

SHIPIN GONGYE
GUTI FEIWU
ZIYUANHUA JISHU

食品工业

固体废物资源化技术

徐忠 赵丹 编著

SHIPIN GONGYE
GUTI FEIWU
ZIYUANHUA JISHU

食品工业 固体废物资源化技术

徐忠 赵丹 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共 10 章，结构按大类食品划分，主要包括食品工业固体废物概述，固体废物预处理及资源化技术，谷物加工固体废物资源化技术及应用实例，淀粉加工固体废物资源化技术及实例，酒类加工固体废物资源化技术，大豆加工固体废物资源化技术及工程实例，餐饮加工固体废物资源化技术，畜产品加工固体废物资源化技术及工程实例，水产品加工固体废物资源化技术，农作物秸秆资源化技术及实例。书后还附有相关法律，供读者参考。

本书内容系统性、可读性及应用性强，可供食品加工技术人员、管理人员、工人，环境保护研究人员、管理人员参考，也可供高等学校环境工程、食品工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品工业固体废物资源化技术/徐忠，赵丹编著. —北京：
化学工业出版社，2019.1

ISBN 978-7-122-33191-5

I. ①食… II. ①徐…②赵… III. ①食品工业-固体废物利用 IV. ①X792.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 238822 号

责任编辑：刘 婧 刘兴春
责任校对：宋 玮

文字编辑：汲永臻
装帧设计：韩 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：北京京华铭诚工贸有限公司
装 订：三河市瞰发装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 13³/₄ 字数 300 千字 2019 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888 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

>>> 前言

我国是全球第一大食品工业国，食品产业已成为我国国民经济最具活力的新的增长点和发展现代农业的新空间，也是拉动内需、增加就业、促进经济增长与社会发展、大量转化农产品和增加农民收入的支柱产业。食品工业固体废物是食品加工企业在以动植物为原料进行粮食加工、食品加工、食品制造、餐饮加工等过程中产生的被抛弃或者放弃的固体、半固体废物的总称，我国每年包括秸秆在内的粮食加工废物产量达到 12.5 亿吨，食品加工、食品制造等行业废物达到 4.6 亿吨，餐饮废物达 0.6 亿吨。为减少食品工业固体废物的污染、保护环境、保障食品安全、提高加工产品的附加值，食品工业固体废物的资源化利用研究已成为目前国内相关企业及研究单位关注的热点问题。

目前已有很多科研单位、高等院校、生产企业科技人员加入了食品工业固体废物资源化研究及生产的行列，使得食品工业固体废物资源化加工的品种和生产工艺研究有了较大的突破，但与国外发达国家相比，无论是在生产技术、工艺装备和管理水平上，还是在产品质量和品种上，我国都还存在着一定的差距。因此我国食品加工业的科研机构和生产企业有必要研究和掌握食品工业固体废物的性质和资源化新的要求，不断调整、开发新的工艺和产品，以提高产品的生产效益和附加值。

我们结合多年来的教学与研究成果，收集并参考了国内外的文献资料，编著了本书。其中，徐忠编著第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 7 章、第 10 章，赵丹编著第 3 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章。本书内容反映了国内外学者及生产企业关于食品工业固体废物资源化研究成果以及研究动态，为国内食品工业固体废物新产品的进一步研究和开发提供参考。全书共分 10 章，第 1、第 2 章分别介绍了食品工业固体废物的基本概念和固体废物预处理和资源化的基本方法，第 3~10 章分别介绍了谷物加工固体废物、淀粉加工固体废物、酒类加工固体废物、大豆加工固体废物、餐饮加工固体废物、畜产品加工固体废物、水产品加工固体废物和农作物秸秆的资源化利用和研究实例。

