



SHENGWUZHI FEIQIWU
DUIFEI GUOCHENG YU TIAOKONG

生物质废弃物 堆肥过程与调控

唐景春 著

中国环境科学出版社



生物质废弃物堆肥过程与调控

唐景春 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

生物质废弃物堆肥过程与调控/唐景春著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010

ISBN 978-7-5111-0387-1

I. ①生… II. ①唐… III. ①生物能源—废物—堆肥—技术 IV. ①S141.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 196954 号

策划编辑 肖 卫
责任编辑 刘 璐
封面设计 中通世奥

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 12 月第 1 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14.5
字 数 245 千字
定 价 38.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

堆肥技术近年来得到了较快的发展,成为处理生物质废弃物的主要手段之一。随着我国经济的快速发展,生物质废弃物不但排出量逐年增加,成分也日趋复杂,出现了以家畜粪便、污泥及生活垃圾为主要类型的生物质废弃物。因此,迫切需要对不同生物质废弃物堆肥过程的特点进行深入研究,以指导实际的堆肥过程,实现更为有效的生物质废弃物处理。

为了更好地把握堆肥的物理化学及微生物性质的变化过程,本书结合作者近年来的研究成果,并借鉴国内外的最新进展,以酞图谱分析为手段,重点介绍了堆肥过程中的物理化学性质与微生物性质及其变化之间的相互关系,比较了不同生物质的堆肥过程,阐述了堆肥过程中的主要影响因素及相关调控。通过对现场堆肥过程的分析,做到堆肥理论与实际相结合,为堆肥过程的管理提供了理论依据。

本书既适于高等院校堆肥理论的研究人员使用,也适合于废弃物处理企业的科研及管理人员。作者希望通过本书的出版对我国的堆肥理论研究起到促进作用,同时提高国家有关管理部门对堆肥技术的重视,特别是制定相关的堆肥技术及产品标准,在推动堆肥的工业化生产规模的同时,促进堆肥在农业、园林等相关产业中的应用。

在本书编写过程中,南开大学白晓瑞、王敏、王斐、王如刚、褚洪蕊及天津市辐射管理所李小娟给予了帮助。同时编写过程参阅了大量国内外相关文献和书籍,并得到了南开大学张清敏教授、天津市环境保护科学研究院正高级工程师卢学强等专家的指导,在此一并感谢,同时感谢中国环境科学出版社编辑肖卫为本书付出的劳动。尽管我们尽力做到精心编写,但由于作者水平有限,本书可能存在许多疏漏,不足之处在所难免,敬请同行和读者批评指正。

本书在出版过程中得到了国家高技术研究发展计划项目(863计划, No. 2007AA061201)及天津市应用基础及前沿技术研究计划(09JCYBJC08800)的资助,在此表示感谢。

编 者

2010年7月于南开园

目 录

第 1 章 生物质废弃物与堆肥	1
1.1 生物质废弃物排放现状	1
1.1.1 国内生物质废弃物排放状况	1
1.1.2 国外生物质废弃物的排放状况	11
1.1.3 堆肥与循环性社会之间的关系	13
1.2 堆肥处理生物质废弃物的研究状况	15
1.2.1 与堆肥工艺调控相关的因子及参数	16
1.2.2 不同生物质废弃物的堆肥	16
1.2.3 堆肥技术	17
1.2.4 堆肥过程中微生物的演替过程	19
1.2.5 蚯蚓堆肥	20
1.3 酞图谱法微生物的测定	21
1.3.1 酞类图谱和微生物群落结构	22
1.3.2 统计学分析与微生物生态多样性	24
1.3.3 酞含量和微生物生物量的关系	25
参考文献	26
第 2 章 不同堆肥产品的化学和微生物性质研究	31
2.1 堆肥产品的来源及酞图谱分析	31
2.2 堆肥产物的一般性质	35
2.3 不同堆肥产品的微生物群落结构	37
2.4 化学性质和微生物特性之间的关系	41
2.5 引申	42
参考文献	43
第 3 章 典型高温堆肥过程的性质研究	45
3.1 材料与方法	45

