

固体废物 堆肥化

有机复混肥生产

李国学 张福锁 编著



化学工业出版社

固体废物堆肥化与 有机复混肥生产

李国学 张福锁 编著

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

固体废物堆肥化与有机复混肥生产/李国学,张福锁
编著. —北京: 化学工业出版社, 2000.1
ISBN 7-5025-2730-3

I. 固… II. 李… III. ①固体废物-堆肥②有机肥料:
复合肥料: 混合肥料-生产工艺 N. TQ444

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 71483 号

固体废物堆肥化与有机复混肥生产

李国学 张福锁 编著

责任编辑: 王蔚霞 汪舵海

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

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

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 12 $\frac{1}{8}$ 字数 318 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—2500

ISBN 7-5025-2730-3/TQ · 1201

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着人类社会的发展、科学技术的进步，人们越来越认识到资源和环境对人类的重要性。有机固体废物潜在的利用价值也开始为人们所认识，这不仅在于其蕴涵着大量的能源物质（碳素），也在于其拥有丰富的作物所需营养物质（氮、磷、钾和微量元素）。因此，有机固体废物已不再作为废物为人们所抛弃，更多的有识之士尤其是从事这方面科学研究和教育的广大科学工作者致力于将有机固体废物作为资源化研究和利用的对象，因而有机固体废物是“放错了地方的资源”的思想已逐渐深入人心。

本书就是作者及合作者多年来从事有机固体废物无害化与资源化研究、教学和推广工作的结晶。

随着对绿色食品生产的认识不断深入，人们逐渐意识到长期施用化学肥料和化学农药存在着潜在的食品污染，并进一步影响人们的身体健康。1989年农业部农垦司成立了绿色食品办公室，并设立了第一个重点研究项目——“绿色食品生产基地环境条件和生产技术研究”。在这一课题中，作者承担了“绿色食品生产基地农牧业废物无害化处理和资源化”分专题，接着承担了北京市海淀区环卫局立项的“城市生活垃圾堆肥处理与系列复混肥研制”课题；1995年5月至1996年5月赴香港浸会大学生物系与黄焕忠博士合作从事“城市污泥与粉煤灰联合堆肥及重金属控制研究”。以后至现在为本系本科生开设了“固体废物处理与处置”和研究生“固体废物资源化利用研究方法”等课程，与此同时，承担了国家自然科学基金项目“有机酸-金属（Fe、Al）-磷三元复合体及其植物有效性研究”以及“有机肥活化土壤养分机理”研究。最近两年来作者和合作者又成功地利用有机固体废物，包括农业秸秆、畜禽粪便、城市生活垃圾以及污水污泥等，进行了无害化堆肥及利用堆肥生产复混肥项目的研究与开发工作。所有这些工作都为写

成本书提供了丰富的资料和素材。同时为使这本书成为从事有机固体废物堆肥及其复混肥生产的企业人士参考书，作者也收录了目前正从事相关研究的专家学者专著或论文中的内容，在此作者仅向他们表示深深的谢意。

本书共分为十四章，第一章全面介绍了有机固体废物种类、来源、环境污染特性以及营养化学特性。第二章至第十章为堆肥的理论、方法和实践等内容，全面介绍了有机固体废物堆肥的基本原理、堆肥的化学过程变化、堆肥的微生物学特性、堆肥的工艺参数、设备和方法、堆肥对有机污染物的清消、堆肥过程中重金属钝化、堆肥的腐熟度和堆肥的农业效应。第十一章至第十四章主要是介绍进一步利用堆肥生产有机-无机复混肥的理论、工艺设计、复混肥配方制定、生产技术和复混肥厂的经济评估与运输管理等内容。第十五章主要介绍了堆肥和有机复混肥的质量标准。