限于作者水平及编著时间，书中不妥和遗漏之处在所难免，恳请各位读者批评指正。

编著者
2018 年 10 月

目 录

第1章 食品工业固体废物概述

1

1.1 我国食品工业的发展概况	1
1.2 食品工业固体废物的概念	1
1.2.1 固体废物的概念	1
1.2.2 食品工业固体废物的概念	1
1.3 食品工业固体废物的分类和来源	2
1.3.1 食品工业固体废物的分类	2
1.3.2 食品工业固体废物的来源	2
1.4 食品工业固体废物的特性	2
1.4.1 食品工业固体废物都含有有机成分	2
1.4.2 食品工业固体废物具有可再利用性	2
1.5 食品工业固体废物的危害	2
1.5.1 对土壤、水及大气环境造成危害	2
1.5.2 对居民生活造成影响	3
1.6 食品工业固体废物的管理法规与标准	3
1.6.1 固体废物的管理法规	3
1.6.2 食品工业固体废物的管理法规	3
1.6.3 固体废物的管理标准	4
1.7 食品工业固体废物资源化技术及途径	4
1.7.1 食品工业固体废物处理及资源化技术	4
1.7.2 食品工业固体废物资源化途径	4

第2章 固体废物预处理及资源化技术

5

2.1 物理法处理技术	5
2.1.1 固态气爆技术	5
2.1.2 微波技术	5
2.1.3 超声波技术	6
2.1.4 挤压膨化技术	6
2.1.5 热解技术	7

2.1.6 超临界技术	8
2.2 化学法预处理和资源化技术	9
2.2.1 固体废物化学法处理技术原理	9
2.2.2 酸法处理技术	9
2.2.3 碱法处理技术	9
2.2.4 盐法处理技术	9
2.2.5 有机溶剂处理技术	10
2.3 生物法资源化技术	10
2.3.1 酶法水解工艺	10
2.3.2 微生物发酵工艺	10

第3章 谷物加工固体废物资源化技术及应用实例

11

3.1 稻谷加工行业概述	11
3.2 稻谷加工固体废物的来源与特点	11
3.2.1 稻壳的来源与性质	11
3.2.2 米糠的来源、分类与性质	12
3.3 稻壳的资源化利用实例	13
3.3.1 生产稻壳饲料	13
3.3.2 稻壳生产燃料棒(炭棒)	14
3.4 米糠的资源化利用实例	15
3.4.1 生产米糠油	15
3.4.2 提取米糠蛋白	17
3.4.3 制备米糠食品	18
3.5 小麦加工固体废物的来源与特点	19
3.5.1 小麦麸皮的来源与性质	19
3.5.2 小麦胚芽来源与性质	21
3.6 小麦麸皮资源化利用实例	21
3.6.1 提取麦麸蛋白	21
3.6.2 提取麸皮膳食纤维	24
3.7 小麦胚芽资源化利用实例	25
3.7.1 生产小麦胚芽油	25
3.7.2 提取麦胚蛋白	26
3.7.3 提取谷胱甘肽和活性蛋白	26

4.1 玉米淀粉加工业概述	27
4.2 玉米淀粉加工工艺	27
4.3 玉米淀粉加工固体废物资源化利用实例	29
4.3.1 生产玉米胚芽油	29
4.3.2 利用麸质生产玉米蛋白粉	29
4.3.3 利用玉米芯提取木糖醇	30
4.4 马铃薯淀粉加工业概述	31
4.5 马铃薯淀粉加工工艺	32
4.6 马铃薯淀粉加工固体废物资源化利用实例	32
4.6.1 利用马铃薯渣制作饴糖	32
4.6.2 利用马铃薯渣酶法制取膳食纤维	33
4.6.3 利用马铃薯渣制取果胶	34
4.6.4 利用马铃薯渣生产单细胞蛋白质饲料	34