3.1.1 堆肥原料	45
3.1.2 堆肥条件	46
3.1.3 样品制备和分析方法	46
3.2 牛粪高温堆肥过程中的特征分析	47
3.2.1 高温堆肥过程中的质量平衡分析	47
3.2.2 堆肥中物理-化学性质的变化	48
3.2.3 TQ 和 DQ 表征的微生物特性	50
3.2.4 醱种类组成和微生物群落结构	50
3.2.5 堆肥过程中物理化学性质和微生物学性质的关系	53
3.3 引申	55
参考文献	56
 第 4 章 堆肥腐熟过程的表征	 58
4.1 材料与方法	59
4.2 元素组成分析	59
4.3 固态 ^{13}C 核磁共振结果	60
4.4 基于醱图谱分析的微生物群落结构变化	62
4.5 发芽指数变化	66
4.6 堆肥腐熟过程的评价	66
4.7 引申	69
参考文献	69
 第 5 章 不同环境因素对堆肥过程的影响	 72
5.1 温度对牛粪堆肥过程的影响	72
5.1.1 不同培养温度下理化性质变化的比较	73
5.1.2 不同培养温度下微生物演替的比较	75
5.1.3 PCR-DGGE 技术对堆肥过程的微生物群落的测定	78
5.1.4 温度对堆肥过程影响结果引申	81
5.2 调理剂对堆肥过程的影响和微生物产率 Y 的计算	81
5.2.1 不同堆肥运行下化学成分的变化	82
5.2.2 不同堆肥处理条件下醱含量的变化	83
5.2.3 堆肥过程中氧消耗率的变化	86
5.2.4 醱含量增加和累计氧气的消耗量、质量减少、 微生物产率之间的相关性	87

5.2.5 调理剂对堆肥过程的影响	90
5.3 引申	90
参考文献	91
第 6 章 不同原料生物质堆肥过程研究	94
6.1 食物残渣堆肥过程	95
6.1.1 堆肥过程物理化学性质的变化	95
6.1.2 食物垃圾堆肥过程中微生物性质的变化	98
6.2 不同原料堆肥过程的比较	100
6.2.1 食品垃圾堆肥与牛粪堆肥的比较	100
6.2.2 不同原料堆肥过程中物理化学性质的变化	101
6.2.3 不同原料堆肥过程的微生物性质变化	103
6.2.4 堆肥过程中微生物特性与有机物降解率间的关系	105
6.3 引申	106
参考文献	107
第 7 章 现场堆肥过程的研究	109
7.1 现场堆肥系统 1 的分析: 商业级的食物污泥堆肥过程	109
7.1.1 现场堆肥系统 1 的过程及分析方法	109
7.1.2 对现场堆肥系统 1 的化学和微生物分析	111
7.1.3 现场堆肥过程 1 腐熟度和呼吸速率的分析	113
7.1.4 堆肥过程控制和过程的战略评估	115
7.2 现场堆肥过程 2 的分析——镜川污水污泥堆肥系统	115
7.2.1 现场堆肥过程 2	115
7.2.2 现场堆肥过程 2 的化学分析	117
7.2.3 现场堆肥过程 2 的微生物分析	119
7.2.4 现场堆肥过程 2 的特性描述	123
7.3 现场堆肥过程 3: 猪粪堆肥和树皮堆肥过程	124
7.3.1 工艺流程介绍	124
7.3.2 现场堆肥过程 3 的分析结果	124
7.3.3 现场堆肥过程 3 的特性描述	128
7.4 现场堆肥过程的分析	128
参考文献	129