编著此书的主要人员和分工是：李国学编写第一章、第二章、第三章（第四节除外）、第五章、第六章、第十一章、第十二章、第十五章；苏德纯编写了第三章第四节；张宝贵和李国学合作编写了第四章；孙英和李国学合作编写了第七章；张福锁和李国学共同编写了第八章、第九章；姜华和李国学编写了第十章；张宝莉编写了第十三章并参加编写了第十二章，靳乐山和李国学合作编写了第十四章。

在此书即将出版之时，衷心地感谢马春秀老师在此书编写过程中，尤其在计算机文字录入上给予的支持和帮助。

本书适合从事环境保护，环境工程设计，废物资源化利用以及复混肥厂的技术和管理工作的科研、教学和技术人员参考，同时也可作为相关专业大专院校专科、本科尤其是研究生教学参考书或教材，并可作为有机复混肥厂技术人员的培训教材。

李国学

1999 年暑假于中国农业大学

内 容 提 要

本书是在作者多年从事有机固体废物教学研究和实践基础上完成的。书中对工业、农牧业、市政和其他行业排放的有机固体废物类型、环境污染特性及潜在的营养化学特性进行了阐述；对各种有机固体废物无害化处理与资源化利用技术——高温堆肥的理论、方法和实践进行了详细的介绍；同时也对利用高温堆肥产品进一步生产有机-无机复混肥技术、工艺过程、设备和农用效果以及有机复混肥生产项目的经济评估、运行管理作了深入的讨论；并对高温堆肥对有机污染物的清消、氮素转化、磷的活化以及重金属控制提出了新的想法。本书是一本实用价值高、可操作性强的科学技术专著。

本书可供广大从事环境保护、环境卫生、科研教育、工程设计以及致力于有机肥生产和开发的人士阅读和参考。

目 录

第一章 有机固体废物的来源、种类和特性	1
第一节 固体废物的种类和来源	1
一、固体废物的来源	2
二、固体废物的分类和主要理化性质	3
第二节 固体废物及其环境污染特点	5
一、固体废物的特点	5
二、固体废物的污染途径	5
三、固体废物的污染危害	5
第三节 固体废物的污染控制途径与技术政策	10
一、污染控制途径	10
二、控制固体废物污染的技术政策	11
第四节 固体废物的营养化学组成与利用潜力	11
一、污泥和城市生活垃圾	12
二、粉煤灰	12
三、禽畜粪便	14
四、糖厂废渣	15
五、植物秸秆和其他农林废物	16
六、高浓度有机废液	17
七、其他	18
第二章 有机固体废物堆肥的基本原理	19
第一节 堆肥化的概念及其发展历史	19
第二节 堆肥的基本原理	22
一、堆肥的基本原理	22
二、堆肥工艺流程及参数	25
第三章 堆肥过程的性质变化及其影响因素	31
第一节 堆肥一般性质的变化	31
一、物理性质的变化	31

二、水分的变化	31
三、pH 值的变化	32
四、CEC 的变化	32
第二节 堆肥的碳素循环及腐殖质变化	33
一、概述	33
二、有机质、腐殖质及其组成的变化	35
三、添加尿素对堆肥碳素转化的影响	35
四、堆肥方式及原料粉碎程度对堆肥的影响	37
五、堆肥过程中有机组分的变化	40
第三节 堆肥的氮素循环	42
一、概述	42
二、堆肥和沤肥的氮素变化	43
三、添加尿素对堆肥过程中氮素组成的影响	45
第四节 堆肥过程中磷素的变化	47
一、概述	47
二、堆肥过程中磷素的转化特点	49
三、堆肥过程中有机酸活化磷的作用	50
四、有机酸-金属(Fe、Al)-磷三元复合体假说	52
第五节 堆肥的挥发性物质变化与物料平衡	55
一、堆肥挥发性物质变化	55
二、堆肥过程的物料平衡	56
第六节 堆肥的灰分及重金属的变化	65
一、堆肥过程中灰分的变化	65
二、堆肥过程中重金属的变化	66
第七节 恶臭及堆肥的气味变化	67
一、恶臭物质的种类和性质	67
二、恶臭物质的评定和控制	68
第八节 堆肥过程中其他营养物质的变化	72
一、堆肥过程中其他营养物质的变化	72
二、添加氮素化肥对堆肥 N/P ₂ O ₅ 比和 N/K ₂ O 比变化的影响	73
第四章 堆肥化的生物化学与生物学	75
第一节 堆肥化的生物化学与生物学基础	75
一、堆肥过程中的生物化学	75