5.1 酒类加工行业概述	36
5.2 白酒加工工艺	36
5.3 白酒加工固体废物的来源与特点	37
5.4 白酒加工固体废物资源化利用实例	38
5.4.1 酒糟干粉生产	38
5.4.2 利用酒糟生产菌体蛋白	41
5.4.3 利用玉米酒糟生产酱油	41
5.5 啤酒加工工艺	42
5.6 啤酒加工固体废物的来源与特点	43
5.7 啤酒加工固体废物资源化利用实例	45
5.7.1 麦根制备复合磷酸二酯酶糖浆和复合磷酸酯酶片	45
5.7.2 麦根生产鲜味酱油	45
5.7.3 麦根生产营养果醋	46
5.7.4 麦芽根内核酸酶提取	48
5.7.5 麦糟生产饲料	48
5.7.6 麦糟厌氧消化产能制肥	49
5.7.7 麦糟制备乳酸	50

5.7.8 麦糟生产水溶性膳食纤维	50
5.7.9 麦糟生产食醋	51

第6章 大豆加工固体废物资源化技术及工程实例

53

6.1 大豆加工行业概述	53
6.1.1 大豆加工产业发展概况	53
6.1.2 我国大豆加工产业发展现状	53
6.1.3 大豆加工副产物的分类	54
6.2 大豆加工固体废物资源化利用实例	55
6.2.1 豆粕的综合开发利用	55
6.2.2 豆渣的综合开发利用	61
6.2.3 大豆皮的综合开发利用	62
6.2.4 大豆油脂加工副产物综合开发利用	63

第7章 餐饮加工固体废物资源化技术

66

7.1 餐厨固体废物概述	66
7.2 餐厨固体废物的特点	66
7.3 餐厨固体废物的危害	66
7.4 餐厨固体废物资源化技术	67
7.5 餐厨固体废物制取活性炭实例	67
7.5.1 餐厨固体废物制取活性炭工艺流程	68
7.5.2 餐厨固体废物活性炭制备工艺条件的研究	68
7.5.3 餐厨固体废物活性炭制备的正交实验	72
7.6 餐厨固体废物活性炭吸附性能研究	73
7.7 餐厨固体废物制取乙醇实例	75
7.7.1 餐厨固体废物制取乙醇的工艺流程	75
7.7.2 餐厨固体废物制取乙醇的影响因素研究	75
7.7.3 餐厨固体废物制取乙醇的反应条件优化	78

第8章 畜产品加工固体废物资源化技术及工程实例

80

8.1 畜产品加工行业概述	80
8.2 畜产品加工固体废物资源化技术	80
8.2.1 畜禽骨的综合利用	80

8.2.2 畜禽肠的综合利用	85
8.2.3 畜禽肝的加工利用	89

第9章 水产品加工固体废物资源化技术

91

9.1 水产品加工行业概述	91
9.2 水产品加工固体废物资源化技术	91
9.2.1 鱼粉加工资源化技术	91
9.2.2 鱼鳞、鱼头加工资源化技术	95
9.2.3 甲壳素、壳聚糖的加工	98
9.2.4 贝类副产品加工	98
9.3 湿法生产鱼粉加工实例	100
9.3.1 湿法生产鱼油工艺流程	101
9.3.2 湿压榨法生产鱼粉的操作要点	101
9.3.3 鱼粉生产注意事项	102

第10章 农作物秸秆资源化技术及实例

104

10.1 农作物秸秆资源化研究概述	104
10.1.1 农作物秸秆的性质及预处理	105
10.1.2 农作物秸秆的酶水解	106
10.1.3 农作物秸秆的资源化利用	109
10.2 乳酸制取技术研究概述	110
10.2.1 乳酸的结构与性质	110
10.2.2 乳酸的制取方法	111
10.2.3 乳酸菌发酵法制取乳酸	112
10.2.4 乳酸的供需情况及应用研究	114
10.3 研究方法及测试技术概述	116
10.3.1 实验材料与试剂	116
10.3.2 实验设备及分析检测仪器	117
10.3.3 工艺流程	118
10.3.4 大豆秸秆的预处理及酶水解方法	118
10.3.5 大豆秸秆固体发酵培养方法	118
10.3.6 乳酸菌的培养方法	119
10.3.7 乳酸菌的固定化方法	119
10.3.8 大豆秸秆结构与成分分析	119