第 8 章 耐盐微生物的筛选及海藻堆肥过程研究	130
8.1 使用耐盐细菌进行裙带菜堆肥化	132
8.1.1 盐含量对 HR6 堆肥的影响	132
8.1.2 用于海藻堆肥的耐盐菌的分离和特性描述	133
8.1.3 海藻裙带菜的 AW4 堆肥过程	135
8.2 藻酸盐降解菌在裙带菜利用中的作用	137
8.2.1 藻酸盐降解菌的分离和鉴定	138
8.2.2 A7 菌生长及产酶影响因素的研究	140
8.2.3 褐藻酸裂解酶的酶学性质及影响因素	145
8.2.4 菌株 A7 处理海藻的研究	149
8.3 海藻微生物处理后对植物生长的影响及潜在生态毒性	150
参考文献	152
第 9 章 堆肥过程中污染物及腐殖酸的变化	155
9.1 堆肥及土壤中重金属生物有效性研究	155
9.1.1 堆肥过程中重金属形态分析	157
9.1.2 重金属对堆肥中典型微生物的毒理研究	159
9.1.3 堆肥微生物对重金属的吸收	163
9.1.4 污泥及污泥堆肥产品应用过程中重金属的有效性及其机制	164
9.2 堆肥产品对重金属的吸附-解吸机理研究	166
9.2.1 重金属在污泥堆肥产品中吸附等温线拟合参数	167
9.2.2 吸附量与解吸率之间的关系	168
9.2.3 重金属在污泥堆肥产品中解吸等温线的拟合参数	169
9.3 堆肥处理石油污染土壤过程及重金属的有效性	170
9.3.1 原污泥及堆肥处理后污泥对石油污染土壤修复影响	171
9.3.2 污泥及堆肥处理在石油污染土壤修复过程中 重金属形态变化	172
9.3.3 引申	173
9.4 堆肥过程多环芳烃的生物有效性及其变动	174
9.5 堆肥过程中腐殖酸的变动及其表面活性	177
9.5.1 堆肥过程中腐殖酸生成及动态变化	178
9.5.2 堆肥中腐殖酸的结构分析与结构特性研究	179
9.5.3 腐殖酸生成的影响因素及机理	182
9.5.4 堆肥腐殖酸的应用	182

参考文献	184
第 10 章 堆肥过程调控及管理	195
10.1 堆肥过程的特性	195
10.1.1 堆肥过程中微生物的演替过程	196
10.1.2 堆肥过程中微生物群落的评价及与其他 物理化学性质的关系	198
10.1.3 堆肥过程中影响各种生物质固体废物处理的因素	199
10.2 酞图谱法在堆肥研究中的应用	201
10.3 堆肥过程调控策略的建议	202
10.4 堆肥的相关标准及管理	203
10.5 堆肥腐熟度及其评价方法	209
10.5.1 物理分析方法	209
10.5.2 化学分析方法	210
10.5.3 生物分析方法	211
10.5.4 波谱分析法	212
10.6 堆肥过程中病原菌的变化	213
10.6.1 影响病原菌变化的因素	213
10.6.2 堆肥过程多种病原菌变化的研究	216
参考文献	217

第1章 生物质废弃物与堆肥

1.1 生物质废弃物排放现状

现在人们生活在一个大量生产、大量消费和废弃物大量排放的社会。目前,我国总有机固体废弃物年排放量约为 41.3 亿 t, 其中粗有机质为 12.3 亿 t。生物质有机物按其产生量来看主要包括农业废弃物, 如秸秆、畜禽粪便, 生活垃圾及工业来源的污泥等。我国生物质废弃物呈逐年增加的趋势, 生物质废弃物的处理也成为大家普遍关心的问题。

1.1.1 国内生物质废弃物排放状况

1.1.1.1 农业废弃物排放及危害

目前, 我国是世界上农业废弃物产出量最大的国家, 每年排出 40 多亿 t, 其中畜禽粪便排放量为 26.1 亿 t, 农作物秸秆为 7.0 亿 t, 废弃农膜等塑料为 2.5 万 t, 蔬菜废弃物为 1 亿~1.5 亿 t, 乡镇生活垃圾和人粪便为 2.5 亿 t, 肉类加工厂(包括肉联厂、皮革厂和屠宰场)废弃物为 0.5 亿~0.65 亿 t, 饼粕类为 0.25 亿 t, 林业废弃物(不包括炭薪林)每年约达 3 700 万 m³, 相当于 1 000 万 t 标煤^[1]。根据 2007 年前的统计资料计算, 中国禽畜粪便资源总量约为 8.5 亿 t, 折合 7 840 多万 t 标煤, 其中牛粪为 5.78 亿 t, 折合 4 890 万 t 标煤, 猪粪为 2.59 亿 t, 折合 2 230 万 t 标煤, 鸡粪为 0.14 亿 t, 折合 717 万 t 标煤^[2]。作物秸秆是当前我国第二大类农业固体有机废弃物, 其中含有大量有机质、N、P、K、Mg、Ca、S 等元素, 其中 N、P、K 总储量约为 914 万 t^[3]。我国农作物秸秆的品种很多、分布广、数量巨大, 仅重要作物秸秆就近 20 种, 占世界秸秆总产量的 20%~30%^[4]。由于化石燃料使用的增加, 大量的秸秆等废弃物利用逐年减少, 许多地区废弃的秸秆量已占秸秆总量的 60%以上。

