

# 农业固体废弃物资源化利用

张 颖 主 编

王晓辉 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

农业固体废弃物资源化利用/张颖主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 8  
ISBN 7-5025-7561-8

I. 农… II. 张… III. 农业废物: 固体废物-废物综合利用 IV. X71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098092 号

---

农业固体废弃物资源化利用

张 颖 主 编

王晓辉 副主编

责任编辑: 胡全胜 张 彦

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 于志岩

封面设计: 潘 虹

\*

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)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 234 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7561-8

定 价: 19.00 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

# 《农业固体废弃物资源化利用》 编写人员名单

主 编 张 颖

副主编 王晓辉

参 编 陈兆波 鄂 勇 陶虎春 单德鑫

# 前 言

我国是一个农业大国，农业生产中产生的废弃物种类繁多，数量巨大，但是只有其中的一小部分得到有效利用，农业资源被严重破坏和浪费的情况十分严重。这些废弃物既是宝贵资源，又是严重污染源，若不经妥善处理排入环境，将会造成环境污染、自然生态恶化。充分有效地利用农业废弃物，不仅对合理利用农业生产与生活资源、减少环境污染、改善农村生态环境具有十分重要的意义，而且在世界能源日益枯竭、人均占有量日渐减少的情况下，农业固体废弃物作为一种能源，它的综合利用及其资源化方面的研究也将对人类的生存产生重大影响。因此，农业废弃物的资源化利用问题，就成为当今农业与农村持续发展中的一个重要课题。

近几年来，农业固体废弃物的资源化利用正在进入科学化的新阶段，我国各地的相关人士在农业固体废弃物处理与利用技术的理论研究、专题攻关、产品开发、工程建设和营运管理等方面均取得了显著的成果，合理利用和推广这些成果，必将产生良好的经济效益、生态效益和社会效益。因此，作为这些工作的总结和回顾，本书以固体废弃物资源化利用为主线，在大量收集归纳国内外同类研究及应用资料的基础上，较全面地介绍了有关农业固体废弃物资源化利用的知识，力求能体现出集成性、先进性、系统性、代表性和实用性的特点；在写法上注重学科交叉，力求深入浅出和实用。

全书共分十一章，由东北农业大学张颖副教授主编，上海师范大学王晓辉副教授副主编。主要编写人员有：张颖（第一章，第三章，第十一章部分），王晓辉（第二章，第七章～第十章），哈尔滨工业大学陈兆波博士（第十一章部分），东北农业大学鄂勇教授（第六章），东北农业大学陶虎春讲师（第四章），东北农业大学单德鑫讲师（第五章）。张颖和王晓辉对全书进行了统稿。

此外，东北农业大学在读研究生孟庆娟、杨长福、周军等对本书的编写、校对也做出了贡献。

由于作者水平和经验有限，加之时间仓促，疏漏和错误之处在所难免，恳请同行专家、学者和广大读者提出宝贵的意见。

编者

2005 年 5 月

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第一章 概述 .....                          | 1  |
| 一、自然资源与废弃物的资源化 .....                  | 1  |
| 二、农业固体废弃物及其资源化的意义 .....               | 2  |
| 三、发达国家农业固体废弃物资源化利用现状与分析 .....         | 3  |
| 四、中国农业固体废弃物资源化利用现状与分析 .....           | 5  |
| 五、中国农业固体废弃物处理与资源化利用政策和<br>产业化对策 ..... | 7  |
| 六、农业固体废弃物资源化利用的限制性因素 .....            | 9  |
| 七、农业固体废弃物资源化利用的最新发展动向 .....           | 11 |
| 八、农业固体废弃物资源化利用发展前景展望 .....            | 15 |
| 参考文献 .....                            | 17 |
| 第二章 农业固体废弃物分类及特征 .....                | 18 |
| 第一节 农业固体废弃物的分类 .....                  | 18 |
| 一、农业废弃物的特点 .....                      | 19 |
| 二、农业固体废弃物的种类 .....                    | 19 |
| 第二节 第一性生产废弃物的特征分析 .....               | 20 |
| 一、第一性生产废弃物的特征及其利用方式 .....             | 20 |
| 二、如何有效开发我国的秸秆资源 .....                 | 20 |
| 第三节 第二性生产废弃物的特征分析 .....               | 21 |
| 一、第二性生产废弃物产量及分布 .....                 | 21 |
| 二、第二性生产废弃物的利用途径和开发价值 .....            | 22 |
| 第四节 农副产品加工后剩余物的特征分析 .....             | 22 |
| 一、农副产品废弃物的种类 .....                    | 22 |
| 二、农副产品废弃物的特征 .....                    | 22 |
| 第五节 农村居民生活废弃物的特征分析 .....              | 23 |
| 一、我国农村的生活垃圾数量及其成分特点 .....             | 23 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 二、农村生活垃圾处理处置现状及存在问题 .....  | 24 |
| 参考文献 .....                 | 25 |
| 第三章 植物纤维性废弃物资源化利用技术 .....  | 26 |
| 第一节 植物纤维性废弃物资源与特点 .....    | 26 |
| 一、植物纤维性废弃物的资源 .....        | 26 |
| 二、植物纤维性废弃物的特点 .....        | 27 |
| 三、植物纤维性废弃物的利用 .....        | 28 |
| 第二节 废物还田技术 .....           | 29 |
| 一、秸秆直接还田 .....             | 30 |
| 二、秸秆间接还田 .....             | 31 |
| 三、秸秆生化腐熟快速还田 .....         | 33 |
| 第三节 饲料化利用技术 .....          | 36 |
| 一、微生物贮存技术 .....            | 37 |
| 二、青贮法 .....                | 39 |
| 三、氨化法 .....                | 43 |
| 四、热喷处理 .....               | 47 |
| 第四节 气化技术 .....             | 50 |
| 一、作为气化原料的优点 .....          | 51 |
| 二、气化设备 .....               | 51 |
| 第五节 固化、炭化技术 .....          | 55 |
| 一、固化技术 .....               | 56 |
| 二、炭化技术 .....               | 57 |
| 第六节 制备生产原料技术 .....         | 57 |
| 一、膨化改性植物纤维技术 .....         | 58 |
| 二、制备阳离子交换树脂吸附重金属离子技术 ..... | 62 |
| 三、制备食用菌培养基技术 .....         | 62 |
| 第七节 制备复合材料技术 .....         | 64 |
| 一、制备人造板技术 .....            | 64 |
| 二、制备植物纤维发泡制品技术 .....       | 71 |
| 三、制备植物纤维餐具的技术 .....        | 73 |
| 四、利用植物纤维性废弃物造纸的技术 .....    | 74 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第八节 制取化学品技术 .....       | 74  |
| 一、低聚木糖 .....            | 75  |
| 二、糠醛 .....              | 76  |
| 三、淀粉 .....              | 78  |
| 四、白炭黑、活性炭和高模数硅酸钾 .....  | 79  |
| 五、膳食纤维 .....            | 80  |
| 六、草酸（乙二酸） .....         | 81  |
| 七、酒精 .....              | 82  |
| 参考文献 .....              | 83  |
| 第四章 畜禽粪便资源化利用技术 .....   | 85  |
| 第一节 畜禽粪便资源 and 特点 ..... | 85  |
| 一、畜禽粪便资源 .....          | 85  |
| 二、畜禽粪便资源的特点 .....       | 85  |
| 第二节 畜禽粪便污染与防治措施 .....   | 87  |
| 一、畜禽粪便对环境的污染 .....      | 87  |
| 二、畜禽粪便对环境的污染原因 .....    | 88  |
| 三、防治禽畜粪便污染的管理措施 .....   | 89  |
| 四、防治畜禽粪便污染的技术措施 .....   | 89  |
| 第三节 粪便肥料化技术 .....       | 90  |
| 一、概述 .....              | 91  |
| 二、关键因素及指标控制 .....       | 92  |
| 三、堆肥制作方法 .....          | 94  |
| 四、堆肥化设备 .....           | 96  |
| 五、堆肥品质检定的标准 .....       | 97  |
| 六、堆肥的功效 .....           | 97  |
| 七、堆肥施用原则及方法 .....       | 98  |
| 第四节 粪便饲料化技术 .....       | 99  |
| 一、畜禽粪便饲料化的可行性 .....     | 99  |
| 二、畜禽粪便饲料化的方法 .....      | 100 |
| 第五节 粪便燃料化技术 .....       | 101 |
| 一、沼气法 .....             | 102 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 二、畜禽粪便褥草的焚烧处理 .....       | 106 |
| 第六节 鸡粪资源化技术 .....         | 108 |
| 一、鸡粪成分 .....              | 108 |
| 二、鸡粪饲料化 .....             | 109 |
| 三、鸡粪肥料化 .....             | 112 |
| 第七节 猪粪资源化技术 .....         | 113 |
| 一、猪粪成分 .....              | 113 |
| 二、“猪乐菌”垫床法积肥 .....        | 114 |
| 三、生态养猪法 .....             | 115 |
| 参考文献 .....                | 117 |
| 第五章 塑料地膜的资源化利用技术 .....    | 120 |
| 第一节 废弃塑料地膜污染特征分析 .....    | 120 |
| 一、白色污染 .....              | 120 |
| 二、白色污染的危害 .....           | 120 |
| 第二节 焚烧回收热能技术 .....        | 122 |
| 一、焚烧废旧塑料地膜的方式 .....       | 122 |
| 二、废旧塑料地膜的能量回收 .....       | 123 |
| 第三节 洗净、粉碎、改型、造粒技术 .....   | 124 |
| 一、预处理 .....               | 124 |
| 二、再生料的成型前处理 .....         | 125 |
| 三、成型 .....                | 127 |
| 第四节 制备氯化聚乙烯技术 .....       | 127 |
| 一、配方 .....                | 128 |
| 二、工艺流程 .....              | 128 |
| 三、操作步骤 .....              | 128 |
| 第五节 还原油化技术 .....          | 130 |
| 一、热解法油化工艺 .....           | 131 |
| 二、催化热解法（一步法）油化工艺 .....    | 131 |
| 三、热解-催化改质法（两步法）油化工艺 ..... | 131 |
| 四、油化工艺存在的问题及其对策 .....     | 132 |
| 第六节 地膜二次、多次利用技术 .....     | 134 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 一、“一膜两用”及“一膜多用”的现实意义 .....    | 135 |
| 二、“一膜两用”及“一膜多用”的覆盖方式 .....    | 136 |
| 三、“一膜两用”及“一膜多用”栽培应注意的问题 ..... | 136 |
| 第七节 其他 .....                  | 137 |
| 一、用废旧塑料地膜制造控释肥料的包膜材料 .....    | 137 |
| 二、废旧塑料地膜的掩埋处理 .....           | 138 |
| 三、可降解性塑料及其制品的开发应用 .....       | 139 |
| 参考文献 .....                    | 141 |
| 第六章 农村生活垃圾与乡镇工业废弃物的资源化利用      |     |
| 技术 .....                      | 143 |
| 第一节 农村生活垃圾与乡镇工业废弃物的特征 .....   | 143 |
| 一、农村生活垃圾的特征 .....             | 143 |
| 二、乡镇工业废弃物的特征 .....            | 143 |
| 第二节 卫生填埋 .....                | 144 |
| 一、卫生填埋场的技术要求 .....            | 144 |
| 二、新型的卫生填埋场技术 .....            | 145 |
| 三、卫生填埋处理的社会与环境效益 .....        | 145 |
| 第三节 生物处理 .....                | 146 |
| 一、生物处理技术概述 .....              | 146 |
| 二、微生物对有机物的转化 .....            | 146 |
| 三、好氧发酵 .....                  | 147 |
| 四、厌氧发酵 .....                  | 148 |
| 第四节 垃圾焚烧技术 .....              | 151 |
| 一、机械炉排式焚烧炉 .....              | 151 |
| 二、流化床焚烧炉 .....                | 151 |
| 三、旋转窑焚烧炉 .....                | 152 |
| 四、垃圾焚烧技术 .....                | 152 |
| 五、垃圾的燃料转化技术 .....             | 154 |
| 第五节 生活垃圾卫生填埋场渗滤液处理 .....      | 155 |
| 一、渗滤液的产生来源与特点 .....           | 155 |
| 二、渗滤液水量控制工程 .....             | 155 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 三、滤液处理技术 .....          | 155 |
| 第六节 人粪尿处理技术 .....       | 156 |
| 一、堆肥发酵 .....            | 157 |
| 二、沼气发酵 .....            | 157 |
| 三、生态厕所 .....            | 157 |
| 四、粪便处理的卫生要求 .....       | 158 |
| 第七节 粉煤灰的资源化利用 .....     | 158 |
| 一、粉煤灰用于生产建筑材料 .....     | 159 |
| 二、粉煤灰用于农业土壤改良 .....     | 160 |
| 三、粉煤灰的精细利用 .....        | 161 |
| 第八节 煤矸石的资源化利用 .....     | 163 |
| 一、煤矸石替代燃料 .....         | 164 |
| 二、煤矸石生产各种建筑材料 .....     | 166 |
| 三、煤矸石生产化工产品 .....       | 167 |
| 四、煤矸石充填采空区 .....        | 167 |
| 第九节 废橡胶的资源化利用 .....     | 168 |
| 一、橡胶的生产和消费概况 .....      | 168 |
| 二、废橡胶利用的意义 .....        | 168 |
| 三、橡胶资源综合利用方面的生产技术 ..... | 169 |
| 参考文献 .....              | 171 |
| 第七章 沼气发酵及综合利用技术 .....   | 172 |
| 第一节 农村沼气发酵应用与特点 .....   | 172 |
| 一、沼气概述 .....            | 172 |
| 二、沼气发酵工艺 .....          | 172 |
| 第二节 沼气的资源化利用技术 .....    | 175 |
| 一、沼气发酵的能量利用 .....       | 175 |
| 二、沼气体特性的应用 .....        | 177 |
| 第三节 沼液的资源化利用技术 .....    | 178 |
| 一、概述 .....              | 178 |
| 二、沼液的成分 .....           | 178 |
| 三、沼液的应用 .....           | 179 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第四节 沼渣的资源化利用技术 .....            | 187 |
| 一、沼渣的应用 .....                   | 187 |
| 二、沼渣肥料的使用方法 .....               | 188 |
| 第五节 沼气与当代可持续生态农业的发展 .....       | 188 |
| 一、沼气工程 .....                    | 188 |
| 二、以沼气为纽带的农村生态庭院经济 .....         | 190 |
| 参考文献 .....                      | 192 |
| 第八章 农副产品废弃物的资源化利用技术 .....       | 194 |
| 第一节 农副产品废弃物的营养价值 .....          | 194 |
| 一、农副产品废弃物的概念及营养价值 .....         | 194 |
| 二、如何有效利用农副产品废弃物的营养成分 .....      | 195 |
| 第二节 农副产品废弃物的生物净化 .....          | 197 |
| 一、生物净化的定义及类型 .....              | 197 |
| 二、农副产品废弃物的生物净化 .....            | 198 |
| 第三节 农副产品废弃物的资源利用 .....          | 199 |
| 一、农副产品废弃物资源化的目的和意义 .....        | 199 |
| 二、农副产品废弃物资源化的途径 .....           | 199 |
| 参考文献 .....                      | 203 |
| 第九章 微生物在农业固体废弃物资源化中的应用 .....    | 204 |
| 第一节 微生物特性 .....                 | 204 |
| 一、微生物的定义 .....                  | 204 |
| 二、微生物的主要特点 .....                | 204 |
| 第二节 微生物菌剂在农业固体废弃物资源化中的应用 .....  | 205 |
| 一、微生物菌剂的定义和用途 .....             | 205 |
| 二、有效微生物群 .....                  | 206 |
| 三、微生物菌剂在农业固体废弃物治理中的应用 .....     | 206 |
| 四、微生物菌剂的研制 .....                | 209 |
| 第三节 生物工程技术在农业固体废弃物资源化中的应用 ..... | 211 |
| 一、生物工程的定义、技术体系和特点 .....         | 211 |
| 二、环境生物技术 .....                  | 212 |
| 三、生物技术在农业固体废弃物治理中的应用 .....      | 213 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 参考文献 .....                             | 216 |
| 第十章 农业固体废弃物的其他原料化技术 .....              | 218 |
| 第一节 利用农业废弃物制取木糖醇 .....                 | 218 |
| 一、木糖醇概述 .....                          | 218 |
| 二、木糖醇的制备 .....                         | 218 |
| 三、结晶木糖醇质量指标控制 .....                    | 222 |
| 第二节 利用农业废弃物制造轻质建筑板材 .....              | 222 |
| 一、利用农业废弃物制造人造板发展历程 .....               | 222 |
| 二、人造板类型 .....                          | 223 |
| 三、几种农业废弃物生产的无机胶黏剂粘接人造板 .....           | 225 |
| 第三节 利用农业废弃物生产食用菌 .....                 | 228 |
| 一、农业废弃物生产食用菌的原理 .....                  | 229 |
| 二、食用菌栽培方法 .....                        | 230 |
| 三、农业废弃物栽培食用菌 .....                     | 231 |
| 参考文献 .....                             | 233 |
| 第十一章 工程实例 .....                        | 234 |
| 第一节 北京市农业废弃物和畜禽粪便资源化利用实例 .....         | 234 |
| 一、秸秆类农业废弃物的处理利用 .....                  | 234 |
| 二、鸡粪的处理利用 .....                        | 236 |
| 三、猪粪的处理利用 .....                        | 237 |
| 四、塑料地膜的处理利用 .....                      | 238 |
| 第二节 台湾农业废弃物的再生处理与利用实例 .....            | 241 |
| 一、台湾主要农业废弃物资源介绍 .....                  | 241 |
| 二、台湾主要农业废弃物处理与利用 .....                 | 242 |
| 三、农业废弃物再生处理的社会效益 .....                 | 245 |
| 第三节 广东省新兴县农业废弃物资源化利用实例 .....           | 245 |
| 一、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用现状 .....            | 245 |
| 二、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用模式分析 .....          | 246 |
| 三、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用模式效应的<br>比较分析 ..... | 247 |
| 四、广东省新兴县促进农业废弃物资源化利用的对策与               |     |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 建议 .....                      | 248 |
| 第四节 辽宁省西安生态养殖场畜禽废物利用实例 .....  | 249 |
| 一、辽宁省西安生态养殖场概况 .....          | 249 |
| 二、生态养殖场系统结构组成及运行机理 .....      | 249 |
| 第五节 秸秆颗粒饲料加工技术实例 .....        | 252 |
| 一、生产原理及工艺 .....               | 253 |
| 二、主要产品特点及类型 .....             | 254 |
| 三、秸秆颗粒饲料的优势 .....             | 255 |
| 第六节 秸秆气化集中供气系统的应用 .....       | 256 |
| 一、工艺流程 .....                  | 256 |
| 二、经济成本分析 .....                | 256 |
| 三、目前秸秆气化工程推广存在的主要问题 .....     | 257 |
| 第七节 稻壳气化发电系统的应用 .....         | 258 |
| 一、工艺概况 .....                  | 259 |
| 二、工艺控制 .....                  | 260 |
| 三、产生废物的处理 .....               | 260 |
| 四、经济成本分析 .....                | 261 |
| 五、影响生物质气化发电技术应用的主要因素 .....    | 261 |
| 六、中国生物质气化发电技术的发展策略 .....      | 262 |
| 第八节 以沼气为纽带的生态农场典型实例 .....     | 263 |
| 一、杭州浮山养殖场沼气工程 .....           | 263 |
| 二、山东省胜利油田生态农场沼气工程 .....       | 265 |
| 三、河南省南阳酒精厂生产沼气无害肥大型示范工程 ..... | 267 |
| 参考文献 .....                    | 269 |

# 第一章 概 述

## 一、自然资源与废弃物的资源化

### (一) 自然资源的资源化

自然资源是指人类可以直接从自然界获得并用于生产和生活的物质，它是自然环境的重要组成部分。自然资源一般是指天然存在的自然物，主要包括土地资源、水资源、气候资源、生物资源和矿产资源等，而不包括人类加工制造的原材料，如各种农产品资源。

自然资源是一个非常广泛的概念，包括很多种形态和性质不同的物质，一般可分为如下三类。

① 不可更新的资源，又称非再生资源。这类资源是经历了漫长的地质年代才得以形成的，储备有限，基本上没有更新能力。在不可更新资源中，有些可借助于循环而被回收，如各种金属和非金属矿物等；有些则是一次消耗性的，如煤、石油等化石燃料。这类资源在开发利用中，只能消耗而无法持续利用，不能“取之不尽，用之不竭”。

② 可更新的资源，又称可再生资源。从理论上讲，可再生资源是可以永续利用的，即用了一次之后可恢复再利用，这类资源主要包括土地资源、水资源和生物资源。可更新自然资源无论是生物还是非生物的，在自然界生物圈内都能持续更新，即它们可在较短的时间内再生产出来或循环再现。例如，家畜、森林等在几年或几十年内就可以生长起来，而人类经过一定时期后即能对其再度利用；河流具有自净功能等。但必须对可更新资源加以人为经营或保护，若使用不当，会损害资源，破坏其更新循环过程，造成资源枯竭。

③ 取之不尽的资源。这类资源供给稳定，数量丰富，几乎不受人类活动影响，一般不因利用而枯竭。如空气、风力、太阳辐射

能、潮汐能和气候等，它们被利用后不会导致在某地区贮藏量减少，也不会导致资源的迅速枯竭。这类资源具有明显的地区性，只有掌握其规律，运用近代科学技术，才能使之更好地为人类造福。

## （二）废弃物的资源化

所谓资源化，指的是废物的再循环利用、回收资源和能源。因此，资源化又称为“再生”、“回收利用”等。对于不同的自然资源，应采取不同的保护对策。对可再生资源要积极保护和促进其再生增殖能力，使之持续发展和永续利用；对非再生资源应坚持综合勘察、综合开采、综合利用和经济节约的原则；对原生性的资源则是如何最充分地挖掘潜力，最大限度地加以利用。

## 二、农业固体废弃物及其资源化的意义

### （一）农业废弃物的概念及分类

农业废弃物也称农业垃圾，按其成分，主要包括植物纤维性废弃物（农作物秸秆、谷壳、果壳及甘蔗渣等农产品加工废弃物）和畜禽粪便两大类，是农业生产和再生产链环中资源投入与产出在物质和能量上的差额，是资源利用过程中产生的物质能量流失份额。一般意义上的农业废弃物，主要是指农业生产和农村居民生活中不可避免的一种非产品产出。从资源经济学的角度上看，农业废弃物是某种物质和能量的载体，是一种特殊形态的农业资源。

农业废弃物按其来源不同可分为以下几种类型。

- ① 第一性生产废弃物，主要是指农田和果园残留物，如作物秸秆、果树枝条、杂草、落叶、果实外壳等。
- ② 第二性生产废弃物，主要是指畜禽粪便和栏圈垫物等。
- ③ 农副产品加工后的剩余物。
- ④ 农村居民生活废弃物，包括人粪尿及生活垃圾。

### （二）农业固体废弃物资源化的意义

人类在开发利用自然资源进行社会化大生产的同时，必然产生许多废弃物。以我国为例，我国是一个农业大国，农业生产中的废弃物种类繁多，数量巨大，但仅有 1/5 农业废弃物被利用，农业资源被严重破坏和浪费。此外，种植业和养殖业只注重粮、肉、蛋、

奶等产品的利用，对大量的副产品弃之不顾。据报道，我国每年种植业产生的废弃物（秸秆、蒿草、壳蔓）有 10 亿吨左右、养殖业畜禽粪便 300 万吨左右、林业（锯末刨花）160 万吨左右。这些废弃物既是宝贵资源，又是严重污染源，若不经妥善处理排入环境，将会严重污染环境。如大量的秸秆被简单地烧掉，会严重污染大气环境；畜禽粪便等有机废液不经妥善处理直接排入水体，造成严重的地下水体和地表水系的污染等。如果这一状况进一步恶化，必将制约农业生产的发展。另一方面，农村乡镇工业迅速发展对商品能源的需求也会日益增加。

因此，如何充分有效地利用农业废弃物，将其加工转化，制成再生能源及其系列产品，不仅对合理利用农业生产与生活资源，减少环境污染，改善农村生态环境具有十分重要的意义，而且在能源日益枯竭的情况下，农业固体废弃物作为一种能源，它的利用也将产生重大的影响。农业固体废弃物的资源化利用正在进入科学化的新阶段，合理利用和推广这些技术，必将产生良好的经济效益、生态效益和社会效益。

### 三、发达国家农业固体废弃物资源化利用现状与分析

#### （一）农业废弃物用于处理废水

传统的废水处理系统是利用从原油中分离出的聚合物及粒状活性炭转移废水中的有毒金属等物质。美国北卡罗来纳州 A&T 大学的畅·塞欧先生一直在探索利用农业废弃物提高水质的方法，他认为玉米芯、豆荚一类农副产品下脚料可用于处理废水。

#### （二）农业废弃物用于清洁油污地面

美国密西西比州佛罗拉的 ERT 公司开发了棉花废弃物的一种全新用途：利用棉籽棉绒吸收、生物降解碳氢化合物，其主要是利用棉籽加工废弃物纤维素中固有的一种细菌。ERT 公司通过创造某种特殊的环境营养细菌，促其繁殖，从而制成一种带生物活性的吸收剂。这种产品外形像精细的木屑，对动植物无毒害，把它施放到受油类污染的地表面、水面或土壤中，它将如同胶囊一样包裹住碳氢化合物或其他有毒物质，然后产品中的细菌破裂出来降解油

类，清除污染。此产品常被用来清洁人们难以清除的有油类溢出物的湿软地区（如沼泽地）、汽车事故地或车库，并可附带用在运油车上。

### （三）农业废弃物开发作为能源

德国政府重视可再生能源的开发利用，并制订了专门的政策，鼓励可再生能源发电上网，因此，近年德国沼气发电的数量迅速增加，其国内沼气发电工程的数量已由 1992 年的 139 家发展到 2003 年底的 2000 家，沼气发电的装机总量也由 1999 年的 50MW 猛增到 2002 年的 250MW。德国政府在沼气发电上给予了极大的重视，在不断加强宣传的同时，继续加强内燃机研发、提供技术和设备上的保障等。

德国为了促进沼气的研究开发，已建立起从中央到地方两级完善的研发体系，包括农业、环境保护、交通运输、建设和统计等方面。体系的建立充分考虑到了沼气生产的技术、环境保护方面的要求，沼气利用所涉及到的居民供电、供暖以及沼气作为汽车动力燃油利用等方方面面的协作。在德国，以前世代沿袭的农民，现已成为沼气发电的网上经营者，一个新的产业——沼气产业正在产生和发展之中。

能源农业将成为 21 世纪农业的一个新的经济增长点，发达国家利用可燃气体发电的经验可以借鉴。例如，德国最早利用秸秆发电的 Thuringian 发电厂，现在年可处理 3000t 秸秆，电费只需 5 美分/kW·h，而当地其他电厂电费为 16 美分/kW·h；美国目前约有 150 家发电厂全部利用短时轮作木质作物、草质作物等生物量燃料发电，另外还有 365 家发电厂联合利用生物量燃料和矿物燃料发电。

### （四）农业废弃物用作饲料原料、发电燃料及用来生产液体燃料

美国的 Amoco 技术合作公司与 Stone & Webster 工程公司合作开发利用农业废弃物生产乙醇。他们利用一种遗传控制细菌 (*Zymomonas*) 发酵生物原料，只需在生物原料发酵池内加入几种

糖类同时发酵，即可比相同的生物原料生产的乙醇量增加 30%。可用于生产乙醇的农业废弃物有玉米纤维、稻草，还有从森林地面收捡来的死枝及废旧报纸等，但大规模的乙醇生产将需要专门为生产而种植的能源庄稼。美国橡树岭国家实验室开发了几种能源庄稼：杂交杨木和软草（switchgrass）。美国约有 500 万亩<sup>①</sup>空置庄稼地，据专家预算，若用于种植能源庄稼，经过科学管理，每年提供的生物原料能够生产 270 亿加仑<sup>②</sup>乙醇。

#### （五）农业废弃物制作复合材料

把废旧农膜、编织袋、食品袋、旧轮胎再生胶等经过一定的工艺处理后可作为基体材料，同时加入适当的添加剂，通过一定的处理和复合工艺形成以球-球、球-纤维堆砌体系为基础的复合材料。

面对世界资源日益紧张的严峻形势，对农业固体废弃物这种资源的利用就显得更为重要。随着科学技术的进步和人类认识的提高，对其进行资源化利用也是可行的。我们应遵循经济效益、生态效益和社会效益最大限度相统一的原则，因地制宜地选择综合利用技术。

#### 四、中国农业固体废弃物资源化利用现状与分析

我国是个农业大国，农业废弃物量大面广，处理难度大。农业剩余物主要以稻草、麦草和玉米秆为主，其中稻草和麦草年产量达 3 亿吨，玉米秆约 2 亿吨。近年来，随着科技的发展和环境保护意识的增强，人们找到了一些处理的方法。例如利用稻草、麦草制造空心砖、墙体内装板；将稻草、麦草和玉米秆进行液化处理，使其变为液化气再生利用，也有将其粉碎后再埋入地里的。但是由于各种原因，处理量仍非常有限。特别是玉米秆的处理难度较大，处理量也最小。这些剩余物中大部分仍被丢弃于田间、地头，少量靠自然腐烂，大部分靠放火烧毁处理掉，每年约有 3.5 亿吨作物秸秆被

---

①  $1 \text{ 亩} = \frac{1}{15} \text{ hm}^2 = 666.67 \text{ m}^2$ 。

②  $1 \text{ US gal} = 3.78541 \text{ dm}^3$ 。

当作基本生活用能烧掉了，使剩余物变成了废弃物。

我国各地方政府正逐步重视对农业固体废弃物的利用，如 2002 年陕西省从省级环保专项资金中拨专款 100 万元，对全省秸秆饲料化设备的研发及推广给予了支持。据统计，截至 2004 年 8 月底已推广秸秆饲料化设备 3000 多台，处置秸秆 20 多万亩，实现经济效益 3 亿多元。