10.3.9	还原糖和有机酸含量及转化率测定	120
10.3.10	乳酸菌数及细胞浓度测定	121
10.3.11	大豆秸秆酶水解率及 L-乳酸产率的测定	122
10.4	大豆秸秆预处理及纤维素酶制剂降解研究	122
10.4.1	大豆秸秆成分分析	123
10.4.2	不同预处理试剂对大豆秸秆成分的影响	123
10.4.3	预处理条件对大豆秸秆酶解效果的影响	124
10.4.4	预处理前后大豆秸秆的结构表征	125
10.4.5	纤维素酶制剂水解大豆秸秆的工艺条件优化	127
10.4.6	纤维素酶制剂水解大豆秸秆的优化条件确定	130
10.4.7	大豆秸秆酶解后的性能变化及水解产物的分析	131
10.4.8	纤维素酶的特性研究	133
10.5	固态发酵法制取纤维素酶及酶解条件研究	135
10.5.1	产纤维素酶菌种的筛选	135
10.5.2	固态发酵工艺条件对康氏木霉产酶的影响	135
10.5.3	固态发酵后大豆秸秆的化学组成的变化	138
10.5.4	康氏木霉固态发酵产酶特性的探讨	138
10.5.5	固态发酵所产纤维素酶对大豆秸秆酶解的研究	139
10.5.6	酶解后大豆秸秆氨基酸营养成分的变化	141
10.5.7	酶解后大豆秸秆表面形貌的变化	141
10.5.8	酶解液中水解产物的分析	141
10.5.9	纤维素酶制剂与康氏木霉所产纤维素酶酶解效果的 比较	142
10.5.10	纤维素酶的酶解机制	143
10.6	大豆秸秆酶解液发酵制取 L-乳酸的研究	145
10.6.1	不同乳酸菌种发酵产乳酸的比较研究	145
10.6.2	乳酸菌种固定化试剂的筛选	146
10.6.3	固定化乳酸菌的增殖	148
10.6.4	游离与固定化乳酸菌发酵影响因素	148
10.6.5	游离乳酸菌发酵与固定化乳酸菌发酵的比较	155
10.6.6	固定化乳酸菌发酵的原理及优势	156
10.6.7	发酵液中 L-乳酸的提取及活性炭脱色工艺研究	156
10.6.8	活性炭脱色后 L-乳酸的纯度与结构分析	160
10.6.9	四种作物秸秆酶解及 L-乳酸发酵的比较	162
10.7	大豆秸秆酶解液乳酸发酵过程动力学研究	167
10.7.1	L-乳酸发酵过程动力学分析	168
10.7.2	干酪乳杆菌细胞增长动力学研究	169

10. 7. 3 干酪乳杆菌发酵生成 L-乳酸动力学研究 172

附录

176

附录 I 中华人民共和国固体废物污染环境防治法
（2016 最新修订版） 176

附录 II 中华人民共和国循环经济促进法 186

附录 III 中华人民共和国食品安全法实施条例（2016） 193

参考文献

203



第 1 章

食品工业固体废物概述

1.1 我国食品工业的发展概况

我国是全球第一大食品工业国，食品产业已成为我国国民经济最具活力的新的增长点和发展现代农业的新空间。食品产业是产业原料牵着千家万户农民、产品质量关系着千家万户居民的民生保障基础产业，也是拉动内需、增加就业、促进经济增长与社会发展，大量转化农产品和增加农民收入的支柱产业。