农业废弃物中家畜粪便不仅产量大, 同时可对环境产生严重的污染和生态风险。家畜粪便可通过地表径流进入农田以外的区域, 养殖场废水是对鱼类和其他水生生物产生危害的主要污染物。粪便中的有机物经分解、微生物氧化可造成河

流或湖泊水体的溶氧含量降低及鱼类窒息死亡。研究表明,家畜粪便的 BOD 值是市政污水的 160 倍,甚至更高。粪便通过径流稀释,其污染还要比市政污水大 2~4 倍。禽畜废物中的氮含量也较高,在低浓度情况下对水生生物也会产生危害。在夏季,处理后的城市污水中的氮含量不得超过 1.5 mg/L,而原市政污水中的氮含量约 50 mg/L,禽畜粪便中氮的浓度是未经处理污水的 200 倍以上。因此,畜禽粪便及其废水不能任意排放到地表水中。此外,应采取一切预防措施以防止突发事故造成的意外排放。防止家畜粪便污染的最基本的措施之一是选址,通过合理选址将会最大限度地减少养殖场排放的污染物对地表水的污染风险。一个不良的选址或废物贮存地可以同时威胁到地下水质的安全和居民的身体健康。对地下水污染的问题之一是硝酸盐污染,硝酸盐可以在粪便分解等生物过程中产生。因为硝酸盐是水溶性的,如果废弃物存储不当,可以随时移动到地下水中。硝酸盐会大大降低血液的携氧能力,饮用水中过量的硝酸盐引起的缺氧可导致婴儿发育缺陷并在极端情况下会导致婴儿死亡等严重事件。

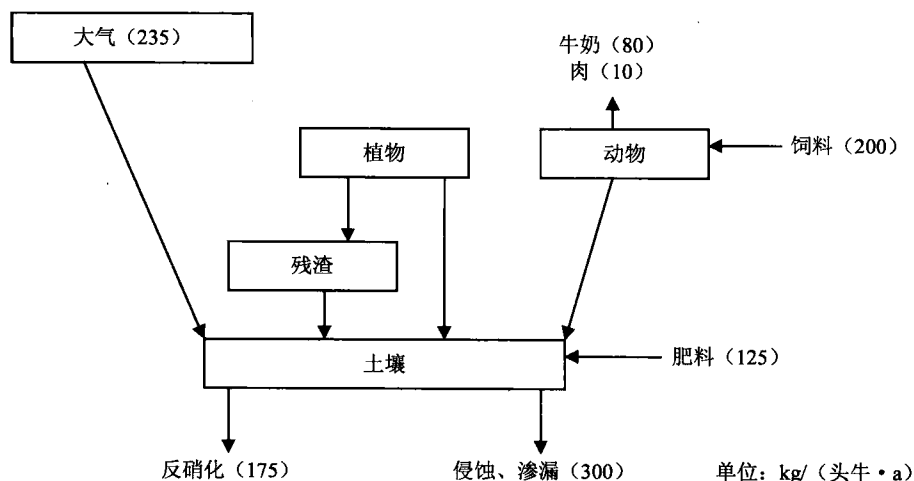


图 1-1 国外某奶牛场氮素的输入及损失^[5-6]

图 1-1 显示的是国外某奶牛场氮素的输入及损失情况。土壤中的氮素含量可通过大气、植物分解、动物粪便及肥料的施用等形式输入,同时通过反硝化及侵蚀、渗漏作用从土壤中损失。场区氮素的输入量可达 650 kg/(头牛·a),其中大气输入及动物粪便的排放为主要输入形式,而损失量为 475 kg/(头牛·a)。虽然氮素是植物生长的必需元素,但过度的氮素累计也会造成土壤污染,产生生态风险并进一步影响人体健康。因此,家畜粪便在土壤氮循环中具有非常重要的

作用。

农业废弃物中的有害物质如农药等的污染问题近年也受到了广泛的关注。中国是一个农药生产和使用的大国,年产量约为 45 万 t,每年用量约为 25 万 t。其中杀虫剂(有机磷、氨基甲酸酯等)约占总量的 70%,杀菌剂约占 13%,除草剂约占 15%,还有少量的生长调节剂和杀鼠剂。农药在保护农作物,防治病虫害,促进农业增产等方面发挥了巨大作用,但与此同时也导致了粮食、蔬菜等农产品的农残污染日益严重,同时这些污染物也存在于大量的农业废弃物中,成为潜在的污染源。此外,在畜牧业中过量使用抗生素(氯霉素系)、抗菌药物(磺胺类)和生长素(己烯雌酚)等,虽然在降低发病率和死亡率、促进生长、提高饲料利用率等方面发挥了积极作用,却导致了兽药在动物体内的滞留或蓄积,严重影响到动物源性农产品的安全,一部分兽药也通过家畜粪便排出,造成环境污染。