我国农村固体废弃物资源化利用与生态农业建设紧密联系在一起，是农业废弃物资源多层次利用与物质能量良性循环、农业发展与环境资源保护同时兼顾的有效手段。由于中国幅员辽阔，农村可再生能源技术模式多样化，在 20 多年的研究和实践中各地开发了多种多样的技术模式。

目前在我国农村地区大面积推广流行的农村可再生能源技术主要是沼气工程综合利用技术。沼气工程综合利用技术是以沼气为纽带，形成养殖-沼气-种植综合能源生态系统，如户用沼气系统，包括北方“四位一体”能源生态模式、西北“五配套”能源生态模式大中型畜禽场能源工程等。据统计，到 2003 年底，全国农村推广户用沼气池 1109.94 万户；建成大中型畜禽养殖场等沼气工程 2124 处；秸秆气化集中供气示范工程 525 处，供气 106676 户。此外，农业部把省柴灶技术和节煤灶技术也列入了我国农村可再生能源建设项目行列。

对于畜禽排泄废弃物的资源化利用，在我国主要可分为以下几种类型。

### 1. 饲料化

试验表明，畜禽粪便中不但含有较多的蛋白质和其他营养成分，而且还含有大量的维生素 B<sub>12</sub>。鸡粪由于具有较高的蛋白质含量和齐全的氨基酸种类，已成为最受关注的一种非常规饲料资源。

### 2. 能源化

随着当今世界化石能源渐趋枯竭，畜禽粪便作为一种重要的生物质能源，它的利用问题也日益紧迫。目前畜禽粪便能源化手段主要有 2 种：①生产沼气；②提供热能。

### 3. 肥料化

畜禽排泄物中含有大量农作物生长所必需的氮、磷、钾等营养成分和大量的有机质经处理可以作为肥料。

尽管我国在农业固体废弃物利用方面已经取得了一定的成绩，但是我们同国外发达国家相比还存在着一定的差距。农业固体废弃物的开发利用大有潜力可挖，对于我国这样一个人均资源相对较少的国家来讲，我们应该在加强自身建设的同时，借鉴国外的最新科技与经验，更好地利用现有资源，将农业固体废弃物变废为宝。

### 五、中国农业固体废弃物处理与资源化利用政策和产业化对策

“八五”以来，我国政府对资源综合利用工作非常重视，国家和地方政府颁布了一系列资源综合利用和环境保护方面的政策、法规和重要文件，对资源综合利用企业在技术、资金上予以扶持，并给予减免税收等优惠政策。1999年4月国家环保、农业、财政、铁道、交通、民航6部门联合发布了《秸秆禁烧和综合利用管理办法》，在“十五”规划中对秸秆综合利用技术的开发和推广给予大力扶持，农业部为此专门划拨了专项补助资金。我国开发和利用可再生能源总量已具备一定的规模，但我国可再生能源占总能耗的比重很低，社会对可再生能源对环境的贡献还没有形成系统的全面的认识。

目前，国内对工业建设项目的环境影响评价已形成比较完善系统的方法，但对农业建设项目，尤其是可再生能源开发建设项目的环境影响评价才刚刚起步，缺乏较规范、系统的评价指标体系和评价方法。因此，对农村可再生能源建设环境影响评价的基本方法和评价标准等进行探讨，将在一定程度上弥补我国农村可再生能源建设环境影响评价方法的空白。同时，也为其他农业项目环境影响评价方法提供借鉴，并将进一步完善我国可再生能源发展的法律法规和国家政策体系。

#### （一）更新观念，强化对农业废弃物资源化利用的意识

在日益重视可持续发展的今天，首要的工作就是更新全社会的观念，强化人们对农业废弃物资源化利用的意识，充分认识到农业

废弃物综合利用的经济、环境与社会价值，认识到开展农业废弃物资源化利用是可持续发展的重要方面。要打破传统的资源、废弃物的观念，废弃物是“放错位置的资源”，粪便、秸秆、锯末也可以用作饲料，并且具有安全、有效、可靠等优点。

## （二）强化管理，建立政策保障体系

在国家经贸委等部门所印发的《资源综合利用目录》中，除将林业废弃物综合利用和少部分已加工下脚料生产饲料等列入外，农业资源综合利用的诸多方面均未列入，使得长期以来农业资源综合利用工作没有具体的法规可依，与其他行业的资源综合利用相比，进展缓慢，成效不大。此外，现有的综合利用法规政策只有积极鼓励利用的手段，没有消极强制的手段，对本应综合利用的而不利用的没有责令限期利用的制度，而仅靠积极的刺激又不足以使得社会成员从事那些自身获利较小而社会效益较大的事业。

因此，为推动我国的农业废弃物资源化利用工作进行顺利，各级政府应该在政策、法规上对农业废弃物资源化利用方面给予明确的规定，包括项目的选择、生产厂家的建立与管理及扶持办法；通过减免税收和低利融资等办法，积极鼓励，引导投资；建立综合利用产品的品质标准，明确检验标准等。在给予各种经济优惠的同时，有必要实行限期整改制度，促进废弃物的资源化利用。

## （三）引入市场机制，增加资金投入

长期以来的资源无偿使用，已经造成资源的严重浪费，在市场经济的条件下，若仍保持资源无价或价格扭曲的局面，必然会加重这种情况。因此，必须尽快开展农业自然资源的评估和定价工作，通过资源资本化来树立资源环境价值观，并体现在价格上。在市场价值规律的作用下，促进农业资源节约和环境保护，将资源及产品开发利用中造成的边际环境破坏纳入价格体系之中，促使价格合理。例如，化肥农药的价格除了应包含其生产成本外，还应包含对其造成的环境和生态破坏的补偿。而废弃物资源化利用的产品，如有机肥料，由于避免了破坏环境，且成本低廉，所以在市场竞争中具有价格优势。

#### (四) 建立健全技术和人力支持体系

实现农业废弃物资源化利用的关键是要建立健全技术和人力支持体系。现有的综合利用技术中有的已经比较成熟，有待进行推广。针对农业废弃物分散复杂的情况，更应建立一套技术体系，包括建立资源化技术和市场信息系统，掌握技术和市场的最新动态，研制开发相关技术，引进、消化、吸收与发展高新技术和加强技术的推广工作等。

此外，还应有计划有步骤地采取多种方式培养人才，不断提高工作质量，加强学校教育，同时通过开办进修班、举办科技讲座、组织参观考察等对从业人员进行培训。

目前整个外部环境对于农业废弃物资源化利用技术的研究和推广是非常有利的。再生能源事业健康持续发展，优化农村地区能源消费结构，保护生态环境，对实现农村可持续发展具有重要的现实意义。

#### 六、农业固体废弃物资源化利用的限制性因素

中国农村地区数千年的低效高耗能传统，对资源的浪费、生态环境的破坏形成了恶性循环，制约了农业的可持续发展，解决这一问题的根本途径是开展农业废弃物的资源化利用，但农业废弃物在利用过程中还存在着下述问题。

(一) 有关农业固体废弃物资源再生利用的政策、法规亟待完善

农业废弃物资源化利用是实现农业持续发展的根本保证。但是，目前我国没有一套行之有效的固体废弃物再生利用的政策法规，而只有《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》这样一个笼统的法律，并且它的配套措施迟迟不能出台，基层政府职能部门很难执行。此外，其他的政策仅散见于其他法律、法规中，可操作性极差，致使该产业是在混乱、无序、无政府的状态下自由发展。在实质性的资金、技术引进、税收、应用推广等方面都未得到切实的支持，即使当前颁布了减免税收法规，也如同虚设，只能对部分有利用价值的废弃物进行回收，数量极少。

## （二）农业废弃物资源化利用的全民意识没有完全树立

由于历史上的原因，致使我国农业资源的综合利用水平与国民经济发展相对滞后。我国存在着大量的地方中小型企业、乡镇企业，他们在进行生产时根本不考虑什么“环保不环保”、“污染不污染”，只要投资少，见效快，能出产品，有钱可赚就行。在日益重视可持续发展的今天，我们首要的工作就是要进一步加深人们对农业废弃物资源化利用的认识，充分认识到农业废弃物综合利用的经济、环境与社会价值，认识到开展农业废弃物资源化利用是可持续发展的重要方面，使农业废弃物可作为再生能源这一观念深入人心，只有这样，才能真正建立起我国农业废弃物资源化利用新的里程碑。同时，在对农业废弃物进行回收时，应提倡绿色回收、注重节约、注意环保。

## （三）农业固体废弃物资源化利用的安全性不高

目前，我国对农业固体废弃物中的有毒有害物质的处理和处置方法还不完善，为了防止其中的有毒有害物质对人类造成危害，我们应进一步深入研究农业废弃物中的有毒有害物质和重金属的处理方法，保证资源化利用安全可靠。

## （四）农业固体废弃物资源化利用在一定程度上受季节与气候的影响

农业废弃物与农作物一样具有季节性，且稳定性较差，若不采取相应的措施对其进行处理，贮存的废弃物非常容易变质。此外，农业废弃物还受气候和自然环境的影响，而目前我国在开发利用废弃物时，并未全面考虑季节与气候因素的影响。

## （五）农业固体废弃物资源化利用的开发费用不足

对现阶段农民来说，处理农业废弃物的一次性投资成本较高，农民无力自行承担，需在政府扶持的条件下，多方筹集资金。各级农业部门要积极争取政府增加资金投入，确保农业固体废弃物资源化利用的工作顺利进行。

## （六）农业固体废弃物资源化需要技术保障

尽管在最近几年内，我国在农业固体废弃物的资源化利用上已

取得一定的进步，但在技术水平上同世界发达国家相比还存在着很大的差距。因此我们要不断优化农业废弃物的处理技术，减少成本，使之能广泛应用。同时，在全国范围内建立一批科研队伍，研究废弃物优化处理技术，如沼气开发的深层次技术、秸秆编织技术、废弃物生产建材和包装材料的关键技术以及农副产品下脚料的深度加工技术等。这样不但能够充分有效地利用农业废弃物，减少其对环境的污染，而且能够创造巨大的经济效益。

## 七、农业固体废弃物资源化利用的最新发展动向

农业废弃物以其供应充足、廉价而被人们认为是精细化工产品与燃料的最重要的自然资源之一，其综合利用涉及面广，不但可扩大原料的来源，提高天然资源的附加值，而且还全面消除了废物的直接污染和大量施用化肥的污染，保护了农业生态环境，同时还强化了生态系统中还原者的作用，以较低的物能消耗，取得了最佳的生态效益、经济效益、社会效益。然而在对农业废弃物进行利用的过程中，还存在着一定的不足，传统上的利用固体废弃物的途径非常单一，且利用率很低。

农业废弃物资源化利用的途径多种多样，按其利用程度的不同，一般可分为广度利用和深度利用：农业废弃物资源化的广度利用，主要是指通过将农业废弃物作肥料、作饲料、作燃料来参与农业再生产过程的循环，从而达到培肥地力，保护农业环境，促进农业持续发展的目的；农业废弃物资源化的深度利用，主要是指利用农业废弃物如作物秸秆、杂草等第一性生产废弃物作工业原料，进行造纸、制造纤维板，并进一步利用其木质素、纤维素来制造化工产品等。肉食加工后的废物，可产生骨粉、动物胶和某些药剂；玉米、麦秸等编织成的工艺品等也属于深度利用的范畴。农业废弃物资源化的深度利用是农业废物利用的一种有效途径，但是从促进物质循环及其再生的角度上看，这种方式只是实现了物理意义上的一种利用，在我国现行生产力水平下，利用范围有限，也不宜大范围推广。要从根本上实现废弃物资源化，真正把它纳入农业再生产的循环过程，必须在广泛采用广度利用的基础上，辅之以深度

利用。

如今随着技术的发展及人们对废弃物利用认识的提高，我国在农业废弃物资源化综合利用方面的途径已发展到多层次多途径的利用方式，主要体现在以下几个方面。

### （一）获取能量

生物质能是仅次于煤炭、石油、天然气的第四大能源，在世界能源消费总量中占 14%，而农业废弃物作为生物质的一个部分，在利用其能量方面可采用如下途径。

#### 1. 农业废弃物制沼气

研究表明，农作物秸秆、蔬菜瓜果的废弃物和畜禽粪便都是制沼气最好的原料。据测算，1kg 秸秆可制气  $2.2\text{m}^3$ ，1t 秸秆可替代 0.7t 煤炭，每利用 1 万吨秸秆可减少二氧化硫排放量 140t 和烟尘排放量 100t。

#### 2. 农业废弃物气化

利用生物质热能气化原理，由气化反应器将可燃物质经过干燥热解气化和还原等过程，变成可燃气体，最终输送到各个用户。固体废弃物经气化后可产生高效、清洁、方便的可燃气体，为农村供气、供热、供电。

#### 3. 农业废弃物液化

将能量密度较低的废弃物转化成密度高、品位高的液体燃料是合理利用生物质能的有效途径，也是 21 世纪最有发展潜力的技术之一。由生物质制成的液体燃料叫生物燃料，主要包括生物酒精、生物甲醇、生物柴油和生物油。

#### 4. 农业废弃物固化

将秸秆、稻壳、锯末、木屑等有机废弃物，经过机械加压、加热等处理，将原来松散、无定型、低发热量的生物质原料压制成具有一定形状、密度较高（ $1.1\sim 1.4\text{t}/\text{m}^3$ ）的固体成型燃料（热值  $14\sim 20\text{MJ}/\text{kg}$ ），其功效相当于中质煤，但没有煤所固有的含硫量大、灰分高、污染环境等缺点。成型工艺可分为常温压缩成型、热压成型和炭化成型三种。

## (二) 制作肥料

### 1. 堆肥

### 2. 液体肥料

农业废弃物做成堆肥后，其液体汁液经安全处理后可制成液体肥料。

### 3. 有机生物肥

农业废弃物经堆肥处理后，沼气池中的固体残渣经处理后可制成有机肥。

### 4. 有机复合肥

将高温堆肥产品经杀灭病原菌、虫卵和杂草种子等无害化和稳定化处理后，配以一定比例的无机氮、磷、钾复混造粒，加入功能微生物而形成一种融有机、无机肥及功能微生物于一体的“三合一”肥料。

## (三) 生产饲料

农业废弃物除可直接还田和饲养大量牲畜外，还可制成多种富含营养成分的有机饲料。

### 1. 氨化饲料

将氨水、无水氨（液氨）、尿素等含氮物质与秸秆混合发生变化，使秸秆中的纤维素、木质素细胞壁膨胀疏松，便于牲畜消化吸收。据报道，氨化后的秸秆有机物消化率可提高 8%~12%，含氮量提高 8%~10%，粗蛋白含量提高 1~2 倍，家畜采食量提高 20%。

### 2. 青贮饲料

无毒的农业废弃物都可以青贮。青贮饲料能有效保持作物茎秆的青绿状态，提高适口性。茎秆青贮后可增加多种维生素、氨基酸、胡萝卜素等营养成分，用其饲喂奶牛产奶量可增加 10%~20%。

### 3. 生化蛋白饲料

利用微生物培养基、酵母真菌、氨基酸、酶制剂等生物和矿物质将作物饲料转化为蛋白饲料，比普通饲料营养价值更高。如秸秆

在制作剂的作用下，可转化为富含低分子碳水化合物、游离氨基酸、大量菌体蛋白和部分维生素的高效生化蛋白饲料。秸秆粗纤维含量由 26%~32% 下降到 15% 以下，粗蛋白含量由 3%~6% 提高到 14%~20%，并含有丰富的纤维素酶及其他消化酶等活性因子。该饲料营养丰富，畜禽喜食，吸收率高，无副作用，比传统养猪法降低饲养成本 50%~60%。

#### 4. 酶化饲料

人工造就近似于牛前胃的生理环境，经过有益微生物的发酵作用，使秸秆的纤维素、半纤维素、木质素等成分转化为糖类，可增加粗蛋白 7%~13%、18 种氨基酸 4%~8% 及各种维生素，从而使低能的废弃物转化为高能的、廉价的“细菌饲料”。

#### 5. 碱化饲料

在一定浓度的碱液（通常占干物质的 3%~5%）的作用下，打破秸秆粗纤维中纤维素、半纤维素、木质素之间的醚键或酯键，并溶去大部分木质素和硅酸盐，撕断纤维素与木质素的复合物，从而提高粗饲料的营养价值，使不消化的木质素变为易消化的羟基木质素，有利于动物的吸收。

#### 6. 动物粪便可经过再处理作饲料

随着我国农村饲养业的发展，畜禽废弃物排放量大增。全国畜禽年排放粪便就达几亿吨，其中大部分未经处理就直接进入农田或排入江河，这样将带来环境、卫生等一系列问题，造成资源浪费。为此，必须重视畜禽粪便的综合利用。

### (四) 生产工业及医药原料

#### 1. 有机产品

生产木糖、木糖醇、淀粉，制乙醇、糠醛，提取烟碱及中药原料。

#### 2. 轻型建材

可制作编织物和装饰品及其他。如麦秸可编成凉席凉帽；高粱秆可制成门帘和窗帘；玉米棒皮可做成汽车坐垫、靠背及床垫；稻草和其他秸秆可广泛用于造纸、人造板、复合墙板等。

### 3. 可降解的包装材料

用农作物秸秆制作的方便碗和方便盒易分解、易腐烂，不仅减少了白色污染，还减少了木料消耗，有利于保护环境。

### 4. 食品防腐剂和空气清新剂

竹叶可制成防腐剂，有些水果残渣可制成空气清新剂。

### 5. 培养基

橡胶废水可作培养基，作物废弃物可作实用菌培养基。

### 6. 药物

芹菜和黄瓜根可制成中药，薯秧根可作饲料、制糖稀或酿酒。

### 7. 生产食用菌

平均 1kg 左右秸秆能生产食用菌（平菇、香菇、金针菇等）1kg，菌渣还可还田作有机肥。

### 8. 制作生物滤床滤料

国内可制作滤料的废弃物有果菜、酒糟、锯木屑、蔗渣、稻谷、玉米穗、米糠、豆粕、杂草等。

### 9. 其他

农业废弃物还可用来制造生物润滑油、生物柴油、生物塑料、生物洗涤剂、汽车构件和特殊纸类等。

随着固体废弃物资源化利用的发展，以可持续发展为基础前提，将来还会有更广阔更合理的利用方式被我们采用。

## 八、农业固体废弃物资源化利用发展前景展望

根据自然资源废弃化和废弃物资源化理论，废弃物的产生是不可避免的，但废弃物是资源的另一种形式，随着科学技术的进步和人类认识的提高，对其进行资源化利用是可行和必要的。国外发达国家对农业固体废弃物资源的利用已进入综合阶段。而我国由于存在各种限制因素，所以目前对其利用的程度还比较低。受传统意识的影响，我国大多数种植业和养殖业只注重粮、肉、蛋、奶等产品的利用，而认为在生产过程中产生的大量的副产品是利用价值不大的废物，对其进行丢弃。因此，如何充分有效地利用农业固体废弃物，将其加工转化，制成再生能源及其系列产品，对合理利用农业

生产过程中产生的各种固体废弃物，以及改善农村生态环境具有十分重要的意义。由此可见，农业固体废弃物的利用具有极大的潜力和广阔的发展前景。

### （一）应用农业固体废弃物发电

2001年中科院广州能源所与黑龙江农垦总局签订了兴建20套生物质气化发电系统的合同，该系统主要利用农业固体废弃物进行发电，总投资约5000多万元，总装机容量为15MW级，年总发电量约7500万kW·h，年处理农业固体废弃物约10万吨。这不但减轻了农业固体废弃物对环境造成的污染，而且大大节约了能源，同时创造了巨大的经济效益。

生物质能作为一种能源，具有以下特征。

① 由于生物质能是利用光合作用将太阳能转化为化学能而贮存于生物质内的能量，而且其含硫量低、含氯量小、含灰量低，充分燃烧后有害气体排放极低，因此它是一种环保型的可再生能源。

② 生物质是碳氢化合物，与化石能源，如煤、石油是同一类物质，所以它的利用与化石燃料有很大相似性，可以充分借鉴已经发展起来的化石燃料利用技术开发生物质能。

发达国家已经开展了相关研究与开发。我国作为农业大国，生物质资源十分丰富，只要国家加大在这方面的经济和技术上的投入，必将会有广阔的发展空间。

### （二）利用畜禽粪便制作有机肥料

河南省某废弃物资源化技术有限公司研制了一套利用牲畜粪便生产优质有机肥料的技术，该项技术不但可解决养殖场排泄物的出路问题，而且可通过生产和出售有机肥获取一定的经济效益，最终实现畜牧业与种植业的协调发展。它具有处理量大、速度快、投资少的特点，符合农业持续发展的观点。它所生产的产品不仅对环境是友好的，而且生产过程也无污染，是真正意义的“环境友好型肥料”，可广泛应用于畜牧场及垃圾处理场等领域，具有广阔的应用前景。

### (三) 其他发展前景

农业固体废弃物在制沼气、制饲料、形成复合生态系统工程、提取工业原料或加工成工业产品等方面也具有广阔的应用前景。

本着“珍惜资源，有用勿弃”的原则，我们应开展更深入的探索和研究，开发出更经济、简便、二次污染更少或无二次污染的工艺技术，并且考虑有机地结合以上几种方法，形成一种多层次多途径的综合利用方式，实现“零排放”的目标，使经济效益、环境效益和社会效益最大限度地相统一，促进农业经济持续稳定协调的发展。

## 参 考 文 献

- 1 刘继芬. 德国农村沼气利用概况. 世界农业, 2005 (1): 36~38
- 2 刘继芬. 德国农村再生能源——沼气开发利用的经验和启示. 中国资源综合利用, 2004 (11): 24~28
- 3 胡明秀. 农业废弃物资源化综合利用途径探讨. 安徽农业科学, 2004, 32 (4): 757~767
- 4 孔源, 韩鲁佳. 我国畜牧业粪便废弃物的污染及其治理对策的探讨. 中国农业大学学报, 2002 (6): 92~96
- 5 张承龙. 农业废弃物资源化利用技术现状及其前景. 中国资源综合利用, 2002, (2): 14~16
- 6 王革华. 实现秸秆资源化利用的主要途径. 上海环境科学, 2002, 21 (11): 651~661
- 7 赵玉山. 农副产品的开发利用价值. 山西农机, 2001, (6): 37
- 8 李庆康、吴雷. 我国集约化畜禽养殖场粪便处理现状及展望. 农业环境保护, 2000, 19 (4): 251~254
- 9 汪家铭. 农作物秸秆综合利用潜力巨大. 中国资源综合利用, 2000, (3): 39~40

## 第二章 农业固体废弃物分类及特征

所谓固体废弃物，是指人类生态系统中废弃的固态及泥状物质。固体废弃物的分类方法很多，按成分可分为有机废弃物和无机废弃物两类，有机废弃物包括塑料、橡胶、食品及废油等，无机废弃物如废纸、废金属、尾矿、废渣、废建材及各种植物残渣等。一般情况下，我国通常把固体废弃物按来源分类为以下五大类。

### 1. 矿业固体废弃物

指在开采矿石过程中从主矿上剥离的各种岩石，以及在选矿生产中提取精矿后剩余的尾矿粉末等。

### 2. 工业固体废弃物

指在工业生产中产生的废渣、粉尘、污泥、边角料等，如冶金废渣、燃料灰渣、石油和食品工业中的固体废弃物等。

### 3. 城市固体废弃物

指各种生活垃圾、城建废弃物、废纸、废玻璃等。在居民生活、商业活动及机关办公过程中产生的各种固体废弃物，其成分复杂、体积庞大、不易分离。

### 4. 农业固体废弃物

指在农业生产中产生的废塑料、各种植物残渣、人畜粪便及废农具等。

### 5. 放射性固体废弃物

这是一类特殊的固体废弃物。指在开矿、矿石加工、制反应堆燃料、核武器装料、医疗等过程中产生的裂变产物，以及反应堆内非核燃料物质、经辐射后产生的污化产物、制造和使用放射性产品产生的放射性废弃物。

## 第一节 农业固体废弃物的分类

农业固体废弃物是指农业生产、畜禽饲养、农副产品加工以及

农村居民生活活动排出的废物，如植物秸秆、人和畜禽的粪便等。随着科学技术的进步，人们越来越认识到资源和环境对人类的重要性。农业固体废弃物潜在的利用价值被人们所认识，这不仅在于其蕴涵着大量的能源物质，也在于其拥有丰富的农作物所需的营养物质。因此，农业固体废弃物已不再作为废物为人们所抛弃，更多的是将其作为资源化研究和利用的对象。

### 一、农业废弃物的特点

由于农业产品的品种和产地的不同，农业固体废弃物的种类也千差万别，它们的理化性质存在着很大差异，但也有其共同的特点，这些共同点如下。

#### (一) 元素组成

除 C、O、H 三元素的含量高达 65%~90% 外，还含有丰富的 N、P、K、Ca、Mg、S 等多种元素。

#### (二) 化学组成

通常又可分为两大类：一类是天然高分子聚合物及其混合物，如纤维素、半纤维素、淀粉、蛋白质、天然橡胶、果胶和木质素等；另一类是天然小分子化合物，如生物碱、氨基酸、单糖、抗生素、脂肪、脂肪酸、激素、黄酮素、酮类、甾体化合物、萜烯类和各种碳氢化合物。尽管天然小分子化合物在植物体内含量甚微，但大多具有生理活性，因而具有重要的经济价值。

#### (三) 物理性质

普遍具有表面密度小、韧性大、抗拉、抗弯、抗冲击能力强的特点。植物类废弃物干燥后对热、电的绝缘性和对声音的吸收能力较好，且具有较好的可燃性，并能产生一定的热量，热值一般为 12~16MJ/kg，虽比煤的低，但含硫量极少，燃烧清洁，且燃烧后产生的灰分用途也很广泛。

### 二、农业固体废弃物的种类

农业固体废弃物的种类很多，通常根据它们的来源来分类。农业固体废弃物按其来源可分为四种类型。

(1) 第一性生产废弃物，主要是指农田和果园残留物，如作物

的秸秆或果树的枝条、杂草、落叶、果实外壳等。

(2) 第二性生产废弃物，主要是指畜禽粪便和栏圈垫物等。

(3) 第三性生产废弃物，主要指农副产品加工后的剩余物。

(4) 第四性生产废弃物，主要指农村居民生活废弃物，包括人粪尿及生活垃圾。

我国农业固体废弃物产量居世界前列，其中农作物秸秆年产量达 5000 多亿千克（干重），可供青贮的茎叶等鲜料约 1 万亿千克，锯末、刨花等林业废弃物 160 亿千克，畜禽粪便排放量 1340 亿千克，生活垃圾 700 亿千克以上；农畜产品加工、食品、酿酒、制糖、造纸、制革等行业产生大量加工废料，如糠醛渣、酒糟、造纸废液等。

## 第二节 第一性生产废弃物的特征分析

### 一、第一性生产废弃物的特征及其利用方式

第一性生产废弃物是指作物秸秆、枯枝落叶等，是农业废弃物中最主要的部分。它是自然赐予人类宝贵的生物资源，其中含有丰富的有机质、纤维素、半纤维素、粗蛋白、粗脂肪和氮、磷、钾、钙、镁、硫等各种营养成分，可广泛应用于饲料、燃料、肥料、造纸、轻工食品养殖、建材、编织等各个领域。

我国农副产品和野生植物资源丰富。据估计，仅纤维素物质每年就有 10 亿吨；农业植物纤维废料的年产量约 11780 万吨，其中稻壳 3386 万吨、麦秆 6500 万吨、玉米芯 1250 万吨、甘蔗渣 405 万吨、棉籽壳 200 万吨、向日葵壳 27 万吨、油菜壳 12.5 万吨；各类主要农作物秸秆年产量达 7 亿吨左右，其植物能大约占农作物总量的 50%~75%，具有很高的利用价值，但目前我国的利用率较低，仅为 33%左右。

### 二、如何有效开发我国的秸秆资源

我国秸秆资源丰富，开发利用潜力很大。根据我国农村现状，应在以下几方面加强工作，有效地开发秸秆资源。

(1) 根据地区农业经济和能源实际情况，因地制宜，进行秸秆

还田。

(2) 按照“因地制宜，多能互补，综合利用，讲求效益”的原则，解决全国农村能源短缺问题。

2000 年在全国农村能源消费结构中，秸秆仍占较大比例。但是要充分合理地利用秸秆资源，必须扩大秸秆作为饲料、原料和还田的比例，因此应根据地区差异，因地制宜地解决好农村能源问题。

(3) 优化秸秆编织技术和建材生产技术。有些地区有秸秆编织的传统绝技，比如陕西关中农村具有利用麦秆、玉米棒苞叶等编织的历史和传统。有关部门应从政策上予以扶持和鼓励，有条件的地方可组织民间编织协会；利用秸秆生产建材，吸收和引进这方面的新技术，尽可能做到变废为宝，造福于人类。

### 第三节 第二性生产废弃物的特征分析

#### 一、第二性生产废弃物产量及分布

我国是传统的农业国，畜禽种类繁多，主要的几种畜禽有猪、牛、羊、马、驴、骡、骆驼七种和鸡、鸭、鹅、兔四种。畜禽每天产生的粪尿量，随其种类、体型大小、饲料以及环境的温度和湿度而改变。若按新鲜粪尿计，那么猪平均每头一昼夜产粪 2kg，尿 2kg，每头每年产生粪尿约 1830kg；羊平均每只一昼夜产粪 1.5kg，尿 0.75kg，每只每年产生粪尿约 821.5kg；牛平均每头一昼夜产粪 20kg，尿 10kg，每头每年产生粪尿约 10950kg；马平均每匹每年产生粪尿约 7300kg；至于驴、骡、骆驼，与马差不多。各种家禽，鸡和兔平均每只一昼夜产粪 0.05kg，每只每年产粪约 18.25kg；鸭和鹅，平均每只一昼夜产粪 0.15kg，每只每年产粪约 54.75kg。按上述标准测算，再根据各地区畜禽饲养量，那么，全国畜的全年排泄量约 25.7 亿吨，禽的排泄量约 1.3 亿吨，全年畜禽总的产粪尿量约 36.4 亿吨。如此多的畜禽粪便，不仅污染了养殖场周围的环境，而且导致了水体的污染。随着生产的发展和人口的进一步增加，畜禽粪便的产生量正以年均 5%~10% 的速度递

