陆	≥30	总养分≥5.0			≤30	5.5~9.0		
中国香港	>20	总养分≥4			25~35	5.5~8.5		
中国台湾	>40.0	1.0~4.0	1.0~6.0	0.5~5.0	<35.0	5.0~9.0		禽畜粪堆肥
	>50.0	0.6~3.0	0.3~5.0	0.3~4.0	<40.0	5.0~9.0		一般堆肥
	>50.0	0.6~5.0	0.3~6.0	0.3~4.0	<40.0	5.0~9.0		杂项堆肥
印度	≥16(TOC)	≥0.5	≥0.5	≥1.0	15~25	6.5~7.5	≤4.0dS/m	城市堆肥
	≥18(TOC)	≥1.0	≥1.0	≥1.0	15~25			蚯蚓堆肥
日本	≥70	≥1			≤60			树皮堆肥
	≥35	≥1.5	≥2		≤50	≤8.5		下水污泥堆肥
	≥35	≥2	≥2		≤50	≤8.5		粪尿污泥堆肥
	≥40	≥2.5	≥2		≤50	≤8.5		食品污泥堆肥
	≥60	≥1	≥1	≥1	≤70			家畜粪堆肥
欧盟	≥20	<2TS			<75			
澳大利亚		0.8~1.3	0.1~1.0		30~50	6.0~8.0		

第三节 堆肥厂化验室建设

堆肥厂化验室的主要职能是进行原材料的质量分析、成品质量的检测,目的是保证成品的质量,是实现堆肥质量控制的重要一环。建立化验室有利于企业把好原材料质量关,优化原料、成品的配方,降低生产成本、稳定成品质量,提高经济效益。

一、化验室检测主要内容

堆肥化验室检测的内容主要是堆肥原料及成品的理化特性、生物特性、有害成分这 3 方面的指标,见表 8-13。

如堆肥厂家为了保障肥料的使用效果,指导农民科学使用肥料,加大堆肥成品的销量,还应开展农化服务检测。此时,除检测堆肥原料及成品外,还应检测土壤和植株,以指导农民科学使用肥料,促进堆肥成品的销售。土壤检测项目可包括有机质、碱解氮、铵态氮、速效磷、速效钾、有效态铁、硫、锌、锰、硼、钼等指标。植株测试主要判断植株体内养分的丰缺,指

导后期追肥，最常用的检测指标有植物体内氮、磷、钾、铁、锌、锰、硼、钼全量的含量。

表 8-13 堆肥厂化验室检测项目与方法

编号	检测项目	常用检测方法
1	水分	真空烘箱法
2	pH 值	pH 计法
3	有机质	重铬酸钾容量法
4	全氮	H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ 消煮、凯氏定氮法
5	全磷	H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ 消煮、分光光度法
6	全钾	H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ 消煮、火焰光度法
7	有效活菌数	平板稀释法
8	蛔虫卵死亡率	漂浮法、卵数量测定法
9	粪大肠菌群数	MPN 法
10	发芽指数	发芽试验法
11	总汞	冷原子吸收分光光度法
12	总镉	石墨炉原子吸收分光光度法
13	总铅	石墨炉原子吸收分光光度法
14	总铬	火焰原子吸收分光光度法

注：1. 1~6 项为常规物化检测指标；7~10 为常规微生物学指标，配置较高的化验室可选作。

2. 重金属的测定仪器、操作要求较高，一般为委托测定。

这些常用指标的检测方法在一些专著中均有介绍，方法也容易掌握，在此不再赘述。但这些数据的运用需借助于大量田间试验结果才能有针对性的准确指导施肥。

二、化验室基本配置选择

化验室仪器设备的配置与化验室的检测项目、检测方法的选择息息相关。以下按化验室常规检测项目（表 8-14）与常规检测方法列出堆肥厂化验室的基本配置，供参考。

表 8-14 堆肥厂化验室仪器常规设备配置参考

序 号	设备名称	型号规格	数 量
1	天平	万分之一	1
2	天平	千分之一	1
3	烘箱		1
4	凯氏定氮仪		1
5	消化炉		1
6	火焰分光光度计		1
7	可见分光光度计		1
8	pH 计		1
9	电炉	500W	1
10	培养箱		2
11	超净工作台		1
12	摇床		1
13	恒温水浴锅		1
14	显微镜		1
15	蒸汽灭菌锅		1
16	配套生化试剂		1
17	玻璃器皿		1 组

三、化验室建设要求

化验室建设规模应根据企业的规模、开展检测的内容和样品数量的多少而定，要求最大限度发挥分析人员和配置设备的作用与效率。

1. 人员配置

化验室必须有明确的岗位设置与岗位职责，通常应配备责任心强的管理人员 1~2 名，同时根据化验室的工作量，配备分析测试人员若干名。测试人员应具备相应的专业知识与技能，一般可选聘土壤农化专业（农业资源环境专业）、微生物专业的合格毕业生，或经过专门培训并具有相应工作经历和经验的专业人员。

2. 布局要求

化验室面积应在 200m² 以上，通常可由样品处理室、样品储存室、天平室、电热室、分析室、制水室、储藏室、业务室等组成。化验室的布局和内部构造应根据主要化验工作的 workflows 进行设计和布置；总的原则是既应便于化验操作，又应防止相互干扰，保证仪器在最佳环境下工作。

3. 选址要求

化验室选址要尽量避开生活区，远离铁路、公路主干线、车间、锅炉房等振动源、辐射源、噪声源、磁场。化验室应为固定砖混结构房屋，光线充足、通风良好，防火、防潮。化验室窗户应防尘、防腐、保温、隔声，地面要平整，铺设水磨石或耐腐瓷砖。总的要求是既要防止化验室对周围人居环境产生影响，又要避免周围环境可能对化验室的检测产生影响，达到仪器设备正常运行所需的环境条件。

4. 管理要求

为了保证检测质量，应从全面质量管理的观点出发，对影响检测结果的各种因素（包括人、物、环境的因素）进行控制，要求检验单位制订基本的工作制度。制订岗位责任制，明确各岗位职责；制订药品管理制度，做到药品分类专人管理；制订化验室卫生制度，保证化验室清洁整齐；制订“三废”处理办法，保障检验人员身体健康并使排放废气、废液符合环保要求；制订化验室安全措施，做好防火、防爆、防盗工作；制订检验人员培训计划，提高检验人员的业务素质；制订检验人员廉政办法，保证贯彻质量标准和法规。

四、化验室分析质量控制

分析质量控制过程是从样品进入化验室后，从取样、制备到分析、结果计算的整个过程。在这个过程中，误差（测定值与真值之间的差别称为误差）的来源很多，化验室的质量控制的目的是要把分析测试的误差控制在容许的范围内，保证分析结果有一定的精密度和准确度，使分析数据在给定的置信区间内能够达到所要求的质量水平。表 8-15 列出了误差的类别、特征、来源及控制方法。

表 8-15 误差的基本知识

误差分类	误差特征	误差来源	误差控制方法
系统误差	测定值总高于真值或总低于真值	方法误差、仪器试剂误差、环境误差和个人操作误差	寻找系统误差源，通过校正加以消除
随机误差	测定值有时大有时小，这种误差的出现符合正态分布	无法控制的因素	通常可通过增加测量次数，求其平均值，使几次测量的随机误差在平均值中部分抵消而降低
粗差	与检测人员密切相关	操作分析人员责任心不强、操作不当等原因犯了不应有的错误造成的	加强岗位职责培训、操作技术培训，提高测试分析人员的责任意识和技术水平

（一）检测过程质量控制

检测工作是整个化验工作中的关键环节，它的好坏直接影响检验工作质量，为了确保检测数据准确可靠，必须做到以下几个方面。

（1）化验室必须收集与本室业务范围内的有关标准、规程、规范等技术文件，保证检测工作依法进行。

（2）对检测样品要进行登记，保留样品需封签（委托检验、监督检验、仲裁检验需要委托方或当事双方签名、加盖公章进行封签）。样品保管期要符合有关规定要求。

（3）检测前后对仪器设备进行检查，防止使用不合格的仪器，从而保证检测结果的准确可靠。

（4）检测原始记录要完整。它包括：原始记录应有一定格式，原始记录要求记录检测的全过程，以便在必要时能够判断检测工作在哪个环节可能出现差错，同时根据原始记录提供的信息，能在一定准确度范围内重复所做的检测工作。原始记录不准用铅笔填写，不要做随意修改，若需修改在作废处划两条水平线，将正确的数据填写在上方，必要时须注明更改人。检测过程及数据处理需进行校核。

（5）检验报告是化验室的最终“成品”，必须保证其内在和外观质量。检验报告要采用统一格式，填写要完整，检验人员、审核人、批准人要签名，文字简洁、字迹清晰、数据准确，检验报告不允许更改；检验结论要准确，可按相关规定办法进行判定。

（6）实物样品、样品登记、原始记录、检验报告四者的编号要统一。样品登记、原始记录、检验报告要妥善保存。

（7）当发出的检验报告单出现错误，应重新签发一份报告，注明所代替的检验报告编号，并将原检验报告收回存档。

（二）分析质量控制方法

化验室质量控制包括化验室内质量控制、化验室间质量控制。化验室内质量控制是分析人员对质量进行自我控制的过程；化验室间质量控制是一种由检查机构或中心化验室进行的外部控制。其控制方法分别介绍如下。

1. 化验室内分析质量控制方法

（1）正确掌握基本实验 基本实验包括空白试验值的测定、标准曲线的绘制与线性检验、质量控制图的绘制等。正确掌握这些基本实验是进行样品分析的前提。在检测方法确定之后，分析人员必须反复多次进行基本实验的操作练习，以便透彻了解其特性和正确掌握实验条件，再进行样品分析。

（2）分析质量过程控制

① 空白实验。在测定样品的同时，一批测定至少要有两个空白试验值，平行测定相对偏差一般不得大于 50%。影响空白值的主要因素有纯水质量、试剂纯度、试液配制质量、玻璃器皿的洁净度、精密仪器的灵敏度和精密度、化验室的清洁度、分析人员的操作水平和经验等。

② 精密度控制。每批样品随机抽取 10%~20% 的样品进行平行双样测定（5 个样品以下的，应增加为 100% 的平行），根据平行双样的结果判断有无误差，估计实验的精密度，同时用平均值报告结果，以减少随机误差。平行双样相对偏差不大于 10%，最好是 5%；同批检测或一段时间累计检测平行双样合格率大于 95%。

③ 准确度控制。质量控制样品是采用与常规样品相同的制备和分析方法获得的已知参考值的物质。它可以是标准物质、标准参考物质或机构内部控制样。每批样品测定的同时至少测定一份质控样。如果质控样的测定结果落在已知参考值的两个平均数标准差的范围（平

均数±2×标准差)内,说明质控样品在控制中,否则,说明质控样是失控的,应检查原因,经改正后重测该批次的样品。

(3) 分析后质量控制 测定完成之后,要检查数据记录、录入和计算有无差错;数据的有效数字应用是否正确。此外,质量控制图、加标回收率的应用等都是经常采用的内部控制方法,这里就不再一一介绍。

除以上介绍外,质量管理人员应该定期对分析人员进行考核。

2. 化验室间分析质量控制方法

化验室内的质控方法同样适合于化验室间的质量控制。由检查机构或中心化验室给各参加化验室每年发放一至几次质控样品(含量或浓度在一定范围内保密),由各化验室报告分析结果,再由中心化验室或检查机构进行统计分析,将结果反馈到各个化验室,从而发现系统误差和评价各个化验室的技术水平,是一种有效的质量控制方法。

第四节 堆肥质量评价简易方法

影响堆肥质量的因素很多,鉴于堆肥中的养分含量、有毒有害物质成分可按标准方法测得,鉴于堆肥腐熟度评价在堆肥成品质量评价中的重要地位,以下介绍常见的堆肥腐熟度简易评价方法,供堆肥操作管理人员参考。

一、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,通过观察堆肥物理性状及堆积情况,对堆肥腐熟度进行评分,从而实现量化判别的方法。

该方法的评分标准见表 8-16。对照表 8-16 中各项目的评分标准对堆肥进行现场评价打分,合计总得分,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。

表 8-16 现场腐熟度判定标准

颜色	黄~黄褐色(2),褐色(5),黑褐色~黑色(10)
形状	保留实物的形状(2),严重崩解(5),无法辨别(10)
臭气	粪尿味强(2),粪尿味弱(5),堆肥味(10)
水分	用力攥紧从指缝滴出 70%以上(2),用力攥紧粘住手掌 60%左右(5),用力攥紧也不粘手 50%左右(10)
堆积中的最高温度	50℃以下(2),50~60℃(20),60~70℃(15),70℃以上(10)
堆积时间	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)
翻堆次数	2 次以下(2),3~6 次(5),7 次以上(10)
强制通气	无(0),有(10)

注:()内所示为分数。
资料来源:日本有机资源学会:堆肥化手册(2003);堆积时间根据国内情况有所修改。

二、发芽试验法

种子发芽试验由于其操作简便,极具实用意义,所以是评价堆肥腐熟度的最终和最具说服力的方法;但此法至今还未形成统一的发芽试验操作规范,以下介绍一种较为常用的简易

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, 摇匀后即为堆肥浸提液, 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。

如在试验过程中加测种子的根长, 可计算种子发芽指数 (GI), 如下公式:

$$GI = \frac{A_1 A_2}{B_1 B_2} \times 100\%$$

式中, GI 表示种子发芽指数; A_1 表示有堆肥提取液培养种子的发芽率; A_2 表示有堆肥提取液培养种子的总根长; B_1 表示去离子水或蒸馏水培养种子的发芽率; B_2 表示去离子水或蒸馏水培养种子的总根长。

由于种子发芽指数综合反映了堆肥产品的植物毒性, 被认为是最敏感、最可靠的堆肥腐熟度评价指标。种子发芽实验不受堆肥物料的影响, 而且操作和测定非常简便, 在研究中, 越来越多的学者采用 GI 值作为评价堆肥腐熟度的重要指标之一, 可作为堆肥产品腐熟度评价的推荐指标。一般情况下, GI 大于 50% 可认为堆肥对种子基本无毒性, GI 大于 85% 可认为完全无毒性, 堆肥完全腐熟。

三、滤纸层析法

该法适用于生活垃圾堆肥腐熟度的判定, 不适用混入了木质类物质的堆肥。

(1) 滤纸制作 把一张比培养皿稍大的滤纸放入 0.5% AgNO_3 溶液中浸 5min 后捞出自然风干, 从滤纸边缘朝滤纸圆心方向剪一条宽约 0.8cm、长为滤纸半径的长条, 并保持与滤纸相连, 将长条折起, 使之与滤纸保持 90°。

(2) 浸提液制备 称取 0.2g 的堆肥干样于烧杯中, 加入 20mL 0.1mol/L 的 NaOH 溶液浸提 3h 后用滤纸过滤。

(3) 层析实验 取约 10mL 的滤液于培养皿中, 在培养皿上面放上滤纸, 长条方向向下, 根据需要可把长条减去一部分, 但始终保持长条末端浸于滤液之中, 滤液通过长条的吸附作用向滤纸四周扩散。

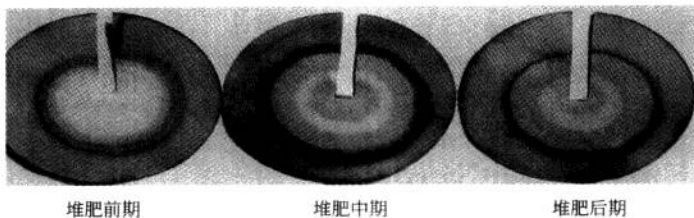
(4) 结果判定 扩散形状与腐熟度有一定的相关性; 如果滤纸表面的扩散形状呈波纹或锯齿等不规则状态, 表明堆肥腐熟好, 相反, 如果扩散边缘呈圆滑的弧形, 则表明堆肥腐熟不好。

四、塑料袋法

选用宽 20cm、长 30cm 左右的聚乙烯袋, 将 300g 左右的堆肥放入袋中, 将袋中的空气赶出, 用橡皮圈将袋口扎紧, 放置在室内 3~4d, 如果可能最好是在 25℃ 的室温下, 观察聚乙烯袋膨胀情况。放入堆肥的袋如果膨起, 则为未腐熟, 如果不鼓起则为腐熟。

五、蚯蚓法

本法选用容器若干 (以不透明的塑料杯为好)、黑色布数块 (遮光用)、蚯蚓数条 (体长



50mm 以上的淡红色蚯蚓为好)。在杯子中装入约 1/3 的堆肥，调节堆肥水分至 60%~70% (手紧握就有水滴渗出)。把蚯蚓放入杯中后，观察蚯蚓的行动、颜色变化。容器用黑布覆盖，或放在遮光室内，室温以 20~25℃ 为宜。判别结果及依据为：①未腐熟，放入后蚯蚓立即想逃离，1 天后死亡；②半腐熟，放入后，蚯蚓即刻有不适感，1 天后颜色变化，行动变缓；③完全腐熟，放入后立即潜入堆肥中，1 天后也无变化，呈健康状态。

用此方法要注意调节水分，堆肥湿度过大，蚯蚓往往以为要降雨，即使在亮处，有时它们也会外逃。另外，蚯蚓喜爱中性、弱酸性土壤，因此判别腐熟度时要用试纸测定并记录 pH 值。

六、Solvita 测试法

由美国 Woods End 研究化实验室提出并申请了专利，目前已广泛应用了二十几年，有 13 个国家采用了该方法，瑞典、丹麦、西班牙、挪威还将该方法作为官方测试方法。该测试方法以现代凝胶技术为基础，操作简易、快速，可在 4h 内得出结论。其具体操作如下：

取一定量的肥料样品装入 Solvita 测试瓶直至达到标示线，敞口静置 1h，然后插入 CO₂ 和 NH₃ 指示棒，盖上瓶盖，置于阴暗处 4h，然后取出指示棒和标准色卡比色确定 CO₂ 和 NH₃ 指数，数值从 1 (生堆料) 到 8 (腐熟堆肥)，读数越大则腐熟程度越好，然后对照堆肥腐熟度等级对照表 (表 8-17) 确定堆肥腐熟度等级。

表 8-17 Solvita 堆肥腐熟度试剂盒腐熟度等级对照表

指标	CO ₂	高 → 低							
		1	2	3	4	5	6	7	8
低 ↑ 高	等级	1	2	3	4	5	6	7	8
	5	1	2	3	4	5	6	7	8
	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	1	1	1	2	3	4

七、Dewar 自热测试法

基于欧洲最初的自热测试标准方法，由 Woods End 化实验室总结整理。具体步骤为：先调节测试样品水分，然后将样品放入一个特制的规格为 2L 的绝热真空瓶中，插入温度计，温度计距瓶底大约 5cm，绝热真空瓶置于室温 (20~25℃) 下至少 5 天，最多不超过 10 天，每天记载温度变化，并找出其间的最高温度，再根据腐熟度登记对照表判断堆肥是否腐熟。该方法的缺点是测试结果只能区分腐熟和未腐熟，时间较长，但测试结果显示的是很直观的温度，具有很强的操作性。测试结果分为 1~5 五个等级来评价 (表 8-18)。

表 8-18 Dewar 自热测试法的腐熟度等级对照表

温度增量/℃	稳定度等级	等级描述	堆肥属性
0~10	5	非常稳定、陈化堆肥	腐熟堆肥
10~20	4	一般稳定、熟化堆肥	
20~30	3	物料仍在分解、活性堆肥	活动堆肥
30~40	2	未腐熟、活性高的堆肥	
40~50 以上	1	新鲜、生堆肥	新鲜堆肥

注：温度增量指升高温度与环境温度之差。

八、明胶测试法

将约 250mL 堆肥样品放入特制的杯中，把一个明胶测试器塞入其中，并将杯子密封，4h 后，将明胶的颜色和对应的颜色表对照比对，判定堆肥的腐熟等级。测试器上的化学明胶可以和杯中堆肥释放的 CO_2 反应并改变颜色，颜色对照表分为从 1（生堆料）到 8（腐熟堆肥）共 8 个级别。

九、耗氧量分析法

在好氧堆肥过程中，好氧微生物在分解堆肥有机物时，吸入氧气，放出二氧化碳。堆肥未腐熟，易分解的有机物含量较高，堆肥微生物分解有机物时会消耗大量氧气；堆肥越腐熟，可利用的易分解有机物含量越低，微生物活性越不活跃，消耗氧气量也越低；堆肥充分腐熟时，易分解有机物的含量几乎为零，耗氧量也接近零。所以，可利用耗氧速率判断好氧堆肥的腐熟度。目前已有大量的商品化氧传感器可用来直接测定耗氧量的大小，使腐熟状况变为实时、在线监测，对堆肥技术的实际推广具有重要意义；但此类产品目前仍存在价格相对昂贵，使用寿命偏短的不足。

十、二氧化碳探测管法

将 500g 的堆肥样品放入广口瓶中，用橡胶瓶塞密封瓶口，4h 后通过注射针抽取瓶上部空间由堆肥所释放的 CO_2 气体。抽取出的气体用专门的 CO_2 探测管测定浓度，探测管中置有遇 CO_2 就会变色的化学试剂，能非常直观精确地读出 CO_2 的浓度。

参 考 文 献

- [1] 顾卫兵, 乔启成, 杨春和等. 有机固体废弃物堆肥腐熟度的简易评价方法. 江苏农业科学, 2008, (6): 258~259, 294.
- [2] 江荣风, 桂熙娟. 测土配方施肥化验室建立之二 化验室的分析质量控制. 中国农资, 2006, (5): 60~61.
- [3] 江荣风, 桂熙娟. 测土配方施肥化验室建立之一 测试方法与基本配置. 中国农资, 2006, (3): 76~77.
- [4] 李季, 彭生平. 堆肥工程实用手册. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 林日强, 谢小玲, 李海锋等. 广东省测土配方施肥土壤化验室建设规范 (试行). 广东农业科学, 2009, (4): 113~118.
- [6] 牛俊玲, 崔宗均, 李国学等. 城市生活垃圾堆肥成分的变化及腐熟度评价. 农业环境科学学报, 2006, 25 (1): 249~253.
- [7] 牛俊玲, 李彦明, 陈清. 固体有机废弃物肥料化利用技术. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [8] 王立旗. 谈谈化验室建设. 江西饲料, 2000, (1): 37~38.
- [9] Brinton William F, Evans Jr Eric, Droffner Mary L, et al. A Standardized Dewar Test for Evaluation of Compost Self-Heating. USA: Woods End Research Laboratory, 1999.
- [10] Woods End Research. Guide to sovita testing for compost matunty index. Compost New Manual, 2002, 11: 1~8.
- [11] 吴春芳. 白龙港污泥高温好氧堆肥腐熟度指标的探讨. 上海: 同济大学, 2007.

[12] 张亚宁. 堆肥腐熟度快速测定指标和方法的建立. 北京: 中国农业大学, 2004.

附件 本章引用的相关标准

地 区	标 准
中国大陆	NY 525—2002 有机肥料
	GB 18877—2002 有机-无机复混肥料
	商品有机肥料农业部行业标准(征求意见稿), 2010
中国香港	堆肥质量标准(适用于作有机肥料及土壤改良剂的堆肥), 香港有机资源中心, 2005.
中国台湾	肥料種類品目及規格(97年3月27日修正), 肥料管理法規彙編(97)行政院農業委員會農糧署補助, 中華肥料協會編印, p69-71
日本	共通品质基準. 社团法人日本有机资源协会. 欧美诸国与我国的有机资源的农绿地利用相关规制与标准, p85
印度	No. 11-3/83-STU, The Fertiliser (Control) Order 1985, Schedule-IV, Part-A, Specification of Organic Fertiliser. Government of India Ministry of Agriculture and Rural Development. New Delhi, India, 1985.
欧洲	Heavy metal limits in European compost standards. ORBIT Association, ECN, 2008, Final Report-Compost production and use in the EU. p68-70, < http://susproc.jrc.ec.europa.eu/activities/waste/documents/080229_EoW_final-report_v1.0.pdf >. Europe Eco-Label Standards Applicable to Composts. Brinton William F. An international look at compost standards[J]. Biocycle, 2001, 42(4): 74~76.
英国	BSI-PAS-100, Minimum compost quality for general use
加拿大	加拿大魁北克标准局(BNQ)、加拿大环境部长委员会(CCEM)、加拿大农业及农食品部(AAFC)堆肥标准. Setting the Standard: A Summary of Compost Standards in Canada. < http://www.compost.org/standard.html >
美国	California Compost Quality Council. Compost maturity index. (June 2001). < www.ccqc.org > e-CFR, Title 40: Protection of Environment; PART 503-Standards for The Use or Disposal of Sewage Sludge.
澳大利亚	AS4454 Australian Standard-composts, Soil Conditioners and Mulches. Landscaping Contractors and Suppliers. < www.biowise.com.au/factsheet_landscaping.pdf >

第九章

堆肥产品田间使用及效果

第一节 堆肥产品特点及使用原则

一、堆肥产品类型及特点

根据不同的划分指标，可将堆肥产品分成以下类别。

(1) 按照工业化程度不同可将其分为普通农家肥和商品有机肥。两者的主要区别是商品有机肥需要取得国家认可的有机肥料登记证书，并作为企业进入市场的基本条件和调控手段。而普通农家肥则只对原料进行了堆肥处理，但不成为一独立的企业，也不需要获得肥料登记，其产品或者为自家使用或提供他人作为有机肥的生产原料。

目前农家肥仍占有相当比例，缺少规范；商品有机肥则是工厂化生产经营单元，接受政府各级部门的管理与调控。

(2) 按照产品加工工艺不同可将堆肥产品分为普通有机肥、生物有机肥和有机-无机复合肥。普通有机肥是以各类有机废弃物为原料，经高温发酵充分腐熟后，生产出的商品有机肥料，呈粉末状或颗粒状。商品有机肥营养元素齐全，能够改良土壤，改善土壤理化性状，增强土壤保水、保肥、供肥的能力。

生物有机肥是指将特定功能微生物与经无害化处理、腐熟好的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥效应的肥料，应用于农业生产中，能发挥特定的肥料效果。生物有机肥中的有益微生物进入土壤后与土壤中微生物形成相互间的共生增殖关系，可抑制有害菌生长，同时有益菌在生长繁殖过程中会产生大量的代谢产物，可促进和调控作物生长，增强作物抗逆抗病能力，连年施用可大大缓解连作障碍。生物有机肥与化肥相比有表 9-1 所列的显著优点。

表 9-1 生物有机肥与化肥的比较

生物有机肥	化 肥
营养元素齐全	营养元素只有一种或几种
改良土壤	经常使用会造成土壤板结
提高产品品质	施用过多导致产品品质低劣
改善作物根际微生物群,提高植物的抗病虫能力	使作物微生物群体单一,易发生病虫害
能促进化肥的利用,提高化肥利用率	易造成养分的固定和流失

有机-无机复合肥料是指兼具有机和无机营养的复混肥料，是在有机肥基础上通过添加合适比例的无机营养，进一步加工生产出的肥料。有机-无机复混肥料具备长效与短效相结

合的特点,而且通常结合不同作物需要有不同的专用配方,因此往往受到农户的欢迎。

除此之外,堆肥产品随应用领域拓展还有不同的产品类型,如园艺基质、土壤改良剂、土壤修复剂、养殖垫料、水处理滤料等。

二、堆肥产品特点

1. 养分全面

堆肥含有丰富的有机物质,以及能够满足植物生长需要的 N、P、K、Ca、Mg 及微量元素,具有养分全面的特征。

2. 养分释放缓慢

相对于化肥,堆肥中的养分释放缓慢,可维持供肥的持续性和有效性。有时在初次施用堆肥时作物增产,土壤质量及作物品质改善可能效果不显著,但大量研究表明,长期施用有机肥对土壤及作物均有积极的效果,这是由于后茬作物也能利用前茬施入土壤中的养分;另外堆肥中含有多种糖类物质,施用有机肥可增加土壤中的各种糖类,在有机物的降解下释放出大量的能量,为土壤微生物生长、发育、繁殖活动提供能量。

3. 生物有效性高

堆肥产品往往含有大量的有益微生物及微生物产生的各种酶,堆肥施入土壤中可大大提高土壤酶活性,可显著改善植物根际微环境。

综合来说,堆肥产品应用于农业生产中有以下作用:第一,堆肥能显著提升土壤中有机质含量,培肥土壤,为作物提供必要的营养元素,提高氮肥利用率,促进作物产量和品质的提高;第二,堆肥中含有维生素、激素、酶、生长素、泛酸和叶酸等,可促进作物生长和增强抗逆性,提高植物生长活力,增强植物对病虫害的抵抗力;第三,堆肥是很好的土壤改良剂,可改善土壤质量,提高土壤的缓冲能力,降低土壤容重,促进土壤团聚体的形成,能有效克服因长期化肥投入造成的土壤板结、酸化问题;第四,堆肥施入土壤,经过一系列途径的分解,转化形成各种腐殖酸物质。腐殖酸是一种高分子物质,具有很高的阳离子交换及络合能力,对土壤中的重金属及其他有害物质有很好的吸附能力,起到对有害物质的钝化、减害作用,为粮食安全生产提供有利条件。

三、堆肥施用原则

1. 按照养分含量和作物养分需求推荐

土壤之所以能够生长植物是因为其中具备植物生长所需养分,土壤肥力是土壤主要功能和本质属性,它包括土壤有效养分供应量、土壤通气状况、土壤保水、保肥能力、土壤微生物数量等,土壤肥力状况高低直接决定着作物产量的高低。堆肥施用时应首先应根据土壤肥力确定合适的目标产量,一般以某地块前 3 年作物的平均产量增加 10% 作为目标产量;然后根据土壤肥力和目标产量的高低确定施肥量。对于高肥力地块,土壤有机质含量高, N、P、K 养分含量丰富,土壤供肥能力强,要适当减少底肥所占全生育期肥料用量的比重,增加后期多追肥的比重;对于低肥力土壤,土壤养分含量少,应增加底肥的用量,后期合理追肥,充分利用堆肥肥效缓慢的特点,使土壤肥力持久的同时,改善土壤质量。

2. 按土壤培肥改良需求推荐

不同质地土壤中有有机肥料养分释放转化性能和土壤保肥性能不同,应采取不同的施肥方案。砂土土壤肥力较低,有机质和各种养分含量均较低,土壤保水保肥能力差,养分易流失,但由于其良好的通气性可促进有机质的更快分解,增强供肥能力,应该每次少施多次追施以防止养分的流失,保证肥力供应的连续性及效率;黏土保水保肥能力强,但土壤硬实,

通气性差,有机质矿化速率低,故黏土地施堆肥可多施、早施,尽量施用肥料释放较快的堆肥产品。对于各种类型土壤,增施堆肥均能在一定程度上提高土壤腐殖质含量,改善土壤质量。

3. 根据堆肥产品特性进行施肥

由于堆肥产品的原料来源不同,组成不同,其养分含量也存在或多或少的差异,加之气候因素的影响,不同有机肥施入土壤中所起的作用也不同,因此,施肥应根据不同堆肥产品的特性进行,采取合理的方式,以达到堆肥中养分的合理利用。

以饼肥为原料的堆肥产品性能极佳,不仅含有丰富的有机质,还含有供作物利用的丰富的养分,对作物的品质改善起到积极的作用,是西瓜、花卉等经济作物的理想肥源。由于其养分含量较高,既可作底肥,也可作追肥,尽量采用穴施、沟施,每次用量要少。

以秸秆为主要原料的堆肥产品有机物含量较高,这类肥料对增加土壤有机质含量,培肥地力有明显的作用。秸秆在土壤中分解缓慢,此类堆肥产品适宜作底肥,可多施。但 N、P、K 等含量较低,较高的 C/N 不利于微生物对有机质的矿化及养分释放,故可与氮磷钾化肥配施。

畜禽粪便类有机肥的有机质含量中等,有人调查分析了我国 20 个省(市)主要畜禽粪便的养分含量,结果显示,鸡粪中 N、 P_2O_5 、 K_2O 、Zn、Cu 平均含量分别为 2.08%、3.53%、2.38%、306.6mg/kg 和 78.2mg/kg;猪粪中分别为 2.28%、3.97%、2.09%、663.3mg/kg 和 488.1mg/kg,氮磷钾养分含量丰富,该类堆肥产品由于其养分含量高,应少施,集中施,一般作底肥施用,也可作追肥。

4. 根据堆肥产品的有害物质含量推荐

堆肥产品虽然有许多优点,但也有一定的缺点,如养分含量较少,肥效迟缓,可能含有致病菌、有害微生物及重金属物质等,故堆肥的施用量不是越多越好,也要注意适当施肥,适量投入。有机肥的投入虽能增加土壤有机质含量,在一定程度上起到重金属的钝化作用,但过量投入的同时也会向土壤中带入重金属等有害物质。已有许多研究结果表明,猪粪、鸡粪等畜禽粪便中一些重金属的含量超标,以其为原料的堆肥产品农业施用势必存在一定的风险;另外,堆肥不加限制的过量施用可能导致土壤氮磷养分过量积累,造成环境污染。

第二节 不同堆肥产品田间施用技术

虽然不同的堆肥产品养分成分及含量不同,但概括起来,其使用方式有以下几个方面。

一、基肥施用

基肥,一般叫底肥,是在播种或移植前施用的肥料。它主要是供给植物整个生长期中所需要的养分,为作物生长发育创造良好的土壤条件,也有改良土壤、培肥地力的作用。

作基肥施用的肥料大多是迟效性的肥料,堆肥的养分作用持久,肥效施肥缓慢,是作底肥的理想肥料。堆肥由于其在土壤中移动性小,浅施不能使肥料与作物根系很好地接触,故应基肥深施,根据作物的需求,底肥中可适量添加氮磷钾肥。在翻耕时,将堆肥均匀施入,随着翻地将肥料翻入土中,这种方法简单,易操作,能够起到很好的改良土壤的目的,但由于其均匀施入土壤,不能全部甚至大部分接触根系从而被根系利用,因此,肥料利用率低,这势必造成多余的浪费,带来一定的经济损失,其次也容易产生土壤障碍。因此该方法比较适合于种植密度大的作物。

二、追肥施用

追肥是在作物生长发育期间,为及时补充作物生长发育过程中对养分的阶段性需求而采用的施肥方法,追肥能促进作物生长发育,提高作物产量和品质。堆肥不仅是理想的底肥,由于堆肥中含有大量的速效养分,虽不及化肥,但也可以用作追肥。人粪尿堆肥养分主要以速效养分为主,作追肥更适宜。堆肥用作追施的方法有土壤深施和根外追肥两种。土壤深施一般将堆肥施在根系密集层附近,施后覆土,以免造成养分挥发损失。根外追肥是将堆肥与10倍的水混合均匀,静置后取其上清液,借助喷雾器将肥料溶液喷洒在作物叶面,以供叶面吸收。

堆肥用作追肥时应注意以下几点:

(1) 有机肥中含有一定量的速效养分,但和化肥相比,速效性较差,因此用堆肥作追肥一般应比用化肥作追肥时间提前几天,使其适应植物的生长需要供应养分。

(2) 追肥的目的是为了满足作物生长的营养需求,但不同堆肥产品的养分组成及含量不同,这就可能造成追肥后某种元素达不到作物的生长需求。因此当出现某种元素缺乏时,应该施用适当的单一元素化肥加以补充。

(3) 应当根据环境的变化调整追肥的施用量。例如地温低时,微生物活动小,有机肥料养分释放慢,可以把施用量的大部分作为基肥,减少追肥的投入,充分利用堆肥中的有效养分;当地温高时,微生物活性增强,如果基肥用量过多,势必造成过量分解而远远超过作物的需求,造成白白的浪费甚至产生烧苗现象。因此在这种情况下,应当增加追肥的用量,减少底肥的用量,以达到作物对肥料的高效利用。

三、用作种肥

种肥是指播种同时施下或与种子拌混的肥料,它可保障作物种子发芽时对养分的需求。

这时候植物刚发芽,根系还不发达,无法从大范围的土壤中有效地吸收肥料,种肥即成为最经济有效的施肥方法。

种肥的施用方法有多种,如拌种、浸种、条施、穴施等。拌种是用少量的清水,将有机肥溶解或稀释,喷洒在种子表面,边喷边拌,使肥料溶液均匀地沾在种子表面,阴干后播种的一种方法。浸种是把肥料溶液溶解或稀释成一定浓度的溶液,按液种1:10的比例,把种子放入溶液中浸泡12~24h,使肥料液随水渗入种皮,阴干后随即播种。开沟或挖穴后将肥料施入耕层3~5cm的沟、穴中,再在肥带附近播种,种肥距保持在3cm以上。用作种肥的肥料要求养分释放要快,不能过酸、过碱,肥料本身对种子发芽无毒害作用,堆制后充分腐熟的有机肥是很好的种肥。

四、用作育苗肥

目前农业生产中许多作物栽培,均采用先育苗然后再定植的方法。幼苗对养分的需求量虽小,但养分不足不能形成壮苗,不利于移栽与植株的健康生长。充分腐熟的有机肥料,养分释放均匀,养分全面,是育苗的理想肥料。一般以10%的发酵充分的发酵有机肥料加入一定量的草炭、蛭石或珍珠岩,用土混合均匀做育苗基质使用。为了育成壮苗,就要有适合育苗的营养土,要求所含各种养分丰富,具有疏松、吸水、吸热等性能,为幼苗生长发育提供充足的养分及有利根系发育的环境条件。育苗营养土多以大田土壤为基础,加入一定量的马粪、大粪干及其他有机肥料,其配合比例都是按体积计算。虽然在当今农业科技进步与普及情况下,各地配置营养土仍不会有统一的配方,主要是根据当地配制营养土的原料资源而定。大约有3种类型:①以大田土为主,加入人、畜、禽粪肥,其配比量据肥料质量而定,

大田土与肥料之比 (8:2)~(6:4), 配好的营养土容重约 $1\text{g}/\text{cm}^3$; ②在大田土中加入一部分草炭, 再加入一定量的堆肥, 配比量为大田土:草炭:堆肥=6:3:1, 配成的营养土较为疏松, 容重约 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水、吸热、保肥性能好, 育出的苗比没加草炭的好, 苗粗壮, 干物质重, 根多, 定植后缓苗快; ③不用菜田土, 采用草炭加蛭石育苗, 这样可避免使用菜园土可能带有的病菌危害幼苗, 并扩散到其他菜田, 草炭与蛭石的配比量可为 5:5, 加入一定量的堆制有机肥或无机肥。这种营养土更加疏松, 容重约 $0.25\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水、吸热、保肥、通气等性能更好, 育出的苗壮, 移苗定植时不易松散, 更有利缓苗, 新根生长快。

一般掌握得当, 这三种配制成的营养土都可满足育好壮苗的要求。但随着近年栽培茄果类、瓜果蔬菜的面积增加, 需要育苗的量增加, 相应育苗营养土的需要量也增多, 会使配制营养土的资源不足, 尤其是传统施用的马粪、大粪干等物质来源较过去为少, 所施有机肥料的质量和用量又有较大差异, 故近年多有以施用商品肥如烘干鸡粪及尿素、磷酸二铵等肥料以补不足, 但这类肥料不仅养分含量高, 而且多为速效性养分, 如使用量不当, 会发生肥过多烧苗或肥不足苗弱的事情。

五、有机营养土施用

在温室、塑料大棚栽培条件下, 多种植一些蔬菜、花卉和特种作物, 这些作物经济效益相对较高, 为了获得更高的经济收入, 应充分满足作物生长所需的各种条件, 常使用无土栽培。

无土栽培是以草炭或森林腐叶土、蛭石等轻质材料做育苗基质固定植株, 让植物根系直接接触营养液, 采用机械化精量播种一次成苗的现代化育苗技术。传统的无土栽培基质上往往添加无机肥作为肥源, 而实验表明在基质中定期添加堆肥物质不但可以为植物的生长供应营养物质, 而且在一定程度上降低了生产成本, 是化肥营养液很好的替代品。营养土栽培的配方为: 0.75m^3 草炭、 0.13m^3 蛭石、 0.12m^3 珍珠岩、 3.00kg 石灰石、 1.00kg 过磷酸钙 (20%五氧化二磷)、 1.5kg 复混肥 (15:15:15)、 10.0m^3 腐熟的堆肥。

六、滴灌施肥

灌溉施肥是通过灌溉系统进行施肥, 把农作物生长发育的两个基本因素水分和养分相结合建立的灌溉和施肥一体化的技术系统。

灌溉施肥的特点是水肥同时供应, 可发挥二者的协同作用; 将肥料直接施入根区, 降低了肥料与土壤的接触面积, 减少了土壤对肥料养分的固定, 有利于根系对养分的吸收; 灌溉施肥持续的时间长, 为根系生长维持了一个相对稳定的水肥环境; 可根据气候、土壤特性、各种作物在不同生长发育阶段的营养特点, 灵活地调节供应养分的种类、比例及数量等, 满足作物高产优质的需要。

灌溉施肥可以提高肥料的利用率, 节省肥料的用量; 节省施肥劳力; 灵活、方便、准确掌握施肥时间和数量; 养分吸收速度快; 改善土壤的环境状况; 特别适合微量元素的应用; 发挥水、肥的最大效益; 有利于保护环境。

滴灌施肥对肥料特性的要求有: 溶液中养分浓度高; 田间温度下完全溶于水; 溶解迅速流动性好; 能与其他肥料相容; 不会引起灌溉水 pH 值的剧烈变化。

灌溉施肥系统一般可提供统一的有机肥料施用方法, 根据作物生长的养分及水分需求, 随着灌溉水的施入, 有机肥中的养分也会溶入土壤中。

七、有机肥全层施肥与集中施肥

有机肥料一般做基肥施用, 施用方法一般采用两种方式, 即全层施入和集中施入。全层

施入是将有机肥撒满地表，通过耕地使有机肥施入全土层中，这种施肥方法在有机肥较多（每亩 4000~6000kg）或者作物密度较大的情况下可以应用。集中施入土壤中就是通过开沟把堆肥施入作物的根系附近，这种施肥方法在肥料较少（每亩 1500~3000kg）和土壤肥力比较低的情况下，值得采用。

一般来说，养分含量较高的堆肥产品应采用穴内施肥或挖沟施肥的方法，使其与植物的根系充分接触，达到养分高效利用的效果。集中施肥不是离定植穴越近越好，而是根据堆肥的特性及作物生长，根系活动的情况而定，在离定植区一定距离处施肥，能够局部改善土壤理化性质，从而更有利于植物根系的生长、伸长，产生对堆肥中养分有效吸收的良性循环。

堆肥的施用应该兼顾不同元素的特点，从而有针对性地进行作业。如磷元素是作物生长发育过程中不可缺少的元素，施入土壤的堆肥产品中有效磷含量较高，但易被土壤固定，移动性也较差，养分供应因此会降低，故堆肥产品的集中施用能有效降低土壤对磷素的固定，利于植物的吸收。

集中施肥在一定程度上可降低肥料的投入量，节省成本，但耗费人力、物力与时间，不利于大面积推广。堆肥可结合深耕施用，深耕可扩大根系活动范围及养分吸收空间，促进扎根、壮苗，同时又能很好的利用深层土壤中的养分，减少养分的损失；另外，根据作物的养分需求，将 P、K 肥与有机肥一起堆制腐熟施用，结合集中施肥，能够起到更加理想的效果。

第三节 堆肥在粮食生产中的应用效果

下面以中国农业大学曲周试验站小麦-玉米长期定位试验为例介绍堆肥产品的农田施用效果。

一、堆肥原料

EM 堆肥原料：秸秆（麦秸、玉米秸等），畜禽粪，棉仁饼，糠麸，红糖及 EM 原液。

传统堆肥材料：除不加红糖及 EM 原液，其余原料与 EM 堆肥一样。

堆肥堆制方法是将经过筛选的原料充分混匀后，分别按传统堆肥的方法和 EM 微生态工程技术进行堆制发酵制成堆肥。

二、试验地基本情况

试验地点在中国农业大学曲周试验站，试验站位于河北省邯郸市，曲周县北部，为黑龙江地区上游，属内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化低产地区。这里属温带半湿润季风气候区，光、热、水等气候资源比较丰富，但受季风的强烈影响，冬春寒冷干燥，夏季温暖多雨，降水少，蒸发强烈，春旱尤为严重，可一年两熟。试验地为长期定位试验，试验地自 1993 年开始按设计种植。

本试验于 1993 年开始，供试土壤为改良后的盐化潮土，试验地基础土壤肥力水平基本相同。种植制度为冬小麦—夏玉米一年两熟制。

三、试验设计

试验共 6 个处理，历年每季作物施肥量如下。

处理 1：每公顷 EM 堆肥 15t；

处理 2：每公顷传统堆肥 15t；

处理 3: 每公顷 EM 堆肥 7.5t;

处理 4: 每公顷传统堆肥 7.5t;

处理 5: 当地一般施肥;

CK: 不施肥, 仅用 EM 稀释液浸种, 作为对照 CK。

(注: 当地施肥是指每年每公顷 0.75t 碳酸氢铵, 0.3t 尿素, 0.75t 过磷酸钙)

田间排列, 随机区组, 三重复, 小区面积 10.5m×3m, 种植冬小麦、夏玉米两季作物, 先耕地, 划定小区, 按各处理施入肥料, 人工再翻地, 然后播种; 夏玉米先播种, 定苗后, 按各处理施入肥料。小区一经划定, 不再变化。均按当地管理水平统一管理, 在所有 EM 处理的小区内, 全生育期喷施 EM0.2% 稀释液 3 次, 每次每亩 EM 原液 1L, 没有 EM 小区喷等量清水。

四、结果与分析

(一) 不同施肥对土壤理化环境的影响

1. 不同施肥处理对土壤容重和总孔隙度的影响

土壤物理环境首先影响作物的水分和空气状况, 但也直接影响养分的供应和保蓄。土壤容重是用来表示单位原状土壤固体的重量, 是衡量土壤松紧状况的指标。土壤容重与土壤肥力关系密切, 同时也对作物生长有重要作用。土壤容重测定采用环刀法。

从表 9-2 和表 9-3 可以看出, 2003 年的各处理的土壤容重和孔隙度基本上层土好于下层土。0~20cm 土壤容重, 处理 1 比处理 2 低 1.6%, 处理 3 比处理 4 低 5.8%; 有机堆肥处理比单施化肥处理低 3.1%~8.7%, 有机肥处理 1~处理 3 比 CK 低 1.2%~3.3%; 处理 4 与对照之间出现异常, 分析其原因可能是取土方法不对, 或者对土样进行试验时, 过程出现差错, 有待进行重新观察。相应各处理的土壤总孔隙度也是处理 1 最好, 有机肥处理比化肥处理高 3.8%~10.7%, 有机肥处理 1~处理 3 比 CK 高 1.8%~3.6%。20~40cm 层面上, 由表 9-3 可看出, EM 有机堆肥与等量有机堆肥处理之间无显著差异, 有机堆肥处理比化肥处理和 CK 分别低 1.5%~3.2%、2.4%~4.1%; 土壤总孔隙度, 有机肥处理比处理 5 和 CK 分别高 1.9%~4.0%、3.0%~5.1%。总的来说, 以 EM 有机堆肥处理 1 的土壤容重和总孔隙度效果最好。

表 9-2 2003 年 0~20cm 不同处理后的土壤容重和总孔隙度

处理	0~20cm 容重/(g/cm ³)	比 CK 增减	0~20cm 总孔隙度/%	比 CK 增减
CK	1.377	—	48.06	—
1	1.331	-0.046	49.77	+1.71
2	1.353	-0.024	48.93	+0.87
3	1.332	-0.045	49.73	+1.67
4	1.414	-0.037	46.65	-2.40
5	1.459	+0.082	44.95	-3.11

表 9-3 2003 年 20~40cm 不同处理后的土壤容重和总孔隙度

处理	20~40cm 容重/(g/cm ³)	比 CK 增减	20~40cm 总孔隙度/%	比 CK 增减
CK	1.471	—	44.49	—
1	1.411	-0.060	46.75	+2.26
2	1.417	-0.054	46.54	+2.05
3	1.430	-0.041	46.02	+1.55
4	1.436	-0.035	45.81	+1.32
5	1.458	-0.013	44.97	+0.48

以上说明，一方面有机堆肥是团粒结构的胶结剂，能够改善土壤孔隙状况，促进团粒结构形成，降低土壤容重；另一方面，生物有机堆肥中的大量有益菌能够产生大量的多糖物质，这些多糖物质大都属于黏胶成分，与植物黏液、矿物胶体和有机胶体结合在一起，可以改善土壤团粒结构，增强土壤的物理性能。二者结合起来，表现出最优的改土效果。

2. 不同施肥处理对土壤有机质的影响

有机质是土壤的重要组成部分。土壤有机质在土壤肥力上的作用很大，有机质的具体作用在前面已经提到，在此不做详细介绍。

由表 9-4 两季作物生育期内平均有机质含量的数据可看到，冬小麦生育期内 0~20cm 土层各处理土壤有机质平均含量由大到小依次为：处理 1>处理 2>处理 3>处理 4>处理 5>CK。EM 有机肥处理比等量传统有机堆肥高 1.7%~1.8%，有机堆肥处理比单施化肥处理 5 高约 55.0%~65.5%，比 CK 高 91.9%~104.8%。处理 1 比处理 2、处理 5 和 CK 高 1.8%、65.5%和 104.8%。夏玉米生育期内 0~20cm 土层各处理土壤有机质平均含量由大到小为：处理 1>处理 2>处理 3>处理 4>处理 5>CK。EM 有机肥比等量传统有机堆肥高 5.5%~5.8%，有机堆肥比单施化肥处理 5 高 38.0%~65.6%，比 CK 高 76.9%~112.3%，处理 1 比处理 2、处理 5 和 CK 高 5.5%、65.6%和 112.3%。20~40cm 土层各处理土壤有机质平均含量由大到小为：处理 1>处理 2>处理 3>处理 4>处理 5>CK。EM 有机肥比等量传统有机堆肥高 1.9%~6.1%，有机堆肥比单施化肥处理 5 高 10.4%~37.1%，比 CK 高 20.8%~50.1%。处理 1 比处理 2、处理 5 和 CK 高 1.9%、37.1%和 50.1%。

表 9-4 作物整个生育期不同施肥处理土壤有机质的平均含量 单位：%

处 理	作 物					
	冬小麦		夏玉米			
	0~20cm	增减	0~20cm	增减	20~40cm	增减
CK	0.908	—	0.913	—	0.615	—
1	1.860	+0.952	1.938	+1.025	0.923	+0.308
2	1.827	+0.919	1.837	+0.924	0.870	+0.255
3	1.772	+0.864	1.708	+0.795	0.757	+0.142
4	1.742	+0.834	1.615	+0.702	0.743	+0.128
5	1.124	+0.216	1.170	+0.257	0.673	+0.058

由此可看出，单施化肥没有改善土壤肥力的效果，而有机堆肥对长期保持土壤肥力有关键作用，EM 生物有机堆肥的效果比较突出，这是因为在有机肥中添加微生物制剂，一方面肥料中的有机质补充到土壤中，可以提高土壤有机质，另一方面其中的有益微生物大量繁殖，在其生命活动中合成大量有机化合物，促进土壤有机质的合成，这些都可以增加土壤有机质的含量。

(二) 不同施肥处理对土壤生物（蚯蚓）数量的影响

土壤蚯蚓是在农田中常见的土壤动物，农民的长期务农经验告诉我们，一般来说越是肥沃的土壤其中蚯蚓的数量越多，这是因为蚯蚓吞食有机物料，经过消化系统的作用，能够改善土壤理化结构，提高保水、保肥的性能，增加土壤中微生物含量及活性，适合于农作物的生长发育。同时由于蚯蚓通过粉碎有机物料，加快了土壤微生物对有机物料的分解速度，间接地加快了土壤养分的转化速率，能及时供应作物生长所需的养分。

从表 9-5 研究结果得出，在作物生长期调查土壤蚯蚓数量变化中，施用 EM 生物有机肥料的处理和传统有机肥料的处理以及施用化肥处理在提高土壤蚯蚓数量方面，具体表现为：

EM1000kg 处理 1 秋季蚯蚓密度比春季高出近 1.5 倍, 传统堆肥处理 2、EM500kg 处理 3、传统堆肥处理 4、化肥处理 5 和对照 CK 处理蚯蚓密度分别比春季高出 73%、62.3%、111%、11.3% 和 47.9%。全年土壤蚯蚓 EM1000kg 处理 1 平均值比其他处理分别高出 56.3%、52.2%、126.8%、226.9%、580.3%, 施用有机物料的处理比施用化肥的处理蚯蚓数量高, 处理 4 比化肥处理 5 高 44.1%。化肥处理比对照处理高 108%。由有机堆肥的处理和当地一般施肥的比较可以得出结论: 施用有机肥料提高了土壤的有机质, 能够改善因长期施用化肥造成的土壤板结、透气性的问题, 从而有利于土壤中蚯蚓的生存活动。作物根部是作物吸收土壤养分和水的主要部分, 由于土壤蚯蚓大部分生活在作物根层, 优化了作物根部环境, 创造了作物良好的生长环境。

表 9-5 不同施肥处理土壤蚯蚓数量的变化

单位: 条/m²

时间	处理 1(EM1000kg)	处理 2(传统 1)	处理 3(EM500kg)	处理 4(传统 2)	处理 5(化肥)	CK
2003-03	448	364	408	204	264	96
2003-07	440	202	208	220	110	36
2003-10	1082	630	662	432	294	142
2003-12	384	310	268	182	52	72
平均值	588.5	376.5	386.5	259.5	180	86.5

(三) 不同施肥处理对作物生长发育的影响

1. 不同施肥处理对分蘖的影响

分蘖在小麦生产中意义重大, 它可调节小麦群体形成足够的穗数, 获得高产。分蘖的多少, 生长的壮弱, 也是决定小麦群体结构好坏和个体发育健壮程度的重要指标。如表 9-6 所列, 处理 1 (EM 生物有机肥 15000kg/hm²) 在各生育期的分蘖数一直都比其他处理高。冬前处理 1 (EM 生物有机肥 15000kg/hm²) 的分蘖数比处理 2 (传统堆肥 15000kg/hm²) 高 8.6%, 处理 3 (EM 生物有机肥 7500kg/hm²) 比处理 4 (传统堆肥 7500kg/hm²) 高 9.2%, 可见, EM 生物有机肥与传统堆肥相比, 提高了冬前分蘖数量, 能促进分蘖的早发生。孕穗期处理 1 的分蘖数比处理 2 高 10.6%, 处理 3 比处理 4 高 7.9%。处理 5 是化肥处理, 它的各生育期的分蘖数都落在 EM 生物有机肥和传统堆肥之后。在冬前处理 5 (化肥) 与处理 4 分蘖数差异不大, 返青后差异显著, 这说明, 化肥的施用初期肥效著, 但随着时间的推移, 不用追肥就难以保持较高的肥效。而传统堆肥的肥效虽然发挥较慢, 但维持的肥效长, 加上多年的施用, 土壤肥力比化肥高, 能够促进分蘖的发生。处理 6 是仅用 EM 浸种的不施肥处理, 它的分蘖数一直是最低的, 到孕穗期分蘖数量仅为每株 1.03 个, 说明除主茎之外的分蘖很难成穗。

2. 不同施肥处理对次生根的影响

根系是作物的吸收器官, 根系的发达程度可以反映作物对养分和水分的吸收能力, 所以, 它既是评价作物生长发育的指标, 也是作物抗旱性评价的重要指标。生产实践证明, 根多、根深、根壮是小麦高产的基础。

由表 9-6, 处理 1 (EM 生物有机肥 15000kg/hm²) 在各生育期都比处理 2 (传统堆肥 15000kg/hm²)、处理 5 (化肥)、处理 6 (对照) 次生根条数多, 而且这种差异随着小麦的发育, 在不断加大。到孕穗期处理 1 比处理 2 多 2.93 条, 增加了 14.2%; 处理 3 比处理 4 多 0.6 条, 增加了 3.9%。各有机肥处理 (处理 1~处理 4) 都比化肥处理有不同程度的提高, 其中处理 1 和处理 2 提高最多, 孕穗期分别比化肥处理提高了 40.5% 和 20.6%。

表 9-6 不同施肥处理冬小麦生长性状的比较 (2002~2003 年)

项目	生育期	处 理					
		1	2	3	4	5	6
分蘖/(个/株)	越冬前	2.03	1.87	1.67	1.53	1.47	1.07
	返青期	4.43	4.30	4.17	4.13	3.80	1.10
	拔节期	4.13	3.83	3.57	3.47	2.90	1.33
	孕穗期	1.77	1.60	1.37	1.27	1.17	1.03
次生根 (条/株)	越冬前	1.57	1.37	1.27	1.23	1.13	0.07
	返青期	3.57	3.20	3.17	2.93	2.43	1.17
	拔节期	14.73	13.97	13.87	13.73	11.90	6.50
	孕穗期	20.70	17.77	15.80	15.20	14.73	11.10
株高/cm	越冬前	13.92	13.88	13.83	13.77	13.53	11.65
	返青期	12.40	12.35	11.70	11.65	11.39	9.75
	拔节期	54.49	53.23	52.96	51.93	48.66	34.87
	孕穗期	69.90	67.40	67.27	65.03	63.13	48.83
	成熟期	76.40	74.10	72.10	71.40	69.80	54.10
基本苗/(万株/公顷)		408.87	406.04	404.72	404.52	403.59	402.99

3. 不同施肥处理对株高的影响

有研究表明,小麦的株高一定程度上决定着小麦产量的高低。由表 9-6 看出,小麦入冬前的株高处理 1~处理 5 之间较小,在返青后 6 个处理显现出三个梯度,即处理 1~处理 2、处理 3~处理 5、处理 6;拔节期,处理 5 明显低于本来在一个梯度上的处理 3 和处理 4,处理 3 增长较快,与处理 2 的差距缩小;孕穗期,除处理 2 与处理 3 在同一水平,其他各处理间差异显著。各处理随生育期的推移显现出的差异,在成熟期处理 1 比处理 2 株高高出 3.1%,处理 3 比处理 4 高 1.0%。处理 6 比其他处理低 15.7~22.3cm,堆肥处理与不施肥的处理之间小麦株高的差异还是很突出的。

4. 不同施肥处理对基本苗的影响

基本苗是小麦田间出苗状况的反映,也和产量构成因素的穗数密切相关。由表 9-6 可以看出,基本苗数量:EM 生物有机肥>传统堆肥>化肥>对照。对照虽然用 EM 浸种,但出苗未表现出明显优势,这可能是受土壤温度、容重、含水量等因素的影响。

(四) 不同施肥处理对作物产量的影响

表 9-7 是历年来的冬小麦和夏玉米产量,各处理历年的产量,大体呈现一致的波动,主要是受品种和气候因素的影响。对冬小麦而言,1997~2000 年间,除 1998 年由于气候原因减产外,表现出逐年增产的趋势。从小麦多年平均产量来看,施肥各处理(处理 1~处理 5)分别比处理 6 增产 168.2%、153.2%、151.5%、131.4.8%、107.3%;施有机肥各处理分别比化肥处理增产 29.4%、22.2%、21.4%、11.6%;处理 1 比处理 2、处理 3 增产 5.9%、6.6%;处理 2 比处理 4 增产 9.4%;处理 3 比处理 4 增产 8.7%。夏玉米年均产量,施肥各处理(处理 1~处理 5)分别比处理 6 增产 92.7%、70.5%、66.9%、54.5%、43.7%;施有机肥各处理分别比化肥处理增产 34.5%、18.6%、12.3%、7.6%;处理 1 比处理 2、处理 3 增产 13.0%、15.5%;处理 2 比处理 4 增产 10.3%;处理 3 比处理 4 增产 7.9%。处理 1 在 1997 年(收获年份),也就是试验的第四年,开始达到亩产吨粮;处理 2 和处理 3 从 1998 年开始达到吨粮产量。虽然各年度总产量有波动,但这三个处理在 1998 年后一直保持亩产吨粮的水平。