1.1.1.2 生活垃圾的排放状况及处理

生活垃圾是城市生活中大量排出的废弃物,图 1-2 统计了 1979—2004 年城市生活垃圾清运量年增长率和城市数量的变化。从图中可以看出,在此期间垃圾清运量及年增长率均为正增长,并且基本上呈平稳下降的趋势,1988—1994 年维持在一个较低数值,至 90 年代中后期垃圾增长率下降到最低点,与垃圾清运量在该阶段缓慢增长相吻合。中国城市数量从 1979 年开始快速增加直至 90 年代中后期逐渐趋于稳定,与 2000 年前垃圾清运量的变化相一致。近几年随着城市化率和城市人口的迅速增加,垃圾清运量年增长率又有抬升的趋势。

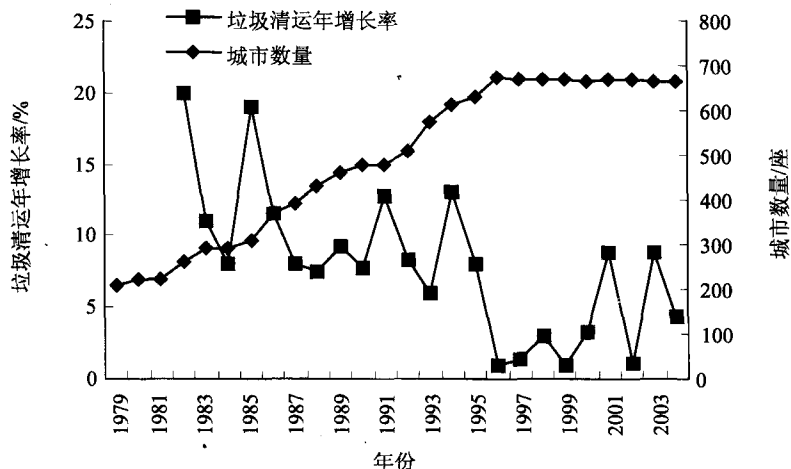


图 1-2 城市生活垃圾清运量和城市数量的变化趋势^[7]

通过对我国代表城市广泛地实地调查和采样分析, 得到中国城市生活垃圾的主要组成物: 居民生活垃圾, 包括: 食物垃圾、纸屑、布料、木料、金属、玻璃、塑料、橡胶、陶瓷、燃料灰渣、碎砖瓦、废器具、杂品等, 约占垃圾总量的 60%, 这类垃圾成分最复杂, 受时间和季节的影响也较大, 有较大的波动性; 清扫垃圾约占垃圾总量的 10%, 包括泥沙、灰土、枯枝败叶、商品包装等, 其平均含水量低, 热值比居民生活垃圾略高; 社会团体垃圾约占垃圾总量的 30%, 因产源单位不同其成分差异较大, 但总体组分比较稳定, 平均含水率低, 含高热值的易燃物较多^[8]。

餐厨垃圾是家庭、餐饮单位丢弃的剩饭菜的通称, 是城市生活垃圾的重要组成部分。据国家环境公报显示, 我国厨余垃圾产生量很大, 2001 年城市生活垃圾的清运量为 13 470.4 万 t, 其中厨余垃圾为 4 041.1 万~5 388.2 万 t, 占城市生活垃圾总量的 30%~50%。餐厨垃圾含有丰富的有机物质, 是一种十分有效的生物物质资源。厨余垃圾主要包括米和面粉类的食物残余、蔬菜、植物油、动物油、肉骨、鱼刺及水果的皮核等, 在化学组成上含有淀粉、纤维素、蛋白质、脂类和无机盐等。其特点如下: ①粗蛋白和粗纤维等有机物含量较高, 开发利用价值较大, 但易腐并产生恶臭; ②含水率高, 不便收集运输, 热值低, 处理不当容易产生渗沥液等二次污染物; ③油类和盐类 (NaCl) 物质含量较其他生活垃圾高, 对资源化产品品质影响较大, 需要妥善处理; ④每天产生, 不容易集中处理, 且成分复杂, 存在体积大小各不相同的各种杂质等物质。