按照国民经济发展规划指标要求，食品工业主动适应经济发展新常态，坚持稳中求进的总基调，以提质增效为中心，以消费增长为推动力，以科技创新为支撑，不断优化和调整产业结构，加快转型升级，2015 年食品工业企业实现主营业务收入 10.4 万亿元，同比增长 4.5%，实现利润总额 6807.4 亿元，同比增长 7.4%，上交税金总额 3435.4 亿元，同比增长 4.9%，发挥了国民经济支柱产业的重要作用。

1.2 食品工业固体废物的概念

1.2.1 固体废物的概念

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》明确提出：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。

1.2.2 食品工业固体废物的概念

广义上的食品工业固体废物是指食品加工企业在以动植物为原料进行的粮食加工、



食品加工、林副产品加工业等过程中产生的被抛弃或者放弃的固体、半固体废物的总称。

1.3 食品工业固体废物的分类和来源

1.3.1 食品工业固体废物的分类

按固体废物性质分类，食品工业固体废物属于有机固体废物，按我国食品加工业特点，食品工业固体废物主要可分为粮食加工固体废物、食品加工固体废物、食品制造固体废物、餐厨固体废物、林副产品固体废物等。

1.3.2 食品工业固体废物的来源

食品工业废物主要来源于粮食加工业如水稻、小麦、大豆、玉米等加工业，食品制造业如制酒、制糖等行业，餐饮加工业，林副产品加工业等产生的下脚料、废渣等如稻壳、麦麸、胚芽、秸秆、淀粉渣、酒糟等固体废物。

1.4 食品工业固体废物的特性

1.4.1 食品工业固体废物都含有有机成分

从来源上看，食品工业固体废物与农业生产和居民生活密切相关，食品工业固体废物主要成分为纤维素、半纤维素、木质素、蛋白质、淀粉、多糖、单糖、脂肪等有机成分，这些成分是固体废物资源化利用的基础。

1.4.2 食品工业固体废物具有可再利用性

利用物理、化学方法可以将食品工业固体废物中的有机成分提取出来，或通过生物酶技术将有机成分降解为可发酵成分，通过微生物发酵技术转化为可利用的食品基料、饲料等，实现固体废物减量化和资源化的目标。

1.5 食品工业固体废物的危害

1.5.1 对土壤、水及大气环境造成危害

我国食品工业固体废物种类多、来源广、产量大，固体废物放置及填埋会占用大量

的土地资源,尤其食品加工和制造业固体废物,有机成分高、湿度大、热值低,不利于焚烧处理,夏季长期放置,可溶成分随雨水从地表向下渗透,向土壤转化,会对土壤造成污染。固体废物渗滤液除了可通过土壤渗入地下水外,还可通过风吹、雨淋或人为因素进入地面水和流入江河湖海,有些企业将食品废渣直接倒入河流、湖泊或沿海海域中,都会造成水体严重污染与破坏。食品工业固体废物在堆放过程中,在温度、水分作用下,某些有机物质发生分解,产生有害气体,如一些腐败的垃圾废物散发出腥臭味,农作物秸秆焚烧等对空气环境造成污染。

1.5.2 对居民生活造成影响

一些食品工业固体废物如餐厨固体废物的处理与居民生活密切相关,近年来地沟油事件及利用餐厨废弃物直接作为饲料的事件等对居民食品安全造成很大影响,食品工业固体废物的处理及资源化利用要依法依规进行,不能对环境产生二次污染,更不能对居民生活和饮食安全造成不利影响。

1.6 食品工业固体废物的管理法规与标准

1.6.1 固体废物的管理法规

1995年10月30日第八届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议通过、2004年12月29日第十届全国人民代表大会常务委员会第十三次会议修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》对“固体废弃物”做了明确的定义和分类。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。国家鼓励单位和个人购买、使用再生产品和可重复利用产品。