表 9-7 不同施肥处理历年产量汇总

单位: kg/km²

年份	项目	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6
1995 年	冬小麦	6202.5	5511.0	5683.8	5037.0	4575.0	3429.0
	夏玉米	7443.0	6747.0	6324.0	5689.0	5898.0	4749.0
	总产	13646.5	12260.0	12010.5	10730.5	10478.0	8184.0
1996 年	冬小麦	6183.0	5322.0	4563.0	4216.5	3702.0	2812.5
	夏玉米	5992.5	5400.0	5154.0	4602.0	4347.0	3402.0
	总产	12175.5	10722.0	9717.0	8818.5	8049.0	6214.5
1997 年	冬小麦	7641.0	7305.0	7249.5	6873.0	6162.0	4027.5
	夏玉米	8257.5	7657.5	7213.5	6907.5	5323.5	5077.5
	总产	15898.5	14962.5	14463.0	13780.5	11485.5	9105.0
1998 年	冬小麦	7065.0	6817.5	6214.5	5850.0	5272.5	4242.0
	夏玉米	9765.0	9622.5	8797.5	8737.5	8062.5	7485.0
	总产	16830.0	16440.0	15012.5	14587.5	13335.0	11727.0
1999 年	冬小麦	8115.0	7365.0	6900.0	6090.0	5685.0	2520.0
	夏玉米	10860.0	10245.0	9101.5	8494.5	7885.5	5328.0
	总产	18975.0	17610.0	16501.5	14584.5	13570.5	7848.0
2000 年	冬小麦	8203.5	7789.5	7239.0	6859.5	6523.5	2565.5
	夏玉米	11880.0	9870.0	9559.5	8649.0	7605.0	4984.5
	总产	20083.5	17659.5	16798.5	15508.5	14128.5	7549.5
2001 年	冬小麦	7386.0	6589.5	6118.5	5793.0	5353.5	2817.9
	夏玉米	10707.8	9817.5	9146.3	9081.6	8381.3	5587.6
	总产	18093.8	16407.0	15264.8	14874.6	13026.0	7036.5
2002 年	冬小麦	6817.5	6420.0	6213.0	6084.0	5505.0	2086.5
	夏玉米	10950.0	9391.5	9067.5	8700.0	7521.0	4950.0
	总产	17767.5	15811.5	15280.5	14784.0	13026.0	7036.5
2003 年	冬小麦	5610.0	5316.0	5154.0	5023.5	4930.5	2665.5
	夏玉米	11938.5	11077.5	10560.0	9333.0	9333.0	7150.5
	总产	17809.5	16562.9	15887.9	14382.9	14223.3	9501.0
2004 年	冬小麦	6676.5	6382.5	6850.5	6030.0	4696.5	2509.5
	夏玉米	10552.5	9030.0	8977.5	8347.8	7297.5	4147.6
	总产	17229.0	15412.5	15828.0	14377.8	11994.0	6657.0
2005 年	冬小麦	5940.2	5667.5	5424.0	5334.6	5182.5	1795.5
	夏玉米	11352.0	10120.5	10060.5	9258.4	9169.8	6870.5
	总产	17292.2	15787.5	15485.0	14593.0	14352.3	8666.0
年均	冬小麦	6547.2	6180.9	6140.9	5647.7	5060.0	2441.1
	夏玉米	10553.1	9339.9	9139.5	8468.5	7872.7	5476.9
	总产	17100.3	15520.8	15280.4	14116.2	12932.7	7918.0

(五) 不同施肥处理对作物籽粒粗蛋白含量的影响

籽粒粗蛋白含量是作物的重要品质指标之一。大量研究结果显示,籽粒中的蛋白含量与土壤氮含量有很强的相关性,本试验也很好的证明了这一点。

1. 冬小麦粗蛋白含量

从表 9-8 可以看出,不同处理冬小麦籽粒粗蛋白含量和前人对土壤全氮的研究结果趋势相同,以施用 EM 生物有机肥的两个处理,籽粒粗蛋白含量最高。小麦籽粒粗蛋白含量处理 1、处理 2、处理 3 分别较处理 5、处理 6 高。施肥的各处理(处理 1~处理 5)小麦籽粒

粗蛋白含量分别比处理 6 高 19.9%、13.7%、14.4%、10.2%、8.6%，施堆肥的各处理（处理 1～处理 4）小麦籽粒粗蛋白含量分别比化肥处理高 10.4%、4.7%、5.3%、1.5%。EM 堆肥的两个处理中，施肥量高的处理（处理 1）小麦籽粒粗蛋白含量高于施肥量低的治疗（处理 2）4.9%，传统堆肥中，施肥量高的处理（处理 3）小麦籽粒粗蛋白含量高于施肥量低的治疗（处理 4）4.7%。

表 9-8 不同施肥处理冬小麦籽粒粗蛋白含量（2003 年）

单位：%

项 目	处 理					
	1	2	3	4	5	6
籽粒粗蛋白含量	12.69	12.03	12.10	11.66	11.49	10.58

2. 夏玉米籽粒粗蛋白含量

表 9-9 是不同施肥处理夏玉米籽粒粗蛋白含量。夏玉米籽粒粗蛋白含量与冬小麦的趋势相同。施肥处理高于不施肥处理，施有机肥的处理高于化肥处理，EM 生物有机肥处理高于传统堆肥处理。处理 1 比处理 2 高 3.9%，处理 3 比处理 4 高 6.1%。处理 1 比处理 5、处理 6 分别高 10.1%、21.3%。

表 9-9 不同施肥处理夏玉米籽粒粗蛋白含量（2003 年）

单位：%

项 目	处 理					
	1	2	3	4	5	6
籽粒粗蛋白含量	8.19	7.88	8.02	7.56	7.44	6.75

由以上分析可见，长期施用有机肥的土壤的全氮含量比施用化肥的高，加上有机肥中微量元素多，养分平衡，可以提高作物籽粒粗蛋白含量，从而改善小麦和玉米的品质。在有机肥中，EM 堆肥又比传统堆肥效果显著。

五、总结

施用生物有机肥能明显改善土壤理化性质，改善土壤容重，提高土壤总孔隙度，明显增高土壤有机质含量、全 N、全 P，同时土壤速效养分含量也明显要高；在改善土壤环境方面，EM 生物有机肥效果最好。土壤生物多样性包括蚯蚓、螨虫的密度均以生物有机肥最高，施有机肥的土壤微生物含量也显著增加；长期施用 EM 生物有机肥可显著提高作物的产量。十年的不同施肥处理的产量结果表明，EM 生物有机肥对产量提高最多，传统堆肥次之，化肥再次，EM 浸种最后；生物有机肥可改善作物品质。两个 EM 生物有机肥处理的籽粒粗蛋白含量是各处理中最高的。

第四节 堆肥在蔬菜生产中的应用效果

一、日光温室蔬菜长期定位实验

（一）试验地基本情况

本试验为有机蔬菜生产长期定位试验，于 2002 年 3 月开始在中国农业大学曲周实验站（36°52'N，115°01'E）进行。温室土壤为盐化潮褐土，试验前为多年菜田。试验采用的日光温室为拱圆式，长 52m、宽 7m，占地面积约 0.04hm²。不同供试日光温室土壤理化性状及

基础养分状况见表 9-10。

表 9-10 试验前土壤基础养分状况

处理		有机质 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	全磷 /(g/kg)	速效 K /(mg/kg)	碱解 N /(mg/kg)	速效 P /(mg/kg)
常规	0~20cm	18.93	1.36	2.22	212.83	128.38	163.05
	20~40cm	8.75	0.74	1.08	135.28	47.66	48.75
无公害	0~20cm	15.25	1.19	1.24	364.28	95.35	81.68
	20~40cm	7.13	0.68	0.79	131.18	34.95	39.42
有机	0~20cm	16.63	1.17	1.38	257.30	101.28	139.13
	20~40cm	9.6	0.77	1.04	129.30	40.43	33.03

(二) 试验设计

试验设三个处理，分别是如下。

(1) 有机生产模式 只采用有机肥（堆肥和鸡粪）及生物防治，不使用任何化肥和化学农药。

(2) 无公害生产模式 以施用有机肥（堆肥和鸡粪）为主，少量施用化肥；病虫害的防治以生物防治为主，严重时使用低毒低残留的化学农药进行防治。

(3) 常规生产模式 采用常规管理方式；病虫害的防治以化学防治为主。

茬口安排主要为春季番茄（3~7月）和秋冬季黄瓜（9~次年1月）。灌溉措施为大水漫灌，灌溉次数依作物和栽培季节不同而不同。施肥方式为底施加追肥，每茬口根据作物生长情况追施1~2次，3种生产模式稳定后的施肥量见表 9-11。

表 9-11 3种生产模式稳定后的施肥量

模式	化 肥			有 机 肥			总 计		
	N /(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O /(kg/hm ²)	N /(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O /(kg/hm ²)	N /(kg/hm ²)	P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	K ₂ O /(kg/hm ²)
无公害	293.8	75.0	285.0	516.1	245.4	798.4	809.9	320.4	1083.4
有机	—	—	—	1032.2	490.8	1596.7	1032.2	490.8	1596.7
常规	587.5	150.0	570.0	236.0	117.0	423.2	823.5	267.0	993.2

(三) 试验结果分析

一般地，评价有机肥的施用效果的指标有土壤养分、作物产量、土壤硝态氮积累以及蔬菜中维生素 C 含量与可溶性糖的积累量，下面将做详细介绍。

有机质用重铬酸钾容量法（外加热法）测定；全氮用半微量凯氏定氮法；全磷用高氯酸-硫酸-钼锑抗比色法；速效钾用 NH₄Ac 浸提火焰光度法；碱解氮用碱解扩散法测定；速效磷用 Olsen 方法测定；连续流动分析仪测定土壤硝态氮含量；维生素 C 用 2,6-二氯淀粉滴定法测定；可溶性糖用蒽酮比色法测定。

1. 三种施肥模式下土壤养分含量的变化

尽管土壤有机质只占土壤总重量的很小一部分，但它是反映土壤肥力的重要指标，在土壤肥力的化学、生物学和微生物学方面起重要作用。以 2002 年与 2006 年各生产模式下土壤养分做对比，0~20cm 土壤有机质含量分析结果表明：经过 4 年试验，3 种模式下，土壤有机质均有显著增加，其中有机生产模式最为明显，为 248.2%，说明施用有机肥有利于土壤有机质的积累，提高耕层土壤有机质含量。土壤的全氮含量或储量是评价土壤氮素肥力的一个重要指标，P 和 K 也是植物生长过程中不可或缺的元素，由表 9-12 可以看出从 2002 年至

2006 年, 3 种模式下土壤总 N、总 P、速效氮、速效 K 均有不同程度的提高, 且均为有机模式最多, 常规模式下, 速效 P 含量有所降低, 而无公害和有机模式下有大幅度提高, 可见有机肥的施用能够显著提高土壤中养分含量, 并为后茬作物生产打下良好的养分基础。

表 9-12 3 种生产模式下 0~20cm 土层土壤养分含量变化

模式	年份	总 N/%	总 P/%	有机质/%	速效 N/(mg/kg)	速效 P/(mg/kg)	速效 K/(mg/kg)
常规	2002	0.136	0.222	1.893	128.375	163.05	212.83
	2006	0.185	0.249	2.790	132.523	147.83	348.17
无公害	2002	0.119	0.124	1.525	95.350	81.68	364.28
	2006	0.243	0.215	3.897	175.540	248.33	546.23
有机	2002	0.117	0.138	1.663	101.275	139.13	257.30
	2006	0.352	0.270	5.790	254.980	329.83	734.17

2. 三种施肥模式对作物产量的影响

由于有机生产模式在试验之初, 因管理经验不足及遭受低温和病虫害等因素造成个别年度有机模式减产严重, 但随着试验的进行, 有机和无公害生产模式的产量要高于常规模式这一趋势逐渐稳定, 2003~2008 年 6 年内, 番茄总产量与各茬蔬菜总产量均为有机生产模式最高, 平均产量如表 9-13 所示。与当地常规蔬菜生产模式相比, 有机肥的投入能起到很好的增产效果, 且增产趋势逐步加强。

表 9-13 6 年内三种模式下作物的平均产量单位 单位: kg/hm²

作物	常规	无公害	有机
2003~2008 年番茄年平均产量	73782.7	72909.4	78605.1
2003~2008 年年平均总产量	107039.9	107731.9	113966.1

3. 有机肥的投入对土壤硝酸盐的影响

2007 年和 2008 年春番茄成熟期不同生产模式下土壤硝态氮累积量的动态变化 (图 9-1) 研究表明: 不同生产模式 0~200cm 土体硝态氮总含量有机模式明显低于无公害处理和常规处理。可见替代常规化肥的投入, 在能够满足作物生长的肥料投入水平前提下, 施有机

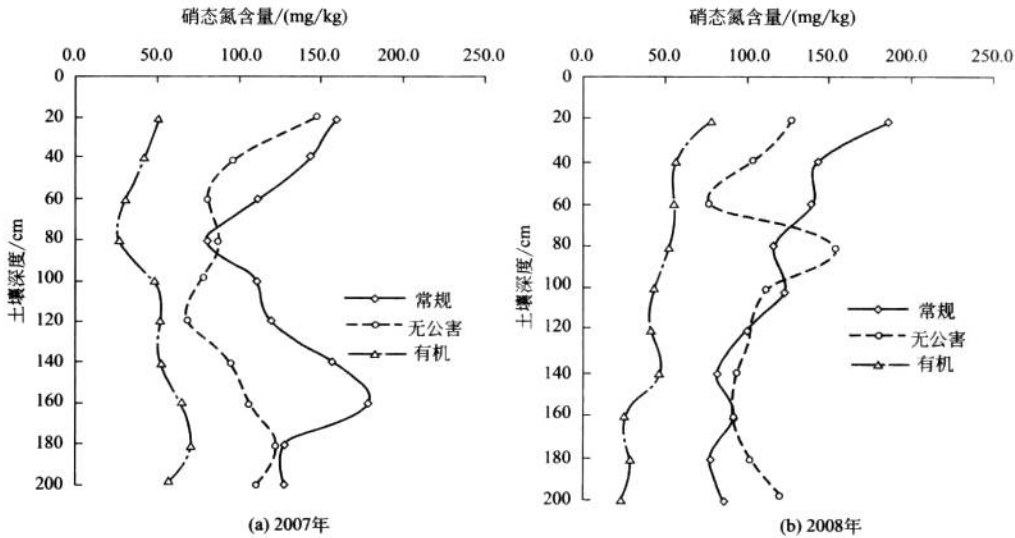


图 9-1 番茄成熟期 3 种模式土壤 0~200cm 土层硝态氮积累

肥能显著降低土壤中硝酸盐的积累，从而减少其淋洗量，一方面降低地下水硝酸盐的污染风险，另一方面，“增加”土壤中的氮含量。

4. 有机肥的投入对蔬菜品质的影响

维生素 C 是人体不可缺少的重要维生素之一，它主要来源于日常食用的蔬菜中，因此维生素 C 也成为衡量蔬菜品质的一项主要指标。

如图 9-2 所示，2003 年春茬有机模式和无公害模式番茄维生素 C 含量比常规生产模式分别高出 11.9% 和 0.6%；2004 年春茬有机和无公害模式番茄维生素 C 含量较常规模式分别高出 14 和 1.87 个百分点；2005 年有机模式维生素 C 含量较常规高却低于无公害模式。

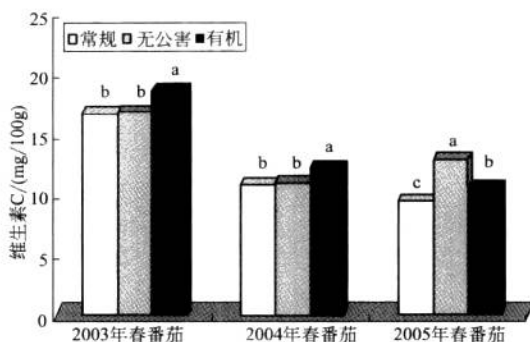


图 9-2 不同肥料投入下蔬菜维生素 C 含量

糖分是评价蔬菜风味的一个重要指标，也是衡量蔬菜品质的一个主要指标。

如图 9-3 所示，不同年限三种施肥模式可溶性糖的变化趋于一致。2003 年为有机模式最高，但三者之间的差异不显著；2004 年和 2005 年均为无公害模式最高，这可能与肥料的施入影响碳氮比进而影响可溶性还原性糖的积累有关。

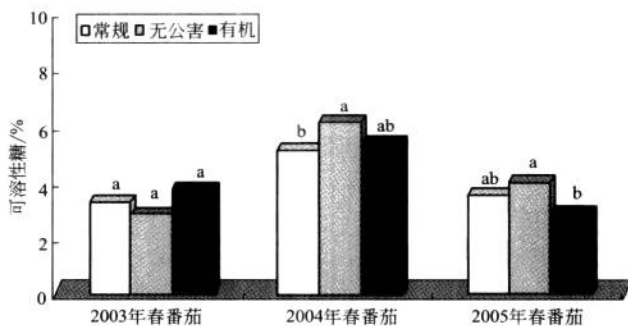


图 9-3 不同施肥模式下蔬菜中可溶性还原性糖的含量

二、露地蔬菜堆肥施用效果

(一) 材料与方法

1. 试验时间、地点

采用田间试验的方法，试验时间于 2006 年 9 月～2007 年 5 月，试验地点于广东省农业科学院土壤肥料研究所五山试验基地。

2. 供试堆肥与试验地土壤

在广东省 3 家有机肥厂进行畜禽废弃物高温堆肥生产。其中 1 家以鸡粪为主料（简称鸡粪堆肥）；1 家以猪粪为主料（简称猪粪堆肥）；1 家以乳牛粪为主料（简称牛粪堆肥）。畜禽养殖废弃物均来源于当地中小型养殖场，生产工艺均采用好氧堆肥工艺，产品质量标准执行有机肥标准（NY 525—2002）。堆肥方法：将畜禽粪和少量蘑菇渣、泥炭等有机废弃物按一定重量比混合进行条垛高温堆肥发酵，一次发酵时间为 15 天，二次发酵（陈化）时间为 20 天。后经粉碎、过筛制成粉状堆肥成品（商品有机肥）。3 种堆肥的养分含量见表 9-14。供试土壤为赤红壤，质地黏壤土。试验前茬作物为水稻，起畦前采土样分析，土壤的基本理化性状见表 9-15。土壤测试结果提示供试土壤肥力中等。

表 9-14 不同畜禽粪便堆肥的养分含量

堆肥种类	pH 值	有机质/%	全 N/%	全 P_2O_5 /%	全 K_2O /%
鸡粪堆肥	5.7	42.0	3.07	2.08	1.73
猪粪堆肥	5.9	42.3	2.62	1.79	1.86
牛粪堆肥	6.3	39.5	1.80	1.04	1.75

表 9-15 供试土壤基本农化性状

试验地	pH 值	有机质 /(g/kg)	铵态氮 /(mg/kg)	硝态氮 /(mg/kg)	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)	速效钙 /(mg/kg)	速效镁 /(mg/kg)	速效硫 /(mg/kg)
菜心	7.0	21.8	6.17	6.67	66.4	76.7	1254	71.3	41.8
甘蓝	6.0	20.7	8.75	8.08	64.2	64.7	1135	61.3	33.3

3. 试验方案

试验共设 8 个处理：①不施肥（CK1）；②氮磷钾化肥（CK2）；③鸡粪堆肥；④猪粪堆肥；⑤牛粪堆肥；⑥鸡粪堆肥+化肥；⑦猪粪堆肥+化肥；⑧牛粪堆肥+化肥。每处理重复 3 次，小区面积 $10m^2$ ，随机区组排列。供试作物有结球甘蓝（即椰菜，品种京丰三号）和菜心（由广东省农业科学院蔬菜研究所提供）共两种叶菜类蔬菜。处理②氮磷钾化肥施用量：菜心 N $180kg/hm^2$ ， P_2O_5 $90kg/hm^2$ ， K_2O $150kg/hm^2$ ，结球甘蓝 N $225kg/hm^2$ ， P_2O_5 $120kg/hm^2$ ， K_2O $225kg/hm^2$ 。所用化肥为尿素、磷酸二铵和氯化钾，磷肥、钾肥和 50% 氮肥作基肥施入，余下 50% 氮肥分 4 次作追肥施用。处理③~处理⑤的 3 种堆肥均作基肥一次施用，施用量以处理②所施用的纯氮量为标准，根据不同堆肥的全氮养分含量进行换算。处理⑥~处理⑧的氮磷钾养分施用量与处理②相同，其中堆肥和化肥中的氮各占 50%，磷钾养分用化肥予以调整，磷肥、钾肥均作基肥施入，余下氮肥分 4 次作追肥施用。试验共进行两茬。

4. 蔬菜品质分析测定方法

在收获期各小区随机取商品蔬菜 10 棵，调查单棵重，随后进行品质分析，维生素 C 采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定，水溶性糖采用蒽酮比色法测定，硝酸盐含量采用 GB/T 15401—1994。

（二）结果与讨论

1. 不同畜禽粪堆肥与化肥对叶类蔬菜产量的影响

从表 9-16 可看出，在菜心试验中，第 2 茬产量明显低于第 1 茬，这是由于第 2 茬正处于冬季低温阴冷气候条件。无肥处理第 2 茬的产量比第 1 茬减少 72.5%，表明连续 2 茬不施肥，菜心产量明显降低。单施化肥处理的产量均高于 3 种堆肥处理，单施化肥处理比堆肥处理第 1 茬增产 11.3%~16.3%，第 2 茬增产 25.7%~38.5%。3 种堆肥配施化肥的处理与单施化肥处理比较，无明显差异。3 种堆肥与化肥配施均比单施堆肥处理增产效果显著，

鸡粪堆肥与化肥配施比单施鸡粪堆肥增产 18.2%~33.3%，猪粪堆肥与化肥配施比单施猪粪堆肥增产 19.0%~27.4%，牛粪堆肥与化肥配施比单施牛粪堆肥增产 20.5%~25.4%。

表 9-16 不同施肥处理对菜心和甘蓝产量的效果

处 理	菜心/(t/hm ²)		甘蓝/(t/hm ²)	
	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬
不施肥(CK1)	15.01	4.13	18.40	7.087
化肥(CK2)	25.73	18.51	57.55	40.68
鸡粪堆肥	22.62	13.36	36.89	25.12
猪粪堆肥	22.12	14.73	36.79	26.64
牛粪堆肥	23.12	13.59	36.51	30.86
1/2 鸡粪堆肥+1/2 化肥	26.74	17.81	53.53	36.26
1/2 猪粪堆肥+1/2 化肥	26.33	18.76	55.42	36.30
1/2 牛粪堆肥+1/2 化肥	27.86	17.04	52.90	39.23

在甘蓝试验中，第 2 茬（春植）产量同样明显低于第 1 茬（秋植）。在等施氮量条件下，两茬试验均以单施化肥处理的产量最高。在等施氮量条件下，单施化肥处理的产量均高于 3 种堆肥处理，单施化肥处理比堆肥处理第 1 茬平均增产 56.7%，第 2 茬平均增产 47.7%。3 种堆肥配施化肥的处理与单施化肥处理比较，无明显产量差异。3 种堆肥与化肥配施均比单施堆肥处理增产效果显著，堆肥配施化肥处理第 1 茬平均产量 53.95t/hm²，比单施堆肥处理（平均产量 36.73t/hm²）平均增产 46.9%，第 2 茬堆肥配施化肥处理平均产量 37.26t/hm²，比单施堆肥处理（平均产量 27.54t/hm²）平均增产 35.3%。

腐熟堆肥（有机肥）施入农田，在微生物的作用下经历分解和合成的过程，即矿质化和腐殖化过程。本试验结果表明，在等氮条件下，单施化肥比单施堆肥增产效果明显，增施化肥仍然是提高蔬菜产量最有效的措施。对于生长期较短的作物如菜心（从播种至收获 40~60 天），单独施用腐熟堆肥（有机肥）也可取得一定的产量，堆肥配施化肥可进一步提高产量。对于生长期较长的作物如甘蓝（从播种至收获 100~110 天），单独施用腐熟堆肥增产效果有限，表现出后期供肥不足，生产上必须强调增施化肥或有机肥配施化肥才能进一步提高产量。

2. 不同畜禽粪堆肥与化肥对叶类蔬菜品质的影响

菜心试验结果（表 9-17），无肥处理的维生素 C 和可溶性糖含量一般高于施肥处理，而硝酸盐含量明显低于其他施肥处理。单施堆肥处理的维生素 C、可溶性糖含量均高于单施化肥处理，单施堆肥处理比单施化肥处理（CK2）维生素 C 提高 14.6%~25.5%，可溶性糖含量提高 34.69%~83.9%，从第 2 茬的分析结果看，这两者提高的幅度明显大于第 1 茬。堆肥与化肥配施处理的维生素 C 和可溶性糖含量一般低于单施堆肥处理而高于单施化肥处理。单施化肥处理的硝酸盐含量则明显高于单施堆肥处理，第 1 茬菜心单施化肥处理比单施堆肥硝酸盐含量增加 42.0%~108.0%，第 2 茬增加 62.9%~76.5%。与单施化肥处理比较，3 种堆肥中牛粪堆肥硝酸盐含量最低，这与牛粪堆肥原料组成有关。堆肥与化肥配施处理的硝酸盐含量一般高于单施堆肥处理而低于单施化肥处理。

甘蓝试验也表现出相似的结果（表 9-18）。甘蓝维生素 C 和硝酸盐含量一般低于菜心，而可溶性糖含量明显高于菜心。单施堆肥处理维生素 C 和可溶性糖含量一般高于化肥处理，而单施化肥处理与堆肥配施化肥处理差异不明显。甘蓝硝酸盐含量：堆肥处理<堆肥+化肥处理<化肥处理，单施堆肥处理的硝酸盐含量比单施化肥处理降低 41.9%~53.7%，堆肥配施化肥处理比单施化肥处理降低 41.9%~53.7%。

表 9-17 不同施肥处理对菜心品质的影响

处 理	维生素 C/(mg/kg)		可溶性糖/(g/kg)		NO ₃ ⁻ 含量/(mg/kg)	
	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬
不施肥(CK1)	662.5	663.8	7.18	6.42	1116	1045
化肥(CK2)	587.3	336.4	4.15	1.86	3314	4490
鸡粪堆肥	673.4	422.2	5.83	3.42	2333	2729
猪粪堆肥	686.5	391.4	5.59	3.22	2155	2756
牛粪堆肥	725.0	396.5	5.68	3.34	1593	2544
1/2 鸡粪堆肥+1/2 化肥	588.6	407.5	4.91	2.62	2951	3782
1/2 猪粪堆肥+1/2 化肥	624.2	384.6	4.72	2.89	3000	4043
1/2 牛粪堆肥+1/2 化肥	604.6	384.8	4.28	2.58	2651	4051

表 9-18 不同施肥处理对甘蓝品质的影响

处 理	维生素 C/(mg/kg)		可溶性糖/(g/kg)		NO ₃ ⁻ 含量/(mg/kg)	
	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬	第 1 茬	第 2 茬
不施肥(CK1)	328.3	383.0	24.69	17.39	299.8	353.5
化肥(CK2)	312.6	295.5	21.10	17.06	687.9	721.7
鸡粪堆肥	344.0	300.8	21.93	20.44	400.0	334.3
猪粪堆肥	326.1	315.1	22.71	20.29	485.4	355.5
牛粪堆肥	325.6	311.4	22.61	19.36	385.1	334.6
1/2 鸡粪堆肥+1/2 化肥	272.9	289.1	20.18	17.65	679.8	604.9
1/2 猪粪堆肥+1/2 化肥	290.3	290.3	19.73	17.03	623.6	611.7
1/2 牛粪堆肥+1/2 化肥	288.4	297.0	19.23	17.45	623.0	616.2

上述品质分析结果表明,单独施用腐熟堆肥,叶类蔬菜(菜心和甘蓝)的可溶性糖、维生素 C 的含量显著高于单施化肥处理,一般也高于堆肥配施化肥处理;单独施用腐熟堆肥处理的 NO₃⁻ 含量则显著低于单施化肥处理和堆肥配施化肥的处理。说明施用化肥提高了蔬菜硝酸盐的含量,而施用堆肥则可降低硝酸盐的含量。本试验结果再次证明施用腐熟堆肥(有机肥)比单施化肥可明显减少蔬菜的硝酸盐含量,然而在施用堆肥的基础上配施化肥,蔬菜硝酸盐含量依然较高,比单施化肥处理降低幅度不大。

综合以上两个案例所述,设施蔬菜大棚人工可控,长期定位试验能够很好地反应土壤及植物的理化变化。试验结果表明,长期施用有机肥能够显著改善土壤质量,促进土壤中的养分积累;起到一定的增产效果又能显著提高蔬菜品质;同时又能降低过量的化肥投入造成的环境污染风险,为农业的可持续发展提供理论支撑。

第五节 堆肥在果树生产中的应用效果

一、有机肥葡萄肥效试验

(一) 试验地基本情况

葡萄试验设在陕西省扶风县绛帐镇新集村,供试葡萄园已种植 12 年,挂果 10 年,品种为巨峰,有灌溉条件,栽培密度 260 株/亩,试验地面积 1.5 亩,历年产量 1500~2500kg/亩,管理技术和产量在当地属中等水平。试验前取该葡萄园基础土(0~40cm)测得速效氮 26.9mg/kg、速效磷 15.8mg/kg、有效钾 336.2mg/kg,有机质 1.59%。每小区 20 株,每个处理重复三次,肥料穴状沟施。上年葡萄采摘后(2000 年 8 月)施化肥纯 N 0.09kg/株、

纯 P_2O_5 0.25kg/株作为秋季底肥。

(二) 试验方法

有机肥黑珍珠 ($N:P_2O_5:K_2O=10:5:5$)、黑桃 K ($N:P_2O_5:K_2O=6:2:3$)、搏力 ($N:P_2O_5:K_2O=11.5:6.5:3.4$) 各设高、中、低三个用量处理, 并与农民习惯施肥和化肥做比较, 即: ①有机肥 (高用量); ②有机肥 (中用量); ③有机肥 (低用量); ④NPK 化肥; ⑤农民习惯施肥。

为了有可比性, 处理②、处理④N、 P_2O_5 、 K_2O 含量一致, 为常规用量, 处理②即沃土肥中 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量不足部分用化肥补充。三种有机肥在葡萄上的具体用量见表 9-19。该肥料具体用量是根据葡萄的品种需肥特性及树体大小而定的, 除搏力用作花后追肥外, 黑珍珠、黑桃 K 和补充的化肥均用作冬季基肥。

葡萄生育期叶片叶绿素含量用分光光度法测定, 土壤硝酸盐含量用流动注射仪测定, 葡萄品质各项目为国家标准方法测定。

表 9-19 黑珍珠、黑桃 K、搏力葡萄试验的肥料用量

单位: kg/株

处理		肥料用量	折合 N	折合 P_2O_5	折合 K_2O
黑珍珠	高用量	1.0	0.1	0.05	0.05
	中用量	0.6	0.06	0.03	0.03
	低用量	0.4	0.04	0.02	0.02
黑桃 K	高用量	2.0	0.12	0.04	0.06
	中用量	1.0	0.06	0.02 ^①	0.03
	低用量	0.8	0.048	0.016	0.024
搏力	高用量	1.0	0.115	0.065	0.034
	中用量	0.52	0.06	0.034 ^②	0.018 ^③
	低用量	0.3	0.035	0.02	0.01
NPK 化肥	尿素	0.13	0.06		
	磷肥	0.18		0.03	
	KCl	0.05			0.03
习惯施肥	尿素	0.09	0.04		
	磷肥	0.25	0.04		

① 为该养分含量不足, 而用化肥补充。

② 搏力由于含磷比例略高, 实际用量是以氮肥为标准确定的, 而使磷肥的用量略大于化肥处理, 考虑到大于的程度较小和试验的可操作性, 在此视为磷肥用量一致。

(三) 结果与分析

1. 三种有机肥对葡萄叶片叶绿素含量的影响

表 9-20 各处理葡萄叶片的叶绿素含量 (鲜重)

单位: mg/g

时期	黑珍珠	黑桃 K	搏力	NPK 化肥	习惯施肥
膨大期	6.8	6.9	6.6	6.6	6.4
成熟期	5.8	6.1	5.7	5.1	4.9

葡萄施用黑珍珠、黑桃 K、搏力后, 从生育中期开始叶片绿色明显比化肥和习惯施肥深, 且后期维持绿色时间更长。为了有可比性, 分别采集黑珍珠、黑桃 K、搏力中用量处理和化肥、农民习惯施肥的植株顶端叶片进行叶绿素含量测定 (表 9-20)。可见, 三种有机肥均能使叶片叶绿素含量增加, 尤其在果实采收后期, 叶片叶绿素含量明显高于 NPK 化肥和农民习惯施肥, 由于葡萄采收后树体仍有较长的生长时期, 这既有利于当年葡萄产量的形

成,又利于树体本身的营养生长,为来年增产打下良好的基础。

2. 三种有机肥对土壤硝酸盐的影响

采集葡萄园有机肥试验前(2001年3月)和葡萄采摘结束后(2001年9月)各处理0~2m土壤进行硝酸盐含量测定,结果显示,各个处理之间并无明显差异,其原因有待进一步深入研究。

3. 黑珍珠、黑桃 K、搏力对葡萄品质的影响

为了有可比性,葡萄成熟期采摘黑珍珠、黑桃 K、搏力中用量各处理和化肥、农民习惯施肥进行品质分析和单果重测定,其结果见表 9-21。将黑珍珠、黑桃 K、搏力和化肥 NPK 与农民习惯施肥各品质分析值、单果重测定值进行比较,维生素 C、还原糖含量黑珍珠、黑桃 K、搏力均比化肥 NPK 处理和农民习惯施肥有增加,增加幅度维生素 C 从 0.44mg/100g 至 0.79mg/100g,还原糖 1.5~1.8 个百分点不等,硝酸盐含量和总酸度则有所减少,单果重影响不大,三种有机肥对葡萄果实可溶性固形物含量影响与农民习惯施肥相比较增加幅度很明显,可使果实可溶性固形物含量增加 1.95~2.2 个百分点,但与等量 NPK 化肥相比只增加 0.5~0.75 个百分点。

表 9-21 各处理品质分析和葡萄单果重测定结果

处理	维生素 C /(mg/100g)	还原糖 /%	硝酸盐 /(mg/kg)	总酸度 (苹果酸)/%	可溶性固 形物/%	单果重 /g
黑珍珠	2.19	12.7	3.3	0.65	14.78	8.67
黑桃 K	1.93	12.4	3.6	0.6	14.53	8.81
搏力	2.03	12.4	3.7	0.53	14.58	8.95
NPK 化肥	1.49	10.9	4.4	0.71	14.03	8.41
习惯施肥	1.4	10.8	3.4	0.67	12.58	8.14

4. 黑珍珠、黑桃 K、搏力对葡萄产量的影响

葡萄成熟期按小区采摘称重,产量结果见表 9-22。

表 9-22 黑珍珠、黑桃 K、搏力对葡萄产量的影响

处 理		产量/(kg/小区)				折合亩产量 /(kg/亩)	增产率/%	
		I	II	III	平均		较化肥	较习惯
黑珍珠	高用量	193	199	199	197	3251	9.5	13.2
	中用量	192	197	193	194	3201	7.8	11.5
	低用量	185	190	189	188	3102	4.4	8.0
黑桃 K	高用量	197	201	200	199	3284	10.6	14.4
	中用量	190	193	192	192	3168	6.7	10.3
	低用量	184	183	180	182	3003	1.1	4.6
搏力	高用量	190	185	184	186	3069	3.3	6.9
	中用量	181	185	183	183	3020	1.7	5.2
	低用量	183	181	178	181	2987	0.6	4.0
NPK 化肥		183	179	178	180	2970	—	3.4
习惯施肥		172	173	178	174	2871	—	—

与农民习惯施肥比较,黑珍珠三种用量处理增产率分别为 8.0%、11.5%和 13.2%。黑珍珠中用量,即 0.6kg/株时,较 NPK 化肥的增产率为 7.8%,增产作用十分明显,增产率随黑珍珠用量增加有增高的趋势。因此黑珍珠在葡萄上有很好的增产作用,用量以 0.6kg/株以上为好。

黑桃 K 达到中等用量（即 1.0kg/株）时，比化肥 NPK 的增产率为 6.7%，黑桃 K 达到 2.0kg/株时，比化肥 NPK 的增产率为 10.6kg/株。与农民习惯施肥相比较，黑桃 K 的增产率更高。据此可以认为，黑桃 K 在葡萄上的是用量以 1.0kg/株以上才有明显的增产效果。

搏力在高、中、低三种用量下与化肥 NPK 产量效果相似，但与农民习惯施肥相比较，分别有 4.0%、5.2% 和 6.9% 的增产率。因此可以认为，搏力除了用量以外，还应该注意施用时期等施用方法问题。

（四）结论

葡萄试验结果表明，葡萄施用黑珍珠、黑桃 K、搏力三种有机肥能使叶片维持较高的叶绿素含量，有利于叶片光合作用。

品质分析表明，与等量 NPK 的化肥相比较，三种有机肥均使葡萄可溶性固形物含量略有提高，硝酸盐含量略有降低。施用黑珍珠能使葡萄维生素 C 增加 0.7mg/100g、还原糖增加 1.8 个百分点、总酸度降低 0.06 个百分点，与等量 NPK 的化肥和农民习惯施肥相比较，黑珍珠对葡萄的增产率分别达到 7.8% 和 11.5%。黑桃 K 能使葡萄维生素 C 增加 0.44mg/100g、还原糖增加 1.5 个百分点、总酸度降低 0.11 个百分点，与等量 NPK 的化肥和农民习惯施肥相比较，黑桃 K 对葡萄的产量分别增加 6.7% 和 10.3%。搏力能使葡萄维生素 C 增加 0.54mg/100g、还原糖增加 1.5 个百分点、总酸度降低 0.18 个百分点，从葡萄产量结果来看，搏力与等量 NPK 的化肥肥效相当，因此初步可以看出，搏力的主要作用是改善葡萄品质。建议黑珍珠、黑桃 K、搏力在葡萄上的用量分别为不少于 0.6kg/株、不少于 1.0kg/株和不少于 1.0kg/株。

二、有机肥苹果肥效试验

（一）试验地基本情况

苹果试验设在乾县临平镇，供试果龄 12 年，挂果 8 年，果树生长均匀，灌溉条件良好，品种矮化红富士，历年产量 1500~3000kg/亩，管理技术水平中等。试验前取 0~40cm 土层混合土样测得速效氮 56.88mg/kg、速效磷 10.78mg/kg、有效钾 214mg/kg、有机质 1.57%。每个处理 7 株树，随机排列。该果园前期未施化肥。

（二）试验方法

试验共设 5 个处理：①黑珍珠；②黑桃 K；③搏力；④NPK 化肥；⑤农民习惯施肥。

为使试验具有可比性，处理①~处理④ N、P₂O₅、K₂O 含量一致，根据苹果的肥料常规用量，分别为纯 N 0.2kg/株，纯 P₂O₅ 0.14kg/株、纯 K₂O 0.16kg/株，不足部分用化肥补充。农民习惯施肥用量为纯 N 0.7kg/株、P₂O₅ 0.8kg/株，具体用量见表 9-23，其中黑珍珠、黑桃 K 和补充的化肥全部用作基肥，搏力则用作追肥，且考虑到沃土肥含有有益微生物，黑珍珠、黑桃 K、搏力均与化肥分开使用。

表 9-23 苹果肥料用量表

单位：kg/株

处 理	N 肥		P 肥		K 肥		有机肥
	N 折纯量	尿素 (46%)	P ₂ O ₅ 折纯量	磷肥 (17%)	K ₂ O 折纯量	KCl (60%)	
黑珍珠	0.2		0.14	0.24	0.16	0.1	2.0
黑桃 K	0.2		0.14	0.44	0.16	0.1	3.3
搏力	0.2		0.14	0.16	0.16	0.17	1.74
化肥 NPK	0.2	0.43	0.14	0.82	0.16	0.27	
农民习惯施肥	0.7	1.52	0.8	4.7			

苹果叶片叶绿素含量用分光光度法测定,硝酸盐含量用流动注射仪测定,苹果品质各项目为国家标准方法测定。

(三) 结果与分析

1. 三种有机肥对苹果生育状况的影响

各处理苹果叶片的叶绿素含量 (mg/g) 见表 9-24。

表 9-24 对苹果叶片叶绿素含量的影响 (鲜重)

单位: mg/g

时 期	黑珍珠	黑桃 K	搏力	NPK 化肥	习惯施肥
膨大期	5.5	5.7	5.2	5.8	5.0
着色期	3.6	3.9	3.6	4.4	2.8

苹果施用黑珍珠、黑桃 K、搏力后,叶片明显比化肥 NPK 深绿,后期维持绿色时间也长。分别采集各处理树顶端叶片进行叶绿素含量测定 (表 9-24)。可见,三种有机肥均能使叶片叶绿素含量较化肥 NPK 增加,生长中后期维持较高的叶绿素含量,对苹果产量形成和树体生长都有好处。至于农民习惯施肥叶片叶绿素含量也较高,则是由于施用氮肥太多所致。

2. 黑珍珠、黑桃 K、搏力对苹果品质的影响

成熟期采摘各处理苹果样品进行品质分析并进行苹果着色情况调查,其结果见表 9-25。与等量 NPK 化肥相比较,黑珍珠、黑桃 K 使苹果维生素 C 分别增加 0.1mg/100g 和 1.6mg/100g,黑珍珠、黑桃 K、搏力使苹果还原糖含量分别增加 0.8、1.9 和 0.5 个百分点,总酸度分别降低 0.6、1.0 和 0.7 个百分点,硝酸盐含量略有减少,着色面积超过 1/2 果面所占比例分别增加 5.6、7.9 和 3.1 个百分点。农民习惯施肥由于所施氮肥过多,总酸度、硝酸盐明显上升,苹果着色情况变差。

表 9-25 各处理苹果品质分析结果及着色情况

处理	维生素 C (mg/100g)	还原糖 /%	硝酸盐 (mg/kg)	总酸度 (苹果酸)/%	着色面积超过 1/2 果面所占比例/%
黑珍珠	6.3	9.7	3.3	1.2	67.5
黑桃 K	7.8	10.8	3.6	0.8	69.8
搏力	5.8	9.4	3.7	1.1	65.0
化肥 NPK	6.2	8.9	4.5	1.8	61.9
习惯施肥	5.9	8.5	9.6	3.9	51.8

3. 黑珍珠、黑桃 K、搏力对苹果产量的影响

苹果成熟后各处理按株采摘称重,产量结果见表 9-26。与等量 NPK 化肥相比较,黑珍珠、黑桃 K、搏力的平均产量分别增加 6.5%、8.7%、5.3%,增产效果达显著水平。这表明,黑珍珠、黑桃 K、搏力在苹果上使用,有较好的增产效果。农民习惯施肥则由于施入过多的氮磷肥,虽然产量增加也很明显,但苹果品质变差,商品等级降低,且投入的肥料纯 N、纯 P₂O₅ 是其他处理的 3~5 倍,而产量增加值只是其他处理的 1.35~2.2 倍,因此效益自然就难以提高。

表 9-26 黑珍珠、黑桃 K、搏力对苹果产量的影响

处 理	产量/(kg/株)				折合亩产量 (kg/亩)	增产率/%
	I	II	III	平均		
黑珍珠	27.4	27.0	26.9	27.1	2009	6.5
黑桃 K	28.1	27.5	27.5	27.7	2051	8.7
搏力	26.4	27.1	27.2	26.9	1987	5.3
习惯施肥	29.7	28.2	27.5	28.5	2109	11.8
NPK 化肥	24.5	26.7	25.2	25.5	1887	—

(四) 结论

苹果的肥效试验结果表明,黑珍珠、黑桃 K、搏力三种有机肥能促进苹果叶片叶绿素含量。与等量 NPK 化肥相比较,黑珍珠、黑桃 K 使苹果维生素 C 分别增加 0.1mg/100g 和 1.6mg/100g,黑珍珠、黑桃 K、搏力使苹果还原糖含量分别增加 0.8、1.9 和 0.5 个百分点,总酸度分别降低 0.6、1.0 和 0.7 个百分点,硝酸盐含量略有减少,着色面积超过 1/2 果面所占比例分别增加 5.6、7.9 和 3.1 个百分点。与等量 NPK 化肥相比较,黑珍珠、黑桃 K、搏力对苹果的增产率分别达到 6.5%、8.7% 和 5.3%。三种沃土肥相比较,黑桃 K 无论从改善品质还是增加产量上都是优于其他处理。

参 考 文 献

- [1] 陈清,张福锁.蔬菜养分资源综合管理理论与实践.北京:中国农业大学出版社,2006.
- [2] 丁应祥等.连栽杉木人工林生产力的模拟与预测.农家林业大学学报,2000,24(3):21~25.
- [3] 胡霭堂.植物营养学.第二版.北京:中国农业大学出版社,2003.
- [4] 吕贻忠等.土壤学.北京:中国农业出版社,2006.
- [5] 牛俊玲等.固体有机废物肥料化利用技术.北京:化学工业出版社,2010.
- [6] 孙中朴.“众耀牌”生态有机肥在苹果上的应用试验.果农之友,2009,(9):48.
- [7] 宛彩云.肥料种类特点及合理施肥.北方水稻,2009,39(3):69~71.
- [8] 张发宝等.畜禽粪堆肥与化肥对叶类蔬菜产量与品质的影响.中国农学通报,2008,24(9):283~286.
- [9] 张增强,薛澄泽.污泥堆肥对几种木本植物生长响应的研究.西北农业大学学报,1995,23(6):47~51.
- [10] 周立祥等.城市生活污水农田利用对土壤肥力性状的影响.土壤通报,1994,25(3):126~129.

第十章

堆肥产品登记及营销

第一节 堆肥产品市场定位

堆肥产品化、堆肥产品商品化是社会经济发展的产物。在传统观念中，有机固体废物就是垃圾，是一种几乎没有任何利用价值的东西，遇之掩鼻而过，欲之则取、不欲则弃，最多也只能当作可有可无的农家肥。如今要将它作为一种商品买卖、出售，首先要克服传统思维痼疾，让用户认识它、了解它，并准确掌握和应用它。

一、堆肥产品的一般特点

应该说现代堆肥是一种赋予了全新意义的有机肥产品，它不仅具备传统有机肥料的全部功能作用，而且还具备了作为一种商品的全部商业化特征。

(1) 在相对一致的工艺条件下，按照固定的工艺参数生产产品。现代堆肥生产产业化体系完备，从原料到产品的各个生产环节，均可保证具备稳定的工艺流程和工艺参数，从而保证了稳定的产品质量。

(2) 在完备的工艺控制基础上，可实现堆肥全过程的生产控制。现代堆肥生产实现了按产品目标选择和搭配原料、根据堆肥工艺特点优化控制参数、利用控制参数调节生产进程，可以保证生产过程的程序化和自动/半自动控制。

(3) 具有明确、稳定的产品量化指标。堆肥产品与无机化肥一样，可通过量化指标对质量进行评判，涉及产品的外观、内在品质、包装、储存、运输各环节，如产品的粒度、均匀度、有机质含量、养分含量 ($N+P_2O_5+K_2O$)、水分、pH 值、无害化指标、包装规格、储存条件、码放高度、运输等。

(4) 形成了明确的产品系列，且不同的产品都有其明确的功能作用。这部分在后面的产品系列中会做具体介绍。

二、堆肥与传统有机肥区别

在堆肥产品的市场销售中，目前最大的障碍是将它等同于传统有机肥，或者是将它们做不正确的比较，所以市场销售当中首先要向用户传达正确的产品信息，产品的特点要说清楚，不足也要讲透彻，切忌在产品宣传中夸大其词，导致有较好的应用效果而得不到应有的市场反映。堆肥与传统有机肥的差别主要表现在以下几个方面。

(1) 堆肥的稳定化、无害化程度更高。堆肥经过高温发酵和熟化处理后，大部分有机物被分解转化，病原菌和有机虫卵被基本杀灭，并呈稳定化状态；而传统有机肥在堆沤过程中，好氧与厌氧交替或者完全厌氧，病原菌很难被杀灭，也没有稳定化指标考核。

(2) 堆肥过程养分损失少, 堆肥产品有机养分高。表 10-1 反映了两种不同堆制方法完全腐熟后产品的主要养分对比情况, 其中高温好氧堆肥与传统堆肥的有机质和 N、P 含量几乎相差 1 倍, K 含量也相差近 30%, 虽然试验选择的材料(市政污泥)可能不具普遍代表性, 但至少说明堆肥与传统有机肥的各项养分指标确实存在显著差异。

表 10-1 不同堆制方法的堆肥养分含量

营养成分	有机碳/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效氮/(mg/kg)	C/N	pH	样本数
高温好氧堆肥	11.00	0.663	0.235	1.214	349	13.76	7.53	65
传统堆肥	4.802	0.346	0.104	0.955	76	13.84	7.5	55

(3) 堆肥产品质量更稳定。因为堆肥是按照产业化的生产方式进行产品生产的, 配方稳定、生产工艺稳定、过程控制参数稳定, 所以产品质量也更稳定。

(4) 堆肥产品内在品质更好。因为堆肥采取的是好氧发酵方式, 并为微生物的生长繁殖创造了更好的环境条件, 好气性有益微生物繁殖速度快, 代谢产物多, 如蛋白质、氨基酸、核酸、维生素、促生长类物质、抗生素等的积累也高, 能更好地提高肥料的应用效果。

三、堆肥产品市场状况

1. 堆肥生产现状

据不完全统计, 我国现有各种有机肥料生产企业 2300 家左右, 年设计产为 3475.41 万吨, 年实际生产总量 1579.53 万吨, 分别占规模化养殖畜禽粪便的 3.36% 和 1.52%。其中, 年产量大于 10 万吨的企业 53 家, 2~10 万吨的企业 414 家, 共占企业总数的 20.47%, 绝大多数企业的年产量在 2 万吨以下(杨帆, 2008)。目前我国堆肥产业主要呈现出以下特点。

(1) 产业规模小 一方面表现为行业产业规模小, 堆肥产品的养分投入量不到全国肥料养分投入量的 10%; 另一方面表现为企业生产规模小, 绝大多数为小型堆肥企业。

(2) 企业地域分布狭窄 在全国近 2300 家有机肥生产企业中, 山东、广东、河南、河北几乎占到接近 50%。

(3) 生产条件简陋 企业固定资产投资在 100 万元以下的超过 50%, 固定资产投资 100~1000 万元的大约 30%, 固定资产投资 1000 万元以上的不到 20%。

(4) 生产原料单一 几乎所有的企业都是以鸡粪为主要原料, 鸡粪已占到全行业原料的 60% 以上。

(5) 发展速度快 2005 年全国有机肥料企业大约为 1000 家, 产能约 800 万吨, 不到 5 年的时间, 企业发展到近 2300 家, 分布在全国 28 个省、市、自治区, 总产能达 3475.41 万吨。

2. 市场需求状况及特点

2005 年以来, 堆肥产品的市场需求总体上呈快速发展趋势, 部分品种供不应求, 局部地区存在滞销积压。据 2005 年对湖北、江西、广东、广西、海南等南方省区调查, 这些省区近 5 年堆肥产品的市场需求每年都以 20% 以上的速度增长, 应用范围也从蔬菜、瓜果开始向大田作物和林木种植渗透。在广东、广西桉树集中种植区, 以堆肥为主要原料加工的桉树专用肥(有机-无机复混肥)至少占据了 30% 以上的桉树肥料市场; 在我国北方蔬菜集中种植区和规模化的绿色食品、有机食品基地, 堆肥产品以及堆肥加工产品均已占据相当的市场份额。总体市场需求呈以下特点。

(1) 市场热度呈点状分布 目前市场规模较大的主要分布在蔬菜、水果等经济作物或特色农作物种植面积大的省份或地区, 如山东寿光蔬菜种植区、胶东水果种植区、江西赣南脐

橙种植区、东北绿色食品和有机食品种植区以及南亚热作区等。

(2) 种植基地建设拉动市场需求 在我国东北地区,由于幅员辽阔、土地肥沃,大田作物种植几乎没有施用有机肥的习惯,但随着一大批绿色稻、绿色豆、绿色玉米等基地的建成,促生了堆肥产业的兴起;江西赣南地区是我国传统的脐橙种植区,前些年由于肥料应用不合理,品质下降严重,但随着该地区被列为国家级优质脐橙种植基地,并投入巨额资金进行建设,堆肥产品得以迅速推广。

(3) 种植企业的壮大提升市场热度 几千年来,我国一直沿袭一家一户的农作方式,种植规模小,新技术、新产品推广速度慢、难度大,改革开放以来,企业办农业在各地迅速兴起,农业种植企业规模逐年壮大,由于吸收、积累了许多先进的技术理念和管理理念,对新技术、新产品的接受快。在海南省,农业种植企业过万家,主要种植品种都是一些附加值较高的热带水果或经济作物,基肥几乎全部施用堆肥产品,并带动了周边农民使用这些产品的积极性;在广东东部,集中了众多的港澳地区蔬菜生产商,他们在蔬菜种植过程中,堆肥投入占到整个肥料投入的一半以上,生产的蔬菜质量好、卖价高,在他们的带领下,该地区农民应用堆肥的积极性空前高涨。

(4) 特色种植的兴起启动空白市场 粤西是广东省经济欠发达的地区,过去有机肥的应用规模很小,近几年桉树种植规模逐年扩大,由于桉树专用肥(有机-无机复混肥)促生长效果显著,所以市场规模迅速扩大。

(5) 经济作物的示范效应催生大田作物市场 过去有机肥、生物肥几乎就是经济作物或高附加值作物专用肥的代名词,同时由于施用量大、成本高、剂型单一,所以很少在大田作物上应用,随着品种、剂型、用法、用量的不断创新,特别是在经济作物上的应用效果被肯定,产品市场开始逐渐向大田作物转移,并出现了一大批水稻专用肥、小麦专用肥、油菜专用肥、棉花专用肥等,大田市场份额已占到全堆肥行业的近1/3。

3. 行业市场发展趋势

随着社会经济的快速发展,人们的生产生活及日常消费对健康、安全的要求越来越高,保持农业的可持续发展必将带来农业产业结构的进一步调整,所有这些为堆肥产业的快速发展提供了难得的机遇,所以未来几年堆肥行业市场的发展将呈以下趋势。

(1) 无公害农产品种植规模的逐年扩大,将全面引爆堆肥产品市场。保障居民消费安全将作为我国未来农产品生产的基本要求,而肥料将在其中担负起重要责任,堆肥及其加工产品必将作为主流产品来满足市场的要求。

(2) 资源环境的压力将推动堆肥产业和行业的发展。中国作为一个发展中大国,面临着资源短缺和资源利用率不高、生态环境恶化的双重矛盾,已引起党和国家的高度重视。随着养殖规模的逐渐扩大、城市化进程的逐步加快,畜禽粪便、市政污泥以及其他工农业加工副产品等有机废物的产生量还会扩大,处置不当必将对环境产生严重影响。目前进行堆肥化处理已成为有机固体废物资源化利用的主要途径。

(3) 对资源的掌控和整合将催生出一批行业巨头。虽然目前堆肥行业以中小型企业为主,企业间的竞争主要表现为在局部区域争夺和占领市场,但随着资金、人才的大量涌入,企业的竞争将以控制原料入手,通过企业间兼并整合,控制区域市场。目前在山东、广东、海南等地已有这种趋势。

(4) 品牌的作用将逐渐显现 目前在山东、江西、海南等的一些局部区域,品牌效应的雏形开始出现,一些品牌的堆肥产品因为质量好、售后服务周到,比市场同类产品售价高出20%左右,但受到老百姓的普遍欢迎。

(5) 产品将逐渐从种植业向水产养殖业渗透 利用堆肥技术和产品开发和加工水产养殖用专用肥料已获得较大进展,有些开始在水产养殖上大面积推广应用,2005年在湖南、湖

北、江西、浙江、广东、广西、海南的部分地区，生物有机鱼肥呈供不应求的态势。

第二节 产品登记

一、肥料登记管理办法

为加强肥料管理，保护生态环境，保障人畜安全，促进农业生产，农业部于2000年6月12日发布了《肥料登记管理办法》（以下简称《办法》），并随后发布了《肥料登记资料要求》。《办法》规定在我国实行肥料产品登记管理制度，未经登记的肥料产品不得进口、生产、销售和使用，不得进行广告宣传。国家鼓励研制、生产和使用安全、高效、经济的肥料产品。

1. 登记范围

《办法》明确了肥料的范围，是指用于提供、保持或改善植物营养和土壤物理、化学性能以及生物活性，能提高农产品品质，或增强植物抗逆性的有机、无机、微生物及其混合物料。

2. 免于登记范围

《办法》规定，对经农田长期使用，有国家或行业标准的下列产品免于登记：硫酸铵，尿素，硝酸铵，氰氨化钙，磷酸铵（磷酸一铵、磷酸二铵），硝酸磷肥，过磷酸钙，氯化钾，硫酸钾，硝酸钾，氯化铵，碳酸氢铵，钙镁磷肥，磷酸二氢钾，单一微量元素肥，高浓度复合肥。

3. 不予受理

《办法》规定有下列情形的肥料产品，登记申请不予受理：①没有生产国使用证明（登记注册）的国外产品；②不符合国家产业政策的产品；③知识产权有争议的产品；④不符合国家有关安全、卫生、环保等国家或行业标准要求的产品。

4. 登记证类型

《办法》规定，肥料登记证分为临时登记证和正式登记证两种，临时登记证有效期1年，期满可申请临时续展登记，正式登记证有效期5年，期满可申请续展登记。

5. 登记审批权限

《办法》明确了农业部负责全国肥料的登记审批、登记证发放和公告工作，各省、自治区、直辖市人民政府农业行政主管部门负责本行政区域内的复混肥、配方肥（不含叶面肥）、精制有机肥、床土调酸剂的登记审批、登记证发放和公告工作，但不得越权审批登记。根据《办法》，目前堆肥产品中，精制有机肥、有机-无机复混肥向所在省、自治区、直辖市人民政府农业行政主管部门申请办理，生物有机肥、复合微生物肥料应该向农业部申请肥料登记。由于各省、自治区、直辖市办证规定不尽相同，所以后面将只介绍生物肥料的办证程序。

6. 罚则

《办法》规定了几种应该受处罚（罚款）的情形：①生产、销售未取得登记证的肥料产品；②假冒、伪造肥料登记证、登记证号的；③生产、销售的肥料产品有效成分或含量与登记批准的内容不符的；④转让肥料登记证或登记证号的；⑤登记证有效期满未经批准续展登记而继续生产该肥料产品的；⑥生产、销售包装上未附标签、标签残缺不清或者擅自修改标签内容的。

二、临时登记

申请者应填写《微生物肥料临时登记申请表》(3份),并提交下列中文资料及肥料样品。其中,毒性报告、菌种安全鉴定报告可以在办理登记时委托受理单位送相关或指定单位办理;残留试验及残留检测方法资料,如没有要求可不提交。

1. 生产者基本情况

首次申请肥料登记,应提供肥料生产企业的基本情况资料。包括以下方面。

(1) 工商注册证明文件 境内产品,提交工商行政管理机关颁发的企业注册证明文件复印件(加盖发证机关确认章)。工商营业执照的经营范围应包括申请登记的肥料类。

国外及中国港、澳、台地区产品,提交生产企业所在国(地区)政府签发的企业注册证书和肥料管理机构批准的生产、销售证明,以及企业符合肥料生产质量管理规范的证明文件和在其他国家登记使用情况。这些证明文件必须先在企业所在国(地区)公证机构办理公证或由企业所在国(地区)外交部门(或外交部门授权的机构)认证,再经中华人民共和国驻企业所在国(地区)使馆(或领事馆)确认。