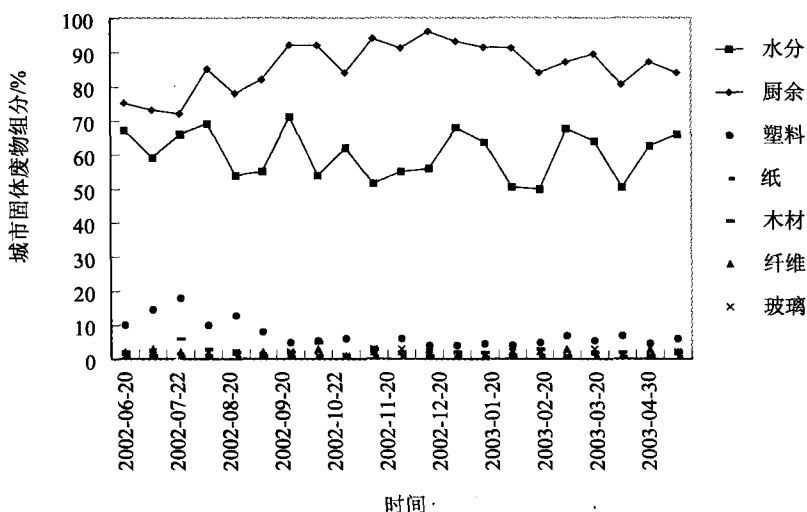


图 1-3 上海浦东新区的垃圾组成^[9]

图 1-3 为 2002 年 6 月至 2003 年 4 月来自上海浦东新区的上海城市垃圾转运站城市生活垃圾的组成。其成分大部分是食物残渣,其余部分包括废纸和木材等。收集的垃圾含水量达 50%~70%。垃圾含水量和食物残渣含量之间在统计学上[样品数(S)为 21, $\alpha=0.01$, 相关 $R=0.549$] 没有相关性^[9]。

国内外厨余垃圾资源化技术主要有饲料化技术、肥料化处理技术和生物柴油技术等。目前我国已有部分城市实行专项立法,对餐厨垃圾的使用采取了强制性规定。2004 年,《北京市动物防疫条例(草案)》规定,严禁动物养殖场使用饭店、宾馆、餐厅、食堂产生的未经无害化处理的餐厨垃圾饲喂动物。上海、青岛等城市也出台了类似规定,限制将厨余垃圾喂养动物。用餐厨垃圾制作生物柴油虽然具有很大的环境效益,但在经济和市场上仍需政策的鼓励和支持,才能与石化柴油竞争。在国外靠大量减税或免税可使其价格与现有柴油相近。

厨余垃圾常用的处理方法是进行堆肥处理,即在微生物的作用下,经高温发酵使其中的病原菌无害化、有机质分解转化成类腐殖质的过程。研究表明,选用适当的堆肥技术既可杀灭污泥中的病毒、病原体和寄生虫卵,又不会破坏污泥中的植物养分。经高温堆肥后,不仅消除了垃圾的恶臭,同时杀灭了虫卵、致病菌,而且还可以显著降解或者钝化有毒、有害物质,避免二次污染,具有较好的社会效益和环境效益。堆肥产品含有多种植物生长促进剂,是一种品质优良的有机复合肥或可生产有机菌肥,可作花卉、树木等的施用肥。堆肥过程中不需要其他能源和人工管理,投资及运行费用低,操作管理方便,我国近几年在北京、天津、深圳、大连、秦皇岛、石家庄等城市对生活垃圾高温堆肥处理的研究已取得了工艺技术方面的经验和成果。

由于厨余垃圾具有分散、排出量小的特点,国外现在已开发出了小型垃圾处理机。目前日本市场上的家庭垃圾处理机主要有生物分解式和干燥型两种。干燥型垃圾处理机与一般的垃圾桶一样,消费者把垃圾放入处理机,按一下电钮,经 2~3 h 加热干燥,垃圾变成黑色的渣滓,体积可减少 80%以上,但此残渣要在自然环境下还需经过“二次发酵”才能真正变成有机肥。生物分解式垃圾处理机的原理就是人为制造一个近似自然的堆肥过程,经过微生物的分解作用,绝大部分垃圾被分解为水和二氧化碳,少部分成为有机肥,可使垃圾减量 85%~95%。另外,以住宅小区作为垃圾初级处理的基本单位,利用占地面积不大且异味较少的小规模垃圾处理设备对住宅区内用户排出的厨余垃圾进行处理。这些装置由市政部门来管理和运营,可制得高质量的肥料。这些废料可以就地使用,用于小区绿化,减少了肥料购入所需的费用。小容量垃圾处理机为居民小区、宾馆、餐厅、集贸市场、食品水产加工、企事业单位、机场客轮等提供了一条厨余垃圾资源化的有效途径。