增。我国牲畜排粪量由高到低排序，排出最高的几个省区为：四川、河南、山东、云南、湖南、广西、内蒙古；畜禽排粪量由高到低排序，排出最高的几个省区为：广东、山东、四川、安徽、河南、广西、福建。

目前，发展畜牧业已成为农民致富的主要途径。据调查，农村户均生猪存栏在 3 头以上，养禽 5 只以上，大牲畜平坝区约 0.35 头，山区半山区在 1.5 头以上。以农村户均 4 人，养猪 3 头，禽 5 只（以鸡计），大牲畜（以牛计）0.35 头，按人均排泄粪便  $1.2\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ ，猪排泄粪便  $15\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 、牛  $30\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 、鸡  $0.05\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$  计算，农村户均每天产生人畜粪便 61kg，是城镇（以户均 3 人计）的 17 倍。

## 二、第二性生产废弃物的利用途径和开发价值

各种畜禽粪都含有丰富的有机质，含有较高的 N、P、K 及微量元素，是很好的制肥原料。有机质在积肥、施肥过程中，经过微生物的加工分解及重新合成，最后形成腐殖质贮存在土壤中。腐殖质对改良土壤、培肥地力的作用是多方面的：它能调节土壤的水分、温度、空气及肥效，适时满足作物生长发育的需要；能调节土壤的酸碱度，形成土壤团粒结构；能延长和增进肥效，促进水分迅速进入植物体，并有催芽、促进根系发育和保温等作用。但畜禽粪便有臭味，难以作为一种商品肥料出售，因此，需要采取发酵除臭、化学除臭及物理化学除臭法。

## 第四节 农副产品加工后剩余物的特征分析

### 一、农副产品废弃物的种类

农副产品废弃物依其来源大致可以分为作物残体、畜产废弃物、林产废弃物、渔业废弃物和食品加工废弃物五大类。

### 二、农副产品废弃物的特征

#### （一）作物残体

作物残体是指作物中不可食用的，在收获后仍留于田间的部分。作物残体的成分因其种类、成熟度而有所不同。一般作物残体

以纤维素、半纤维素和木质素为主，另外亦含有可溶性物质、糖类、蛋白质等。例如，稻草含纤维素 38.70%、半纤维素 18.30%、木质素 15.00%、粗蛋白质 4.10%和灰分 12.20%。

## （二）畜产废弃物

畜禽排泄物的性质受饲养方式、饲料成分影响很大。例如，饲料不同，则猪的排泄物性质亦异。使用配合饲料时，其尿的 BOD、浮游物质、蒸发残留物、总氮素、磷和钾等含量皆较用厨余物饲养时高。

## （三）林业废弃物

林业废弃物主要为木质废弃物。例如，硬木含纤维素 45%~50%、半纤维素 20%~25%、木质素 20%~25%和其他成分 1%~5%。

## （四）渔业废弃物

水产品中淡水鱼的加工。淡水鱼一般头大、内脏多，采肉量仅为鱼体质量的 30%，鱼头、内脏、鱼鳞、鱼刺、鱼皮等下脚料被白白丢弃。如，鳊鱼头含水分 69.6%、蛋白质 11.65%、脂肪 10.47%和灰分 3.92%。

## （五）食品工厂废弃物

由于经济及工业的快速发展，生活水准不断提升，加工食品渐为人们重视。部分食品加工时，其不可食部分的废弃物由于水分含量高，而且易为微生物分解、易腐败，如处理不当常容易造成环境的污染。

# 第五节 农村居民生活废弃物的特征分析

## 一、我国农村的生活垃圾数量及其成分特点

### （一）农村生活垃圾数量

由于城市产生的生活垃圾都运往郊区农村堆放处理，垃圾场地一般都设在城镇郊区，所以农村承受了农村和城镇共同产生的生活垃圾，农村生活垃圾的数量实际是农村和城镇生活垃圾产生量之和。

随着人民生活水平的提高,生活垃圾的数量在不断变化。20世纪80年代以来,每年生活垃圾正在以7%~10%的速度增长。根据近两年不同地区的估测,城市和农村平均每人每天产生0.7kg生活垃圾。据此测算,1991年我国农村生活垃圾的年产生量约2.3亿吨,加上城镇产生的,共约2.9亿吨/年,平均每人每年255.5kg。但是,此值与一些发达国家相比,我国生活垃圾量还是低的。例如,美国每年大约产生2亿吨城市垃圾,相当于每年每人产1t。

## (二) 我国农村生活垃圾的成分及其特点

随着农村经济的发展和城镇化进程的加快,农村垃圾由过去易自然腐烂的菜叶瓜皮,发展为由塑料袋、建筑垃圾、生活垃圾、农药瓶和作物秸秆、腐败植物组成的混合体,成分复杂,其中许多东西无人回收,不可降解。

由于不同地区经济水平、生活和饮食习惯不同,产生的生活垃圾成分也各不相同。按农村生活垃圾的化学成分,农村生活垃圾可分两类:一类是作物的养料成分如氮、磷、钾、有机质和微量元素;另一类是有毒有害物质,如重金属、化学药品残液和在垃圾堆放过程中产生的一些无机或有机化合物。我国广大农村生活垃圾容积密度为 $641\sim 678\text{kg}/\text{m}^3$ ,其中无机成分(玻璃、陶瓷、砖砾,电池、金属)为4.01%~5.42%,有机成分(橡胶、塑料、毛发、碎布、木片、杂骨、秸秆、皮革、废纸)为1.14%~1.27%,灰泥为84%~88%。

## 二、农村生活垃圾处理处置现状及存在问题

农村生活垃圾通常由农田来消纳,农民把柴灰直接施入农田作肥料,其他生活垃圾往往与人畜粪便或植物秸秆等一起在田间地头自觉与不自觉地制作堆肥。总之,广大农村生活垃圾一般不会造成污染问题,但在城镇郊区农村,因为它承受城镇生活垃圾的堆放和处理,所以受到的不良影响最大。

受经济条件和传统习惯影响,农村垃圾既没有固定的存放点,也没有处理场所,大多随意堆放在道路两旁、田边地头、水塘沟

渠，经过日积月累，垃圾越堆越多，不少垃圾散发出恶臭气味。目前，垃圾包围农村，已成为一个令农民十分头疼的问题，一方面污染了农村环境，影响了村容村貌；另一方面随着风吹雨淋，流入、侵入河流和湖泊，对水体造成严重污染。

农村集镇垃圾一般都有清洁工人收集，并在镇郊固定场地堆放。在 20 世纪 70 年代中期以前，农村集镇的生活垃圾一般由周围农民运去作肥料。但当开始使用化肥和农药后，农民利用集镇生活垃圾作肥料也就日渐减少，加之运费提高等因素，离得较远的农民就不运了。我国目前普遍使用的裸弃堆放处置生活垃圾，未经覆盖处置的垃圾污秽不堪，散发臭气，孳生蚊蝇老鼠，尘土、纸和塑料片等随风飘舞，对周围的生态破坏严重。

## 参 考 文 献

- 1 胡明秀．农业废弃物资源化综合利用途径探讨．安徽农业科学，2004，32（4）：757～759，767
- 2 王革华．实现秸秆资源化利用的主要途径．上海环境科学，2002，21（11）：651～653，661
- 3 赵玉山．农副产品的开发利用价值．山西农机，2001，（6）：37
- 4 严立冬．农业废弃物的资源化利用．环境与开发，1998，13（2）：21～23
- 5 王星龙．农村面源污染治理对策研究．农业环境与发展，2005，（1）：38～40
- 6 宋国安．植物纤维深加工产品及其应用．化工进展，1997，（4）：52～57
- 7 陈庆云，王云海．农作物秸秆综合利用新技术．再生资源研究，2002（2）
- 8 勇强．植物纤维资源高效生物利用．林业科技开发．2002，16（3）：6～9
- 9 庄馥萃．植物纤维和纤维植物．生物学通报．2001，36（11）：16～18
- 10 奚新红．我国家禽业面临的主要生态问题及对策．中国家禽，2001，23（6）：2～5
- 11 韩鲁佳，闫巧娟，刘向阳．中国农作物秸秆资源及其利用现状．农业工程学报，2002，18（3）：87～91
- 12 周学志，汤文奎等．中国农村环境保护．北京：中国环境科学出版社出版，1996

# 第三章 植物纤维性废弃物资源化利用技术

## 第一节 植物纤维性废弃物资源与特点

### 一、植物纤维性废弃物的资源

据估计，每年地球上由光合作用生产的生物质量约 1500 亿吨，其中 11％（约 160 亿吨）是由耕地或草原产生的，可作为人类的食物或动物的饲料部分约占 1/4（约为 40 亿吨），剩余的 3/4 均变为废弃物。在 40 亿吨的产品中，经过加工最后供人类直接使用的大约仅有 3.6 亿吨，而每年生产的废弃物约为 135 亿吨，有待人类去开发利用，将其转化为食品或饲料。农作物秸秆是世界上数量最多的一种农业生产副产品。据联合国环境规划署（UNEP）报道，世界上种植的各种农作物，每年可提供各类秸秆约 20 亿吨，其中被利用的比例不足 20％。

在我国，植物纤维性废弃物一般可分为以下几个类别（见表 3-1）。我国各类农作物秸秆资源十分丰富，总产量达 7 亿多吨。

表 3-1 我国主要植物纤维性废弃物分类

| 类 别       | 具 体 名 称                                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 秸秆类(22 种) | 棉秆、麻秆、烟秆、高粱秆、玉米秆、葵花秆、稻草、小米秆、蓖麻秆、油菜秆、芝麻秆、黄豆秆、蚕豆秆、豌豆秆、红苕秆、木薯秆、香蕉秆、棕榈秆、麦秆、芦苇、剑麻秆(头)、次小杂竹 |
| 壳类(7 种)   | 稻壳、花生壳、椰子壳、葵花子壳、茶壳、果壳、菜籽壳                                                             |
| 渣屑类(6 种)  | 蔗渣、麻屑、甜菜渣、栲胶渣、麻黄渣、竹屑                                                                  |

我国是农业大国，随着农业和经济的发展，副产品的数量也不断增加，如农作物秸秆、藤蔓、皮壳、饼粕、酒糟、甜菜渣、蔗渣、废糖蜜、食品工业下脚料、畜禽制品下脚料、蔗叶及各种树叶、锯末、木屑等，数量极大。其中除豆饼用作高蛋白质饲料、部

分农产品加工废物和作物秸秆用作饲料、少量的棉秆用于纤维素的生 产、部分作物秸秆作为造纸的原料外，大部分副产品没有得到利用或没有得到充分利用。就其应用价值而论，无论在广度上还是在深度上，目前的利用水平均较差。我国是一个人均资源相对较少的国家，因此，把数量巨大的植物纤维性废弃物加以充分开发利用，变废为宝，不仅可以产生巨大的经济效益，还会收到重大的环境和社会效益。

二、植物纤维性废弃物的特点

植物纤维性废弃物主要由植物细胞壁组成，它含有大量的粗纤维和无氮浸出物，也含有粗蛋白、粗脂肪、灰分和少量其他的成分。植物细胞壁包含的纤维素和半纤维素较易被生物降解，而木质素除本身难以分解外，在植物细胞壁中，还常与纤维素、半纤维素、碳水化合物等成分混杂在一起，阻碍纤维素分解菌的作用，使得秸秆难以被生物所分解利用。如何使作物秸秆中的木质纤维素得到有效的分解，是作物秸秆处理和利用的关键。作为极其特殊的一种“废弃”资源，植物纤维性废弃物具有产量巨大、分布广泛而不均匀、利用规模小而分散、利用技术传统而低效等特点。同时，从作物秸秆的营养特点分析，其蛋白质、可溶性碳水化合物、矿物质和胡萝卜素含量低，而粗纤维含量高，因而其适口性不好，家畜采食量小、消化率低。由于作物品种和产地的不同，植物纤维性废弃物在物质组成、理化性质和利用的工艺技术特性上也有所不同（见表 3-2、表 3-3）。

表 3-2    几种作物秸秆的化学组成（干重）                      单位：%

| 秸秆种类 | 秸秆：粮食   | 粗纤维  | 灰分    | 果胶质  | 木质素   | 纤维素   | 半纤维素  |
|------|---------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 稻草   | 1：0.632 | 35.6 | 13.39 | —    | 12.50 | 32.00 | 24.00 |
| 麦秸   | 1：1.366 | 36.7 | 6.04  | 0.30 | 18.00 | 30.50 | 23.50 |
| 玉米秸  | 1：2.0   | 29.3 | 4.66  | 0.45 | 22.00 | 34.00 | 37.50 |
| 大豆秸  | 1：1.5   | 38.7 | —     | —    | —     | 33.00 | 18.50 |

由表 3-2、表 3-3 可知，不同作物秸秆的有机质成分基本相似，但其化学组成和营养成分有所不同，在后续利用中，应根据各自性

表 3-3 主要作物秸秆营养成分（干重） 单位：%

| 秸秆种类 | 干物质  | 粗蛋白  | 粗脂肪  | 粗纤维  | 无氮浸出物 | 粗灰分  | 钙    | 磷    |
|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 稻草   | 85   | 4.8  | 1.4  | 35.6 | 39.8  | 12.4 | 0.69 | 0.60 |
| 麦秸   | 85   | 4.4  | 1.5  | 36.7 | 36.8  | 6.0  | 0.32 | 0.08 |
| 玉米秸  | 94.4 | 5.7  | 16.0 | 29.3 | 51.3  | 6.6  | 微量   | 微量   |
| 大豆秆  | 85   | 5.7  | 2.0  | 38.7 | 39.4  | 4.2  | 1.04 | 0.14 |
| 花生藤  | 90   | 12.2 | —    | 21.8 | —     | —    | 2.8  | 0.10 |
| 蚕豆秆  | 8.65 | 2.9  | 1.1  | 37.0 | 35.9  | 9.8  | —    | —    |

质和组成加以区别。例如，用作饲料和食用菌基料的秸秆，要求其粗蛋白、粗脂肪、无氮浸出物的含量要高，而纤维素、木质素和灰分的含量要低；用作建筑材料和能源材料的秸秆，要求其纤维素、木质素的含量和热值要高，而与蛋白质、脂肪、无氮浸出物的含量关系不大；玉米秸秆外皮中所含纤维强度高、韧性好，可用来造纸、制人造板和一次性植纤餐具，而其内容物的营养成分较高，可用来加工饲料。

### 三、植物纤维性废弃物的利用

植物纤维性废弃物利用，就是根据其物质组成、结构构造或物理技术特性的某一特点，通过一定的加工而得以充分利用，来满足人们的某一特殊需求。

按照利用目的不同来说，其价值主要体现在如下几方面。

- ① 利用其含热量和可燃性作为能源使用。
- ② 利用其营养成分制作肥料和饲料，以及加工生产淀粉、糖、酒、醋、酱油、食品等生化制品。
- ③ 提取其有机化合物和无机化合物，生产化工原料和化学制品。
- ④ 利用其物理技术特性，生产质轻、绝热、吸声的植物纤维增强材料。
- ⑤ 利用其特殊的结构构造，生产吸附脱色材料、保温材料、吸声材料、催化剂载体等。

目前，我国秸秆的利用率约为 33%，其中经过技术处理的仅占 2.6%左右，其余大部分秸秆因无法处置，常在田间焚烧掉或随

处堆放。秸秆到处堆积乱放，对农村的环境卫生带来了不良影响；同时，农村秸秆焚烧，还会浪费资源、污染环境、引发火灾、损伤地力、危害周围生态动植物，严重影响我国的经济建设及人们的生活、健康，阻滞生态农业的建设和农业的可持续发展。

秸秆是可利用的资源，并且具有可再生性。秸秆拥有植物生长所需要的一切营养成分，是良好的饲料资源；同时，它的有机物含量较高，又可作为作物的有机肥料和土壤有机质的来源；此外，它还可以用作其他行业的原料。秸秆资源的开发利用对实现有机农业的发展，实现传统农业向有机农业的转化，实现农业的可持续发展，以及减轻环境污染具有重要的意义。

## 第二节 废物还田技术

秸秆中含有丰富的有机质和氮、磷、钾、钙、镁、硫等肥料养分，是可利用的有机肥料资源（见表 3-4）。秸秆直接还田作肥料是一种简便易行的方法，不同地区都适用。

表 3-4 几种作物秸秆中元素成分（质量分数） 单位：%

| 种 类 | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | Mn    | Si   |
|-----|------|------|------|------|------|-------|------|
| 水稻  | 0.60 | 0.09 | 1.00 | 0.14 | 0.12 | 0.02  | 7.99 |
| 小麦  | 0.50 | 0.03 | 0.73 | 0.14 | 0.02 | 0.003 | 3.95 |
| 大豆  | 1.93 | 0.03 | 1.55 | 0.84 | 0.07 | —     | —    |
| 油菜  | 0.52 | 0.03 | 0.65 | 0.42 | 0.05 | 0.004 | 0.18 |

秸秆还田利用可增加土壤有机质和速效养分含量，培肥地力，缓解氮、磷、钾比例失调的矛盾，并可改良土壤结构，使土壤容重下降，孔隙度增加，更加有利于涵养水分。同时，秸秆还田还为土壤微生物提高了充足的碳源，促进微生物的生长、繁殖，提高土壤的生物活性。秸秆覆盖地面，干旱期可减少土壤水分的地面蒸发量，保持耕田的蓄水量；雨季可缓冲雨水对土壤的侵蚀，抑制杂草生长，改善地-空热交换状况。此外，秸秆还田还可降低病虫害的发病率，减轻土壤盐碱度，增加作物的产量，提高作物的品质，优化农田生态环境。秸秆还田增产的机理主要是养分效应、改良土壤

效应和农田环境优化效应。因此，秸秆还田与土壤肥力、环境保护、农田生态环境平衡等密切联系，已成为持续农业和生态农业的重要内容，具有十分重要的意义。

秸秆作为有机肥料还田，利用方法有三种：秸秆直接还田、间接还田（高温堆肥）和利用生化快速腐熟技术制造优质有机肥。

### 一、秸秆直接还田

秸秆直接还田采用秸秆还田机作业，机械化程度高，工作效率高，秸秆处理时间短，腐烂时间长，质量好，是用机械对秸秆简单处理的方法，适于大面积推广使用。

#### （一）机械直接还田

该技术可分为粉碎还田和整秆还田两大类。

##### 1. 粉碎还田

目前，普遍推广的是机械秸秆粉碎直接还田。采用机械一次作业将田间直立或铺放的秸秆直接粉碎还田，使手工还田多项工序一次完成，生产效率可提高 40~120 倍。

##### 2. 整秆还田

整秆还田主要指小麦、水稻和玉米秸秆的整秆还田机械化，可将田间直立的作物秸秆整秆翻埋或平铺为覆盖栽培，此种还田方式具有抗旱保墒、减少作业环节等特点。

机械还田是一项高效低耗、省工、省时的有效措施，易于被农民普遍接受和推广。但是秸秆机械还田存在两个方面的弱点：一是耗能大，成本高，难于推广；二是山区、丘陵地区田块面积小，机械使用受限。

#### （二）覆盖栽培还田

秸秆覆盖栽培还田具有减少土壤水分蒸发，强化降水入渗，减轻土壤流失，抗御土壤风蚀，提高水分利用率；促进植株地上部分生长，缩小昼夜温差，有效缓解气温激变对作物的伤害，抑制田间杂草等覆盖效应；同时还具有改善土壤结构，提高土壤有机质含量，补充氮、磷、钾和微量元素含量，增加土壤微生物数量，激活土壤酶活性，加速土壤中物质的生物循环等培肥效应，是一项简便

易行、省工节能、成本低廉的有效措施。

秸秆覆盖还田技术的关键是配施氮肥，以 1000kg 秸秆至少加 11kg 纯氮为宜。但其具有覆盖期地温偏低，影响土壤养分矿化等缺点，有待继续研究。

### （三）机械旋耕翻埋还田

以玉米为例，玉米青秆木质化程度低，秆壁脆嫩，易折断。玉米收获后，用旋耕机横竖两遍旋耕，即可切成 20cm 左右长的秸秆并旋耕入土。茎秆通气组织发达，遇水易软化，腐解速度快，其养分当季就能利用。按每公顷秸秆还田量 30000kg 计算，相当于每公顷投入碳铵 345kg，过磷酸钙 975kg，氯化钾 150kg。一般每公顷可增产稻谷 1.2~1.65t。

## 二、秸秆间接还田

间接还田（高温堆肥）是一种传统的积肥方式，它是利用夏秋高温季节，采用厌氧发酵沤制而成的，其特点是时间长，受环境影响大，劳动强度高，产出量少，成本低廉。

### （一）堆沤腐解还田

有病的植物秸秆带有病菌，直接还田时会传染病害，可采取高温堆肥，以杀灭病菌。秸秆堆肥还田既是解决我国当前有机肥源短缺的主要途径，也是中低产田改良土壤、培肥地力的一项重要措施。它不同于传统堆制沤肥还田，主要是利用快速堆腐剂产生大量纤维素酶，在较短的时间内将各种作物秸秆堆制成有机肥。

利用催腐剂堆沤秸秆肥，需掌握“水足、吃饱、盖严”六字要领：水足，先将秸秆施足水，确保发酵期需水；吃饱，就是施足催腐剂，酵素菌一般以秸秆量的 0.12% 施用；盖严，用泥密封，防止水分蒸发，养分流失，冬季可以加盖薄膜缩短堆沤期。现阶段的堆沤腐解还田技术大多采用在高温、密闭、嫌气性条件下腐解秸秆，能够减轻田间病、虫、杂草等危害，但在实际操作上给农民带来一定困难，难于推广。

作物秸秆要用粉碎机粉碎或用铡草机切碎，长度一般以 1~3cm 为宜。秸秆的腐熟标志为秸秆变成褐色或黑褐色，湿时用手握

之柔软有弹性，干时很脆易破碎。

## （二）烧灰还田

烧灰还田主要有两种形式：一是作为燃料；二是在田间直接焚烧。

田间焚烧不但污染空气、浪费能源、影响飞机升降与公路交通，而且会损失大量有机质和氮素，保留在灰烬中的磷、钾也易被淋失，同时易引起火灾。当然，田间焚烧可以在一定程度上减轻病虫害，防止过多的有机残体产生有毒物质与嫌气气体或在嫌气条件下造成氮的大量反硝化损失。但总体来说，田间烧灰还田弊大于利，应大力提倡作物秸秆田间禁烧。

## （三）过腹还田

过腹还田是一种效益很高的秸秆利用方式，是秸秆经过青贮、氨化、微贮处理，饲喂畜禽后，以畜粪尿施入土壤。秸秆过腹还田，不但可以缓解发展畜牧业饲料粮短缺的矛盾，增加禽畜产品，还可为农业增加大量的有机肥，培肥地力，降低农业成本，促进农业生态系统良性循环。

## （四）沼渣还田

秸秆发酵后产生的沼渣、沼液是优质的有机肥料，其养分丰富，腐殖酸含量高，肥效缓速兼备，是生产无公害农产品、有机食品的良好选择。连年沼渣还田的试验表明：土壤容重下降，孔隙度增加，土壤的理化性状得到改善，保水保肥能力增强；同时，土壤中有机质含量提高 0.2%，全氮提高 0.02%，全磷提高 0.03%，平均提高产量 10%~12.8%。

## （五）菇渣还田

利用作物秸秆培育食用菌，然后再经菇渣还田，经济、社会、生态效益三者兼得。据测定，菇渣有机质含量达 11.09%，每公顷施用 30m<sup>3</sup> 菇渣，与施用等量的化肥相比，通常可增产稻麦 10.2%~12.5%，增产皮棉 1~2 成，不但节省了成本，同时对减少化肥污染、改善农田生态环境亦有积极的意义。

综上所述，秸秆直接或间接还田始终是一项秸秆利用的主要途

径。但是，若使用不当，会造成土壤的富营养化问题。经过近几年的研究发现，过量的秸秆还田会造成土地中氮、磷的过度富集。因此，秸秆还田的量应严格控制，这需要从耕作制度、还田时间、还田量等多方面进行考虑。

### 三、秸秆生化腐熟快速还田

生化快速腐熟技术是将秸秆制造成优质生物有机肥的先进方法。其原理是：采用先进技术培养能分解粗纤维的优良微生物菌种，生产出可加快秸秆腐熟的化学制剂，并采用现代化设备控制温度、湿度、数量、质量和时间，经机械翻抛、高温堆腐、生物发酵等过程，将农业废弃物转化为优质有机肥。其特点是：自动化程度高，腐熟周期短，产量高，无环境污染，肥效高。

#### （一）催腐剂堆肥

秸秆发酵腐解过程是在微生物的参与繁殖活动下进行的，而微生物的繁殖活动必须有足够的营养才能快速进行，因此需要施用催腐剂。该项技术简便易行，在玉米、小麦秸秆的堆沤中应用效果很好，目前我国北方一些省市开始推广。

催腐剂是化学与生物技术相结合的边缘科技产品。其原理是根据微生物中的钾细菌、氨化细菌、磷细菌、放线菌等有益微生物的营养要求，以有机物（包括作物秸秆、杂草、生活垃圾等）为培养基，选用适合有益微生物营养要求的化学药品配制成定量 N、P、K、Ca、Mg、Fe、S 等营养的化学制剂，有效改善了有益微生物的生态环境，加速了有机物分解腐烂。使用催腐剂堆腐秸秆可加速天然有益微生物的繁殖，促进粗纤维、粗蛋白等的分解，并释放大量热量，使堆温快速提高，平均堆温达 54.4℃。不仅能杀灭秸秆中的致病真菌、虫卵和杂草种子，加速秸秆腐解，提高堆肥质量，使堆肥有机质含量比碳铵堆肥提高 54.9%、速效氮提高 10.3%、速效磷提高 76.9%、速效钾提高 68.3%，而且能定向培养钾细菌、放线菌等有益微生物，增加堆肥中活性有益微生物数量，使堆肥成为高效活性生物有机肥。

催腐剂堆肥的优点是有显著的增产增收效果。试验表明，每公

顷田施 3750kg 秸秆堆肥能有效地改善土壤理化性状，培肥地力，大幅度地增加土壤有效微生物群落，保证作物各生育期所需养分，解决土壤板结问题。施用催腐剂堆肥可使农作物根系发达，分蘖增多，植株粗壮，抗倒伏，总茎数增加，成熟期提前。由于堆温高，能够有效地杀灭秸秆中的致病真菌，达到净肥下地，降低了病原基数。堆肥施入土壤后，大大增加了土壤中放线菌等有益微生物群落，颇颇制约了致病真菌群落，减轻了作物病害。

秸秆催腐应选择靠近水源的场所、地头、路旁平坦地。先将秸秆与水按 1 : 1.7 的比例充分湿透后，用喷雾器将溶解的催腐剂均匀喷洒于秸秆中，然后把喷洒过催腐剂的秸秆堆垛宽 1.5m、高 1m 左右，用泥密封，防止水分蒸发、养分流失。冬季为了节省堆腐时间，可在泥上加盖薄膜以提温保温（厚约 1.5cm）。

## （二）速腐剂堆肥

秸秆速腐剂是在“301”菌剂的基础上发展起来的，是由多种高效有益微生物和数十种酶类及无机添加剂组成的复合菌剂。将速腐剂加入秸秆中，在有水条件下，菌株能大量分泌纤维酶，在短期内可将秸秆粗纤维分解为葡萄糖，因此施入土壤后可迅速培肥土壤，减轻作物病虫害，刺激作物增产，实现用地养地相结合。

秸秆速腐剂通常包括两部分：

① 以分解纤维能力很强的腐生真菌等为中心的秸秆腐熟剂，质量为 500g，占速腐剂总数的 80%。它属于高湿型菌种，在堆沤秸秆时可产生 60℃ 以上高温，20 天左右将各类秸秆堆腐成肥料。

② 由固氮、有机、无机磷细菌和钾细菌组成的增肥剂，质量为 200g（每种菌均为 50g），它要求 30~40℃ 的中温，在翻捣肥堆时加入，旨在提高堆肥肥效。

秸秆速腐可按如下步骤进行。

第一步：添加速腐剂。按秸秆重的 2 倍加水，使秸秆湿透，含水量约达 65%，再按秸秆重的 0.1% 加速腐剂，另加 0.5% ~ 0.8% 的尿素调节 C/N 比，也可用 10% 的人畜粪尿代替尿素。

第二步：分层堆沤。秸秆堆沤分三层，第一、二层各厚 60cm，

第三层（顶层）厚 30~40cm，速腐剂和尿素用量比自下而上按 4：4：2 分配，均匀撒入各层，将秸秆堆垛宽 2m，高 1.5m。

第三步：压实密封。秸秆堆好后用铁锹轻轻拍实，就地取泥封堆并加盖农膜，以保水、保温、保肥，防止雨水冲刷。

速腐剂堆肥还田的优点如下。

- ① 提高堆肥质量，增强培肥效果。
- ② 能杀灭堆肥中的主要致病真菌、虫卵和杂草种子。
- ③ 堆肥肥分高。
- ④ 能溶解土壤中被固定的磷钾元素。
- ⑤ 堆肥速度快，腐熟质量好，无毒无污染。
- ⑥ 不受季节和地域限制、成本低、效果好、简便易行。