二、堆肥过程中的微生物学	81
三、堆肥条件的优化	86
第二节 堆肥过程中微生物的变化	91
一、堆肥过程中微生物的变化	91
二、堆肥过程中酶活性的变化	95
第五章 堆肥过程中的条件控制	98
第一节 堆肥过程中水分的控制	98
一、概述	98
二、堆肥过程中水分的控制	103
第二节 堆肥过程中有机物的控制	113
一、堆肥原料挥发性物质的调控	114
二、堆肥反应中有机物含量的过程变化	118
三、堆肥反应中碳氮比的过程控制	120
第三节 堆肥过程中温度的控制	121
第四节 堆肥过程中通风供氧的控制	125
一、概述	125
二、高温堆肥的供氧方式	128
第五节 堆肥原料的颗粒大小控制	132
一、概述	132
二、不同秸秆切碎程度和通气方式对堆肥效果的影响	134
第六章 堆肥腐熟度评价及其指标体系	135
第一节 概述	135
第二节 腐熟度概念及影响因素	137
一、腐熟度	137
二、影响因素	137
第三节 堆肥腐熟度评价的指标	139
一、物理评价指标	139
二、化学评价指标	139
三、光谱分析法	148
四、生物评价指标	155
第四节 评价污泥堆肥腐熟度的化学和生物学参数	157
一、污泥堆肥的设计	157
二、污泥堆肥水浸液的化学性质	157

三、不同堆肥水浸提液对种子发芽率的影响	159
四、不同堆肥水浸提液对种子根长的影响	160
五、不同堆肥水浸提液对种子发芽率指数的影响	161
六、不同堆肥水浸提液 IC_{50} 值的影响	162
第七章 有机废物堆制对有机污染物的清消	164
第一节 概述	164
第二节 有机废物堆肥清消的基理	166
一、微生物的活性	167
二、有机污染物的降解菌及其代谢的途径	169
第三节 堆制法对有机污染物的清消	174
一、直接堆制处理	174
二、将污染物质与堆制过的材料混合后进行二次堆制	178
三、添加堆肥对耕种土壤中农药的清消	180
第四节 影响堆肥清消的因素	181
一、有机污染物质的性质与其生物降解性	181
二、土壤理化性质	182
三、堆制因素	182
四、表面活性剂的使用	184
五、微生物的驯化	184
第五节 关于有机废物堆肥对有机污染物清消的展望	185
一、有机污染物在堆制过程中降解的中间产物及终产物	185
二、微生物降解有机污染物的遗传学研究	185
三、堆制法的应用	186
第八章 堆肥的农业利用效果	187
第一节 堆肥的特点和在农业生产中的作用	187
一、堆肥的类型和特点	187
二、堆肥的作用	191
第二节 堆肥的利用技术	206
第三节 污泥堆肥施用效果	208
一、污泥堆肥对土壤化学性质的影响	208
二、污泥堆肥利用的生物效应	210
第九章 堆肥中的重金属及其控制技术	213
第一节 堆肥中重金属的分级	214