目前,垃圾的分类回收是大家关注的,同时也是在逐步实施的一项措施。垃圾分类回收在发达国家开展得比较早,德国及日本等是垃圾回收做得比较好的国家。全球废弃物回收行业的市场规模在 20 世纪 90 年代初为 1 000 亿美元,2000 年增加到近 3 000 亿美元,增长 2 倍多。通过分类回收,既加强了废弃物的回收和利用,又为废弃物的有效利用创造了条件。这使垃圾处理在单一卫生填埋、堆肥、生物处理、固化、垃圾焚烧等的基础上向着综合处理的方向发展。

1.1.1.3 污泥的排放状况及性质

人类活动自工业革命后对环境的影响急剧增强,造成了越来越严重的环境污染和生态破坏。但随着经济的发展,人们又越来越重视其生存环境的质量,于是自 19 世纪末 20 世纪初,人们开始了对现代环境保护的探索。环境污染尤其是水环境污染,极大地威胁着人类的健康和阻碍经济的发展。1914 年由英国人 Arden 和 Lockett 创建的活性污泥法^[10],90 多年来,经过各种改进和修正,在废水处理中取得了巨大的成就。但无论处理结果多么良好,最终总会产生部分剩余污泥。在欧洲,每年污水处理所产生的干污泥约为 600 万 t。据 1994 年组成的“欧洲污水小组”估计,经过 8 年,由于新环境法规的实施,污水生物处理所产生的污泥体积将增加 100%,即到 2002 年为 1 320 万 t。日本 1996 年产生的干污泥总量为 170 万 t^[11],1998 年美国产生的污泥为 690 万 t 干重^[12]。

随着我国工农业生产的发展,工业废水排放量正在迅速增加,我国近年来的污水排放情况见表 1-1。

表 1-1 中国从 1999—2005 年的污水排放量

单位: 亿 t

年份	总排放量	工业污水	生活污水
1999	401.0	197.0	204.0
2000	415.0	194.0	221.0
2001	428.4	200.7	227.7
2002	439.5	207.2	232.3
2003	460.0	212.4	247.6
2004	482.4	221.1	261.3
2005	524.5	243.1	281.4

注: 数据来源于我国各年的环境状况公报。

2000 年我国工业和城市生活废水的排放总量为 415 亿 t, 其中工业废水排放量为 194 亿 t, 城市生活污水排放量为 221 亿 t。化学需氧量(COD)排放总量为 1 445 万 t, 其中工业废水中 COD 排放量为 705 万 t, 生活污水中 COD 排放量为 740 万 t。由此可见工业废水和生活废水平均 COD 浓度大致相同。如果万吨

废水污泥产生量的平均值为 2.7 t (干重), 2000 年全国工业废水的处理率为 94.7%, 生活污水为 25%, 按此计算我国每年产生的污泥量约为 420 万 t, 折合含水 80% 的脱水污泥为 2 100 万 t^[13]。

目前我国的污水处理量和处理效率虽然不高 (45.6%), 但城市污水处理厂每年排放干污泥大约为 30 万 t (干重), 而且还以每年大约 10% 的速度增长^[14]。据不完全统计, 目前全国已经建成的城市污水处理厂有 427 余座, 年处理能力为 113.6 亿 m³, 今后, 随着大城市化的进一步发展, 新的污水处理厂将不断建立, 根据建设部门的规划, 到 2010 年, 我国设市城市污水处理率不低于 70%, 所有城市都要建立符合标准的生活污水处理设施, 必将产生更多的污水污泥。