### （三）酵素菌堆肥

酵素菌是由能够产生多种酶的好（兼）氧细菌、酵母菌和霉菌组成的有益微生物群体。其原理是把原材料接菌堆制后，好气性细菌、霉菌吸收原材料间隙和材料中的氧气，进行生理活动及分解碳水化合物，释放二氧化碳，产生发酵热，进而使堆制的材料进一步分解发酵。在酵母菌的作用下，糖化的碳水化合物形成了酒精。这些物质为放线菌提供了充足的营养，促进了其对纤维质的分解。在及时翻堆、供给充足氧气的条件下，好气性细菌、霉菌、酵母菌和放线菌快速繁殖，菌量增多，使配料不断分解、发酵及熟化，最终形成优质的堆肥。

堆腐方法是：先将秸秆在堆肥池外喷水湿透，使含水量达到 50%~60%，依次将鸡粪均匀铺撒在秸秆上，麸子和红糖（研细）均匀撒到鸡粪上，钙镁磷肥和酵素菌均匀搅拌在一起，再均匀撒在麸子和红糖上面；然后用叉拌匀后，挑入简易堆肥池里，底宽 2m 左右，堆高 1.8~2m，顶部呈圆拱形，顶端用塑料薄膜覆盖，防止雨水淋入。

优质堆肥的标准是培养发酵温度必须升至 60~70℃；堆肥变成黄褐色至棕褐色，有光泽；腐熟好的堆肥无氨味、无酸臭味，有点霉味和发酵味最优；用嘴品味，舌头无刺激感为优；手握堆肥配

料松软，有弹性感，纤维变脆，轻压便碎。

酵素菌秸秆堆肥的优点如下。

① 含有多种有益微生物和多种酶。

② 升温快，成肥快，一般 2~3 天堆内温度即可达 70℃，20 天左右即可腐熟。

③ 有机质含量高，氮、磷、钾三元素含量均衡。

④ 堆肥过程中可杀死部分病原菌及虫卵和草籽。

⑤ 促使作物提高产量，改善品质，抗病虫害。

⑥ 无毒、无污染，能分解化学农药的残留物及毒素。

此外，可利用工业废液生产高浓缩秸秆复合肥。例如，造纸黑液是造纸工业以稻秸、麦秸等有机粗纤维为原料，用碱法生产纸浆时排出的废液，俗称黑液。由于黑液中的强碱可腐蚀破坏秸秆表面的蜡质、解体秸秆组织，使细菌很快利用残体中的营养物质，迅速繁殖，达到快速腐化的目的。因此可用其催腐秸秆，并通过加入其他添加剂，生产得到高浓缩秸秆复合肥。工艺流程为：工业化沤制发酵，铵化处理，磷化处理，高温高压处理，最后制成颗粒型复合肥。同传统的秸秆还田制肥相比，此复合肥有以下优点。

① 腐熟周期短，可工业化生产。

② 施于田间，可改善 C/N。

③ 微量元素齐全，兼有速效、缓效、间体三种作用的优质肥料，充分供给作物整个生长期所需养分。

④ 既治理了黑液污染，又生产出优质肥料，具有显著的经济和社会效益。

### 第三节 饲料化利用技术

随着人们生活水平的提高，动物食品的需求量进而扩大，而畜牧业的发展往往受到饲料的制约。目前我国人均粮食占有量仅有 400kg 左右，难于通过更多的粮食满足畜牧业发展的需要。而每年农作物秸秆产量达 7 亿吨之多（见表 3-5），但长期以来并未得到合理的开发和利用，因此，扩大饲料来源、开发新的饲料资源、提高

饲料质量及效率就显得十分重要。秸秆含有各种饲料成分，从而为其饲料化利用奠定了物质基础。

表 3-5 1990~2000 年我国秸秆饲料量 单位：×10<sup>6</sup>t

| 年 份    | 青贮饲料  | 氨化秸秆  | 直接饲喂秸秆 | 饲用秸秆总量  |
|--------|-------|-------|--------|---------|
| 1990   | 31.7  | 2.6   | 92.54  | 106.83  |
| 1991   | 41.4  | 3.7   | 96.50  | 114.00  |
| 1992   | 50.1  | 7.1   | 95.90  | 1197.17 |
| 1993   | 58.9  | 11.7  | 94.10  | 125.41  |
| 1994   | 64.2  | 15.9  | 93.80  | 131.11  |
| 1995   | 75.3  | 21.5  | 96.00  | 151.52  |
| 1996   | 85.2  | 30.5  | 108.00 | 166.88  |
| 1997   | 96.7  | 36.8  | 104.93 | 174.00  |
| 1998   | 109.9 | 45.1  | 103.49 | 185.22  |
| 1999   | 117.4 | 48.8  | 104.19 | 192.17  |
| 2000   | 120.0 | 55.0  | 103.0  | 198.00  |
| 年递增率/% | 14.24 | 35.69 | 1.07   | 6.36    |

由于秸秆中的木质素与糖类结合在一起，使得瘤胃中的微生物和酶很难分解这样的糖类；此外，秸秆中的蛋白质含量低和其他必要营养物质的缺乏，导致秸秆饲料不能被动物高效地吸收利用，直接用作饲料往往效果欠佳，需要进一步加工处理。秸秆饲料化利用技术主要有微生物贮存技术、青贮技术、氨化技术和热喷处理技术等。

一、微生物贮存技术

(一) 微贮作用与机理

秸秆微生物发酵贮存技术是指利用微生物菌剂对秸秆进行厌氧发酵处理的一种方法。该方法有时也简称为“微贮技术”。

作物秸秆经收割、晒干、粉碎处理后，按比例加入微生物发酵菌剂、辅料及补充水分，并放入密闭设施中形成厌氧环境，进行发酵。由于生物转化剂分解大量纤维素、半纤维素和部分木质素，并将其转化为易于消化的糖类，因而可提高秸秆的消化效率；同时，由于糖分又经有机酸发酵菌转化为乳酸和挥发性脂肪酸，使原料的

pH 值下降至 4.5~5, 从而抑制了有害的丁酸菌、腐败菌等的繁殖, 有利于秸秆的长时间贮存; 此外, 秸秆经微贮发酵后, 带有酸香味, 牲畜喜食, 采食量增加。

秸秆微贮饲料的含水量一般以 60%~70% 为宜。因为当含水量过高时, 降低了秸秆中糖和胶状物的浓度, 产酸菌不能正常生长, 导致饲料腐烂变质; 而含水量过低时, 秸秆不易被踩实, 残留的空气过多, 保证不了厌氧发酵的条件, 有机酸含量减少, 容易腐烂。

秸秆微贮技术可利用微生物将秸秆中的纤维素、半纤维素降解并转化为菌体蛋白, 具有污染少、效率高, 利于工业化生产等特点, 因而成为今后秸秆饲料的发展趋势。

## (二) 微贮饲料的优点

- (1) 成本低, 效益高
- (2) 消化率高
- (3) 适口性好, 采食量增加
- (4) 原料来源广
- (5) 保存期长
- (6) 制作季节长, 技术简单易掌握

## (三) 微贮工艺

秸秆微贮方法主要有水泥池微贮法、土窖微贮法、塑料袋窖内微贮法和大型窖微贮法。其中水泥池微贮法与传统青贮窖青贮方法相似, 是将农作物秸秆铡切碎, 按比例喷洒菌液后装入池内, 分层压实, 封口。这种方法的优点是, 池内不易进水进气, 密封性好, 经久耐用, 成功率高。

秸秆微贮工艺流程图如图 3-1 所示。微贮原料必须是清洁的, 应选择发育中等以上、无腐烂变质的各种作物秸秆, 品种越多越好, 至少要选择三种以上的原料, 从而可以保证原料之间的营养进行互补。同时, 秸秆切断有利于提高微贮窖的利用率, 保证微贮饲料的制作质量。

建窖位置应选在地势较高、地下水位低、离畜舍近, 制作取用

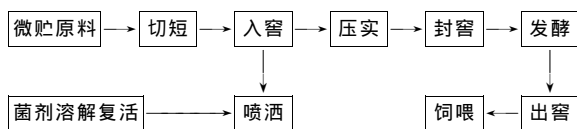


图 3-1 秸秆微贮工艺流程

方便的地方。秸秆微贮之前要准备好发酵活干菌、食盐和尿素。按 1% 的比例，在水中加入食盐、尿素，先配制成食盐溶液，然后，按比例将复活的菌液倒入充分溶解的 1% 食盐溶液中混合好，并与切碎的秸秆均匀混合到一起，再经压实封口后入窖贮存发酵。一般经过 2 周后，生物发酵即可结束。

#### (四) 微贮饲料的品质评定

优质秸秆微贮饲料具有醇香味和果香气味，并具有弱酸味。微贮原料中水分过多和高温发酵会造成饲料有强酸味，当压实程度不够和密封不严，有害微生物发酵，会造成饲料有腐臭味、发霉味。详细的微贮饲料的感官鉴定评价见表 3-6。

表 3-6 微贮饲料感官鉴定评价

| 级别 | 颜 色         | 气 味             | 质 地 结 构       |
|----|-------------|-----------------|---------------|
| 优质 | 橄榄绿或金黄色,有光泽 | 具有醇香和果香气味,并有弱酸味 | 湿润、松散柔软、不粘手   |
| 低等 | 墨绿色或褐色      | 有腐臭味、霉味或强酸味     | 腐烂、发黏、结块或干燥粗硬 |

## 二、青贮法

### (一) 青贮作用与机理

秸秆的青贮是将新鲜的秸秆切短或铡碎，装入青贮池或青贮塔内，通过封埋等措施造成厌氧条件，利用厌氧微生物的发酵作用，以提高秸秆的营养价值和消化率的一种方法，这是生物处理法中应用最广泛、操作最简单的方法。制作青贮饲料的主要目的是贮藏生长旺盛期或刚刚收获作物后的青绿秸秆，以供饲料短缺之时的需要，是保证常年均衡供应家畜饲料的有效措施。

秸秆青贮是一个复杂的微生物活动和生物化学变化过程。其实质是将新鲜植物紧实地堆积在不透气的容器中，通过微生物（主要

是乳酸菌)的厌氧发酵,使原料中所含的糖分转化为有机酸,主要是乳酸。当乳酸在青贮原料中积累到一定浓度时,就能抑制其他微生物的活动,并制止原料中养分被微生物分解破坏,从而将原料中的养分很好地保存下来。乳酸发酵过程中产生大量热能,当青贮原料温度上升到 50℃ 时,乳酸菌也就停止了活动,发酵结束。通过此发酵过程,秸秆的营养成分发生了变化,不易消化的成分变成了易于消化的成分,从而使秸秆的饲料价值和消化率得到了提高。此外,由于青贮原料是在密闭并停止微生物活动的条件下贮存的,因此可以长期保存不变质。

## (二) 青贮秸秆的特点

① 青贮秸秆养分损失少,蛋白质、纤维素保存较多,营养价值比干秸秆的高。青贮饲料气味酸香,柔软多汁,颜色黄绿,具有充分保留秸秆在青绿时的营养成分,提高其消化率和适口性的特点,是保证常年均衡供应青绿多汁饲料的有效措施。

② 青贮饲料可长期保存,良好的青贮饲料管理得当,可以贮存多年,最长可达 20~30 年。青贮秸秆单位容积贮存量大,不会污染环境,受气候影响小,在贮藏过程中不受风吹、雨淋、日晒等影响,而且操作安全。

③ 青贮可扩大饲料来源,一般农作物秸秆都可以青贮,其中以玉米秸青贮为最多。

④ 青贮饲料可以预防家畜和农作物的病虫害,便于使用各种饲料添加剂。

⑤ 青贮法技术简单、方便推行。

但青贮法对纤维素消化率提高甚微,人们试图寻找某些纤维分解菌,以提高青贮饲料的消化率。

## (三) 青贮工艺

使青贮原料能够正常发酵,最关键的两点是:青贮原料要有足量的糖分,即必须含有最低需要的含糖量;青贮中保证排尽空气,装填紧密,造成无氧条件。在一定的酸度下,原料中的糖类含量越高,以乳酸菌为主的微生物生长得越好。所以,选用含糖分超过 6%

的原料可以制成优质青贮，而含糖量低于 2% 的则制不成优质的青贮。排气是为了造成无氧条件，除制作青贮时压紧外，可加水提高排气成效。装填压紧排除空气，是制作青贮最主要的技术措施。

青贮时，首先要选好青贮原料。在选用青贮原料时，应选用有一定含糖量的秸秆。秸秆的含水量要适中，要求控制在 55% ~ 60% 为宜，以保证乳酸菌的正常活动。然后，需要对秸秆进行切碎处理，长度以 1.5 ~ 2cm 为宜，切短的主要目的在于装填紧实、取用方便、牲畜易采食；同时，秸秆切短或粉碎后，易使植物细胞渗出汁液，湿润饲料表面，有利于乳酸菌的生长繁殖。切短程度应根据原料性质和牲畜需要来决定。切碎后的秸秆入窖，经压实、密封后贮存。

青贮秸秆容器可采用青贮塔、青贮窖和塑料袋三种形式。青贮塔造价高、容积大、难于压实，新建的动物牛、羊场一般很少采用；而塑料袋青贮仅适用于养殖少量牲畜的养殖户。现在养殖量大的养殖户基本不采用上述两种方法，而是采用青贮窖进行青贮。

青贮塔（窖）内的适宜温度为 30℃。要保证其密封压实，否则，青贮原料进入青贮塔（窖）后会保持较强的呼吸，碳水化合物氧化成二氧化碳和水，温度继续升高，易导致青贮秸秆腐败。为防止原料营养损失，提高青贮的饲喂价值，尤其是当青贮数量比较大时，常常在青贮制作过程中加一些青贮添加剂。青贮添加剂主要有三类：一是发酵促进剂，促进乳酸菌发酵，达到保鲜贮存的目的；二是保护剂，抑制青贮原料中有害微生物的活动，防止青贮原料腐败、霉变，减少养分损失；三是添加含氮的营养性物质，提高青贮原料的营养价值，改善青贮原料的适口性。常用的添加剂有乳酸菌、纤维素酶、营养添加剂、尿素、石灰粉、氨、酱渣等。

秸秆青贮工艺流程如图 3-2 所示。它包括原料切碎、入窖、压实、密封、贮存等工艺过程。

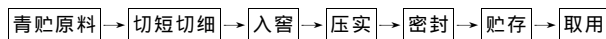


图 3-2 秸秆青贮工艺流程

(四) 青贮饲料的品质评定

青贮饲料品质优劣的评定分为感官评定和实验室评定两种方式。青贮饲料的质量取决于如下三个因素。

- ① 饲料的化学成分。
- ② 青贮塔（窖）内的空气是否排放干净。
- ③ 微生物的活动情况。

1. 感官评定

青贮容器内青贮饲料的温度是影响颜色的主要因素，温度越低，青贮饲料越接近于原先的颜色，其质量就越好。如果变成褐色或黑绿色，则表示质量低劣。

正常的青贮饲料，具有酸香味和芳香味。如有陈腐的脂肪臭味以及令人作呕的气味，说明产生了丁酸，这是青贮失败的标志。霉味则说明压得不实，空气进入了青贮窖，引起饲料霉变。有时，秸秆与氨化前无多大变化，无氨味，则说明漏气跑氨，此时应继续封闭氨化一段时间。

质量好的青贮饲料手感松散，而且质地柔软湿润，详细的感官评定标准见表 3-7。

表 3-7 青贮饲料感官评定标准

| 级别 | 颜 色        | 气 味         | 质 地 结 构                  | pH 值    |
|----|------------|-------------|--------------------------|---------|
| 优良 | 绿色或黄绿色，有光泽 | 芳香味重，给人舒适感  | 湿润、松散柔软、不粘手，茎、叶、花能分辨清楚   | 3.8~4.4 |
| 中等 | 黄褐或暗绿色     | 有刺鼻酒酸味，芳香味淡 | 柔软、水分多，茎、叶、花能分清          | 4.5~5.4 |
| 低劣 | 黑色或褐色      | 有刺鼻的腐败味或霉味  | 腐烂、发黏、结块或过干，结构分不清，不能做饲料用 | 5.5~6.0 |

2. 实验室评定

感官评定方法评定青贮饲料质量，简单、方便，但不够精确，有条件的地方应采用实验室方法，科学地评定青贮质量。实验室评定主要以化学分析为主，包括测定 pH 值及有机酸（乙酸、丙酸、

丁酸、乳酸）总量和构成来判断发酵情况。测定游离氨（最好测定铵态氮与总氮的比值）是评估蛋白质破坏程度最有效的尺度。

(1) 用 pH 值评估

研究表明，pH 值与发酵好坏及干物质损失程度之间有着密切的关系。对于未凋萎的青贮牧草（含水率高于 75%）及各种含水率的青贮玉米，测定 pH 值是最简便、最迅速的评价方法。用 pH 值评价青贮质量的情况见表 3-8。

表 3-8 pH 值与青贮质量之间的关系

| pH 值 | 3.5~4.1 | 4.2~4.5 | 4.6~5.0 | 5.1~5.6 | >5.6 |
|------|---------|---------|---------|---------|------|
| 青贮质量 | 很好      | 好       | 可用      | 差       | 极差   |

(2) 以有机酸含量评估

有机酸总量及其构成可以反映青贮发酵过程的好坏，其中最重要的是乙酸、丁酸和乳酸。乳酸所占比例越大越好。

(3) 用铵态氮与总氮的比值（%）判断

铵态氮与总氮比值反映了青贮饲料中蛋白质和氨基酸分解的程度，比值越大，说明氨基酸和蛋白质分解越多，这就意味着青贮质量不佳。

三、氨化法

(一) 氨化作用与机理

秸秆氨化处理技术，就是在秸秆中加入一定比例的氨水、无水氨（液氨）、尿素等，在密闭条件下通过它们的作用，破坏木质素与纤维素之间的联系，促使木质素与纤维素、半纤维素分离，使纤维素及半纤维素部分分解、细胞膨胀、结构疏松，从而提高秸秆的消化率、营养价值和适口性的加工处理方法。氨化秸秆的原理分三个方面。

1. 碱化作用

秸秆的主要成分是粗纤维。粗纤维中的纤维素、半纤维素可以被草食牲畜消化利用，木质素基本不能被家畜利用。秸秆中的纤维素和半纤维素有一部分与不能消化的木质素紧紧地结合在一起，阻

碍牲畜消化吸收。碱的作用可使木质素和纤维素之间的酯键断裂，打破它们的镶嵌结构，溶解半纤维素和一部分木质素及硅酸盐，纤维素部分水解和膨胀，反刍家畜瘤胃中的瘤胃液易于渗入，消化率提高。

## 2. 氨化作用

氨吸附在秸秆上，增加了秸秆粗蛋白质含量。氨随秸秆进入反刍家畜的瘤胃，微生物利用氨合成微生物蛋白质。尽管瘤胃微生物能利用氨合成蛋白质，但非蛋白氮在瘤胃中分解速度很快，特别是在饲料可发酵能量不足的情况下，不能充分被微生物利用，多余的则被瘤胃壁吸收，有中毒的危险。通过氨化处理秸秆，可减缓氨的释放速度，促进瘤胃微生物的活动，氨进一步提高秸秆的营养价值和消化率。

## 3. 中和作用

氨呈碱性，与秸秆中的有机酸化合，中和了秸秆中的潜在酸度，形成适宜瘤胃微生物活动的微碱性环境。由于瘤胃内微生物大量增加，形成了更多的菌体蛋白，加之纤维素、半纤维素分解可产生低级脂肪酸（乙酸、丙酸、丁酸），可促进乳脂肪、体脂肪的合成。铵盐可改善秸秆的适口性，提高家畜对秸秆的采食量和利用率。

## （二）氨化秸秆的优点

① 由于氨具有杀灭腐败细菌的作用，氨化可防止饲料腐败，减少家畜疾病的发生。

② 氨化可以增加被处理秸秆的含氮量，秸秆的粗蛋白含量可从 3%~4% 提高到 8%，甚至更高。家畜尿液中含氮量的提高，对提高土地肥力有好处。

③ 提高适口性和消化率，家畜的采食量可提高 20%~40%，氨化使不利于家畜消化的纤维素及木质素的化学结构破坏分解，使氨化秸秆比未氨化的消化率提高 20%~30%。

④ 提高秸秆饲料的能量水平，因为氨化可分解纤维素和木质素，可使它们转变为糖类，糖就是一种能量物质。

⑤ 氨化秸秆饲料制作投资少、成本低、操作简便、经济效益高，并能灭菌、防霉、防鼠、延长饲料保存期。

⑥ 由于节省了家畜的采食消化时间，从而减少了能量的消耗；提高了秸秆单位容积的营养含量，从而有利于家畜发挥生产能力。

### （三）氨化工艺

各种农作物秸秆都可进行氨化处理。氨化方法应根据因地制宜、就地取材、经济实用的原则确定，主要有堆垛氨化法、氨化池法、氨化炉法、塑料袋氨化法等，其中，使用最多的是堆垛氨化法。

堆垛氨化法是先干燥向阳平整地上铺一层聚乙烯塑料薄膜，膜厚度约 0.2mm，长宽依堆大小而定，然后在底膜上铺厚 20cm 的秸秆，薄膜周边留出 70cm 左右。铡短的风干秸秆用尿素或碳铵处理时，加入占秸秆总量 40% 的水，尿素用量为 3%~5%，碳铵为 8%~14%，溶解于所需水中，搅到充分溶解。然后边铺秸秆边洒溶解液边踩实，直到垛顶，最后覆盖塑料罩膜，并使四边留有 70cm 左右的条边，将罩膜和底膜的余边折叠在一起，从边缘向里卷起，用土压紧、封严，不使其漏气，经过 7~15 天后饲喂。

堆垛氨化法是我国应用最早、也是目前应用最为广泛的一种方法。它的优点是操作简便，成本低，不消耗能源；缺点是占地大，处理时间长，受季节限制（北方大部分地区冬季不能使用），而且氨化质量难以保证。

氨化的要求是：物料含水率 25%~40%，湿度不够，需用喷洒或浸湿方法补充水分，并且物料最好成捆铺放整齐且压实；氨化的适宜温度为 0~35℃；堆垛场地应选择交通方便、向阳、背风及排水良好的地方；氨化剂最好使用氨水或无水氨，无水氨（液氨）是最为经济的氨源。而液氨需用高压容器如贮罐、氨瓶、氨槽汽车进行贮运，一次性投资较大，而且液氨属于有毒易爆物质，空气中含量达到 20% 时点火会引起爆炸，所以使用时要注意安全。氨用量也是影响氨化效果的主要因素之一。此外，氨化效果还与秸秆的质量和类别、处理时间的长短、压力及氨化装置的密封性能等

因素有关。堆垛法氨化秸秆工艺流程如图 3-3 所示。

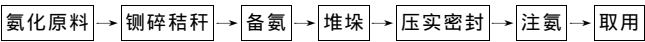


图 3-3 堆垛法氨化秸秆工艺流程

(四) 氨化效果评定

氨化秸秆饲料品质的鉴定主要采用感官评定法、化学分析法和生物技术法。在生产中通常采用感官评定法，该法简便易行，但准确性较差；化学分析法能够准确测出秸秆的粗蛋白、粗纤维、酸性洗涤纤维及中性洗涤纤维等成分的含量，但不能全面地评价秸秆的营养价值，也不能反映牲畜对氨化秸秆饲料的消化程度；生物技术法是采用反刍动物瘤胃食管尼龙袋测定秸秆消化率的方法，由于是在反刍动物瘤胃中进行消化试验，既可反映秸秆的消耗率，又可反映秸秆的消化速度，可较全面地鉴定饲料品质。

1. 感官评定法

氨化良好的秸秆质地柔软，颜色呈棕黄色或浅褐色，释放余氨后气味糊香。如果秸秆变为白色、灰色，发黏或结块，说明秸秆已经霉变，就不能再喂牛，这通常是由于秸秆含水量过高、密封不严或开封后未及时晾晒所致。氨化秸秆饲料质量感官法评定标准见表 3-9。

表 3-9 氨化秸秆饲料质量感官法评定标准

| 评定内容 | 氨化秸秆饲料质量                           |               |             |          |
|------|------------------------------------|---------------|-------------|----------|
|      | 氨化好                                | 未氨化好          | 霉变          | 腐烂       |
| 颜色   | 新鲜秸秆呈深黄或黄褐色，发亮，颜色越深质量越好；陈年秸秆呈褐色或灰色 | 颜色与氨化前相同      | 呈白色，或发黑，有霉点 | 呈深红色或酱色  |
| 气味   | 开封时有强烈氨味，放氨后有糊香或酸面包味               | 无氨味，与原秸秆味无大差别 | 有强烈发霉味      | 有霉烂味     |
| 质地   | 柔软、松散，放氨后干燥                        | 与原秸秆一样，仍较坚硬   | 变得糟损，有时发黏   | 发黏，出现酱块状 |
| 温度   | 手插入时温度不高                           | 手插入时温度不高      | 手插入时有发热感    | 手插入时有发热感 |

## 2. 化学分析法

目前，化学分析法在我国应用较广，该方法是通过分析秸秆氮化前后各项主要指标来判定秸秆质量的改进幅度。秸秆经氮化后，粗蛋白、纤维成分等都会发生变化，特别是粗蛋白含量会成倍增加。当然，根据氮化原料、氮源、氮化方法、时间、温度等的不同，变化程度会有所差别。

$$\text{氮化效率} = \frac{\text{氮化后秸秆的粗蛋白量} - \text{氮化前秸秆的粗蛋白量}}{\text{施加氮源的粗蛋白量}} \times 100\%$$

## 3. 生物技术法

生物技术法，尤其是利用反刍动物瘤胃瘘管尼龙袋新技术测定秸秆消化率的方法，近年来不仅在科研单位应用，而且已被我国一些生产单位所采用。

氮化效果的好坏，最终应该用动物饲喂试验来判断。具体方法是以氮化秸秆和未氮化秸秆饲喂牛羊，比较其采食量、增重速度、生产性能（产奶、产肉、产毛等），在条件允许的情况下可通过消化代谢试验，测定养分消化、利用率及营养价值的变化。

## 四、热喷处理

### （一）热喷作用与机理

秸秆热喷处理就是将铡碎成约 8cm 长的农作物秸秆，混入饼粕、鸡粪等，装入饲料热喷机内，在一定压力的热饱和蒸汽下，保持一定时间，然后突然降压，使物料从机内喷爆而出，从而改变其结构和某些化学成分，并消毒、除臭，使物料可食性和营养价值得以提高的一种热压力加工工艺。

物料在热喷处理时，利用蒸气的热效应，在高温下使木质素熔化，纤维素分子断裂、降解，同时因高压突然卸压，产生内摩擦力喷爆，使纤维素细胞撕裂，细胞壁疏松，从而改变了粗纤维的整体结构和化学链分子结构。在热喷处理时，物料在高压罐内 1～15min 的状态是：压力 0.39～1.18MPa、温度 145～190℃、含水量 25%～40%，由此使物料纤维细胞间木质素溶解，氢链断裂，纤维结晶度降低。当突然喷爆时，木质素就会熔化，同时发生若干

高分子物质的分解反应；再通过喷爆的机械效应，应力集中于熔化本质素的脆弱结构区，使得壁间疏松，细胞游离，物质颗粒骤然变小，总面积增大，从而达到质地柔软和味道芳香的效果，提高了家畜对秸秆饲料的采食量和消化率。

(二) 热喷饲料的优点

① 通过连续的热效应和机械效应，消除了非常规饲料的消化障碍因素，使表面角质层和硅细胞的覆盖基本消除，纤维素结晶降低，有利于微生物的繁殖和发酵。

② 由于细胞的游离，饲料颗粒变小，密度增大，总体积变小，而总表面积增加。经热喷处理的秸秆饲料可提高其采食量和利用率，热喷后的秸秆其全株采食率由 50% 提高到 90% 以上，秸秆的离体有机物消化率提高 30%~100%（见表 3-10）。此外，湿热喷粗饲料比干热喷粗饲料消化率提高 14%~140%。

表 3-10 热喷处理前后粗饲料消化率 单位：%

| 粗饲料 | 处理前   | 处理后   | 粗饲料  | 处理前   | 处理后   | 粗饲料  | 处理前   | 处理后   |
|-----|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 小麦秸 | 38.46 | 55.46 | 高粱秸  | 50.04 | 60.03 | 干蔗渣  | 48.35 | 59.79 |
| 稻草  | 40.14 | 59.61 | 芦苇   | 42.79 | 55.61 | 柠树条  | 36.35 | 59.99 |
| 稻壳  | 23.94 | 27.79 | 胡麻秆  | 44.25 | 55.47 | 锯木屑  | 24.87 | 43.27 |
| 玉米秸 | 52.09 | 64.81 | 向日葵秆 | 49.59 | 58.96 | 红柳条  | 29.55 | 48.87 |
| 大豆秆 | 40.25 | 55.78 | 向日葵盘 | 76.81 | 75.29 | 山林杂木 | 35.10 | 61.66 |

③ 通过利用尿素等多种非蛋白氮作为热喷秸秆添加剂，可提高粗蛋白水平，降低氮在瘤胃中的释放速度。

④ 热喷装置还可以对菜籽饼、棉籽饼等进行脱毒，对鸡、鸭、牛粪等进行去臭、灭菌处理，使之成为蛋白质饲料。同用粉碎的小麦秸相比，羔羊可增重 50% 以上；用热喷荆棘饲喂乳牛，每千克可代替 1.2~1.7kg 青干草，同时增加产奶量。将混合精料热喷，用来补饲羔羊，同未处理相比，增重提高 22%。

⑤ 该法既便于工厂机械化规模处理各类秸秆，还能将其他林木副产品及畜禽粪便处理转化为优质饲料，并能通过成型机把处理后的饲料加工成颗粒、小块及砖型等多种成型饲料，既便于运输，