(2) 生产企业基本情况资料 包括企业的基本概况、人员组成、技术力量、生产规模、设计规模等。

(3) 产品及生产工艺概述资料 包括:①产品类型、产品名称、技术来源、主要有效成分;②产品剂型、可溶性、稳定性、质量保证期;③适用作物范围以及对作物产量、质量、环境生态的影响;④生产基本设备和生产工艺流程简述。

微生物肥料还应提供使用微生物菌种的来源、分类地位、培养条件、检测方法、菌种安全性,以及产品中所使用菌种的鉴定材料,菌体、菌落照片等资料。

国外及中国港、澳、台地区产品还应提交在其他国家(地区)登记使用情况,产品原文商品名和化学名,以及主要成分的商品名、化学名、结构式或分子式。

(4) 商标注册证明 商标注册为非强制性法律文本,但建议生产者申请商标注册。属协议使用商标的,应提交商标持有者允许使用该商标的协议书等合法文件。

(5) 无知识产权争议的声明。

2. 产品执行标准

(1) 境内产品,应提交产品执行标准。有国家标准或行业标准的产品,产品的企业标准中各项技术指标,原则上不得低于国家标准或行业标准的要求。企业标准必须提供产品各项技术指标的详细分析方法,包括原理、试剂和材料、仪器设备、分析步骤、分析结果的表述、允许差等内容。分析方法引用相关国际标准、国家标准、行业标准,要注明引用标准号及具体引用条款。

微生物肥料产品的标准,还应提供检测用的微生物培养基配方、培养条件、菌体特征等资料。

企业标准必须经所在地标准化行政主管部门备案。

(2) 国外及中国港、澳、台地区产品,应提供肥料的理化性状、质量控制指标和检验方法,以及企业所在国(地区)公证机构公证的产品质量保证证明。

3. 产品标签样式(包括标识、使用说明书)

产品和包装标明的所有内容,不得以错误的、引起误解的或欺骗性的方式描述或介绍产品;所有文字必须合乎规范的汉字,可以同时使用汉语拼音、少数民族文字或外文,但不得大于汉字,计量单位应当使用法定计量单位。

4. 肥料效应小区试验资料

境内肥料产品(除微生物肥料以外),应提交由省级以上农业行政主管部门认定单位最

近3年内(以受理之日为基准,下同)完成并出具的试验资料;微生物肥料产品和国外及中国港、澳、台地区肥料产品,应提交由农业部认定单位最近3年内完成并出具的试验资料。

肥料效应小区试验资料包括以下

(1) 田间试验肥料的样品检测报告 由省级以上经计量认证的肥料检测机构检测出具。

(2) 田间试验报告 报告应是与标签(说明书)标明的产品主要功效相对应的、每一种作物1年2种(含)以上不同的土壤类型地区或2年1种土壤类型地区的试验结果。

(3) 作用方式和作用机制研究报告 根据申请者提供的产品资料情况,由农业部确定是否提交。

(4) 国外及中国港、澳、台地区产品在本国(地区)或其他国家(地区)的肥效试验结果报告。

5. 毒性报告

由省级以上卫生行政部门认定单位出具的产品经口急性毒性试验报告。

特殊产品根据申请者提交的资料情况,由农业部有关部门确定是否提交或进行产品的其他类型毒性试验。

6. 菌种安全鉴定报告

微生物肥料或含特定微生物起作用的产品,应提交菌种安全鉴定报告。菌种安全鉴定统一送指定单位进行。

国家级菌种保藏机构出售的菌种,如提供有售出单位出具的安全鉴定报告,可免于进行菌种安全鉴定。

经安全鉴定的菌种,其微生物菌剂类产品可以免提交毒性报告。

根据安全鉴定的不同要求,菌种分为三级:第一级为免做安全鉴定的菌种,第二级为应做急性毒性鉴定的菌种,第三级为应做非病原微生物鉴定的菌种。对新出现不在菌种分级目录范围内的菌种,菌种安全鉴定分级要求由肥料评审委员会提出建议,农业部确定。

7. 残留试验及残留检测方法资料

根据申请者提交的资料情况,由农业部确定是否需要进行产品残留试验和提交有关资料。

8. 肥料样品

境内产品由生产者所在省级农业行政主管部门或其委托单位抽取成品肥料样品并封口;国外及中国港、澳、台地区肥料由产品所在省级农业行政主管部门抽取成品肥料样品并封口。

9. 初审意见

境内生产者应提交所在省级农业行政主管部门对登记资料的综合初审意见,包括肥料效应试验报告和企业资料真实性、规范性的认定,并附上省级农业行政主管部门或其委托单位“对肥料登记企业质量保证体系考察评分表”。

三、正式登记

申请正式登记,申请者应填写《肥料正式登记申请表》,并补充提交下列中文资料(临时登记已提供了详细资料的,在正式登记时重复资料可不再要求提交)及肥料样品:

1. 生产者基本资料

(1) 生产者注册证明材料(见“临时登记”的“生产者基本资料”部分)。

(2) 生产企业基本情况资料。在原来基础上补充企业新的发展变化内容。

(3) 国外及中国港、澳、台地区产品补充在其他国家(地区)新登记使用情况。

(4) 其他需要补充的证明文件等材料。

2. 产品执行标准

根据申请者在申请临时登记时提交的资料情况，由农业部确定是否需要提交新的产品质量标准及详细分析方法资料。

3. 产品标签样式（包括标识、使用说明书）

根据申请者在申请临时登记时提交的资料情况，由农业部确定应补充提交的新的标签资料。

4. 肥料效应示范试验资料

提交由农业部认定单位最近4年内在2个以上（含）不同省完成并出具的示范试验资料。原则上要求每种作物的示范试验面积：经济作物面积5亩以上、大田作物20亩以上，对照1~2亩。具体方案由承担试验的农业部认定单位与生产企业参照登记肥料肥效试验技术规程协商制定。

对有国家标准或行业标准或农业部肥料登记评审委员会建议并经农业部种植业管理司认定的产品或同一生产企业的相同有效成分、改变剂型且至少有1个产品已获正式登记的产品，免提交肥料效应示范试验资料。

肥料效应示范试验包括以下资料。

(1) 田间示范试验肥料的样品检测报告。由省级以上经计量认证的肥料检测机构检测出具。

(2) 田间示范试验报告。报告应是与标签（说明书）标明的产品主要功效相对应的、经临时登记作物的田间示范试验结果。

示范试验报告的格式和内容参考“临时登记”的“肥料效应小区试验”部分要求。

(3) 作用方式和作用机制研究报告。根据申请者提供的产品资料情况，由农业部确定是否必须提交。

(4) 国外及中国港、澳、台地区产品在本国（地区）或其他国家（地区）新的肥效试验结果报告。

5. 毒性报告

根据申请者临时登记时提交的资料情况，由农业部确定需提交的产品的其他毒性试验资料。

6. 残留试验及残留检测方法资料

根据申请者临时登记时提交的资料情况，由农业部确定需提交的产品残留试验资料。具体要求和做法与“临时登记”的“残留试验及残留检测方法资料”部分相同。

7. 肥料样品

由产品所在省级农业行政主管部门抽取成品肥料样品并封口，其他具体要求和做法与“临时登记”的“肥料样品”部分相同。

四、续展登记

续展登记包括临时登记证续展和正式登记证续展。

1. 《临时登记证》续展

在《临时登记证》有效期满两个月前，申请者应当填写《微生物肥料临时登记续展申请表》，并提交下列资料：

(1) 生产者原登记证复印件；

(2) 该产品在有效期内的使用情况，内容包括使用面积、施用作物、应用效果和主要推广地区等；

(3) 质量复核样品, 此项仅是对有不良反应或在登记证有效期内的质量抽查中不合格的产品要求。

对质量复核样品的具体要求和做法与“临时登记”的“肥料样品”部分相同。

2. 《正式登记证》续展

在《正式登记证》有效期满两个月前, 申请者应当填写《微生物肥料正式登记续展申请表》, 并提交下列资料:

(1) 生产厂商原登记证复印件。

(2) 产品使用面积、施用作物、应用效果和主要推广地区等材料。

(3) 国外及中国港、澳、台地区产品提供生产国(地区)最新批准生产和销售的证明文件、产品说明书和产品质量标准。

(4) 质量复核样品。对质量复核样品的具体要求和做法与“正式登记”的“肥料样品”部分相同。

(5) 国内产品提交生产者所在省级农业行政主管部门意见。

五、变更登记

变更登记有三种类型。要求进行下述变更登记的, 申请者应当填写《微生物肥料变更登记申请表》, 并提供与变更内容相关的证明材料。

1. 变更产品使用范围

应补充提交以下资料:

(1) 生产厂商的变更产品使用范围申请书和原登记证复印件;

(2) 肥料效应小区试验报告。变更产品使用范围的作物在我国1年2种(含)以上不同土壤类型地区或2年1种土壤类型地区的田间肥效试验资料;

(3) 产品标签样式(包括标识、使用说明书);

(4) 国外及中国港、澳、台地区产品在其他国家(地区)相应的登记使用情况证明材料。

2. 变更产品名称

应提交生产厂商的变更产品名称申请书和原登记证复印件。

3. 变更企业名称

应提交以下资料:

(1) 生产者的变更企业名称申请书和原登记证复印件;

(2) 企业工商注册证明文件;

(3) 其他与企业名称变更相关的文件材料。

第三节 产品包装及标签

一、肥料标识

关于肥料标识, GB 18382—2001《肥料标识内容和要求》已作了具体规定, 现将肥料标识的基本原则、一般要求及标识内容等概述如下。

1. 基本原则

(1) 标识所标注的所有内容, 必须符合国家法律和法规的规定, 并符合相应产品标准的

规定。

(2) 标识所标注的所有内容, 必须准确、科学、通俗易懂。

(3) 标识所标注的所有内容, 不得以错误的、引起误解的或欺骗性的方式描述或介绍肥料。

(4) 标识所标注的所有内容, 不得以直接或间接暗示性的语言、图形、符号导致用户将肥料或肥料某一性质与另一肥料产品混淆。

2. 一般要求

所标注的所有内容, 应清楚并持久地印刷在统一的并形成反差的基底上。标识中的文字应使用规范汉字, 可以同时使用少数民族文字、汉语拼音及外文(养分名称可以用化学元素符号或分子式表示), 汉语拼音和外文字体小于相应汉字和少数民族文字; 应使用法定计量单位; 标识中图示应符合 GB 190 和 GB 191 的规定。使用的颜色应醒目、突出、易使用户特别注意并能迅速识别; 标识直接印在包装袋上, 应保证在产品的可预计寿命期内的耐久性, 并保持清晰可见; 标识的形式分为外包装标识、合格证、质量证明书、说明书及标签等。

3. 标识内容

(1) 肥料名称及商标 应表明国家标准、行业标准已经规定的肥料名称; 对商品名称或者特殊用途的肥料名称, 可在产品名称下以小 1 号字体予以标注; 国家标准、行业标准对产品名称没有规定的, 应使用不会引起用户、消费者误解和混淆的常用名称; 产品名称不允许添加带有不实、夸大性质的词语, 如“高效×××”、“××肥王”、“全元素××肥料”等; 企业可以标注经注册登记的商标。

(2) 肥料规格、等级和净含量 肥料产品标准中已规定规格、等级、类别的, 应标明相应的规格、等级、类别; 若仅标明养分含量, 则视为产品质量全项技术指标符合养分含量所对应的产品等级要求; 肥料产品单件包装上应标明净含量, 净含量标注应符合《定量包装商品计量监督规定》的要求。

(3) 养分含量 应以单一数值标明养分的含量。单一肥料应标明单一养分的百分含量, 若加入中量元素、微量元素, 可标明中量元素、微量元素(以元素单质计, 下同), 应按中量元素、微量元素两种类型分别标识各单养分含量及各自相应的总含量, 不得将中量元素、微量元素含量与主要养分相加。微量元素含量低于 0.02% 或(和)中量元素含量低于 2% 的不得标明; 复混肥料(复合肥料)应标明 N、P₂O₅、K₂O 总养分的百分含量, 总养分标明值应不低于配合式中单养分标明值之和, 不得将其他元素或化合物计入总养分, 同时应以配合式分别标明总氮、五氧化二磷、氧化钾的百分含量, 如氮磷钾复混肥料 15-15-15, 二元肥料应在不含单养分的位置标以“0”, 如氮钾复混肥料 15-0-10, 若加入中量元素、微量元素, 不在包装容器和质量证明书上标明(有国家标准或行业标准规定的除外); 中量元素肥料应分别单独标明各中量元素养分含量及中量元素养分含量之和, 含量小于 2% 的单一中量元素不得标明, 若加入微量元素, 可标明微量元素, 应分别标明微量元素的含量及总含量, 不得将微量元素含量与中量元素相加; 微量元素肥料应分别标出各种微量元素的单一含量及微量元素养分含量之和。

(4) 其他添加物含量 若加入其他添加物, 可标明各添加物的含量及总含量, 不得将添加物含量与主要养分相加; 产品标准中规定需要限制并标明的物质或元素等应单独标明。

(5) 生产许可编号 对国家实施生产许可管理的产品, 应标明生产许可证的编号。

(6) 生产者或经销者的名称、地址 应标明经依法登记注册并能承担产品质量责任的生产者或经销者名称、地址。

(7) 生产日期或批号 应在产品合格证、质量证明书或产品外包装上标明肥料产品的生

产日期或批号。

(8) 肥料标准 应标明肥料产品所执行的标准编号；有国家或行业标准的肥料产品，如标明标准中未有规定的其他元素或添加物，应制定企业标准，该企业标准应包括所添加元素或添加物的分析方法，并应同时标明国家标准（或行业标准）和企业标准。

(9) 警示说明 运输、储存、使用过程中不当，易造成财产损失或危害人体健康和安全的，应有警示说明。

(10) 其他 法律、法规和规章另有要求的，应符合其规定；生产企业认为必要的，符合国家法律、法规要求的其他标识。

4. 其他要求

包括标签类型、尺寸、形状，质量证明书或合格证，标识印刷规定等。

二、堆肥产品包装及标签规范

堆肥产品通常采用塑料编织袋包装，并衬塑料薄膜内袋，GB 18382—2001 所规定的所有标识内容一般都直接印制在包装袋上，产品标签应标注的内容如下。

1. 产品名称

产品名称应以醒目大字表示，并应当使用表明该产品真实属性的专用名称。涉及堆肥的几个产品，国家标准、行业标准对产品名称已有规定，分别为商品有机肥料（或精制有机肥）、生物有机肥、复合微生物肥料、有机-无机复混肥料，应根据产品类型采用国家标准、行业标准规定的上述名称；如今后出现国家标准、行业标准对产品名称没有规定的，应当使用不使消费者误解或混淆的常用名称或俗名；在使用“商标名称”或其他名称时，必须同时使用上述规定的某一个名称。

2. 肥料登记证号

生物有机肥、复合微生物肥料应该是农业部颁布的临时登记证号或正式登记证号，商品有机肥料（精制有机肥）、有机-无机复混肥应该是各省、自治区、直辖市人民政府农业行政主管部门颁布的临时登记证号或正式登记证号，其他部门颁布的或越权审批的证号均无效。

3. 生产许可证号

有机-无机复混肥的生产开始实行生产许可证制度，应标明生产许可证标号，生产许可证一般由各省、自治区、直辖市人民政府质量监督管理部门颁发。

4. 产品执行标准号

根据产品类型，应当标明企业所执行的国家标准、行业标准号，如要标明国家标准、行业标准中未有规定的其他元素或添加物，应同时标明经备案的企业标准的编号。

5. 有效成分的名称和含量

按 GB 18382—2001 有关条款执行。

6. 净含量

7. 生产者名称和地址

境内产品，必须标明经依法登记注册的、能承担产品质量责任的生产者的名称和地址。国外及港、澳、台地区产品，应当标明该产品的原产地（国家或地区）以及代理商在中国依法注册的名称和地址。

8. 使用说明

按申请登记的适用作物简述安全有效的使用时期、使用量和使用方法及有关注意事项。

9. 生产日期

生物有机肥、复合微生物肥料均有使用限期，应标注保质期、失效日期。各类产品均应

标明储藏条件和储藏方法。

10. 必要的警示标志和储存要求

对于易碎、怕压、需要防潮、不能倒置以及其他特殊要求的产品，应标注警示标志或中文警示说明，标注储运注意事项。

11. 限用范围

12. 与其他物质混用禁忌

第四节 产品市场销售策略

一、肥料市场网络及特点

计划经济时期，肥料作为国家专营专控产品，购销渠道为全国供销合作系统所属的农业生产资料公司，在当时形成了一个自上而下的产品供应网络。改革开放以后，随着企业的改组改制，形成了各种不同类型农资产品流通企业，特别是大量的人员分离，分离人员通过自营、合作、合资的形式新建了许多农资经销企业，同时农业、林业、水产部门的改革也派生出许许多多形式各异的农资企业。近年来，随着流通领域的快速发展，农资销售从生产到储存、运输、经销、售后服务等环节网络建设也逐步完善，促进了农业的发展。肥料是农资销售的重要组成部分，其网络特点是：①化肥销售因为数量大、占用资金多，其网络主体依赖于传统的农资系统网络和成长起来的大型农资连锁企业；②新型肥料因为数量少、消费者认知度低，其网络主体基本上依赖于中小型的农资经销企业或直销；③肥料网络的联系或连接通常都是松散型的；④网络终端即最基层经销企业或经销商的销售主导品种不确定性大；⑤新型肥料的售后服务通常由生产者完成。

二、肥料产品营销模式

肥料产品的营销模式多种多样，因地区、品种、规模以及生产者经济实力和销售理念等的不同而存在差异。肥料因产品的特异性和消费对象的特异性，决定了它营销模式的局限性，虽然近年来随着国外农资产品的不断涌入，带来了不少全新的营销模式和销售理念。但作为肥料产品最基本的销售模式还是直销和代理销售两种方式，但堆肥产品的销售作为一种新生事物，如何选择和建立适合产品和企业特点的营销模式，有赖于大家共同探索。

1. 直销

就是生产者不经过中间环节，直接将产品提供给消费者的一种销售方式。这种销售方式的特点是中间环节少，生产者和消费者都可以获得最大利益，但缺点是销售对象和数量易受限制。肥料产品的直销对象通常都是大型种植养殖农业企业，堆肥产品中生物有机肥、复合微生物肥料因产品剂型和保质期的限制，比较适合于直销。

2. 代理销售

代理销售有总经销和区域代理两种基本类型。总经销和区域代理因产品的应用范围不同而存在地域性的差异。如产品应用范围不受限制，则总经销是面向全球的；如仅适合于国内和某一地区应用，则总经销是面向全国或某一地区的，相应区域代理的范围就更小；同时代理还分为若干级。肥料的销售一般面向国内，以区域代理销售为主。堆肥产品受其价值和价格限制，除有机-无机复混肥以外，其他产品均没有被国家列入铁路运输半价货物名录，运输半径有限，运输半径一般为 500km 左右，所以其代理范围更小。

三、堆肥产品销售常见问题及策略

堆肥产品作为一个较新的肥料品种,产品在销售中,除了有一般肥料销售易产生的矛盾外,还会经常遇到以下问题:

(1) 消费者对产品的认知度差 这种现象不仅表现在经济欠发达地区,也表现在经济较为发达地区。

(2) 消费者对产品认识上存在误区 表现为两个极端,要么认为堆肥是可以完全取代化肥,要么认为堆肥可有可无,用了会增加生产成本。

(3) 应用效果不稳定 产生这种现象的主要原因一方面是堆肥产品选择不合理,另一方面是配套应用技术不完善。

要解决上述问题,除了生产者应加强内部管理,降低生产成本,提高产品质量,不断开发适销对路产品外,还应着重从以下几个方面解决问题。

(1) 加大科普宣传 要利用广播、电视、报纸、杂志、技术培训、技术讲座等形式,让消费者真正认识它、了解它、掌握它。当然这不仅是生产者的责任,而且还需要全社会的参与,要采取政策引导、科技推动、市场调节等方式,促进堆肥产品的推广应用。

(2) 做好示范 堆肥产品归属于农业、应用于农村、消费于农民,堆肥产品的销售要遵循农业新技术、新产品试验、示范、推广的规律,扎实做好田间示范工作,一定要让农民看到眼见为实的效果。

(3) 选准突破口 一方面要从适用作物上选准突破口,要先在应用效果明显、产品附加值较高的作物上进行推广,然后向其他作物渗透、辐射;另一方面要从消费对象上选准突破口,要优先选择大的种植基地或对新技术、新产品有着浓厚兴趣的种植户,通过他们的示范作用,带动周边市场的发展。

(4) 公共关系 要研究和充分利用各级政府已出台的、利于发展的政策,采用积极的态度,处理好所属企业和目标公众的关系,重点是处理好与新闻界的关系,密切注视社会热点,并踊跃投入各项有利于树立企业形象和提高企业声望的公益活动。

(5) 强化售后服务 良好的售后服务是维护和巩固市场的关键,特别是作为一种新型肥料产品,在推广应用过程中,会不断出现新问题、产生新矛盾,只有通过强化售后服务才能及时发现问题、解决新矛盾,树立良好的企业形象,加深与客户的友谊。

(6) 做好信息反馈和收集整理工作 建立用户档案,要准确掌握产品销售地区作物、气候、土壤、投入水平、种植习惯、产量水平等一手资料,为新产品开发或优化应用技术提供参考。同时还要收集掌握相关产品、经销商和用户资料,为制订销售计划 and 市场开发计划提供依据。

参 考 文 献

- [1] 梁保平. 促进农业种植业与高科技产品相结合. 广东发展导刊, 1998. 6: 48~50.
- [2] 农业部. 肥料登记管理办法. 2000. 6.
- [3] 杨帆, 高祥照. 土壤有机质提升技术模式. 北京: 中国农业出版社, 2008: 1~7.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 肥料标识内容和要求. GB 18382—2001.

第十一章

堆肥厂运行管理

第一节 堆肥设施的维护管理

一、维护管理的基本内容

有机废弃物的堆肥化，作为所谓的“静脉产业”（对废弃物处理、再生、再加工的产业）的一个环节，是建设循环型社会的重要事业。为了这项工作能够正确有效地开展下去，需要有这样的构想，即遵守相关法律，制订出适合所在区域的各种条件，得到该地区居民的理解和支持，并依此设置设施，才可顺利开展工作。

关于设施的维护管理，首先应在充分了解相关知识的基础上，弄清自己管理的设施“是以怎样的思路设计出来的”，“如何操作每个机器和设备”以及“生产出什么样的产品”。

但是仅仅依靠这些，尚无法使维护管理做到尽善尽美。即使经过严谨仔细的调查研究后进行的设计、施工，也无法达到预期的理想要求，特别是原材料条件和发酵过程是不一样的。

有必要在扎实理解掌握堆肥化相关的原理，调查研究类似运转设施现状的基础上，在实践中调整固有的管理标准，并以此进行必要的修正，正确地维护设施的全部功能。设施整体维护管理的注意事项如下：①应清楚认识到使用机器进行的操作，不仅仅是处理废弃物，同时还生产农业生产资料；②弄清堆肥化的原理，在充分了解设施的计划构想和设计条件的基础上，准备好适合于现场的原材料条件及发酵条件，正确地进行每日的现场管理；③和原材料输出方或是原材料收集搬运管理方之间达成废弃物的资源化共识，并切实地保持合作关系；④准确把握商品堆肥产品的需求评价和意向，并生产出相适应的堆肥化产品；⑤湿气和腐蚀性气体容易腐蚀机器的内部环境，所以应留意操作人员的健康状况和设备机器的维护；⑥这种设施会影响周边环境，故应努力和周边居民建立持续良好的关系。

二、工艺管理

尽管希望依靠适合堆肥化的原材料和方法生产出堆肥化产品，但因为原材料是废弃物，并且很难控制反应状况，即使是同一种材料也很难做到“适应”。但是，不管在任何情况下，都必须生产出有促进植物生长和土壤改良效果的有机肥料。

堆肥化的工艺管理可以创造出稳定生产这种堆肥产品的环境，并持续有效地保持设施性能。

表 11-1 是全部设施的维护管理记录，可作参考。

表 11-1 堆肥化设施运转管理日报 (举例)

__年__月__日 天气: __

1. 输入量

(1) 畜禽粪便 台数	(t 台)
(2) 厨余垃圾 台数	(t 台)
(3) 稻壳 台数	(t 台)
合计 台数	(t 台)

2. 残渣输出量

(1) 预处理残渣	t
(2) 产品化残渣	t
合 计	t

3. 投入发酵槽的量

(1) 畜禽粪便 桶数	(t 桶)
(2) 碎厨余垃圾 桶数	(t 桶)
(3) 稻壳 桶数	(t 桶)
(4) 堆肥返料 桶数	(t 桶)
(5) 其他 桶数	(t 桶)
合 计	t

4. 残渣产生量

(1) 预处理残渣	t
(2) 产品化残渣	t
合 计	t

5. 堆肥产品的袋装重量

(1) 袋装数	袋
(2) 袋装数	t

6. 堆肥产品的产出量

(1) 袋装产品	袋
(2) 散装产品	t
合计	t

7. 污水产生量

(1) 一次发酵槽	(t) L
(2) 二次发酵槽	(t) L
合计	L

8. 机器运转记录

项 目	开始时间	停止时间	运转时间
(1) 设施的运转	:	:	:
(2) 畜禽粪便仓斗	:	:	:
(3) 厨余垃圾仓斗	:	:	:
(4) 稻壳粉碎机	:	:	:
(5) 搅拌装置	:	:	:
(6) 滚筒筛	:	:	:
(7) 包装装置	:	:	:
(8) 通风鼓风机	:	:	:
(9) 脱臭鼓风机	:	:	:
(10) 加水	:	:	:

9. 机器运转记录

○良 △注意 ×否 /不运转

机器名称	运转状况	电流值	
		测定值	固定值
(1) 运输车			
(2) 畜禽粪便仓斗			
(3) 畜禽粪便搬运输送机			
(4) 厨余垃圾仓斗			
(5) 厨余垃圾搬运输送机			
(6) 厨余垃圾粉碎机			22A
(7) 原材料搬运输送机 1			
(8) 原材料搬运输送机 2			
(9) 稻壳粉碎机			90A
(10) 搅拌装置			150A
(11) 通风鼓风机			9.8A
(12) 堆肥仓斗			
(13) 滚筒筛			
(14) 包装装置			
(15) 脱臭鼓风机			71A
(16) 生物脱臭装置			
(17) 加水管			
(18) 污水管			

10. 使用的电量

(1) 结束数值	kW · h
(2) 开始数值	kW · h
使用量	kW · h

11. 自来水的使用量

(1) 结束数值	m ³
(2) 开始数值	m ³
使用量	m ³

12. 备注

1. 预处理工艺管理

预处理工艺管理是依据预处理的条件和发酵设备的性能,管理原材料以及保养管理相关设备、装置、机器;每日的工作要严格地进行管理、记录,包括:了解原材料性状调整的好坏对发酵工艺影响的程度;准确掌握搬入原材料的反应状况和性状,恰当处理所含有不适合发酵的异物;适当调整发酵设备的投入条件;在调整原材料性状方面,如若需要辅料,则需对其至少在数年之后的影响做出正确评估;每日准确记录关于原材料及辅料的性状,发酵设施投入时的条件,发酵设施的投入量。

2. 发酵工艺管理

发酵工艺管理是对发酵条件进行的管理与再确认及对设备、装置、机器等的保养管理。作为提供给客户的堆肥产品,一般情况下是经过两次发酵的混合产品,但有时也只进行一次发酵,所以需进行质量确认。而且,在刚引进新设施开始使用之前,应收集各种堆肥的制造方法或是类似设施产出的堆肥的资料,使设施能顺利运转。

除此之外,每日应切实开展工作,并准确记录其结果,包括内容如下:

发酵设施是堆肥化的关键设施。发酵温度受到通风量、水分、有机物性状的影响。每日都要准确的对其进行测定、记录、补充;在一次发酵过程中,发酵设施内的物料发酵的温度必须保持在 65℃;

通风不足会抑制发酵,而过度会导致水分蒸发、挥散、发酵热气散失,使发酵温度降低,所以要切实管理通风;

发酵物的水分,最高应保持在 70% 以下,最低应保持在 40% 以上,否则会抑制发酵。所以应该对水分进行准确管理;

搅拌可使发酵设施内的物料混合均匀,改善通风条件,但会使温度降低,所以应该控制好搅拌次数;

环境温度低的时候,应正确处理发酵设施和脱臭装置的结露水;

若发酵设施内的温度过高的话会有起火的危险,所以应该注意原材料的性状、温度、排气和水分。

3. 产品化工艺管理

产品化工艺管理是对堆料发酵产物品质进行的确认评价、商品化管理、产品保管以及对设备、装备、机器等的维护管理。除此之外,每日切实开展工作,并准确记录其结果,

包括:

确认评价堆肥化产品的品质性状, 切实记录保管。

很多作业都会引起粉尘、噪声、震荡, 所以要注意保护环境。

要清楚地掌握堆肥化产品的保存天数和状态, 而且要恰当地确认评价产品的品质特性, 1 周要确认水分 1 次。

尽可能地加深与更多客户的交流, 收集其对堆肥产品的评价和需求, 使其生产技能管理更针对于蕴含市场价值的产品。

若使用含有法律限定的重金属的原材料时, 应力求得到客户的支持, 在堆肥产品使用前, 每年对施用的土壤进行监控 1 次。

4. 生产设备、装置的维护管理

关于这些设备的详细的使用管理, 应和该设备的制造商合作, 依照各自的规定制订相应的管理项目, 按每日或每周或每月进行定期维护检查。

此外, 切实进行如下的工作, 准确记录结果。

(1) 每日检查的机器

- ① 对系统影响大, 无修理时间的机器、零件。
- ② 巡视检查机器、零件的给油、异常音、震动、温度等; 这些机器、零件若每日不进行检查、处理, 就有可能引起重大事故。
- ③ 虽影响系统较小, 容易产生异常状况的机器、零件。
- ④ 当日开工收工进行的相应检查。
- ⑤ 常规的检查、调整、清扫。

(2) 定期检查

- ① 虽对系统影响很大, 但为了延长零件的寿命, 而需花时间进行修理的机器、零件。
- ② 日常检查中, 对所观察情况进行详细的检查调整。
- ③ 系统性能是否降低以及会引起故障的机器、零件的检查调整。
- ④ 需要特殊工具和技能的检查、调整、清扫。
- ⑤ 不影响系统、平时无法清扫的地方。
- ⑥ 计量机器的校正和法定检查。
- ⑦ 下次定期检查之前的预防处置检查。

三、环境管理

设施的环境管理, 似乎和堆肥产品的品质性状没有直接关系, 但对保护周边环境的和确保设施操作人员的身心健康也很重要。

以前的条垛式设施, 包括原材料的卸载、向发酵设施内添加原材料、发酵设备内的搅拌、产品化工艺中的堆肥包装等, 几乎所有的作业都是主要由铲车完成的。而且, 条垛式设施多是开放式作业, 所产生的臭气、粉尘及水蒸气等会向四周扩散, 会对周边环境产生影响。

随着发酵系统从室外转向室内, 在城市近郊设置的设施不断增加, 越来越多的周边居民开始对臭气、粉尘、噪声表现出不满。若不采取合适的对策, 就会无法建设设施, 甚至连运转设施都无法进行。

有关环境管理涉及从原材料到堆肥成品储藏等各项工序中所产生的臭气、粉尘、水蒸气、噪声和振动等。对于设施周边环境来说, 臭气问题尤为严重, 因此, 有必要充分考虑建筑物内的搬运工的劳动安全卫生方面的问题。

1. 预处理工艺

由于在设施中使用的有机废弃物, 大部分为易腐物质, 所以在收集、搬运阶段即使使用

封闭式搬运车,在原材料存留地和储藏地卸货时也会产生臭气。另外,在原材料、辅料、堆肥的放置场地以及搬运车出入的发酵设施间的平台等也多少会产生臭气和粉尘。

像稻壳、锯屑等辅料虽然不会产生臭气,但在卸下原材料的过程中会产生粉尘。另外,在使用粉碎机粉碎稻壳时,将稻壳移至储藏槽的过程中、在粉碎机的周围、粉碎了的稻壳搬运时,也都会产生粉尘和水蒸气。在粉碎剪枝时,若使用剪切式粉碎机基本不会产生粉尘,但若以高速回转式粉碎和空气输送兼用的方式粉碎剪枝,则会产生相当量的粉尘和噪声。

在混合设备中,将各种原材料投入混合机,特别是在含水量小的堆肥返料和混合原材料的排出时,也会产生臭气和粉尘。

2. 发酵工艺

在发酵工艺中,由于有机物的分解,会产生以氨气为主的臭气。经过向一次性发酵设施投入各种原材料、从一次性发酵设施将堆肥排出、在二次发酵槽进行反复作业等过程中也会产生臭气和粉尘。

另外,由于有机物的分解致使原材料等的温度上升,会产生大量水蒸气。在反复作业过程中,臭气、水蒸气、高温以及粉尘等混合在一起,发酵室内产生的水蒸气会导致整个发酵室呈现白雾的状态。

但是,在发酵过程中产生的臭气和水蒸气会随着一次发酵的结束而有显著的减少,在二次发酵完成时就基本消失。相反,水分变少的堆肥中伴随着水分的减少,继而产生粉尘。因此,在二次发酵设施的反复使用过程中,会同时产生水蒸气和粉尘。

3. 产品化工艺

在产品化工艺中进行筛分和包装时,进行处理的发酵堆肥的水分减少到40%时,就会开始产生粉尘,减少到30%时粉尘急剧增加。另外,在处理污泥的设备中,堆肥产品变成粉末状,当水分减少30%时,细微的粉尘就会扩散至周围环境。

第二节 预处理工艺的管理

一、原材料条件

近年来,各种有机废弃物作为堆肥的原材料被利用,发酵中会混入不合格物质,堆肥成品中就会含有对堆肥品质产生不良影响的成分,因此有必要选择性的除去这些原材料中的不合格成分。

堆肥原料性状各种各样,即使是同一个品种,根据产生状况的不同,其成分构成和性状也会有所不同。有的可能不适合作为堆肥原材料,特别是有的有机废弃物在发酵状态和发酵时间方面有重大差异。此外,比起用单种原材料进行堆肥化,与其他原材料混合,或添加辅料进行堆肥的方法更加有利。

堆肥生产者必须制定原材料的接收标准,经常确认原材料的性状。

1. 关于接收原材料的认识

(1) 原材料以生活、生产废弃物为主。

(2) 堆肥产品的质量对原材料的依赖性很强,所以要准确把握原材料的量和性状。

(3) 为了稳定能生产出优质、安全、卫生的堆肥产品,必须在原材料排放和收集阶段使之资源化。

(4) 若原材料中混入了不适合发酵的物质时,应在投入原材料时进行中止。此外,在预

处理过程中,进行深度分拣,然后在产品化工艺中,有必要从发酵物中分拣出异物时,可以要求废弃物排放者事先进行处理,或要求他们承担费用。

2. 接收原材料的基本条件

(1) 保持原材料产生时的性状(新鲜的废弃物)。

(2) 尽量使原材料不含有金属或不可生物降解的塑料等不适合发酵的物质。

(3) 不含有堆肥产品的品质规定中所规定的不适合堆肥的重金属类和有机化合物等有害物质。

(4) 没有受到传染性病原菌、食物中毒菌等流行病学方面的污染。

(5) 除上述条件之外,尽量不含有对环境保护设施和堆肥产品质量产生影响,以及在处理方面有问题的原材料。

二、预处理工艺的管理

为了生产符合用户需求的堆肥产品,除在前一节所叙述的对接收原材料进行管理外,对预处理工艺的管理也是十分重要的。表 11-2 举例说明了关于运转管理的条件。

表 11-2 预处理工艺的管理项目和预处理方法

预处理项目	管理目标	预处理方法
水分调整	50%~65%	添加辅料、返料或干燥堆肥:水分含量为 65% 以上的原材料、根据发酵设备要求,必须使水分含量达到 50% 以上 加水:水分含量为 40% 以下的原材料
C/N	10~30	添加辅料、返料:C/N 较大时,加入高氮源材料,C/N 较小时,加入高碳源材料
pH 值	6~10	添加辅料、返料:一般情况下,在管理目标的范围内,若 pH 值为 10 以上,则有必要进行预处理
粒径	10mm 以下	粉碎、分拣:厨余垃圾、稻壳、树皮、剪枝、伐木等物料需要进行破碎或粉碎,另外畜禽粪便和脱水污泥中的块状物质或片状物质需处理
温度	10℃ 以上	在发酵工艺中加温、加热,或在发酵工艺中延长发酵时间
异物除去	危险物、发酵阻碍物等	粉碎、分拣:不能除去的物质可以在产品化工艺中除去

预处理工艺中很重要的一项是粉碎处理。表 11-3 给出了预处理原料的粉碎标准,但各厂可以根据产品标准,对粉碎颗粒的大小进行调整。

表 11-3 预处理工艺中的粉碎标准

对象原材料、材料	尺寸标准	备 注
木质系	茎、枝 10mm 以下	剪枝不能直接投入粉碎机,所以必须把它切成 2m 长左右,再投入粉碎机中。若为 10mm 以上,经 9 个月左右的堆肥化,仍会有木质残留
	叶 无破损、大型; $L < 30\text{mm}$	有的叶子柔软,不易粉碎,但是可以在堆肥化过程中进行分解。干燥的叶片容易分解
草质系	茎 $L < 10\text{mm}$; 大型茎;宽 $< 10\text{mm}$	粗茎在堆肥化过程中不能被分解,所以要进行粉碎
	叶、软质茎 无破损、大型; $L < 30\text{mm}$	不易粉碎,但是在发酵过程中可以被分解
厨余垃圾	10mm 以下, 但是不能为糊状	通过分类回收收集的厨余垃圾 若为 10mm 以上,则在发酵过程中不会被完全分解
稻壳	大小粉碎为一半以下	粉碎含硅元素的稻壳 有的没有被粉碎的稻壳在发酵过程中也可以保持良好的通风性

第三节 发酵工艺的管理

微生物好氧发酵会产生热量,伴随着发酵的进行,堆体的温度会逐渐升高,微生物的活动会更加活跃,从而产生更多的热量,使得堆体的温度达到 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的高温,通过保持这样的高温环境,一方面可以杀死原料中的病原菌和寄生虫虫卵,灭活杂草种子。同时,温度升高可以使发酵物料中含有的大量水分蒸发,导致含水率降低。另外,过度通风(通风量和通风频率超出限额)也会使水分减少。发酵过程的翻堆可以使物料的温度降低,水分含量减少。因此,可以看出对发酵设施中混合物的温度、水分管理以及通风、翻堆操作,是生产出优质、安全、卫生的堆肥产品不可或缺的条件。

一、发酵温度管理

温度管理对堆肥发酵的速率和产品的质量有重要影响。温度的管理必须使堆肥原料的温度维持在 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ 以上在 $5\sim 7$ 天,达到微生物无害化标准的要求,这是最重要的一项生产管理项目。

温度管理的影响因素主要是通风和翻堆,堆肥原料调整适合投入发酵设施后,可以通过通风和翻堆来控制堆体温度的变化。不同的发酵阶段采取不同的温度管理模式,一次发酵过程中保证足够高温和高温持续时间是使有机物充分进行发酵,确保得到稳定质量堆肥产品的必需条件。发酵开始后,温度升高,伴随着发酵的进行,水分散失,通风带走热量,从而使温度降低,而通过翻堆及通风供给氧气又使温度再次上升,就这样,温度在不断地重复着上升、降低的过程,并持续到一次发酵的结束。进入二次发酵,由于被分解对象有机物的变化,导致发酵产热的速度减小,堆体温度受外界气温和通风温度的影响较大,管理过程困难,所以基本上都是通过翻堆和通风操作进行调整管理。

另外,在我国冬季大部分地方的堆肥温度管理难度较大,对于最低温度在 10°C 以下的管理对策,主要是增加发酵设施内混合物的堆积高度,减少通风量,或者设置加温式通风装置,使吸收的空气在加温装置中进行加温后再进行送气。

二、水分管理

水分管理是堆肥过程中的重点和难点,影响着堆肥的过程变化和生产成本。对于水分管理需要从堆肥原料含水分调节、堆肥过程水分控制和堆肥产品水分控制三个方面进行。

作为堆肥主料的畜禽粪便、厨余垃圾、污泥等有机废弃物大多水分含量在 80% 以上,很难直接进行堆肥化,需要在预处理阶段,把稻壳、木屑、剪枝、食品废弃物等辅料与主料进行混合,调节混合物料的含水率在 60% 左右,用于调节含水率的材料除了辅料外还可以使用回流堆肥。

堆肥过程中含水率会发生明显变化,影响堆肥含水率的因素包括堆体温度、翻堆、通风,在一定范围内,含水率的降低可以通过堆体温度的升高、翻堆频率的增加、通风量和通风频率的增大来实现。

堆肥产品的含水率根据不同的用途要求不同,一般经过两次发酵后的堆肥物料含水率在 30% 左右,可以作为土壤改良剂、有机肥料直接进行农用。目前我国为了满足农田用肥的需要,通常对经过堆肥发酵后的物料进行造粒烘干,或者添加一定比例的化学肥料进行造粒烘干后作为商品肥料进行销售。

三、通风管理

堆肥生产过程中通风是一个通用的、有效的并且十分重要的生产管理项目。日常的通风管理首先要对通风装置进行事前检查，检查无误后开始运转，运转时对运转的状况进行检查确认，具体待检查和确认的事项可以按照表 11-4 内容进行。

表 11-4 通风条件的检查内容

项 目	确认内容事项
装置的事前检查	①鼓风机的送风量和压损性能 ②设备、装置、送风配管、送风状态等的确认 ③加热装置、加热设备升温性能的确认
装置运转时的检查	①鼓风机送风侧压力的确认 ②翻堆时从混合物排出的水蒸气状况的确认 ③送出空气的温度 ④发酵设施内混合物的温度分布状况的测定和确认 ⑤发酵设施内混合物产生的水蒸气状况的确认 ⑥发酵设施内混合物的水分分布测定及确认

通风管理的另一项工作是对通风模式、通风量和通风速率的管理。具体内容见第五章内容。在实际生产中需要注意的是：①当发酵设施中的温度急剧降低时，可以对通风的空气进行加温，或减小通风量和通风速率；②生产过程中的通风量和通风速率不是固定不变的，可以根据发酵材料不同、堆积高度、季节变化做出调整；③通风和翻堆对于堆体温度、氧气浓度和含水率变化影响是相辅相成交互作用的，日常管理需要综合考虑两者作用。

四、翻堆管理

翻堆管理在堆肥运转中是十分重要，也是比较容易操作的内容。一般情况下，在槽式发酵设施中，搅拌的频率为 1~2 次/日，在密闭式的发酵设备中为 5~20 次/日，在旋转窑炉式的发酵设施中进行发酵时为数次/分。对堆肥翻堆的控制还需要注意以下几个方面。

(1) 在堆肥的不同阶段翻堆的频率不同，在一次发酵中，微生物的分解反应非常活跃，由于发酵产生的热量会使得温度快速上升，需要大量的氧气，因此，所需的翻堆频率也较高。在二次发酵中，分解反应速度减慢，产生的热量也变少了，所以翻堆的频率也可以降低。如果二次发酵中持续产生大量的热量时，说明一次发酵不充分，在这种情况下，有必要在二次发酵的前半段对翻堆的频率进行调整，确保生产出高品质的堆肥产品。

(2) 在寒冷的季节，当外界气温低于 10℃ 时，由于翻堆时会散失大量的热量，使堆体温度很难升高，因此，必要时需对通入的空气加温，同时减少翻堆，以减少热量的散失。

五、发酵周期管理

堆肥化过程中，从堆肥开始至经过通风翻堆发酵，使堆体中的有机物趋于稳定的时间，称之为堆肥发酵周期，包括一次发酵和二次发酵。堆肥发酵周期在堆肥设施设计建设中是一项非常重要的基础数据，但由于有机物的分解速度依堆肥条件相差很大，所以要确切的说明堆肥发酵周期非常困难。一般比较易分解的畜粪材料，在适宜的堆肥条件下腐熟较快，相反在较差的条件下腐熟较慢。同时由于堆肥设施的场地、容量等因素的限制，不管在任何情况下都不可能生产出完全腐熟的堆肥，当然从农业利用的角度来看，大多情况下完全或者绝对腐熟的堆肥也是没有必要的。

因此，目前实际生产中堆肥发酵周期确定是以堆肥物料中易分解性有机物质分解和对作

物生长发育有害物质的消除为标准的。通常堆肥发酵周期为1~2个月左右,如果堆肥条件较好,在堆肥过程中采取促进堆肥发酵的措施,堆肥所需的时间可以适当缩短。

第四节 堆肥储存管理

一、堆肥储存的作用

堆肥产品的储存是指产品在生产、流通领域中的暂时存放过程。通过这一过程可以充分协调产品产、销之间的矛盾,促进产品流通,是整个行业再生产中不可或缺的重要部分。

堆肥厂利用的原料往往是全年都在不断产生的畜禽粪便、生活垃圾等废弃物,而农作物生产对堆肥产品的需求随着作物耕种产具有季节性的波动。在肥料需求的旺季会出现供不应求的情况,而在需求淡季则是供过于求的情况。因此,产品的储存必不可少,是协调堆肥生产以及肥料供需平衡的关键。

储存设施的大小与堆肥产品的销售、堆肥生产工艺、环境条件等因素有关。通常在设计储存设施的时候,应该在满足储存条件和储存量的前提下,尽可能的缩小建筑面积,以减少固定资产投入。由于南方地区一般实行一年两熟、三熟的耕作制度,因此南方地区肥料需求高峰的次数较多,堆肥厂可以把仓库设计的小一点。较长的堆肥生产周期需要配套较大面积的储存设施,而堆肥生产周期的长短又受到堆肥工艺、环境条件的影响,例如冬季进行堆肥生产时,受环境温度的影响,堆肥生产效率降低,堆肥周期较长,物料储存面积增大。因此,即使是处理等量的废弃物,根据堆肥生产周期、施用次数的不同,堆肥储存设施的规模也有所差异。

二、分类储存

堆肥产品的储存规模从几百吨至几千吨不等,而且不同品牌、不同用途的堆肥产品种类繁多,在储存的过程中极易混乱,给品质保证以及发货、运输造成不便,因此需要将堆肥产品进行分类储存。需要遵循的几个原则是:

(1) 不同种类的堆肥产品需分类储存。堆肥产品的种类繁多,一方面堆肥产品由于养分含量不同可以分为不同的种类,特别是近年来随着测土配方施肥技术不断发展,出现了各种养分搭配的堆肥产品。另一方面,由于不同作物对堆肥产品的养分需求不同出现了专门用于果树、蔬菜或者园林绿化的堆肥产品,对于不同的堆肥产品都需要将其分类储存。

(2) 按发往地对堆肥产品分类储存。发往同一地区的堆肥产品集中储存,这种储存方法能够简便地将发往某一地区的货物快速装车。

(3) 不同包装规格的堆肥产品分类储存。根据用户的需求可将堆肥产品分成散装粉末、散装颗粒以及1~50kg不等的袋装。散装产品更容易吸收环境水分受潮,而袋装产品有包装材料的隔离保护不易受潮,因此不同包装形式的产品需分类储存。

三、储存条件

堆肥产品在储存过程中对产品品质影响最大的是水分含量。当堆肥产品的含水率上升后,很可能达到微生物发酵的水分要求,从而激发微生物的活性,使物料继续发酵产生热量,同时消耗有机质,降低堆肥产品的肥效;另外,含水率升高还将导致堆肥产品结块,给用户施用造成麻烦。因此作为储存的设施首先应保证能达到防雨防潮要求。这就要求在建设时,需将储存设施规划在水平位置较高的地段,防止降雨量较大时雨水灌进仓库。同时充分

考虑到屋顶的防漏和遮阳。散装粉末产品储存时，空气湿度不能超过 30%。包装产品储存时应做到防曝晒，以免包装快速老化。

有些堆肥厂由于库房储存量较少而将堆肥产品露天储存，这是很不合理的方式。露天储存时容易使产品淋雨、曝晒。即使用塑料布搭盖防雨，但塑料布容易破损漏雨，同时塑料布搭盖只能遮住产品上方，而与地面接触的部分仍然会受潮，特别是散装粉末产品，表面积较大极易受潮，因此要尽量避免露天储存。

参 考 文 献

- [1] 井子昭夫. 有机质资源. 见: 日本土壤肥料学会主编, 鬼鞍丰编. 土壤、农业资源的保全. 博友社, 1985.
- [2] 中央畜产会. 堆肥化设施设计手册. 2000.
- [3] Golueke C G. Biloligical Reclamation of Soil Waste. Emmaus, P A; Rodale Press, 1977.
- [4] Wilson G B. Comlining Raw Materials for Composting, The Biocycle Guide to Yard Waste Composting. Emmaus, P A; J G. Press Inc. , 1989.
- [5] Rachel Slater; A Review of Composting in the UK; Practices, Standards, and Drivers for Change. Integrated Waste System, The Open University, UK, 2002.

第十二章

典型堆肥厂案例

第一节 养殖场堆肥项目案例：张家口牛粪堆肥项目

一、项目背景

张家口市察北管理区位于内蒙古南缘，俗称坝上草原，与张北、康保、沽源相接壤。耕地 20 余万亩，人口 3 万。结合区域地理优势，经过多年的发展，逐步形成了以奶牛养殖业为主导的农牧区经济产业。目前，区域及周边奶牛存栏数 30 万头，已成为张家口地区最重要的乳品加工地和奶牛养殖基地。特色生态农业是察北管理区多年来利用区域优势和地理气候优势逐步形成的朝阳产业，区域以无公害种植的蔬菜、马铃薯、甜菜、青玉米等作为绿色食品受到周边城市居民的欢迎，销售范围在以生产厂为中心的 100km 半径以内，伴随着品牌效应形成，已初步形成了较为完善的销售网络和物流配送体系。

但是，区域养殖业发展过程中，产生的牛粪每年达到百万吨以上。由于本地奶牛养殖多为分散养殖（农户自家养殖）属圈养，牛粪无法得到有效处理和利用，再加上长期堆放的其他畜禽粪便，滋生大量的苍蝇蚊虫，带着各种病菌到处传播，给养殖业安全、从业人员健康均带来严重的威胁，并造成严重的环境污染，严重制约着区域养殖业和生态农业的健康持续发展。

针对上述因素，项目建设单位从解决落后的畜牧业生产方式与农业可持续发展、农民增收的矛盾入手，开展养殖废弃物综合治理及高效有机肥料生产循环经济项目，以牛粪为主要原料，建设一座年产 10 万吨生物有机肥加工厂，同时大力推广有机农业，新建 500 亩有机蔬菜基地，将产生的有机肥直接投入有机蔬菜种植和周边常规农业种植，实现种养循环和养殖与环境协调发展。

二、工艺说明

项目年处理各类肥源——牛粪、猪粪、废弃植物、蔬菜下脚料等 30 万吨，年产有机肥 10 万吨，其中有机-无机复混肥 7 万吨，主要用于蔬菜、马铃薯、胡萝卜与青玉米等作物种植；生物有机肥 2 万吨，有机肥 1 万吨，主要用于精品有机蔬菜的种植、改良试验、高档蔬菜种植、花卉种植。主要生产工艺过程包括养殖粪污的发酵腐熟和有机肥料的深加工。

养殖粪污的发酵腐熟阶段是将奶牛粪便等固体有机废弃物与植物秸秆等辅料及发酵菌剂按配方要求进行配比，经强制搅拌机充分混合后，用铲车均匀地送入发酵池前端，经布料机

将物料均匀布在发酵道始端，并在始端预埋在地下的加热管道在冬季对物料进行加温，发酵物料在池内堆积厚度为 1.5~1.8m，靠高压风机强制通风和翻堆时物料与空气接触提供的氧气进行连续好氧发酵，使发酵物料快速腐熟、灭菌、除臭、去水、干燥，一次发酵周期 8~10 天。在翻堆机纵横向行走机构的运送下，垂直提升机构将发酵物料从池内挖起提升到水平输送机构上，水平输送机构将发酵物料输送一段距离（8~10m）后落入池中，这样发酵物料就在池内产生一定的位移，使物料在池内有规律、等距离的渐进式后移，每天从发酵池尾端将发酵好的物料（一天的处理量，池长的 1/10）用铲车运走，将发酵池前端腾出的空间（一天的处理量，池长的 1/10）补充新的发酵物料，从而形成了一种连续的发酵过程。发酵翻堆过程实现了全自动智能化控制。发酵后的物料堆成料堆储存的同时进行二次发酵，进一步腐熟并去除部分水分。堆制一段时间（根据生产任务及场地决定）后对其进行筛选、磁选去除其中的石块、铁件等，即可直接用于造粒生产圆球形有机肥，或经过进一步干燥生产粉状有机肥（图 12-1）。

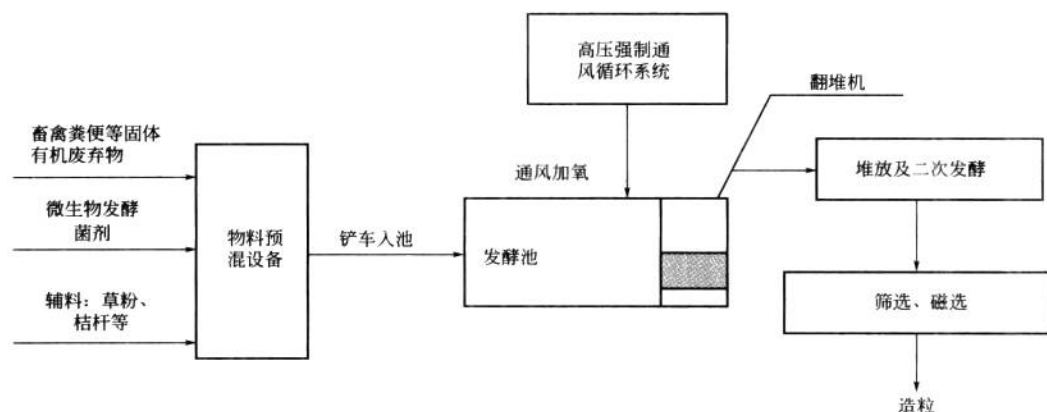


图 12-1 养殖粪污发酵腐熟工艺流程

有机肥料的深加工阶段是将发酵腐熟的含水量约 30% 的有机废弃物经筛选分级后进行造粒、干燥制备圆颗粒有机肥料，添加功能菌可生产生物有机肥，添加氮、磷、钾（总养分含量低于 15%）可生产有机-无机肥。

将发酵好的有机废弃物进行磁选筛分后，与黏结剂及需配伍的其他成分的原料按配比要求在配料混合系统中进行计量、配料、混合，经充分混合后的物料溜出至混合料分配系统中的固定皮带机上，再传送到移动式皮带机之后落进平台料仓喂料系统，由平台料仓进入圆盘喂料机均匀连续地喂入挤压造粒机中制成柱状颗粒；柱状颗粒（直径和长度相等）通过皮带机经圆颗粒抛光整形机抛光整形成球状颗粒，由皮带机送入烘干机进行低温大风量烘干（ $\leq 65^{\circ}\text{C}$ ）（尾气由烘干引风除尘系统进行处理），之后再由皮带机送入烘干冷却筛分机中进行二次烘干和风冷（尾气由二烘冷却引风除尘系统进行处理），充分冷却后的物料进入安装在筒体尾端的筛网将粉料及大颗粒筛出，重新返回混合造粒系统；成品颗粒由斗式提升机输送到成品料仓，经电脑定量包装系统计量、包装入库。有机肥料深加工工艺如图 12-2 所示。

三、工程建设

本项目占地面积 66667 平方米（100 亩），主要包括堆料场、发酵车间、原辅材料库、造粒车间、成品库等，建筑面积为 32725 平方米。

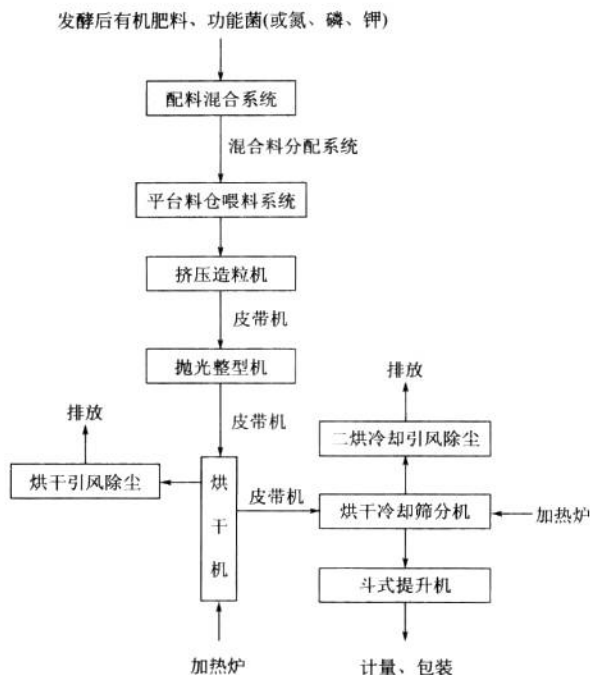


图 12-2 有机肥的深加工工艺

建设生产规模为年产 10 万吨的发酵设施，采用深池连续发酵设备和条垛式发酵设备各一套。造粒车间配套 2 条颗粒肥生产线，一条 3 万吨生产线、一条 7 万吨生产线，主要是将发酵好的牛粪经过配方添加与混合，制成配方混合生物有机肥与有机-无机复合肥。

发酵车间采取阳光板钢架大棚车间，墙体为砖混结构，面积为 18m 宽、120m 长，大棚梁下高度高 5m，棚内中间为 120m 长、14m 宽、2m 高的砖混发酵池一条。3 万吨车间厂房采用砖混墙体、钢架彩钢屋顶结构，面积为 100m 长、15m 宽、5m 高；7 万吨车间厂房采用砖混墙体、钢架彩钢屋顶结构，面积为 100m 长、18m 宽、5m 高。原料库与成品库采用砖混墙体、钢架彩钢屋顶结构。平面布置如图 12-3 所示。

四、效益分析

1. 经济效益

项目建成后，每年可处理 30 万吨奶牛粪污，同时可生产 10 万吨的生物有机肥料，可充足供应当地蔬菜种植的肥料需求。项目年总收入 22600 万元，销售成本 11363 万元，税后利润 4509.10 万元。

2. 社会效益与生态效益

项目实施后，年利用牛粪废弃物 30 万吨，不仅消除了其对周围环境的污染，而且生产的高效有机肥料可改善土壤生态环境，提高作物的产量和抗逆性，项目将促进农业增效、农民增收，推动生态环境和农业的可持续发展，有利于国家、企业和奶牛养殖户，可谓兴建一个项目，带动各项发展，致富一方百姓。