一、物理分级方法	214
二、堆肥中重金属形态分级	215
第二节 堆肥中重金属活性的控制	217
一、影响重金属生物有效性的因素	217
二、重金属活性的控制方法	218
第三节 污泥堆肥过程中重金属的钝化	220
一、粉煤灰-污泥联合堆肥对重金属总量的影响	220
二、粉煤灰-污泥联合堆肥对重金属形态的影响	220
第十章 堆肥的设备和堆肥工厂设计	232
第一节 堆肥的主要设备和功能	232
一、预处理设备	232
二、发酵设备	236
三、后处理设备	236
四、防治二次污染的方法及设备	237
第二节 堆肥的发酵设备	239
一、发酵设备的分类	239
二、高温（一次）发酵设备的结构与特点	239
三、熟化（二次发酵）设备	250
第三节 堆肥的工厂设计	251
一、堆肥工艺流程	251
二、堆肥工厂实例	252
第四节 堆肥工厂的环境保护	257
一、尘土的控制	257
二、恶臭的控制	258
第十一章 堆肥与有机-无机复混肥	260
第一节 有机-无机复混肥生产的理论基础	260
一、土壤肥力条件	260
二、作物吸收利用养分的特点	261
第二节 有机-无机复混肥配方设计的影响因素	262
一、原料间的相互作用	262
二、有机-无机的合理比例	264
第三节 有机-无机复混肥配方的种类	267
一、通用复混肥配方	267

二、专用复混肥配方	269
第四节 有机-无机复混肥的设计	271
一、无机复混肥配方的制定	271
二、有机复混肥配方的确定	276
第五节 复混肥中各元素之间的协合与拮抗	278
一、氮与磷、钾	279
二、氮、磷、钾与锌	279
三、磷、钾与铁	279
四、钙、钾与硼	279
五、其他元素	279
六、各种原料相互影响	280
第六节 有机-无机复混肥的生产工艺和主要设备	281
一、原材料及预处理	281
二、造粒	283
三、扑粉处理	288
四、主要造粒设备	288
第七节 国内部分有机复混肥的效果和生产实例	294
一、增产效果	294
二、有机复混肥生产实例	295
第十二章 有机-无机复混肥的效应	307
第一节 有机-无机复混肥的土壤与植物效应	307
一、前言	307
二、复混肥生物试验方案	308
三、有机复混肥的大田作物效应试验结果	311
四、有机复混肥的蔬菜效应试验结果	314
第二节 有机-无机复混肥的环境效应	324
一、堆肥加工成有机复混肥对地下水硝态氮含量的影响	324
二、堆肥制成颗粒复混肥后磷的释放效率	325
三、垃圾堆肥加工成有机复混肥对重金属含量的影响	327
第十三章 有机复混肥的使用	328
第一节 有机肥施用的基本原则	328
一、施肥与土壤的关系	328
二、施肥与作物的关系	329

三、施肥与气候的关系	329
第二节 有机复混肥施肥技术	330
一、有机复混肥施用方式	330
二、有机复混肥的施用技术	332
第三节 有机复混肥的贮存与运输	334
一、贮运对有机复混肥性质的影响	334
二、有机复混肥料贮运	335
第十四章 有机-无机复混肥生产项目的经济评估及复混肥厂的运行管理	337
第一节 有机-无机复混肥生产建设项目的经济分析	337
一、项目经济分析的内容	338
二、经济分析的基本报表	345
三、项目经济分析的步骤	348
第二节 案例分析：河北省藁城市生物有机复混肥厂项目经济分析	349
一、项目简介	349
二、项目费用与收益估算	349
三、经济分析的基本报表	353
四、经济分析	353
五、不确定性分析	359
第三节 有机-无机复混肥厂的管理	359
一、质量管理	359
二、计划管理	361
三、财务管理	362
四、营销管理	364
第十五章 堆肥和有机复混肥的质量控制与企业标准	366
第一节 堆肥产品的质量控制与企业标准	366
一、一般高温堆肥产品的质量控制与企业标准	366
二、绿色食品基地使用的堆肥及其标准	369
第二节 有机复混产品的质量及其标准	372
主要参考文献	373

第一章 有机固体废物的来源、种类和特性

第一节 固体废物的种类和来源

固体废物（简称废物）是指在社会的生产、流通、消费等一系列活动中产生的一般不再具有原使用价值而被丢弃的以固态和泥状赋存的物质，或者是提取目的组分后弃之不用的剩余物质。主要包括工业废物和生活废物。