饲喂起来也经济、卫生。

### (三) 热喷工艺

研究表明，热喷工艺条件主要包括三个要素，即处理的压力、保温时间和喷放压力。因此，其热喷的效果在于选择适当的上述 3 项指标及其配合应用。经探索中压区（1.57~3.33MPa）、短时间（1~5min）处理的效果，发现各类秸秆（葵花盘除外）经处理后，其消化率均有较大的提高。但是，在生产中应用时，出于对设备安全、价格和管理等因素的考虑，多采用低压区（小于 1.57MPa）和长时间（3~10min）的处理工艺，其消化率提高的幅度小于中压区（约相当于中压区效果的 60%~80%），但适合于我国目前的实际情况。

秸秆饲料热喷技术是由特殊的热喷装置完成的。热喷设备包括热喷主机和辅助设备两大部分，热喷主机由蒸气锅炉和压力罐组成。蒸气锅炉提供中低压蒸气，压力罐是一个密闭受压容器，是对秸秆原料进行热蒸气处理并施行喷放的专用设备。辅助设备由切碎机、贮料仓、传送带、泄力罐及其他设备等组成。热喷装置的构造如图 3-4

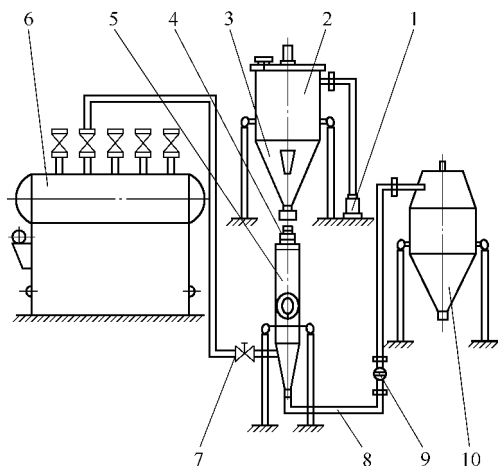


图 3-4 热喷装置的构造示意

- 1—铡草机；2—贮料罐；3—进料漏斗；4—进料阀；5—压力罐；  
6—锅炉；7—供气阀；8—排气管；9—排料阀；10—泄力罐

所示。

原料经铡草机切碎，进入贮料罐内，经进料漏斗，被分批装入安装在地下的压力罐内，将其密封后通入 0.5~1MPa 的蒸气（蒸气由锅炉提供，进气量和罐内压力由进气阀控制），维持一定时间（1~30min）后，由排料阀减压喷放，秸秆经排料阀进入泄力罐。喷放出的秸秆可直接饲喂牲畜或压制成型贮运，秸秆热喷工艺流程如图 3-5 所示。

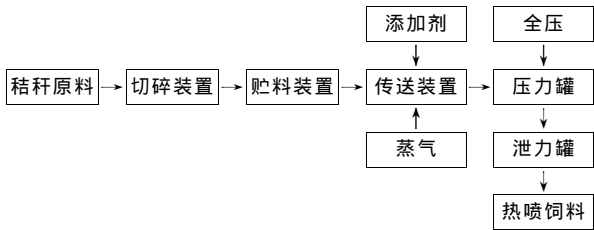


图 3-5 秸秆热喷工艺流程

(四) 热喷饲料的品质评定

热喷饲料的品质评定分为感观鉴别法和化学分析法。

1. 感观鉴别法

秸秆在高温高压条件下经骤然减压过程的处理，一般都具有色泽鲜亮，气味芳香，质地蓬松，适口性好，易于消化吸收的特点，具有以上特点的产品可以认为是优质产品。

2. 化学分析法

化学分析可以进行化学组成成分的分析 and 秸秆微细胞结构的分析，如粗蛋白含量、粗纤维含量、细胞壁的疏松度、空隙度等项目的测定。有条件的还可以进行色谱分析，观察其结构性多糖降解产物的增减变化，分析溶解木质素、半纤维素程度的强弱。如果以上指标比未处理秸秆提高 20%~40%，可以认为是优质产品。

第四节 气 化 技 术

气化是指含碳物质在有限供氧条件下产生可燃气体的热化学

转化。植物纤维性废弃物由 C、H、O 等元素和灰分组成，当它们被点燃时，供应少量空气，并且采取措施控制其反应过程，使其变成  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$  等可燃气体，生物质中大部分能量都被转化到气体中。气化后的可燃气体可作为锅炉燃料与煤混燃，也可作为管道气为城乡居民集中供气；将气化后的可燃气体经过净化除尘与内燃机连用，可取代汽油或柴油，实现能量系统的高效利用；气化后的可燃气体还可进行气化发电，该技术可以在较小规模实现较高的利用率，并能提高能源的档次。所以，气化发电是一个重要的发展方向。如德国最早利用秸秆发电的 Thuringian 镇电站，每年可处理 3000 吨秸秆。我国目前在海南建设了 1.2MW 示范电站，该电站是我国及亚洲最大的生物质气化发电系统，整体水平达到国际先进水平。

### 一、作为气化原料的优点

#### (1) 炭的活性高

在  $800^\circ\text{C}$ 、2MPa 以及有水蒸气存在的条件下，秸秆中炭的气化反应迅速，7min 之后，有 80% 的炭可被气化，而在相同条件下，煤炭只有 5% 被气化。

#### (2) 挥发分高

在比较低的温度（ $350^\circ\text{C}$  左右）下，秸秆就能迅速地释放出大约 80% 的挥发组分，而煤却要在较高的温度（ $600^\circ\text{C}$  以上）下才能释放出挥发组分，且释放量较低（30%~40%）。

#### (3) 秸秆的含硫量低，可大大降低气体脱硫净化的费用。

#### (4) 灰分少。

秸秆的灰分含量较低，气化产生的灰分少，可大大简化灰渣处理费用。

### 二、气化设备

在植物纤维性废弃物气化反应器方面，目前主要有固体床反应器（又分为上吸式和下吸式两种）、流化床反应器和气流（旋流）床反应器三种。气化的工作介质有空气、氧气、空气/水蒸气、氧气/水蒸气等。

20 世纪 80 年代以来，我国在生物质气化技术和装置方面取得了一系列成果，已应用于烘干茶叶、木材、饲料，供热和供暖等；90 年代开发出了家用小型气化炉；山东省能源研究所研制出以农作物秸秆、谷物、皮核等为原料进行热解产气，使农民用上了管道煤气；中国科学院研制了上吸式气化炉、改进的上吸式气化炉、层式下吸式气化炉、循环流化床气化炉等一系列炉型，能根据原料特点和用户的不同需要进行设计，用于供热、供电和供气；“八五”期间完成了生产中热值可燃气装置的研究，“九五”期间完成了 1MW 谷壳气化发电系统的研制，使我国生物质气化技术的应用向规模化方向发展；近期研究多集中于循环流化床和有催化剂的高压反应器。前者是出于装置大型化的考虑，后者是为了获得含氢量高的合成原料气。国外生物质气化装置一般规模较大，自动化程度高，工艺较复杂，以发电和供热为主，气化效率可达 60%~90%。下面介绍几种常用的气化炉的结构和性能特点。

### (一) 上吸式气化炉

上吸式气化炉的气-固呈逆向流动，运行过程中，湿物料从顶部加入后，被上升的热气流干燥而将水蒸气排出；干燥了的原料下降时被热气流加热而发生热分解，释放出挥发组分；剩余的炭继续下降，并与上升的  $\text{CO}_2$  及水蒸气发生反应， $\text{CO}_2$  及水蒸气被还原为  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  等；最后的灰渣从底部排出。上吸式气化炉的结构和反应过程如图 3-6 和图 3-7 所示。

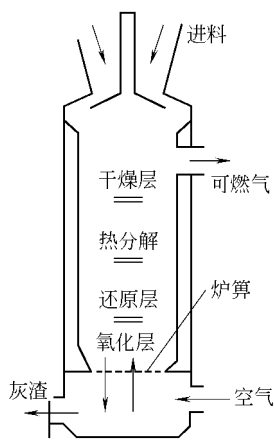


图 3-6 上吸式气化炉的结构

### (二) 改进的上吸式气化炉

改进的上吸式气化炉克服了上吸式气化炉的缺点，将干燥区和热分解区分开（见图 3-8）。原料中的水分蒸发后随空气进入炉内参加还原反应，不再混入产品气中，提高了产品气中  $\text{H}_2$  和碳氢化合物的含量。由于气体不被水蒸气稀释，使气体



图 3-7 上吸式气化炉的反应过程

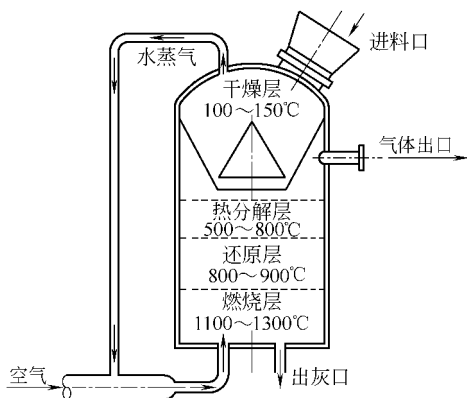


图 3-8 改进的上吸式气化炉

的热值提高 25% 左右；控制床层高度在 500~800mm 左右，使热分解反应在较高温度下进行，为避免低温热分解区，使干燥的物料立即进入热分解区，从而保证了反应物料最上层温度不低于  $500^{\circ}\text{C}$ ，而热分解在  $500 \sim 800^{\circ}\text{C}$  间进行。

在实际运行中改进的上吸式气化炉取得了较好的效果：气体热值在  $5000\text{kJ}/\text{m}^3$  左右，气化效率 75% 左右，气体中焦油含量小于  $25\text{g}/\text{m}^3$ ，碳转换率达 99%，原料适应性广，原料水分在 15%~45% 之间均可稳定运行。

（三）下吸式气化炉

在下吸式气化炉内气体与固体顺向流动，物料由上部储料仓向下移动，边移动边进行干燥与热分解的过程，其结构如图 3-9 所示。空气由喷嘴进入，与下移的物料发生燃烧反应；生成的气体与炭一起同向流动，使焦油裂解并同时进行还原反应。

下吸式气化炉要求原料中的水分含量不大于 20%，否则会使炉温降低、转换效率变低、出灰中炭含量增高。下吸式气化炉已成功地用于农村供气系统，以当地的农作物废弃物（如玉米秆、麦秆、稻壳等）为原料，气化后的燃气作为居民生活用气。

（四）层式下吸式气化炉

层式下吸式气化炉的特点是敞口，其结构和工作过程如图 3-10 所示。炉顶不需要加盖密封，加料操作简单，容易实现连续加料；炉身为直筒状，结构简单。

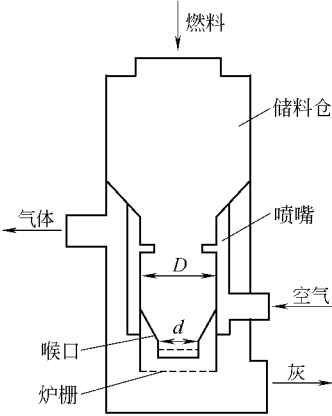


图 3-9 下吸式气化炉  
结构示意图

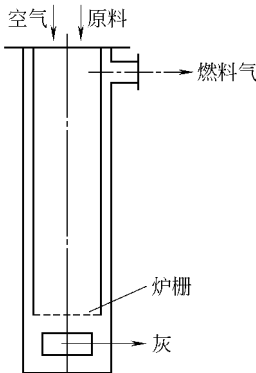


图 3-10 层式下吸式气化炉  
结构和工作过程

在层式下吸式气化炉的运行过程中，空气从敞口的顶部均匀地流经反应区的整个截面，因此沿反应床截面的温度分布均匀；氧化与热分解在同一区域内同时进行，这个区是整个反应过程的最高温度区，所以气体中焦油含量较低，有利于减轻后续净化处理的负担。层式下吸式气化炉适于在负压下运行。

该种气化炉已成功地应用于小规模生物质气化发电系统，装机有 2.5kW、60kW 和 160kW 等，特别是用于稻壳气化发电装置。

### (五) 循环流化床气化炉

气化过程由燃烧、还原及热分解三个过程组成。热分解是气化过程中最主要的一个反应过程，大约有 70%~75% 的原料在热分解过程中转换为燃料气体，有 25%~30% 左右的炭剩余。在燃烧过程中烧掉其中 15% 左右的炭，放出的燃烧热为气化过程提供能量，有 10% 左右的炭在还原过程被气化。在三个反应过程中，热分解过程最快，燃烧反应其次，还原反应需要的时间最长。循环流化床气化炉结构简图如图 3-11 所示。

循环流化床能够快速加热、快速热分解，且保持炭的长时间停留，是一种理想的气化反应器。其生产强度达固定床气化炉的 8 倍左右，气体热值可达 7000kJ/m<sup>3</sup> 左右，比固定床气化炉提高了 40%。

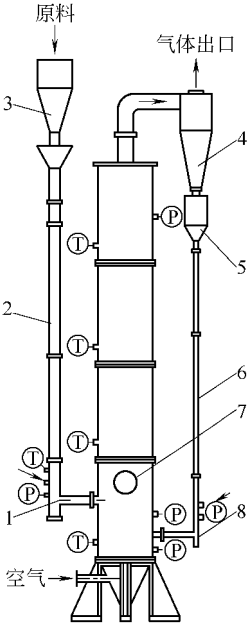


图 3-11 循环流化床系统简图

- 1, 8—L 阀；2—下料直管；
- 3—原料缓冲罐；4—旋风分离器；5—炭受槽；
- 6—循环管；7—气化炉；P—测压点；
- T—测温点

## 第五节 固化、炭化技术

固化、炭化技术是将松散的植物纤维性废弃物原料压制成棒

(块)状,放入炭化设备中炭化后制成生物质炭的过程。由于用于固化和炭化的植物纤维性废弃物多为植物秸秆,因此本节主要以秸秆为例介绍固化、炭化技术。

### 一、固化技术

秸秆质地疏松,能量密度小,给贮存、运输和使用都带来许多不便。固化技术就是将秸秆粉碎,用机械的方法在一定的压力下挤压成型。这种技术能提高能源密度,改善燃烧特性,实现优质能源转化。现在一般为棒状压块成型,密度  $1200\text{kg}/\text{m}^3$ ,热值  $14\sim 20\text{MJ}/\text{kg}$ ,接近于中质煤。秸秆的固化技术对提高秸秆的综合利用有重要的意义。

秸秆以碳水化合物为主要成分,其中主要是纤维素、半纤维素和木质素。由于木质素属非晶体,没有熔点只有软化点,对秸秆进行加热时,当温度达到  $70\sim 110^\circ\text{C}$  时,木质素就塑化具有黏性,在  $140\sim 270^\circ\text{C}$  时则液化成胶黏剂。此时,加以一定压力使其与纤维素紧密粘接,并与相邻秸秆颗粒互相胶接,待冷却后即可固化成型。因此,秸秆的加压成型就是对秸秆加热,以木质素为胶黏剂,以纤维素、半纤维素为骨架,在一定的温度和压力下把碎散的秸秆制成所需规格型体的过程。

压缩燃料成型机的工作关键参数是温度和压力。

#### (1) 温度

成型所需的温度应能使秸秆中的木质素塑化成胶黏剂,促使秸秆分子结构发生变化,并使秸秆被压成型,外表面炭化,通过模具时能滑动而不会粘连。温度选择过低,成型物中的木质素未能塑化变黏,物料不能粘接成型;温度过高,则会使成型物体表面出现裂纹,严重时会出现成型物出模具后就开散,造成成型失败。

#### (2) 压力

成型所需的压力是使秸秆的物相结构发生改变,加固分子之间的凝聚力,提高成型体的强度和刚度,并使秸秆获得通过模具的动力。成型时施加的压力选用过小,则成型物不能粘接,还会不足以克服摩擦阻力,无法成型;施加压力过高,则会使成型物在模具内

滞回时间减少，物料升温不足，仍然不能成型。

因此，温度和压力参数值选的过高过低都会导致成型失败。成型时所需要的温度和压力参数，要根据实际情况通过试验优化确定。试验表明，加热温度在靠模具边界处为  $230\sim 470^{\circ}\text{C}$ ，成型物内部温度为  $140\sim 270^{\circ}\text{C}$ 。成型物体所承受的压力是由低到高增长，一般压力由  $0.5\text{tf}/\text{cm}^2$  增至  $4\text{tf}/\text{cm}^2$ 、生产率为  $120\sim 140\text{kg}/\text{h}$  的成型机，其成型所需功率为  $4\sim 6\text{kW}$ 。

秸秆成型前原料需粉碎（半径小于  $4\text{mm}$ ）、原料的含水量以  $6\%\sim 12\%$  为宜。成型产物多为棒状，长度可按需要调节。

## 二、炭化技术

炭化技术就是利用炭化炉将生物质压块进一步加工处理，生产出可供烧烤等使用的木炭。固体成型燃料具有易着火、使用方便、燃烧效率高等特点，而且造成的环境污染相对较小，因此被称为“生物煤”。由于生态环境保护的要求，制取木炭不能再依靠大量砍伐木材，因此，用各种生物质废弃物制取压块炭化燃料已成为发展趋势。目前，欧美、日韩等国都希望在我国寻求合作伙伴，发展炭化成型燃料的生产。国内对生物质压块成型燃料的需求也有较大的潜在市场。近年来经过我国科研单位和生产厂家的不断努力，已开发出配套的秸秆固化、炭化、木焦油提取等设备。用秸秆制成的炭含碳量为  $50\%\sim 85\%$ ，发热量可达  $20940\sim 32600\text{kJ}/\text{kg}$ ，其密度和硬度优于普通木炭，单位发热量优于煤，可广泛用于有色金属、合金冶炼及日常生活、食品加工等方面。秸秆炭燃烧无烟、无味、无毒，每生产  $1\text{t}$  秸秆炭可收集木焦油  $0.05\text{t}$ ，木焦油可以作为工业原料使用。

## 第六节 制备生产原料技术

植物纤维是地球上巨大的再生性生物高分子资源。从资源的可持续利用、保护环境和生物体亲和性及生物分解性等特点出发，人们对于能再生的植物纤维的利用寄托了很大的期望。大力研究和开发植物纤维性废弃物制备生产原料是当前环境绿色高技术的重要内

容，是保护环境和开发环境友好的绿色产品的一个长远发展方向，具有现实与深远的重要意义。下面介绍利用植物纤维性废弃物制备生产原料的几种技术方法。

### 一、膨化改性植物纤维技术

目前在植物纤维改性深度加工方面，主要采用水解、酶解、软化、菌解、膨化等五种技术方法。水解、酶解、软化、菌解等法的共同特点是投资大、工艺复杂、成本高，在生产过程中还会排出酸、碱、有机废水等，并且植物纤维分解利用的程度低。而利用膨化改性技术生产的改性植物纤维，具有组织结构疏松，分子量小，可塑性好，热成型产品强度高，产品表面光滑，有害成分少等优点。同时具有加工成本低，加工机械化程度高，劳动强度小，无“三废”污染，经济效益高等特点，可促进相关产业的迅速发展。作为生产原料，可以广泛地用于石油钻探（钻井液用植物改性纤维油气层保护暂堵剂）、化工（改性纤维吸附剂）、材料（一次性餐具材料、家具材料）、造纸（原料膨化处理）、园艺绿化材料等生产加工领域。既可充分利用农业废弃物资源，又可以培养和发展新的经济增长点，为农作物秸秆的综合利用和拓展工业化产品领域开辟了新路。

#### （一）植物纤维高效膨化机的研究

目前在植物纤维膨化的过程中，由于技术等不够成熟，所以容易产生如下一些问题。

① 植物纤维组织强度高，容易堵塞膨化机械，膨化量小，这就使得生产效率极低，不能进行连续工业化生产。

② 设备的消耗性附件寿命短，如由于螺杆和螺套的所选材料不当，尺寸设计不合理等，造成整个设备成本增高，从而使产品的单位生产成本提高，不能形成产业化规模。

③ 膨化指数低、膨化处理后粗纤维含量高，使膨化后的植物纤维有用成分少，使用价值降低。

④ 温度和压强控制不当，一般膨化机膨化腔内产生的温度为150℃以下，压强为2~3MPa，膨化改性效果较差，达不到工业生

产规定的技术指标。

针对目前国内外膨化机存在的问题，西南科技大学罗学刚等通过对普通膨化机的性能和结构进行改进，研制出了高性能电磁感应加热改性植物纤维膨化机（见图 3-12），有效地提高了膨化机的各项性能指标，使结构更加趋于合理，可满足工业化连续生产的要求。

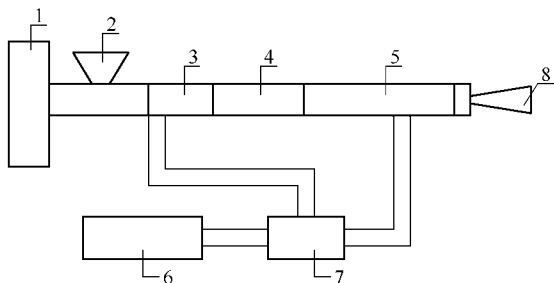


图 3-12 膨化机设备结构示意图

- 1—动力；2—进料口；3—一级电磁感应加热（80~110℃）；4—膨化腔；  
5—二级电磁感应加热（250~300℃）；6—高频转换器（≥2kHz）；  
7—自动控制器；8—出料口

（二）膨化原理

采用高性能电磁感应加热改性植物纤维膨化机，加入 3%~5%碳酸盐类助膨化剂，在进料温度控制在 80~110℃、出料温度为 250~300℃的条件下，调整植物纤维原料含水率为 25%，pH 值为 7~8，并配套相应的预处理（如粉碎等）和后处理（如分级过筛等），实现了植物纤维的规模化、工业化膨化改性生产。主要工艺流程如图 3-13 所示。

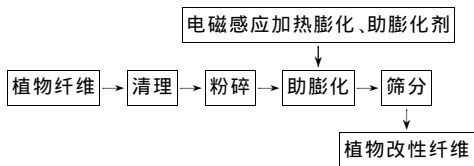


图 3-13 植物纤维高效膨化工艺流程

由于碳酸盐具有热分解特性（每克碳酸盐产生气体量 200～600cm<sup>3</sup>），在密闭的膨化腔中可分解为二氧化碳和水，增强了膨化机内的压力（6～7MPa），使植物纤维中的水分达到过热状态但不汽化。当植物纤维从膨化腔中被突然挤出时，由于内外巨大的压强差，纤维中的过热水分急剧汽化喷射出来，体积急剧膨胀，使结构坚硬的植物纤维得以疏松和裂解，从而改变了植物纤维的整体结构和分子化学结构，为规模化工业生产改性植物纤维奠定了良好的基础。

(三) 技术应用

1. 利用改性植物纤维研发钻井液用油气层保护暂堵剂

利用助膨化加工得到的不规则形状和长短级配的多种裂解改性植物纤维初级产品，再配合以刚性粒子、变形粒子等，制成钻井液用油气层保护暂堵剂。这种改性植物纤维快速封堵剂已在我国新疆、中原、江汉、大港、西南等油气田钻采、勘探保护中得到很好的应用。由于裂解的植物纤维不溶于水，有利于在封堵中形成纤维网，架桥的刚性粒子具有不同粒径的骨架支撑；变形粒子能进行有效填充，当封堵剂和泥浆中的胶体颗粒进入地层时，在井壁周围迅速形成薄且致密的屏蔽环，保护油气层，在测试或开采时，降低井筒内液柱压力，形成负压差，可自动解堵。同时，改性植物纤维快速封堵剂随钻加入泥浆，不会被振动筛筛出，对下部地层有防漏作用，而且具有对环境无残留危害的绿色环保特性。生产钻井液用油气层保护暂堵剂工艺流程如图 3-14 所示。

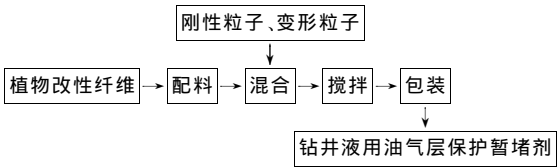


图 3-14 生产钻井液用油气层保护暂堵剂工艺流程

2. 利用改性植物纤维开发吸附剂

助膨化加工得到的植物改性纤维，具有纤维含量高，表面呈微

孔状，半纤维素、木素等填充在微孔网络中， $\text{SiO}_2$  等网络点暴露等特点，是一种理想的吸附剂制备原料。将助膨化改性后的植物纤维经活化处理，制成改性纤维系列吸附剂，这种吸附剂具有较高吸附率和较强吸附能力。改性植物纤维吸附剂的开发既进一步扩大了秸秆改性纤维资源化利用的范围，又是开发了一条新型吸附剂研发应用的有效技术途径。生产改性植物纤维吸附剂工艺流程如图 3-15 所示。

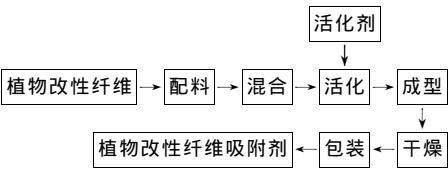


图 3-15 生产改性植物纤维吸附剂工艺流程

3. 改性植物纤维、木素的高效分离与应用

将助膨化改性后的植物纤维原料与专用有机溶剂、催化剂等经机械密闭混合后，密闭回流浸渍，使有机溶剂渗透进植物纤维原料细胞间隙和细胞内，分离、水解或溶解木素，混合浆料经压（过）滤，分离出高纯纤维，滤液经密闭浓缩分离出高纯木素，有机溶剂回收再利用，真正从源头防止木素、纤维分离对环境的污染，该方法是实现无污染或低污染“绿色环保”木素、植物纤维分离的有效技术途径。为环境友好、低成本、完全降解，同时为具有缓释、包囊和载体功能的改性木素控释材料（如木素基长效缓释肥，放射性、重金属、有机废水吸附分离材料等）的开发和大量应用奠定了基础。改性植物纤维、木素分离的工艺流程如图 3-16 所示。

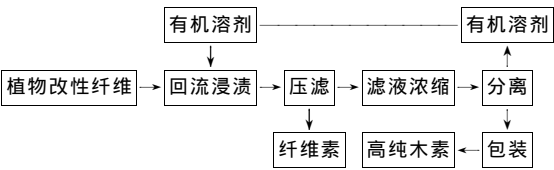


图 3-16 改性植物纤维、木素分离的工艺流程

## 二、制备阳离子交换树脂吸附重金属离子技术

工业废水中的重金属毒物主要指铬、铅、镉、锌、钴、铜等重金属离子。这些重金属离子排入江河湖海，将会使水体受到污染，严重危害人体健康及渔业和农业的生产，所以转化、回收废水中的重金属离子十分重要。多年以来，人们不断开发改进了化学沉淀、氧化、还原、离子交换和浮选法等多种用于处理工业废水中重金属离子的方法和技术。其中离子交换树脂由于处理量大，出水水质好，被广泛用于废水处理中。但是生产成本较高，同时树脂的秽臭与平衡也存在难以解决的问题。因此，需要开发成本低廉、吸附能力强的生物吸附剂。

近年来，为了环境保护和节约成本的需要，对利用植物纤维性废弃物制备阳离子交换树脂吸附重金属离子技术的研究越来越多。这种新型原料——植物纤维性废弃物具有下列性质。

- ① 成本低，不需要再生，采用氧化的方法可回收重金属和热能。
- ② 细胞的毛细管结构使其具有高的表面积（多孔性）。
- ③ 有较高化学活性，易产生高浓度的吸附金属离子的活性基团，更容易化学改性。
- ④ 比纤维材料更加容易交联，不易溶于水。
- ⑤ 对于重金属离子含量低的废水（如  $0\sim 100\text{ppm}^{\text{①}}$ ）更加有效。

目前研究使用的植物纤维性废弃物包括制糖甜菜废丝、甘蔗渣、稻草、大豆壳、花生皮、玉米芯等。这些原料的天然交换能力和吸收特性来自于组成它们的聚合物：纤维素、半纤维素、果胶、木素和蛋白质。这些聚合物的巯基、氨基、邻醌和邻酚羟基是结合重金属离子活性部位，通过共聚和交联作用等化学改性方法，可以提高其对重金属的结合能力。

## 三、制备食用菌培养基技术

利用植物纤维性废弃物如农作物秸秆、棉籽皮、树枝叶等，按一定比例粉碎混合，可用来栽培食用菌，栽培效果好，营养价值高。

---

①  $1\text{ppm}=1\mu\text{g/g}$ 。

食用菌一般是真菌中能形成大型子实体或菌核类组织并能提供食用的种类，绝大部分属于担子菌，极小部分属于囊菌，其中较大面积栽培的有 20 多种。我国栽培的主要有各种平菇、香菇、金针菇、白蘑菇、草菇、白木耳、黑木耳，以及兼有医用价值的猴头、灵芝等。食用菌是腐生型真菌，有的为兼性寄生，可在纤维素材料上生长发育。菌丝体分泌各种分解纤维物质的酶，能将复杂的纤维素（包括木质素和半纤维素）大分子分解成结构较简单的小分子化合物，供菌丝细胞吸收。这些纤维素物质多为农林业的废弃物，因此，栽培食用菌是利用植物纤维性废弃物的途径之一。

食用菌的种类不同，栽培方法也不同。现以双孢蘑菇为例，简要说明栽培双孢蘑菇利用粪肥和秸秆堆制发酵粪草培养基的方法。将马粪、牛粪、猪粪、鸡粪等收集后晒干、粉碎，选择未发霉的干沼气渣、稻草、麦秆、玉米芯、玉米秆等植物纤维性废弃物，按粪草 6 : 4 配料、堆制。堆制时先在地面上铺一层宽 165cm、厚 16cm 左右的草料，再铺 6.5cm 左右的粪肥，洒水使其湿润。按此法层层加高至 1.65~1.74m。一般经 3~4d，料温可达 70℃ 左右。当堆温上升到最高点并开始下降时，进行第一次翻堆，加入 0.1%~0.5% 的过磷酸钙。此后每隔 6d、5d、4d 各翻堆一次。待堆料呈褐色、无粪臭、草茎柔软而富有弹性时，即形成腐熟的粪草培养料。在此基础上再进行双孢蘑菇的接种、覆土及生长期管理等工作。