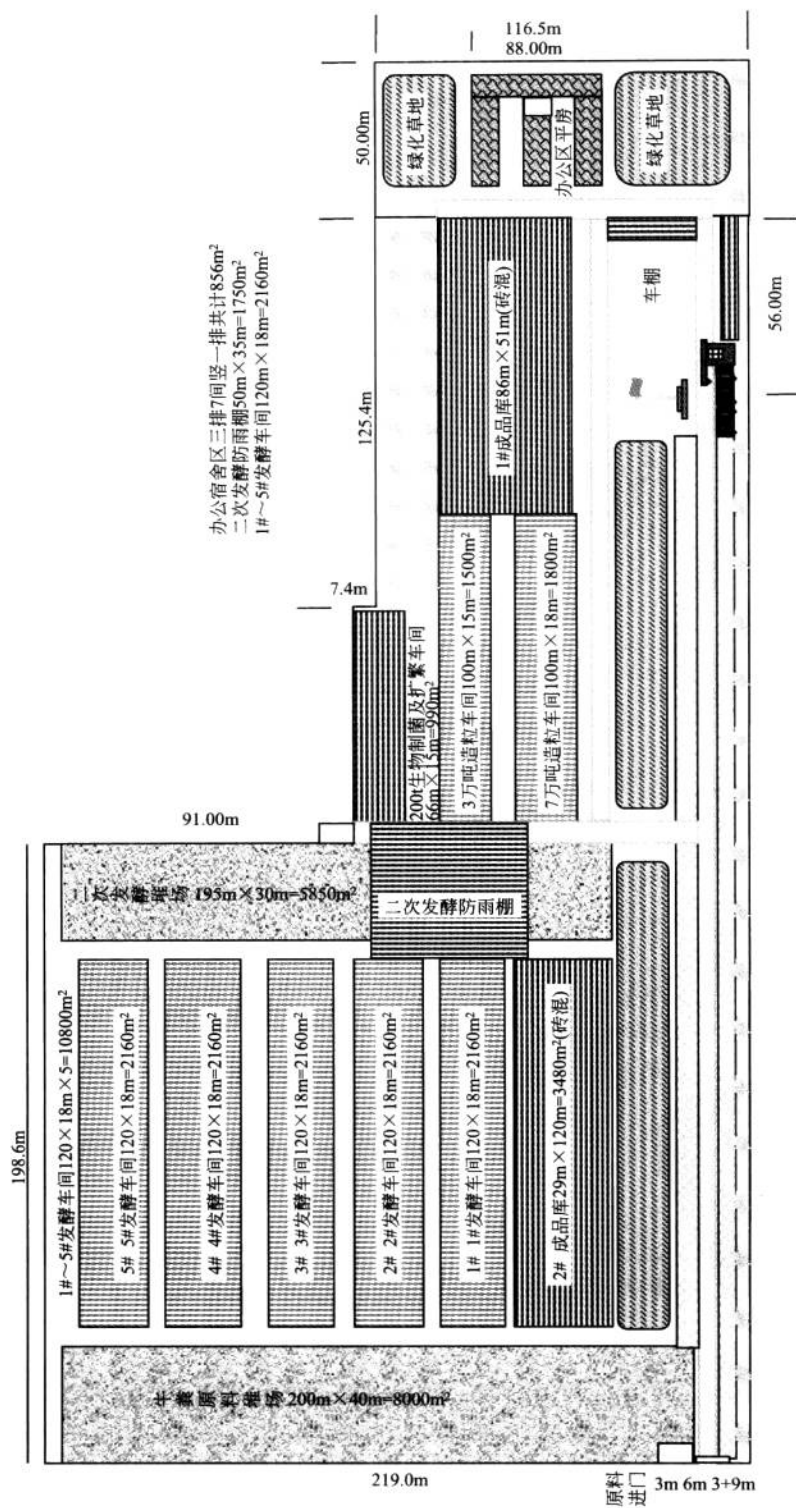


图 12-3 平面布置图

第二节 垃圾堆肥厂案例：以北京南宫堆肥厂为例

一、项目背景

随着北京市城市规模的不断扩大与人民生活水平的提高，城市生活垃圾排放量也逐年增加。城市生活垃圾的主要成分包括厨余物、废纸、废塑料及砖瓦渣土等。其主要特点是成分复杂、有机物含量高，可造成大气、土壤和地下水污染等环境问题，最终威胁人类健康和生存安全。据统计，2009年北京垃圾年产量为745.08万吨，2010年北京市环卫部门清运垃圾量为830.54万吨。面对如此庞大的生活垃圾产量，处理工作形势异常严峻。城市生活垃圾作为一种潜在的生物质能资源，可以通过资源化技术加以有效处理、利用，不仅能消除其环境危害，还能回收其中的物质和能源，缓解资源与环境的双重危机。

本项目针对北京市生活垃圾产量大的情况，利用德国资金和技术，采用先进的强制通风隧道式好氧发酵技术，以经过筛分的生活垃圾为原料进行堆肥。南宫堆肥厂于1998年12月正式运行，经过近几年的增加堆高、添加外源菌剂、热风循环和气水分离等各项改造技术，处理能力提升到1000t/d。项目自正式运营至今一直运转正常，南宫堆肥厂已经成为北京市垃圾处理系统中不可缺少的重要组成部分。

二、工艺说明

南宫堆肥厂采用的是近年来欧洲在垃圾堆肥领域所普遍采用的好氧静态隧道堆肥技术。该技术的优点是工厂自动化程度高、环保系数高、设备相对不容易过度磨损，使用寿命较长，而且每个隧道内部工艺都可以直接独立控制。

原料在堆肥处理工艺中主要经过四个阶段，分别为强化腐熟（隧道发酵）阶段（14天）、后熟化阶段（21天），最终熟化Ⅰ阶段（21天）和不需通风的最终熟化Ⅱ阶段（70天），总计126天。四阶段均进行严格的温度和通风控制，以保障堆肥顺利腐熟，其工艺流程如图12-4所示。

主要的工艺过程分述如下。

1. 原料性质

适用于堆肥的垃圾密度一般为 $350\sim 650\text{kg}/\text{m}^3$ ，有机物含量在20%~80%之间，含水率为40%~60%。南宫堆肥厂目前接收的堆肥原料主要为经马家楼和小武基转运站筛分后15~80mm的垃圾，还有少量来自丰台岳各庄菜市场和新发地菜市场的绿色垃圾。此外，将来北京市完善垃圾分类后的厨余垃圾可直接运往南宫堆肥厂进行堆肥。不接收建筑垃圾、工业垃圾和有毒有害垃圾。目前，南宫堆肥厂的处理能力已达到1000t/d。

2. 称重

15~80mm垃圾经地磅称重记录后，由厂内卸料车将垃圾倾卸到卸料仓，在卸料仓的末端设置了移动式给料机、蛟龙破碎装置以及一个布料滚筒，可保证输送到中央传送带上的原料的均匀性，然后进入中央传送带，中央传送带通过布料机为空隧道布料。在卸料期间，手工分选出大的干扰物，最后由铲车直接进料。

3. 隧道发酵

通过两个由人工控制的可自动伸缩的布料机进行布料。布料是否均匀、布料高度对垃圾的发酵都会有一定的影响，一般15~80mm的垃圾料布料高不超过2.5m，农贸市场绿色垃圾和分类厨余垃圾料高不超过2m。填装完发酵隧道后，对发酵过程进行控制。根据发酵原

料的温度和湿度以及循环空气中氧的含量(13%)等调整输入的新鲜空气与循环气体的比例并利用渗滤液循环对物料加湿。

垃圾原料需要经过为期2周的隧道发酵。隧道发酵的前3~5天是微生物的对数增长期,此阶段中通过喷洒渗滤液使堆肥原料达到必需的含水率(50%~60%),并通过通风保证对氧的需求和升高温度,但不需添加新鲜空气。6~10天是堆肥的卫生化过程,即病菌和植物种子的灭活过程,这一过程通过调节通风条件(新鲜空气与循环气体的比例)使温度大约保持在55~65℃。在此过程中,目标温度为60℃,通过喷洒渗滤液来补偿水分。最后2~4天停止添加渗滤液,通过风干作用使堆肥的含水量小于45%。隧道排出的废气通往加湿间,经加湿后送到生物过滤池与渗滤液一同进行处理。

绿色垃圾发酵过程3~4周,在隧道的高温时间约为6天,不需要加水,后期增强干燥处理(80%用风机)。

4. 后熟化/最终熟化 I

经隧道发酵后的垃圾被运送到后熟化区,堆积成2.6m高的后熟化堆。后熟化发酵平台由很多带有通风孔的混凝土盖板和风道组成,风道可采用正压或者负压方式进行通风,不同的风道由风阀(0~100%)与地下通风管线相连。通过调节通风阀可以控制通风强度的大小,通风方式(正压或负压)由风机房来控制。

在通风平台上根据堆肥温度来控制发酵过程中的通风强度。在通风时保证发酵温度不低于技术要求的最低值,但通风在降低堆体温度的同时,也会带走部分微生物分解所必需的水分,因此后熟化过程中必须对堆肥进行加湿。采用负压进行通风时定期在堆体表面进行喷水,采用正压通风时在加湿间调节空气中的含水率。

垃圾经后熟化区后由滚筒筛进行筛分(绿色垃圾和厨余垃圾要经过破碎,防止滚筒筛筛孔堵塞),筛分为<25mm和≥25mm的两部分,对于绿色垃圾和厨余垃圾产生的筛上物,必要时可以到隧道内再次发酵。

5. 最终熟化 I 和 II

经滚筒筛筛分后的<25mm部分由装载机输送到最终熟化 I 区,堆成2.4m高的发酵堆,强制通风发酵3周,此部分工艺与后熟化区相类似。

经3周最终熟化 I 发酵后由装载机运送到弹跳筛进行筛分,分为细堆肥(<12mm)和粗堆肥(12~25mm),去除其中的硬物,以改善堆肥的质量,最后分别输送至最终熟化 II 区。

最终熟化 II 区料高为2.6m,不需通风,堆肥在最终熟化 II 区储存10周,生产最终的堆肥产品。

6. 制肥

堆肥产品只能算作一种有机营养土,肥效与其他肥料相比相对较低,进入销售市场前还会进行深加工处理,主要采用细筛、研磨、添加酵素菌等方法改进堆肥的质量,同时生产适合各种作物的堆肥产品。

7. 环境保护措施

南宫堆肥厂在堆肥过程中产生的渗滤液不外排,应循环使用。首先在隧道内、后熟化区、最终熟化区以及加湿间等地产生的渗滤液都被收集在渗滤液收集池内;然后这些渗滤液又被水泵转移到隧道底部的渗滤液储存池,中间经过一道弧型筛过滤,将粒径较大的杂质清除掉。目前南宫堆肥厂已经将渗滤液储存池分成大池和小池两部分,其中大池接受从渗滤液收集池来的渗滤液,渗滤液在大池内进一步沉淀后,流入小池,最后小池内的相对纯净的渗滤液被回用作为隧道和加湿间的喷淋液等。

由于垃圾成分复杂、杂质较多,渗滤液中杂质较多、成分也较复杂。南宫堆肥厂定期对

渗滤液池进行清理, 保证渗滤液纯净, 一方面在渗滤液收集池内的水泵周围用丝网包围以避免大粒径杂质再一次进入水系统, 并每个月清理渗滤液收集池的液面; 另一方面每半年清理一次大池, 每年清理一次小池, 在隧道内垃圾出料后最后清理一次隧道内的喷头, 保证喷头畅通。

南宫堆肥厂在堆肥过程中进行封闭控制, 产生的臭气经集中收集后通过生物过滤池, 通过滤料吸附及生物作用后排空, 避免影响周围的环境。在发酵大厅、隧道内、熟化区等地设有专用管道来收集发酵过程中产生的臭气, 这些臭气首先被引入加湿间充分湿润, 然后通过生物过滤池, 池中的滤料为普通的木屑 (30~50mm), 木屑的表面积大, 期间有大量微生物。经生物滤池后排空的臭气气味很小, 不至于对周围的工作和生活环境造成影响。生物过滤池内的滤料以及滤料底部的支撑板每 3 年更换一次。

8. 工艺流程

南宫堆肥厂工艺流程如图 12-4 所示。

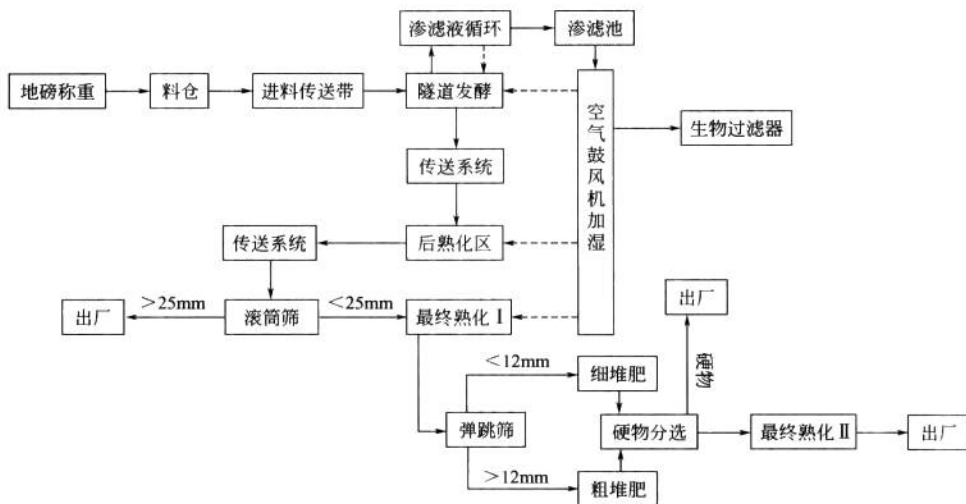


图 12-4 南宫堆肥厂工艺流程

三、工程建设

南宫堆肥厂位于北京市大兴区瀛海乡, 总面积为 6.6hm², 海拔 23~24m, 是北京市规模最大的垃圾堆肥厂, 于 1998 年 12 月 8 日正式运行。

工厂主要设备参数如下。

1. 隧道进料功能组

(1) 受料仓及其进料传送带 传输速度: 可调; 最大传送量: 130t/h 或 200m³/h; 最大起动负荷: 130t; 传送带带宽: 1.5m; 料斗的容积: 20m³。

料斗底部带有移动板式给料机及蛟龙破碎装置, 并装有布料滚筒等附属设备。

(2) 中央传送带 皮带宽度: 1.00m; 轴线距离: 大约 75.00m; 最大传送量: 130t/h 或 200m³/h; 最大起动负荷: 8t; 传送带高度: 7.30m。

传送带上的皮带车与布料机配合使用, 由人工控制进行同步移动、定位, 通过皮带车上的卸料斗将物料填充到发酵隧道。

(3) 布料机 在中央大厅内东西两侧轨道上分别安装有一台可伸缩布料机, 最大伸展长度 27m, 通过前端皮带的摆动将物料堆成 27m×4m×2.5m 的堆体。每台布料机负责一侧

(15个隧道和后熟化平台的一区)的填料工作。布料机由6条传送带组成,通过各条传送带上的导轮驱动进行伸缩移动,完全实现自动控制也可进行手动操作。

2. 隧道出料功能组

(1) 带进料传送带的卸料斗 最大传送量为 130t/h 或 $200\text{m}^3/\text{h}$; 传送机带宽为 1.00m , 直接和中央传送带相连; 传送机高度大约 5.6m 。包括悬挂物和支撑物。

为中央传送带装料,接受轮式装载机从隧道中运出的物料。

(2) 中央传送带 轴线距离大约 87.00m ; 皮带宽度为 1.00m ; 最大传送量为 130t/h 或 $200\text{m}^3/\text{h}$; 最大起动负荷为 10t 。

用来把物料传送到后熟化平台,同中央传送带一样带有皮带车。

(3) 布料机。

3. 后熟化区出料功能组

(1) 带料斗的进料传送带 垃圾重量为 $0.50\sim 0.80\text{t/m}^3$; 湿度含量为可达 60% ; 传送速度可调 ($5:1$); 最大传送量为 80t/h 或 $100\text{m}^3/\text{h}$; 最大起动负荷为 13t ; 皮带宽度为 0.80m ; 轴线距离大约 47.00m ; 坡度为 8° ; 料斗容积为 15m^3 。

接受轮式装载机从熟化平台上运出的物料。

(2) 滚筛筒 最大传送量为 60t/h 或 $90\text{m}^3/\text{h}$; 筒长度大约 7.00m ; 筒直径大约 2.50m ; 筛网孔径 25mm ; 支撑框架高度 4.00m 。

将物料筛分成 $\geq 25\text{mm}$ 的筛上物和 $< 25\text{mm}$ 的筛下物,筛滚的旋转速度可根据物料情况的不同进行调节,以达到最佳的筛分效果。

(3) 筛筒下的集料传送带 最大传送量为 50t/h 或 $70\text{m}^3/\text{h}$; 皮带宽度为 1.00m ; 轴线距离为 6.50m ; 坡度为 12° 。

用于将筛下物输送到下一条传送带。

(4) 与滚筒筛相交的传送带 最大传送量为 50t/h 或 $70\text{m}^3/\text{h}$; 皮带宽度为 0.65m ; 轴线距离为 86.40m ; 坡度,爬坡时为 100° ,其他为水平。

用来输送滚筒筛分选出的直径小于 25mm 的物料到水泥料仓。

4. 硬物料分选功能组

(1) 带有进料斗的进料传送带 垃圾容重为 $0.50\sim 0.80\text{t/m}^3$; 湿度含量可达 55% ; 传送速度可调 ($5:1$); 最大传送量 40t/h 或 $60\text{m}^3/\text{h}$; 皮带宽度 0.80m ; 轴线距离大约 $4.00\text{m}+7.00\text{m}$; 坡度 22° ; 侧边导向板高 0.30m (高度可调)。

接受通过轮式装载机从最终熟化 I 铲运的物料。

(2) 弹跳筛 (12mm 筛选阶段) 最大工作能力大约 30t/h 或 $45\text{m}^3/\text{h}$; 长度大约 6.00m ; 直径大约 2.00m ; 湿度要求最大 50% ; 分选粒径 12mm 。

用于将最终成熟的堆肥筛分成 $0\sim 12\text{mm}$ 的细堆肥和 $12\sim 25\text{mm}$ 的粗堆肥。

(3) 装料传送带 最大输送能力 25t/h 或 $40\text{m}^3/\text{h}$; 皮带宽度 1.60m ; 轴线距离 9.00m ; 坡度 22° 。

将筛下的细堆肥输送到震动给料器中。

(4) 震动给料器 将筛下物和筛上物分别送入相应的硬物料分选机。

(5) 硬物料分选机 I (物料 $< 12\text{mm}$)、II (物料 $12\sim 25\text{mm}$)

最大生产能力 12t/h 或 $18\text{m}^3/\text{h}$; 分选机宽度 2.00m ; 高度 5.00m 。

将堆肥分选成硬物料和软物料。

5. 隧道风机系统

数量为 30 台; 功率为 37kW 。

6. 加湿间风机系统

风机1 数量: 4; 风机重量: 1300kg; 电机重量: 610kg; 功率: 75kW。

风机2 功率: 64kW; 风机重量: 1200kg; 电机重量: 610kg; 功率: 75kW。

风机3 功率: 132kW; 风机重量: 1500kg; 电机重量: 910kg。

四、效益分析

1. 经济效益

南宫堆肥厂从1998年开始运行,设计垃圾处理量为15~60mm粒径段垃圾400t/d,该厂现垃圾处理量为15~80mm粒径段垃圾1000t/d,堆肥产量250t/d,堆渣产量300t/d,渗滤液产量250t/d。南宫堆肥厂采用先进的强制通风隧道式好氧发酵技术,在经过“北京市南宫生活垃圾堆肥厂工艺优化研究”(2007年9月~2007年12月25日)和“北京市南宫堆肥厂0~15mm和0~80mm垃圾堆肥可行性研究”(2008年1月~2008年6月)以及“北京市南宫堆肥厂生活垃圾处理能力提升和工艺优化研究”(2010年1月~2010年4月)三个项目研究,尤其是通过添加外源菌剂、热风循环和气水分离等技术改造后南宫堆肥厂处理能力已从600t/d提升到1000t/d。南宫堆肥厂年运行成本为每吨生活垃圾133.82元/t。销售收入及利润分析如下。

堆肥产品收益: 50元/吨; 处理生活垃圾补贴: 101.7元/吨; 总收益: 151.7元/吨。

利润: 151.7元/吨-133.82元/吨=17.88元/吨

产投比: 151.7元/吨÷133.82元/吨=1.13%

销售利润: 1.79万元/天。

2. 社会与生态效益

本项目形成了在全国具有示范作用的生活垃圾堆肥技术体系和示范工程,社会效益显著。南宫堆肥厂每年可处理厨余垃圾36.5万吨,极大地减少了垃圾直接填埋对水和大气污染,同时可生产9.125万吨,实现废弃物的减量化、无害化与资源化,也可在提高城市卫生水平、保护区域大气环境、改良土壤等方面起到积极作用,创造良好的环境效益。

该项目符合国家产业政策,同时符合北京市实际需要,有充足的原料来源和良好的销售渠道。产品经过严格的质量控制,可有效促进植物生长、改良土质。目前北京市对垃圾堆肥的需求仍较大,未来可考虑对本项目实施扩建,更好地满足北京市垃圾处理的需求。

第三节 污泥堆肥厂案例: 以渭南市污泥处置中心为例

一、项目背景

近几年来,国家从政策和财力上积极支持,建设了一大批城市污水处理设施,以保护水环境,防止水污染,促进国民经济和生态环境的可持续发展。城市污水污染问题已逐步得到缓解,然而城市污水污泥处理和处置却是国内一直没有得到很好解决的难题。

污水处理过程中产生的剩余污泥具有含水率高、易腐烂、有恶臭、含有大量寄生虫卵与病原微生物的特点。过去只作为固体废弃物稍作处理便弃置,大量未经处理的污泥没有正常出路,至今许多城市仍然采用露天堆放或填埋的方法,造成了城市周围污泥成山、蚊蝇滋生、污染环境和地下水源的不良后果。污水污泥如不加以妥善处理、任意排放,或者污泥处理、处置不当直接施入农田,都会引起严重的二次污染,因而污泥的处理和处置是城市污染

治理必须要解决的问题。

其实城市污水污泥是一种有效的生物资源,含有促进农作物生长的氮、磷、钾等营养成分,尤其是有机质含量高达50%以上,是良好的土壤改良剂。但是若不进行任何处理,直接作为普通有机肥,则不但不能满足作物生长的需要,还可能造成其他方面的污染。

如何使污水处理厂的污泥稳定化、无害化、减量化、资源化,变废为宝,净化环境,已成为世界性的亟待解决的问题。随着科学技术的飞速发展和人类认识水平的不断提高,越来越证明世界上绝大多数废弃物都具有循环再生利用的价值。

本项目建设以资源循环利用理论和环境经济理论为指导,以补充和完善城市基础设施、改善生态环境,提高水资源对城市的承载力为目的,运用污泥处理现代技术,建设技术先进、社会环境效益显著、经济效益良好的污泥资源化处置项目。

渭南市市区与所辖县(市)共计有污水处理厂15个,目前日处理能力共计31万吨。污泥作为污水处理的剩余产物,含水率高达70%~80%,易腐烂,有恶臭,并含有大量病原微生物、寄生虫卵或重金属等有害物质,如不加妥善处理和处置,直接排放会给环境带来严重的二次污染。污泥处理处置已成为各污水处理厂亟待解决的问题之一。

为了保证渭南市污水处理厂的正常运行,防止污水处理厂所排污泥产生二次污染,本建设项目对污水厂所产生的污泥进行处理,以达到减量化、无害化和资源化的目的。

二、工艺说明

(一) 好氧堆肥

好氧堆肥过程一般分三个阶段:起始阶段、高温阶段和熟化阶段。

(1) 起始阶段 不耐高温的细菌分解有机物中易降解的碳水化合物、脂肪等,同时放出热量使温度上升,温度可达15~40℃。

(2) 高温阶段 耐高温细菌迅速繁殖,在有氧条件下,大部分较难降解的蛋白质、纤维等继续被氧化分解,同时放出大量热能,使温度上升至60~70℃。当有机物基本降解完,嗜热菌因缺乏养料而停止生长,产热随之停止。堆肥的温度逐渐下降,当温度稳定在40℃,堆肥基本达到稳定,形成腐殖质。

(3) 熟化阶段 冷却后的堆肥,一些新的微生物借助残余有机物(包括死后的细菌残体)而生长,将堆肥过程最终完成。

(二) 好氧堆肥的控制参数

好氧堆肥处理的关键,就是如何选择和控制堆肥条件,促使微生物降解的过程能快速顺利地,一般来说好氧堆肥要求控制的参数如下。

1. 供氧量

对于好氧堆肥而言,氧气是微生物赖以生存的物质条件,供氧不足会造成大量微生物死亡,使分解速度减慢;但供冷空气量过大又会使温度降低,尤其不利于耐高温菌的氧化分解过程,因此供氧量要适当,一般为 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3 / (\text{m}^3 \cdot \text{min})$ 。

供氧方式是靠强制通风,因此保持物料间一定的空隙率很重要,物料颗粒太大使空隙率减小,颗粒太小其结构强度小,一旦受压会发生倾塌压缩而导致实际空隙减小。因此颗粒大小要适当,可视物料组成性质而定。

2. 含水率

在堆肥工艺中,堆肥原料的含水率对发酵过程影响很大,水的作用一是溶解有机物,参与微生物的新陈代谢;二是可以调节堆肥温度,当温度过高时可通过水分的蒸发,带走一部

分热量。水分太低妨碍微生物的繁殖,使分解速度缓慢,甚至导致分解反应停止。水分过高则会导致原料内部空隙被水充满,使空气量减少,造成向有机物供氧不足,形成厌氧状态。同时因过多的水分蒸发,而带走大部分热量,使堆肥过程达不到要求的高温阶段,抑制了高温菌的降解活性,最终影响堆肥的效果。实践证明堆肥原料的水分在 50%~60% 为宜。

3. 碳氮比

有机物被微生物分解的速度随碳氮比变化,微生物自身的碳氮比约为 4~30,因此用作其营养的有机物的碳氮比最好也在该范围内,当碳氮比在 10~25 时,有机物被生物分解速度最大。同时碳氮比过高,易造成成品堆肥的比值过高,即出现“氮饥饿”状态,施于土壤后,会夺取土壤中的氮,而影响作物生长。堆肥过程适宜的碳氮比应为 20~30。

4. 碳磷比

磷对微生物的生长也有很大影响,城市污水处理厂的污泥含有丰富的磷,可满足微生物生长的需要,堆肥原料适宜的碳磷比为 75~150。

5. pH 值

pH 值是微生物生长的重要条件,在堆肥初期,由于酸性细菌的作用,pH 值降到 5.5~6.0,使堆肥物料呈酸性,而后由于以酸性物为养料的细菌的生长和繁殖会使 pH 值上升,堆肥过程结束后物料的 pH 值上升到 8.5~9.0。

(三) 工艺描述

1. 混合调质

污水处理厂的二沉池剩余污泥与初沉池污泥混合后进入浓缩池,经过重力浓缩降低污泥的含水率,然后进入储泥池调质后,再进入脱水机房进行机械脱水成脱水泥饼,这时泥饼的含水率一般为 75%~80%,脱水泥饼与调理剂和膨松剂等进行混合。

污泥混合调质的主要目的是调整脱水污泥的水分和碳氮比,同时需添加菌种以促进发酵过程快速进行。污泥调质中降低水分、增加透气性、调整碳氮比的主要方法是添加有机调理剂和膨松剂。调理剂常用的有农作物秸秆粉、锯木屑、稻壳等。堆肥物料中加入这些干燥的、较轻而易分解的物料,可以降低物料的堆比重,并加大疏松程度,增加与空气的接触面积,有利于好氧发酵。另外也可以增加物料中有机物含量,调整碳氮比。

2. 好氧发酵

好氧发酵在发酵仓或发酵槽内进行,靠强制通风来供给氧气。在发酵装置中,由于混合物料中存在的好氧微生物作用而开始发酵,首先是易分解物质分解,产生 CO_2 和 H_2O ,同时产生热量使温度上升。这时微生物吸取有机物中的碳、氮等营养成分,在合成细胞质自身繁殖的同时,将细胞中吸收的物质分解而产生热量。发酵初期物质的分解作用是靠嗜温菌(生长繁殖最适宜温度为 30~40℃)进行的,随着堆温的升高,最适宜温度 45~65℃ 的嗜热菌取代了嗜温菌,能进行高效率的分解。氧的供给情况和发酵装置保温程度对堆肥温度上升有很大影响,发酵周期约为 10~15 天。

一般来说经过最少 7 天的平均温度保持在 55℃ 以上的发酵,大部分有机物已被降解,由于有机物的减少及代谢产物的累积,微生物的生长及有机物的分解速度减缓,发酵温度开始降低,此时有机质基本稳定。

3. 造粒制肥

经过好氧发酵后的物料,体积会减少,水分也会降低,可以直接施用于农田、菜园、果园或作土壤改良剂。但作为商品销售还应根据用户的需要进行加工。

其一可直接进行搅拌造粒、筛分并烘干后包装,作为生物有机肥销售;其二可添加氮、磷、钾等无机养分和 VT 菌液,生产有机-无机复混肥料。

4. 尾气除臭

在好氧堆肥发酵中有臭气产生,主要有氨、硫化氢、甲基硫醇、胺类等,废气必须进行除臭处理后才能排放。去除臭气的方法一般采用的有循环水洗法和生物滤池吸附法。

用离心风机将发酵装置中发酵过程产生的臭气和产品烘干过程中产生的废气抽出来,首先通入水喷淋段,使之与喷淋水逆向接触,用水将气体中的有害成分洗涤下来,洗涤水返回到污水净化厂中。然后气体通过生物滤池过滤段,用生物吸附并降解剩余的有害成分,通过这样处理 NH_3 、 H_2S 的去除率均可达到 98% 以上。

(四) 工艺流程

污泥好氧堆肥和复混肥制肥工艺流程如图 12-5 所示。

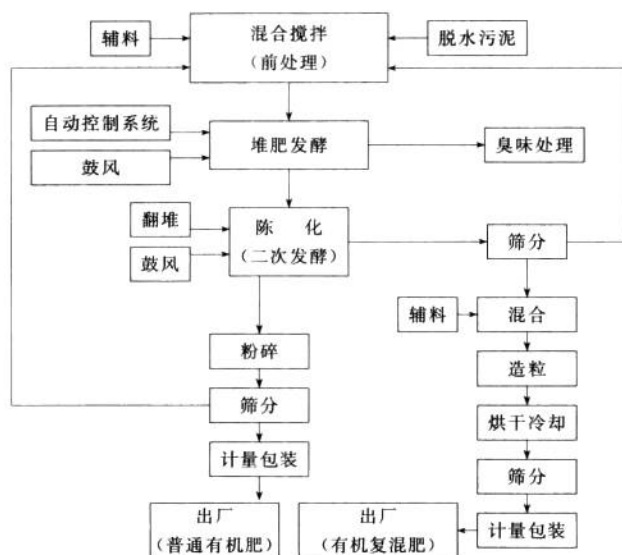


图 12-5 污泥好氧堆肥处理工艺流程

三、工程设计

(一) 建设规模

项目设计污泥处理量为 100t/d, 含水率 80%。根据生产物料平衡计算, 堆肥用辅助材料秸秆 20t/d 和 VT 菌液等合计 87.6 吨/年。产出肥料: 有机-无机复混肥 10000 吨/年。

项目物料平衡见图 12-6。

(二) 工程选址

项目场地处于郊区, 但紧邻市污水处理厂, 市政条件较为完善。10kV 高压输电已经到位。给水排水管网可直接从污水处理厂接入(出)。交通南侧有污水处理厂专用路, 北侧紧邻 310 国道。本项目平面布置图见图 12-7。

(三) 工艺工程设计

在渭南市污水处理厂污泥脱水工艺后增加的污泥好氧堆肥资源化利用工艺, 主要分为好氧堆肥污泥稳定化和无害化处理与生产有机复混肥资源化利用两个部分。好氧堆肥是使污泥通过接种菌种进行好氧发酵, 分解有机物、高温杀灭致病菌和去除臭味等。制肥过程是在污泥堆肥成品的基础上, 通过添加无机肥提高其肥效和商品性, 进而提高处

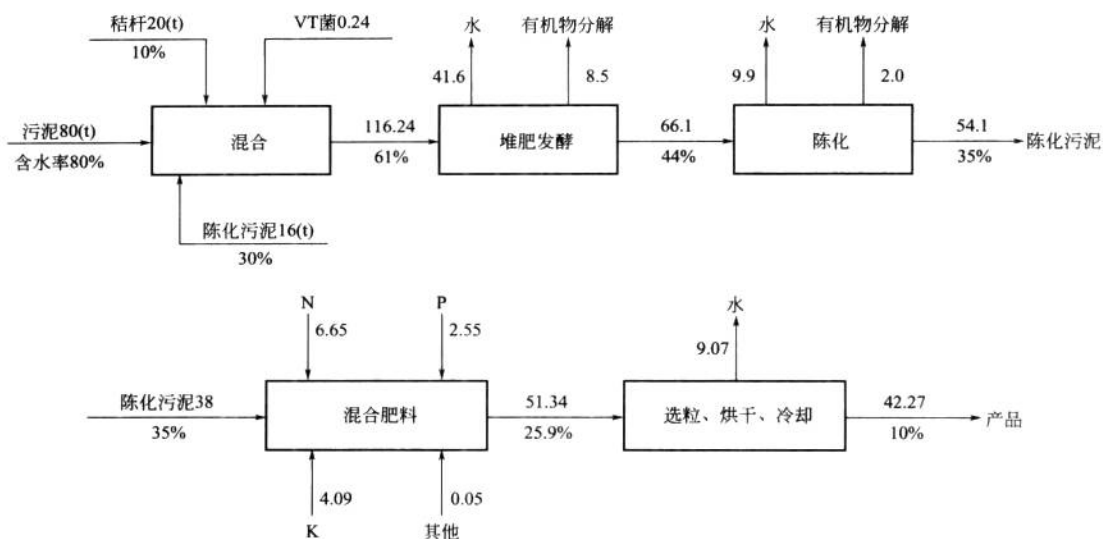


图 12-6 物料平衡图 (单位: t/d)

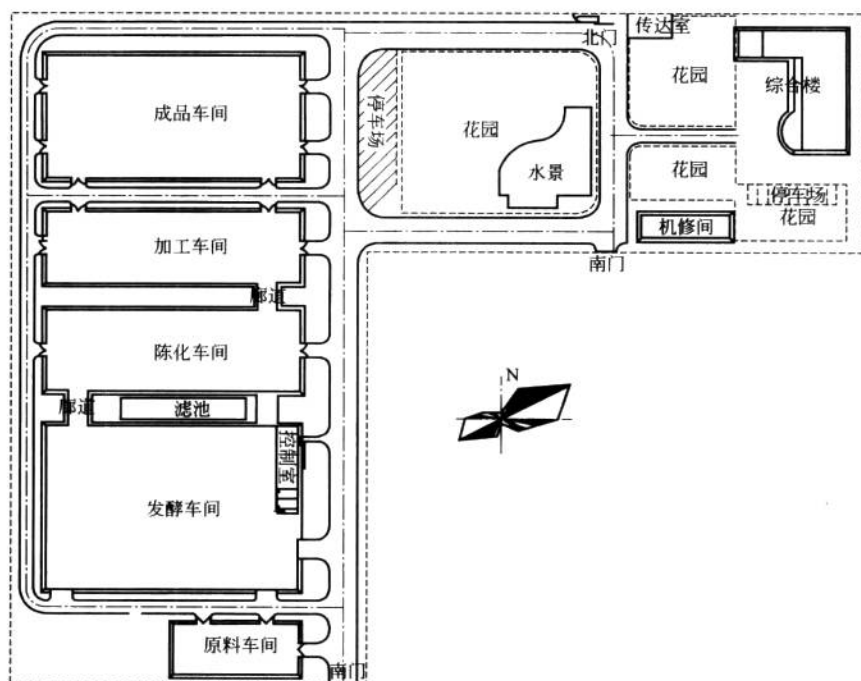


图 12-7 年产 3 万吨有机-无机复混肥厂区布置

理的经济效益。

1. 原料车间

轻钢屋架厂房, 尺寸 $36\text{m} \times 15\text{m} \times 4\text{m}$ 。储存辅料——粉碎的作物秸秆, 周转期 30 天。日耗 20~30t。三相动力电接入, 供加工设备用, 负荷 18kW。

2. 发酵车间

轻钢屋架厂房，尺寸 72m×48m×6m。内设 8 条 51m 长 1.8m 高发酵槽，槽宽 4.1m。槽体为 C20 钢筋混凝土结构。槽底面下敷设曝气管道。槽为两个一组，中间设有通道。通道布有鼓风机曝气设备。每 4 个槽设辊道链式翻抛机 1 台，共 2 台。设移行车 1 台，用作位移翻抛机。混料机 1 台，皮带输送机 3 台。槽上空布除臭系统管道，喇叭口吸风口，矩形镀锌排风管道。设在线监测控制系统。

3. 陈化车间

轻钢屋架厂房，尺寸 72m×24m×6m。内设 2 个发酵槽。槽体高度 1.8m，钢筋混凝土结构。槽底面下敷设曝气管道。槽上空布除臭系统管道，喇叭口吸风口，矩形镀锌排风管道。设在线监测控制系统。

4. 加工车间

轻钢屋架厂房，尺寸 72m×21m×9m。厂房内安装的主要设备有混合机、圆盘造粒机、烘干机、冷却机、振动筛、包膜机、包装秤等组成的一条时产 3~4t 生产线 1 条。

5. 成品车间

轻钢屋架厂房，尺寸 72m×36m×6m。肥料堆存期为 3~4 个月。

6. 生物除臭滤池

钢筋混凝土半地下室结构，尺寸为 36m×6m。布置在发酵车间和陈化车间之间，用于处理两个车间收集的尾气。滤池增湿间设有喷淋系统，生物过滤间填充 1.2m 高生物滤料（锯末、树叶等）。

（四）总平面布置设计

依据场地平面呈倒“L”的几何形状、污水处理厂污泥脱水间位置及污水池位置、周边道路交通情况，按照有利于生产工艺流程、有利对外交通、有利环境保护的原则进行布局。场地划分为东部办公管理区、中部景观区、西部的生产区三大部分。东部管理区在东北部布置综合楼、西南部布置机修车库附属建筑，使综合楼面对景观区远离污水厂污水沉淀池。中部景观区连接大门入口、管理区和生产区，是园林花园型单位特征。西部生产区依据生产流程从南向北分为污泥堆肥处置区和有机肥生产区。

（五）建构筑物设计

生产建筑物包括：发酵车间、陈化车间、加工车间。

辅助建筑物包括：原料车间、成品车间、生物滤池、机修车库和配电中控室。

办公及生活建筑物包括：综合楼和传达室。建筑物特征见表 12-1。

表 12-1 建筑物特征表

名称	建筑面积/m ²	结构	层数	高度/m	室内±0.00 标高	备注
综合楼	1620	砖混现浇屋面	3	11.4	347.27	车间内设
传达室	55.1	砖混现浇屋面	1	4.3	347.2	
机修车库	32.2	砖混现浇屋面	1	5.3	347.09	
配电中控室	270	框架结构	2	6	347.07	
原料车间	552.3	轻钢结构	1	5.4	346.65	
发酵车间	3484.8	轻钢结构	1	9.2	346.92	
陈化车间	1751.1	轻钢结构	1	9.2	347.03	
加工车间	1534.4	轻钢结构	1	10.6	347.15	
成品库房	2180	轻钢结构	1	7.8	347.31	
生物滤池	216	钢筋混凝土	1	1.5	347.08	
				1.0		±0.0 以上 ±0.0 以下

四、成本与效益分析

(一) 成本分析

1. 堆肥阶段成本

按照每天处理 100t 含水量 80% 的污泥计算, 每年运行费用共计 474.77 万元, 每吨污泥处理成本核算为 132 元。堆肥成本构成分析见表 12-2。

表 12-2 堆肥成本构成计算表

序 号	内 容	单 价	数 量	年时间	总计/万元
1	电能消耗	0.7 元/(kW·h)	840kW·h/d	360d	21.17
2	辅料秸秆	400 元/天	20t/d	360d	288
3	菌种	4000 元/吨	0.25t/d	360d	36
4	定员工资	2500/(人·月)	18 人	12 个月	54
5	设备维修	3 元/吨泥	100t	360d	10.8
6	折旧	13 元/吨泥	100t	360d	46.8
7	管理	5 元/吨泥	100t	360d	18
8	合计				474.77
9	运营成本	132 元/吨泥			

2. 制肥成本

日产复混肥 30t。每年运行费用共计 690.68 万元, 每吨复合肥生产成本为 639.5 元。制肥成本构成分析见表 12-3。

表 12-3 制肥成本构成计算表

序 号	内 容	单 价	数 量	年时间	总计/万元
1	电能消耗	0.7 元/(kW·h)	1792(kW·h)/d	360d	45.16
2	煤炭	600 元/吨	1.2t/d	360d	25.92
3	无机肥料	476 元/吨	30t/d	360d	514.0
4	包装费	45 元/吨	30t/d	360d	48.6
5	定员工资	2500 元/(人·月)	10 人	12 个月	30
6	设备维修	5 元/吨肥	30t	360d	5.4
7	折旧	7 元/吨肥	30t	360d	7.6
8	管理	13 元/吨肥	30t	360d	14.0
9	合计				690.68
10	运营成本	639.5 元/吨肥			

(二) 效益分析

1. 堆肥阶段

该阶段主要完成污泥的无害化和减量化处理, 是一项公益工程, 需要政府按照环保政策负担费用。污泥处理工程为公共服务工程, 由于采用企业投资运营服务, 因此为弥补该污泥处理成本, 并达到同行业合理的收益率, 在运营期 20 年基础上, 建议污泥处理服务收费每吨湿污泥 (80% 含水率) 180 元。

2. 制肥阶段

肥料产品采取市场经营, 产品经营参照目前有机-无机复混肥的市场批发价格进行测算。目前价格为 800 元/t, 每吨盈利 160.5 元, 年盈利 173.34 万元。

3. 社会效益

本工程是在脱水污泥后增设好氧堆肥和制肥工艺, 既达到了污泥无害化、稳定化的目

的, 还可实现资源化利用。

第四节 糖厂滤泥堆肥项目案例: 广西金穗项目

一、项目背景

广西是全国最大的糖料甘蔗和食糖生产基地, 1992 年以来糖料甘蔗产量一直稳居全国首位, 2007~2008 年广西的糖料蔗种植面积 1450 万亩, 占全国的 55.3%, 糖料蔗总产量 7688 万吨。滤泥是制糖澄清过程产生的附属产物, 亚硫酸法制糖工艺产生的滤泥有机质含量高达 30% 以上, 并富含农作物生长所需要的营养元素。同时制糖过程中, 有很大一部分甘蔗渣作为燃料烧掉, 留下大量的炉灰, 从锅炉等的烟囱淋洗下来大量的烟囱灰, 这类物质富含大量的钾和磷, 同时具有结构松散、分散性好等特点。滤泥和炉灰是一种优质的有机资源。

项目建设单位是一家集香蕉、甘蔗、木薯种植、加工、销售于一体的农业龙头企业, 总承包经营土地面积达 3.1 万亩, 下辖 13 个标准化生产基地, 2010 香蕉种植面积 15000 亩, 年产香蕉达 4.15 万吨。建设单位将项目区周边产生的糖厂滤泥、炉灰、酒精渣和鸡粪作为有机肥原料, 从根本上解决了滤泥等废弃物的出路问题, 同时满足了农业种植基地对有机肥的需求。

二、工艺说明

项目主要原料为糖厂废弃物(滤泥、炉灰)、酒精渣、鸡粪, 其主要理化性质见表 12-4。

表 12-4 原料的基本性质

成分	水分/%	全碳	全氮(N)	全磷(P)	全钾(K)
滤泥	71	25	1	0.5	0.5
炉灰	45	16	0	0.6	1.4
酒精渣	55	30	1.5	0.4	0.4
鸡粪	35	28	1.8	0.8	0.6

项目采用槽式好氧堆肥发酵法, 主要分为固体废物无害化和稳定化处理阶段与有机肥料资源化利用阶段两个部分。无害化和稳定化阶段是通过接种 VT 菌种进行好氧发酵, 分解有机物、高温杀灭致病菌和去除臭味。资源化利用阶段主要是肥料加工, 是在堆肥成品的基础上, 通过添加功能微生物或无机肥料提高其肥效和商品性, 进而提高项目的经济效益。

主要的工艺过程如图 12-8 所示。

1. 原料预处理

原料预处理的目的是调整物料的水分、粒度和碳氮比等, 同时添加菌种以促进发酵过程快速进行。将主要的有机固体废弃物料和辅料、填充剂等分别加入到各个料斗中, 由配料机根据程序按配料比例进行混合, 生物菌液储存在菌液罐中用小型计量泵加入, 添加菌种以促进发酵过程快速进行。各种物料混合后送到搅拌机中充分地搅拌均匀, 用皮带输送机输出, 再由小型装载机分配到各个发酵槽中。

2. 堆肥一次发酵

好氧堆肥的目的是使废弃物中的挥发性物质降低, 臭气减少, 杀灭寄生虫卵和病原微生物。

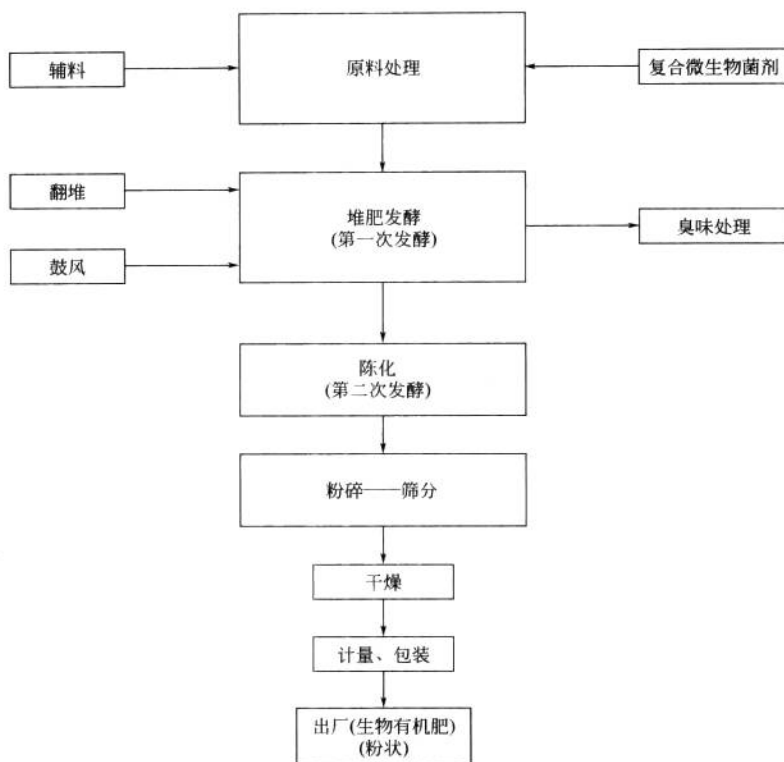


图 12-8 好氧堆肥处理工艺流程

物，达到无害化目的。另外，通过堆肥发酵处理使有机物料含水率降低，有机物得到分解和矿化释放 N、P、K 等养分，同时使有机物料的性质变得疏松、分散，便于储存和使用，达到资源化的目的。好氧堆肥在发酵槽内进行，在发酵槽底部安装曝气管，由鼓风机通过曝气管强制通风供给氧气，形成好氧发酵环境，避免有机物料在堆肥过程中厌氧发臭。发酵槽采用翻堆机搅拌物料并同时向后移位，氧的供给情况和发酵间保温程度对堆肥的温度上升有很大影响，堆肥周期约为 10~15 天，堆肥温度可以上升至 60~70℃。工艺控制中根据堆肥物料的温度、水分、氧含量等参数的变化，由控制系统开启鼓风机向发酵槽内曝气同时抽出废气。经过一个周期的堆肥，发酵后的含水率大幅度降低（一般小于 40%），由小型装载机出料转入陈化系统。

3. 陈化

经过第一次堆肥发酵后的有机固体废弃物尚未达到完全腐熟，需要进行二次发酵。陈化的目的是将有机物中剩余大分子有机物被进一步分解、稳定、干燥，以满足后续制肥工艺的要求。堆肥阶段后期大部分有机物已被降解，由于有机物的减少及代谢产物的累积，微生物的生长及有机物的分解速度减缓，发酵温度开始降低，此时用小型装载机将发酵槽内的物料移至陈化系统进行二次发酵。在陈化系统中用小型装载机进行堆垛、翻堆等操作。陈化周期约为 15~20 天，堆肥的温度逐渐下降、稳定，堆肥腐熟并腐殖质化。

4. 制肥

堆肥产品要作为产品销售还应根据用途和市场需要进行加工，制肥的目的就是提高堆肥

产品的肥效和商品性，进而提高综合经济效益。发酵物料由小型装载机运到进料地斗中，经过皮带输送机提升和输送后粉碎、筛分分级，筛上物运送返回到混合间配料，筛下粉状部分由皮带输送机输送到后续立式搅拌机中，经过配料混合、造粒、烘干冷却、筛分分级后包装，运送到成品仓库储存。烘干采用直热式燃煤热风炉加热空气，在滚筒干燥机中烘干物料。废气由引风机抽出，先经过多管除尘器机械除尘，再经过水喷淋洗涤塔净化后排放。

三、工程设计

1. 建设规模

项目总规模为生物有机肥 100000 吨/年，分两期建设完成，每期 5 万吨。

项目主要的原材料包括糖厂滤泥、炉渣（糖厂）、酒精渣（木薯渣）和鸡粪等几种原料。一期工程每天消纳的滤泥约 440t、炉渣（糖厂）约 110t、酒精渣（木薯渣）约 70t、鸡粪 110t。微生物接种剂按照干物料的 1‰~2‰使用。物料平衡如图 12-9 所示。

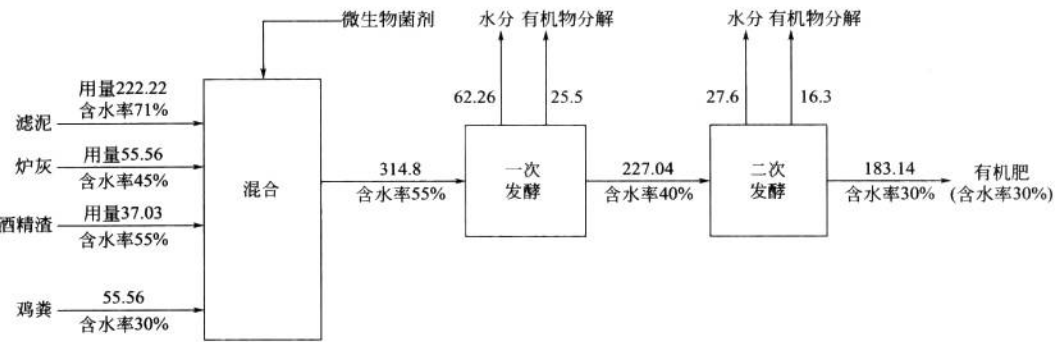


图 12-9 物料平衡图

2. 主要构筑物

项目总规划用地 90764m²，分为生产区和办公区，生产区包括原料储存、发酵单元、陈化单元、制肥单元和成品储存单元。根据各区的功能及相互关系，结合场地地形、地势及风向特点，以及场外道路情况进行总体布置。办公区设于上风向，办公区和生产区均设置绿化带，起美化环境和隔离作用。一期工程主要构筑物见表 12-5。

表 12-5 一期工程主要构筑物

建 设 单 元	面积/m ²	备 注
原料车间	16000	72m×68m, 19 个槽 120m×36m, 共 30 个仓
发酵厂房	6192	
陈化车间	4320	
制肥厂房	1200	
成品库	12000	
办公	400	
道路	11000	
绿化	3000	
停车及活动场	7140	
合计	61252	

项目设备主要是堆肥过程的翻堆设备和粉状生物有机肥的制肥设备。一期工程采购链板式翻堆机 3 台, 粉碎机、筛分机和自动打包机各一台, 实验室分析设备一套。项目平面布置如图 12-10 所示。

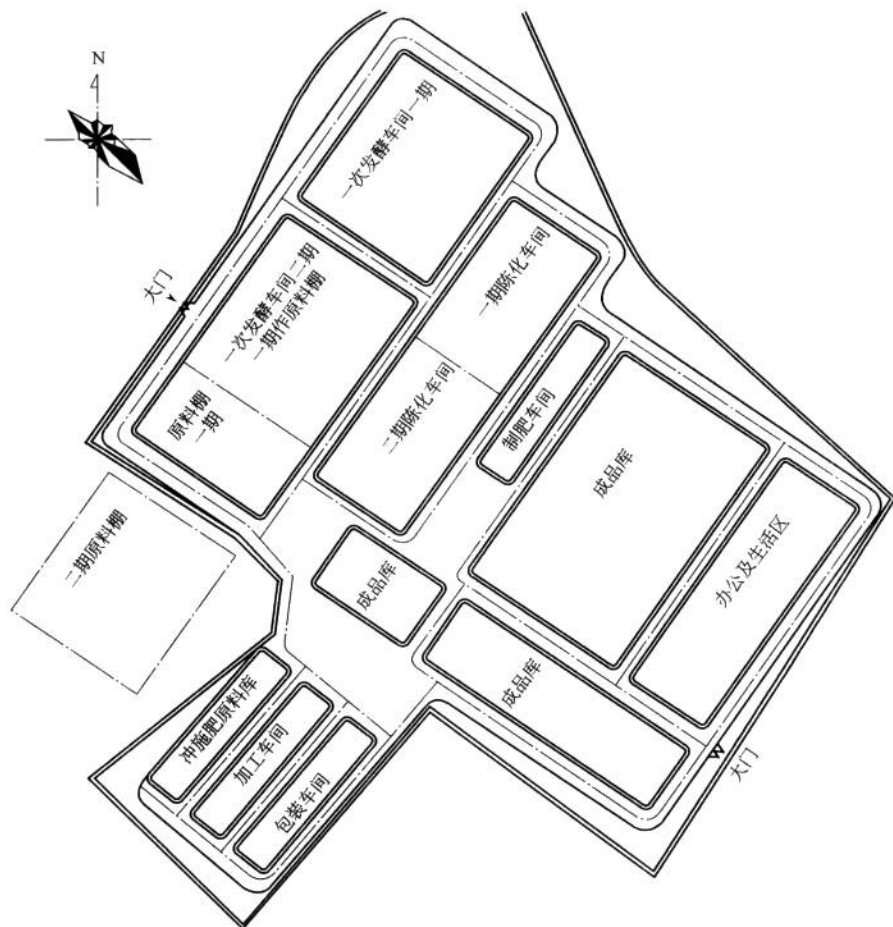


图 12-10 广西金穗项目平面布置图

四、效益分析

1. 经济效益

项目一期生产能力生物有机肥 50000 吨/年, 生物有机肥 550 元/吨, 销售收入 2750 万元。正常年(第五年)总成本费用估算为 2181.14 万元, 其中经营成本为 1915.13 万元。项目税后利润分为三部分, 包括盈余公积金、应付利润和未分配利润, 从第 3 年开始以 15% 的比例计算盈余公积金和公益金。正常年(第 5 年)的税后利润为 568.86 万元, 盈余公积金为 56.886 万元, 未分配利润为 312.87 元。

2. 社会效益与生态效益

本项目利用有机固体废弃物生产有机生物肥料, 实现固体废弃物无害化和资源化处理, 改善和保护城乡环境, 同时有助于发展生态型农业(无公害、绿色及有机)、促进当地香蕉产业的可持续发展。

第五节 堆肥-沼气联合工程案例：鄂尔多斯现代农牧业园区

一、项目背景

以建设社会主义新农村，发展现代农牧业为目标，内蒙古自治区鄂尔多斯市建成了现代农牧业高科技示范园区，园区占地面积 5850 亩，建设内容包括：①试验区 300 亩，用于开展科学研究，主要进行集成技术组装配套研究及新品种、新技术的引进试验；②示范展示区 700 亩，用于将试验区研究成熟的集成技术及国内外最新农业科技成果进行示范展示；③成果转化推广区 4200 亩，以利用现代装备，集成技术进行大规模的生产推广与效益展示；④设施农业示范区 200 亩，主要展示绿色有机蔬菜品种及珍奇花卉植物的观赏，作为科技旅游观光的主要衬托；⑤养殖园区 350 亩，主要由养殖区、饲草料储藏和加工区、生活区、育种和技术服务区、办公管理区及场区附属设施组成；⑥循环农业区，联接养殖和设施农业生产，配套建设用于废弃物处理和有机肥生产的大型沼气和堆肥项目；⑦休闲娱乐区 100 亩，充分利用废弃地、建设集垂钓、休闲、生态餐饮为一体的旅游娱乐服务区。项目总体思路如图 12-11 所示。

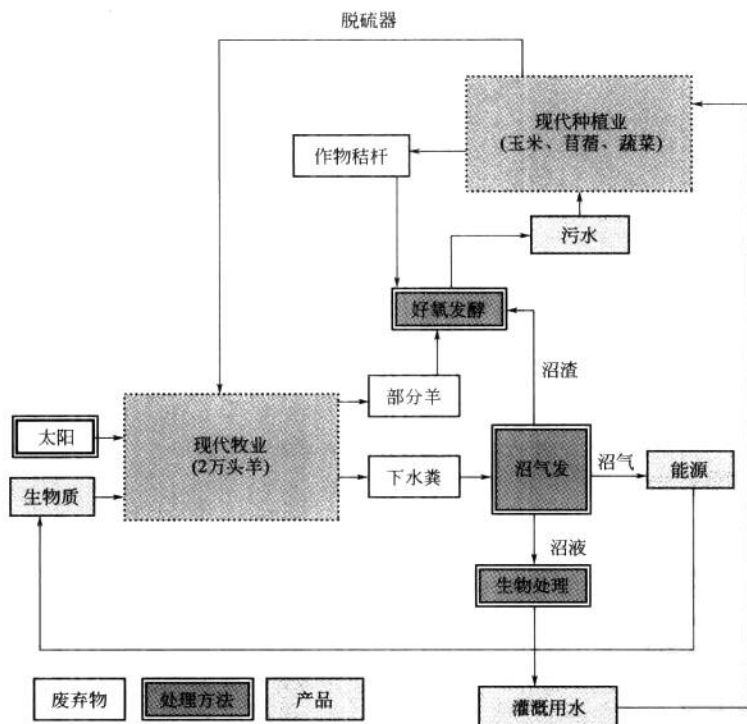


图 12-11 现代农牧业高科技示范园循环农业概念框架

项目目标是经过 2~3 年建设，要把鄂尔多斯市现代农牧业高科技示范园打造成为集种植、养殖、加工相结合的高科技示范园；成为由传统农业向现代农业转变的示范园区和样板区，以推进鄂尔多斯市现代农牧业发展。

二、工艺说明

1. 项目规模

养殖羊数 20000 只，鲜粪量为 15t/d，收集率为 80%，羊粪有机固含量 20%~30%，总产气量为 900m³/d，产生的沼液沼渣经固液分离池后，湿沼渣含水率 85%，湿沼渣产量 7.2t/d；沼液量 52.80t/d，回用 26.80t/d 以稀释发酵原料，剩余沼液产量 26.0t/d。

2. 沼气工艺流程及说明

本项目采用升流式固体床（USR）中温厌氧发酵工艺，主要工艺流程如图 12-12 所示。

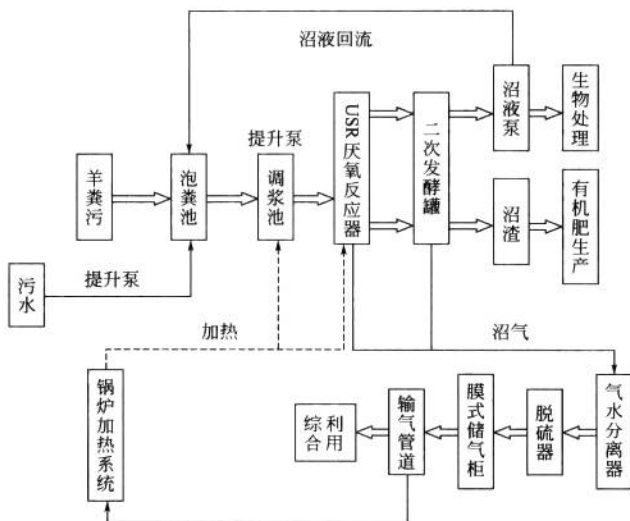


图 12-12 工艺流程

(1) 预处理 养殖场的全部废水通过管道由场区自流进入集粪池内，部分废水直接泵入调浆池与粪污混合，调浆池用来化粪和沉砂，并设置格栅清除浮草。利用搅拌机混合均匀，使其干物质浓度维持在 6% 左右。利用切割泵将混合液泵入调节池，调节物料、流量。