2008年8月29日中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第四次会议通过的《中华人民共和国循环经济促进法》,提出了发展循环经济的战略,对固体废物减量化、再利用、资源化活动进行了界定。国家制定产业政策,应当符合发展循环经济的要求,国家鼓励和支持开展循环经济科学技术的研究、开发和推广,鼓励开展循环经济宣传、教育、科学知识普及和国际合作,鼓励企业事业单位建立健全管理制度,采取措施,降低资源消耗,减少废物的产生量和排放量,提高废物的再利用和资源化水平。国家鼓励和引导公民使用节能、节水、节材和有利于保护环境的产品及再生产品,减少废物的产生量和排放量。

1.6.2 食品工业固体废物的管理法规

2009年2月28日第十一届全国人民代表大会常务委员会第七次会议通过,2015



年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议修订的《中华人民共和国食品安全法》对食品生产和加工、食品销售和餐饮服务、食品相关产品的生产经营和安全管理、食品的贮存和运输提出了明确的规定和要求。国家建立食品安全风险监测制度,对食源性疾病、食品污染以及食品中的有害因素进行监测。国家鼓励和支持开展与食品安全有关的基础研究、应用研究,鼓励和支持食品生产经营者为提高食品安全水平采用先进技术和先进管理规范,国家建立食品安全风险评估制度,运用科学方法,根据食品安全风险监测信息、科学数据以及有关信息,对食品、食品添加剂、食品相关产品中生物性、化学性和物理性危害因素进行风险评估。食品工业固体废物的资源化利用也应遵守《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国循环经济促进法》和《中华人民共和国食品安全法》的规定和要求,开展相关生产及经营活动。

1.6.3 固体废物的管理标准

管理标准是管理法规体系中一个独立的、特殊的、重要的组成部分,是一种具有规范性的行为规则,同样具有法律的约束力,由国家机关按照法定程序进行制定和颁发。相应的管理标准分为强制性国家标准(GB)、推荐性国家标准(GB/T)和行业标准(HJ/T)等,食品工业固体废物的资源化利用应当遵循相关的食品行业标准和环境标准。

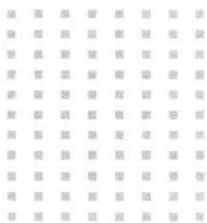
1.7 食品工业固体废物资源化技术及途径

1.7.1 食品工业固体废物处理及资源化技术

根据不同种类食品工业固体废物资源化利用所需要的技术方法,食品工业固体废物资源化利用技术主要包括物理法资源化技术、化学法资源化技术、生物酶技术和微生物发酵技术等。

1.7.2 食品工业固体废物资源化途径

来自于植物源食品加工废物如粮食加工、果蔬加工、酿造发酵等加工业产生的糠皮、麦麸、糟渣、饼粕、种子壳、皮、秸秆等废物可再度利用生产膳食纤维、植物蛋白、饲料蛋白、植物多肽、植物油、低聚糖、乙醇、乳酸、活性炭、果胶等产品。动物源食品加工废物如动物屠宰产生的毛、皮、骨、内脏等废物,水产品加工产生的虾壳、贝壳类废物可以再利用生产动物蛋白、壳聚糖、动物油脂、肝素钠、明胶、酶制剂等产品。



第 2 章

固体废物预处理 及资源化技术

2.1 物理法处理技术

2.1.1 固态气爆技术

(1) 固态气爆技术原理

主要应用于含纤维固体废物的预处理，原理是物料在气流膨化机中瞬间由高温、高压突然降到常温、常压，原料内部的水分突然气化，气体突然膨胀，发生喷爆，产生爆破效果，固态气爆处理可使物料组织呈海绵状，体积增大，一些结构组织如纤维素等被破坏，内含物暴露，有利于目的物的溶出，也有助于提高原料进一步生物转化的效率。

(2) 固态气爆工艺

物料清理除杂后，以适宜粒度采用浸泡或喷洒方式提高物料含水量，沥水后密封，进行一定时间的均湿，使其内部水分均衡，将调整好水分的物料装入气爆设备、密封，采用电加热或直接明火加热，在一定时间升压至预设压强，保压一定时间后瞬间卸压，完成气爆并收集物料。