此外，采用木质素、纤维素作为原料时亦可用生料进行栽培。每个家庭和专业户都可培养蘑菇，其栽培配方为：棉籽壳、玉米芯、玉米秆、木屑或稻草 98%，过磷酸钙和石膏各 1%，含水量 70% 左右。可床栽也可畦栽。先铺上 12~15cm 厚的生料，然后穴插接种菌块（枣核大小），穴距 7~13cm，深 3~7cm。接种后稍压平，然后盖上塑料地膜。在 26℃ 左右条件下培养 20~25d 后菌丝即长满培养料；30~40d 后料面就出现菇蕾。这时可揭开地膜，适当喷水 1~2 次，使相对湿度达 80% 以上。料面要保持潮湿，每天通风一次，并使室温降至 12~18℃。经 10 余天就可开始采菇，一

般可采收 3~4 批。采完后，在穴中补入土粒，使菌床保持平整。生长后期，可向床面喷洒培养料浸出液、禽粪液或 0.5% 浓度尿素液，进行适当追肥。

除双孢蘑菇外，目前我国大量栽培的还有平菇和香菇等。平菇生命力强，能很好地利用含木质素、纤维素原料，同样可生料栽培。

## 第七节 制备复合材料技术

利用植物纤维性废弃物可生产纸板、人造纤维板、轻质建材板等包装和建筑装饰复合材料。如以硅酸盐水泥为基体材料，玉米秆、麦秆等农业废弃物（经表面处理剂处理后）作为增强材料，再加入粉煤灰等填充料后可制成植物纤维水泥复合板，产品成本低，保温、隔音性能好；以石膏为基体材料，植物纤维性废弃物为增强材料，可生产出植物纤维增强石膏板，产品具有吸音、隔热、透气等特性，是一种较好的装饰材料；另外，以秸秆、稻壳、甘蔗渣等植物纤维性废弃物为原料，通过粉碎，加入适量无毒成型剂、黏合剂、耐水剂和填充料等助剂，经搅拌捏合后成型制成可降解快餐具，以替代一次性泡沫塑料餐具。利用植物纤维性废弃物生产复合材料，具有良好的应用前景。

### 一、制备人造板技术

目前，在木材工业领域中，人造板的研究正由传统的生产工艺向注重多种复合材料制板工艺的方向发展。近年来，出现了大量有机或无机材料基质与植物纤维性废弃物复合制造人造板材的情况，多元材料的复合可以起到优势互补、降低成本、提高使用性能、扩大应用范围等作用。同时，使用植物纤维性废弃物既代木又节木，又利于环境保护，农民还可增加收入。

#### （一）利用植物纤维性废弃物技术的可行性

##### 1. 原料

在开发生产复合板方面，与木材相比具有一些缺点。

（1）植物纤维性废弃物的木素和纤维素含量低，因而自身强度

都比较低。

(2) 植物纤维性废弃物中还有糖分、蜡质、 $\text{SiO}_2$  等成分, 蜡质、硅化合物会使纤维表面形成弱界面层, 阻碍纤维与胶黏剂的有效胶接, 从而降低成品板材的力学性能。

(3) 植物纤维性废弃物原料中的糖类物质存在, 会使板材在阴潮环境中易受霉菌侵蚀, 降低板材使用寿命。

但研究结果表明, 利用植物纤维性废弃物原料生产人造板, 通过对原料的有效工艺处理和适宜的胶种选择, 生产的人造板能够达到国家相应人造板标准。

## 2. 工艺技术与设备

植物纤维性废弃物人造板的工艺技术与设备基本上与木质人造板相同, 但也存在一些差异。

(1) 在原料制备工段, 特别是设备的选配, 由于农作物秸秆、果壳夹杂有泥土、砂块、叶片等物, 工艺上必须进行先期处理。此外, 其原料容重低、自身强度差, 因此制备的纤维尺寸系数与木质不同, 要达到经济施胶量和较好的板材质量, 应有较好的纤维形态。如生产碎料板, 应根据不同植物纤维性废弃物原料, 选择铡切机、打磨机、环式刨片机等设备。

(2) 由于原料自身强度低, 要达到木质人造板相同质量等级, 板的密度则要提高, 因此在成型、压制工艺上的参数需要调整。

(3) 防霉、防虫处理及胶种的选择, 会涉及到成本问题, 但在技术上是可行的, 如对有蜡质、硅化合物的原料, 可以选用异氰酸酯胶黏剂, 但成本要增加。

综上所述, 生产设备基本上可用木质人造板设备, 工艺技术是可行的。目前最新的实施项目有上海人造板机器厂在上海青浦提供的稻草板生产线和哈尔滨东大公司在山东汶上县提供的 30 万  $\text{m}^3$ /年麦秸板生产线。

## (二) 生产植物纤维复合板的几种方法

### 1. 沥青基植物纤维复合板

#### (1) 基质及增强材料的基本性能

石油沥青是防水复合材料的主要基料。由于这种材料具有优良的粘接性、不透水性、不吸水性、塑性、大气稳定性，而且资源丰富、价格便宜，因而获得广泛应用。但它是一种典型的具有流变性的物质，经常受温度、时间、应力等因素的影响而发生变化，其中温度的影响最大。沥青基 1 年生植物纤维复合板常用的石油沥青胶黏剂可分为：热熔型、溶剂型、乳化型。下面主要介绍的是热熔型，它是将石油沥青在高温下加热、熔融，然后与增强材料（如植物纤维）混合，经加热、加压成型，冷却后而凝固成固定形状。

一般用来制造人造板的植物纤维，主要化学成分为纤维素、木素和半纤维素，以及少量单宁、树脂、葡萄糖等。王戈等以麻、棉植物纤维为原料对热熔型沥青基植物纤维复合板进行了研究。

## (2) 热熔型沥青基植物纤维复合板的生产工艺流程

热熔型沥青基植物纤维复合板的工艺原理，是将复合板所用的原材料置于搅拌机中高速搅拌，使沥青分子能均匀地与植物纤维混合，然后经预压、热压、冷却、卸板、裁边而成，其工艺流程如图 3-17 所示。

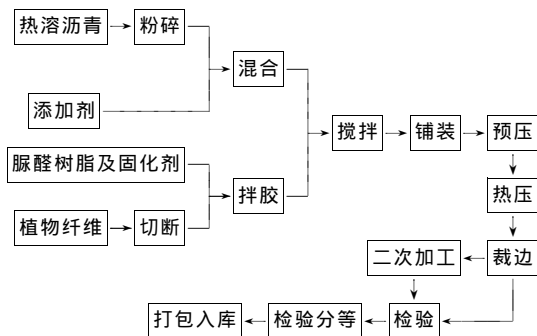


图 3-17 热熔型沥青基植物纤维复合板的生产工艺流程

## (3) 沥青基植物纤维复合板的特点及用途

① 此种复合板防水性能和防渗漏性能优异，特别适用于建筑的外墙以及潮湿的环境中。由于沥青和植物纤维原料来源广泛，价格便宜，因此生产成本较其他方法生产的、具有同等防水性能的人

造板相比要低。

② 由于沥青的存在，该板具有良好的耐酸、耐碱、防虫、防白蚁和抗菌性能，因此可广泛应用于包装箱、地下储藏室和野外活动板式房屋的制造。

③ 板材的机械加工性能好，能钉、能锯，连接简单。

④ 由于表面颜色差（黑色或褐色），在一些场合使用该板材，需要进行表面装饰。

⑤ 特别需要注意的是，该复合板不耐高温，使用场合最高温度不应超过 90℃。

2. 水泥基植物纤维复合板

进入 20 世纪 90 年代以来，在对居住环境的选择上，人们已不满足于一般的生活条件，而是在追求具有天然特性的建筑材料，即环境协调型建材必须满足保温节能、吸声隔音、耐水防火、无毒无味、轻质、高强安全等特性。水泥基植物纤维复合板（Plant Reinforce Cement，简称 PRC）就是其中之一，它是在水泥木屑板的基础上，将多年生的木材换成一年生植物纤维与水泥复合而成的新型建筑材料。

(1) PRC 板的原料

① 植物纤维。PRC 板中选用的植物纤维是指一年生植物纤维，农作物秸秆（如玉米秆、麦秆、棉花秆、麻秆等）多属此类。它们的生命期一般较短，枯死后没有太大用途。这些农作物秸秆经切断锤碎后形成窄而薄的纤维碎料状态，其宽度在 1~2mm、长度在 1~15mm 碎料状态的植物纤维，在与水泥添加剂充分拌和后，经气流铺装形成界面不明显的三层结构，其纤维分布状态如图 3-18

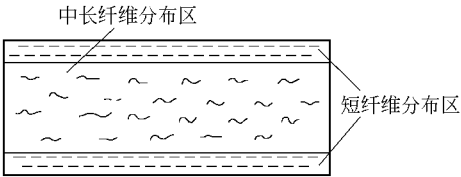


图 3-18 PRC 板纤维分布状态

所示。

通常情况下，各种尺寸纤维碎料在 PRC 板纤维总量中所占比例分别为：短纤维（1~5mm）占 20% 左右，中纤维（5~10mm）占 60% 左右，长纤维（10~15mm）占 20% 左右。值得强调的是以秸秆为主的植物纤维性废弃物代替木材作 PRC 板增强材料，在使用过程中无有害物质和有害气体生成。

② 胶接料。选用硅酸盐水泥为胶接料，在 PRC 板中是基体材料。

③ 添加剂。在我国一年生植物产量丰富，每年多达 4 亿吨以上，是取之不尽用之不竭的原料。但植物纤维萃取物对水泥具有阻凝作用，这又限制了它的应用。抑制指数较高或很高的植物纤维，在冷、热水和碱性溶液中浸泡将有许多萃取物（如冷水抽出物、热水抽出物、1% NaOH 抽出物等）渗出，残留在细胞腔和微毛细孔中的萃取物部分阻止水泥凝固，造成植物纤维（碎料）和水泥界面结合不牢固。因此，在植物纤维（碎料）中需要加入适当的复合添加剂，其主要作用如下。

- a. 可有效地中和某些萃取物。
- b. 使萃取物反应不灵敏。
- c. 添加剂自身生成的黏稠状物质“堵塞”了植物细胞腔或微毛细孔，阻止了萃取物渗出，降低了抑制指数，防止了萃取物对弯曲强度的不良影响。

(2) PRC 板的生产工艺流程

目前，生产 PRC 板的工艺主要有干法和湿法，为了减少水污染节省能源，通常采用干法冷压，其工艺流程如图 3-19 所示。

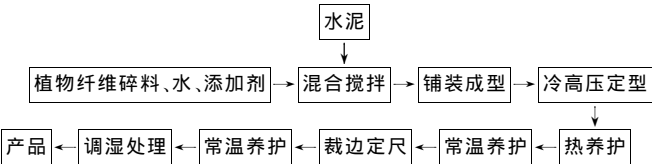


图 3-19 PRC 板干法冷压工艺流程

### (3) PRC 板的性能特点

PRC 板已成功地应用于多例建筑物,其制品反映出的特点兼具有混凝土和木材二者的特性。

① 物理力学性能 PRC 板的主要物理力学性能好,可锯、可刨、可拧木螺钉。

② 保温节能性 经试验测算,使用 PRC 板作为建筑的墙体,能有效减小墙体的传热系数,具有良好的保温隔热效果。

③ 吸声隔音性 经中国建筑科学研究院物理研究所测试,PRC 板制作的试验楼外墙  $R_w=41\text{dB}$ ,完全达到三级分户隔声量  $R_w=40\text{dB}$  的要求。因此,PRC 板是一种优良的环境声学材料。

④ 安全防火性 防火性能是衡量建材产品性能的重要指标,PRC 板的防火阻燃性能已经达到国家规定的难燃 A 级防火标准,其耐火极限可达  $1.5\sim 2.0\text{h}$ ,被明火烧灼时无有害气体生成。

此外,PRC 板还具有防水、防虫蚁,化学稳定性好等特点。

### (4) PRC 板的建筑工艺特点

PRC 板机械加工性能好,装配方便,适合于各种装饰,而且抗震性能优良。但也有一些缺点,如耐紫外线性能较差,吸潮膨胀、干燥收缩性较大等。

## 3. 石膏基植物纤维复合板

石膏基植物纤维复合板是以半水石膏、农作物纤维秸秆、工业废渣为原料,经半干法压制成型新型墙体板材。我国石膏资源丰富,仅探明的储量就有 300 多亿吨,所以发展石膏制品是我国建材行业的主要发展方向之一。

石膏基植物纤维复合板采用的原材料主要有玉米秸,需粉碎至  $5\sim 15\text{mm}$ ,半水石膏粉细度要求 120 目,矿渣粉磨至 170 目。另需石膏缓凝剂、抗水剂等。其加工工艺过程采用压力成型法,其工艺流程如图 3-20 所示。

## 4. 氯氧镁基空心板类

四川成都星河模具厂生产的氯氧镁基空心板类轻型墙体隔板,这种产品的主要原料为麦秸、稻草、玉米秸等农作物秸秆或木屑,

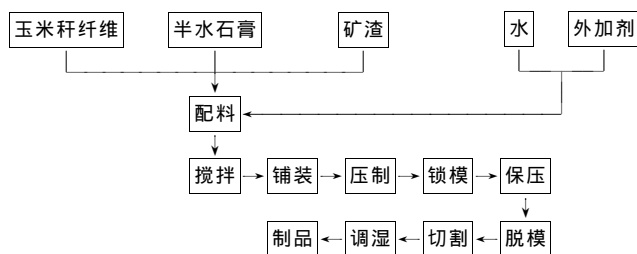


图 3-20 石膏基植物纤维复合板生产工艺流程

此外辅助以玻璃纤维、黏土、黏合剂、阻燃剂等，经混合搅拌，注模黏合而成，其消化秸秆量约占产品总量的 50%。该产品中空形结构，安装施工方便，防火防裂纹，耐酸碱，价格与成本较低，易于推广。

## 5. 其他植物纤维复合板

### (1) 阻燃纤维板

这种产品是以植物秸秆为主要原料，将秸秆粉碎后经与无机固化材料科学配制，在常温下生产的不燃木纤维板，最大特点是阻燃性能好，符合 A 级防火标准。该产品已由青岛海洋大学等单位联合开发成功，具有以下特点。

① 坚韧耐用：可锯、钉、刨，8mm 厚时其静曲强度相当于一级标准的硬质纤维板。

② 保温隔热阻燃性能好：800℃ 烧 1min，产品无变化，1200℃ 燃烧无火苗，余燃、余焰时间均为 0s。

③ 防水性能好：防腐防渗，无毒，无有害物释放，安全、卫生。

④ 产品价廉：生产操作简单易行，生产中没有“三废”产生。

### (2) 麦秸人造板

麦秸人造板以麦秸为主要原料，通过将麦秸切碎干燥后拌胶，铺装，经热压直至砂光而成。其工艺流程是：将麦秸加工成长度为 5~15mm 的碎料及部分细料，用干燥机将含水率降至 5% 以下，经环式拌胶机施用 MDL 胶黏剂搅拌，用气流铺装机铺装

出板坯，然后再通过热压、冷却、砂光得到最终产品。麦秸人造板的主要特点是密度小，强度高，耐水性好，游离甲醛含量低，可替代中密度纤维板和刨花板。在建筑、室内装修、家具制造和包装行业中应用，其价格比木质刨花板明显降低。江苏盐城市建湖县通用机械厂与南京林业大学联合研制开发的麦秸人造板，已成功投产。

## 二、制备植物纤维发泡制品技术

植物纤维发泡制品，是将农作物的秸秆、稻草、稻麦壳、芦苇或甘蔗渣、木屑等植物纤维性废弃物经粉碎成粉末后，与适宜的黏合剂、耐水剂、填充料等助剂在一定的工艺下压制而成的，用于制造餐具、托盘、包装内衬及多种包装容器的包装产品。该类产品虽起步较晚，但因其不消耗木材，同时原料来源很广泛且为再生资源，形成过程和废弃后，不会对环境造成污染，因此具有明显的环保优势和资源优势。同时，该产品入土可为肥，在一定的原料组分下，还可作为饲料。因此，对这类产品的研制与开发日益受到重视。

### （一）植物纤维发泡制品的特点

① 植物纤维发泡包装制品以废纸、蔗渣、麦秸、稻草等纤维材料以及工业淀粉为主要原料，因此不会对环境 and 回收造成障碍，有利于生产商的产品出口。

② 植物纤维发泡包装制品适用范围广泛。随着植物纤维发泡技术的进步，该制品可用以替代现在使用的 EPS 泡沫内衬及填充包装。

③ 综合成本低。植物纤维发泡产品与纸浆模塑产品相比，工艺简单，不需要形状复杂的成型模及热压模，生产时间及周期短，能耗和原料成本低。

④ 防静电、防腐蚀性能优于 EPS 发泡材料。与发泡塑料制品的缓冲性能基本相当，而不需要像纸模制品那样通过其复杂的几何形状构成力学结构来增大缓冲性能，降低了制品的制作难度。

⑤ 在力值检测中吸振和抗振均优于纸浆模塑产品。并可按被

包装产品的不同要求加入增强剂、柔软剂、防水剂、防油剂、阻燃剂等多种辅助添加剂，实现多种功能。

⑥ 可制作大型家电产品及电子产品的包装衬垫及填充料。

(二) 植物纤维发泡制品的生产工艺

植物纤维发泡材料与发泡塑料相比，具有生产工艺简单，不需要多次发泡和冷却的特点。植物纤维发泡制品的发泡工艺主要有使用化学发泡剂和不用化学发泡剂两种，这两种发泡工艺基本相同。

不用化学发泡剂的植物纤维发泡制品，是采用旧书、废报纸或其他纤维和淀粉作原料，通过水蒸气的作用发泡，其制品在生产和使用过程中都不会损害环境，用过的制品可以和普通垃圾一样处理，也可以回收，重新加工。

使用化学发泡剂的发泡工艺，对于发泡的控制比较容易。目前的发泡剂主要有：碳酸氢钠、尿素、4,4-氧代双苯磺酰肼、偶氮二甲酰胺、甲苯磺酰肼等。其中有些发泡剂对环境有不利的影响，因而如果选用不当，在生产过程中以及在使用和回收处理过程中，会对环境造成一定的影响。

植物纤维发泡制品的制作方法主要有两种：一步法成型和两步法成型。一步法成型工艺采用的是整体浇注发泡成型，其工艺流程如图 3-21 所示。



图 3-21 整体浇注发泡成型工艺流程

两步法成型的工艺特点是：将回收的旧书报纸或其他植物经粉碎碾成纤维状，然后再与淀粉按一定的比例相混合，在挤压机中制成直径 1~3mm 的圆柱颗粒。在挤压过程中，原料受水蒸气作用发泡，形成颗粒型发泡纸浆。然后将发泡纸浆颗粒送入专用的金属模具中进行加压加热，制作成相应形状 of 包装制品。植物纤维发泡制品的生产线主要由下列设备组成：粉碎机、混炼机、反应釜、颗粒膨化机、气力输送机、制品成型机以及控制系统、液压系统、空气系统、动力系统、加热系统及其他辅助设备。

### (三) 研究趋势

#### 1. 开发对环境无影响的植物纤维发泡技术

目前,我国研究开发的植物纤维发泡包装制品的发泡方法,主要是采用添加化学发泡剂来进行的。由于化学发泡剂对环境会造成不利的影响,因而应像发达国家那样,大力开发研究利用水蒸气实现植物纤维的发泡,以彻底避免发泡过程中对环境的不利影响。

#### 2. 加强工业生产技术及设备的研制

为达到工业化大规模连续生产的要求,应在产品的配方、工艺参数的选择、专用设备的研制、专用模具的设计等方面加大研究的力度,特别是在实现满足连续化、自动化生产的要求方面要有新的突破。对植物纤维发泡包装制品性能特点的研究,在实际应用的性能参数方面还未获得验证,因而应加大研究的力度,获得植物纤维发泡包装制品在各种实际使用状态下的性能参数,以便进行有针对性的改进,提高植物纤维发泡包装制品的综合使用性能。

### 三、制备植物纤维餐具的技术

美国伊利诺斯州诺伊大学的学者研究发现,玉米芯中含有一种蛋白胶质,经提炼后制成薄片,再在其表面涂上一层脂肪酸,就可压制成食品盒或包装袋等可降解的绿色包装材料。这种包装材料在土壤中大约 14 天左右就能分解腐烂,在水中 7 天左右就可溶解。无论在土壤中还是在水中,都是优质的肥料。

福建福州兴创轻工机械技术开发有限公司和中国轻工投资公司合作,已研制出新型纯天然快餐具系列产品。该产品可用 108 种天然原料生产,如:农作物秸秆和叶、树木枝条、草秆及农作物加工后的废弃物等。该产品既可一次性使用,也可重复使用。用后可作肥料或饲料,还可重作餐具原料。

西北农林科技大学机电学院自 1991 年以来致力于农作物秸秆方面的开发研究工作。目前,利用玉米秸秆、小麦秸秆等开发出了一次性植物秸秆餐具,并已取得国家发明专利。

哈尔滨经宇公司利用玉米秸、麦秸、高粱秸、棉花秆、稻草、

稻壳、树叶等植物秸秆为主要原料，用新型的无毒无味胶黏剂，生产出全降解植物纤维餐具，使用后埋入土地，在自然界中 48 天内可完全降解。目前，植物纤维餐具已经上市。

#### 四、利用植物纤维性废弃物造纸的技术

随着木材资源问题给造纸行业造成的压力加大，人们越来越重视非木材原料特别是植物纤维性废弃物的开发利用。与木材相比，非木材植物纤维的特点是组织疏松、吸液量大、木素含量低、灰分含量高，这就导致非木材纤维浆成纸强度差、不透明度低、浆料得率低、滤水性差、有黏着性、颜色深，不利于碱回收。但非木材纤维原料浆成纸匀度好、平滑度好、吸墨性好、易蒸煮、易施胶，来源丰富，有着广阔的应用前景。

针对非木材纤维原料的特点，蒸煮前应对其进行预浸渍。国内外非木材纤维原料的生产，仍以碱法为主。下面简单介绍一种传统碱法的改进方法——氨法。

传统的碱法蒸煮非木材纤维的最大不足是黑液黏度高、硅含量大，因此给碱回收带来困难。采用氨法制浆，由于蒸煮废液中含有农作物生长所必需的 N、P、K 等营养元素，不必进行碱回收，可直接用于农田灌溉，为农作物提供水肥资源，也是解决小型纸浆厂的环境污染的好方法。东京大学饭山贤治的研究结果表明，使用稻草为造纸原料时，因稻草是一年生植物，不必使用氢氧化钠，可以用 0.25mol/L 的苛性钾和 2mol/L 的氨混合液代替 1mol/L 浓度的氢氧化钠。使用这种方法，木质素的脱除率达到 85%，造纸成品率达 58%，比使用氢氧化钠高 15%。稻草黑液因含有 N、K 和木质素等成分，有益于植物的生长，可用作农田肥料。栽培试验表明，以这种废液为肥料的农作物长得健壮、迅速。

### 第八节 制取化学品技术

以植物纤维性废弃物为原料制取化学制品，也是综合利用农业废弃物、提高其附加值的有效方法。如甘蔗渣、玉米芯、稻壳等含有 1/4~1/3 的多缩戊糖，经水解可制得木糖；稻壳、麦秸、高粱

秆、玉米皮和豆荚可制得淀粉；稻壳可作为生产白炭黑、活性炭的原料；用甘蔗渣、玉米渣皮等可以制取膳食纤维。另外，以植物纤维性废弃物为原料还可制取草酸、酒精等。

### 一、低聚木糖

低聚木糖也称木寡糖，由 2~7 个木糖聚合而成，主要有效成分为木二糖和木三糖，是一种由半纤维素降解而得的低度聚合物。由于人体胃肠道内没有水解低聚木糖的酶系统，因此它不被消化吸收而直接进入大肠，优先为双歧杆菌所利用，是双歧杆菌的增殖因子。另外，低聚木糖在酸性条件（ $\text{pH}=2.5$ ）下加热，也基本不分解，具有耐酸、耐热、不易分解等特点，较适合用在酸奶、乳酸菌和碳酸饮料等酸性饮料当中。低聚木糖主要以富含半纤维素的玉米芯、稻壳、棉籽壳、秸秆和稻草等为原料，经过一定的处理制得。

低聚木糖的生产过程包括木聚糖的提取和精制、水解和纯化几个步骤。要获得质量分数高的低聚木糖产品，木聚糖的提取和水解是关键步骤。

#### （一）木聚糖的提取

木聚糖的提取过程中不仅要充分提取木聚糖，同时还要保证其降解生成的木糖量较少。一般木聚糖的提取方法有直接高温蒸煮、酸预处理后湿法蒸煮提取、酸预处理后干法蒸煮提取等。试验结果显示，在直接高温蒸煮、酸预处理后湿法蒸煮提取、酸预处理后干法蒸煮提取三种方法中，最后一种提取方法效果最好。其提取过程如下：将玉米芯于  $60^{\circ}\text{C}$  的 0.1% 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸泡，洗去表面的酸后进行干法蒸煮（不加水蒸煮），然后按固液比 1:12 加水于干法蒸煮后的玉米芯中，用组织捣碎机打浆提取其中的木聚糖。提取物用滤布过滤，滤液即为提取液。

#### （二）蒸煮法提取液加酶水解

将提取液和渣一起添加木聚糖酶进行水解，水解产物的可溶性总糖的得率达 26.4%（按木聚糖含量为 35% 的玉米芯计），水解产物中木二糖和木三糖等低聚糖的质量分数达到很高的水平，分别为

54.2%，19.8%。

此外，目前用玉米芯水解发酵生产木糖醇也受到越来越多的重视。木糖醇是一种五碳糖醇，具有防龋特性，甜度相当于蔗糖。人体的木糖醇代谢无需胰岛素的参加，因此木糖醇可以作为糖尿病患者蔗糖的替代剂，已广泛应用于食品、医药等领域。其生产过程首先是用稀酸将玉米芯水解为木糖，然后再用纯木糖加氢或水解液发酵的方法制成木糖醇。在此由于篇幅有限不作详细介绍。

## 二、糠醛

糠醛，学名呋喃甲醛，它是一种重要的有机化工原料，在合成树脂、石油化工、染料、医药和轻化工等方面都有着广泛的用途。

### （一）糠醛的生产

目前，生产糠醛的原料包括玉米芯、向日葵壳、棉籽壳、稻壳、甘蔗渣、棉麻秆、阔叶林等植物纤维性废弃物，其中玉米芯中多缩戊糖的含量为最高，达38%，糠醛潜含量为25%。

#### 1. 糠醛的生产方法

植物纤维原料在催化剂和热作用下，戊聚糖水解为戊糖，然后再脱水生成糠醛。水解反应过程中采用的催化剂有：硫酸、盐酸和过磷酸钙等。但由于过磷酸钙价格较贵，而盐酸具有较强的挥发性，而且对设备腐蚀较强，故通常采用硫酸作催化剂。

#### 2. 糠醛的生产工艺

风干的植物纤维原料玉米芯含水率约在15%~20%，经筛选，去除杂质后，粉碎，粒径一般为1~3cm，再与5%的稀硫酸混合，固液比在1:(0.4~0.6)之间，经搅拌机拌匀后，由出口直接装入水解锅内，锅内水解压力为0.588~0.784MPa，相应的水解温度为175℃左右，水解时间为5~6h。水解过程中生成的醛汽浓度为4%~6%，经冷凝器冷凝后进入初馏塔脱去大部分水，塔顶引出沸点为97.8℃的醛水共沸物，经冷凝冷却后进入分醛罐液相分层，上层水层回流入塔，下层醛层流入贮罐，此时得到糠醛的粗产品，其中糠醛含量约为92%，有机酸0.2%~0.4%（以醋酸计），其余是水和少量高低沸点杂质。

## (二) 影响糠醛得率的因素

糠醛生产过程中，水解工段是糠醛得率高低的关键，影响水解得率的因素很多，如水解压力（温度）、催化剂种类、固液比、混酸均匀程度、原料颗粒度、装锅密度、排氧情况、操作熟练程度等。

## (三) 糖醛的用途

### 1. 作为选择性溶剂

糠醛是一种选择性溶剂。它对于芳香烃、烯烃极性物质的溶解能力大，而对于脂肪族等饱和物质的溶解能力小。通常糠醛有以下几种应用。

① 石油工业上精制润滑油，提炼除去其中的芳香族不饱和物质，同时降低硫、炭渣的含量。

② 改进柴油机燃料的质量。

③ 动植物油的精炼和从鱼肝油中提炼维生素 A。

④ 可作树脂和蜡的溶剂。

### 2. 糠醛的再加工产品

#### (1) 糠醛树脂的生产

糠醛和丙酮在碱性介质中反应后，再和甲醛在酸性介质中反应，可得糠醛丙酮甲醛树脂，可以作为胶黏剂和防腐涂料。糠醛和苯酚在碱性催化剂作用下缩合，然后再与甲醛在酸性介质中反应，可得糠醛苯酚甲醛树脂，用于胶木制品生产。利用糠醛还可加工出许多其他树脂类的产品。

#### (2) 糠醛氢化产品的生产

糠醛在一定的催化剂、反应温度和压力条件下，加氢气可得到糠醇、四氢呋喃、甲基呋喃等重要化工原料。糠醇同酸性催化剂可缩合成树脂，这种糠醇树脂又称呋喃树脂，主要用于汽车、拖拉机等内燃机铸造砂的胶黏剂。四氢呋喃、甲基呋喃在有机化工中也有重要的应用。