(2) 厌氧反应器 USR 中温厌氧反应器单池容积 500m³，采用 2 个发酵罐，出液采用溢流方式，排渣利用水头压力自行排渣。水力停留时间 15 天。

(3) 沼气的储存 鉴于美观性与安全性，同时考虑到湿式气柜冬季防冻问题，选用德国高分子双层膜囊干式常压气柜。沼气经脱水、脱硫塔后，进入 600m³ 的常压干式膜囊储气柜。储气柜用于调节产气和用气平衡，出气经调压箱调压后输送到用户。

气柜的静压力设计不高于 400mmH₂O 柱，保证在高峰用气时，5 千米范围内，灶前压力不低于 80mmH₂O 柱；在非高峰用气时，不会因压力过高而造成熄火或损坏煤气计量表。

(4) 加热保温 USR 采用中温发酵，利用热水锅炉实现冬季保温，并配有温控监测系统，以维持 USR 反应器的中温发酵温度。

项目产气量为 900m³/年，主要的利用途径包括：

- ① 50m³/d 沼气可常年供给农牧生态科技示范园内 100 位职工及观光游客炊事使用。
- ② 沼气站内使用沼气灯进行照明，每天消耗量为 50m³/d 沼气。
- ③ 在每年的 4 月至 10 月的 7 个月中，每日所产的 700m³/d 沼气可用来供给厂区内职工

洗浴使用。可与冬季供暖共用同一热水系统。

④ 在每年的 11 月至次年 3 月的 5 个月中，沼气站自身需要使用 200m³/d 沼气进行加热。另外剩余的 600m³/d 沼气可使用沼气热水锅炉供给园区温室加热使用，供热面积为 1547m²。

由以上几种利用方式可知，在农牧生态科技示范园内不论是夏季还是冬季，沼气都得到充分的利用。

3. 堆肥工艺流程及说明

堆肥项目主要处理园区内养殖区产生的部分粪污和全部的沼渣，设计处理规模为 35.6m³/d。物料供应量见表 12-6。

表 12-6 物料供应量

处理物料	数量/(t/d)
羊粪	12.0
沼渣	7.2
辅料	5.76
合计	24.96

采用条垛式好氧堆肥工艺，将含水率 60%~80% 的有机废弃物（养羊粪污、沼渣等）配合秸秆粉、风化煤、草炭、菇渣等原辅料及发酵菌剂，通过翻堆机混合，在堆肥场中堆积发酵 15 天，然后在陈化场中熟化 20 天，发酵物料由小型装载机运到成品仓中储存。项目配套了施肥车一辆，在种植季节，用大型施肥车将成品有机肥料运出，进行大田施肥操作。堆肥工艺流程如图 12-13 所示。

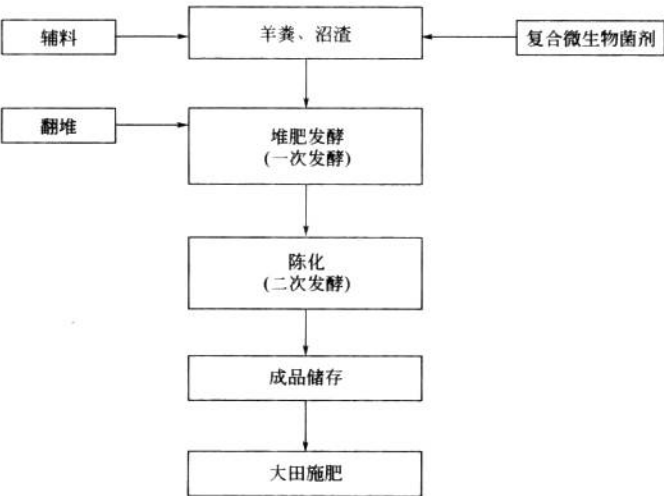


图 12-13 好氧堆肥处理生产工艺流程

三、工程设计

项目总占地面积 8407m²，主要包括沼气站和堆肥厂两部分，其中沼气站建设内容包括：①容积 500m³ 厌氧反应器 2 个；②容积 800m³ 二次发酵池 1 座；③600m³ 燃气储存及输配装置 1 套；④预处理池、混合池、调节池、净化间、值班室、锅炉房、发电机房、控制房等

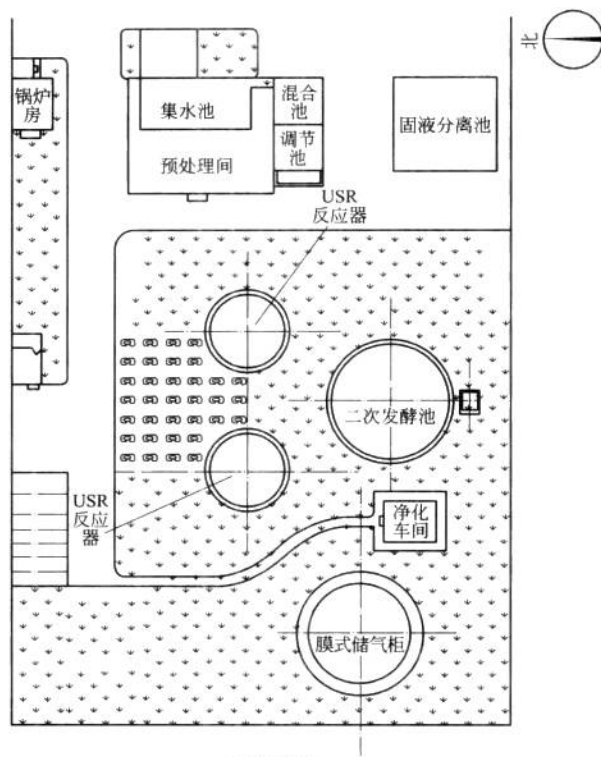
工艺配套设施。沼气站构筑物及建筑物土建工程见表 12-7；主要设备见表 12-8。沼气站平面布置及效果如图 12-14 所示。

表 12-7 构筑物及建筑物土建工程一览表

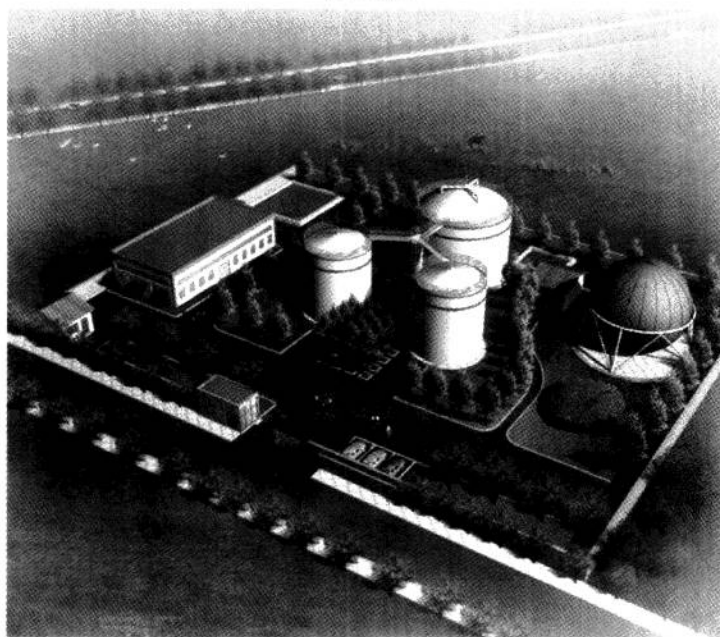
序号	名 称	体积/面积	结 构	数 量
1	预处理池	120m ³	钢筋混凝土	1 座
2	混合池	60m ³	钢筋混凝土	1 座
3	调节池	60m ³	钢筋混凝土	1 座
4	固液分离池	90m ²	砖混	1 座
5	500m ³ 厌氧消化罐基础	45.8m ³	钢筋混凝土	2 座
6	800m ³ 二次发酵罐基础	39.3m ³	钢筋混凝土	1 座
7	600m ³ 膜式储气柜基础	31.1m ³	钢筋混凝土	1 座
8	沼气净化间	22.7m ²	砖混	1 座
9	值班室	16.2m ²	砖混	1 座
10	锅炉房	22.7m ²	砖混	1 座
11	预处理间及泵房	150m ²	砖混	1 座
12	沼渣摊晒场及简易棚	180 m ²	轻钢屋架, 阳光板屋顶	
13	其他设备基础	10 m ³	钢筋混凝土	
14	站内围栏、道路、大门	1 套	砖混	
15	站外沼气管线及沼气炊事使用设备	户	50	

表 12-8 主要设备一览表

序 号	名 称	规 格	设备数量	功率
1	螺杆泵	$Q=30\text{m}^3/\text{h}, H=10\text{m}$	1	4.0kW
2	切割泵	$Q=30\text{m}^3/\text{h}, H=10\text{m}$	1	4.0 kW
3	循环沼液泵	$Q=20\text{m}^3/\text{h}, H=7\text{m}$	2	3.0kW
4	机械格栅		1	
5	一级 USR 罐	$V=500\text{m}^3$	2	
6	二级发酵罐	$V=800\text{m}^3$	1	
7	膜式恒压沼气储气柜	$V=600\text{m}^3$	1	
8	罐内管线		3	
9	保温		2	
10	罐体防雷		3	5.5kW
11	水封罐		2	
12	脱水罐	$D0.6\text{m}\times 1.0\text{m}$	2	
13	脱硫罐(含脱硫剂)	$D0.8\text{m}\times 2.4\text{m}$	2	
14	固液分离机		1	
15	沼气声光报警系统		1	
16	加热系统		1	
17	加热盘管		2	
18	沼气管线、阀门		1	
19	自动监控系统		1	
20	输电线路及电气控制		1	
21	沼气灯		8	
22	供暖热水锅炉		1	



(a) 布置图



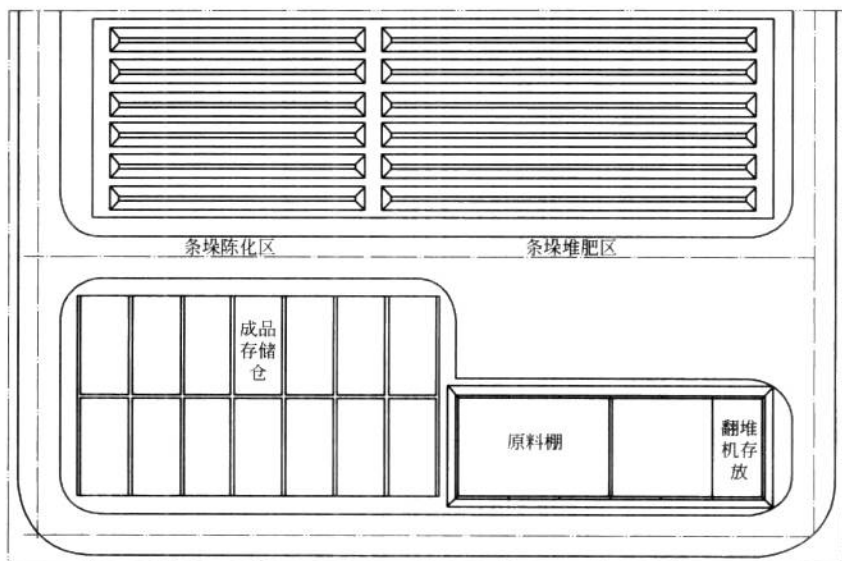
(b) 效果图

图 12-14 鄂尔多斯农牧业现代园区沼气工程平面布置及效果

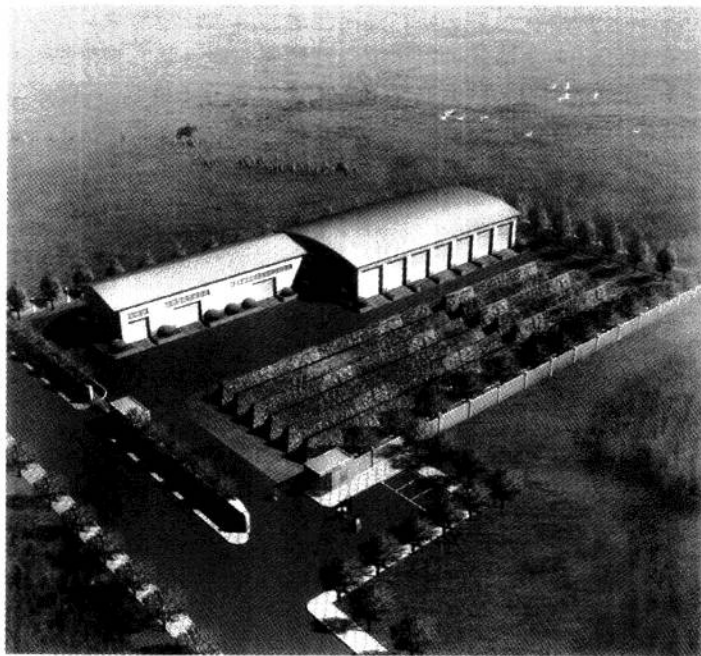
堆肥厂厂区总占地面积 4800m^2 。建（构）筑物主要包括：原料棚、堆肥发酵场、成品仓、办公室、化验室等。

(1) 原料棚 原料棚长 36m 、宽 12m ，占地面积为 443.6m^2 。为钢结构架单跨敞棚，跨度 12m ，柱距 6m ，屋架底标高为 4m 。

(2) 堆肥发酵场 堆肥发酵场长 80m 、宽 24m ，占地面积 1920m^2 。其中一次发酵区长



(a)



(b)

图 12-15 鄂尔多斯农牧业现代园区堆肥厂区平面布置及效果

48m, 陈化区长 32m。

(3) 成品仓 成品仓长 42m、宽 24m, 占地面积为 1008 m²。共隔离成 14 个仓, 单仓长 10m, 宽 6m, 隔墙厚度 370mm、高度 2.5m, 为砖墙水泥抹面。堆肥厂主要建筑物规模见表 12-9, 主要设备见表 12-10, 厂区平面布置及效果如图 12-15 所示。

表 12-9 主要建筑物建设规模

序 号	项 目	结 构	工程量/m ²
1	原料棚	钢结构彩钢夹芯板	443.6
2	堆肥发酵场	混凝土地坪	1920
3	成品仓	砖隔墙/混凝土地坪	1008
4	道路、围栏、大门		1500
5	小计		4871.6

表 12-10 主要设备一览表

序 号	项 目	规 格	数 量
1	秸秆粉碎机	粉碎能力: 2.5~3.5t/h	1 台
2	翻堆机	跨度 2.8m, 堆高 1.4m	1 台
3	装载机	斗容积 0.75m ³ , N=45kW	1 台
4	施肥机	60PRO, 拖拉机牵引作业, 装载体积 6.5m ³	1 台
5	温湿度检测设备		1 套

四、效益分析

项目总投资 738.62 万元, 其中沼气站直接投资 466.62 万元, 堆肥厂投资 272.0 万元。

项目建成后日产沼气 900m³, 用于大棚灌溉的液肥 26t, 每年可生产生物有机肥 4100t。项目解决了粪污对环境的潜在污染威胁, 提高当地的生态环境质量, 产生的沼气部分供给园内职工及游客炊事使用, 剩余部分可用于沼气灯照明、沼气热水锅炉供给园区温室加热使用等, 有机肥料可供 4000~20000 亩土地使用。实现污染“零排放”, 改善当地的农业生产环境质量, 推动当地生态农业发展。

参 考 文 献

- [1] 鄂尔多斯现代农牧业高科技示范园堆肥工程可行性研究报告. 北京沃土土地生物科技有限公司, 2009.
- [2] 广西金穗生物科技有限责任公司有机废物资源化利用及生物肥料生产项目可行性研究报告. 北京沃土土地生物科技有限公司, 2009.
- [3] 内蒙古鄂尔多斯市现代农牧业高科技示范园大型沼气工程可行性研究报告. 北京联合创业建设工程有限公司, 2009.
- [4] 渭南市污泥处置中心可行性研究报告. 陕西省城乡规划设计院、陕西建筑勘察设计公司, 2010.
- [5] 张家口市金农生物科技有限公司集约化禽畜养殖污染防治项目可行性研究报告. 北方设计研究院, 2008.

附录 1 堆肥原料成分表

1. 人畜粪便类养分含量（鲜基）

表 1 人畜粪便类养分含量（鲜基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
人粪	80.670	9.517	1.159	0.261	0.304	8.062	7.019
猪粪	68.74	13.760	0.547	0.245	0.294	20.986	8.015
牛粪	75.038	10.414	0.383	0.095	0.231	23.171	7.978
羊粪	50.746	18.859	1.014	0.216	0.532	16.620	8.080
马粪	68.463	11.965	0.437	0.134	0.381	25.623	8.116
驴粪	61.519	13.256	20.909	0.188	0.535	32.056	8.051
骡粪	62.929	8.203	0.312	0.156	0.232	26.461	7.902
兔粪	57.379	15.259	0.874	0.297	0.653	19.113	8.000
鸡粪	52.306	16.511	1.032	0.413	0.717	14.028	7.840
鸭粪	51.082	13.246	0.714	0.364	0.547	17.858	7.818
鹅粪	61.674	12.785	0.536	0.215	0.517	19.656	7.865
鸽粪	45.404	41.637	2.484	0.722	1.021	10.290	7.020
蚕沙	55.940	16.010	1.184	0.154	0.974	17.892	8.096
狗粪	65.471	—	1.330	1.809	0.261	—	8.470
鹌鹑粪	51.717	13.075	1.892	1.203	1.246	—	7.700
貂粪	68.919	—	0.267	0.059	0.134	—	8.120
猴粪	61.673	—	0.830	0.283	1.050	—	9.080
大象粪	77.130	—	0.187	0.037	0.190	—	8.627

表 2 不同粪便类养分含量（烘干基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%
鸡粪	52.0	30.1	2.34	0.929	1.606
猪粪	68.7	41.4	2.09	0.896	1.12
羊粪	50.7	33.6	2.01	0.496	1.321
牛粪	75.04	36.8	1.67	0.429	0.948
鸭粪	51.0	26.2	1.66	0.885	1.373
鹅粪	61.7	30.7	1.645	0.672	1.742

资料来源：牛俊玲，李彦明，陈信．固体有机废物肥料化利用技术．化学工业出版社．2009。

2. 堆沤肥类养分含量

表 3 厩肥类养分含量（鲜基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
猪圈肥	54.232	5.668	0.376	0.155	0.298	19.556	8.064
牛栏粪	61.207	9.954	0.500	0.131	0.720	19.178	8.390
羊圈肥	48.408	10.787	0.782	0.154	0.740	14.379	8.188
马厩肥	59.357	11.591	0.454	0.137	0.505	26.074	8.124
骡圈肥	68.940	3.756	0.396	0.110	0.547	21.275	8.280
驴圈肥	60.801	2.434	0.214	0.103	0.113	16.600	8.068
鸡窝粪	25.803	—	1.290	0.535	1.954	—	8.030

表 4 沤肥类养分含量 (鲜基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
草塘泥	72.744	2.263	0.159	0.075	0.328	13.909	7.770
廋肥	47.633	—	0.230	0.098	0.772	18.859	7.169

表 5 沼气肥类养分含量 (鲜基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
沼渣肥	76.620	6.748	0.499	0.216	0.203	—	7.587
沼液肥	97.833	3.255	0.109	0.019	0.088	—	7.531

3. 秸秆类养分含量 (鲜基)

表 6 秸秆类养分含量 (鲜基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
水稻秸秆	63.5	10.9	0.30	0.048	0.67	48.0	—
麦秸	44.1	27.8	0.31	0.040	0.65	66.5	—
玉米秸	68.5	12.4	0.30	0.044	0.38	49.9	—
大豆秸*	—	45.3	1.81	0.196	1.17	29.3	—
绿豆秸*	—	—	1.58	0.240	1.07	—	—
蚕豆秸*	—	—	2.45	0.236	1.71	29.9	—
豌豆秸*	—	—	2.57	0.207	1.08	—	—
高粱秸*	—	49.9	1.25	0.146	1.43	46.7	—
谷子秸*	—	—	0.82	0.101	1.75	—	—
大麦秸*	—	47.9	0.56	0.086	1.37	76.6	—
荞麦秸*	—	42.8	0.80	0.191	2.12	50.5	—
燕麦秸*	—	—	0.65	0.3	1.6	—	—
甘薯藤*	—	36.7	2.37	0.283	3.05	14.2	—
马铃薯茎*	—	—	2.65	0.272	3.96	—	—
油菜秸*	—	44.9	0.87	0.144	1.94	55.0	—
花生秸*	—	42.6	1.82	0.163	1.09	23.9	—
向日葵秆*	—	—	0.82	0.112	1.77	—	—
棉秆*	—	—	1.24	0.150	1.02	—	—
麻秆*	—	—	1.31	0.060	0.50	—	—
甘蔗茎叶*	—	45.7	1.10	0.14	1.10	49.1	—
烟秆*	—	45.5	1.44	0.169	1.85	31.2	—
西瓜藤*	—	29.9	2.58	0.229	1.97	20.0	—
冬瓜藤*	—	—	3.43	0.520	2.77	—	—
南瓜藤*	—	—	4.35	0.648	2.47	—	—
黄瓜藤*	—	—	3.18	0.450	1.62	—	—
梨瓜藤*	—	—	2.62	0.376	1.60	—	—
辣椒秆*	—	37.9	3.27	0.299	4.49	13.9	—
番茄秆*	—	37.4	2.05	0.245	2.21	16.9	—
洋葱茎叶*	—	—	2.89	0.367	2.02	—	—
芋头茎叶*	—	—	2.21	0.450	5.68	—	—
香蕉茎叶*	—	36.7	1.91	0.196	3.67	21.0	—
草莓秆*	—	—	2.11	0.245	1.47	—	—

注: * 以烘干基计。

表7 作物秸秆养分含量(烘干基)

作物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稻	0.91	0.30	2.28
小麦	0.65	0.18	1.27
玉米	0.92	0.35	1.42
谷子	0.82	0.23	2.11
高粱	1.25	0.33	1.72
其他谷物	0.68	0.31	2.10
豆类	1.81	0.45	1.41
薯类	2.51	0.63	4.22
花生	1.82	0.37	1.31
油菜	0.87	0.33	2.34
向日葵	0.82	0.25	2.13
棉花	1.24	0.34	1.23
麻类	1.31	0.14	0.60
甘蔗	1.10	0.32	1.33
烟叶	1.44	0.38	2.23

注:豆类秸秆养分含量用大豆秸秆代替,杂粮秸秆用大麦、荞麦秸秆养分的平均值代替,薯类秸秆用马铃薯、甘薯秸秆养分的平均值代替。

资料来源:全国农业技术推广中心中国农业出版社,1999.中国有机肥料养分志。

4. 绿肥类养分含量(鲜基)

表8 绿肥类养分含量(鲜基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH值
紫云英	88.8	5.2	0.40	0.040	0.27	13.3	—
苕子	81.1	8.3	0.62	0.062	0.45	13.5	—
箭筈豌豆	79.8	9.4	0.56	0.046	0.41	15.2	—
草木樨	80.8	8.8	0.54	0.040	0.29	13.8	—
田菁	70.6	10.2	0.67	0.059	0.43	17.9	—
金花菜	79.0	11.8	0.67	0.081	0.40	14.2	—
紫花苜蓿	76.5	—	0.61	0.065	0.69	—	—
桤麻*	—	46.4	2.69	0.280	2.03	21.5	—
沙打旺	82.0	7.4	0.47	0.042	0.46	14.1	—
小冠花*	—	42.0	4.00	0.280	2.58	—	—
蚕豆	79.7	8.5	0.45	0.046	0.30	17.1	—
豌豆	76.9	8.2	0.59	0.056	0.40	14.7	—
绿豆	73.2	12.6	0.53	0.063	0.42	27.0	—
豇豆	81.1	7.3	0.44	0.066	0.33	16.0	—
饭豆	77.5	10.5	0.49	0.043	0.34	23.3	—
菜豆	83.3	7.6	0.42	0.057	0.34	15.7	—
山豆	80.3	8.5	0.58	0.054	0.37	10.3	—
猪屎豆*	—	42.4	3.49	0.183	1.44	13.6	—
三叶草	81.0	7.8	0.64	0.059	0.59	12.3	—
泥豆*	—	—	3.24	0.26	1.45	—	—
含羞草*	—	42.2	2.90	0.220	1.46	15.7	—
肥田萝卜	85.8	5.6	0.36	0.055	0.37	19.8	—
油菜	89.2	4.6	0.33	0.042	0.42	18.7	—
满江红	92.0	2.9	0.23	0.029	0.18	12.2	—
水花生	86.3	5.7	0.35	0.039	0.71	13.9	—
水葫芦	90.5	2.9	0.22	0.037	0.37	13.3	—

续表

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
水浮莲	93.3	2.0	0.19	0.037	0.28	11.9	—
肿柄菊	80.5	9.6	0.60	0.066	0.80	14.8	—
飞机草	77.2	6.8	0.39	0.060	0.56	18.0	—
小葵籽	84.5	6.1	0.16	0.033	0.44	26.3	—
籽粒苋	86.5	5.0	0.33	0.050	0.64	17.6	—
紫穗槐	68.0	15.7	0.91	0.098	0.45	15.4	—
马桑	72.6	12.0	0.60	0.056	0.24	22.7	—
黄荆	71.4	12.5	0.71	0.086	0.48	18.3	—
野葛	65.0	10.3	0.67	0.062	0.56	14.7	—
山毛豆*	—	41.0	2.29	0.158	1.11	17.8	—
银合欢*	—	45.2	3.02	0.205	1.63	16.9	—
构树	62.9	17.3	0.89	0.052	0.28	19.6	—
桉木	63.4	17.2	1.13	0.057	0.24	19.9	—
盐肤木	—	48.3	2.51	0.28	2.28	19.2	—
苦楝*	—	44.8	3.50	0.240	1.37	—	—
蒿草	75.4	9.4	0.63	0.092	0.80	15.8	—
小飞蓬*	—	—	2.83	0.200	2.61	15.2	—
苍耳*	—	—	2.62	0.41	3.61	10.7	—
臭藜藿*	—	—	4.23	0.510	4.98	—	—
蒺藜*	—	—	3.74	0.475	2.36	—	—
胜红蓟*	—	—	3.91	0.520	2.94	12.6	—
针刺草*	—	—	3.58	0.98	3.04	12.1	—
希金草*	—	—	2.93	0.70	4.33	14.2	—
茅草	56.6	14.6	0.34	0.048	0.32	42.2	—
苦参*	—	—	2.72	0.281	3.73	16.4	—
松毛*	—	—	1.08	0.101	0.48	32.5	—
臭牡丹*	—	—	3.09	0.242	2.20	15.6	—
山杜鹃*	—	—	0.97	0.150	0.53	53.7	—
乌柏*	—	—	3.64	0.431	1.28	11.4	—
枫杨*	—	—	2.68	0.37	1.48	17.7	—
枫香*	—	—	3.02	0.285	1.03	23.9	—
香椿*	—	—	2.96	0.366	3.01	18.0	—
化香*	—	—	2.97	0.400	1.36	16.4	—
喜树*	—	—	3.70	0.750	3.57	12.2	—
楸桐*	—	—	3.89	0.49	1.69	11.9	—
泡桐*	—	—	3.70	0.750	3.57	12.2	—
鸭脚木*	—	—	1.42	0.110	1.75	—	—
栎树*	—	—	1.63	0.145	0.66	23.4	—
红树*	—	—	2.33	0.280	1.30	20.9	—
橡胶树*	—	—	1.50	0.125	0.38	35.9	—

注：* 以烘干基计。

5. 土杂肥类养分含量

表 9 肥土类养分含量（烘干基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
熏土	—	—	0.372	0.119	1.201	—	7.472
硝土	—	—	0.258	0.115	1.546	—	7.274
炕土	—	—	0.505	0.132	1.558	—	7.295

表 10 泥肥类养分含量 (烘干基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
河泥	—	2.961	0.231	0.196	1.754	—	6.213
湖泥	—	4.573	0.179	0.068	1.476	—	5.860
塘泥	—	3.649	0.242	0.118	1.956	—	7.156
沟泥	—	9.627	0.334	0.136	1.989	—	7.720
海泥	—	2.024	0.108	0.040	0.760	—	5.748

表 11 草木灰 (烘干基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
草木灰	—	—	—	1.023	9.214	—	10.704
水稻秆灰	—	—	—	0.780	8.204	—	10.739
玉米秆灰	—	—	—	0.896	7.287	—	10.663
小麦秆灰	—	—	—	0.665	7.522	—	11.124
棉花秆灰	—	—	—	1.344	—	—	—
甘蔗叶灰	—	—	—	0.938	6.381	—	10.600
荞麦秆灰	—	—	—	1.159	7.921	—	10.100
烤烟秆灰	—	—	—	1.174	6.365	—	9.815
柴灰	—	—	—	1.026	6.314	—	9.560
山草灰	—	—	—	0.662	4.290	—	10.440
大豆秆灰	—	—	—	1.123	8.897	—	10.758
油菜秆灰	—	—	—	0.470	4.600	—	12.000
甘薯秆灰	—	—	—	1.354	9.309	—	10.568

表 12 杂灰渣及废弃物 (烘干基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
炉渣灰	—	—	0.127	0.141	0.571	—	—
烟筒灰	—	—	1.530	0.260	1.418	—	—
火山灰	—	—	0.727	0.193	0.080	—	—
尿灰	—	—	0.090	0.574	3.169	—	—
杂灰	—	—	0.616	0.288	1.666	—	—
屠宰场废弃物	—	—	1.937	0.292	0.828	—	7.513
羽毛渣	—	—	9.083	1.340	1.060	—	—
骨粉	—	—	—	6.475	0.490	—	—
自然土	—	—	0.289	0.159	1.840	—	—
羊肝石	—	—	0.029	0.143	2.956	—	—

6. 饼肥类养分含量 (风干基)

表 13 饼肥类养分含量 (风干基)

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
大豆饼	—	20.2	6.68	0.440	1.19	3.07	—
花生饼	—	33.6	6.92	0.547	0.96	4.7	—
油菜籽饼	—	33.4	5.25	0.799	1.04	6.6	—
棉籽饼	—	22.0	4.29	0.541	0.76	6.3	—
芝麻饼	—	17.6	5.08	0.73	0.56	3.69	—
葵花籽饼	—	—	4.76	0.478	1.32	—	—
桐籽饼	—	40.0	2.94	0.429	1.16	15.8	—
茶籽饼	—	43.5	1.44	0.282	1.18	29.8	—
蓖麻籽饼	—	—	4.52	0.784	1.02	—	—

续表

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
胡麻饼	—	—	5.60	0.763	1.10	—	—
兰花籽饼	—	—	4.03	0.993	0.96	—	—
烟籽饼	—	—	4.26	0.67	1.25	—	—
线麻籽饼	—	—	8.14	1.92	1.40	—	—
梔籽饼	—	—	4.75	0.330	1.28	—	—
杏仁饼	—	—	4.56	0.466	0.71	—	—
苏子饼	—	—	5.84	0.703	0.98	—	—
大麻籽饼	—	—	5.05	0.828	1.12	—	—
柏籽饼	—	—	5.16	0.652	0.99	—	—
苍耳子饼	—	—	4.47	0.862	1.22	—	—
椰子饼	—	—	3.74	0.448	1.63	—	—
大米糠饼	—	—	2.33	1.04	1.47	—	—
花椒子饼	—	—	2.06	0.245	2.08	—	—
椿树子饼	—	—	2.78	0.417	1.48	—	—
酒渣	—	31.8	3.08*	0.399*	0.42*	—	—
醋渣*	—	49.8	1.98	0.251	0.46	—	—
酱油渣*	—	51.6	2.92	0.738	0.71	—	—
豆腐渣*	—	88.8	1.56	0.132	0.418	—	—
粉渣	—	45.0	1.56*	0.132*	0.418*	—	—
药渣*	—	46.9	1.55	0.26	0.36	—	—
木茹渣*	—	41.9	0.538	0.060	0.283	—	—
食用菌渣*	—	30.3	1.01	0.223	0.876	—	—
九二〇渣*	—	—	3.43	0.77	1.14	—	—
糖粕*	—	—	1.04	0.20	1.14	—	—
味精渣*	—	—	6.10	0.29	0.06	—	—
黄麻麸*	—	—	5.87	1.51	2.23	—	—
磷脂肥*	—	—	0.78	1.55	2.50	—	—
酱糟*	—	—	3.75	0.28	0.34	—	—
啤酒渣*	—	—	3.31	0.46	0.16	—	—
玉米酒糟*	—	—	2.23	0.31	0.33	—	—
大豆磷脂肥*	—	—	0.84	1.35	1.45	—	—
烤烟磷脂肥*	—	—	0.72	2.15	3.55	—	—

注：* 以烘干基计。

7. 海肥类养分含量

表 14 海肥类养分含量

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
海钱*	—	—	0.40	0.04	0.17	—	—
海乳*	—	—	1.36	0.10	0.45	—	—
红螺*	—	—	1.28	0.10	0.18	—	—
蚝镜*	—	—	0.23	0.05	0.06	—	—
海五星*	—	—	1.89	0.11	0.42	—	—
海风车*	—	—	2.11	0.14	0.38	—	—
干蟹*	—	—	4.21	1.21	0.47	—	—
虾杂类*	—	—	3.57	2.12	0.46	—	—
狗罗花脯*	—	—	4.57	0.48	0.47	—	—
海酵果脯*	—	—	2.12	0.27	0.51	—	—
黑蛤蜊*	—	—	2.64	1.07	0.21	—	—

续表

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
海蛎子皮*	—	—	1.21	0.11	0.32	—	—
蛤蜊皮	5.24	—	0.44	0.07	0.20	—	—
海蜇子*	—	—	2.43	0.89	0.17	—	—
蛭子	38.98	—	1.17	0.14	0.42	—	—
马牙子*	—	—	1.84	0.48	0.23	—	—
鱼磷*	—	—	5.21	3.24	0.18	—	—
鱼类	—	—	0.71	0.76	0.48	—	—
鱼杂类	—	—	4.30	1.70	0.42	—	—
贝杂类	—	—	0.68	0.14	0.99	—	—
海藻类	—	—	0.56	0.09	0.51	19.3	—
苔条	88.5	—	0.23	0.02	0.73	—	—
海绵	84.0	—	0.32	0.02	0.29	—	—
海松	82.3	—	0.48	0.05	0.79	—	—
蕴草	86.7	—	0.26	0.03	0.55	—	—
海带	70.6	—	0.45	0.07	—	—	—
海草	84.8	—	0.37	0.07	0.41	—	—

注：* 以风干基计。

8. 腐殖酸肥类养分含量（鲜基）

表 15 腐殖酸肥类养分含量（鲜基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
褐煤	44.59	3.53	0.36	0.04	0.51	—	—
风化煤	15.9	—	0.32	0.05	0.54	—	—

9. 农用城镇废弃物类养分含量（鲜基）

表 16 腐殖酸肥类养分含量（鲜基）

原料	水分/%	C/%	N/%	P/%	K/%	C/N	pH 值
城市垃圾	28.896	—	0.275	0.117	1.072	—	—
生活污水	—	—	0.019	0.001	0.004	—	6.5
工业废水	—	—	0.22	0.024	0.42	—	6.7
城市污泥	96.2	—	0.13	0.045	0.023	—	6.8
粉煤灰*	—	10	0.002~0.20	0.08~0.17	0.96~1.82	—	11
糠醛渣*	—	—	0.82	0.25	1.03	—	3
钢渣*	—	—	—	0.06	0.28	—	—

注：* 以干基计。

10. 常用谷壳类成分含量（干基）

表 17 常用谷壳类成分含量（干基）

成分		木质素/%	纤维素/%	半纤维素/%	N/%	C/N	灰分/%
玉米	麸皮	1.00	15.00	44.00	1.76	34.09	3.00
	玉米棒渣	7.00	28.00	55.00	0.51	175.78	2.00
棉籽	皮	24.00	49.00	17.00	0.66	137.20	4.00
	种子	15.00	16.00	9.00	3.68	10.87	5.00
花生	花生壳	23.00	42.00	9.00	1.25	59.29	4.00

续表

成 分		木质素/%	纤维素/%	半纤维素/%	N/%	C/N	灰分/%
稻谷	糠	3.30	10.70	11.00	2.08	12.02	10.00
	稻壳	17.00	55.00	10.00	0.48	170.83	20.00
大豆	豆荚	2.00	48.00	17.00	1.94	34.61	5.00
	大豆秆	16.00	38.00	16.00	0.83	84.13	6.00
向日葵	葵子饼粉	12.00	21.00	7.00	4.14	9.65	6.00
小麦	麦麸	3.00	12.00	36.00	2.74	18.64	7.00
	麦草	7.00	34.00	27.00	1.36	50.00	7.00
	粗麦麸	2.20	8.80	26.00	2.94	12.57	2.40
	麦秆	14.00	40.00	31.00	1.58	53.93	8.00

11. 食品制造业使用原材料的肥效成分

表 18 食品制造业使用原材料的肥效成分 (烘干基)

业种	调查/件	氮/%	磷酸/%	钾/%	胃蛋白酶消化率/%
乳业	11	6.94	5.01	0.99	46.55
乳酸饮料	9	6.81	3.92	0.53	44.46
肉类加工	7	8.53	4.73	0.75	55.6
屠宰	2	5.67	1.72	0.14	65.78
清凉饮料	6	6.67	3.87	0.87	53.05
啤酒	10	6.73	3.44	0.65	42.15
面包	10	6	3.75	0.58	43.62
酵母	4	7.14	2.38	1.61	51.98
馅儿	3	7.71	3.79	0.65	41.26
酱油	4	5.92	2.67	0.33	58.21
黄酱	3	7.08	6.36	2.14	50.72
小麦淀粉	4	9.29	6.77	0.69	70.24
玉米淀粉	2	8.07	4.82	1.01	63.95
橘子加工	9	4.39	2.31	0.44	44.33
水产加工	2	9.8	3.97	0.49	51.16
沙拉酱	3	7.35	2.76	0.58	46.16
制油	2	5	6.11	0.64	26.72
平均		7.01	4.02	0.77	50.37

资料来源: 社团法人日本有机资源协会·堆肥化设施设计指南。

12. 日本堆肥原料成分含量

表 19 日本堆肥原料成分含量 I (烘干基)

材料名	水分	石灰	氧化镁	碳酸钾	磷酸	氮	碳	C/N
家畜粪尿	牛粪	约 80	1.5~2.0	0.5~1.0	1.5~2.0	2.0~2.5	2.0~2.5	40~45
	猪粪	约 70	4.0~5.0	1.0~1.5	1.5~2.0	5.0~6.0	3.0~4.0	40~45
	鸡粪	约 65	10~15	1.0~1.5	3.0~4.0	6.0~7.0	5.0~6.0	35~40
	牛尿(鲜样)		0.0	0.0	1.0~2.0	0.1	0.5~0.7	
	猪尿(鲜样)		0.0	0.0	0.5~1.0	0.1	0.3~0.5	
秸秆类	稻秸	约 10	0.5	0.2	2.0~2.5	0.2~0.5	0.5~1.0	35~40
	麦秸	约 10	0.5	0.2	2.0~2.5	0.1~0.3	0.5~1.0	40~45
	稻壳	约 10	0.1	0.1	0.5	0.1~0.3	0.3~0.5	35~40

续表

材料名		水分	石灰	氧化镁	碳酸钾	磷酸	氮	碳	C/N
蔬菜渣	萝卜叶	约 90	5.0~7.0	0.3~0.5	5.0~6.0	0.8~1.0	5.0~6.0	40~45	8~10
	胡萝卜叶	约 80	3.0~4.0	0.5~0.7	5.0~6.0	0.8~1.0	3.0~4.0	40~45	10~15
	圆白菜	约 90	1.5~2.0	0.2~0.3	5.0~6.0	1.0~1.5	5.0~6.0	40~45	8~10
	大白菜	约 90	5.0~6.0	0.7~1.0	5.0~6.5	1.5~2.0	3.0~4.0	40~50	10~15
	黄瓜茎	约 70	6.0~8.0	0.5~0.7	7.0~1.0	1.0~1.5	4.0~5.0	40~45	90~12
	芋头茎叶	约 80	1.0~1.5	0.4~0.5	0.8~1.0	1.0~1.5	4.0~5.0	40~50	10~15
	甘薯茎	约 70	4.5~5.0	0.3~0.5	0.7~0.9	1.0~1.5	2.0~3.0	40~45	10~15
	玉米茎	约 70	2.5~3.0	0.7~1.0	1.5~2.0	1.0~1.5	3.5~4.0	40~50	10~15
	玉米苞皮	约 50	0.2~0.3	0.2~0.5	1.5~2.0	0.5~1.0	1.5~2.0	40~45	20~25
柑橘皮	约 80	4.0~4.5	0.2~0.3	0.5~1.0	0.2~0.5	1.0~1.5	45~50	30~40	
野草类	黑麦草	约 80	1.0~1.2	0.5~0.7	4.0~5.0	0.5~1.0	2.0~3.0	45~50	20~30
	三叶草	约 90	2.0~2.5	0.7~1.0	4.0~5.0	0.5~1.0	3.0~4.0	45~50	10~15
	荷花	约 90	2.0~2.5	0.7~1.0	2.0~3.0	0.5~1.0	3.0~4.0	45~50	10~15
	飞蓬	约 85	1.0~1.5	0.3~0.5	1.0~1.5	0.3~0.5	1.0~1.5	40~50	20~30
	藜	约 85	1.0~1.5	0.5~0.7	2.5~3.0	0.5~1.0	1.0~1.5	40~50	20~60
	野稗	约 85	1.0~1.5	0.5~0.7	1.5~2.0	0.3~0.5	1.5~2.0	40~50	15~25
	鸭跖草	约 90	1.5~2.0	0.5~0.7	2.5~3.0	0.5~1.0	2.0~2.5	45~50	15~25
	蓼	约 85	2.0~2.5	0.5~1.0	2.0~2.5	0.5~1.0	2.5~3.0	45~50	15~20
	白三叶	约 90	1.0~1.5	0.3~0.5	2.0~2.5	0.5~1.0	2.5~3.0	45~50	15~20
艾蒿	约 85	0.5~1.0	0.3~0.5	1.5~2.0	0.5~1.0	1.5~2.0	40~50	15~25	
结缕草	约 60			2.5~3.0	0.5~1.0	1.0~1.5	40~50	30~50	
树木类	柳树类	约 70	1.0~1.5	0.2~0.5	1.0~1.5	0.5~1.0	1.0~1.5	45~50	30~40
	杉树叶	约 60	0.3~0.5	0.2~0.5	0.1~0.2	0.1~0.2	1.0~1.5	45~50	40~50
	松树叶	约 60	1.0~1.5	0.2~0.5	0.3~0.5	0.1~0.2	0.5~1.0	45~50	50~60
	银杏叶	约 50					2.0~2.5	45~50	20~25
	柿树叶	约 60	2.5~3.0	0.5~1.0	4.0~5.0	4.0~5.0	3.0~4.0	45~50	15~50
	树皮	约 30	2.0~2.5	0.1~2.0	3.0~4.0	0.1~0.2	0.0~0.1	45~50	500~
	锯末	约 10	0.3~0.5	0.1~0.2	0.1~0.2	0.0~0.1	0.0~0.1	45~50	500~
植物性食品残渣	荞麦壳	约 15			1.0~1.5	1.0~1.5	2.0~2.5	40~50	20~30
	米糠	约 15			1.5~2.0	4.0~5.0	2.0~3.0	45~45	25~25
	小松菜籽粕	约 10			1.5~2.0	2.0~3.0	5.5~6.5	45~50	7~10
	豆粕	约 10			2.0~2.5	1.5~2.0	7.0~8.0	45~50	6~8
	酒糟	约 65			0.1	0.5~1.0	7.0~8.0	45~50	6~8
	啤酒糟	约 75			0.1	1.5~2.0	4.0~5.0	45~50	8~10
	酱渣	约 40			0.5~1.0	0.5~1.0	5.0~6.0	45~50	6~8
	海带	约 75			2.0~2.5	0.5	1.5~2.0	40~45	20~30
	咖啡渣	约 75			0.1	0.1	2.5~3.0	45~50	15~20
	可可渣	约 10			2.5~3.0	1.0~1.5	2.5~3.0	45~50	15~20
豆腐渣	约 75	0.5~0.7	0.2~0.4	1.0~1.5	1.0~1.2	4.0~5.0	50	10~12	
动物性食品残渣	鱼粉	约 10				8.0~10.0	8.0~9.0	45~50	6~8
	肉粉	约 10				2.0~2.5	8.0~9.0	45~50	6~8
	骨粉	约 5				10.0~12	6.5~7.0	35~40	6~8
	沙丁鱼	约 70				4.0~5.0	8.0~9.0	45~50	6~8
	螃蟹壳	约 5			0.5	3.5~4.0	6.0~7.0	35~40	6~8
	田螺	约 60			1.0	1.0	3.5~4.0	35~40	8~10
	蝗虫	约 60			1.0~1.5	1.5~2.0	8.0~9.0	45~50	6~8
	家畜内脏	约 20			0.5~1.0	0.5~1.0	8.0~9.0	45~50	6~8
	革粉	约 15			0.2	0.1	5.0~5.5	45~50	8~10

表 20 日本堆肥原料成分含量Ⅱ (烘干基)

材料	水分 /%	容重 /(t/m ³)	吸水率 /%	TC /%	TN /%	C/N	纤维素 /%	半纤维 素/%	木质素 /%
锯末	25~45	0.2~0.25	280~450	44~60	0.03~0.53	230~1670	50~60	10~25	20~38
杉	17.1~26	—	310	45.2~50.9	0.08~0.16	283~636	49~56.6	13.5~21.1	28~37
松	15.2~29	—	280	44.8	0.13	345	48.6~58.3	13.7~23.8	24.9~31
刺柏	24.5~31	—	350	13.9~51.6	0.04~0.19	231~1296	—	12.3~20.7	25.7~35
柳桉	3.7~27	—	280	46.0~48	0.11~0.13	354~436	—	—	28.9
挪威云杉	15.2	—	—	50~60.1	0.03~0.53	1150~1670	21.9	—	25.6
铁杉树皮	45	—	—	52.4	0.24	218	24.7	117	38.1
木屑	19.3	0.1	152	45	0.1	450	—	—	—
稻秸	9.7~15	0.05	300~430	35.6	0.1	58	—	20.6	7.7
小麦秸	9.2~11.9	0.03	226~498	37.3	0.30	124	32~42	—	—
大麦秸	12~15	0.02	285~443	—	—	—	—	—	—
稻壳	9.5~15.0	0.1~0.13	75~80	33.5~39.8	0.56	60~72	32~42	29~37	1.3~38
粉碎稻壳	8.3~9.1	0.2	136~250	—	—	—	—	—	—

资料来源：社团法人日本有机资源协会·堆肥化设施设计指南。

附录 2 堆肥场记录表

表 1 堆肥场温度检测记录

日期: _____

时间: _____

数据采集人: _____

天气情况(例:晴朗,雨天等等): _____

周围空气温度: _____℃ 风向: _____

场址观察情况和说明:

[illegible]

条垛堆体编号: _____

堆体建成日期: _____

堆肥原料成分及说明：

[illegible]

表3 进料情况记录表

原料	添加比例	含水率	碳氮比	pH值	粒径
主料					
辅料1					
辅料2					
辅料3					
合计					

表4 通风情况记录表

风机	曝气风压	开始时间	停止时间	空气湿度	空气温度
1号					
2号					
3号					
4号					
5号					
6号					

表5 翻堆情况记录表

堆体编号	翻堆频率	翻堆时间
1号堆		
2号堆		
3号堆		
4号堆		
5号堆		
6号堆		

表6 粉碎机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
粉碎效果				
刀片				
1#电机运转				
2#电机运转				
当日处理量				
进料皮带				
出料风机				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表 7 混料机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
混匀效果				
搅拌系统				
电机运转				
称重精确度				
当日处理量				
进料皮带				
出料皮带				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表 8 布料机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
布料精确度				
升降机				
电机运转				
移动系统				
当日处理量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表 9 翻堆机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
升降系统				
链板/拨齿				
防腐漆				
1# 电机运转				
2# 电机运转				
卷缆器运转				
横向移动				
纵向移动				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表10 造粒机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
润滑油				
轴承磨损				
压辊磨损				
电机运转				
模孔堵塞				
卡机				
当日造粒量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表11 烘干机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
润滑油				
轴承磨损				
轴承温度				
电机运转				
风机运转				
当日烘干量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表12 冷却机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
润滑油				
轴承磨损				
电机运转				
风机运转				
当日冷却量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表 13 筛分机运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
螺栓紧固				
三角带松紧带				
电机运转				
漆皮磨损				
筛面破损				
当日处理量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

表 14 打包秤运作记录表

项目	良好	注意	故障	备注
称重精确度				
传感器				
减速机				
当日处理量				
开关及线路				
其他易损部件				
运行时间	:	至	:	

附录3 堆肥常见问题及解决办法

出现问题	可能原因	其它原因	解决方法
堆体无法升温	原料太干	从原料中无法挤出水分	加水或者湿的成分
	原料太湿	原料看上去或者摸上去有很多水,堆体塌陷,水分含量超过 60%	加入干调理剂或者再搅拌
	没有足够的氮源,或者原料降解缓慢,或者原料很稳定	C/N 超过 50,含有大量木质材料	加入含氮高的成分,改变堆肥配方
	结构不合理	堆体堆制太快,大颗粒少	加入膨胀材料
	天气太冷或者堆体太小	堆体高度低于 100cm	加大堆体,加入易降解成分
	pH 值太低	测量的 pH 值低于 5.5,有垃圾一样的味道	加入石灰或者木灰并且搅拌
几天之后温度连续下降	氧气含量低,需要通气	温度逐渐下降而不是急剧下降	翻堆或者给堆体通气
	湿度低	从原料中无法挤出水分	加水
堆体中温度不均匀或者气味有变化	原料混合程度差	堆体中水分和物料差异显著	翻堆或者重新搅拌
	气流不均匀或者空气环绕不畅	堆体中水分和物料差异显著	缩短通气管道,重新搅拌
	原料的腐熟程度不同	沿堆体长度温度有变化	没有要求
温度逐渐降低,在翻堆之后或者通气之后堆温不再升高	堆肥过程接近完成	接近预期的堆肥周期,有合适的水分,C/N 小于 20	没有要求
	水分低	从原料中无法挤出水分	加水或者重新搅拌
堆温过高(温度超过 65℃)	热量去除所需通气不足	堆体是湿的	翻堆或者增加通气速率
	水分中到低,蒸发冷却受限	堆体摸上去潮湿但是其实不过湿或过干	加水,不断翻堆和通气以控制温度
	堆体过大	高度超过 2.4m	减小堆体尺寸
堆肥或后熟/储藏阶段堆体的温度非常高(超过 77℃)	高温分解或者自发燃烧	水分含量低;堆体内部看上去或者闻起来像烧焦了	减小堆体的体积,保持合适的水分含量;向烧焦或熏烤的部位加水,把堆体打碎,和别的堆连成一体
在后熟或储藏中的堆温高或有臭气	堆体不稳定	一次堆肥阶段短,温度和气味在混合之后有变化	为了使温度和气味得到控制对堆体进行管理,必要的时候翻堆,减小堆体的体积
	堆体太大	堆高高于 2.4m;宽超过 6m	减小堆体的体积
堆体中有氨的气味逸出	氮的含量过高	C/N 小于 20	加入含碳高的调理剂
	pH 值过高	pH 值大于 8	加入酸性成分降低 pH 值和/或避免采用碱性成分
	碳源释放缓慢	加入大的木质颗粒 C/N 小于 30	使用别的碳调理剂或者增加碳的比例

续表

出现问题	可能原因	其它原因	解决方法
从堆体中不断有臭鸡蛋或者腐败的气味散发出来	厌氧环境（温度低）		
	原料太湿		加入干的调理剂成分
	结构不合理		加入膨胀剂
	堆体太紧		重新混合堆体，如果需要的话加入膨胀剂
	通气不足		翻堆或者增加通气量
	厌氧环境（高温）		
	堆体太大		减小体积
	通气不均匀或者气流环绕不畅		重新混合堆体，改变配方
只在翻堆之后产生臭气	原材料有臭味	高温	经常翻堆；增加孔隙；加入吸附臭气的调理剂
	通气不足；内部厌氧	温度降低	缩短两次翻堆之间的时间间隔；增加孔隙
附近地点有臭气（堆体本身无臭味）	原材料	臭味是原材料本身产生的	迅速地用最小的空间处理原料
	排水差造成淤泥富含营养	水里有泥浆	疏通排水沟；保持衬垫
	池塘或者湖泊过度负荷了营养物或者沉积物	大量藻类和水草生长；在池塘表面有气泡	安装泥井；加大池塘表面积；用流水或者池塘的水浇灌农田
有蝇或蚊子的问题	在堆肥堆体中有蚊蝇繁殖	新鲜粪便或者食物原材料覆盖在堆体表面；卵在堆体周围孵化	每 4~7 天翻堆；在静态堆体的表面上覆盖 6 英寸的堆肥层
	在原材料中有蚊蝇繁殖	湿的原材料在一边堆放超过 4 天	快速处理原材料
	蚊子在不流动的污水中繁殖	水中有淤泥；池塘或者湖泊富营养化	给场所适当地分等级；保持衬垫；保持控制使池塘或者湖泊处于好氧状态
堆肥有一丛丛的材料和大块的部分；结构不一致	原料混合不均匀或者翻堆不足	在堆肥中有可以分辨出的最初的原材料	分拣堆肥；改进最初的混合
	气流不均匀或者环绕不足	堆肥中有湿团	分拣或者粉碎堆肥；改进空气分布
	原材料含有大块的和不可降解或者降解很慢的材料	大块的，经常是木质颗粒在堆肥中	分拣堆肥；粉碎和/或整理原材料
	一次堆肥过程没有结束	后熟堆发热或产生臭味	延长堆肥时间或者改进堆肥条件

资料来源：现场堆肥手册，美国东北区域农业工程服务推广组织，1992。

附录 4 中华人民共和国固体废物污染环境防治法

第一章 总 则

第一条 为了防治固体废物污染环境,保障人体健康,维护生态安全,促进经济社会可持续发展,制定本法。

第二条 本法适用于中华人民共和国境内固体废物污染环境的防治。

固体废物污染海洋环境的防治和放射性固体废物污染环境的防治不适用本法。

第三条 国家对固体废物污染环境的防治,实行减少固体废物的产生量和危害性、充分合理利用固体废物和无害化处置固体废物的原则,促进清洁生产和循环经济发展。

国家采取有利于固体废物综合利用活动的经济、技术政策和措施,对固体废物实行充分回收和合理利用。

国家鼓励、支持采取有利于保护环境的集中处置固体废物的措施,促进固体废物污染环境防治产业发展。

第四条 县级以上人民政府应当将固体废物污染环境防治工作纳入国民经济和社会发展规划,并采取有利于固体废物污染环境防治的经济、技术政策和措施。

国务院有关部门、县级以上地方人民政府及其有关部门组织编制城乡建设、土地利用、区域开发、产业发展等规划,应当统筹考虑减少固体废物的产生量和危害性、促进废物的综合利用和无害化处置。

第五条 国家对固体废物污染环境防治实行污染者依法负责的原则。产品的生产者、销售者、进口者、使用者对其产生的固体废物依法承担污染防治责任。

第六条 国家鼓励、支持固体废物污染环境防治的科学研究、技术开发、推广先进的防治技术和普及固体废物污染环境防治的科学知识。各级人民政府应当加强防治固体废物污染环境的宣传教育,倡导有利于环境保护的生产方式和生活方式。

第七条 国家鼓励单位和个人购买、使用再生产品和可重复利用产品。

第八条 各级人民政府对在固体废物污染环境防治工作以及相关的综合利用活动中作出显著成绩的单位和个人给予奖励。

第九条 任何单位和个人都有保护环境的义务,并有权对造成固体废物污染环境的单位和个人进行检举和控告。

第十条 国务院环境保护行政主管部门对全国固体废物污染环境的防治工作实施统一监督管理。国务院有关部门在各自的职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理工作。

县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门对本行政区域内固体废物污染环境的防治工作实施统一监督管理。县级以上地方人民政府有关部门在各自的职责范围内负责固体废物污染环境防治的监督管理工作。国务院建设行政主管部门和县级以上地方人民政府环境卫生行政主管部门负责生活垃圾清扫、收集、贮存、运输和处置的监督管理工作。

第二章 固体废物污染环境防治的监督管理

第十一条 国务院环境保护行政主管部门会同国务院有关行政主管部门根据国家环境质量标准和国家经济、技术条件,制定国家固体废物污染环境防治技术标准。

第十二条 国务院环境保护行政主管部门建立固体废物污染环境监测制度,制定统一的监测规范,并会同有关部门组织监测网络。大、中城市人民政府环境保护行政主管部门应当定期发布固体废物的种类、产生量、处置状况等信息。

第十三条 建设产生固体废物的项目以及建设贮存、利用、处置固体废物的项目,必须依法进行环境影响评价,并遵守国家有关建设项目环境保护管理的规定。

第十四条 建设项目的环境影响评价文件确定需要配套建设的固体废物污染环境防治设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。固体废物污染环境防治设施必须经原审批环境影响评价文件的环境保护行政主管部门验收合格后,该建设项目方可投入生产或者使用。对固体废物污染环境防治设施的验收应当与对主体工程的验收同时进行。

第十五条 县级以上人民政府环境保护行政主管部门和其他固体废物污染环境防治工作的监督管理部门,有权依据各自的职责对管辖范围内与固体废物污染环境防治有关的单位进行现场检查。被检查的单位应当如实反映情况,提供必要的资料。检查机关应当为被检查的单位保守技术秘密和业务秘密。

检查机关进行现场检查时,可以采取现场监测、采集样品、查阅或者复制与固体废物污染环境防治相关的资料等措施。检查人员进行现场检查,应当出示证件。

第三章 固体废物污染环境的防治

第一节 一般规定

第十六条 产生固体废物的单位和个人,应当采取措施,防止或者减少固体废物对环境的污染。

第十七条 收集、贮存、运输、利用、处置固体废物的单位和个人,必须采取防扬散、防流失、防渗漏或者其他防止污染环境的措施;不得擅自倾倒、堆放、丢弃、遗撒固体废物。

禁止任何单位或者个人向江河、湖泊、运河、渠道、水库及其最高水位线以下的滩地和岸坡等法律、法规规定禁止

倾倒、堆放废弃物的地点倾倒、堆放固体废物。

第十八条 产品和包装物的设计、制造，应当遵守国家有关清洁生产的规定。国务院标准化行政主管部门应当根据国家经济和技术条件、固体废物污染环境防治状况以及产品的技术要求，组织制定有关标准，防止过度包装造成环境污染。生产、销售、进口依法被列入强制回收目录的产品和包装物的企业，必须按照国家有关规定对该产品和包装物进行回收。

第十九条 国家鼓励科研、生产单位研究、生产易回收利用、易处置或者在环境中可降解的薄膜覆盖物和商品包装物。使用农用薄膜的单位和个人，应当采取回收利用等措施，防止或者减少农用薄膜对环境的污染。