固体废物问题是伴随着人类文明的发展而发展的。在工业化水平发展还不很大或者不存在工业文明时，人类在自然环境中的生活过程还比较简单，遇到的固体废物问题仅仅是生活垃圾问题。不过在漫长岁月里，由于生产力水平低下，人口增长缓慢，生活垃圾的产生量不大，增长率不高，没有对人类环境造成影响。但近几十年来，由于农村城市化发展比较迅速，尤其农村乡镇企业发展更为迅猛，中小城镇人口不断扩大，消费水平也不断提高，生活垃圾和工业垃圾产生量也不断增长，已成为严重的环境问题。

固体废物在自然生态系统中是不存在的，因为生态系统中物质是循环的（图 1-1）。绿色植物（森林植物、草本植物）从土壤或母质中吸收水分和矿物质通过光合作用利用了太阳能，将太阳能转化为生物有机物质贮存为化学能或生物能。消费者和分解者再继续利用植物残体维持自身的生命活动同时又向土壤环境提供植物可利用的养分，而同时又为土壤提供可供土壤形成肥力的基本物质——腐殖物质，从而使土壤库容逐渐增大。由此，物质和能量循环往复是使土壤生态系统得到良性循环的保障。而在农业生产的社会经济系统中，由于人的目的调节作用，尤其乡镇工业发展和人口爆炸式膨胀，引起天然矿藏资源的加速开采、森林资源的过度砍伐、草原的过度放牧、人工合成化合物的种类和数量的加速发展，引起土壤上从未有过的高度集约化生

产，形成资源掠夺式的利用。而在这一生产过程中，大量气态、液态和固体废物产生出来，加之不及时处理就被排放到环境中，尤其农田环境中，给土壤和农业带来了直接的和间接的损害和污染。

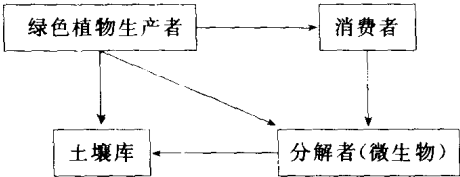


图 1-1 自然生态系统中的物质循环

一、固体废物的来源

固体废物来自人的生产和生活过程中的许多环节。表 1-1 中列出了从各类发生源产生的主要固体废物。

表 1-1 从各类发生源产生的固体废物

发 生 源	产生的主要固体废物
矿业	废石、尾矿、金属、废木、砖瓦和水泥、砂石等
冶金、金属结构、交通、机械等工业	金属、渣、砂石、模型、芯、陶瓷、涂料、管道、绝热和绝缘材料、黏结剂、污垢、废木、塑料、橡胶、纸、各种建筑材料、烟尘等
建筑材料工业	金属、水泥、黏土、陶瓷、石膏、石棉、砂、石、纸、纤维等
食品加工业	肉、谷物、蔬菜、硬壳果、水果、烟草等
橡胶、皮革、塑料等工业	橡胶、塑料、皮革、布、线、纤维、染料、金属等
石油化工工业	化学药剂、金属、塑料、橡胶、陶瓷、沥青、污泥油毡、石棉、涂料等
电器、仪器仪表等工业	金属、玻璃、木、橡胶、塑料、化学药剂、研磨料、陶瓷、绝缘材料等
纺织服装工业	布头、纤维、金属、橡胶、塑料等
造纸、木材、印刷等工业	刨花、锯末、碎木、化学药剂、金属填料、塑料等