### 3. 其他用途

糠醛可以用于生产医药、农药、兽药，还可作防腐剂、消毒

剂、杀虫剂、除锈剂、化妆品的芳香剂等。

### 三、淀粉

#### 1. 稻壳制淀粉

将洗净的稻壳按每 100kg 加水 10kg、纯碱 2kg（先溶于水）的比例放入锅中，用大火煮 2h 左右。煮后用适量清水洗去碱液，并加适量水磨成粉状；然后，往磨出的浆液中加入 5 倍清水，搅匀后过 1 遍粗筛，再过 2 遍细筛；最后，将滤液静置 12h，用布袋挤去水分，即成湿淀粉。

#### 2. 麦秸制淀粉

把洗净的麦秸切成 5~6cm 长的小段后放入锅内，每 100kg 原料加沸水 18kg、纯碱 0.12kg，蒸煮半小时后捞出，放入冷水中揉搓；然后用磨磨碎或石臼捣烂（越细越好）。再将揉搓的浆液合并用细筛过滤，滤液于缸中沉淀 12h 后去除上层清液，用布袋挤去下层沉淀物水分，即得湿淀粉。

#### 3. 高粱秆制取淀粉

将高粱秆按节折断剥皮，取内瓢为原料，放入缸中加沸水浸泡 3h，再放入锅内用大火煮料；然后用石磨加水磨成浆液，或用石臼捣成糊状，在浆液中加入适量清水，搅拌后用粗、细筛分别过滤，滤后的浆液用布袋吊干水分即为湿淀粉。

#### 4. 玉米皮制淀粉

将玉米皮洗净浸泡 8h 后放入碱水锅内（开水中加入玉米皮质量 12.5% 的纯碱溶化），大火煮沸 3h，每隔半小时翻 1 次，并补充盐水，待用手搓即成丝时捞出，用清水洗去碱液；然后将原料放入缸内用木棍捣烂，再加入适量清水搓压，使淀粉与纤维素分离，在石板上敲打并用清水搓洗 1 次，将 2 次所得浆液用粗、细筛分别过滤，再将过滤出的浆液用布袋挤去水分（以挤出浆液不是粉白色为宜），接着将挤出的糊状物放入清水中沉淀，捞去上层清液和杂质后，装入布袋吊干或挤干水分，即得湿淀粉。

#### 5. 豆荚制淀粉

将洗净的绿豆荚放入清水中浸泡 8h 后捞出放入锅内，每

100kg 原料加纯碱 2kg，再加适量水，用大火蒸煮 2h，豆荚发粉时捞出，用磨碾烂或用石臼捣烂，将浆液放在清水中搅拌揉搓，再用粗、细筛分别过滤，把所得浆液用布袋吊干水分即得淀粉。

#### 四、白炭黑、活性炭和高模数硅酸钾

稻壳深度开发在化工领域的应用相当广泛。稻壳含有丰富的木质素、戊聚糖和二氧化硅等成分，是制造白炭黑、活性炭和高模数硅酸钾的良好原料。以稻壳为原料生产的活性炭，不仅成本低，而且含杂质少，特别适合于食品工业的需求，而且潜力巨大。高模数硅酸钾的用途十分广泛，主要用于电视荧光屏粉、高温涂料胶黏剂、洗涤剂、还原染料、防火剂、高级陶瓷涂料等的生产。利用稻壳中所含无定型二氧化硅与苛性碱反应，反应活性高，产品纯度高，可为硅酸钾的生产开辟一条新路。目前，国外已利用稻壳成功地开发出活性炭、白炭黑、水玻璃、高纯硅、木糖、乙酰丙酸及多种化妆用品。如美国、挪威、印度、巴西、法国和意大利等国利用高纯硅已生产出了集成电路和太阳能电池；日本一些企业利用稻壳制造出的香波、香皂、化妆水及化妆品，很受消费者欢迎。

下面介绍一种利用稻壳同时生产活性炭、白炭黑及高模数硅酸钾的方法。由于该方法还处于研究阶段，有待开发适合推广应用的工艺路线和技术参数。

##### （一）炭化稻壳的制备

由于炭化稻壳是制备活性炭、高模数硅酸钾及白炭黑的原料，因此首先要生产炭化稻壳。一般其生产过程如下：将稻壳置于恒重的瓷坩埚内，放入马福炉内，设置马福炉温度，关闭炉门（中间不再开启），当温度升至设定温度时（不超过 800℃），保温 30min 后取出即可得到未完全燃烧的稻壳灰即炭化稻壳。一般认为，炭化稻壳需颗粒度整齐，有一定的硬度，表面光亮。其理化性能应达到如下标准：水分 0.5%~1.0%，碳含量 30%~45%，pH 值为 8~9，松散容量 0.08g/cm<sup>3</sup>~0.10g/cm<sup>3</sup>，密实容量 0.13g/cm<sup>3</sup>~0.15g/cm<sup>3</sup>，SiO<sub>2</sub> 含量 60%左右，其他金属氧化物约为 2%。

(二) 制备白炭黑、活性炭和高模数硅酸钾的生产工艺流程  
以 GS-2 高压反应釜为反应器，具体工艺流程如图 3-22 所示。

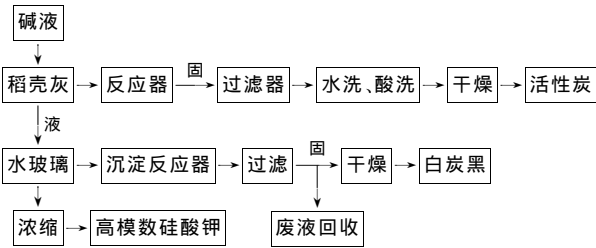


图 3-22 白炭黑、活性炭和高模数硅酸钾的生产工艺流程

试验结果表明，稻壳灰的化学组成直接影响三种产品的质量，炭化条件十分重要，高温活化是比较理想的活化方法，此外稻壳的前处理有利于提高产品质量。在炭化温度不超过 600℃，稻壳灰与碱反应比为 1：0.22，反应时间 4h，反应压力 0.6MPa，活化温度不超过 800℃时，生产出的活性炭质量符合 LY 216—79 木质粉末活性炭的质量要求，综合指标达到二级以上；白炭黑的质量符合 GB 10517—89 的质量标准，杂质含量较少；硅酸钾的质量也满足工业生产要求。

## 五、膳食纤维

膳食纤维是不为人体消化吸收的多糖类碳水化合物与木质素的总称。人类在过去很长一段时期内，都在努力去除小麦粉中的麸皮和大米中的米糠，以达到生产白面包和精制米的目的。直到近二三十年来，膳食纤维的保健作用才日益受到重视。

膳食纤维有较强的持油、持水能力，增容作用和诱导微生物的作用，能整合消化道中的胆固醇、卟啉以及重金属等有毒物质，减少致癌物的产生并促进肠蠕动，利于粪便排出。近年来，膳食纤维已引起各国营养学家的极大关注，它虽不具营养价值，但能治疗许多疾病，被称为“第七大营养素”，对人体的正常代谢是必不可少的。因此，在现阶段开展对膳食纤维的研究，对提高我国人民的健康水平具有十分深远的意义。

生产膳食纤维的原料很多，如玉米芯、甘蔗渣、甜菜渣、米糠及麦麸等。下面介绍一种用麦麸生产膳食纤维的工艺。

本工艺简便易行，不需要特殊设备，投资少、见效快，有良好的经济效益和社会效益。用该方法提取的膳食纤维口味清淡，适合添加于面制品、焙烤食品和肉制品中，还可制成冲剂等。只要添加量合适，不影响食品的外观与风味，且有一定的功能性，其生产工艺流程如图 3-23 所示。

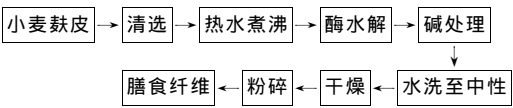


图 3-23 膳食纤维的生产工艺流程

由于小麦麸皮中淀粉和蛋白质的含量较高，因此在设计提取时主要考虑选择适当的工艺条件将蛋白质和淀粉除去，以达到提高膳食纤维提取率的目的。在以上工艺中分别采用酶解法除去淀粉和碱法除去蛋白质。其中水解淀粉用的酶为  $\alpha$ -淀粉酶，所用碱为 NaOH。试验结果表明，当 NaOH 浓度为 5%，浸泡温度为 70℃，浸泡时间为 90min， $\alpha$ -淀粉酶浓度为 0.4% 时，用此工艺提取的小麦膳食纤维得率最高，可达 68%。

### 六、草酸（乙二酸）

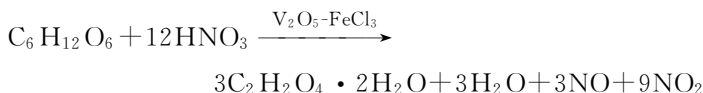
草酸作为一种重要的化工原料，广泛用于药品生产、稀土元素提取、织物漂白以及高分子合成等工业。目前国内工业制取草酸的方法主要有甲酸钠法、以糖或淀粉为原料的  $\text{HNO}_3$  氧化法以及用碱或酸处理纤维物质的方法。甲酸钠法工艺成熟，质量稳定，但工艺流程复杂，只适于大企业生产。淀粉  $\text{HNO}_3$  氧化法工艺投资少，易于自动控制，生产厂家较多，但需消耗大量的食糖或淀粉。近年来报道的纤维物质制取草酸的方法普遍存在收率低、能耗大和许多难以克服的工业化障碍。王俏等采用独创的水解-氧化-水解工艺，以向日葵壳为原料制取草酸获得成功。该方法兼顾了浓酸和稀酸水解的特点，巧妙地将水解与氧化相结合，是生产草酸的有效途径。

### (一) 原理

先将向日葵壳浸泡在浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  中使其水解, 使纤维大分子裂解为更易水解的低聚糖和单糖混合物, 在水解平衡体系中加入催化剂  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-FeCl}_3$ , 用 65% 的  $\text{HNO}_3$  将体系中的单糖氧化成草酸。因体系中单糖不断减少, 水解平衡体系被打破, 这时伴随着氧化反应进行的低聚糖二次水解为单糖的反应也在同时进行。所以, 实际上整个体系是以氧化促进水解, 以水解维持氧化, 最终得到目的产物草酸。主要反应如下



### (二) 工艺流程



称取经粉碎、过筛的向日葵壳, 用一定量的 70%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸泡 3h 以上, 然后稍作稀释, 再加催化剂  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-FeCl}_3$ 。将反应物移入装有搅拌器、温度计、滴液漏斗和导气管的四口烧瓶中, 用水浴加热至  $40^\circ\text{C}$  后缓慢滴加 65% 的  $\text{HNO}_3$ 。 $\text{HNO}_3$  滴加完毕, 将体系升温至  $65^\circ\text{C}$ , 保温反应 5h 后停止反应, 趁热抽滤, 滤液静置过夜, 析出结晶, 抽滤得粗品, 经重结晶得纯度为 99.50% 的草酸二水合物。

### (三) 影响草酸得率的因素

影响草酸得率的因素很多, 其中包括  $\text{H}_2\text{SO}_4$  含量、浸泡时间、 $\text{HNO}_3$  用量、氧化-水解反应时间、氧化-水解反应温度等。

本研究制取草酸的方法原料易得, 工艺简单, 经济效益好, 特别适合乡镇企业生产。

### 七、酒精

利用稻谷壳、玉米秸、棉籽壳、甘蔗渣等植物纤维性废弃物作为制取酒精的原料, 开辟了农业废弃物利用的新途径。以秸秆为例制取酒精的工艺流程如图 3-24 所示。

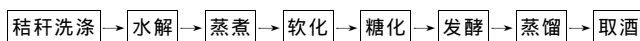


图 3-24 秸秆制取酒精的工艺流程

首先清除农作物秸秆原料中的泥沙等杂质，用清水洗涤干净，沥干水分后烘干，然后由粉碎机粉碎成  $1\sim 2\text{mm}$  大小，再用清水浸泡 7d 左右进行水解，或通以蒸汽加以水解。将浸泡好的原料移入大铁锅中蒸煮。装料量为铁锅体积的  $1/3$ ，加入清水，水面离铁锅口 15cm，随即向铁锅内徐徐加入浓硝酸，使锅内溶液 pH 值达到 5。然后，盖紧锅盖，加热煮沸，保持温度在  $105^{\circ}\text{C}$  以上，煮沸 1h 后向锅内加氧化钙，溶液 pH 值达到 7 时捞出熟料。将捞出的熟料摊在水泥地上冷却，当温度降至  $50^{\circ}\text{C}$  左右时，即可拌入酒曲进行糖化发酵。糖化发酵的方法是：把酒曲捣碎，用水调成糊状，按熟料与酒曲 100 : 1 的比例，充分搅拌均匀，然后倒入发酵池中（大锅内的剩余溶液一并倒入），保持发酵温度  $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，经 5d 左右完成糖化发酵。将完成糖化发酵的料，移入蒸馏器进行蒸馏（其蒸馏方法同一般的酿制白酒的方法相同），即可制得  $50\%\sim 60\%$  的酒精。

## 参 考 文 献

- 1 刘建新．干草秸秆青贮饲料加工技术．北京：中国农业科学技术出版社，2003
- 2 李秀金．固体废物工程．北京：中国环境科学出版社，2003
- 3 张从．农业环境保护概论．北京：中国农业大学出版社，2002
- 4 卞有生．生态农业中废弃物的处理与再生利用．北京：化学工业出版社，2000
- 5 范艳敏．酵素菌农作物秸秆堆肥制作技术．种植园地，2004，（3）：7~8
- 6 陈传琳．秸秆还田的方式及技术．安徽农业，2004，（4）：40~41
- 7 王革华．实现秸秆资源化利用的主要途径．上海环境科学，2002，21（11）：651~655
- 8 段兆南．秸秆还田技术．云南农业，2001，（11）：16
- 9 曾国锋，印德华，胡迎红．开发利用非木材植物纤维原料生产人造板的可行性与发展前景．建筑人造板，2000，（4）：3~6

- 10 邢廷铤. 农作物秸秆饲料加工与应用. 北京: 金盾出版社, 2000
- 11 张承龙. 农业废弃物资源化利用技术现状及其前景. 中国资源综合利用, 2002; 1~3
- 12 罗学刚, 陶杨, 廖俊和等. 植物(秸秆)纤维助膨化改性技术研究与应用进展. 纤维素科学与技术, 2003, 11(4): 1~6
- 13 许凤, 孙润仓, 詹怀宇. 农林废弃物在工业废水处理中的应用. 造纸科学与技术, 2003, (3): 1~4
- 14 王革华. 实现秸秆资源化利用的主要途径. 上海环境科学, 2002, (11): 1~2
- 15 王戈, 刘忠文, 井学伟. 一种新型人造板——沥青基植物纤维复合板. 林业科技, 2001, 4(26): 1~4
- 16 秦光蔚等. 秸秆综合利用技术. 南京: 江苏科学技术出版社, 2001
- 17 吴其叶, 曹绍文, 鲍永成. 植物纤维发泡制品及成型技术. 轻工机械, 2002, (3): 1~4
- 18 黄国林, 张成芳, 方耀. 非木材纤维原料制浆技术研究进展. 化工进展, 2001, (5): 2
- 19 石波, 李里特. 玉米芯酶法制取低聚木糖的研究. 中国农业大学学报, 2001, 6(2): 1
- 20 孙昆山, 夏黎明. 玉米芯水解液发酵生产木糖醇的研究. 林产化学与工业, 2002, 22(2): 1
- 21 王俏. 向日葵壳水解-氧化-水解法制取草酸新工艺研究. 精细石油化工进展, 2003: 1~2
- 22 孙雅君. 稻谷的开发利用. 垦殖与稻作, 2003, (5): 2~3
- 23 卫延安, 朱春山, 蔡春等. 由稻壳灰制备活性炭的工艺及应用研究. 中国粮油学报, 2003, 18(6): 1~5

# 第四章 畜禽粪便资源化利用技术

## 第一节 畜禽粪便资源 and 特点

### 一、畜禽粪便资源

畜禽粪便资源总量巨大。据资料显示，全世界家畜数量有 39 亿，每年排粪量以亿吨计。我国畜禽粪便产生量也很大，1999 年产生总量约为 19 亿吨，2000 年产生量超过 25 亿吨，远远超过我国工业废水和生活废水的排放量的总和。

畜禽粪便这一资源，由于总量迅速膨胀，引发的问題日益突出，因而越来越被人们所重视。如何将这么大量的资源利用好，变废为宝，化害为利，这关系到农村经济、社会与环境的可持续发展。

### 二、畜禽粪便资源的特点

畜禽粪便作为总量巨大的资源。其特点归纳如下。

#### (一) 富含营养资源化潜力大

畜禽粪便中含有大量畜禽日粮中没有被转化的有机质，以及氮、磷、钾等营养元素（见表 4-1）。由于大量添加钙、磷等矿物元素以及铜、铁、锌、锰、钴、硒和碘等微量元素，未被吸收的过量矿物元素又从畜禽粪便中排出。因此，畜禽粪便所含营养丰富，如果不加处理的任意排泄和堆放，就会危害环境，造成恶臭熏天、蚊蝇孳生、细菌繁殖、传播疫病，严重影响周围居民的生活、工作和身体健康。

表 4-1 畜禽粪便营养成分含量情况/%

| 项目 | 含水率           | 全 氮         | 全 磷         | 全 钾         | 有机质           |
|----|---------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 猪粪 | 72. 23        | 1. 05~2. 96 | 0. 40~0. 49 | 0. 39~2. 08 | 3. 84         |
| 羊粪 | —             | 1. 22~2. 35 | 0. 18       | 2. 13       | —             |
| 牛粪 | 84. 75        | 0. 47~0. 84 | 0. 18~0. 22 | 0. 20~2. 00 | 12. 35        |
| 鸡粪 | 50. 20~80. 78 | 1. 06~1. 91 | 0. 42~0. 97 | 0. 09~1. 36 | 14. 43~35. 15 |

畜禽粪便是可利用资源，是数量巨大的资源宝库。据测算，全国每年由猪粪中排出的磷多达 106.2~212.4 万吨。另有资料显示，全国每年使用的微量元素添加剂为 15~18 万吨，而大约有 10 万吨左右未被动物利用，随畜禽粪便排出。可见，畜禽粪便的确是重要资源，其中含有相当比例可利用的营养成分，资源化利用的潜力巨大。

(二) 不同畜禽的粪便成分差异大

由表 4-1 还可以看到，不同畜禽种类粪便的成分有较大差异。常见的畜禽种类中，鸡粪的有机质含量最丰富，而猪粪的有机质含量最低。牛粪的含水率最高。另一方面，由于不同畜禽饲养方式的差异更直接加剧了这种差异的程度。因此，应该根据饲养畜禽的种类不同而采用适宜的资源化技术和相应的污染防治措施。

(三) 不同畜禽的粪便量差异大

我国的畜禽养殖主要有猪、牛、马、羊、驴、骡、鸡、鹅、鸭等种类，此外还有少量的鹿、兔、狐狸、狗、鸵鸟、鸽等特种养殖种类。不同种类畜禽个体产生粪便量的差异较大。表 4-2 列出了常规饲养的不同畜禽年排污系数。

畜禽粪便排泄系数是指某种特定的畜禽在某段时间内的畜禽粪便排泄数量，一般按时间的不同可分为天、月、年排放系数。从表 4-2 中可以看出畜禽粪便排泄系数的大小为：牛>猪>羊>鸭和鹅>鸡。

表 4-2 常规饲养的不同畜禽年排污系数表

| 养 殖 种 类 | 粪尿产生量/t·只 <sup>-1</sup> ·年 <sup>-1</sup> | 污水产生量/t·只 <sup>-1</sup> ·年 <sup>-1</sup> |       |
|---------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------|
|         |                                          | 干湿分离                                     | 未干湿分离 |
| 猪       | 2.1                                      | 10.5                                     | 21    |
| 肉鸡      | 0.021                                    | 0.105                                    | 0.21  |
| 蛋鸡      | 0.045                                    | 0.225                                    | 0.45  |
| 肉牛      | 8.1                                      | 40.5                                     | 81    |
| 奶牛      | 14.4                                     | 72                                       | 144   |
| 羊       | 1.1                                      | —                                        | —     |
| 鸭       | 0.039                                    | 0.195                                    | 0.39  |
| 鹅       | 0.039                                    | 0.195                                    | 0.39  |

另外，同一种类在不同生长期的排放量也有较大差异。表 4-3 列出了中国农业科学院畜牧研究所的研究数据，结果显示，不同体重大小猪的粪尿排泄量相差较大。一般结论是随着个体体重的增加其粪尿排放量也逐步增加。

表 4-3 不同体重猪的粪尿排放量

| 猪体重/kg  | 相当体质比例粪便排放量/% | 粪尿排放量/kg·头 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> |
|---------|---------------|-------------------------------------------|
| 40~60   | 24±3          | 10~14                                     |
| 60~80   | 23±2          | 16~18                                     |
| 80~100  | 21±2          | 18~20                                     |
| 100~120 | 19±1          | 20~22                                     |
| 120~140 | 16±1          | 21~22                                     |
| 140~160 | 14±1          | 22~23                                     |
| 160~180 | 13±1          | 22~24                                     |

由于各地区主要养殖种类不同，而不同畜禽的粪便成分和排放量差异较大，所以各地区产生的畜禽粪便污染的严重程度也不同，实际中应根据具体情况加以分析解决。

(四) 粪便量分布不均匀

我国养殖业过去是以农家畜牧分散养殖为主，而现在规模化和集约化的商品养殖生产已占主要地位。养殖业在地域上存在分布不均匀的特点，大中型养殖场主要分布在人口密集的沿海一带，如辽宁、山东、江苏、浙江、福建和广东等地区，进一步加重了这些较发达地区环境污染的程度。

(五) 距居民生活区近

我国许多规模化畜禽养殖场地处城郊，30%~40%的规模化养殖场距离居民或水源地最近距离不超过 150m，对居民生活有影响。养殖场的选址不当，造成了一些城镇被畜禽粪便包围的情况。

第二节 畜禽粪便污染与防治措施

一、畜禽粪便对环境的污染

生产的高度密集，使畜禽粪便数量大大超过其周围环境的处理

能力和合理使用能力。畜禽粪尿含有大量未被消化吸收的有机物、无机物、病菌等，能对大气、水体、土壤、生物造成多方面的污染。

### （一）对大气的污染

由于畜禽高度密集，厩舍内潮湿，灰尘、粪便、霉变垫料及呼出的二氧化碳等散发出恶臭气。研究表明，臭气成分中有臭味化合物 168 种，其中 13% 以上属于鲜粪成分。

### （二）对水体的污染

畜禽粪便能直接或间接进入地表水体，导致河流严重污染，水体富营养化，水质严重恶化，致使公共供水中的硝酸盐含量及其他各项指标严重超标，其对水体的危害程度不亚于工业污水。同时，畜禽粪尿淋溶性极强，可以通过地表径流污染地下水，也可经过土壤渗透污染地下水。

### （三）对土壤的危害

对土壤的危害主要表现在土壤的营养累积。动物粪便作为有机肥长期使用，将导致 N、P、Cu、Zn 及其他微量元素在土壤中的富集。

### （四）对生物的危害

畜禽污水还会引起传染病和寄生虫病的蔓延，传播人畜共患病，直接危害人的健康。特别是在非冬季节，畜禽粪便孳生大量蚊蝇，使环境中病原种类、病原菌数量增大，从而造成人、畜传染病和寄生虫病的蔓延。

## 二、畜禽粪便对环境的污染原因

如果从养殖业全过程来分析污染的原因，非环保型的饲料配方、粗放的禽畜粪尿的利用和处置方式、混乱的养殖场布局等是造成污染的根本原因。

### （一）对饲料的利用率不高

氮、磷是畜禽排泄物中最主要污染源。饲料中 50%~70% 的氮以粪氮和尿氮的方式排出体外。而畜禽会将摄入体内 70% 的磷排出体外。

此外，微量元素的污染也不可忽视。传统的饲料使过多的未被

吸收利用的微量元素通过粪便排出体外，长期下去将导致微量元素的富集。

## （二）对禽畜粪尿的利用不足

目前普遍采用的畜禽粪便利用方式主要有：禽粪干燥法、发酵法、畜粪尿沤制产沼气法和堆制还田法等。这些方法虽然利用了部分粪尿，不同程度的减轻了养殖业污染，但没有从根本上实现禽畜粪尿的无害化和资源化。

## （三）缺乏整体规划，导致人畜禽共处

我国养殖场大多数是自发的发展起来的，缺乏整体规划，地点选择随意，庭院即为养殖场，人禽畜共处现象严重。这不可避免地造成了大气、水、噪声的污染及传染病的蔓延。

## 三、防治禽畜粪便污染的管理措施

针对畜禽粪便，首先可以采取加强管理的手段，通过无费用或低费用的措施来实现对其污染的防治。主要的管理措施如下。

- （1）合理规划和布局
- （2）制订优惠政策扶持畜禽粪便的资源化利用
- （3）加大环境保护宣传力度
- （4）建立健全法律、法规、控制标准
- （5）增加资金投入

## 四、防治畜禽粪便污染的技术措施

### （一）源头控制技术

研制和生产生态营养饲料，进行源头控制，可有效减少粪尿等废弃物的产生量。畜牧业引起公害主要是动物粪尿对环境的污染和饲料中有毒有害物质在畜产品中的残留。它发生在畜牧业生产中，源头却依然是饲料。为了从根本上解决畜产品公害和减轻动物粪便对环境污染等问题，专家们提出了生产生态饲料，通过从饲料原料的选购、配方设计、加工饲喂等过程，严格实施质量控制和动物营养系统的生理调控，使生产的饲料达到卫生、安全、营养的效果。从养殖业的源头控制污染物的介入，同时减少污染物的产生量，根本解决畜产品公害和环境污染问题。

## (二) 饲养过程控制技术

加强饲养过程的管理，改变传统的陋习，也可以达到减少粪便流失，减轻污染的控制效果。

## (三) 末端治理技术

### 1. 臭气的治理

对于臭气的治理，常见的方法如下：①吸收法；②吸附法；③氧化法；④采用各种新型制剂；⑤其他方法。

### 2. 污水的治理

对畜禽粪便污水的治理，主要采用生物化学方法，常见的好氧与厌氧工艺处理方法如下：①好氧处理；②厌氧处理。此外，近些年人工湿地也得到了很好的应用。其工艺流程如图 4-1 所示。

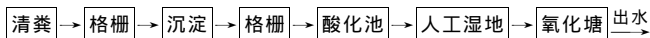


图 4-1 人工湿地系统工艺流程

### 3. 畜禽粪便资源化

为了最大限度的降低畜禽生产所产生的废弃物对环境的污染，必须对其废弃物的无害化处理和再生利用等技术进行认真研讨，将畜牧业与农业发展规划有机结合起来，走生态农业之路。资源化技术包括用作有机肥料、用作饲料、用作燃料等。在下面的章节里分别进行介绍。

## 第三节 粪便肥料化技术

在国外，畜禽粪便还田已经成为畜禽粪便处理和利用的主要方向。随着集约化畜禽养殖的发展，畜禽粪便也日趋集中，在一些地区兴建了一批畜禽有机化肥生产厂。采用的方法有堆肥法、快速烘干法、微波法、膨化法、充氧动态发酵法。经过减量化无害化处理后，制成优质的有机肥，用于无公害、绿色食品的生产。

本节主要介绍堆肥技术。

## 一、概述

堆肥是将畜粪和垫草、秸秆、稻壳等固体有机废弃物按一定比例堆积起来，调节堆肥物料中的碳、氮比，控制适当水分、温度、氧气与酸碱度，在微生物的作用下，进行生物化学反应而将废弃物中复杂的不稳定的有机成分加以分解，并转换为简单的稳定的有机物质成分。随着堆肥温度的升高而杀灭堆肥物料中的病原菌、虫卵和蛆蛹，处理后的物料作为一种优质有机肥料。好的堆肥对改善土壤结构、培肥地力起到重要的作用。利用堆肥方法不但能处理畜禽粪便，也能处理其他有机废弃物，是一种集废弃物处理和资源循环再生利用于一体的好方法。

新鲜或未腐熟畜禽粪便如果直接长期施用于土壤会引起不良后果，如土壤氮磷营养化、产生有机酸或土壤还原性物质阻碍农作物的生长、粪便中含有的有害微生物污染水源、传播疾病等。因此，堆肥化过程中应让有机物充分腐熟，杀死其中的有害微生物，使它转变为安全、稳定的高品质有机质肥料。一般堆肥腐熟的目的如下。

### （一）调整有机物碳氮比（C/N）

当堆肥材料的碳氮比大，若直接施用于土壤中，在堆肥材料分解初期会造成土壤中有效养分减少，尤其是氮素成分的影响最大，而阻碍了作物生长；当堆肥材料碳氮比过小，直接施用土壤中，产生土壤还原性物质和氮磷的富营养化，从而影响作物的生长。一般而言，堆肥材料经堆积分解，碳氮比达到 20 左右时，堆肥材料达到稳定腐熟，即可直接施入土壤。畜禽粪便中的碳氮比一般比较小，因而常常需要另外加入适当的碳源物质（如稻草、玉米秸秆等），以增加整个堆肥的碳氮比。不同有机材料成分分析见表 4-4。

### （二）减少有害成分

畜禽粪便和其他有机物含有糖类、脂肪酸、蛋白质等成分。当微生物分解时会产生高温及局部的缺氧情况，厌氧微生物大量繁殖，有机物分解会产生甲烷、氢气、酚酸、有机酸等有毒物质和土壤还原性物质，对作物生长有害。畜禽粪便若经过堆积腐熟分解可