第二十条 从事畜禽规模养殖应当按照国家有关规定收集、贮存、利用或者处置养殖过程中产生的畜禽粪便，防止污染环境。禁止在人口集中地区、机场周围、交通干线附近以及当地人民政府划定的区域露天焚烧秸秆。

第二十一条 对收集、贮存、运输、处置固体废物的设施、设备和场所，应当加强管理和维护，保证其正常运行和使用。

第二十二条 在国务院和国务院有关主管部门及省、自治区、直辖市人民政府划定的自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、基本农田保护区和其他需要特别保护的区域内，禁止建设工业固体废物集中贮存、处置的设施、场所和生活垃圾填埋场。

第二十三条 转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域贮存、处置的，应当向固体废物移出地的省、自治区、直辖市人民政府环境保护行政主管部门提出申请。移出地的省、自治区、直辖市人民政府环境保护行政主管部门应当商经接受地的省、自治区、直辖市人民政府环境保护行政主管部门同意后，方可批准转移该固体废物出省、自治区、直辖市行政区域。未经批准的，不得转移。

第二十四条 禁止中华人民共和国境外的固体废物进境倾倒、堆放、处置。

第二十五条 禁止进口不能用作原料或者不能以无害化方式利用的固体废物；对可以用作原料的固体废物实行限制进口和自动许可进口分类管理。

国务院环境保护行政主管部门会同国务院对外贸易主管部门、国务院经济综合宏观调控部门、海关总署、国务院质量监督检验检疫部门制定、调整并公布禁止进口、限制进口和自动许可进口的固体废物目录。禁止进口列入禁止进口目录的固体废物。进口列入限制进口目录的固体废物，应当经国务院环境保护行政主管部门会同国务院对外贸易主管部门审查许可。进口列入自动许可进口目录的固体废物，应当依法办理自动许可手续。进口的固体废物必须符合国家环境保护标准，并经质量监督检验检疫部门检验合格。

进口固体废物的具体管理办法，由国务院环境保护行政主管部门会同国务院对外贸易主管部门、国务院经济综合宏观调控部门、海关总署、国务院质量监督检验检疫部门制定。

第二十六条 进口者对海关将其所进口的货物纳入固体废物管理范围不服的，可以依法申请行政复议，也可以向人民法院提起行政诉讼。

第二节 工业固体废物污染环境的防治

第二十七条 国务院环境保护行政主管部门应当会同国务院经济综合宏观调控部门和其他有关部门对工业固体废物对环境的污染做出界定，制定防治工业固体废物污染环境的技术政策，组织推广先进的防治工业固体废物污染环境的生产工艺和设备。

第二十八条 国务院经济综合宏观调控部门应当会同国务院有关部门组织研究、开发和推广减少工业固体废物产生量和危害性的生产工艺和设备，公布限期淘汰产生严重污染环境的工业固体废物的落后生产工艺、落后设备的名录。

生产者、销售者、进口者、使用者必须在国务院经济综合宏观调控部门会同国务院有关部门规定的期限内分别停止生产、销售、进口或者使用列入前款规定的名录中的设备。生产工艺的采用者必须在国务院经济综合宏观调控部门会同国务院有关部门规定的期限内停止采用列入前款规定的名录中的工艺。

列入限期淘汰名录被淘汰的设备，不得转让给他人使用。

第二十九条 县级以上人民政府有关部门应当制定工业固体废物污染环境防治工作规划，推广能够减少工业固体废物产生量和危害性的先进生产工艺和设备，推动工业固体废物污染环境防治工作。

第三十条 产生工业固体废物的单位应当建立、健全污染环境防治责任制度，采取防治工业固体废物污染环境的措施。

第三十一条 企业事业单位应当合理选择和利用原材料、能源和其他资源，采用先进的生产工艺和设备，减少工业固体废物产生量，降低工业固体废物的危害性。

第三十二条 国家实行工业固体废物申报登记制度。产生工业固体废物的单位必须按照国务院环境保护行政主管部门的规定，向所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门提供工业固体废物的种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。

前款规定的申报事项有重大改变的，应当及时申报。

第三十三条 企业事业单位应当根据经济、技术条件对其产生的工业固体废物加以利用；对暂时不利用或者不能利用的，必须按照国务院环境保护行政主管部门的规定建设贮存设施、场所，安全分类存放，或者采取无害化处置措施。

建设工业固体废物贮存、处置的设施、场所，必须符合国家环境保护标准。

第三十四条 禁止擅自关闭、闲置或者拆除工业固体废物污染环境防治设施、场所；确有必要关闭、闲置或者拆除的，必须经所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门核准，并采取措施，防止污染环境。

第三十五条 产生工业固体废物的单位需要终止的，应当事先对工业固体废物的贮存、处置的设施、场所采取污染防治措施，并对未处置的工业固体废物作出妥善处置，防止污染环境。

产生工业固体废物的单位发生变更的，变更后的单位应当按照国家有关环境保护的规定对未处置的工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所进行安全处置或者采取措施保证该设施、场所安全运行。变更前当事人对工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所的污染防治责任另有约定的，从其约定；但是，不得免除当事人的污染防治义务。对本法施行前已经终止的单位未处置的工业固体废物及其贮存、处置的设施、场所进行安全处置的费用，由有关人民政府承担；但是，该单位享有的土地使用权依法转让的，应当由土地使用权受让人承担处置费用。当事人另有约定的，从其约定；但是，不得免除当事人的污染防治义务。

第三十六条 矿山企业应当采取科学的开采方法和选矿工艺，减少尾矿、矸石、废石等矿业固体废物的产生量和贮存量。

尾矿、矸石、废石等矿业固体废物贮存设施停止使用后，矿山企业应当按照国家有关环境保护规定进行封场，防止造成环境污染和生态破坏。

第三十七条 拆解、利用、处置废弃电器产品和废弃机动车船，应当遵守有关法律、法规的规定，采取措施，防止污染环境。

第三节 生活垃圾污染环境的防治

第三十八条 县级以上人民政府应当统筹安排建设城乡生活垃圾收集、运输、处置设施，提高生活垃圾的利用率和无害化处置率，促进生活垃圾收集、处置的产业化发展，逐步建立和完善生活垃圾污染环境防治的社会服务体系。

第三十九条 县级以上地方人民政府环境卫生行政主管部门应当组织对城市生活垃圾进行清扫、收集、运输和处置，可以通过招标等方式选择具备条件的单位从事生活垃圾的清扫、收集、运输和处置。

第四十条 对城市生活垃圾应当按照环境卫生行政主管部门的规定，在指定的地点放置，不得随意倾倒、抛撒或者堆放。

第四十一条 清扫、收集、运输、处置城市生活垃圾，应当遵守国家有关环境保护和环境卫生管理的规定，防止污染环境。

第四十二条 对城市生活垃圾应当及时清运，逐步做到分类收集和运输，并积极开展合理利用和实施无害化处置。

第四十三条 城市人民政府应当有计划地改进燃料结构，发展城市煤气、天然气、液化气和其他清洁能源。城市人民政府有关部门应当组织净菜进城，减少城市生活垃圾。

城市人民政府有关部门应当统筹规划，合理安排收购网点，促进生活垃圾的回收利用工作。

第四十四条 建设生活垃圾处置的设施、场所，必须符合国务院环境保护行政主管部门和国务院建设行政主管部门规定的环境保护和环境卫生标准。禁止擅自关闭、闲置或者拆除生活垃圾处置的设施、场所；确有必要关闭、闲置或者拆除的，必须经所在地县级以上地方人民政府环境卫生行政主管部门和环境保护行政主管部门核准，并采取措施，防止污染环境。

第四十五条 从生活垃圾中回收的物质必须按照国家规定的用途或者标准使用，不得用于生产可能危害人体健康的產品。

第四十六条 工程施工单位应当及时清运工程施工过程中产生的固体废物，并按照环境卫生行政主管部门的规定进行利用或者处置。

第四十七条 从事公共交通运输的经营单位，应当按照国家有关规定，清扫、收集运输过程中产生的生活垃圾。

第四十八条 从事城市新区开发、旧区改建和住宅小区开发建设的单位，以及机场、码头、车站、公园、商店等公共设施、场所的经营管理单位，应当按照国家有关环境卫生的规定，配套建设生活垃圾收集设施。

第四十九条 农村生活垃圾污染环境防治的具体办法，由地方性法规规定。

第四章 危险废物污染环境防治的特别规定

第五十条 危险废物污染环境防治，适用本章规定；本章未作规定的，适用本法其他有关规定。

第五十一条 国务院环境保护行政主管部门应当会同国务院有关部门制定国家危险废物名录，规定统一的危险废物鉴别标准、鉴别方法和识别标志。

第五十二条 对危险废物的容器和包装物以及收集、贮存、运输、处置危险废物的设施、场所，必须设置危险废物识别标志。

第五十三条 产生危险废物的单位，必须按照国家有关规定制定危险废物管理计划，并向所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门申报危险废物的种类、产生量、流向、贮存、处置等有关资料。前款所称危险废物管理计划应当包括减少危险废物产生量和危害性的措施以及危险废物贮存、利用、处置措施。危险废物管理计划应当报产生危险

废物的单位所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门备案。本条规定的申报事项或者危险废物管理计划内容发生重大改变的,应当及时申报。

第五十四条 国务院环境保护行政主管部门会同国务院经济综合宏观调控部门组织编制危险废物集中处置设施、场所的建设规划,报国务院批准后实施。县级以上地方人民政府应当依据危险废物集中处置设施、场所的建设规划组织建设危险废物集中处置设施、场所。

第五十五条 产生危险废物的单位,必须按照国家有关规定处置危险废物,不得擅自倾倒、堆放;不处置的,由所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门责令限期改正;逾期不处置或者处置不符合国家有关规定的,由所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门指定单位按照国家有关规定代为处置,处置费用由产生危险废物的单位承担。

第五十六条 以填埋方式处置危险废物不符合国务院环境保护行政主管部门规定的,应当缴纳危险废物排污费。危险废物排污费征收的具体办法由国务院规定。危险废物排污费用于污染防治,不得挪作他用。

第五十七条 从事收集、贮存、处置危险废物经营活动的单位,必须向县级以上人民政府环境保护行政主管部门申请领取经营许可证;从事利用危险废物经营活动的单位,必须向国务院环境保护行政主管部门或者省、自治区、直辖市人民政府环境保护行政主管部门申请领取经营许可证。具体管理办法由国务院规定。

禁止无经营许可证或者不按照经营许可证规定从事危险废物收集、贮存、利用、处置的经营活动。禁止将危险废物提供或者委托给无经营许可证的单位从事收集、贮存、利用、处置的经营活动。

第五十八条 收集、贮存危险废物,必须按照危险废物特性分类进行。禁止混合收集、贮存、运输、处置性质不相容而未经安全性处置的危险废物。

贮存危险废物必须采取符合国家环境保护标准的防护措施,并不得超过一年;确需延长期限的,必须报经原批准经营许可证的环境保护行政主管部门批准;法律、行政法规另有规定的除外。

禁止将危险废物混入非危险废物中贮存。

第五十九条 转移危险废物的,必须按照国家有关规定填写危险废物转移联单,并向危险废物移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门提出申请。移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门应当商经接受地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门同意后,方可批准转移该危险废物。未经批准的,不得转移。

转移危险废物途经移出地、接受地以外行政区域的,危险废物移出地设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门应当及时通知沿途经过的设区的市级以上地方人民政府环境保护行政主管部门。

第六十条 运输危险废物,必须采取防止污染环境的措施,并遵守国家有关危险货物运输管理的规定。禁止将危险废物与旅客在同一运输工具上载运。

第六十一条 收集、贮存、运输、处置危险废物的场所、设施、设备和容器、包装物及其他物品转作他用时,必须经过消除污染的处理,方可使用。

第六十二条 产生、收集、贮存、运输、利用、处置危险废物的单位,应当制定意外事故的防范措施和应急预案,并向所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门备案;环境保护行政主管部门应当进行检查。

第六十三条 因发生事故或者其他突发性事件,造成危险废物严重污染环境的单位,必须立即采取措施消除或者减轻对环境的污染危害,及时通报可能受到污染危害的单位和居民,并向所在地县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门和有关部门报告,接受调查处理。

第六十四条 在发生或者有证据证明可能发生危险废物严重污染环境、威胁居民生命财产安全时,县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门或者其他固体废物污染环境防治工作的监督管理部门必须立即向本级人民政府和上一级人民政府有关行政主管部门报告,由人民政府采取防止或者减轻危害的有效措施。有关人民政府可以根据需要责令停止导致或者可能导致环境污染事故的作业。

第六十五条 重点危险废物集中处置设施、场所的退役费用应当预提,列入投资概算或者经营成本。具体提取和管理办法,由国务院财政部门、价格主管部门会同国务院环境保护行政主管部门规定。

第六十六条 禁止经中华人民共和国过境转移危险废物。

第五章 法律责任

第六十七条 县级以上人民政府环境保护行政主管部门或者其他固体废物污染环境防治工作的监督管理部门违反本法规定,有下列行为之一的,由本级人民政府或者上级人民政府有关行政主管部门责令改正,对负有责任的主管人员和其他直接责任人员依法给予行政处分;构成犯罪的,依法追究刑事责任:

- (一) 不依法作出行政许可或者办理批准文件的;
- (二) 发现违法行为或者接到对违法行为的举报后不予查处的;
- (三) 有不依法履行监督管理职责的其他行为的。

第六十八条 违反本法规定,有下列行为之一的,由县级以上人民政府环境保护行政主管部门责令停止违法行为,限期改正,处以罚款:

(一) 不按照国家规定申报登记工业固体废物, 或者在申报登记时弄虚作假的;

(二) 对暂时不利用或者不能利用的工业固体废物未建设贮存的设施、场所安全分类存放, 或者未采取无害化处置措施的;

(三) 将列入限期淘汰名录被淘汰的设备转让给他人使用的;

(四) 擅自关闭、闲置或者拆除工业固体废物污染防治设施、场所的;

(五) 在自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、基本农田保护区和其他需要特别保护的区域内, 建设工业固体废物集中贮存、处置的设施、场所和生活垃圾填埋场的;

(六) 擅自转移固体废物出省、自治区、直辖市行政区域贮存、处置的;

(七) 未采取相应防范措施, 造成工业固体废物扬散、流失、渗漏或者造成其他环境污染的;

(八) 在运输过程中沿途丢弃、遗撒工业固体废物的。有前款第一项、第八项行为之一的, 处五千元以上五万元以下的罚款; 有前款第二项、第三项、第四项、第五项、第六项、第七项行为之一的, 处一万元以上十万元以下的罚款。

第六十九条 违反本法规定, 建设项目需要配套建设的固体废物污染防治设施未建成、未经验收或者验收不合格, 主体工程即投入生产或者使用的, 由审批该建设项目环境影响评价文件的环境保护行政主管部门责令停止生产或者使用, 可以并处十万元以下的罚款。

第七十条 违反本法规定, 拒绝县级以上人民政府环境保护行政主管部门或者其他固体废物污染防治工作的监督管理部门现场检查的, 由执行现场检查的部门责令限期改正; 拒不改正或者在检查时弄虚作假的, 处二千元以上二万元以下的罚款。

第七十一条 从事畜禽规模养殖未按照国家有关规定收集、贮存、处置畜禽粪便, 造成环境污染的, 由县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门责令限期改正, 可以处五万元以下的罚款。

第七十二条 违反本法规定, 生产、销售、进口或者使用淘汰的设备, 或者采用淘汰的生产工艺的, 由县级以上人民政府经济综合宏观调控部门责令改正; 情节严重的, 由县级以上人民政府经济综合宏观调控部门提出意见, 报请同级人民政府按照国务院规定的权限决定停业或者关闭。

第七十三条 尾矿、矸石、废石等矿业固体废物贮存设施停止使用后, 未按照国家有关环境保护规定进行封场的, 由县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门责令限期改正, 可以处五万元以上二十万元以下的罚款。

第七十四条 违反本法有关城市生活垃圾污染防治的规定, 有下列行为之一的, 由县级以上地方人民政府环境卫生行政主管部门责令停止违法行为, 限期改正, 处以罚款:

(一) 随意倾倒、抛撒或者堆放生活垃圾的;

(二) 擅自关闭、闲置或者拆除生活垃圾处置设施、场所的;

(三) 工程施工单位不及时清运施工过程中产生的固体废物, 造成环境污染的;

(四) 工程施工单位不按照环境卫生行政主管部门的规定对施工过程中产生的固体废物进行利用或者处置的;

(五) 在运输过程中沿途丢弃、遗撒生活垃圾的。单位有前款第一项、第三项、第五项行为之一的, 处五千元以上五万元以下的罚款; 有前款第二项、第四项行为之一的, 处一万元以上十万元以下的罚款。个人有前款第一项、第五项行为之一的, 处二百元以下的罚款。

第七十五条 违反本法有关危险废物污染防治的规定, 有下列行为之一的, 由县级以上人民政府环境保护行政主管部门责令停止违法行为, 限期改正, 处以罚款:

(一) 不设置危险废物识别标志的;

(二) 不按照国家规定申报登记危险废物, 或者在申报登记时弄虚作假的;

(三) 擅自关闭、闲置或者拆除危险废物集中处置设施、场所的;

(四) 不按照国家规定缴纳危险废物排污费的;

(五) 将危险废物提供或者委托给无经营许可证的单位从事经营活动的;

(六) 不按照国家规定填写危险废物转移联单或者未经批准擅自转移危险废物的;

(七) 将危险废物混入非危险废物中贮存的;

(八) 未经安全性处置, 混合收集、贮存、运输、处置具有不相容性质的危险废物的;

(九) 将危险废物与旅客在同一运输工具上载运的;

(十) 未经消除污染的处理将收集、贮存、运输、处置危险废物的场所、设施、设备和容器、包装物及其他物品转作他用的;

(十一) 未采取相应防范措施, 造成危险废物扬散、流失、渗漏或者造成其他环境污染的;

(十二) 在运输过程中沿途丢弃、遗撒危险废物的;

(十三) 未制定危险废物意外事故防范措施和应急预案的。

有前款第一项、第二项、第七项、第八项、第九项、第十项、第十一项、第十二项、第十三项行为之一的, 处一万元以上十万元以下的罚款; 有前款第三项、第五项、第六项行为之一的, 处二万元以上二十万元以下的罚款; 有前款第四项行为的, 限期缴纳, 逾期不缴纳的, 处应缴纳危险废物排污费金额一倍以上三倍以下的罚款。

第七十六条 违反本法规定,危险废物产生者不处置其产生的危险废物又不承担依法应当承担的处置费用的,由县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门责令限期改正,处代为处置费用一倍以上三倍以下的罚款。

第七十七条 无经营许可证或者不按照经营许可证规定从事收集、贮存、利用、处置危险废物经营活动的,由县级以上人民政府环境保护行政主管部门责令停止违法行为,没收违法所得,可以并处违法所得三倍以下的罚款。不按照经营许可证规定从事前款活动的,还可以由发证机关吊销经营许可证。

第七十八条 违反本法规定,将中华人民共和国境外的固体废物进境倾倒、堆放、处置的,进口属于禁止进口的固体废物或者未经许可擅自进口属于限制进口的固体废物用作原料的,由海关责令退运该固体废物,可以并处十万元以上一百万元以下的罚款;构成犯罪的,依法追究刑事责任。进口者不明的,由承运人承担退运该固体废物的责任,或者承担该固体废物的处置费用。逃避海关监管将中华人民共和国境外的固体废物运输进境,构成犯罪的,依法追究刑事责任。

第七十九条 违反本法规定,经中华人民共和国过境转移危险废物的,由海关责令退运该危险废物,可以并处五十万元以上五十万元以下的罚款。

第八十条 对已经非法入境的固体废物,由省级以上人民政府环境保护行政主管部门依法向海关提出处理意见,海关应当依照本法第七十八条的规定做出处罚决定;已经造成环境污染的,由省级以上人民政府环境保护行政主管部门责令进口者消除污染。

第八十一条 违反本法规定,造成固体废物严重污染环境的,由县级以上人民政府环境保护行政主管部门按照国务院规定的权限决定限期治理;逾期未完成治理任务的,由本级人民政府决定停业或者关闭。

第八十二条 违反本法规定,造成固体废物污染环境事故的,由县级以上人民政府环境保护行政主管部门处二万元以上二十万元以下的罚款;造成重大损失的,按照直接损失的百分之三十计算罚款,但是最高不超过一百万元,对负有责任的主管人员和其他直接责任人员,依法给予行政处分;造成固体废物污染环境重大事故的,并由县级以上人民政府按照国务院规定的权限决定停业或者关闭。

第八十三条 违反本法规定,收集、贮存、利用、处置危险废物,造成重大环境污染事故,构成犯罪的,依法追究刑事责任。

第八十四条 受到固体废物污染损害的单位和个人,有权要求依法赔偿损失。

赔偿责任和赔偿金额的纠纷,可以根据当事人的请求,由环境保护行政主管部门或者其他固体废物污染环境防治工作的监督管理部门调解处理;调解不成的,当事人可以向人民法院提起诉讼。当事人也可以直接向人民法院提起诉讼。

国家鼓励法律服务机构对固体废物污染环境诉讼中的受害人提供法律援助。

第八十五条 造成固体废物污染环境的,应当排除危害,依法赔偿损失,并采取措施恢复环境原状。

第八十六条 因固体废物污染环境引起的损害赔偿诉讼,由加害人就法律规定的免责事由及其行为与损害结果之间不存在因果关系承担举证责任。

第八十七条 固体废物污染环境的损害赔偿责任和赔偿金额的纠纷,当事人可以委托环境监测机构提供监测数据。环境监测机构应当接受委托,如实提供有关监测数据。

第六章 附 则

第八十八条 本法下列用语的含义:

(一) 固体废物,是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。

(二) 工业固体废物,是指在工业生产活动中产生的固体废物。

(三) 生活垃圾,是指在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物以及法律、行政法规规定视为生活垃圾的固体废物。

(四) 危险废物,是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的固体废物。

(五) 贮存,是指将固体废物临时置于特定设施或者场所中的活动。

(六) 处置,是指将固体废物焚烧和用其他改变固体废物的物理、化学、生物特性的方法,达到减少已产生的固体废物数量、缩小固体废物体积、减少或者消除其危险成分的活动,或者将固体废物最终置于符合环境保护规定要求的填埋场的活动。

(七) 利用,是指从固体废物中提取物质作为原材料或者燃料的活动。

第八十九条 液态废物的污染防治,适用本法;但是,排入水体的废水的污染防治适用有关法律,不适用本法。

第九十条 中华人民共和国缔结或者参加的国际条约与固体废物污染防治有关的国际条约与本法有不同规定的,适用国际条约的规定;但是,中华人民共和国声明保留的条款除外。

第九十一条 本法自2005年4月1日起施行。

附录 5 畜禽养殖业污染物排放标准（GB 18596—2001）

前 言

为贯彻《环境保护法》、《水污染防治法》、《大气污染防治法》控制畜禽养殖业生产的废水、废渣可恶臭对环境的污染，促进养殖业生产工艺和技术进步，维护生态平衡，制定本标准。

本标准适用于集约化、规模化的畜禽养殖场和养殖区，不适用于畜禽散养户。根据养殖规模、分阶段逐步控制，鼓励种养结合和生态养殖，逐步实现全国养殖业的合理布局。

根据畜禽养殖业污染物排放的特点，本标准规定的污染物控制项目包括生化指标、卫生学指标和感官指标等。为推动畜禽养殖业污染物的减量化、无害化和资源化，本标准规定了废水、恶臭排放标准和废渣无害化环境标准。

本标准为首次制定

本标准由国家环境保护总局科技标准司提出。

本标准由农业部环境保护科研监测所、天津市畜牧局、上海市畜牧办公室、上海市农业科学院环境科学研究所负责起草。

本标准由国家环境保护总局欲 2001 年 11 月 26 日批准。

本标准由国家环境总局负责解释。

1 主题内容和适用范围

1.1 主题内容

本标准按集约化畜禽养殖业的不同规模分别规定了水污染物、恶臭气体的最高允许日均排放浓度、最高允许排水量，畜禽养殖业废渣无害化环境标准。

1.2 适用范围

本标准用于全国集约化畜禽养殖场和养殖区污染物的排放管理，以及这些建设项目环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及其投产后的排放管理。

1.2.1 本标准适用的畜禽养殖场和养殖区规模分级，按表 1 和表 2 执行。

表 1 集约化畜禽养殖场的适用规模（以存栏数计）

类别	猪/头	鸡/只		牛/头	
规模	25kg 以上	蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	奶牛
I 级	≥3000	≥100000	≥200000	≥200	≥400
II 级	500≤Q<3000	15000≤Q<100000	30000≤Q<200000	100≤Q<200	200≤Q<400

表 2 集约化畜禽养殖场的适用规模（以存栏数计）

类别	猪/头	鸡/只		牛/头	
规模	25kg 以上	蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	奶牛
I 级	≥6000	≥200000	≥400000	≥400	≥800
II 级	3000≤Q<6000	100000≤Q<200000	200000≤Q<400000	200≤Q<400	400≤Q<800

表 3 集约化畜禽养殖业水冲工艺最高允许排水量

种类	猪/[m³/(百头·d)]		鸡/[m³/(千只·d)]		牛/[m³/(百头·d)]	
季节	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季
标准值	2.5	3.5	0.8	1.2	20	30

表 4 集约化畜禽养殖业干清粪工艺最高允许排水量

种类	猪/[m³/(百头·d)]		鸡/[m³/(千只·d)]		牛/[m³/(百头·d)]	
季节	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季
标准值	1.2	1.8	0.5	0.7	17	20

表5 集约化畜禽养殖业污染最高允许日均排放浓度

控制项目	五日生化需氧量 /(mg/L)	化学需氧量 /(mg/L)	悬浮量 /(mg/L)	氨氮 /(mg/L)	总磷(以P计) /(mg/L)	粪大肠菌群数 /(mg/L)	蛔虫卵(个/L) /(mg/L)
标准值	150	400	200	80	8.0	1000	2.0

表6 畜禽养殖业废渣无害化环境标准

控制项目	指 标
蛔虫卵	死亡率 $\geq 95\%$
粪大肠菌群数	$\leq 10^3$ 个/kg

表7 集约化畜禽养殖业恶臭污染物排放标准

控制项目	标准值
臭气浓度(无量纲)	70

1.2.2 对具有不同畜禽种类的养殖场和养殖区,其规模可将鸡、牛的养殖量换算成猪的换算成猪的养殖量,换算比例为:30只蛋鸡换成1头猪,60只肉鸡折算成1头猪,1头奶牛折算成10头猪,1头牛折算成5头猪。

1.2.3 所有Ⅰ级规模范围内的集约化畜禽养殖场和养殖区,以及Ⅱ级规模范围内且地处国家环境保护重点城市、重点流域和污染严重河网地区的集约化畜禽养殖场和养殖区,自本标准实施之日起开始执行。

1.2.4 其他地区Ⅱ级规模范围内的集约化养殖场和养殖区,实施标准的具体时间可由县级以上人民政府环境保护行政主管部门确定,但不得迟于2004年7月1日。

1.2.5 对集约化养羊场和养羊区,将羊的养殖量换算猪的养殖量,换算比例为:3只羊换算成1头猪,根据换算后的养殖量确定养羊场或养羊区的规模级别,并参照本标准的规定执行。

2 定义

2.1 集约化畜禽养殖场

指进行集约化经营的畜禽养殖场。集约化养殖是指在较小的场地内,投入较多的生产资料和劳动采用新的工艺技术措施,进行精心管理的饲养方式。

2.2 集约化畜禽养殖区

指距居民区一定距离,经过行政区划确定的多个畜禽养殖个体生产集中的区域。

2.3 废渣

指养殖场外排放的畜禽粪便、畜禽舍垫料、废饲料及散落的毛羽等固体废物。

2.4 恶臭污染物

指一切刺激嗅觉器官,引起人们不愉快及损害生活环境的气体物质。

2.5 臭气浓度

指恶臭气体(包括异味)用无臭空气进行稀释,稀释到刚好无臭时所需的稀释倍数。

2.6 做高允许排水量

指在畜禽养殖过程中直接用于生产的水的最高允许排放量。

3 技术内容

本标准按水污染物、废渣和恶臭气体的排放分为以下三部分。

3.1 畜禽养殖业水污染物排放标准

3.1.1 畜禽养殖业废水不得排入敏感水域和有特殊功能的水域。排放去向应符合国家和地方发有关规定。

3.1.2 标准适用规模范围内的畜禽养殖业的水污染物排放分别执行表3、表4和表5的规定。

3.2 畜禽养殖业废渣无害化环境标准

3.2.1 畜禽养殖业必须设置废渣的固定储存设施和场所,储存场所要有防止粪液渗漏、溢流措施。

3.2.2 用于直接还田的畜禽粪便,必须进行无害化处理。

3.2.3 禁止直接将废渣倾倒入地表水体或其他环境中。畜禽粪便还田时,不能超过当地的农田最大负荷量。避免造成面源污染和地下水污染。

3.2.4 经无害化处理后的废渣、应符合表6的规定。

3.3 畜禽养殖业恶臭污染物排放标准

3.3.1 集约化畜禽养殖业恶臭污染物的排放执行表7的规定。

3.4 畜禽养殖业应积极通过废水和粪便的还田或其他措施对所排放的污染物进行综合利用,实现污染物的资源化。

4 监测

污染物项目监测的采样和采样频率应符合国家环境监测技术规范的要求。污染物项目的监测方法按表8执行。

5 标准的实施

5.1 本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门实施统一监督管理。

5.2 省、自治区、直辖市人民政府可根据地方环境和经济发展的需要,确定严于本标准的集约化畜禽养殖业适用规模,或制定更为严格的地方畜禽养殖业污染物排放标准,并报国务院环境保护行政主管部门备案。

表8 畜禽养殖业污染物排放配套监测方法

序号	项目	监测方法	方法来源
1	生化需氧(BOD ₅)	稀释与接种法	GB 7488—87
2	化学需氧(COD _{Cr})	重铬酸钾法	GB 11914—89
3	悬浮物	重量法	GB 11901—89
4	氨氮(NH ₃ -N)	纳氏试剂比色法	GB 7479—87
		水杨酸分光光度法	GB 7481—87
5	总P(以P计)	钼蓝比色法	①
6	粪大肠菌群数	多管发酵法	GB 5750—85
7	蛔虫卵	吐温-80 柠檬酸缓冲剂 液离心沉淀集卵法	②
8	蛔虫卵死亡率	堆肥蛔虫卵检查法	GB 7959—87
9	寄生虫卵沉降率	三点式比较臭袋法	GB 7959—87
10	臭气浓度		GB 14675

① 水和废水监测分析方法,第三版,中国环境科学出版社,1989。

② 卫生防疫检验,上海科学技术出版社,1964。

注:分析方法中,未列出国标的,暂时采用下列方法,待国家标准颁布后执行国家标准。

附录 6 农用污泥中污染物控制标准（GB 4284—84）

（1984 年 5 月 18 日中华人民共和国城乡建设环境保护
部发布 1985 年 3 月 1 日实施）

本标准贯彻《中华人民共和国环境保护法（试行）》，防治农用污泥对土壤、农作物、地面水、地下水的污染，特制订本标准。

本标准适用于在农田中施用城市污水处理厂污泥、城市下水沉淀池的污泥、某些有机物实施得出下水污泥以及江、河、湖、库、塘、沟、渠的沉淀底泥。

1 标准值

1.1 农田施用污泥中污染物的最高容许含量应符合下表规定。

农用污泥中污染物控制标准值			mg/kg
项 目	最高容许含量		
	在酸性土壤上(pH<6.5)	在中性和碱性土壤上(pH≥6.5)	
镉及其化合物(以 Cd 计)	5	20	
汞及其化合物(以 Hg 计)	5	15	
铅及其化合物(以 Pb 计)	300	1000	
铬及其化合物(以 Cr 计)①	600	1000	
砷及其化合物(以 As 计)	75	75	
硼及其化合物(以水溶性 B 计)	150	150	
矿物油	3000	3000	
苯并[a]芘	3	3	
铜及其化合物(以 Cu 计)②	250	500	
锌及其化合物(以 Zn 计)②	500	1000	
镍及其化合物(以 Ni 计)②	100	200	

① 铬的控制标准使用于一般含六价铬极少的具有农用价值的各种污泥，不用于含有大量六价的工业废渣或某些化工厂的沉积物。

② 暂作参考标准。

2 其他规定

2.1 施用符合本标准污泥时，一般每年每亩用量不超过 2000kg（以干污泥计）。污泥中任何一项无机化合物含量接近于本标准时。

连续在同一块土壤上施用，不得超过 20 年。含无机化合物较少的石油化工污泥，连续施用可超过 20 年。在隔年施用，矿物油和苯并 [a] 芘的标准可适当放宽。

2.2 为了防止对地下水的污染，在沙质土壤和地下水位较高农田上不宜施用污泥；在饮水水源保护地带不得施用污泥。

2.3 生污泥须经高温堆腐或消化处理后才能施用于农田。污泥可在大田、园林和花卉地上施用，在蔬菜地带和当年放牧的草地上不宜施用。

2.4 在酸性土壤上施用污泥除了必须遵循在酸性土壤上污泥的控制标准外，还应该同时年年施用石灰以中和土壤酸性。

2.5 对于同时含有多种有害物质而含量都接近本标准值的污泥，施用时应酌情减少用量。

2.6 发现因施污泥而影响农作物的生长、发育或农产品超过卫生标准时，应该停止施用污泥和立即向有关部门报告，并采取积极措施加以解决。例如施石灰、过磷酸钙、有机肥等物质控制农作物对有害物质的吸收，进行深翻或用客土法进行土壤改良等。

3 标准的监测

3.1 农业和环境保护部门必须对污泥和施用污泥的土壤作物进行长期定点监测。

3.2 制订本标准依据的监测发现方法是《农用污泥监测分析方法》。

附加说明：

本标准由原国务院环境保护小组提出。

本标准由农牧渔业部环境保护科研监测所、北京农业大学负责起草。

本标准委托农牧渔业部环境保护科研监测所负责解释。

附录 7 城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质 (CJ 248—2007)

1 范围

本标准规定了城镇污水处理厂污泥园林绿化利用的泥质指标、取样和监测等技术要求。
本标准适用于城镇污水处理厂污泥的处置和污泥园林绿化利用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 4284 农用污泥中污染物控制标准
- GB 7959 粪便无害化卫生标准
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB 15618 土壤环境质量标准
- GB/T 17136 土壤质量 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法
- GB/T 17137 土壤质量 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17138 土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17139 土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17141 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
- GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
- CJ/T 221 城市污水处理厂污泥检验方法
- LY/T 1251 森林土壤水溶性盐分分析
- HJ/T 77 多氯代二苯并二恶英和多氯代二苯并呋喃的测定 同位素稀释高分辨率毛细管气相色谱/高分辨质谱法

3 术语和定义

本标准采用下列术语和定义。

3.1 城镇污水处理厂污泥 sludge from municipal wastewater treatment plant

城镇污水处理厂在污水净化处理过程中产生的含水率不同的废弃物。本标准所指的污泥不包括栅渣、浮渣和沉砂池砂砾。

3.2 污泥处置 sludge disposal

对处理后污泥的消纳过程，一般包括土地利用、填埋、建筑材料利用和焚烧等。

3.3 污泥园林绿化利用 sludge using in afforestation in gardens or forests

将处理后污泥用于城镇绿地系统或郊区林地的建造和养护过程，一般用作栽培介质土、土壤改良材料，也可作为制作有机肥的原料。

3.4 污泥园林绿化用泥质 the quality of sludge used in afforestation in gardens or forests

将处理后污泥用于城镇绿地系统或郊区林地的建造和养护过程时，污泥需达到的质量标准。

4 园林绿化用泥质

4.1 外观和嗅觉

比较疏松，无明显臭味。

4.2 稳定化要求

在污泥园林绿化利用时，污泥应满足 GB 18918 中的相关规定。

4.3 理化指标和营养指标

4.3.1 污泥园林绿化利用时，其理化指标应满足表 1 的要求。

表 1 理化指标

序号	控制项目	限 值
1	pH 值	6.5~8.5 在酸性土壤(pH<6.5)上
		5.5~7.8 在中碱性土壤(pH≥6.5)上
2	含水率/%	<40

4.3.2 污泥园林绿化利用时,其养分指标应满足表2的要求。

表2 养分指标

序号	控制项目	限值
1	总养分[总氮(以N计)+总磷(以 P_2O_5 计)+总钾(以 K_2O 计)]/%	≥ 3
2	有机质含量/%	≥ 25

4.4 污染物浓度限值和卫生学指标

4.4.1 污泥园林绿化利用时,其污染物浓度限值应满足表3的要求。

表3 污染物浓度限值

序号	控制项目	限值	
		在酸性土壤(pH<6.5)上	在中碱性土壤(pH \geq 6.5)上
1	总镉/(mg/kg干污泥)	<5	<20
2	总汞/(mg/kg干污泥)	<5	<15
3	总铅/(mg/kg干污泥)	<300	<1000
4	总铬/(mg/kg干污泥)	<600	<1000
5	总砷/(mg/kg干污泥)	<75	<75
6	总镍/(mg/kg干污泥)	<100	<200
7	总锌/(mg/kg干污泥)	<2000	<4000
8	总铜/(mg/kg干污泥)	<800	<1500
9	镉/(mg/kg干污泥)	<150	<150
10	矿物油/(mg/kg干污泥)	<3000	<3000
11	苯并[a]芘/(mg/kg干污泥)	<3	<3
12	多氯二苯并二噁英/多氯代二苯并呋喃 (PCDD/PCDF单位:ng;毒性单位mg/kg干污泥)	<100	<100
13	可吸附有机卤化物(AOX)(以Cl计)/(mg/kg干污泥)	<500	<500
14	多氯联苯(PCBs)/(mg/kg干污泥)	<0.2	<0.2

4.4.2 污泥园林绿化利用与人群接触场合时,其卫生学指标应满足表4的要求。同时,不得检测出传染性病原菌。

表4 卫生学指标

序号	控制项目	限值
1	粪大肠菌群菌值	>0.01
2	蠕虫卵死亡率	>95%

4.5 种子发芽指数要求

污泥园林绿化利用时,种子发芽指数应大于60%。

5 其他规定

5.1 污泥园林绿化利用时,宜根据污泥使用地点的面积、土壤污染物本底值和植物的需氮量,合理确定污泥使用量。

5.2 污泥园林绿化利用时,应控制污泥中的盐分,避免对园林植物造成损害。污泥施用到绿地后,要求土壤的EC值宜小于1.5mS/cm,对某些耐盐的园林植物可以适当放宽到2.5mS/cm。

5.3 污泥使用后,有关部门应进行跟踪监测。污泥使用地的地下水和土壤的相关指标需满足GB 14848和GB 15618的规定。

5.4 为了防止对地下水的污染,在地下水水位较高的地点不应使用污泥,在饮用水水源保护地带严禁使用污泥。

6 取样和监测

6.1 取样方法:应采用多点取样混合,样品应有代表性。

6.2 监测分析方法应按表5或国家认定的替代方法、等效方法执行。

表5 监测分析方法

序号	项目	测定方法	采用标准
1	pH 值	玻璃电极法	CJ/T 221
2	污泥含水率	重量法	CJ/T 221
3	总氮(以 N 计)	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	CJ/T 221
4	总磷	氢氧化钠熔融后钼锑抗分光光度法	CJ/T 221
5	总钾	常压消解后火焰原子吸收分光光度法 常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	CJ/T 221
6	有机质含量	重量法	CJ/T 221
7	总镉	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
		常压消解后原子吸收分光光度法 常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	CJ/T 221
8	总汞	冷原子吸收分光光度法	GB/T 17136
		常压消解后原子荧光法	CJ/T 221
9	总铅	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
		常压消解后原子荧光法 微波高压消解后原子荧光法 常压消解后原子吸收分光光度法 常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	CJ/T 221
10	总铬	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17137
		常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 常压消解后二苯碳酰二肼分光光度法 微波高压消解后二苯碳酰二肼分光光度法	CJ/T 221
11	总砷	常压消解后原子荧光法 常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	CJ/T 221
12	总镍	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17139
		常压消解后原子吸收分光光度法 常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法 微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	CJ/T 221

续表

序号	项目	测定方法	采用标准
13	总锌	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
		常压消解后原子吸收分光光度法	CJ/T 221
		常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	
		微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	
14	总铜	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
		常压消解后原子吸收分光光度法	CJ/T 221
		常压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	
		微波高压消解后原子吸收分光光度法 微波高压消解后电感耦合等离子体发射光谱法	
15	硼	姜黄素比色法	《农用污泥监测分析方法》
16	矿物油	红外分光光度法 紫外分光光度法	CJ/T 221
17	苯并[a]芘	气相色谱法	《农用污泥监测分析方法》
18	多氯代二苯并二噁英/ 多氯代二苯并呋喃 (PCDD/PCDF)	同位素稀释高分辨率毛细管气相色谱/高分辨质谱法	HJ/T 77
19	可吸附有机卤化物(AOX)	微库仑法	
20	多氯联苯(PCBs)	气相色谱法	
21	粪大肠菌群数	发酵法	GB 7959
22	蠕虫卵死亡率	显微镜法	GB 7959
23	种子发芽指数		6.3
24	EC 值	电导法	LY/T 1251

6.3 种子发芽指数测试方法

配制污泥样品滤液，以污泥样品按水：物料比=3：1浸提，160r/min振荡1h后过滤，过滤液即为污泥样品过滤液。

吸取5mL滤液于铺有滤纸的培养皿中，滤纸上放置10颗小白菜或水芹种子，25℃下避光培养48h后，测定种子的根长，上述试验设置5组重复，同时用去离子水做空白对照。

计算公式：

$$F = (A_1 \times A_2) / (B_1 \times B_2) \times 100\%$$

式中 F——表示种子发芽指数；

A₁——污泥滤液培养种子的发芽率；

A₂——污泥滤液培养种子的根长；

B₁——去离子水种子的发芽率；

B₂——去离子水种子的根长。

7 标准实施与监督

本标准由各级建设行政主管部门负责实施与监督。

附录 8 城镇污水处理厂污泥处置农用泥质 (CJ/T 309—2009)

1 范围

本标准规定了城镇污水处理厂污泥农业利用的泥质指标、取样和监测等技术要求。

本标准适用于城镇污水处理厂污泥的处置和污泥农业利用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 7959 粪便无害化卫生标准
- GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
- GB 7959 蠕虫卵死亡率显微镜法
- GB 7959 粪大肠菌群值发酵法
- GB/T 17134 总砷二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
- GB/T 17135 总砷硼氢化钾—硝酸银分光光度法
- GB/T 17136 总汞冷原子吸收分光光度法
- GB/T 17137 总铬火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17138 总铜火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17138 总锌火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17139 总镉火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17140 总铅 KI-MIBK 萃取火焰原子吸收分光光度法
- GB/T 17141 总镉石墨炉原子吸收分光光度法
- CT/T 239—2007 城镇污水处理厂污泥处置分类
- CT/T 247—2007 城镇污水处理厂污泥泥质
- CJ 248—2007 城镇污水处理厂内污泥处置园林绿化用泥质
- CJ/T 3039 城市生活垃圾采样和物理分析方法
- HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范
- NY/T 297 有机肥料全氮的测定
- NY/T 298 有机肥料全磷的测定
- NY/T 299 有机肥料全钾的测定
- NY/T 302 有机肥料水分的测定
- NY/T 304 有机肥料有机物总量的测定
- NY 525 有机肥料 pH 的测定

3 术语和定义

本标准采用下列术语和定义。

3.1 城镇污水处理厂污泥

城镇污水处理厂在污水净化处理过程中产生的含水率不同的废弃物。本标准所指的污泥不包括栅渣、浮渣和沉砂池砂砾。

3.2 污泥农用

将污泥在农业用地有效利用的消纳方式。一般包括污泥经过无害化处理后作为土壤改良材料或肥料，用于农田、花卉、果园或牧草地等。

3.3 污泥农用分级

按照粮食作物、油料作物、蔬菜、纤维作物、花卉、果树、育苗基质、饲料作物等用途进行分级，确定其控制浓度和用量。

3.4 污泥堆肥处理

污泥在一定的水分、氧气、温度等条件下，通过微生物的发酵作用，将有机物分解、稳定后转变为肥料的生物化学过程。

3.5 污泥干化

在不污染大气环境的前提下采用自然风干或通过输入热量形成蒸发对污泥进行脱水的过程。

3.6 污泥农用泥质

将处理后污泥用于农业用地过程时,污泥需要达到的质量标准。

4 污泥农用泥质

污泥农用时必需满足重金属、有机污染物、物理性质、生物性有害物质指标、养分和有机质等指标控制要求。本标准中污泥施用量、物理和化学分析指标等均以干基计。

4.1 安全指标

污泥农用时,将污泥分为 A 级和 B 级分别施用于不同作物,A 级和 B 级污泥可以施用作物类型应满足表 1 的要求。A 级和 B 级污泥其污染物浓度限值应满足表 2 的要求。

表 1 A 级和 B 级污泥适用作物

	允许施用作物	禁止施用作物	备 注
A 级污泥	蔬菜、粮食作物、油料作物、果树、饲料作物纤维作物、花卉	无	蔬菜收获前 30 天禁止施用; 根茎类粮食作物按照蔬菜限制标准
B 级污泥	油料作物、果树、饲料作物、纤维作物、花卉	蔬菜、粮食作物	

表 2 污染物浓度限值

序号	控制项目	限值/(mg/kg)	
		A 级污泥	B 级污泥
1	总砷	<40	<75
2	总镉	<5	<20
3	总铬	<500	<1000
4	总铜	<500	<1500
5	总汞	<5	<15
6	总镍	<100	<200
7	总铅	<300	<1000
8	总锌	<1500	<3000
9	苯并[a]芘	<2	<3
10	矿物油	<500	<3000
11	多环芳烃(PAHs)	<5	<6

4.2 物理指标

污泥用于农用时,其物理指标应满足表 3 的要求。

表 3 物理指标

序号	控制项目	限 值
1	含水率/%	≤600
2	粒径/mm	≤10
3	杂物	无粒度>5mm 的金属、玻璃、陶瓷、塑料、瓦片等有害物质,杂物质量≤3%

4.3 卫生学指标

污泥农用时,其卫生学指标应满足表 4 的要求。

表 4 污泥中生物性有害物质控制指标

序号	控制项目	指 标
1	蛔虫卵死亡率	≥95%
2	粪大肠菌群值	≥0.01

4.4 营养学指标

污泥农用时，其营养学指标应满足表5的要求。

表5 营养学指标

序号	控制项目	指 标
1	有机质含量(干基)/(g/kg)	≥200
2	氮磷钾(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)含量/(g/kg,干基)	≥30
3	酸碱度(pH)	5.5~9

4.5 种子发芽指数要求

污泥农用时，种子发芽指数应满足 CJ 248—2007 的要求。

4.6 其他要求

饮用水源地污泥年施用量根据农用类型减半施用。

湖泊周围 500m 范围内和洪水泛滥区禁止施用污泥。

5 取样与监测

5.1 城市污泥农用特性及污染物检测分析方法

检测分析方法按表 6 或国家认定的替代方法、等效方法执行。

表6 城市污泥农用特性及污染物检测分析方法

序号	控制项目	测定方法	方法来源
1	含水率	真空烘箱法	NY/T 302—1995
2	有机质	重铬酸钾法	NY/T 304—1995
3	全氮	硫酸-过氧化氢消煮-蒸馏滴定法	NY/T 297—1995
4	全磷	硫酸和过氧化氢消煮-钒钼黄比色法	NY/T×298—1995
5	全钾	硫酸和过氧化氢消煮-火焰光度法	NY/T×299—1995
6	pH 值	pH 计法	NY 525—2002
7	蠕虫卵死亡率	显微镜法	GB 7959
8	粪大肠菌群菌值	发酵法	GB 7959
9	总汞	冷原子吸收分光光度法	GB/T 17136
10	总镉	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
11	总铅	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
12	总铬	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17137
13	总砷	氢化物发生-原子荧光法	GB/T 17134
		二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	GB/T 17135
		硼氢化钾-硝酸银分光光度法	《农业环境监测实用手册》
14	总铜	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
15	总锌	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138
16	总镍	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17139
17	矿物油	红外分光光度法	《农用污泥监测分析方法》
18	苯并[a]芘	气相色谱法	《农用污泥监测分析方法》
19	多环芳烃(RNPAHs)	液相色谱法	CJ/T 147

5.2 种子发芽指数测试方法

种子发芽指数测试方法按照《城镇污水处理厂内污泥处置园林绿化用泥质》(CJ 248—2007) 标准执行

5.3 物理性有害物质的测定-筛分法

多点均匀取样品 1kg，先用 10mm 孔径的筛过筛，不能过筛的物质称重，其质量小于污泥质量的 5%（即≤50g）可认为合格；再用 5mm 孔径的筛过筛，2 个筛的筛上物均不能有肉眼可见的金属、玻璃、陶瓷有害杂物，否则不合格。

5.4 检验规则和采样方法

本标准的检验规则和采样方法按 HJ/T 20—1998 工业固体废物采样制样技术规范 and CJ/T 3039 城市生活垃圾采样和物理分析方法标准执行。

6 标准的实施和监督

6.1 城建、农业和环保部门对城镇污水处理厂污泥农用的泥质、土壤和农产品进行监测。城建部门进行城市污泥农用的泥质监测，农业环境监测部门或环保监测部门进行污泥农用的农田监测和监督。

6.2 发现因施用污泥导致土壤污染、水源污染或影响农作物的生长、发育和农产品中有害物质超过食品卫生标准时，必须停止施用污泥，并向有关部门报告。

附录 9 城镇垃圾农用控制标准（GB 8172—87）

（1987 年 10 月 5 日国家环境保护局发布 1988 年 2 月 1 日实施）

根据《中华人民共和国环境保护法（试行）》，为防治城镇垃圾农用对土壤、农作物、水体的污染，保护农业生态环境，保证农作物正常生长，特制订本标准。
本标准适用于供农田施用的各种腐熟的城镇生活垃圾和城镇垃圾堆肥工厂的产品，不准混入工业垃圾及其他废物。

1 标准值

1.1 农田施用城镇垃圾要符合下表规定。

城镇垃圾农用控制标准值		
编号	项 目	标准限值 ^①
1	杂物 ^② /％≤	3
2	粒度/mm≤	12
3	蛔虫卵死亡率/％	95～100
4	大肠菌值	10 ⁻¹ ～10 ⁻²
5	总镉(以 Cd 计)/(mg/kg)≤	3
6	总汞(以 Hg 计)/(mg/kg)≤	5
7	总铅(以 Pb 计)/(mg/kg)≤	100
8	总铬(以 Cr 计)/(mg/kg)≤	300
9	总砷(以 As 计)/(mg/kg)≤	30
10	有机质(以 C 计)/％≥	10
11	总氮(以 N 计)/％≥	0.5
12	总磷(以 P ₂ O ₅ 计)/％≥	0.3
13	总钾(以 K ₂ O 计)/％≥	1.0
14	pH 值	6.5～8.5
15	水分/％	25～35

① 表中除 2、3、4 项外，其余各项均以干基计算。
② 杂物指塑料、玻璃、金属、橡胶等。

2 其他规定

2.1 上表中 1～9 项全部合格者方能施用于农田；在 10～15 项中，如有一项不合格，其他五项合格者，可适当放宽。但不合格项目的数值，不得低于我国垃圾的平均数值。即有机质不少于 8％，总氮不少于 0.4％，总磷不少于 0.2％，总钾不少于 0.8％，pH 值最高不超过 9，最低不低于 6，水分含量最高不超过 40％。
2.2 施用符合本标准的垃圾，每年每亩农田用量，黏性土壤不超过 4t，砂性土壤不超过 3t，提倡在花卉、草地、园林和新菜地、黏土地上施用。大于 1m 粒径的砂砾土壤、老菜地、水田不宜施用。
2.3 对于表中 1～9 项都接近本标准的垃圾，施用时其用量应减半。

3 标准的监督实施

3.1 农业、环卫和环保部门，必须对城镇垃圾农用的土壤、作物进行长期定点监测，农业部门建立监测电，环卫部门提供合乎标准化的城镇垃圾，环保部门进行有效的监督。
3.2 发现因施用垃圾导致土壤污染、水源污染或影响农作物的生长、发育和农产品中有害物质超过食品卫生标准时，要停止施用垃圾，并向有关部门报告。
3.3 在分析方法国家标准颁布之前，暂时参照《城镇垃圾农用监测分析方法》进行监测。
附加说明：
本标准由中华人民共和国农牧渔业部提出。
本标准由中国农业科学院土壤肥料研究所负责起草。
本标准由国家环保局负责解释。

附录 10 生活垃圾堆肥厂运行管理规范 (DB 11/T 272—2005)

前 言

本标准由北京市市政管理委员会提出并归口。

本标准起草单位：北京市垃圾渣土管理处

本标准起草人：梁广生、栾智慧、徐勃、孙江、卫潘明、李彦富、李玉春、赵坤、吕志强、王树国、薛志飞、刘建平、张跃升、荣波。

1 范围

本标准规定了生活垃圾堆肥厂的工艺运行、化验、设备、计量信息、环境和安全运行等方面的管理要求。

本标准适用于北京市行政区域内的生活垃圾堆肥厂和含有堆肥工艺的垃圾综合处理厂。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 3095—1996 环境空气质量标准

GB 4387—94 工业企业厂内铁路、道路运输安全规程

GB 7959—87 粪便无害化卫生标准

GB 8172—87 城镇垃圾农用控制标准

GB 12348—90 工业企业厂界噪声标准

GB 12801—91 生产过程安全卫生要求总则

GB 14554—93 恶臭污染物排放标准

GB 16297—1996 大气污染物综合排放标准

CJJ/T 52—93 城市生活垃圾好氧静态堆肥处理技术规程

CJJ/T 86—2000 城市生活垃圾堆肥处理厂运行、维护及其安全技术规程

CJ/T 3059—1996 城市生活垃圾堆肥处理厂技术评价指标

DB 11/T 273—2005 生活垃圾粪便处理设施环境监测规范

DB 11/307—2005 水污染物排放标准

3 术语和定义

3.1 堆肥化 composting

利用微生物的分解作用，使废物中有机物质稳定化的过程。

3.2 好氧堆肥 aerobic composting

在充分供氧的条件下，主要利用好氧微生物对废物进行堆肥的方法。

3.3 厌氧堆肥 anaerobic composting

在无氧或缺氧条件下，主要利用厌氧微生物对废物进行堆肥的方法。

3.4 一级发酵（初级发酵）primary fermentation

堆肥发酵的第一阶段。以废物中易分解的有机组分被微生物迅速分解为特征的发酵过程。

3.5 二级发酵（次级发酵）secondary fermentation

堆肥的熟化阶段。一级发酵后，微生物以较低的速度分解较难降解有机物和发酵中间产物的发酵过程。

3.6 厌氧发酵 methane fermentation; anaerobic fermentation

在隔绝氧的条件下进行的堆肥发酵过程，主要微生物群落为厌氧菌群。

3.7 二次消化 secondary fermentation

使厌氧发酵剩余物质中有机物部分再次进行分解的过程。

3.8 静态发酵 static fermentation

堆肥发酵过程中，废物不受外力作用而运动，并处于相对静止的状态。

3.9 动态发酵 dynamic fermentation

堆肥发酵过程中，废物在外力作用下处于持续或间歇的运动状态。

3.10 堆肥 compost

利用微生物对有机垃圾进行分解腐熟而形成的肥料。

3.11 堆肥产品 compost product

可作为产品出售的堆肥产物。

3.12 腐熟度 putrescibility

反映堆肥化过程中稳定化程度的指标。

4 一般规定生活垃圾堆肥厂应保证全年连续稳定运行, 并应满足下列要求:

- 制定详细的工艺运行管理手册, 重大工艺调整时需申报经批准后实施;
- 按照工艺运行管理手册完成生活垃圾的堆肥化处理;
- 制定各岗位操作规程, 严格按操作规程作业;
- 各岗位操作人员和维修人员应经过岗位培训, 并经考核合格后方可持证上岗;
- 相关设施设备、车辆应满足生产要求;
- 具有完备的建设资料、设备操作手册、设备维护修理手册和日常运行记录资料;
- 制定防火、防爆、防突发事件等措施及应急预案以备特殊情况下的生活垃圾处理。

5 工艺运行管理

5.1 进厂垃圾控制

5.1.1 进厂垃圾应是可堆肥生活垃圾和其它可堆肥原料, 严禁建筑、工业、医疗、危险、放射性等有毒有害废弃物进入生活垃圾堆肥厂。

5.1.2 进厂垃圾来源明确, 严禁来源不清的垃圾进入生活垃圾堆肥厂。

5.2 堆肥化发酵工艺控制

5.2.1 好氧堆肥

好氧堆肥工艺通常包括一级发酵和二级发酵, 一级发酵和二级发酵主要技术指标还应符合现行行业标准 CJ/T 3059、CJJ/T 86 和 CJJ/T 52 的有关规定。

5.2.1.1 一级发酵

根据工艺技术要求及发酵原料实际条件, 应适时调整、控制一级发酵期各主要技术参数, 并符合下列要求:

5.2.1.1.1 堆肥物料

堆肥物料应符合下列要求:

- 含水率为 40%~60%;
- 有机物含量大于 40%;
- 碳氮比 (C/N) 为 (20:1)~(30:1);
- 密度为 350~650kg/m³。

5.2.1.1.2 发酵过程

发酵过程应符合下列要求:

- 布料时应保证物料均匀, 防止出现物料层厚度不等、含水率不均等情况;
- 静态发酵自然通风物料堆置高度宜为 1.2~1.5m, 当设有强制通风装置时, 物料堆置高度可为 2.6~3m, 间歇动态发酵的物料堆置高度可为 5m;

c. 静态发酵强制通风时, 每立方米垃圾通风量宜取 0.05~0.2m³ (标)/min, 通常进行非连续通风, 堆层每升高 1m, 风压增加 1000~1500Pa; 间歇动态发酵可参考静态工艺并依生产试验确定通风量, 以保证发酵在最适宜条件下进行;

d. 发酵过程中应对氧气浓度进行测定, 各测试点的氧气浓度不低于 10%;

e. 发酵过程中, 应测定堆体温度变化情况, 高温发酵过程堆层各测试点温度在 55℃ 以上并保持 5~7d, 最高温度不宜超过 75℃;

f. 发酵过程中应及时调节物料水分含量, 适宜的含水率在 40%~60% 之间;

5.2.1.2 二级发酵

根据工艺技术要求及一级发酵半成品情况, 应适时调整、控制二级发酵期各主要技术参数, 并符合下列要求:

- 适时控制堆高、通风及翻堆作业, 以满足物料进一步发酵的适宜条件;
- 发酵过程中的物料含水率宜控制在 35%~45% 之间;
- 二级发酵阶段, 严禁再次向物料中添加污泥、粪便等新鲜可堆肥原料;

5.2.2 厌氧堆肥

厌氧堆肥工艺通常包括厌氧发酵和二次消化。

5.2.2.1 厌氧发酵

厌氧发酵物料应符合下列要求:

- a. 粒径均匀, 且小于 30mm;
- b. 碳氮比 (C/N) 应为 (15:1)~(30:1);
- c. 有机物含量应大于 40%。
- d. 发酵装置应密闭, 并使用搅拌工艺;
- e. 发酵过程中温度、pH 值控制在规定的范围内; 温度保持相对稳定, 日变化范围控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

5.2.2.2 二次消化

- a. 厌氧发酵终止后, 发酵物质应进行脱水处理使干物质含量大于等于 45%;
- b. 二次消化工艺参考好氧堆肥二级发酵工艺执行。

5.2.2.3 厌氧堆肥过程中技术指标还应符合现行国家标准 GB 7959 的规定。

5.2.2.4 根据堆肥厂沼气产量, 应进行沼气回收利用或无害化处理。

5.3 堆肥

发酵终止时, 堆肥应符合下列要求:

- a. 含水率宜为 20%~35%;
- b. 碳氮比 (C/N) 不大于 20:1;
- c. 达到无害化卫生要求, 符合现行国家标准 GB 7959 的规定;
- d. 腐熟度应大于等于 IV 级。

5.4 堆肥产品

5.4.1 堆肥产品出厂前, 应在有一定规模、具有良好通风条件和防止淋雨的设施内存储。

5.4.2 堆肥产品各项指标应符合 GB 8172 的规定。

5.5 堆肥残余物处理

5.5.1 堆肥过程中产生的残余物应及时处理, 不应在厂区内积存。

5.5.2 能够回收利用的残余物宜回收利用, 不可回收的应进行焚烧或卫生填埋处置。

5.6 渗沥液与臭气控制

5.6.1 工艺过程中产生的渗沥液应循环使用, 如不能循环使用应将产生的渗沥液统一收集处理, 达标排放。

5.6.2 工艺过程中产生的臭气应集中收集经除臭处理后排放。

6 化验管理

堆肥物料、堆肥过程、堆肥及堆肥产品应进行化验检测, 根据检测结果及时调整相关处理工艺参数, 并建立检测数据档案。

6.1 好氧堆肥检测

6.1.1 堆肥物料检测

主要是常规项目检测, 包括密度、含水率、物理组分及有机物含量等, 每周检测一次。

6.1.2 堆肥过程检测

主要是常规项目检测, 包括堆体温度、氧气浓度、含水率、有机物含量及腐熟度等, 除在线监测项目外, 其余项目应每周检测一次。如堆体温度、氧气浓度不能在线监测, 应每天检测一次。

6.1.3 堆肥检测

主要是常规项目检测, 包括含水率、pH 值、腐熟度等, 每周检测一次; 无害化卫生指标包括蛔虫卵死亡率、大肠菌值等检测按照 GB 7959 执行, 每月检测一次。

6.1.4 堆肥产品检测

堆肥产品应有资质肥料质量检测机构检测, 检测内容和标准按照 GB 8172 执行, 每季度检测一次, 遇到原料、工艺、设备改变时, 增加产品检测一次。

6.2 厌氧堆肥检测

6.2.1 堆肥物料检测

主要是常规项目检测, 包括 pH 值、含水率、物理组分及有机物含量等, 每周检测一次。

6.2.2 堆肥过程检测

主要是常规项目检测, 包括温度、pH 值、有机物含量及腐熟度等, 除在线监测项目外, 其余项目每周检测一次。如温度、pH 值不能在线监测, 应每天检测一次。

6.2.3 堆肥与堆肥产品检测与好氧堆肥相同

6.3 检测方法

本标准中关于物理组分、含水率、堆体温度、氧浓度、pH 值、密度等的测定方法按照 CJJ/T52 中检测方法执行。腐熟度检测应符合本标准附录 A 的规定。

7 设备管理

7.1 设备运行

生活垃圾堆肥厂设备按照设计的工艺要求使用, 并应满足下列要求:

- 建立设备台账, 主要内容包括设备、主要部件、备件、易损件的名称、规格、型号、数量、开始使用时间、购置费用、维修时间、维修费用、更换时间、更换费用、报废时间、报废残值等;
- 实行运行记录制度, 主要内容包括能耗、开启时间、停止时间、中途停止时间。中途停止时间应备注原因, 因设备故障造成的停机, 应区别单机故障、功能组故障、处理线故障并分别记录; 全厂停产应区别工艺调整、设备故障、例行检修、意外事件并分别记录;
- 实行设备使用率和完好率考核制度, 使用率和完好率应达到设施运行管理手册或合同规定的要求;
- 安全装置应灵敏有效, 符合国家标准并及时通过有关法定检测。

7.2 维护保养

生活垃圾堆肥厂设备维护保养应满足下列要求:

- 制定设备维修保养制度, 内容应包括: 维修保养周期、内容和标准;
- 及时排除设备故障, 恢复工艺设备性能;
- 有备件和易损件储备, 及时更换残旧设备和部件;
- 作业车辆及设备每班作业后应及时进行清洁。

8 计量、信息管理

8.1 计量

8.1.1 计量系统必须采用进出厂双向称重方式, 并满足贸易结算需求。

8.1.2 计量系统应定期由质量技术监督部门进行检验, 并及时取得有效的检验报告或合格证。

8.1.3 计量系统操作人员应具备统计人员上岗资格, 依法履行职责, 按有关规定做好记录、备份、报送等工作。

8.1.4 进厂堆肥物料应全部经过计量系统计量, 并保留计算机中原始称重记录。

8.1.5 进厂堆肥物料应登记运输车车牌号、运输单位、进厂日期及时间、堆肥物料来源、种类、重量等情况, 并由物料的产生、运输和处理等有关各方共同确认。

8.1.6 应定期检查维护计量系统, 以确保正常使用; 如计量系统设备出现故障, 应及时修复, 并采用经行政主管部门批准的应急预案进行计量统计。

8.2 信息

生活垃圾堆肥厂信息管理应符合下列要求:

- 信息数据的收集、整理和报送工作及时、准确、完整, 不得虚报、瞒报、迟报或伪造篡改;
- 建立“运行工作日志”制度, 日志内容主要包括堆肥物料进厂量、堆肥产量、销售量、销售去向、残渣产生量及出厂量、设备维护保养、设备运行状况、运行时间及故障时间、备品备件情况等;
- 按时向行政主管部门提交设施运行情况年度报告, 主要内容包括作业量、工艺、技术、设备、人员、能耗、成本等方面信息。

9 环境管理

9.1 厂界噪声标准应符合 GB 12348 的规定。

9.2 渗沥液和污水排放标准应符合 DB11/307 的规定。

9.3 厂界空气总悬浮颗粒物、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳允许浓度应符合 GB 3095 和 GB 16297 的规定。

9.4 厂界氨气、硫化氢、臭气浓度等污染物允许浓度应符合 GB 14554 的规定。厂区内不得有明显恶臭。

9.5 厂区内应采取灭蝇措施, 并应设置蝇类密度监测点; 生活管理区内每 15m² 的苍蝇数目不得超出 3 只。

9.6 厂区环境卫生应整洁, 无白色污染、污水积存等脏乱现象。

9.7 每天作业完毕后, 及时清扫厂区内遗撒垃圾。

9.8 运输垃圾、粪便的车辆在出厂前应进行清扫, 车厢外壁与车轮不粘挂垃圾、粪便。

9.9 环境监测应按 DB11/T 273 的要求执行。

10 安全运行管理

生活垃圾堆肥厂的安全运行管理应符合下列要求:

- 生产过程安全卫生管理应符合现行国家标准 GB 12801 的有关规定;
- 应具有完备的生产安全管理规章制度和生产安全操作规程, 岗位操作人员应严格执行本岗位安全操作规程;
- 应为职工提供劳动安全卫生条件和劳动防护用品; 操作人员应按规定使用安全防护及劳保用品;
- 如有外来人员参观应由专业人员陪同并进行安全教育后方可进入作业区;

e. 具有粉尘、异味及有害、有毒气体的场所,应采取通风措施,并保证通风设施完好;应对生产控制室、污水及渗沥液收集池、发酵设施、地下建筑物内及地下管线等沼气聚集的场所进行定期监测,并做好记录;空气中沼气浓度大于 1.25%时应进行强制通风;

f. 厂内及车间内运输管理,应符合 GB 4387 的有关规定;

g. 为了避免火灾、爆炸和其他重大伤害事故的发生,厂区各明显位置都应配有禁烟、防火和限速的标志;

h. 应建立发生火灾、爆炸、沼气泄漏等重大事故时的应急预案;

i. 应定期对全厂进行安全检查,并记录检查结果。

附录 A (规范性附录)

腐熟度检测方法

取 1~2kg 堆肥产品,首先用 10mm 筛进行筛分,将堆肥粒径控制在 10mm 以下,调节堆肥含水率为发酵时最适宜含水率,通常为 50%~55%,然后置于设有温度计的保温瓶中,将保温瓶在常温下 (20℃) 放置 7~10d,每天在固定时间通过温度计读取堆肥温度一次并记录,连续测 7~10d,取测得的最高温度进行腐熟度判定,判定方法如下: 20~30℃ 为 V 级, 30~40℃ 为 IV 级, 40~50℃ 为 III 级, 50~60℃ 为 II 级, 60~70℃ 为 I 级。

附录 11 城市环境卫生专用设备垃圾堆肥 (CJ/T 19—1999)

1 主题内容与适用范围

本标准规定了垃圾堆肥专用设备的术语、通用技术条件和主要技术参数。

本标准适用于垃圾堆肥专用设备的设计、制造、使用和管理等部门。

2 引用标准

GB 3096 城市区域环境噪声标准

GB 10439 车间空气中萤石混合性粉尘卫生标准

3 术语

3.1 垃圾堆肥

是在有控制条件下,利用微生物使垃圾中有机物降解为稳定的腐殖质的生物过程。

3.2 滚筒筛

是以筒形筛面绕其中心轴线作旋转运动而完成堆肥物料粒度分级的机械。

3.3 弛张筛

利用弹性筛网的弛张运动,完成物料粒度分级的专用机械。

3.4 垃圾破碎机

利用剪切、挤压、冲击等方式,使垃圾粒度减小的机械。

3.5 桨叶式翻堆机

利用旋转桨叶,对堆肥物料进行翻动作业的机械。

3.6 斗轮式翻堆机

利用旋转斗轮完成翻动堆肥物料的专用机械。

3.7 滚轮式翻堆机

利用滚轮旋转完成翻动堆肥物料的机械。

3.8 链板式翻堆机

利用插入堆肥物料中链板的转动而完成翻动堆肥物料的机械。

3.9 发酵滚筒

利用滚筒绕其中心线旋转,翻动筒中堆肥物料,使之发酵的机械。

3.10 发酵塔

利用搅拌装置,翻动塔中各层的堆肥物料,完成堆肥物料的发酵和落料的专用设备。

3.11 悬挂式永磁胶带磁选机

利用永久磁铁和胶带运动而分选磁性金属的机械。

3.12 锯齿形风选机

利用风力分离通过锯齿形通道中的轻重物料的机械。

3.13 带式弹跳分选机

利用硬物料在倾斜的运动带上的弹跳,分选出堆肥中硬物料的机械。

3.14 滚筒磁选机

用具有永磁铁的滚筒,作为胶带运输机的带轮,以分离出堆肥物料中的磁性金属的机械。

3.15 沸腾床分选机

利用气流吹动和床面振动而分离出堆肥中硬物料的机械。

3.16 多功能破碎分选机

利用心轴、筛筒的不同步转动和物料的不同湿度,完成对垃圾中的有机物、废纸和其他成分进行破碎和分选的机械。

3.17 惯性抛射分选机

利用旋转叶轮的抛射作用而分离出不同比重物料的机械。

3.18 混合滚筒

利用滚筒绕其中心线旋转,完成滚筒中的堆肥物料的混合作业的机械。

3.19 布料机

利用带双滚筒和犁式卸料机构的天车,完成把堆肥物料撒布在场地上的机械。

4 垃圾堆肥专用设备的通用技术要求

- 4.1 垃圾堆肥专用设备应按规定程序批准的图样和技术文件制造,产品质量和技术性能应符合设计要求。
- 4.2 外购件必须是通过国家有关部门鉴定的定型产品,并应有制造厂的合格证。
- 4.3 堆肥专用机械新产品定型时,必须用工艺规定的物料,经过不少于 200h 的满负荷试验,并应符合下列要求:
 - a. 主要技术参数应符合设计任务书要求。
 - b. 机械运行的噪声应符合 GB 3096 和国家有关规定。
 - c. 机械运行中产生的粉尘应符合 GB 10439 的规定。

5 主要技术参数

5.1 滚筒筛

- a. 滚筒直径 (或角柱外接圆直径) $> 1\text{m}$
- b. 生产能力 $> 5\text{t/h}$
- c. 筛分效率 $> 80\%$ (物料含水率 30%)
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.2 弛张筛

- a. 进料粒度 $< 150\text{mm}$
- b. 生产能力 $> 10\text{t/h}$
- c. 筛分效率 $> 85\%$
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.3 垃圾破碎机

- a. 进料粒度 $< 500\text{mm}$
- b. 出料粒度 $< 50\text{mm}$
- c. 生产能力 $> 5\text{t/h}$
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.4 桨叶式翻堆机

- a. 生产能力 $\geq 50\text{t/h}$
- b. 工作宽度 $> 10\text{m}$
- c. 工作深度 (堆高) $\geq 2\text{m}$
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.5 斗轮式翻堆机

- a. 生产能力 $\geq 50\text{t/h}$
- b. 工作宽度 $> 2\text{m}$
- c. 翻堆堆高 $> 2\text{m}$
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.6 滚轮式翻堆机

- a. 生产能力 $\geq 10\text{t/h}$
- b. 工作速度 $20 \sim 50\text{cm/min}$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.7 链板式翻堆机

- a. 生产能力 $\geq 10\text{t/h}$
- b. 工作宽度 $> 2\text{m}$
- c. 翻堆堆高 $> 2\text{m}$
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.8 发酵滚筒

- a. 生产能力 $\geq 25\text{t/d}$
- b. 滚筒直径
- c. 滚筒长度
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.9 发酵塔

- a. 生产能力 $\geq 25\text{t/d}$
- b. 发酵塔直径
- c. 摇臂转速
- d. 设备总质量
- e. 电机功率

5.10 悬挂式永磁胶带磁选机

- a. 可分选铁块质量 $< 1.0\text{kg}$
- b. 磁铁距物料表面高度 $> 80\text{mm}$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.11 滚筒磁选机

- a. 可分选铁块质量 $< 1.0\text{kg}$
- b. 滚筒直径 500mm
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.12 锯齿形风选机

- a. 生产能力 $> 10\text{t/h}$
- b. 分选效率 $> 80\%$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.13 带式弹跳分选机

- a. 生产能力 $> 10\text{t/h}$
- b. 弹跳胶带宽度 1600mm
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.14 沸腾床分选机

- a. 生产能力 $> 4\text{t/h}$
- b. 分选效率 $> 80\%$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.15 惯性抛射分选机

- a. 生产能力 (t/h)
- b. 分选效率 (%)
- c. 设备总质量 (t)
- d. 电机功率 kW

5.16 多功能破碎分选机

- a. 生产能力 $> 5\text{t/h}$
- b. 分选效率 $> 80\%$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.17 布料机

- a. 生产能力 $\geq 8\text{t/h}$
- b. 布料宽度 $10\sim 30\text{m}$
- c. 天车跨度
- d. 布料小车行走速度
- e. 设备总质量

5.18 混合滚筒

- a. 生产能力 $\geq 8\text{t/h}$
- b. 混合均匀度 $> 80\%$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

5.19 液压抓斗

- a. 抓斗容积 $> 0.5\text{m}^3$
- b. 工作周期 平均 1.5min

5.20 鳞板式输送机

- a. 生产能力 $> 10\text{t/h}$ (35° 倾角)
- b. 安装角度 $< 35^\circ$
- c. 设备总质量
- d. 电机功率

附加说明:

本标准由建设部标准定额研究所提出。

本标准由建设部城镇环境卫生标准技术归口单位上海市环境卫生管理局归口。

本标准由北京市环境卫生科学研究所、上海市环境卫生设计科学研究所起草。

本标准主要起草人: 于殿卿、陈方瑾、盛 扬、姚君石。

本标准委托北京市环境卫生科学研究所负责解释。

附录 12 恶臭污染物排放标准（GB 14554—93）

（1993 年 7 月 19 日国家环境保护局批准 1994 年 1 月 15 日实施）

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准分年限规定了八种恶臭污染物的一次最大排放限值、复合恶臭物质的臭气浓度限值及无组织排放源的厂界浓度限值。

1.2 适用范围

本标准适用于全国所有向大气排放恶臭气体单位及垃圾堆放场的排放管理以及建设项目的环评评价、设计、竣工验收及其建成后的排放管理。

2 引用标准

B 3095 大气环境质量标准

GB 12348 工业企业厂界噪声标准

GB/T 14675 空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法

GB/T 14676 空气质量 三甲胺的测定 气相色谱法

GB/T 14677 空气质量 甲苯、二甲苯、苯乙烯的测定气相色谱法

GB/T 14678 空气质量 硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫的测定气相色谱法

GB/T 14679 空气质量 氨的测定 次氯酸钠—水杨酸分光光度法

GB/T 14680 空气质量 二硫化碳的测定二乙胺分光光度法

3 名词术语

3.1 恶臭污染物 odor pollutants

指一切刺激嗅觉器官引起人们不愉快及损坏生活环境的气体物质。

3.2 臭气浓度 odor concentration

指恶臭气体（包括异味）用无臭空气进行稀释，稀释到刚好无臭时，所需的稀释倍数。

3.3 无组织排放源

指没有排气筒或排气筒高度低于 15m 的排放源。

4 技术内容

4.1 标准分级

本标准恶臭污染物厂界标准值分三级。

4.1.1 排入 GB 3095 中一类区的执行一级标准，一类区中不得建新的排污单位。

4.1.2 排入 GB 3095 中二类区的执行二级标准。

4.1.3 排入 GB 3095 中三类区的执行三级标准。

4.2 标准值

4.2.1 恶臭污染物厂界标准值是对无组织排放源的限值，见表 1。

1994 年 6 月 1 日起立项的新、扩、改建项目及其建成后投产的企业执行二级、三级标准中相应的标准值。

表 1 恶臭污染物厂界标准值

序号	控制项目	单位	一级	二级		三级	
				新扩改建	现有	新扩改建	现有
1	氨	mg/m ³	1.0	1.5	2.0	4.0	5.0
2	三甲胺	mg/m ³	0.05	0.08	0.15	0.45	0.80
3	硫化氢	mg/m ³	0.03	0.06	0.10	0.32	0.60
4	甲硫醇	mg/m ³	0.004	0.007	0.010	0.020	0.035
5	甲硫醚	mg/m ³	0.03	0.07	0.15	0.55	1.10
6	二甲二硫	mg/m ³	0.03	0.06	0.13	0.42	0.71
7	二硫化碳	mg/m ³	2.0	3.0	5.0	8.0	10
8	苯乙烯	mg/m ³	3.0	5.0	7.0	14	19
9	臭气浓度	无量纲	10	20	30	60	70

4.2.2 恶臭污染物排放标准值, 见表 2。

表 2 恶臭污染物排放标准值

序号	控制项目	排气筒高度/m	排放量/(kg/h)
1	硫化氢	15	0.33
		20	0.58
		25	0.90
		30	1.3
		35	1.8
		40	2.3
		60	5.2
		80	9.3
		100	14
		120	21
2	甲硫醇	15	0.04
		20	0.08
		25	0.12
		30	0.17
		35	0.24
		40	0.31
		60	0.69
3	甲硫醚	15	0.33
		20	0.58
		25	0.90
		30	1.3
		35	1.8
		40	2.3
		60	5.2
4	二甲二硫醚	15	0.43
		20	0.77
		25	1.2
		30	1.7
		35	2.4
		40	3.1
		60	7.0
5	二硫化碳	15	1.5
		20	2.7
		25	4.2
		30	6.1
		35	8.3
		40	11
		60	24
		80	43
		100	68
		120	97
6	氨	15	4.9
		20	8.7
		25	14
		30	20
		35	27
		40	35
		60	75

续表

序号	控制项目	排气筒高度/m	排放量/(kg/h)
7	三甲胺	15	0.54
		20	0.97
		25	1.5
		30	2.2
		35	3.0
		40	3.9
		60	8.7
		80	15
		100	24
		120	35
8	苯乙烯	15	6.5
		20	12
		25	18
		30	26
		35	35
		40	46
9	臭气浓度	60	104
		排气筒高度/m	标准值(无量纲)
		15	2000
		25	6000
		35	15000
		40	20000
		50	40000
		≥60	60000

5 标准的实施

- 5.1 排污单位排放（包括泄漏和无组织排放）的恶臭污染物，在排污单位边界上规定监测点（无其他干扰因素）的一次最大监督值（包括臭气浓度）都必须低于或等于恶臭污染物厂界标准值。
- 5.2 排污单位经烟、气排气筒（高度在15m以上）排放的恶臭污染物的排放量和臭气浓度都必须低于或等于恶臭污染物排放标准。
- 5.3 排污单位经排水排出并散发的恶臭污染物和臭气浓度必须低于或等于恶臭污染物厂界标准值。

6 监测

- 6.1 有组织排放源监测
- 6.1.1 排气筒的最低高度不得低于15m。
- 6.1.2 凡在表2所列两种高度之间的排气筒，采用四舍五入方法计算其排气筒的高度。表2中所列的排气筒高度是指从地面（零地面）起至排气口的垂直高度。
- 6.1.3 采样点：有组织排放源的监测采样点应为臭气进入大气的排气口，也可以在水平排气道和排气筒下部采样监测，测得臭气浓度或进行换算求得实际排放量。经过治理的污染源监测点设在治理装置的排气口，并应设置永久性标志。
- 6.1.4 有组织排放源采样频率应按生产周期确定监测频率，生产周期在8h以内的，每2h采集一次，生产周期大于8h的，每4h采集一次，取其最低测定值。
- 6.2 无组织排放源监测
- 6.2.1 采样点
- 厂界的监测采样点，设置在工厂厂界的下风向侧，或有臭气方位的边界线上。
- 6.2.2 采样频率
- 连续排放源相隔2h采一次，共采集4次，取其最大测定值。
- 间歇排放源选择在气味最大时间内采样，样品采集次数不少于3次，取其最大测定值。
- 6.3 水域监测

水域(包括海洋、河流、湖泊、排水沟、渠)的监测,应以岸边为厂界边界线,其采样点设置、采样频率与无组织排放源监测相同。

6.4 测定

标志中各单项恶臭污染物与臭气浓度的测定方法,见表 3。

表 3 恶臭污染物与臭气浓度测定方法

序号	控制项目	测定方法
1	氨	GB/T 14679
2	三甲胺	GB/T 14676
3	硫化氢	GB/T 14678
4	甲硫醇	GB/T 14678
5	甲硫醚	GB/T 14678
6	二甲二硫醚	GB/T 14678
7	二硫化碳	GB/T 14680
8	苯乙烯	GB/T 14677
9	臭气浓度	GB/T 14675

附录 A 排放浓度、排放量的计算(补充件)

A1 排放浓度

$$C = \frac{g}{V_{nd}} \times 10^6 \quad \text{..... (A1)}$$

式中 C ——恶臭污染物的浓度, mg/m^3 (干燥的标准状态);

g ——采样所得的恶臭污染物的重量, g ;

V_{nd} ——采样体积, L (干燥的标准状态)。

$$G = CQ_{\text{and}} \times 10^6 \quad \text{..... (A2)}$$

式中 G ——恶臭污染物的排放量, kg/h ;

Q_{and} ——烟囱或排气筒的气体流量, m^3 (干燥的标准状态) / h 。

附加说明

本标准由国家环境保护局科技标准司提出。

本标准由天津市环境保护科学研究所、北京市机电研究所环保技术研究所主编。

本标准主要起草人石磊、王延吉、李秀荣、姜菊、王鸿志、卫红海。

本标准由国家环境保护局负责解释。

附录 13 粪便无害化卫生标准（GB 7959—87）

为贯彻“预防为主”的卫生工作方针，切实搞好粪便卫生管理和无害化处理，加强除害灭病的技术指导，改善城乡环境卫生面貌，保障人民身体健康，特制定本标准。

本标准适用于全国城乡垃圾、粪便无害化处理效果的卫生评价和为建设垃圾、粪便处理构筑物提供卫生设计参数。

1 定义

- 1.1 粪便是指人体排泄物。
- 1.2 堆肥是指以垃圾、粪便为原料的好氧性高温堆肥（包括不加粪便的纯垃圾堆肥和农村的粪便、秸秆堆肥）。
- 1.3 沼气发酵是以粪便为原料，在密闭、厌氧条件下的厌氧性消化（包括常温、中温和高温消化）。

2 标准值

经无害化处理后的堆肥和粪便应符合表 1、表 2 的卫生标准。

表 1 高温堆肥的卫生标准

编号	卫 生 标 准
1	堆肥温度最高堆温达 50～55℃ 以上,持续 5～7 天
2	蛔虫卵死亡率 95%～100%
3	粪大肠菌值 $10^1\sim10^2$
4	苍蝇有效地控制苍蝇孳生,堆肥周围没有活动的蛆,蛹或新羽化的成蝇

表 2 沼气发酵的卫生标准

编号	卫 生 标 准
1	密封储存期 30 天以上
2	高温沼气发酵温度 $(53\pm2)^\circ\text{C}$ 持续 2 天
3	寄生虫卵沉降率 95% 以上
4	血吸虫卵和钩虫卵 在使用粪液中不得检出活的血吸虫卵和钩虫卵
5	粪大肠菌值 常温沼气发酵 10^{-1} 高温沼气发酵 $10^{-1}\sim10^{-2}$
6	蚊子、苍蝇 有效地控制蚊蝇孳生、粪液中无孑孓、池的周围无活的蛆、蛹或新羽化的成蝇
7	沼气池粪渣

- 注：1. 也可用于三格化粪池和密闭储存方法处理粪便效果的卫生评价。
2. 在非血吸虫病和钩虫病流行区，血吸虫卵和钩虫卵指标可以不检。

3 监测检验方法

堆肥、粪便中粪便大肠菌群和寄生虫卵的检验，采用本标准。

4 监督与执行

- 4.1 本标准由城乡建设和设计等单位负责执行。
- 4.2 各级卫生防疫机构负责监督本标准的执行。

附录 14 有机肥料（NY525—2002）

1 范围

本标准规定了有机肥料的技术要求、试验方法、检测规则、标识、包装、运输和贮存。
本标准适用于以畜禽粪便、动植物残体等富含有机质的副产品资源为主要原料，经发酵腐熟后制成的有机肥料。
本标准不适用于绿肥、农家肥和其他农民自积自造的有机粪肥。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款，凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 601 化学试剂 滴定分析（容量分析）用标准溶液的制备
- GB/T 1250 极限数值的表示方法和判定方法
- GB/T 6679 固体化工产品采样通则
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB 8172 城镇垃圾农用控制标准
- GB/T 8576 复混肥料中游离水含量测定 真空烘箱法
- GB 18382 肥料标识 内容和要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。
有机肥料 organic fertilizer
主要来源于植物和（或）动物，施于土壤以提供植物营养为其主要功能的含碳物料。

4 要求

- 4.1 外观：有机肥料为褐色或灰褐色，粒状或粉状，无机械杂质，无恶臭。
- 4.2 有机肥料的技术指标应符合表 1 的要求。

表 1 有机肥料的技术指标

项 目	指 标
有机质含量(以干基计)/%	≥ 30
总养分(氮+五氧化二磷+氧化钾)含量(以干基计)/%	≥ 4.0
水分(游离水)含量/%	≤ 20
酸碱度(pH)	5.5~8.0

- 4.3 有机肥料中的重金属含量、蛔虫卵死亡率和大肠杆菌值指标应符合 GB 8172 的要求。

5 试验方法

本标准中所用水应符合 GB/T 6682 中三级水的规定。所列试剂，除注明外，均指分析纯试剂。试验中所需标准溶液，按 GB/T 601 规定制备。

- 5.1 外观
目视、鼻嗅测定。
- 5.2 有机质含量测定（重铬酸钾容量法）

5.2.1 方法原理

用定量的重铬酸钾-硫酸溶液，在加热条件下，使有机肥料中的有机碳氧化，多余的重铬酸钾用硫酸亚铁溶液滴定，同时以二氧化硅为添加物作空白试验。根据氧化前后氧化剂消耗量，计算有机碳含量，乘以系数 1.724，为有机质含量。

5.2.2 仪器、设备

通常实验室用仪器设备。

5.2.3 试剂及制备

- 5.2.3.1 二氧化硅：粉末状。

- 5.2.3.2 浓硫酸 ($\rho 1.84$)。
- 5.2.3.3 重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 标准溶液: $c[1/6(K_2Cr_2O_7)]=1\text{mol/L}$ 。

称取经过 130°C 烘 $3\sim 4\text{h}$ 的重铬酸钾 (分析纯) 49.031g , 溶解于 400mL 水中, 必要时可加热溶解, 冷却后, 稀释定容至 1L , 摇匀备用。

- 5.2.3.4 重铬酸钾标准溶液: $c[1/6(K_2Cr_2O_7)]=0.1\text{mol/L}$ 。
- 取 $c[1/6(K_2Cr_2O_7)]=1\text{mol/L}$ 标准溶液 (5.2.3.3) 100mL , 加水稀释定容至 1L , 摇匀备用。
- 5.2.3.5 硫酸亚铁 ($FeSO_4$) 标准溶液: $c(FeSO_4)=0.2\text{mol/L}$ 。

称取 $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ (分析纯) 55.6g , 加水 and $c(1/2H_2SO_4)=6\text{mol/L}$ 的硫酸 30mL 溶解, 稀释定容至 1L , 摇匀备用。此溶液的准确浓度以 0.1mol/L 重铬酸钾标准溶液 (5.2.3.4) 标定, 现用现标定。

$c(FeSO_4)=0.2\text{mol/L}$ 标准溶液的标定: 吸取重铬酸钾标准溶液 (5.2.3.4) 20.00mL 加入 150mL 三角瓶中, 加浓硫酸 (5.2.3.2) $3\sim 5\text{mL}$ 和 $2\sim 3$ 滴邻啡罗啉指示剂 (5.2.3.6), 用硫酸亚铁标准溶液 (5.2.3.5) 滴定。根据硫酸亚铁标准溶液滴定时的消耗量按式 (1) 计算其准确浓度 c :

$$c = \frac{c_1 \times V_1}{V_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中 c_1 ——重铬酸钾标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_1 ——吸取重铬酸钾标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

V_2 ——滴定时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL)。

- 5.2.3.6 邻啡罗啉指示剂: 称取硫酸亚铁 (分析纯) 0.695g 和邻啡罗啉 (分析纯) 1.485g 溶于 100mL 水中, 摇匀备用。

5.2.4 测定步骤

称取过 $\phi 0.5\text{mm}$ 筛的风干试样 $0.3\sim 0.5\text{g}$ (精确至 0.0001g), 置于 500mL 的三角瓶中, 准确加入 1mol/L 重铬酸钾标准溶液 (5.2.3.3) 30.00mL , 充分摇匀后加浓硫酸 60mL , 缓缓摇动 1min , 加一弯颈小漏斗, 置于沸水中保温 30min , 每隔约 5min 摇动一次。取出冷却至室温, 用水冲洗小漏斗, 洗液承接于三角瓶中。取下三角瓶, 将反应物无损转入 250mL 容量瓶中, 定容, 吸取 50mL 溶液于 250mL 三角瓶内, 加水约 100mL , 加 $2\sim 3$ 滴邻啡罗啉指示剂 (5.2.3.6), 用 0.2mol/L 硫酸亚铁标准溶液 (5.2.3.5) 滴定近终点时, 溶液由绿色变成暗绿色, 再逐滴加入硫酸亚铁标准溶液直至生成砖红色为止。同时称取 0.2g (精确至 0.001g) 二氧化硅 (5.2.3.1) 代替试样, 按照相同分析步骤, 使用同样的试剂, 进行空白试验。

如果滴定试样所用硫酸亚铁标准溶液的用量不到空白试验所用硫酸亚铁标准溶液用量的三分之一时, 则应减少称样量, 重新测定。

5.2.5 分析结果的表述

肥料有机质含量以肥料的质量分数表示, 按式 (2) 计算:

$$\text{有机质}(\%) = \frac{c(V_0 - V) \times 0.003 \times 1.724}{m \times (1 - X_0) \times D} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中 c ——硫酸亚铁标准溶液的摩尔浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

V_0 ——空白试验时, 使用硫酸亚铁标准滴定溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

V ——测定时, 使用硫酸亚铁标准溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

0.003 ——四分之一碳原子的摩尔质量, 单位为克每摩尔 (g/mol);

1.724 ——由有机碳换算为有机质的系数;

m ——试样质量, 单位为克 (g);

X_0 ——风干试样的含水量;

D ——稀释倍数: $50/250$ 。

- 5.2.6 允许差
- 5.2.6.1 取平行分析结果的算术平均值为最终分析结果。
- 5.2.6.2 平行测定的绝对差值应符合表 2 要求。

表 2

有机质/%	绝对差值/%
<30	0.6
30~45	0.8
>45	1.0

不同实验室测定结果的绝对差值应符合表 3 要求。

表 3

有机质/%	绝对差值/%
<30	1.0
30~45	1.5
>45	2.0

5.3 全氮含量测定

5.3.1 方法原理

有机肥料中的有机氮经硫酸-过氧化氢消煮, 转化为铵态氮。碱化后蒸馏出来的氨用硼酸溶液吸收, 以标准酸溶液滴定, 计算样品中全氮含量。

5.3.2 试剂

5.3.2.1 硫酸 ($\rho 1.84$)。

5.3.2.2 30%过氧化氢。

5.3.2.3 氢氧化钠: 质量浓度为 40% 的溶液。

称取 40g 氢氧化钠 (化学纯) 溶于 100mL 水中。

5.3.2.4 硼酸: 质量浓度为 2% 的溶液。

称取 2g 硼酸溶于 100mL 约 60℃ 热水中, 冷却, 用稀碱在酸度计上调节溶液 pH=4.5。

5.3.2.5 定氮混合指示剂: 称取 0.5g 溴甲酚绿和 0.1g 甲基红溶于 100mL 95% 乙醇中。

5.3.2.6 硫酸 [$c(1/2H_2SO_4)=0.05mol/L$] 或盐酸 [$c(HCl)=0.05mol/L$] 标准溶液: 配制和标定, 按照 GB/T 601 进行。

5.3.3 仪器、设备

通常实验室用仪器设备和定氮蒸馏装置 (见图 1)。

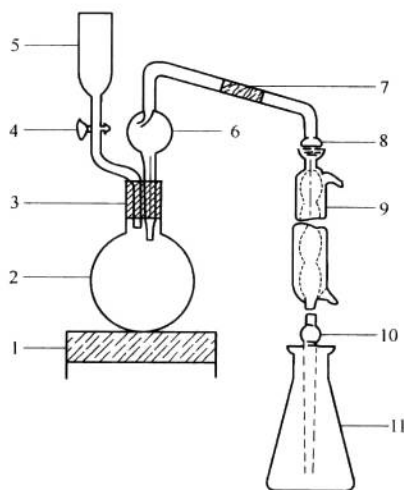


图 1 定氮蒸馏装置

- 1—电炉 (1kW); 2—蒸馏瓶 (圆底烧瓶 1000mL); 3—橡皮塞; 4—活塞;
5—筒型漏斗 (50mL); 6—定氮球; 7—橡皮管; 8—球形磨砂接口或橡皮塞; 9—冷凝管; 10—球泡; 11—接收器 (三角瓶 250mL)

5.3.4 分析步骤

5.3.4.1 试样溶液制备

称取过 $\phi 0.5mm$ 筛的风干试样 0.5g (精确至 0.0001g), 置于开氏烧瓶底部, 用少量水冲洗黏附在瓶壁上的试样, 加 5.0mL 硫酸 (5.3.2.1) 和 1.5mL 过氧化氢 (5.3.2.2), 小心摇匀, 瓶口放一弯颈小漏斗, 放置过夜。在可调电炉上缓慢升温至硫酸冒烟, 取下, 稍冷后加 15 滴过氧化氢, 轻轻摇动开氏烧瓶, 加热 10min, 取下, 稍冷后分次再加 5~10 滴过氧化氢并分次消煮, 直至溶液呈无色或淡黄色清液后, 继续加热 10min, 除尽剩余的过氧化氢。取下稍冷, 小心加水至 20~30mL, 加热至沸。取下冷却, 用少量水冲洗弯颈小漏斗, 洗液收入原开氏烧瓶中。将消煮液移入 100mL 容量瓶

中,加水定容,静置澄清或用无磷滤纸干过滤到具塞三角瓶中,备用。

5.3.4.2 空白试验

除不加试样外,试剂用量和操作同 5.3.4.1。

5.3.4.3 测定

5.3.4.3.1 蒸馏前检查蒸馏装置是否漏气,并进行空蒸馏清洗管道。

5.3.4.3.2 吸取蒸馏液 50.0mL 于蒸馏瓶内,加入 200mL 水。于 250mL 三角瓶加入 10mL 硼酸溶液 (5.3.2.4) 和 5 滴混合指示剂 (5.3.2.5) 承接于冷凝管下端,管口插入硼酸液面中。由筒型漏斗向蒸馏瓶内缓慢加入 15mL 氢氧化钠溶液 (5.3.2.3),关好活塞。加热蒸馏,待馏出液体积约 100mL,即可停止蒸馏。

5.3.4.3.3 用硫酸标准溶液或盐酸标准溶液 (5.3.2.6) 滴定馏出液,由蓝色刚变至紫红色为终点。记录消耗酸标准溶液的体积 (mL)。空白测定所消耗酸标准溶液的体积不得超过 0.1mL。

5.3.5 分析结果的表述

肥料的全氮含量以肥料的质量分数表示,按式(3)计算:

$$\text{全氮}(N) = \frac{(V - V_0) \times c \times 0.014 \times D}{m \times (1 - X_0)} \times 100\% \quad (3)$$

式中 V ——试液滴定消耗标准酸溶液的体积,单位为毫升 (mL);

V_0 ——空白滴定消耗标准酸溶液的体积,单位为毫升 (mL);

c ——酸标准溶液的浓度,单位为摩尔每升 (mol/L);

0.014——氮的摩尔质量,单位为克每摩尔 (g/mol);

D ——分取倍数,定容体积/分取体积,100/50;

m ——称取试样质量,单位为克 (g);

X_0 ——风干试样的含水量。

所得结果应表示至两位小数。

5.3.6 允许差

5.3.6.1 取两个平行测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.3.6.2 两个平行测定结果允许绝对差应符合表 4 要求。

表 4

氮(N)/%	允许差/%
<0.50	<0.02
0.50~1.00	<0.04
>1.00	<0.06

5.4 全磷含量测定

5.4.1 方法原理

有机肥料试样采用硫酸和过氧化氢消煮,在一定酸度下,待测液中的磷酸根离子与偏钒酸和钼酸反应形成黄色三元杂多酸。在一定浓度范围 [1~20mg/L; 磷 (P)] 内,黄色溶液的吸光度与含磷量呈正比例关系,用分光光度法定量磷。

5.4.2 试剂

5.4.2.1 硫酸 (相对密度 1.84)。

5.4.2.2 硝酸。

5.4.2.3 30%过氧化氢。

5.4.2.4 钒钼酸铵试剂:

A 液:称取 25.0g 钼钼酸铵溶于 400mL 水中。

B 液:称取 1.25g 偏钒酸铵溶于 300mL 沸水中,冷却后加 250mL 硝酸 (5.4.2.2),冷却。

在搅拌下将 A 液缓缓注入 B 液中,用水稀释至 1L,混匀,贮于棕色瓶中。

5.4.2.5 氢氧化钠:质量浓度为 10% 的溶液。

5.4.2.6 硫酸 (5.4.2.1):体积分数为 5% 的溶液。

5.4.2.7 磷标准溶液:50μg/mL。

称取 0.219 5g 经 105℃ 烘干 2h 的磷酸二氢钾 (优级纯),用水溶解后,转入 1L 容量瓶中,加入 5mL 硫酸 (5.4.2.1),冷却后用水定容至刻度。该溶液 1mL 含磷 (P) 50μg。

5.4.2.8 2,4-(或 2,6-) 二硝基酚指示剂:质量浓度为 0.2% 的溶液。

称取 0.2g 2,4-(或 2,6-) 二硝基酚溶于 100mL 水中 (饱和)。

5.4.2.9 无磷滤纸。

5.4.3 仪器、设备

通常实验室用仪器设备。

5.4.4 分析步骤

5.4.4.1 试样溶液制备

称取过 $\phi 0.5\text{mm}$ 筛的风干试样 $0.3\sim 0.5\text{g}$ ，按 5.3.4.1 操作制备。

5.4.4.2 空白溶液制备

除不加试样外，应用的试剂和操作同 5.4.4.1。

5.4.4.3 测定

吸取 $5.00\sim 10.00\text{mL}$ 试样溶液 (5.4.4.1) (含磷 $0.05\sim 1.0\text{mg}$) 于 50mL 容量瓶中，加水至 30mL 左右，与标准溶液系列同条件显色、比色，读取吸光度。

5.4.4.4 校准曲线绘制

吸取磷标准溶液 (5.4.2.7) $0, 1.0\text{mL}, 2.5\text{mL}, 5.0\text{mL}, 7.5\text{mL}, 10.0\text{mL}, 15.0\text{mL}$ 分别置于 7 个 50mL 容量瓶中，加入与吸取试样溶液等体积的空白溶液，加水至 30mL 左右，加 2 滴 2,4-(或 2,6-) 二硝基酚指示剂溶液 (5.4.2.8)，用氢氧化钠溶液 (5.4.2.5) 和硫酸溶液 (5.4.2.6) 调节溶液刚呈微黄色，加 10.0mL 钒钼酸铵试剂 (5.4.2.4)，摇匀，用水定容。此溶液为 1mL 含磷 (P) $0, 1.0\mu\text{g}, 2.5\mu\text{g}, 5.0\mu\text{g}, 7.5\mu\text{g}, 10.0\mu\text{g}, 15.0\mu\text{g}$ 的标准溶液系列。在室温下放置 20min 后，在分光光度计波长 440nm ① 处用 1cm 光径比色皿，以空白溶液调节仪器零点，进行比色，读取吸光度。根据磷浓度和吸光度绘制标准曲线或求出直线回归方程。

5.4.5 分析结果的表述

肥料的全磷含量以肥料的质量分数表示，按式(4)计算：

$$\text{全磷}(\text{P}_2\text{O}_5)(\%) = \frac{c \times V \times D}{m \times (1 - X_0)} \times 2.29 \times 10^{-4} \quad (4)$$

式中 c ——由校准曲线查得或由回归方程求得显色液磷浓度，单位为微克每毫升 ($\mu\text{g/mL}$)；

V ——显色体积， 50mL ；

D ——分取倍数，定容体积/分取体积， $100/5$ 或 $100/10$ ；

m ——称取试样质量，单位为克 (g)；

X_0 ——风干试样的含水量；

2.29 ——将磷 (P) 换算成五氧化二磷 (P_2O_5) 的因数；

10^{-4} ——将 $\mu\text{g/g}$ 换算为质量分数的因数。

所得结果应表示至两位小数。

5.4.6 允许差

5.4.6.1 取两个平行测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.4.6.2 两个平行测定结果允许绝对差应符合表 5 要求。

表 5

磷(P_2O_5)/%	允许差/%
<0.50	<0.02
$0.50\sim 1.00$	<0.03
>1.00	<0.04

5.5 全钾含量测定

5.5.1 方法原理

有机肥料试样经硫酸和过氧化氢消煮，稀释后用火焰光度法测定。在一定浓度范围内，溶液中钾浓度与发光强度呈正比例关系。

5.5.2 试剂

5.5.2.1 硫酸 (相对密度 1.84)。

5.5.2.2 30% 过氧化氢。

① 波长的选择可根据磷浓度：

磷浓度 (mg/L):	$0.75\sim 5.5$	$2\sim 15$	$4\sim 17$	$7\sim 20$
波长 (nm):	400	440	470	490

5.5.2.3 钾标准储备溶液: 1mg/mL。

称取 1.906 7g 经 100℃ 烘 2h 的氯化钾, 用水溶解后定容至 1L。该溶液 1mL 含钾 (K) 1mg, 贮于塑料瓶中。

5.5.2.4 钾标准溶液: 100μg/mL。

吸取 10.00mL 钾 (K) 标准储备溶液 (5.5.2.3) 于 100mL 容量瓶中, 用水定容, 此溶液 1mL 含钾 (K) 100μg。

5.5.3 仪器、设备

通常实验室用仪器设备。

5.5.4 分析步骤

5.5.4.1 试样溶液制备

按 5.3.4.1 制备。

5.5.4.2 空白溶液制备

除不加试样外, 应用的试剂和操作同 5.5.4.1。

5.5.4.3 测定

吸取 5.00mL 试样溶液 (5.5.4.1) 于 50mL 容量瓶中, 用水定容。与标准溶液系列同条件在火焰光度计上测定, 记录仪器示值。每测量 5 个样品后须用钾标准溶液校正仪器。

5.5.4.4 校准曲线绘制

吸取钾标准溶液 (5.5.2.4) 0, 2.50mL, 5.00mL, 7.50mL, 10.00mL 分别置于 5 个 50mL 容量瓶中, 加入与吸取试样溶液等体积的空白溶液, 用水定容, 此溶液为 1mL 含钾 (K) 0, 5.00μg, 10.00μg, 15.00μg, 20.00μg 的标准溶液系列。在火焰光度计上, 以空白溶液调节仪器零点, 以标准溶液系列中最高浓度的标准溶液调节满度至 80 分度处。再依次由低浓度至高浓度测量其他标准溶液, 记录仪器示值。根据钾浓度和仪器示值绘制校准曲线或求出直线回归方程。

5.5.5 分析结果的表述

肥料的全钾含量以肥料的质量分数表示, 按式(5) 计算:

$$\text{全钾}(\text{K}_2\text{O})(\%) = \frac{c \times V \times D}{m \times (1 - X_0)} \times 1.20 \times 10^{-4} \quad (5)$$

式中 c ——由校准曲线查得或由回归方程求得测定液钾浓度, 单位为微克每毫升 (μg/mL);

V ——测定体积, 本操作为 50mL;

D ——分取倍数, 定容体积/分取体积, 100/5;

m ——称取试样质量, 单位为克 (g);

X_0 ——风干试样的含水量;

1.20——将钾 (K) 换算成氧化钾 (K_2O) 的因数;

10^{-4} ——将 μg/g 换算为质量分数的因数。

所得结果应表示至两位小数。

5.5.6 允许差

5.5.6.1 取两个平行测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.5.6.2 两个平行测定结果允许绝对差应符合表 6 要求。

表 6

钾(K_2O)/%	允许差/%
<0.60	<0.05
0.6~1.20	<0.07
1.20~1.80	<0.09
>1.80	<0.12

5.6 水分含量测定 (真空烘箱法)

按 GB/T 8576 进行, 分别测定鲜样含水量、风干样含水量 (X_0)。

5.7 酸碱度的测定 (pH 计法)

5.7.1 方法原理

试样经水浸泡平衡, 直接用 pH 酸度计测定。

5.7.2 仪器

通常实验室用仪器和 pH 酸度计。

5.7.3 试剂和溶液

5.7.3.1 pH4.01 标准缓冲液: 称取经 110℃ 烘 1h 的邻苯二甲酸氢钾 ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 10.21g, 用水溶解, 稀释定容至 1L。

5.7.3.2 pH 6.87 标准缓冲液：称取经 120℃ 烘 2h 的磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 3.398g 和经 120~130℃ 烘 2h 的无水磷酸氢二钠 (Na_2HPO_4) 3.53g，用水溶解，稀释定容至 1L。

5.7.3.3 pH9.18 标准缓冲液：称取硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)（在盛有蔗糖和食盐饱和溶液的干燥器中平衡一周）3.8g，用水溶解，稀释定容至 1L。

5.7.4 操作步骤

称取试样 5.0g 于 100mL 烧杯中，加 50mL 水（经煮沸驱除二氧化碳），搅动 15min，静置 30min，用 pH 酸度计测定。

5.7.5 允许差

取平行分析结果的算术平均值为最终分析结果，保留一位小数。平行分析结果的绝对差值不大于 0.2 pH 单位。

5.8 重金属含量、蛔虫卵死亡率和大肠杆菌值的测定

按 GB 8172 进行。

6 检验规则

6.1 本标准中质量指标合格判断，采用 GB/T 1250 中“修约值比较法”。

6.2 有机肥料应由生产企业质量监督部门进行检验，生产企业应保证所有出厂的有机肥料均符合本标准 4.1 和 4.2 的要求。每批出厂的产品应附有质量证明书，其内容包括：企业名称、产品名称、批号、产品净重、养分总含量、生产日期和本标准号。

6.3 重金属含量、蛔虫卵死亡率和大肠杆菌值为型式校验项目，有下列情况时应检测：

- 正式生产时，原料、工艺发生变化；
- 正式生产时，定期或积累到一定量后，应周期性进行一次检验；
- 国家质量监督机构提出型式检验的要求时。

6.4 如果检验结果中有一项指标不符合本标准的要求时，应重新自二倍量的包装袋中选取有机肥料样品进行复验；重新检验结果，即使有一项指标不符合本标准的要求时，则整批肥料作不合格处理。

6.5 采样

6.5.1 抽样方法

商品有机肥料产品抽样方法见表 7。

表 7 有机肥料产品抽样方法

总袋数	取样袋数	总袋数	取样袋数	总袋数	取样袋数
1~10	全部袋数	102~125	15	255~296	20
11~49	11	126~151	16	297~343	21
50~64	12	152~181	17	344~394	22
65~81	13	182~216	18	395~450	23
82~101	14	217~254	19	451~512	24

总袋数超过 512 袋时，取样袋数按式(6) 计算：

$$\text{取样袋数} = 3 \times \sqrt[3]{N} \dots\dots\dots (6)$$

式中 N ——每批取样总袋数。

将抽出的样品袋平放，每袋从最长对角线插入取样器到四分之三处，取不少于 100g 样品，每批抽取样品总量不少于 2kg。

6.5.2 散装产品

散装产品取样时，按 GB/T 6679 规定进行。

6.5.3 样品缩分

将选取的样品迅速混匀，用四分法将样品缩分到 1000g，分装于三个干净的广口瓶中，密封、贴上标签，注明生产企业名称、产品名称、批号、取样日期、取样人姓名，一瓶供物理分析，一瓶风干，一瓶保存 2 个月，以备查用。

7 包装、标识、运输和贮存

7.1 有机肥料用覆膜编织袋或塑料编织袋衬聚乙烯内袋包装。每袋净含量 (50±0.5)kg、(40±0.4)kg、(25±0.25)kg，平均每袋净含量不得低于 50.0kg、40.0kg、25.0kg。

7.2 有机肥料包装上应注明：产品名称、商标、有机质含量、总养分含量、净重、标准号、登记证号、企业名称、厂址。其余按 GB 18382 执行。

7.3 有机肥料应贮存于阴凉干燥处，在运输过程中应防潮、防晒、防破裂。

附录 15 有机-无机复混肥料（NY 481—2002）

1 范围

本标准规定了有机-无机复混肥料的技术要求、试验方法、检验规则、标识、包装、运输和储存。
本标准适用于以畜禽粪便、动植物残体等有机物料为主要原料，经发酵腐熟处理，添加无机肥料制成的有机-无机复混肥料。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 1250 极限数值的表示方法和判定方法
- GB/T 6679 固体化工产品采样通则
- GB 8172 城镇垃圾农用控制标准
- GB 8569 固体化学肥料包装
- GB/T 8571 复混肥料 实验室样品制备
- GB/T 8573 复混肥料中有效磷含量测定
- GB/T 8576 复混肥料中游离水含量测定 真空烘箱法
- GB 15063 复混肥料（复合肥料）
- GB/T 17767.1 有机-无机复混肥料中总氮含量的测定
- GB/T 17767.3 有机-无机复混肥料中总钾含量的测定
- GB 18382 肥料标识 内容和要求
- HG/T 2843 化肥产品 化学分析中常用标准滴定溶液、标准溶液、试剂溶液和指示剂溶液

3 术语和定义

GB/T 6274 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。
有机-无机复混肥料 Organic-Inorganic Compound Fertilizer 来源于标明养分的有机和无机物质的产品，由有机和无机肥料混合和（或）化合制成。

4 要求

- 4.1 外观：粒状或粉状产品，无机械杂质，无恶臭。
- 4.2 有机-无机复混肥料技术指标应符合表 1 要求。

表 1 有机-无机复混肥料技术指标

项 目		指 标	
		I	II
总养分[N+有效(P ₂ O ₅)+(K ₂ O)]/%	≥	20.0	15.0
有机质/%	≥	15	20
水分(H ₂ O)/%	≤	12	14
酸碱度(pH)		5.5~8.0	

注：组成产品的单一养分含量不得低于 2.0%，且单一养分测定值与标明值负偏差的绝对值不得大于 1.5%。

- 4.3 有机-无机复混肥料中重金属含量、蛔虫卵死亡率和大肠菌值指标应符合 GB 8172 的要求。

5 试验方法

本标准中所用试剂、水和溶液的配制，在未注明规格和配制方法时，均应符合 HG/T 2843 之规定。

- 5.1 外观
目视法测定。
- 5.2 总氮含量测定
按 GB/T 17767.1 规定进行。

5.3 有效磷含量测定

按 GB/T 8573 规定进行。

5.4 总钾含量测定

按 GB/T 17767.3 规定进行。

5.5 水分测定 真空烘箱法

按 GB/T 8576 规定进行。

5.6 有机质含量测定 重铬酸钾容量法

5.6.1 原理

用定量的重铬酸钾-硫酸溶液,在加热条件下,使有机-无机复混肥料中的有机碳氧化,剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁标准溶液滴定,同时以二氧化硅为添加物做空白试验。根据氧化前后氧化剂消耗量,计算有机碳量,乘以系数 1.724,为有机质含量。

5.6.2 试剂和材料

5.6.2.1 二氧化硅:粉末状。

5.6.2.2 硫酸(相对密度 1.84)。

5.6.2.3 邻菲罗啉指示剂:称取 1.485g 邻菲罗啉和 0.695g 硫酸亚铁溶于 100mL 水,贮于棕色瓶中。

5.6.2.4 重铬酸钾-硫酸溶液: $c(1/6K_2Cr_2O_7)=0.5\text{mol/L}$ 。

称取重铬酸钾 49.03g 溶于 600~800mL 水中,加水稀释至 1L,将溶液移入 3L 大烧杯中。另取 1L 浓硫酸缓慢加入重铬酸钾溶液内,并不断搅拌。为避免溶液急剧升温,将大烧杯放在盛有冷水的盆内冷却,每加约 100mL 硫酸后稍停片刻,待溶液温度降到不烫手时再加另一部分硫酸。

5.6.2.5 重铬酸钾标准溶液: $c(1/6K_2Cr_2O_7)=0.4000\text{mol/L}$;

称取经 130℃ 干燥 2~3h 的重铬酸钾(优级纯) 19.612g,先用少量水溶解,然后无损移入 1L 容量瓶中,定容混匀。

5.6.2.6 硫酸亚铁标准溶液:

称取硫酸亚铁($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 112g,溶于 800mL 水中,加硫酸(5.6.2.2) 20mL,慢慢加入硫酸亚铁溶液内,用水稀释至 1L(必要时过滤),混匀贮于棕色瓶中。此溶液易被空气氧化,每次使用时必须用重铬酸钾标准溶液标定其准确浓度。

标定:吸取重铬酸钾标准溶液(5.6.2.5) 20mL 于 250mL 三角瓶中,加硫酸(5.6.2.2) 5mL,加水 50~60mL,加邻菲罗啉指示剂 5 滴。用硫酸亚铁标准溶液滴定至溶液由橙黄色转为蓝绿色,最后变为棕红色为终点,根据硫酸亚铁溶液的消耗量,计算其准确浓度 c_2 :

$$c_2 = \frac{c_1 \times V_1}{V_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中 c_1 ——重铬酸钾标准溶液的浓度,单位为摩尔每升 (mol/L);

V_1 ——吸取重铬酸钾标准溶液的体积,单位为毫升 (mL);

V_2 ——滴定时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积,单位为毫升 (mL)。

5.6.3 仪器

通常实验室用仪器和水浴锅。

5.6.4 分析步骤

5.6.4.1 按 GB/T 8571 规定制备实验室样品,并研磨至通过 0.5mm 筛。称取试样 0.05~0.5g (精确至 0.0001g) (称样量的多少取决于有机质含量的高低) 放入 250mL 三角瓶中,准确加入重铬酸钾-硫酸溶液(5.6.2.4) 25.0mL。充分摇匀后加一弯颈小漏斗,置于沸水中保温 30min,每隔约 5min 摇动一次。取出冷却至室温,用水冲洗小漏斗,洗液承接于三角瓶中,加水至 120mL,加 6 滴邻菲罗啉指示剂(5.6.2.3),用硫酸亚铁标准溶液(5.6.2.6) 滴定至棕红色。同时用二氧化硅(5.6.2.1) 代替试样,按照相同分析步骤,使用同样的试剂,进行空白试验。

如果滴定试样所用硫酸亚铁标准溶液的用量不到空白试验所用硫酸亚铁标准溶液用量的 1/3 时,则应减少称样量,重新测定。

5.6.4.2 氯离子含量的测定:按 GB 15063—2001 中 5.7 的规定测定氯离子含量 c_3 (%)。

5.6.5 分析结果的计算和表述

5.6.5.1 计算

有机质含量 X 以质量百分数 (%) 表示,按式 (2) 计算:

$$X = \left[\frac{(V_0 - V) \times c_2 \times 0.003}{m} \times 100 - c_3 \times 0.0847 \right] \times 1.724 \dots\dots\dots (2)$$

式中 V_0 ——空白试验时,消耗硫酸亚铁标准溶液的体积, mL;

V ——样品测定时,消耗硫酸亚铁标准溶液的体积, mL;

c_2 ——硫酸亚铁标准溶液的浓度, mol/L;

c_3 ——氯离子含量, %;

0.003——1/4 碳原子的摩尔质量, mol/L;

1.724——由有机碳换算为有机质的系数;

0.0847——氯离子换算为碳的换算系数;

m ——试样的质量, g。

取平行测定结果的算术平均值作为测定结果。

5.6.5.2 允许差

平行测定结果的绝对差值不大于 0.6%;

不同实验室测定结果的绝对差值不大于 1.2%。

5.7 酸碱度的测定 pH 酸度计法

5.7.1 原理

样品经水浸泡平衡, 用 pH 酸度计测定。

5.7.2 试剂和溶液

5.7.2.1 pH4.01 标准缓冲溶液: 称取在 105℃ 烘过的苯二甲酸氢钾 ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 10.21g 用水溶解稀释至 1L。

5.7.2.2 pH6.87 标准缓冲溶液: 称取烘过的磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 3.398g 和无水磷酸氢二钠 (Na_2HPO_4) 3.53g (120~130℃ 烘 2h) 溶于水中稀释至 1L。

5.7.2.3 pH9.18 标准缓冲溶液: 称取硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 溶于水中稀释至 1L。

5.7.3 仪器

通常实验室用仪器和 pH 酸度计。

5.7.3.1 pH 酸度计

5.7.4 操作步骤

称取新鲜样品 10.00g 于 100mL 烧杯中, 加 50mL 无二氧化碳的水, 搅动 1min, 静置 30min, 用 pH 酸度计测定。测定前, 用标准缓冲溶液对酸度计进行校验, 每测定 10 个样品后, 用标准缓冲溶液进行复校一次。

取平行测定结果的算术平均值为测定结果。

5.7.5 允许差

平行测定结果的绝对差值不大于 0.2pH 单位。

6 检验规则

6.1 本标准中产品质量指标合格判断, 采用 GB/T 1250 中“修约值比较法”。

6.2 产品应由企业质量监督部门进行检验, 生产企业应保证所有出厂的产品均符合本标准的要求。每批出厂的产品应附有质量证明书, 其内容包括: 生产企业名称、地址、产品名称、批号或生产日期、产品净含量、总养分含量以及分别标明氮、有效磷、钾、有机质含量及本标准编号。

6.3 用户有权按本标准规定的检验规则和检验方法对所收到的产品进行检验, 检验其质量指标是否符合本标准要求。

6.4 如果检验结果中有一项指标不符合本标准要求时, 应重新自二倍量的包装袋中采取样品进行复验, 复验结果即使有一项指标不符合本标准要求时, 则整批产品不能验收。