污泥是污水处理后的附属品, 是一种由有机残片、细菌菌体、无机颗粒等组成的极其复杂的非均质体。污泥量占污水量的 0.3%~0.5% (体积分数) 或为污水处理量的 1%~2% (质量分数), 如果深度处理, 污泥量会增加 0.5~1 倍^[15]。污水处理效率的提高, 必然导致污泥数量的增加。污泥的成分非常复杂, 除含有大量的水分 (93%~99%) 外, 还含有大量的有机质、难降解的有机物、多种微量元素、病原微生物和寄生虫卵、重金属等。大量的未经处理的污泥任意堆放, 会对环境造成严重的污染, 因此, 如何将产生量巨大与成分复杂的污泥减量化、无害化和资源化, 已经成为世界环境界深为瞩目的课题之一。

污泥的种类有很多, 见表 1-2, 根据来源大体有生活污水污泥、工业废水污泥和给水污泥三类^[16]。根据污泥的成分和性质又可分为有机污泥和无机污泥; 亲水性污泥和疏水性污泥。而对于城市污水处理厂中的污泥一般可按其分离和处理过程分为沉淀污泥 (包括初沉淀污泥、混凝沉淀污泥和化学沉淀污泥等) 及生物污泥 (包括腐殖污泥和剩余污泥) 以及它们的混合物。对于通常的城市污水处理厂来说, 目前均采用生物法, 在沉砂池和沉淀池中, 污水中大量的无机及不溶的物质已被截留和沉淀, 含有大量有机物的废水进入生化池, 在此与大量空气相接触, 这时水中就会产生污泥, 这些污泥是以好养菌为主体形成的絮状体, 絮状体混杂着污水中的有机物和无机物的悬浮物质、胶体物质, 并在表面上附着着种种不同的原生动物、后生动物等。即在污泥上充满了活的微生物, 所以人们把这种污泥称为活性污泥^[17]。用于堆肥的污泥主要来源于生物处理法的活性污泥以及沉淀污泥和活性污泥的混合物。格栅及调节沉淀池的污泥一般被叫做沉渣, 由于其中有机成分很少, 所以不用来进行堆肥处理。

表 1-2 污泥的种类及来源

污泥的种类	来源
初沉池污泥	来自初沉池无机成分较高
腐殖污泥	来自生物膜法处理的污泥
剩余污泥	来自活性污泥法处理二沉池排出的污泥
消化污泥	生化处理的污泥经厌氧处理后的熟化污泥
化学污泥	混凝、气浮、化学沉淀所产生的污泥

(1) 污泥的组成

城市污泥中含有一定数量的有机质、氮、磷、钾和其他植物生长所必需的营养元素（其中有机质可达 30%~60%，氮、磷分别达 1%~4%和 0.6%~1.5%），甚至高于一般的农家肥（猪厩肥干物质中平均含氮 1.63%、磷 0.30%，牛厩肥中平均含氮 1.51%、磷 0.31%）。另外，污泥施用于土壤既可增加作物产量，又可改良土壤的理化和生物学性质^[18]。表 1-3 列出了一些污水处理厂的污泥营养物含量。可以看出，污泥是一种良好的有机肥料和土壤改良剂。按 N、P、K 主要营养物质的总量计算，1 t 城市污水污泥大约相当于 100 kg N、P、K 无机肥料。美国城市污泥中平均含有机质 31%，全氮 3.0%、全磷 2.5%、全钾 0.4%^[19]，将污泥和废水加以利用，每年可以得到价值相当于 9 500 万美元的商品化肥^[20]。我国每年产生的污水污泥数量巨大，充分利用也将是一笔巨大的财富。

表 1-3 天津几个污水处理厂污泥中的营养物含量

	有机成分/%	氮/%	磷/%	钾/%
天津开发区污水厂消化污泥	42.8~44.62	3.59~3.78	1.58~1.94	0.28~0.33
天津纪庄子污水厂消化污泥	48~53	2.4~3.9	1.2~3.5	0.32~0.43
天津东郊污水厂混合污泥	51~53	3.04~3.18	1.24~1.47	—
猪厩肥	25.0	0.45	0.083	—
马厩肥	25.0	0.58	0.122	—
牛厩肥	20.0	0.34	0.070	—
羊厩肥	31.8	0.84	1.100	—

与此同时，污泥中也含有大量的有害污染物，分为有机和无机两种。污泥中无机污染物主要为重金属，如 Pb、Cd、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、As 等（其中类金属 As 一般也被当做重金属研究）^[21]，见表 1-4。污泥农用时，人们较为关注的重金属主要为 Pb、Cd、Cr、Ni、Cu、Zn。污泥通常含有比土壤中含量高得多