续表

发 生 源	产生的主要固体废物
居民生活	食物、垃圾、纸、木、布、庭院植物修剪物、金属、玻璃、塑料、陶瓷、燃料灰渣、脏土、碎砖瓦、废器具、粪便、杂品等
商业、机关	同上，另有管道、碎砌体、沥青、其他建筑材料，含有易爆、易燃腐蚀性、放射性废物以及废汽车、废电器、废器具等
市政维护、管理部门	脏土、碎砖瓦、树叶、死禽畜、金属、锅炉灰渣、污泥等
农业	秸秆、蔬菜、水果、果树枝条、糠秕、人和禽畜粪便、农药等
核工业和放射性医疗单位	金属、含放射性废渣、粉尘、污泥、器具和建筑材料等

二、固体废物的分类和主要理化性质

固体废物分类方法很多，按组成可分为有机废物和无机废物；按形态可分为固体（块状、粒状和粉状）和泥状（污泥）等废物；按来源可分为工业废物、矿业废物、城市垃圾、农业废物和放射性废物；按其危害状况分为有害废物和一般废物。但一般是按来源进行分类的。

（一）产业固体废物

产业固体废物是工农业生产企业在生产过程中未被利用的副产物，分为以下几类。

1. 工业固体废物

工业固体废物是指工业生产过程和工业加工过程产生的废渣、粉尘、碎屑、污泥等。主要包括冶金固体废物和高炉渣、钢渣、铜渣、锌渣、镍渣、铬渣、镉渣、汞渣、赤泥等；燃料灰渣如煤炭开采、加工利用过程中排出的煤矸石、粉煤灰、烟道灰等；化学工业固体废物指硫铁矿烧渣、煤造气炉渣、磷泥、磷石膏、纯碱盐泥、烧碱盐泥、化学矿山尾矿渣、蒸馏釜残渣、废催化剂等；石油工业废物指炼油和油品精炼过程排出的固体废物，如浮渣、含油污泥；粮食、食品工业固体废物指粮食、食品工业固体废物，如谷屑、下角料、渣滓。

2. 农林固体废物

农林牧副渔各项活动中丢弃的固体废物，主要成分是秸秆、树枝、

树叶等；动物尸体及骨髓，工厂化畜禽场产生的大量粪便废物。此外还有木材加工，如木屑约占木材加工量的10%，数量极其可观；在我国某些产棉区，大量棉秆仍无用处；而每年被抛弃或做燃料的140万t花生壳资源也有待充分利用；近年来，在食用菌生产迅速发展的同时，还带来了食用菌废料（菇渣）的急剧增加。

（二）生活消费固体废物

是指居民生活、商业活动、市政建设与维护、机关办公等过程产生的固体废物。

生活垃圾也随着城市建设和发展以及人们生活水平的提高而发生组成和性质的变化。在家庭燃煤条件下，产生的垃圾主要是单气区垃圾，这种垃圾组成中主要是无机成分为主，而在双气（暖气和燃气）区如城市居民小区，产生的双气区垃圾组成中主要以有机成分为主。目前只有有条件的大中城市垃圾采用袋装或分类收集方法，而在绝大部分中小城镇还仍采用混合垃圾收集清运办法。因此，其垃圾组成主要是单气区、双气区及城市建设渣土、商业固体废物和其他杂物的混合垃圾。

（三）有害固体废物和放射性固体废物

有害固体废物，国际上称之为危险固体废物。这类废物具有毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、爆炸性、传染性，因而可能对人类的生活环境产生危害等特点。由于这些特性，1983年联合国环境规划署已将这部分废物列为全球重大环境问题加以重点管理。这类固体废物约占一般固体废物总量的1.5%~2.0%，其中大约一半为化学工业固体废物。据不完全统计，1985年我国有害固体废物产生量为1670万t，其中化学工业为820万t。

放射性固体废物包括核燃料生产、加工，同位素应用，核电站、核研究机构、医疗单位放射性废物处理设施产生的废物。如尾矿、污染的废旧设备、仪器、防护用品、废树脂、水处理污泥及蒸发残渣等。

我国目前将固体废物分为四大类：城市生活垃圾、一般工业固体废物、有害固体废物和其他。其中放射性固体废物和有害的固体废物不属于一般工业固体废物，属于专门管理类型。