2.1.2 微波技术

(1) 微波提取原理

微波是一种高频率的电磁波，其频率范围在 $300\text{MHz}\sim 300\text{GHz}$ 之间（相应的波长为 $0.1\sim 100\text{cm}$ ），它具有波动性、高频性、热特性和非热特性四大基本特性。微波作为一种电磁波也具有波粒二象性，微波量子的能量为 $1.99\times 10^{-25}\sim 1.99\times 10^{-22}\text{J}$ ，它与生物组织的相互作用主要表现为热效应和非热效应。微波的热效应是指能够透射到生物组织内部使偶极分子和蛋白质的极性侧链以极高的频率振荡引起分子的电磁振荡等作用增加分子的运动导致热量的产生。微波的非热效应是指除热效应外的其他效应如电效

应、磁效应及化学效应等。微波提取主要是利用其热效应，由于被提取物细胞内含水和极性有效成分，在微波电磁场作用下，极性分子从原来的热运动状态转向依照电磁场的方向交变而排列取向，产生类似摩擦热，这些物料含水和极性有效成分大量吸收热量，内部产生热效应，导致细胞结构发生破裂，溶剂容易进入细胞内，溶解并释放出细胞内物质，从而可以提高固体废物中某些组分的提取率。

(2) 微波提取工艺

固体废物物料经清理除杂和清洗后粉碎，以适宜粒度采用浸泡方式提高物料含溶剂量，使物料更好地吸收微波能，将物料和溶剂放入微波设备中，在微波设备中辐照一定时间后取出，液固分离、浓缩、干燥处理后，得到所需要的产品。

2.1.3 超声波技术

(1) 超声波提取原理与特点

超声波是指频率为 20kHz~50MHz 的电磁波，它是一种机械波，需要能量载体和介质来进行传播。超声波在传递过程中存在正负压强交变周期，在正相位时，对介质分子产生挤压，增加介质原来的密度；负相位时，介质分子稀疏、离散，介质密度减小。超声波并不能使样品内的分子产生极化，而是在溶剂和样品之间产生声波空化作用和搅拌作用，导致溶液内气泡的形成、增长和爆破压缩，从而使固体样品分散，增大物料与提取溶剂之间的接触面积，破坏物料的细胞，使溶剂渗透到细胞中，提高目标物从固相转移到液相的传质速率，缩短提取时间，提高提取率。

超声波提取特点是提取效率高，超声波独具的物理特性能促使植物细胞组织破壁或变形，使有效成分提取更充分；提取时间短，超声波强化中药提取通常在 24~40min 即可获得最佳提取率，提取时间较传统方法缩短 2/3 以上，原材料处理量大；提取温度低，超声提取中药材的最佳温度在 40~60℃，对遇热不稳定、易水解或氧化的有效成分具有保护作用，同时大大节约能耗；适应性广，超声提取中物料不受成分极性、分子量大小的限制，适用于各类物料有效成分的提取；提取液杂质少，有效成分易于分离、纯化，提取工艺运行成本低，综合经济效益显著。

(2) 超声波处理工艺

固体废物物料经清理除杂和清洗后粉碎，与适宜的溶剂混合、浸泡，使物料更好地吸收超声波，将物料放入超声波设备中，超声提取一定时间后取出，液固分离后，浓缩、干燥，得到所需要的产品。

2.1.4 挤压膨化技术

2.1.4.1 挤压膨化原理

生产中最常使用的是单螺杆挤压机和双螺杆挤压机，挤压膨化是借助挤压机螺杆的推动力，将物料向前挤压，物料受到混合、搅拌、摩擦以及高剪切力作用而获得并积累能量达到高温高压，并使物料膨化的过程。连续挤压蒸煮工艺的核心设备是挤压机。挤压机具有压缩、混合、混炼、熔融、膨化、成型等功能。挤压机的腔体可以分成 3~5