6.5 产品按批检验, 以一天或两天的产量为一批, 最大批量为 500t。

6.6 袋装产品按表 2 取样, 超过 512 袋时, 按式(3) 计算结果取样, 计算结果如遇小数时, 则进为整数。

表 2 取样袋数

总袋数	最少采样袋数	总袋数	最少采样袋数
1~10	全部袋数	182~216	18
11~49	11	217~254	19
50~64	12	255~296	20
65~81	13	297~343	21
82~101	14	344~394	22
102~125	15	395~450	23
126~151	16	451~512	24
152~181	17		

$$\text{采样袋数} = 3 \times \sqrt[3]{N} \dots\dots\dots (3)$$

式中 N ——每批产品总袋数。

按表 2 或式 (3) 计算结果, 随即抽取一定袋数, 用取样器从每袋从最长对角线插入至袋四分之三处, 取出不少于

100g 样品, 每批抽取总样品量不少于 2kg。

6.7 散装产品按 GB/T 6679 规定进行采样。

6.8 样品缩分: 将所采取的样品迅速混匀, 用缩分器或四分法将样品缩分至约 1kg, 分装于两个洁净、干燥具有磨口塞的广口瓶或聚乙烯瓶中, 密封并贴上标签, 注明生产企业名称、产品名称、批号、取样日期、取样人姓名, 一瓶做产品质量分析, 另一瓶保存二个月, 以备查用。

7 标识

包装标识执行 GB 18382, 应标明有机质含量和产品登记证号。如产品中氯离子含量大于 3.0%, 应在包装容器上标明“含氯”。

包装、运输和储存

包装按 GB 8569 执行, 产品应储存于阴凉干燥处, 在运输过程中应防潮、防晒、防破裂。

附录 16 生物有机肥（NY 884—2004）

1 范围

本标准规定了生物有机肥的要求、检验方法、检验规则、标识、包装、运输和贮藏。
本标准适用于生物有机肥。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 8170—87 数值修约规则
- GB 18877—2002 有机-无机复混肥料
- GB/T 1250—89 极限数值的表述方法和判定方法
- GB/T 19524.1—2004 肥料中粪大肠菌群的测定
- GB/T 19524.2—2004 肥料中蛔虫卵死亡率的测定
- NY 525—2002 有机肥料
- NY/T 798—2004 复合微生物肥料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

生物有机肥 指特定功能微生物与主要以动植物残体（如畜禽粪便、农作物秸秆等）为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥效应的肥料。

4 要求

- 4.1 菌种
使用的微生物菌种应安全、有效，有明确来源和种名。
- 4.2 外观（感官）：粉剂产品应松散、无恶臭味；颗粒产品应无明显机械杂质、大小均匀、无腐败味。
- 4.3 技术指标
生物有机肥产品的各项技术指标应符合表 1 的要求。

表 1 生物有机肥产品技术要求

项 目	剂 型	
	粉 剂	颗 粒
有效活菌数/(亿 CFU/g)	≥ 0.20	0.20
有机质(以干基计)/%	≥ 25.0	25.0
水分/%	≤ 30.0	15.0
pH 值	5.5~8.5	5.5~8.5
粪大肠菌群数/[个/g(mL)]	≤	100
蛔虫卵死亡率/%	≥	95
有效期/月	≥	6

- 4.4 生物有机肥产品中 As、Cd、Pb、Cr、Hg 含量指标应符合 NY/T 798—2004 中 4.2.3 的规定。
- 4.5 若产品中加入无机养分，应明示产品中总养分含量，以（N+P₂O₅+K₂O）总量表示。

5 抽样方法

对每批产品进行抽样检验，抽样过程应避免杂菌污染。

5.1 抽样工具

抽样前预先备好无菌塑料袋(瓶)、金属勺、剪刀、抽样器、封样袋、封条等工具。

5.2 抽样方法和数量

在产品库中抽样,采用随机法抽取。

抽样以袋为单位,随机抽取5~10袋。在无菌条件下,从每袋中取样200~300g,然后将所有样品混匀,按四分法分装3份,每份不少于500g。

6 试验方法

6.1 外观

用目测法测定:取少量样品放在白色搪瓷盘(或白色塑料调色板)中,仔细观察样品的形状、质地,应符合4.2的要求。

6.2 有效活菌数测定

应符合NY/T 798—2004中5.3.2的规定。

6.3 有机质的测定

应符合NY 525—2002中5.2的规定。

6.4 水分测定

应符合NY/T 798—2004中5.3.5的规定。

6.5 pH值测定

应符合NY/T 798—2004中5.3.7的规定。

6.6 粪大肠菌群数的测定

应符合GB/T 19524.1—2004的规定。

6.7 蛔虫卵死亡率的测定

应符合GB/T 19524.2—2004的规定。

6.8 As、Cd、Pb、Cr、Hg的测定

应符合GB 18877—2002中5.12~5.17的规定。

6.9 N+P₂O₅+K₂O含量测定

应符合NY 525—2002中5.3~5.5的规定。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 出厂检验(交收检验)

产品出厂时,应由生产厂的质量检验部门按表1进行检验,检验合格并签发质量合格证的产品方可出厂。出厂检验时不检有效期。

7.1.2 型式检验(例行检验)

一般情况下,一个季度进行一次。有下列情况之一者,应进行型式检验。

- 新产品鉴定;
- 产品的工艺、材料等有较大更改与变化;
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- 国家质量监督机构进行抽查。

7.2 判定规则

本标准中产品技术指标的数字修约应符合GB 8170的规定;产品质量合格判定应符合GB/T 1250中修约值比较法的规定。

具下列任何一条款者,均为合格产品:

- 产品全部技术指标都符合标准要求;
- 在产品的外观、pH值、水分检测项目中,有1项不符合标准要求,而产品其它各项指标符合标准要求。

具下列任何一条款者,均为不合格产品:

- 产品中有效活菌数不符合标准要求;
- 有机质含量不符合标准要求;
- 粪大肠菌群数不符合标准要求;
- 蛔虫卵死亡率不符合标准要求;
- As、Cd、Pb、Cr、Hg中任一含量不符合标准要求;
- 产品的外观、pH值、水分检测项目中,有2项以上不符合标准要求。

8 标识、包装、运输和贮藏

生物有机肥的标识、包装、运输和贮藏应符合NY/T 798—2004中第7章的规定。

附录 17 复合微生物肥料（NY/T 798—2004）

1 范围

本标准规定了复合微生物肥料的定义、要求、试验方法、检验规则、标志、包装运输及储存。

本标准适用于复合微生物肥料。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 8170—87	数值修约规则
GB 18877—2002	有机-无机复混肥料
GB/T 1250—89	极限数值的表示方法和判定方法
GB/T 19524.1—2004	肥料中粪大肠菌群的测定
GB/T 19524.2—2004	肥料中蛔虫卵死亡率的测定
NY 525—2002	有机肥料

3 术语和定义

复合微生物肥料是指特定微生物与营养物质复合而成，能提供、保持或改善植物营养，提高农产品产量或改善农产品品质的活体微生物制品。

4 要求

4.1 菌种

使用的微生物应安全、有效。生产者须提供菌种的分类鉴定报告，包括属及种的学名、形态、生理生化特性及鉴定依据等完整资料，以及菌种安全性评价资料。采用生物工程菌，应具有获准允许大面积释放的生物安全性有关批文。

4.2 成品技术指标

4.2.1 外观（感官）：产品按剂型分为液体、粉剂和颗粒型。粉剂产品应松散；颗粒产品应无明显机械杂质、大小均匀，具有吸水性。

4.2.2 复合微生物肥料产品技术指标见表 1。

表 1 复合微生物肥料产品技术指标

项 目	剂 型		
	液 体	粉 剂	颗 粒
有效活菌数 ^① /[亿 CFU/g(mL)]	≥ 0.50	0.20	0.20
总养分(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)/%	≥ 4.0	6.0	6.0
杂菌率/%	≤ 15.0	30.0	30.0
水分/%	≤ —	35.0	20.0
pH 值	3.0~8.0	5.0~8.0	5.0~8.0
细度/%	≥ —	80.0	80.0
有效期 ^② /月	≥ 3	6	

① 含两种以上微生物的复合微生物肥料，每一种有效菌的数量不得少于 0.01 亿 CFU/g（mL）；

② 此项仅在监督部门或仲裁双方认为有必要时才检测。

4.2.3 复合微生物肥料产品中无害化指标见表 2。

表 2 复合微生物肥料产品无害化指标

参 数		标准极限
粪大肠菌群数/[个/g(mL)]	≤	100
蛔虫卵死亡率/%	≥	95
砷及其化合物(以 As 计)/(mg/kg)	≤	75
镉及其化合物(以 Cd 计)/(mg/kg)	≤	10
铅及其化合物(以 Pb 计)/(mg/kg)	≤	100
铬及其化合物(以 Cr 计)/(mg/kg)	≤	150
汞及其化合物(以 Hg 计)/(mg/kg)	≤	5

5 试验方法

5.1 仪器设备

- 5.1.1 生物显微镜;
- 5.1.2 恒温培养箱;
- 5.1.3 恒温干燥箱;
- 5.1.4 超净工作台或洁净室;
- 5.1.5 电子天平(或精密天平,下同);
- 5.1.6 摇床;
- 5.1.7 蒸汽灭菌锅;
- 5.1.8 试验筛;
- 5.1.9 酸度计。

5.2 试剂

方法中所用的试剂,在未注明其它规格时,均指分析纯(A.R.)。

5.2.1 无离子水、无菌水(或生理盐水,下同)、蒸馏水。

5.2.2 检测用培养基:根据所测微生物的种类选用适宜的培养基。

5.3 产品参数的检测

5.3.1 外观(感官)的测定

取少量样品放到白色搪瓷盘(或白色塑料调色板)中,仔细观察样品的颜色、形状、质地。

5.3.2 有效活菌数的测定

5.3.2.1 系列稀释

称取固体样品 10g(精确到 0.01g),加入带玻璃珠的 100mL 的无菌水中(液体样品用无菌吸管取 10.0mL 加入 90mL 的无菌水中),静置 20min,在旋转式摇床上 200r/min 充分振荡 30min,即成母液菌悬液(基础液)。

用 5mL 无菌移液管分别吸取 5.0mL 上述母液菌悬液加入 45mL 无菌水中,按 1:10 进行系列稀释,分别得到 1:1×10¹, 1:1×10², 1:1×10³, 1:1×10⁴……稀释的菌悬液(每个稀释度应更换无菌移液管)。

5.3.2.2 加样及培养

每个样品取 3 个连续适宜的稀释度,用 0.5mL 无菌移液管分别吸取不同稀释度菌悬液 0.1mL,加至预先制备好的固体培养基平板上,分别用无菌玻璃刮刀将不同稀释度的菌悬液均匀地涂于琼脂表面。

每一稀释度重复 3 次,同时以无菌水作空白对照,于适宜的条件下培养。

5.3.2.3 菌落识别

根据所检测菌种的技术资料,每个稀释度取不同类型的代表菌落通过涂片、染色、镜检等技术手段确认有效菌。当空白对照培养皿出现菌落数时,检测结果无效,应重做。

5.3.2.4 菌落计数

以出现 20~300 个菌落数的稀释度的平板为计数标准(丝状真菌为 10~150 个菌落数),分别统计有效活菌数目和杂菌数目。当只有一个稀释度,其有效菌平均菌落数在 20~300 之间时,则以该菌落数计算。若有两个稀释度,其有效菌平均菌落数均在 20~300 之间时,应按两者菌落总数之比值(稀释度大的菌落总数×10 与稀释度小的菌落总数之比)决定,若其比值小于等于 2 应计算两者的平均数;若大于 2 则以稀释度小的菌落平均数计算。有效活菌数按式(1)计算,同时计算杂菌数:

$$n_m = \bar{x} k v_1 / (m_0 v_2) \times 10^{-8} \quad \text{或} \quad n_v = \bar{x} k v_1 / (v_0 v_2) \times 10^{-8} \dots\dots\dots (1)$$

式中 n_m ——质量有效活菌数,亿 CFU/g;

n_v ——体积有效活菌数,亿 CFU/mL;

\bar{x} ——有效菌落平均数,个;

k ——稀释倍数;

- v_1 ——基础液体积, mL;
 v_2 ——菌悬液加入量, mL;
 v_0 ——样品量, mL;
 m_0 ——样品量, g。

5.3.3 霉菌杂菌数的测定

采用马丁培养基, 测定方法同 5.3.2。

5.3.4 杂菌率的计算

除样品有效菌外其它的菌均为杂菌(包括霉菌杂菌)。样品中杂菌率按式(2)计算:

$$m = n_1 / (n_1 + n) \times 100 \quad (2)$$

式中 m ——样品杂菌率, %

- n_1 ——杂菌数, 亿 CFU/g (mL);
 n ——有效活菌数, 亿 CFU/g (mL)。

5.3.5 水分的测定

将空铝盒置于干燥箱中 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 烘干 0.5h, 冷却后称量记录空铝盒的质量。然后称取 2 份平行样品, 每份 20g (精确到 0.01g), 分别加入铝盒中并记录质量。将装好样品的铝盒置于干燥箱中 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 下烘干 4~6h。取出置于干燥器中冷却 20min 后进行称量。水分含量按式(3)计算(结果为两次测定的平均值):

$$w = (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \times 100 \quad (3)$$

式中 w ——样品水分含量, %;

- m_0 ——空铝盒的质量, g;
 m_1 ——样品和铝盒的质量, g;
 m_2 ——烘干后样品和铝盒的质量, g。

5.3.6 细度的测定

5.3.6.1 粉剂样品

称取样品 50g (精确到 0.1g), 放入 300mL 烧杯中, 加 200mL 水浸泡 10~30min 后倒入孔径 2.0mm 的试验筛中, 然后用水冲洗, 并用刷子轻轻地刷筛面上的样品, 直至筛下流出清水为止。将试验筛连同筛上样品放入干燥箱中, 在 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 烘干 4~6h。冷却后称量筛上样品质量。样品细度按式(4)计算:

$$s = \{1 - m_1 / [m_0(1 - w)]\} \times 100 \quad (4)$$

式中 s ——筛下样品质量分数, %;

- m_0 ——样品质量, g;
 w ——样品含水量, %;
 m_1 ——筛上干样品质量, g。

5.3.6.2 颗粒样品

称取样品 50g (精确到 0.1g), 将两个不同孔径的试验筛 (1.0mm 和 4.75mm) 摞在一起放在底盘上(大孔径试验筛放在上面)。样品倒入大孔径试验筛内, 筛样品。然后称小孔径试验筛上的样品质量, 颗粒细度按式(5)计算:

$$g = (m_1 / m_0) \times 100\% \quad (5)$$

式中 g ——样品质量分数, %;

- m_1 ——小孔径试验筛上样品质量, g;
 m_0 ——样品质量, g。

5.3.7 pH 值的测定

打开酸度计电源预热 30min, 用标准溶液校准。

pH 值的测定, 每个样品重复三次, 计算三次的平均值。

5.3.7.1 液体样品

用量筒取 40mL 样品放入 50mL 的烧杯中, 直接用酸度计测定, 仪器读数稳定后记录。

5.3.7.2 粉剂样品

称取样品 15g, 放入 50mL 的烧杯中, 按 1:2 (样品: 无离子水) 的比例将无离子水加到烧杯中 [如果样品含水量低, 可根据基质类型按 1: (3~5) 的比例加无离子水], 搅拌均匀。然后静置 30min, 测样品悬液的 pH 值, 仪器读数稳定后记录。

5.3.7.3 颗粒样品

样品先研碎过 1.0mm 试验筛, 按照 5.3.7.2 的方法测定。

5.4 $\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$ 含量的测定

应符合 NY 525—2002 中 5.3~5.5 的规定。

5.5 粪大肠菌群数的测定

应符合 GB/T 19524.1—2004 中的规定。

5.6 蛔虫卵死亡率的测定

应符合 GB/T 19524.2—2004 中的规定。

5.7 As、Cd、Pb、Cr、Hg 的测定

应符合 GB 18877—2002 中 5.12~5.17 的规定。

6 检验规则

本标准中产品技术指标的数字修约应符合 GB 8170—1987 的规定；产品质量指标合格判定应符合 GB/T 1250—1989 中修约值比较法的规定。

6.1 抽样

按每一发酵罐菌液（或每批固体发酵）加工成的产品为一批，进行抽样检验，抽样过程严格避免杂菌污染。

6.1.1 抽样工具

无菌塑料袋（瓶），金属勺、抽样器、量筒、牛皮纸袋、胶水、抽样封条及抽样单等。

6.1.2 抽样方法和数量

一般在成品库中抽样，采用随机法抽取。

随机抽取 5~10 袋（桶），在无菌条件下，每袋（桶）取样 500g（mL），然后将抽取样品混匀，按四分法分装 3 袋（瓶），每袋（瓶）不少于 500g（mL）。

6.2 判定规则

6.2.1 具下列任何一条款者，均为合格产品。

- a. 检验结果各项技术指标均符合标准要求的产品；
- b. 在 pH 值、水分、细度、外观等检测项目中，有一项不符合技术指标，而其它各项符合指标要求的产品。

6.2.2 具下列任何一条款者，均为不合格产品。

- a. 有效活菌数不符合技术指标；
- b. 杂菌率不符合技术指标；
- c. 在 pH 值、水分、细度、外观等检测项目中，有二项以上（含）不符合技术指标；
- d. 有效养分含量不符合技术指标；
- e. 粪大肠菌群值不符合技术指标；
- f. 蛔虫卵死亡率不符合技术指标；
- g. As、Cd、Pb、Cr、Hg 中任一含量不符合技术指标。

7 包装、标识、运输和储存

7.1 包装

根据不同产品剂型选择适当的包装材料、容器、形式和方法，以满足产品包装的基本要求。

产品包装中应有产品合格证和使用说明书，在使用说明书中标明使用范围、方法、用量及注意事项等内容。

7.2 标识

标识所标注的内容，应符合国家法律、法规的规定。

7.2.1 产品名称及商标

应标明国家标准、行业标准已规定的产品通用名称，商品名称或者有特殊用途的产品名称，可在产品通用名下以小 1 号字体予以标注。

国家标准、行业标准对产品通用名称没有规定的，应使用不会引起用户、消费者误解和混淆的商品名称。

企业可以标注经注册登记的商标。

7.2.2 产品规格

应标明产品在每一个包装物中的净重，并使用国家法定计量单位。标注净重的误差范围不得超过其明示量的 $\pm 5\%$ 。

7.2.3 产品执行标准

应标明产品所执行的标准编号。

7.2.4 产品登记证号

应标明有效的产品登记证号。

7.2.5 生产者名称、地址。

应标明经依法登记注册并能承担产品质量责任的生产者名称、地址、邮政编码和联系电话。进口产品可以不标生产者的名称、地址，但应当标明该产品的原产地（国家/地区），以及代理商或者进口商或者销售商在中国依法登记注册的名称和地址。

7.2.6 生产日期或生产批号

应在生产合格证或产品包装上标明产品的生产日期或生产批号。

7.2.7 保质期

用“保质期____个月（或年）”表示。

7.3 运输

运输过程中有遮盖物，防止雨淋、日晒及高温。气温低于0℃时采取适当措施，以保证产品质量。轻装轻卸，避免包装破损。严禁与对微生物肥料有毒、有害的其它物品混装、混运。

7.4 储存

产品应储存在阴凉、干燥、通风的库房内，不得露天堆放，以防日晒雨淋，避免不良条件的影响。

附录 18 出口有机肥、骨粒（粉）检验规程（SN/T 1049—2002）

1 范围

本标准规定了粉状、颗粒状出口有机肥、骨粒（粉）的取样、品质检验方法及结果判断。

本标准适用于各类骨粒、骨粉及用骨粒（粉）与油菜籽饼粉混合而制成的有机肥。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 6437—86 饲料总磷量测定方法

GB/T 8170—87 数值修约规则

SN/T 0188—93 进出口商品重量鉴定规程 衡器鉴重

SN 0331—94 出口畜产品炭疽杆菌检验方法

SN/T 0512—1995 出口动物性肥料和饲料检验规程

ISO 771: 1977 油籽渣中水分和挥发物含量的测定

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 外观

本批有机肥、骨粒（粉）的色泽和洁净程度。

3.2 粒度

按本检验规程测得本品颗粒的大小规格。

3.3 水分

按本检验规程测得本品水分含量的百分率。

3.4 批和批量

以一次交货的同一标记、同一规格产品为一批。构成一批有机肥或骨粒（粉）的数量为批量。

4 抽样

抽样前应对照报验单及合同、信用证等单证，核实品名、批号、标记、数量、堆存地点等项无误后，检验包装，确认符合要求，再行抽样。

4.1 检验批

作为一个检验批次抽样的有机肥或骨粒（粉），应是报验单上所列同一发货人向同一收货人交货的同种类、同规格、同质量、品质均匀的本品，掌握数量不超过 2500 件。

4.2 袋装堆垛抽样

4.2.1 用具

a. 单管金属扦样器：沟槽长度大于包装长度的 1/2，沟槽宽度不少于 1.5cm。

b. 取样铲；

c. 分样器或分样板；

d. 塑料样品袋。

4.2.2 抽样数量

批量/件	最低抽样数/件
1~25	1
26~100	5
101~250	10
251~500	15
501~1000	17
1001~2500	20

4.2.3 抽样步骤

4.2.3.1 倒包检查及抽样

从堆垛各部位随机抽取 4.2.2 规定应抽样袋数的 10%，全部倒包检查袋内不同部位有机肥或骨粒（粉）的外观有无生虫、霉变或结块，并检查袋内和袋间品质是否均匀，确认情况正常后，再用取样铲从中随机取出样品。每批倒包最低

不得少于3袋,全批数量少于3袋的全部倒包抽样。

4.2.3.2 扦样器抽样

从按4.2.2计算得的抽样袋数中减去已倒包检查的袋数,所余袋数以正弦曲线分布,用扦样器从堆垛的上、中、下各层抽取样品,其方法是:将扦样器槽口朝下,从袋角处沿斜对角方向插入袋内,转动使槽口向上,抽出后先检视扦样器内的样品情况,然后倒入盛样容器内,如此取足应取袋数。

4.2.4 样品缩分

按4.2.3.1、4.2.3.2扦取的全部原始样品,都应使用分样器或用四分法充分混合缩分为约2kg平均样品,装入塑料样品袋内,注明品名、批号、报验号、数量、抽样地点及日期,连同抽样记录一并携回实验室。

4.3 加工、包装和装卸过程中抽样

在授权检验员指导下,于加工、包装或装卸的过程中按不少于总袋数的10%,均衡地甩出样袋,再按4.2.3进行检查、抽样后,按4.2.4缩分,制出平均样品,做好记录,送交检验。如果抽样过程中对商品作了检查,也可不再倒包检查。

5 检验方法

实验室收到样品后,应对照报验单审核送验样品及所附记录,确认无误后,按检验流程分取试样,进行各项目检验。

5.1 检验流程

如图1所示。

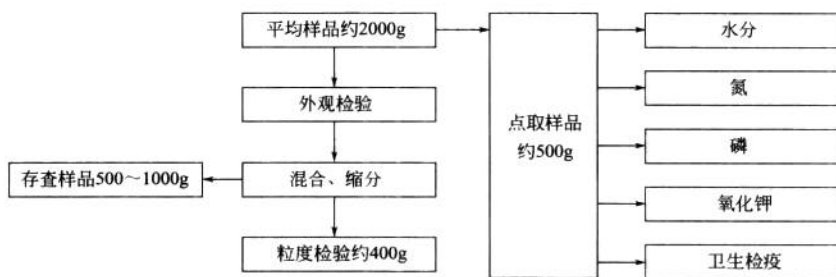


图1 检验流程图

5.2 感官检验

5.2.1 仪器及用具

- 台秤:感量1.0g;
- 天平:感量0.1g;
- 检验台:台面光滑、洁净;
- 白瓷盘:规格按实际需要;
- 广口瓶、小毛刷、药勺。

5.2.2 外观及点取理化分析样品

将平均样品倒在洁净、干燥的白瓷盘内混匀摊平,立即点取测定水分及其他理化项目样品约500g在广口瓶中备用,然后在无眩目光线的明亮处鉴定样品的色泽及洁净程度(有无发霉、变质、结块)。

5.2.3 粒度检验

5.2.3.1 仪器及用具

- 标准筛:规格按实际需要;
- 天平:感量0.1g;
- 小毛刷、药勺;
- 振荡器:60r/min。

5.2.3.2 操作程序

- 选用一套符合需要的标准筛;
- 按规定的筛孔大小顺序叠加筛子,将筛孔最大的筛子放在最上面,把空盘(底)放在这一叠筛子的最下面;
- 称取100~150g样品,放入最上面的筛子里,将盖子盖在这一叠筛子的最上面,于振荡器上振荡5min,或用人工振荡;
- 按顺序排列,将筛子上的剩余物分别称重,记下每个筛上的质量;
- 称量每个筛子上的剩余物时,必须用刷子刷去筛眼内的部分,所有称取的质量应精确到0.1g,每个筛上的剩余物加起来总的质量应接近原来的质量,过筛的损失量不得超过1%。

5.2.3.3 结果计算

$$\text{筛分粒度} = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中 m_1 ——按照规定粒度的大小,选取筛上物(或筛下物)的质量, g;

m ——样品质量, g。

双试验允许误差不超过 1%, 求其算术平均值即为检验结果。

5.3 理化检验

5.3.1 水分测定

5.3.1.1 仲裁法

按 ISO 771 规定方法检验。

5.3.1.2 常规法——130℃ 40min 电热烘箱法

5.3.1.2.1 原理

将样品放入规定温度的鼓风电热干燥箱内,于常压下干燥至接近恒量为止,利用所失质量,计算水分含量。

5.3.1.2.2 仪器

a. 电热鼓风干燥箱:具有温度调节装置,能自动控制温度在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 范围内,附有 $0\sim 200^\circ\text{C}$ 温度计,水银球位于干燥箱内层隔板上方约 $2\sim 2.5\text{cm}$ 处;

b. 天平:感量 0.001g ;

c. 玻璃干燥器:内装有干燥剂;

d. 平底烘皿:铝质有盖,皿及皿盖上编有号码(皿直径 $7.5\sim 8\text{cm}$,高 $2.5\sim 3\text{cm}$),烘至恒量,置于干燥器内备用;

e. 电动粉碎机:内附孔径 $\phi 1.5\sim 2.0\text{mm}$ 筛板,切削式,磨膛光亮,易清扫;

f. 广口瓶、药勺等。

5.3.1.2.3 试样制备

按 5.1 检验流程点取样品约 100g ,用粉碎机磨细,混匀,装入广口瓶中备用。

5.3.1.2.4 测定

用已烘至恒量的平底烘皿称取 $5\sim 10\text{g}$ 试样,精确至 0.001g 。将烘皿轻轻晃动,使试样平铺于皿内,揭开皿盖,连同皿及皿盖放入已预热至 130°C 的电热干燥箱中层隔板上,距箱壁不少于 5cm ,于 5min 内使箱内温度回升到 130°C 开始计时,保持 $130^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$,烘 40min ,在箱内加盖取出,置于干燥器内冷至室温后称量。按式(2)计算水分含量。

$$\text{水分含量} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中 W_0 ——空皿质量, g;

W_1 ——烘前试样和烘皿质量, g;

W_2 ——烘后试样和烘皿质量, g。

5.3.1.2.5 结果处理

水分测定应做双试验,双试样允许误差为 0.2% ,以双试验的算术平均值作为测定结果。

5.3.2 氮含量测定

5.3.2.1 原理

用凯氏法测定试样含氮量,即在催化剂存在下,用硫酸破坏有机物,使含氮物转化成硫酸铵,加入强碱并蒸馏使氮逸出,用硼酸吸收后,用酸滴定测出氮含量。

5.3.2.2 仪器设备

a. 粉碎机:型号按实际需要;

b. 分析天平:感量 0.0001g ;

c. 氮、磷测定仪或凯氏蒸馏装置;

d. 消煮炉或电炉。

5.3.2.3 试剂

a. 浓硫酸:分析纯;

b. 无水硫酸铜:分析纯;

c. 无水硫酸钠:分析纯;

d. 40% 氢氧化钠溶液;

e. 2% 硼酸溶液;

f. 混合指示剂: 0.1% 甲基红乙醇溶液, 0.5% 溴甲酚绿乙醇溶液,两溶液等体积混合,阴凉处保存期三个月以内;

g. 0.1mol/L 盐酸标准溶液:吸取 9.0mL ,盐酸注入 1000mL 蒸馏水中;

h. 实验用水:蒸馏水。

注：盐酸溶液的标定可参照 GB/T 5009.1 规定进行。

5.3.2.4 试样制备

将 5.2.2 点取的理化测试样品置于干净的粉碎机中磨碎，收集磨碎物于广口瓶中，小心混合后备用。

5.3.2.5 操作方法

5.3.2.5.1 样品消化

称取 0.5~2.0g 磨碎试样，精确至 0.0001g。无损失地放入凯氏烧瓶中，加入 10g 无水硫酸钠、0.5g 无水硫酸铜和 8mL 硫酸，在消煮炉或电炉上小心加热，待样品焦化，泡沫消失，再加强火力，直至样品溶液成透明、无黑炭粒后，再继续加热 30min。取下放冷，用水将凯氏烧瓶中内容物移入 100mL 容量瓶中，加水至刻度，混匀备用。

5.3.2.5.2 蒸馏

a. 取 20mL 2% 硼酸溶液，加混合指示剂 2 滴，使蒸馏装置的冷凝管末端浸入此溶液。量取稀释的消化液 10.0mL 注入蒸馏装置的反应室中，用少量水冲洗进样入口，塞好玻璃塞，再加 5~10mL 40% 氢氧化钠溶液，小心提起玻璃塞使之流入反应室，将玻璃塞塞好，在入口处加水封好，防止漏气，蒸馏 8~10min，使冷凝管末端离开吸收液面，再蒸馏 1min，用蒸馏水冲洗冷凝管末端，洗液均流入吸收液。

b. 使用氮、磷测定仪的按该仪器操作规程进行蒸馏。

5.3.2.5.3 滴定

立即用 0.1mol/L 盐酸标准溶液滴定吸收液，溶液由绿色变为灰红色为终点。

5.3.2.5.4 空白滴定

为消除试剂误差，除不加试样外，按上述操作方法做一次空白试验。

5.3.2.5.5 结果计算

$$\text{含氮量} = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 0.0140}{m \times V' / V} \times 100\% \quad (3)$$

式中 V_1 ——滴定空白时所需盐酸标准溶液的体积，mL；

V_2 ——滴定试样时所需盐酸标准溶液的体积，mL；

c ——盐酸标准滴定溶液的实际浓度，mol/L；

m ——试样的质量，g；

V ——样品稀释液的总体积，mL；

V' ——样品稀释液蒸馏用体积，mL；

0.0140——与 1.00mL 盐酸标准滴定溶液 [$c(\text{HCl}) = 1.0000\text{mol/L}$] 相当的以克表示的氮的质量。

5.3.2.5.6 结果处理

每个试样取两个平行样进行测定，以其算术平均值为测定结果。

双试样结果允许差：氮含量在 15.0% 以下时，不超过 0.2%；氮含量在 15.1% 以上时，不超过 0.4%。

5.3.3 五氧化二磷含量测定

按 GB/T 6437 或 SN/T 0512 规定方法检验。

5.3.4 氧化钾含量测定

5.3.4.1 原理

用硝酸加高氯酸破坏试样中的有机物，使其中的钾转化成游离状态的钾，于原子吸收分光光度计波长 766.5nm 处，以空气-乙炔火焰测定钾的吸光度。

5.3.4.2 仪器与设备

a. 所用玻璃仪器均以硫酸-重铬酸钾浸泡数小时，再用洗衣粉洗刷后，用水反复冲洗，最后蒸馏水冲洗晾干或烘干。

b. 实验室常用设备。

c. 原子吸收分光光度计。

5.3.4.3 试剂

a. 硝酸：分析纯。

b. 高氯酸：分析纯。

c. 混合酸消化液：硝酸与高氯酸比 4:1。

d. 盐酸：分析纯。

e. 氧化钾标准溶液：将氯化钾（基准试剂）于 400~450℃ 高温炉中灼烧 1.5h，取出，于干燥器中冷至室温。精确称取 0.7915g，置于 250mL 烧杯中，加水溶解，移入 500mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。移取此溶液 50.0mL，置于 500mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀，储存于聚乙烯瓶内，4℃ 保存，使用时恢复至室温。此溶液 1mL 含 100.0μg 氧化钾。

f. 氧化钾标准使用液：吸取氧化钾标准溶液 50.0mL，置于 500mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀，储存于聚乙烯瓶中，此溶液 1mL 含 10.0μg 氧化钾。

g. 实验用水为蒸馏水。

5.3.4.4 操作步骤

5.3.4.4.1 样品处理

a. 湿法

称取 0.1~1.0g 磨碎试样,精确至 0.0001g。于 500mL 凯氏烧瓶中,加入 20mL 混合酸消化液,置于电炉上加热消化。如消化不完全,再补加几毫升混合酸消化液,继续加热消化,直至样品溶液呈透明、无黑炭粒为止。加 10~20mL 蒸馏水,加热以去除多余的硝酸。取下冷却,用蒸馏水洗并转移到 100mL 容量瓶中,定容至刻度,摇匀。吸取样液 1.0~5.0mL (根据 K_2O 含量定)于 100mL 容量瓶中,稀释至刻度。取与消化样品相同的混合酸消化液,按上述操作做试剂空白测定。

b. 干法

称取 0.1~1.0g 磨碎试样,精确至 0.0001g。于 50mL 瓷坩埚中,先用小火炭化至无烟后移入高温炉内,在 500~550℃ 灼烧 4~5h,待样品灰化完全,冷却后取出,加 1:1 硝酸 5mL,盖上表面皿,于电炉上加热,保持微沸,使试样完全溶解。冷却后,移入 100mL 容量瓶中,加水定容至刻度,摇匀,过滤。吸取滤液 1.0~5.0mL (根据 K_2O 含量定)于 100mL 容量瓶中,稀释至刻度。同时做试剂空白试验。

5.3.4.4.2 测定

吸取 0.0, 10.0mL, 20.0mL, 30.0mL, 40.0mL 氧化钾标准使用液,分别置于 100mL 容量瓶中,加 1mL 盐酸,用蒸馏水稀释至刻度,混匀。(容量瓶中溶液每毫升分别相当于 0.0, 1.0 μ g, 2.0 μ g, 3.0 μ g, 4.0 μ g 氧化钾。)

将处理后的样液、试剂空白和各容量瓶中氧化钾标准稀释液分别导入原子吸收分光光度计进行测定。

5.3.4.4.3 测定条件

波长: 766.5nm

狭缝宽度: 1.3nm

灯电流: 10mA

空气流量: 9.5L/min

乙炔流量: 2.3L/min

燃烧器高度: 7.5mm

5.3.4.4.4 分析结果的计算

$$\text{氧化钾的含量} = \frac{(M_1 - M_2) \times 10^{-6} \times 100}{M \times V_1 / V} \times 100\% \quad (4)$$

式中 M_1 ——试样中氧化钾含量, μ g;

M_2 ——空白中氧化钾含量, μ g;

M ——试样的质量, g;

V ——试液的总体积, mL;

V_1 ——分取试液的体积, mL。

5.4 炭疽杆菌检验

按 SN 0331 规定方法进行检验。

6 重量鉴定

按 SN/T 0188 规定方法进行鉴定。

7 包装和标志检验

7.1 包装所采用的塑料袋、塑料编织袋等包装物的质量,应符合国家有关规定,抽样前应检查全批货物包装外表是否牢固、完整,有无潮湿和污染。

7.2 标志检验

检查包装袋刷印的标志和拴挂的标签中的品名、批号、规格、数量等标志是否与内容物相符,批次是否清楚、字迹是否清晰、完整等。

8 检验结果的数据处理及结果评定

8.1 检验结果的数据处理

8.1.1 检验结果有效数值的规定——粒度: 1%; 水分: 0.1%; 氮含量: 0.01%; 氧化钾含量: 0.01%; 五氧化二磷含量: 0.01%。

8.1.2 检验结果有效数字后的数值,按 GB/T 8170 进行修约。

8.2 检验结果的判定

检验结果依据进口国卫生要求、出口贸易合同、信用证及有关要求进行判定,卫生及感官、理化指标检验结果符合

上述规定要求的判为合格，否则为不合格，不合格产品允许在返工整理的基础上复验一次。

9 样品的留存与保管

9.1 检验完毕，按 5.1 检验流程规定取 500~1000g 平均样品装入样品袋密封后作存查样品，外贴或悬挂标签，注明品名、规格、报验号、数量、抽样人员及抽样日期等。

9.2 保存期：存查样品应保留至发证后六个月。

9.3 保管要求：存查样品必须设专人负责保管，分类编号、批次清楚，放置于干燥的专用保管室或样品柜内。

10 检验有效期

检验有效期为六个月。

附录 A

(提示的附录)

参考文献

ISO 3099: 1974 油籽渣总含氮量的测定

ISO 5500: 1984 (E) 油籽渣——取样

ISO 6491: 1980 动物饲料——全磷含量的测定——光谱测定法

GB/T 2828—87 逐批检查计数抽样程序及抽样表 (适用于连续批的检查)

GB/T 5497—85 粮食、油料检验 水分测定法

GB/T 5511—85 粮食、油料检验 粗蛋白质测定法

GB/T 5917—86 配合饲料粉碎粒度测定法

GB/T 6432—86 饲料粗蛋白测定方法

GB/T 6900.9—86 黏土、高铝质耐火材料化学分析方法原子吸收分光光度法测定氧化钾、氧化钠量

GB/T 12397—90 食物中钾、钠的测定方法

SN/T 0736.3—1997 进出口化肥检验方法 粒度的测定

SN/T 0736.7—1999 进出口化肥检验方法 钾的测定方法

南京农学院主编，土壤农化分析

商业部茶叶畜产局、商业部杭州茶叶加工研究所。茶叶品质理化分析

附录 19 专业术语

C/N (carbon-to-nitrogen ratio): 有机物中有机碳与全氮重量的比值。

NH₃ (ammonia): 一种气体化合物, 由氮和氢组成, 有刺鼻的味道。在堆肥过程中由有机氮化合物产生而来。

NH₄⁺ (ammonium): 由氮和氢组成的一种离子, 随堆体条件变化可与氨进行相互转化。

保肥性 (nutrient-holding capacity): 土壤可吸收及保持养分的能力。

被动式堆肥 (passive composting): 物料混合堆积后即开始堆肥的方法, 很少进行管理和调节, 不需要强制通风, 翻堆只偶尔进行 (如一月一次)。

被动式通风 (passive aeration): 空气穿过堆肥条垛或堆体的过程, 是一自然的传送、扩散、气流运动过程, 也是热空气向上流动的自然趋向。

被动式通风条垛系统 (passively aerated windrow composting): 一种堆肥化方法, 它是在条垛的底部放入打孔的管子来使空气流通, 不翻动条垛。

表施 (top-dressing): 在土壤表层施一层堆肥或其它物料。

病原菌 (pathogen): 是指能引起疾病或感染的生物, 有细菌、真菌、病毒等。废弃物中常见这些病原菌, 在堆肥过程高温阶段可以杀死大部分病原菌。

城市固体废弃物 (municipal solid waste) (MSW): 固体废弃物是指人类在生产、消费、生活和其他活动中产生的固态、半固态废弃物, 通俗地说, 就是“垃圾”。主要包括固体颗粒、垃圾、炉渣、污泥、废弃的制品、破损器皿、残次品、动物尸体、变质食品、人畜粪便等。

城市垃圾 (municipal refuse): 城市垃圾是城市中固体废物的混合物, 包括工业垃圾、建筑垃圾和生活垃圾。

城市污泥 (municipal biosolid): 指城市污水处理厂产生的污泥。

除草剂 (herbicide): 指可使杂草彻底地或选择地发生枯死的药剂。

除臭 (deodorization): 即去除臭味的过程或工艺。

处理费用 (tipping fees): 用于处理废物需要支付的费用, 也叫进门费。

垂直流动反应器 (vertical flow reactor): 物料沿垂直方向进行流动的堆肥反应器方式。

锤式粉碎机 (hammermill): 由高速旋转的活动锤击件与固定圈的相对运动, 对物料进行粉碎 (含锤击、碰撞、摩擦等) 的机器。

猝倒病 (damping-off disease): 由病原体引起的幼苗的萎蔫和死亡。

大气压 (atmospheric pressure): 由于地球周围大气的重力而产生的压强。

氮固定 (immobilization, nitrogen): 固定指养分从一种无机形式向微生物有机 (或植物) 有机器官的转化, 这些养分只有当生物死亡或器官降解后才能利用。高 C/N 的物料施入土壤后就会发生氮的固定, 微生物在利用碳的同时也进行着氮的固定。

电导率 (electrical conductivity): 表示溶液传导电流的能力, 随溶液中离子的数量和种类而变化。

垫草 (litter): 干的能吸水的草垫物质如秸秆、锯末、木屑、锯屑等铺在畜棚的地面上, 用来吸收和调节粪便。

垫料 (bedding): 动物圈舍地面铺设的干吸附物料, 如锯末、秸秆。

垫料与粪便的混合物 (bedded manure pack): 即厩肥。指圈舍中垫料和粪便累积形成的东西。圈舍中动物粪便不断产生的过程中垫料也在不断地加入, 这种混合物不会经常清出, 而是逐渐增厚成为地面, 动物则在其上站立和躺卧。为保证地面结实, 就需要加入大量垫料。这样垫料混合物通常是干的。

斗式装载机 (bucket loader): 用机身前端的铲斗进行铲、装、运、卸作业的施工机械。

堆肥 (compost): 一类有机残体或有机残体与土壤的混合物, 并经过堆积发酵和好氧生物分解。

堆肥工艺 (composting process): 是将有机废弃原材料经过处理加工成堆肥产品的方法及技术。

堆肥化 (composting): 它是在有氧状态下有机质经过生物降解成为像腐殖质那样相对稳定的物质。

堆肥基质 (composting substrate): 即堆肥原料。

堆肥区域 (pad): 堆肥条垛或堆体所占据的地表空间或区域。

堆肥区周围环境温度 (ambient air temperature): 堆体临近点的空气温度。

堆肥设施 (composting facility): 用于堆肥的设施, 包括场地、土建、设备、水电暖等。

堆肥调理剂 (composting amendment): 堆肥原料混合物中的一类组分, 用来改善混合物整体的性质。通常是向混合物添加碳源、干物料或增加孔隙度。

堆肥稳定性 (compost stability): 指堆肥产品稳定的性质、状态或程度。

堆肥系统 (composting system): 由原料、预处理、堆肥、后处理等组成的堆肥体系。

多聚联苯 (PCBs): 一种多氯化合物, 是一种工业垃圾及污泥中常见的持久性有机污染物。

二氧化碳 (carbon dioxide): 一种无机气体化合物, 由碳和氧组成。二氧化碳产生于堆肥过程中有机碳化合物的氧化。

发酵 (fermentation): 指微生物对于有机物的某种分解过程。

翻堆 (turning): 在条垛或容器中对物料进行混合和搅动的堆肥操作方式。

反硝化作用 (denitrification): 为一厌氧生物过程, 把氮化合物转变为氮气或氮氧化物。

反应器堆肥 (in-vessel composting): 堆肥物料被放置在厂房、反应器或容器中的一类堆肥方法。

放线菌类 (actinomycete): 一组微生物, 介于细菌和真菌之间, 通常会产生分支菌丝, 产生堆肥特有的泥土味。

肥料价值 (fertilizer value): 指有机肥或有机废弃物代替商品化学肥料养分 (N、P、K) 的估算价值, 通常可表示为每吨肥料元或每吨多少养分。

废气 (exhaust gas): 堆肥过程中排放出的气体, 包括 CO_2 、氨气等。

分解者 (decomposers): 把自然有机物分解为简单无机物的一类生物, 主要是微生物和一些无脊椎动物。

分批混合机 (batch mixer): 分批对物料进行混合的机器。物料的提升、混合和卸料是分批进行的, 而不是连续进行的。通常从饲料混合机改造而来, 混合采用桨或螺杆进行。

粉碎 (grinding): 是降低物料颗粒直径的一种操作方法, 是破碎和压碎, 非撕碎。

粪便 (manure): 畜禽粪尿类排泄物, 有时也含有与排泄物无关的东西, 如挤奶房废水、污染的奶水、毛皮类以及其他纤维类。

粪便储存 (manure storage): 在粪便得到最终利用或处置前可以存储一段时间粪便的单元, 根据存储粪便的类型和形式可以分为不同存储类型, 如地上或地下厩液池、储存土坑、固体粪便存储。

腐殖酸 (humic acids): 土壤提取物酸化沉淀形成的深色有机物, 包括化学和生物组分。

腐殖质 (humus): 有机质分解产生的相对稳定、富含碳、深色或黑色的部分。

覆盖物 (mulch): 覆盖在土壤表面起保持水分和孔隙度、抑制杂草生长的一类物质, 常用覆盖物包括草粉、堆肥、木片、锯末、秸秆等。

干基质 (dry substrate): 折算成干重后的基质。

干物质 (dry matter): 它是一种物质除去水分之后的重量, 干物质含量 (%) 等于 100% 减去水分含量 (%)。

高温的 (thermophilic): 高温微生物, 温度一般在 40°C 以上。

根腐病 (root rot): 一种植物疾病, 特点是根系变色、腐烂。

工业污泥 (industrial sludge): 工业活动中产生的各类污泥。

公用处理设施 (publicly owned treatment work) (POTW): 一般指由政府拥有并经营的公用处理设施, 如污水处理厂。

鼓风机 (blower): 在设计条件下, 风压为 $30\sim 200\text{kPa}$ 或压缩比 $e=1.3\sim 3$ 的风机叫鼓风机。根据其不同功效, 鼓风机应用于生产、生活中多个环境中。

固体粪便 (solid manure): 粪便有足够多的垫料或土壤或经过长期风干使得其能堆积起来不产生渗漏。最好采用装载机来处理。

固体垃圾 (solid waste): 一般指固体生活垃圾, 也泛指所有废弃物中的固体部分。

害虫 (vermin): 各种有害的、令人讨厌的动物、昆虫或其他害虫, 特别是哪些体型小的害虫, 如老鼠、苍蝇。

好氧代谢 (aerobic metabolism): 指需氧的代谢过程。

好氧的 (aerobic): 形容某一有机物或工艺是需氧的, 如好氧微生物。

好氧堆肥 (aerobic composting): 指需氧的堆肥过程。

好氧氧化 (aerobic oxidation): 在有氧情形下进行的氧化过程。

耗氧速率 (oxygen consumption rate): 指生物和微生物进行有氧呼吸作用所消耗氧气的速率。

后熟 (curing): 它是堆肥的最后阶段, 期间堆肥仍在继续稳定化, 但分解速率较低, 以致翻堆或通风已不再需要。后熟一般在较低温或中温下进行。

呼吸率 (respiration rate): 又称呼吸强度。指在一定温度下, 单位重量的活细胞 (组织) 在单位时间内吸收氧或释放二氧化碳的量, 通常以 $\text{mg } (\mu\text{L})/(\text{h} \cdot \text{g})$ 为单位。

化粪池污泥 (septage): 化粪池产生的污泥。

化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD): 衡量水体和废水中有机及无机物消耗氧的能力。指被氧化物质在规定条件下用氧化剂进行氧化所消耗的氧量。

挥发性固体 (volatile solid, VS): 是指在总固体中能在 550°C 高温下挥发的那部分固体, 一般用 VS 表示。不能挥发的残余物称灰分。

挥发性化合物 (volatile compound): 一类在相对低温的环境下即可以挥发的化合物或物质。

搅拌床 (agitated-bed): 一种反应器堆肥方法, 物料被置于一个箱子或反应器里, 通过一翻堆机或螺杆进行周期性搅动, 一般还会提供强制通风。

搅拌床式系统 (agitated bed system): 采用搅拌床式的工艺系统。

搅动固体床 (agitated solids bed): 一种具有搅拌功能的槽或床式堆肥发酵工艺。

接种菌种 (inoculum): 一种引入到体内或系统内发挥某种特定作用的微生物。

土地应用 (land application): 它是把粪便, 污泥, 城市污水, 工业废弃物应用到土地上, 或者作为这些废弃物的终端处理或者重新利用它们所含的养分和有机质。

秸秆 (straw): 农产品收获籽粒后剩余的秸秆类副产品。

净化塔、洗涤塔 (scrubbing tower): 是一种新型的气体净化处理设备。

静态床 (static bed): 相对于动态发酵而言的静态堆肥系统, 物料铺设成层, 保持一定孔隙密度。

厩液 (liquid manure): 粪便中加入足够的水分, 便于泵出; 通常不含秸秆及废牧草。

菌丝体 (mycelium): 由许多菌丝连结在一起组成地营营养类型叫菌丝体。

可降解挥发性固体 (biodegradable volatile solid, BVS): 可被微生物降解的那部分挥发性固体。挥发性固体是指在总固体中能在 550℃ 高温下挥发的那部分固体, 一般用 VS 表示。不能挥发的残余物称灰分。

可降解性 (degradability): 描述堆肥过程中一种基质分解的难易程度, 物料分解迅速完全的为高度可降解, 物料不易分解的称为难或不可降解。

孔隙率 (porosity): 指散粒状材料堆积体积中, 颗粒之间的空隙体积占总体积的比例。堆肥中的孔隙率只考虑空气占据的孔隙, 不包括水分占据的孔隙。

矿石筛筛选 (trommel screening): 一种震动筛分设备。

扩展堆 (extended pile): 通气静态堆肥中经常采用的, 即在紧邻已建成堆体一端每天增加新的堆体, 后增加的堆体叫扩展堆, 最后会形成一长方体的大堆。

沥出液 (leachate): 从固体和浸出物料中经溶解或悬浮产生的液体。

硫化氢 (hydrogen sulfide, H₂S): 厌氧发酵中产生的有腐败鸡蛋臭味的一种气体。

绿肥 (green manure): 直接施入土壤作肥料用的绿色植物。

酶 (enzyme): 催化特定生物化学反应的由活细胞产生的蛋白质。

木屑 (sawdust): 林木加工副产品。

泥炭 (peat): 几千年形成的天然沼泽地产物, 又称为草炭或是泥煤。其中含有的有机质不能或很少能分解。

农业废弃物 (agricultural wastes): 农场、养殖场、牧场、林场上有关食品和纤维类生产与加工活动中产生的废弃物, 如作物秸秆、畜禽粪便、动物残余等。

配方 (recipe): 有关物料成分和配比的方法。

膨胀剂 (bulking agent): 堆肥原料混合物中用于改善结构和孔隙度的一组物质。膨胀剂通常是紧密、干燥和较大粒径的, 如秸秆。它与调理剂经常交换使用。

气压损失也叫静压损失 (air pressure loss): 当空气通过静态堆肥系统的堆体、管道、风机和滤塔时压力或能量发生损失的情形。气压损失说明了空气在以一定流速通过堆肥系统所需的能量。在选择合适的风机时必须估算风压损失。

强制通风 (forced aeration): 依靠风机把空气送入到堆体或反应器中并在其中流动的方法。

切碎 (shredding): 一种降低物料颗粒大小的操作方法, 指物料通过撕分、切削来破碎。

蚯蚓堆肥 (vermicomposting): 利用蚯蚓活动处理废弃物后产生的堆肥。

曲霉菌 (aspergillus fumigatus): 是一种典型的带孢子的丝状真菌, 对某些人可引起过敏, 或与某些疾病产生并发症。

人粪尿 (night soil): 人体排泄出的粪和尿的混合物。

容积密度 (bulk density): 指单位体积混合物料的质量, 比如一堆木屑的重量除以其体积即为容积密度。

渗透区 (infiltration area): 一片或一条土地, 其上通常种植植物, 并有控制地引入废水进行处理。渗透区相对平坦或略有坡度。

生物反应器 (bioreactor): 是利用酶或生物体 (如微生物) 所具有的生物功能, 在体外进行生化反应的装置系统, 它是一种生物功能模拟机, 如发酵罐、固定化酶或固定化细胞反应器等, 在有机污染物降解方面有重要应用。

生物分解 (biological decomposition): 指有机物在特定条件和时间内由细菌、真菌等微生物分解的过程。

生物过滤器或生物滤池 (biofilter): 由不同填料构成的用于处理臭气的构筑物, 其中接种有可降解臭气物质的微生物。

生物修复 (bioremediation): 通过具有降解功能的细菌和真菌等微生物的作用, 使环境介质中的污染物得以去除的过程。

生物需氧量 (BOD): 有机质在一定时间、温度和环境条件下进行生物化学氧化所需氧气的数量, 一般在 20℃ 下 5 天时间测量。

湿基质 (wet substrate): 一类水分含量较高的基质, 如养殖粪便、污泥。

市镇污泥 (sewage sludge): 污水处理厂产生的固体废物或污泥。

水分含量 (moisture content): 一种物质中水分的百分含量, 水分含量 (%) 等于水分重量除以物质总重量。

水平流动反应器 (horizontal flow reactor): 一类沿水平方向处理废物的堆肥反应器, 如滚筒反应器。

酸性堆肥 (sour compost): 在厌氧的环境下生产和储存的堆肥, 它的 pH 为酸性, 可能含有植物毒性化合物。

隧道式反应器 (tunnel reactor): 一种类似隧道的堆肥反应器, 属于一种密闭、静态、强制通风工艺。

条垛 (windrow): 一种相对狭长、低的堆体。

条垛堆肥 (windrow composting): 一种典型的堆肥工艺, 占用土地面积大、以被动通风为主。

调理剂 (amendment): 见堆肥调理剂。

庭院废弃物 (yard waste): 庭院产生的废弃物, 如生活垃圾、厨余垃圾等。

通风 (aeration): 用大气中气体来替代堆体中缺氧气体的一种工艺, 可通过翻堆强化通气效果。

通风量 (air supply rate): 通过风机在一定时间内提供的空气的量。

通气管 (aeration pipe): 用于通风的管道。

通气静态垛系统 (aerated static pile): 指在静止堆体下面铺设管道, 采用风机进行强制通风。

筒仓反应器 (silo reactor): 为一种立式、筒仓状堆肥反应器装置。

土壤改良剂 (soil amendment): 改善土壤性质的物料。如石灰、石膏、有机肥和合成聚合物等。

土壤结构 (soil structure): 土壤中不同颗粒的排列和组合形式。堆肥能有利于改善土壤结构。

土壤质地 (soil texture): 土壤质地是土壤物理性质之一, 指土壤中不同大小直径的矿物颗粒的组合状况。

脱水污泥 (dewatered sludge): 将流态的原生、浓缩或消化污泥脱除水分, 转化为半固态或固态泥块称为脱水污泥。脱水污泥含水率一般在 80% 左右。

微动物区系 (microfauna): 微型动物群体, 包括原生动物和线虫。

微生物 (microorganism): 个体微小, 结构简单, 通常要用光学显微镜和电子显微镜才能看清楚的生物, 统称为微生物。

微生物群落 (microflora): 微型生物群落, 包括细菌、放线菌、真菌、藻类。

污染 (contamination): 是指向环境 (水、气或土壤) 中混入了对人类或其他生物有害的物质, 如生物、化学品、废物或废水, 其数量或程度达到或超出环境承载力, 从而改变环境正常状态的现象。

污染 (pollution): 环境中出现的因其化学成分或数量而阻碍自净过程并产生有害于环境和健康的物质。

细菌 (bacteria): 是一类形状细短, 结构简单, 多以二分裂方式进行繁殖的原核生物, 是在自然界分布最广、个体数量最多的有机体, 是大自然物质循环的主要参与者。

纤维素 (cellulose): 由葡萄糖单元共价连接的长链所组成的结构多糖。是植物细胞壁的主要组成成分。

箱式堆肥 (bin composting): 它是反应器堆肥系统的一种, 但它常常不是整个被包围。多数箱式堆肥配备强制通风。

消化器 (digester): 为一装置, 在该装置中有机物质在好氧或厌氧条件下被微生物分解转化。

消化污泥 (digested sludge): 又称熟污泥, 是在好氧或厌氧条件下进行消化, 使污泥中挥发物含量降低到相对不易腐烂和不发恶臭的污泥。其含水率约为 95%, 容易脱水。

硝化作用 (nitrification): 指氨在微生物作用下氧化为硝酸的生物氧化过程。

硝态氮 (nitrate-nitrogen): 由氮和氧组成的带负电的离子 (NO_3^-), 硝态氮是水溶性的, 由于其带负电荷, 不会被土壤紧密吸持, 因此易淋溶。

压滤饼 (filter press cakes): 在压滤机上去除水分后的残余物。

厌氧的 (anaerobic): 形容某一有机体或工艺是不需氧的。

厌氧堆肥 (anaerobic composting): 缺氧条件下进行的堆肥。

阳离子 (cation): 带有正电荷的原子或分子。

阳离子交换量 (exchange capacity): 表示一种土壤、土壤改良剂或堆肥固持养分的能力, 阳离子交换量指带电阳离子的作用, 阴离子交换量则指带电阴离子的作用。多数土壤带负电荷, 因此阳离子交换量受到重视, 施肥通常会带来正电荷。

疫霉属 (Phytophthora): 一类真菌致病菌, 可导致多数植物严重的根、茎、叶疾病, 在土壤湿度高的条件下易发。

阴离子 (anion): 带有负电荷的原子或分子。

有机基质 (organic substrate): 用于植物生长的有机类基质, 堆肥、秸秆等均可。

有机质 (organic matter): 植物或动物来源的化学物质, 由烃类化合物及其残体组成。

有效态养分含量 (nutrient availability): 土壤中被植物吸收或同化利用的那部分营养。

玉米芯 (corn cob): 是用玉米棒破碎加工而成的物料, 可用作膨胀剂。

沼气 (biogas): 它是一种混合气体, 包括二氧化碳和甲烷, 它能够作为燃料燃烧。

珍珠岩 (perlite): 是一种火山喷发的酸性熔岩, 经急剧冷却而成的玻璃质岩石, 因其具有珍珠裂隙结构而得名。可用作盆栽土壤的调理剂。

真菌 (Fungus): 一类典型的异养微生物, 绝大多数真菌的营养体都是可分枝的丝状体, 单根丝状体称为菌丝 (hypha)。许多菌丝在一起统称菌丝体 (mycelium)。

蒸发冷却 (evaporative cooling): 当空气中或堆体中的热量用于蒸发水分时产生的冷却现象。

蛭石 (vermiculite): 是一种天然、无毒的矿物质, 在高温作用下会膨胀的矿物。

中温的 (mesophilic): 靠中温细菌维持最佳消化率的温度范围, 介于 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 间。

重金属 (heavy metals): 指一类金属元素, 包括铅、镉、锌、铜、汞、镍等, 在污泥和一些其他废弃物中含量较高。土壤中重金属含量过高会影响植物和动物健康, 许多国家限制高重金属废物的土地利用。

贮水池 (retention basin): 为一定目的而设置的蓄水构筑物。

转鼓 (rotary drum): 一种转动的、滚筒状反应器, 可用于堆肥。

自燃 (spontaneous combustion): 指可燃物质在空气中没有外来火源的作用, 靠自热或外热而发生燃烧的现象。水分 $25\%\sim 45\%$ 之间可能发生。

自由通气孔隙 (FAS): 堆体中自由分布的空气孔隙。

[General Information]

书名=堆肥工程实用手册 第2版

作者=李季,彭生平主编

页数=317

出版社=北京市:化学工业出版社

出版日期=2011.11

SS号=12962538

DX号=000008183297

URL=<http://book.szdnnet.org.cn/bookDetail.jsp?dxNumber=000008183297&d=AD41B54139E80C691F02B9CF517DB164>