表 4-4 不同有机材料成分分析

| 材 料   | C/N     | 全 碳 | 全 氮 | 磷    | 钾   |
|-------|---------|-----|-----|------|-----|
| 牛粪    | 13~17   | 35  | 1.8 | 0.5  | 1.7 |
| 猪粪    | 8~15    | 42  | 3.0 | 3.0  | 0.5 |
| 鸡粪    | 6~9     | 18  | 3.3 | 1.7  | 2.4 |
| 米糠    | 18~22   | 55  | 2.4 | 0.4  | 1.8 |
| 大豆(粉) | 4~6     | 38  | 7.0 | 0.6  | 2.4 |
| 大豆(秆) | 30~36   | 42  | 1.3 | 0.3  | 0.5 |
| 树皮    | 120~500 | 70  | 0.3 | 0.08 | 0.6 |
| 稻蒿    | 45~60   | 43  | 0.7 | 0.1  | 2.0 |
| 谷壳    | 70~90   | 35  | 0.4 | 0.1  | 0.6 |

减少有害成分，避免直接施用影响作物生长。

### (三) 消灭病菌、虫卵、杂草种子

畜禽粪便里面含有许多病原菌、害虫虫卵及杂草种子，堆肥如经适当发酵，温度可达到 60℃ 以上，大部分的病原菌、害虫虫卵及杂草种子在这温度下可被杀灭。

### (四) 减少臭味，维护田间卫生

经过适当堆积腐熟的堆肥会降低令人不快的臭味，在田间施用时也可减少蚊蝇滋生，维护环境卫生。

### (五) 调配堆肥成分，增进肥效

畜禽粪便和其他有机材料所含营养成分差异较大，经过适当的调配，堆积腐熟后可增加有机材料的有效磷与氮素，制成的堆肥成分能适合不同作物生长的需要，可增进作物产量及品质。

## 二、关键因素及指标控制

### (一) 微生物菌种

微生物起着有机物分解与堆肥稳定化的重要作用。不同的堆肥材料如果能接种适当的微生物菌种，可以加速堆肥发酵，缩短堆肥化的周期。高效率的堆肥化技术，是维持和保证微生物最适宜的生长条件，使微生物能够充分生长和繁殖。

### (二) 调整碳氮比

有机废弃物中碳氮比是影响堆肥效果好坏的一个非常重要的因

素。堆肥化过程中，微生物需要碳元素用作生命活动的能量来源，同时也需氮元素来维持生命及构成细胞的有机组成。堆肥过程中适合于微生物的碳氮比为  $(20:1) \sim (30:1)$ ，碳氮比太高时，会因氮素缺乏，致使微生物无法大量繁殖，堆肥化过程进行得相当缓慢；如果碳氮比太低，微生物分解出过多的氨容易从堆肥中挥发出来，导致氮元素损失。

研究表明：最适 C/N 是  $20:1$ 。畜禽粪便的碳氮比一般情况为：牛粪 C/N 为  $(20 \sim 23):1$ ，猪粪为  $(10 \sim 14):1$ ，鸡粪为  $(9 \sim 10):1$ 。所以，堆肥处理时牛粪可以不调整 C/N，而猪、鸡粪需要调整碳氮比。调整材料常用高 C/N 的稻壳（C/N 为  $70:1$ ）、菇类废弃木屑（C/N 为  $57:1$ ）以及木屑（C/N 为  $298:1$ ）等物质，在堆积过程进行时，有机废弃物中的碳氮比逐渐减少至  $20:1$  左右。

### （三）pH 值

一般有机材料微生物发酵分解的 pH 值范围相当广，在 pH 值在  $3 \sim 11$  之间均可进行，但以 pH 为  $5.5 \sim 8.0$  较适宜，堆肥的微生物一般嗜微碱性，pH 值为  $7.0 \sim 8.0$ 。通常堆肥的 pH 值不容易由外来普通堆积物而改变，在发酵初期如果堆积材料的 pH 值过高，则容易导致氨的挥发，并造成氮元素的损失。当堆肥完全腐熟时其 pH 值会呈近中性或微碱性。贮藏时间久而 pH 值降低时，可用石灰调整。

### （四）温度

温度反映了堆积材料中某些微生物的活动情况。一般在堆肥化过程基本上可划分成高温期（ $60^{\circ}\text{C}$  以上）、中温期（ $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ）及低温期（ $50^{\circ}\text{C}$  以下）。首先作用的是嗜温与耐高温的微生物，然后是嗜中温微生物，之后随堆肥逐渐腐熟，温度呈下降至恒温的低温期。

### （五）含水率

堆肥的影响因素中，对有机物腐烂分解影响最大的是水分。堆肥发酵的最适含水率为  $60\% \sim 65\%$ ，低于  $30\%$  微生物增殖受抑制，

高于 70% 孔隙率低导致空气不足。含水量影响堆肥的生物和化学反应，是堆肥好坏的一个重要指标。水分太多，抑制气体交换，容易造成堆肥厌气或兼性厌氧的环境，不利于好氧发酵；水分太少，又会抑制微生物繁殖，不利于堆肥的腐熟。所以，保持堆肥适当的水分，是堆肥中最关键的技术要领。

调整水分常见方法有四种：添加稻壳、木屑或甘蔗渣等当地容易获得的农副产品；添加已发酵的堆肥；干燥；机械脱水。

#### (六) 通气

堆肥化作用以好氧性分解较佳，充分供给氧气为基本条件。氧气可依靠翻堆或打气方法进入堆积物之中，形成好氧状态。氧气的需求量，依据有机废弃物性质、水分含量、温度、微生物群落大小和类别等不同而有差别。

#### (七) 腐熟度

堆肥腐熟程度的高低将影响施用堆肥的安全性和经济效益，有关堆肥腐熟度可以用若干物理指标及化学成分分析法作为判断的依据。

#### (八) 混合均匀

为了保证堆肥的品质一致，应尽量混合均匀。

### 三、堆肥制作方法

#### (一) 堆积场所

有顶棚的堆积场舍最理想。如在户外露天堆积，则需有适当覆盖，以防雨水冲刷。另外，必须考虑水分取得、翻堆空间、通风情形及肥水收集等问题。

#### (二) 准备材料

堆肥材料的选择，应先了解作为堆肥主体材料的碳氮比属于高还是低，以适宜碳氮比的材料作为配合。各类常见的堆肥材料碳氮比的一般情况为：牛粪 C/N 为 (20~23) : 1，猪粪为 (10~14) : 1，鸡粪为 (9~10) : 1。所以，堆肥处理时牛粪可以不调整 C/N，而猪、鸡粪需要调整碳氮比。调整材料常用高 C/N 的稻壳 (C/N 为 70 : 1)、菇类废弃木屑 (C/N 为 57 : 1) 以及木屑 (C/N 为 298 : 1)

等物质。如以稻草类为主体，可配合含氮较高的鸡粪、猪粪、豆粕、鸟粪等；如以猪粪类碳氮比低者为主体，则选择碳氮比高的木屑、废弃菇类堆肥，谷壳等作为配合材质。但无论任何材料，都应以来源丰富、容易获得、成本低廉为原则。

### （三）假堆

通常碳氮比高的有机材料，其材质都较坚硬且容积密度低。在混合材料堆积前需事先单独加水使其纤维软化，容积密度增大，以利后续堆积发酵，称做假堆。

### （四）混合及水分控制

先将粪便风干至水分达 30%~40%，将粪便与稻草（切碎）等膨松物按质量 100:10 混合，每 100kg 混合肥中加入 1kg 催熟粉，充分拌和均匀，堆肥材料经过充分混合均匀有利于发酵。如为了省工，可采用混层堆积，即一层含碳较高的有机材料厚约 30cm，再添加一层含氮高的材料（禽畜粪便）厚约 4~5cm，层层混合即可。堆肥材料混合的同时，可以适当地调整含水量至 60%。此种含水量时，以手紧握堆积材料则水能沿指缝点滴成型，或用棍棒插入堆积材料中，棍棒拔出时棍棒端湿润。水分含量不足时，添加水分时需注意不要让肥水流失，以免损失肥分，应经由肥水沟收集后重新加入堆肥中。堆积材料水分含量过多可加木屑、谷壳等调整。

### （五）堆积

根据堆肥的温度变化，可以判定堆肥发酵的腐熟程度。当气温 15℃ 时，堆积后第 3 天堆肥表面以下 30cm 处的温度可达 70℃，堆积 10 天后可进行第 1 次翻混，翻混时，堆肥表面以下 30cm 处的温度可达 80℃，几乎无臭。第 1 次翻混后 10d，进行第 2 次翻混，翻混时，堆肥表面以下 30cm 处的温度为 60℃。再隔 10d 后，第 3 次翻混时，堆肥表面以下 30cm 处的温度为 40℃。翻混后的温度为 30℃、水分含量达 30% 左右之后不再翻混，等待后熟。堆积的体积越大，越容易发热升温，但在初期 60℃ 以上的高温期需维持 7~14d，这种高温，可把粪便中的虫卵和杂草种子等杀死，大肠杆菌也可大为减少，达到有机肥无害化处理的目的。此后，应调整到

50~60℃，其方法为加强翻堆及通气，以散去发酵热能，否则温度过高，堆肥分解发酵周期将延长，而且容易损失氮成分。堆积的体积过小，温度不易升高，不能达到杀菌及发酵的目的。一般堆肥堆积高度不宜超过 1.5 米，堆积的体积则应视气候条件及通气设备来考虑，温度将是很好的参考指标，在气温低及有通气设备时，可酌量增加堆积的体积。

#### (六) 覆盖

覆盖的目的在于防止水分散失、保温，使堆肥水分及温度均匀分布，而且有促进发酵的作用。其次，覆盖也可以防止蚊虫产卵、病原菌和杂草种子侵入，以维持堆肥品质。覆盖物的材质以麻布类稍具通气性者为上品，其次为稻草、秸秆类、草席等，塑料布仅适于户外防雨使用。

#### (七) 摊开（后发酵）

后熟一般 3~5d，最多 10d 即可。后熟完成，堆肥即制成。当堆肥发酵温度降至 40℃左右，即使翻堆也不再升温，且堆肥色泽变黑，没有臭味，材质脆软，可将堆肥摊开呈高约 20~40cm 平铺状。此时微生物转为低温后发酵作用，堆肥成分趋于稳定腐熟。同时可让水分自然蒸发，以减少日后搬运的质量。

### 四、堆肥化设备

对微生物而言，堆肥化设备是为其提供生长的环境。最主要的控制因子为通气状况，由机械设施使微生物维持在好氧状态下，以提高堆肥化效率，使生产过程更为经济有效。若将堆肥化设施视为一个生产单元，则其操作过程包括进料及出料方式、物料停留时间、停留时间内堆制物料理化性质的变化是影响物料变化的因素等。

堆肥化设施由传统的野积式已发展出许多快速的槽式堆肥设备，当然每种设备都有其优缺点。但是，从处理废弃物的观点看，其设备应有别于以生产商业化堆肥产品为目的的设备，即除品质需符合市场需求外，对生产成本的控制及二次污染防治措施更是重要。因此，应根据所在区域的环境条件，因地制宜地选择适合的堆

肥设施。

堆肥化设施大致可分为传统式（野积式）、通气静堆式及槽式三类：前二者的区别在于堆肥化过程空气提供的方式不同，野积式主要由堆积体的表面或人工翻堆来提供好氧微生物所需的氧气，其效率较低；而通气静堆式则是由通气系统和翻堆机械强制性地提供氧气；槽式是一种堆肥化设备，堆肥化过程的操作过程（进出料的方式、通气量等）由设备组件来控制，可算是半自动化生产设备（因整个生产流程尚需包括前段物料调整及后续腐熟等过程）。考虑土地及二次污染等因素，槽式堆肥化设备应该是未来发展的趋势。

五、堆肥品质检定的标准

有机质肥料因其材料来源和种类差异，品质参差不齐。我国到目前为止，对堆肥尚未制定明确的堆肥标准，但国外及一些地区已有标准。表 4-5 所示为中国台湾的堆肥鉴定标准。

表 4-5 中国台湾堆肥鉴定标准

| 品 名     | 保 证 成 分                                           | 有害成分最高含量/%          | 其他规定事项                      |
|---------|---------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 一般堆肥    | 氮 0.6%、磷酐 0.3%、氧化钾 0.3%。有机质(干重)60%                | 铜 0.01<br>锌 0.08    | 水分 35%以下,沼渣堆肥 40%以下。须经腐熟发酵  |
| 蛋鸡粪堆肥   | 氮 2.0%、磷酐 2.0%、氧化钾 1.0%<br>有机质(干重)40%             | 铜 0.01<br>锌 0.08    | 水分 35%以下<br>须经腐熟发酵          |
| 混合有机质肥料 | 氮及磷酐,或氮及氧化钾含量合计 6.0%。<br>氮、磷酐、氧化钾 1.0%            | 镉 0.00008<br>砷 0.01 | 固态有机质 40%以上<br>水分 35%以下     |
| 树皮堆肥    | 碳量 40%~50%<br>碳氮比(20~40):1<br>阳离子交换容量 60mmol/100g |                     | 电导度 4.0mΩ/cm 以下<br>水分 40%以下 |

六、堆肥的功效

一般施用的堆肥功效如下。

(一) 提供营养

堆肥不仅含有氮、磷、钾、钙、镁、硫等常量营养成分，还含

有铁、锰、铜、锌等微量元素。堆肥与化学肥料有很大的区别，即其肥效是缓效性，连续使用时可产生累积效果。堆肥中的有机物在土壤中慢慢分解而放出养分，在前期耕作期间未能分解而残留的有机物，在后期耕作或翌年继续分解供给养分，因此未分解的有机物可累积在土壤中为作物供营养。

## （二）改善土壤化学性质

- ① 增加土壤有机质。
- ② 调节土壤 pH 值。
- ③ 增强土壤中阳离子交换能量（CEC）。
- ④ 加强土壤螯合作用。
- ⑤ 改善土壤缓冲能力。

## （三）改善土壤物理性质

- ① 改善土壤结构。
- ② 保持土壤水分。
- ③ 涵养土壤氧气。
- ④ 防止土壤冲蚀。
- ⑤ 增强土壤强度。

## （四）丰富土壤生物群落

由于有机堆肥含有丰富和复杂的成分，长期施用于耕作的农田中，可以丰富土壤生物群落，也使生物群落趋向稳定，进而促进土壤中物质循环和能量循环。某些阻碍作物生长的有害物质也较易被分解去除。另外，可以增强生物群落的缓冲能力，防止有害生物（病菌、害虫）的突发增殖。

## 七、堆肥施用原则及方法

不同的堆肥特性或多或少有不同，在施用时的注意事项也不同。只有正确施用堆肥才能发挥其功效，不当的施用可能无法达到应有的效能，甚至会适得其反。堆肥施用原则及方法如下。

- （1）堆肥适宜当基肥
- （2）堆肥应与土壤混合或者用土覆盖施用
- （3）施用量的决定 ①注意经济效益；②堆肥着重土壤改良及

肥效累积；③土壤特性的影响。

## 第四节 粪便饲料化技术

畜禽粪便被用作饲料，即粪便资源的饲料化，是畜禽粪便综合利用的重要途径。

畜禽粪便中含有未消化的粗蛋白、消化蛋白、粗纤维、粗脂肪和矿物质，可作为饲料来利用。畜禽粪便经过适当的处理后可杀死其中的病原菌，便于运输、贮存、改善适口性，提高蛋白质的消化率和代谢能。国外畜禽粪便饲料化已商品化多年，许多加工方法和加工设备已经申请了专利。我国畜禽粪便饲料化研究工作也已开展多年，现在已经有部分地区实现了商品化。

### 一、畜禽粪便饲料化的可行性

#### （一）营养成分

畜禽粪便的营养丰富，但成分是多变的，与动物的种类、大小、年龄生长期，粪便的收集形式、贮存形式、时间长短及所喂养的饲料成分等各种因素有关。据测定，干牛粪含粗蛋白质 10%~20%，粗脂肪 1%~3%，无氮浸出物 20%~30%，粗纤维 15%~30%；干猪粪含粗蛋白质 11%~31%，粗脂肪 2%~9%，维生素 A1600 国际单位/kg，赖氨酸高达 5.2%；干鸡粪含粗蛋白质 15%~30%，粗脂肪 1%~3%，无氮浸出物 20%~30%，粗纤维 10%~16%，各种氨基酸 8%~10%。

#### （二）安全性

畜禽粪便虽然含有丰富的营养成分，但也含有许多有害物质，包括病原微生物（细菌、病毒、寄生虫）、化学物质（真菌毒素、激素、抗生素等各类饲料添加剂）、杀虫剂、有毒金属（铜、汞）等。尽管畜禽粪便可能含有这些有害物质，但各国学者对饲料化的安全性进行了广泛的研究，认为带有潜在危害的畜禽粪便经过适当的处理后，用作饲料是安全的。需注意：在使用畜禽粪便饲料化时，要禁用畜禽处于治疗期的粪便；在动物宰杀前减少饲料的使用量或停用粪便饲料。

(三) 对畜牧产品的影响

实验表明，用份量占日粮 24％的鸡粪喂牛，喂养一定时间后实验组与对照组的日增重量分别为 1.10kg/头和 1.07kg/头，日摄入量的干重为 6.34kg/头和 6.31kg/头，饲料和增重比分别为 6.49 和 7.25。鸡粪不但可以作为羊和奶牛饲料粗蛋白添加成分，而且在奶牛饲料中加入 12％的干鸡粪，可以提高乳汁产量和质量，不影响肉牛的鲜肉等级和风味。

(四) 经济效益

Fontenot 和 Ross 经过分析比较，取得了用畜禽粪便作饲料的经济效益参考值（见表 4-6）。畜禽粪便饲料化相对于其他资源化方式的经济效益最好。畜禽粪便用于生产沼气，其残留物可以作为肥料和饲料，可提高经济效益，但仍不及饲料化的经济效益高。

表 4-6 畜禽粪便不同利用形式经济效益的对照

| 粪 便 种 类 | 收益/元·t <sup>-1</sup> |        |       | 收集粪便费用/元·(1000t) <sup>-1</sup> |         |        |
|---------|----------------------|--------|-------|--------------------------------|---------|--------|
|         | 肥料                   | 饲料     | 沼气    | 肥料                             | 饲料      | 沼气     |
| 肉牛      | 25.06                | 11.814 | 13.37 | 416800                         | 1890240 | 219680 |
| 奶牛      | 17.00                | 118.14 | 12.74 | 348086                         | 2425094 | 259360 |
| 猪       | 18.61                | 136.57 | 17.17 | 103063                         | 756325  | 95087  |
| 蛋鸡      | 36.45                | 155.14 | 17.93 | 118791                         | 505601  | 58401  |
| 童子鸡     | 26.54                | 159.57 | 16.29 | 64598                          | 388393  | 39650  |

二、畜禽粪便饲料化的方法

畜禽粪便饲料化的方法，主要有干燥法、青贮法（无氧发酵法）、有氧发酵法和分离法。

(一) 干燥法

干燥法是饲料化的常用处理方法，尤以鸡粪处理用得最多。干燥法是按照是否加入人为动力可分为：自然干燥法和人工干燥法。

高温干燥法处理禽畜粪便的能源消耗情况见表 4-7。

(二) 青贮法

青贮发酵是一种简便易行且经济效益较高的固体有机废弃物的

表 4-7 高温干燥法处理禽畜粪便的能源消耗情况

| 粪便种类 | 处理速度<br>/kg·h <sup>-1</sup> | 湿 度   |       | 燃料消耗<br>/L·h <sup>-1</sup> | 电消耗<br>/kW·h | 效率/% |
|------|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|--------------|------|
|      |                             | 处理前/% | 处理后/% |                            |              |      |
| 鸡粪   | 155                         | 76.3  | 11.1  | 9.1                        | 4.2          | 71.8 |
| 牛粪   | 110                         | 82.4  | 12.0  | 9.1                        | 4.2          | 51.6 |
| 猪粪   | 100                         | 72.2  | 12.5  | 9.1                        | 4.2          | 44.1 |

处理方法。联合国粮农组织认为，青贮是很成熟的畜禽粪便加工方法，可防止粗蛋白的损失，杀灭几乎所有的有害微生物。畜禽粪便青贮饲料，是把畜禽粪便单独或与其他青绿饲料（秸秆、蔬菜、糠麸等）采用青贮技术保存饲料中主要营养成分的一类饲料。其主要原理是利用畜禽粪便和青绿饲料厌氧发酵过程中产生的大量乳酸菌，降低饲料酸碱度，抑制或杀死青贮材料中的其他微生物繁殖，从而达到保存饲料营养成分的目的。可以平衡全年的饲料供应。

(三) 有氧发酵

该方法投资少、改变了粪便本身的许多特点，产品适合于作动物的饲料。在处理过程中，需要充气、加热、产品干燥，所以消耗大量的能源。

(四) 分离法

目前，许多牧场采用冲洗式的清洗系统（尤其是猪场），收集的粪便大多是液体或半液体。若采用干燥法、青贮法处理粪便，消耗能源过大，造成资源的浪费。采用分离法，就是选用一定的冲洗速度，筛选，将畜禽粪便中固体和液体部分分离开，可以获得满意结果。过筛的猪粪含有 11%~12% 的粗蛋白，近 75% 是氨基酸，50% 的能量是消化能，46% 是代谢能。在怀孕期的母猪，日粮的 60% 的干物质可用这种饲料代替。用这种饲料喂牛，其干物质、有机物、粗蛋白和中性纤维，比高质量的玉米青贮饲料中相应的成分的消化率高得多。

第五节 粪便燃料化技术

目前，国内外的畜禽粪便燃料化途径主要有沼气处理法和直接

焚烧法两种。

沼气法处理畜禽粪便的原理是利用受控制的厌氧细菌的分解作用，将有机物（碳水化合物、蛋白质和脂肪）经过厌氧消化作用转化为沼气和二氧化碳。沼气法是一种多功能的生物技术，能够建造良性的生态环境，治理污染，开发新能源，并为农户提供优质无害化的肥料，取得综合效益。沼气法不但适于畜禽的工厂化大规模生产，而且对于家庭的小规模养殖也非常有效。

焚烧法是废弃物热处理中最重要的方法，它是使可燃性废弃物在高温下与氧气发生反应，将废弃物转变成气体，同时可以利用燃烧产生的热量进行发电。这一技术在我国主要是用于生活垃圾的处理，很少用于畜禽粪便处理，但在国外的养殖业中有一定的应用。

## 一、沼气法

### （一）系统组成

#### 1. 前处理系统

前处理系统主要由固液分离、pH 值调节、料液设计等单元组成，作用在于除去粪便中的大部分固形物，按工艺要求为厌氧消化系统提供一定量、一定酸碱度的发酵原料。

#### 2. 厌氧消化系统

厌氧消化系统的作用，是在一定温度、一定时间内将输送的液料通过甲烷细菌的分解进行消化，同时生成沼气的主要成分——甲烷。



发酵温度一般分为常温、中温和高温。其中常温发酵不需要对消化罐进行加热，投资小、节能、运行费用低，但沼气的产量低，有机物的去除和发酵速率也较低，适于长江以南的地区；高温发酵需对消化罐进行加热，温度一般为  $55\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，具有产气量大、发酵周期短及环卫效果好的优点。相应的缺点是投资大、耗能高和运行费用高。目前主要用于处理城市粪便；中温发酵可根据我国南北气候的变化对发酵罐进行适当的加热，温度控制为  $28\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。由

于中温发酵兼顾常温发酵和高温发酵的一些优点，是目前大多数畜禽粪便处理优先采用的一种方法。

3. 沼气输配及利用系统

沼气输配及利用系统，主要包括沼气净化系统（脱硫、脱水）、沼气贮存、运输管道、居民生活或生产用燃气等单元组成。

4. 有机肥生产系统

该系统是将前处理分出的粪渣和消化液沉淀的有机污泥混合，然后加工成商品有机肥料的系统。该系统主要有腐熟、烘干、造粒、包装等单元，可以根据有机肥市场的某些环节进行适当筛选。

5. 后消化液处理系统

这一系统是保证厌氧发酵后的消化液最终能达到国家和地方的排放标准，或者能在一定的范围内自行受纳利用，对外实现零排放的系统。根据目的不同可分为生态型和环保型两种。

(二) 利用模式

1. 生态型

(1) 工艺流程如图 4-2 所示。

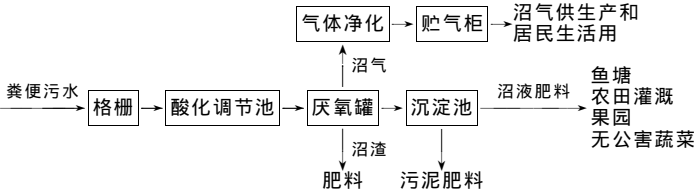


图 4-2 生态型模式工艺流程

(2) 工艺适用条件

- ① 日处理粪便污水量 50t 以下，如年出栏量 15000 头以下的养猪场。
- ② 养殖场周围应有较大规模的鱼塘、农田、果园和蔬菜地，供沼液、沼渣的综合利用。
- ③ 沼气用户距养殖场较近（<2000m）。

(3) 工艺特点

① 畜禽粪便污水可全部进入处理系统，进水  $BOD_5$  为  $8000\sim 10000\text{mg/L}$ ， $COD_{Cr}$  为  $10000\sim 20000\text{mg/L}$ 。

② 厌氧工艺可采用全混合厌氧池、厌氧接触反应器（ACR）、升流式污泥床反应器（UASB）。有机负荷  $COD_{Cr}$  为  $1\sim 2.5\text{kg}/(\text{m}^3\cdot \text{d})$ ，发酵反应时间（HRT）= $8\sim 10\text{d}$ ，池容产气率  $0.6\sim 1.0(\text{m}^3\cdot \text{d})$ ，厌氧出水  $COD_{Cr}$  为  $1500\sim 3000\text{mg/L}$ ，COD 去除率为  $75\%\sim 85\%$ 。

③ 沼气利用方式为小规模集中管网供气。

④ 沼液、沼渣进行综合利用，建立以沼气为纽带的良性循环的生态系统，提高沼气工程的综合效益。

（4）工程规模及投资分析

工程规模及投资分析见表 4-8。

表 4-8 工程规模及投资分析（以养猪场为例）

| 规模/头 | 日处理粪便污水/( $\text{t}\cdot \text{d}^{-1}$ ) | 厌氧罐规模/ $\text{m}^3$ | 综合利用配套面积/亩农田、鱼塘和果园 | 日产沼气量/( $\text{m}^3\cdot \text{d}^{-1}$ ) | 工程投资/万元 |
|------|-------------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------------|---------|
| 1000 | 10                                        | 100                 | 5.4                | 100                                       | 10      |
| 3000 | 30                                        | 300                 | 16.6               | 250                                       | 25      |
| 5000 | 50                                        | 500                 | 26.6               | 400                                       | 45      |

（5）优缺点

① 工艺简单，管理、操作方便。但工艺处理单元的效率不高。

② 沼气的可获得量高，但处理后的沼渣浓度仍很高，就地消化综合利用时配套所占用的土地面积大。

③ 工程投资少，运行费用低，投资回收期较短。

2. 环保型

（1）工艺流程如图 4-3 所示。

（2）工艺适用条件

① 日产生污水量  $50\sim 1500\text{m}^3$ ，甚至更大的养殖场。如年出栏  $5000\sim 100000$  头的猪场，以及  $100000$  头以上的猪场。

② 污水排放要求高的地区，如城市近郊的养殖场、饮用水源区域等。

（3）工艺特点

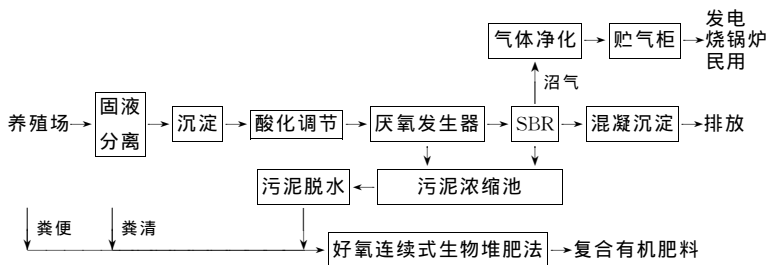


图 4-3 环保型模式工艺流程

① 养殖场必须实行严格清洁生产、干湿分离，畜禽粪便直接用于生产有机肥料，只有畜禽舍冲洗污水和尿进入处理系统。进水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  5000~12000mg/L， $\text{NH}_3\text{-N}$  为 500~1000mg/L。

② 污水必须先进行预处理，强化固液分离、沉淀，严格控制  $\text{BOD}_5$  ( $<5000\text{mg/L}$ )。

③ 厌氧工艺可采用 USAB，COD 负荷为  $2.5\sim5\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ， $\text{HRT}=3\text{d}$ ，COD 去除率 80%~85%，池容产气率  $1.0\sim1.2\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，厌氧出水 COD 为 750~1800mg/L。

④ 好氧处理工艺采用 SBR 反应器，在去除 COD 物质的同时，具有除磷脱氮效果。一般设 2 个以上反应器，交替曝气运行，每个周期有进水、曝气、沉淀、滗水、闲置 5 个过程，每个周期一般 8h， $\text{HRT}=2\sim3\text{d}$ ，污泥负荷  $\text{BOD}_5=0.08\sim0.15\text{kg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ，容积负荷  $\text{BOD}_5=0.2\sim0.5\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ，COD 去除率 90%~95%，氨氮去除率 95% 以上。此外，该工艺自动化程度要求高，工艺运行参数可视实际情况灵活调整。

⑤ 混凝沉淀出水  $\text{COD}\leq150\text{mg/L}$ ， $\text{NH}_3\text{-N}\leq25\text{mg/L}$ ，达到《污水综合排放标准》(GB 8978—96) 的二级排放标准。出水经消毒处理后可作农田、果园和绿化灌溉用水。

⑥ 厌氧、好氧产生的污泥，经浓缩、机械脱水压成含水率为 75%~80% 的泥饼，可用于制作有机肥或作为菌种出售。

⑦ 沼气利用方式为用作发电、燃烧锅炉或进行肥料烘干。

⑧ 有机肥的生产应优先采用好氧连续式生物堆肥工艺。

(4) 工程规模及投资分析

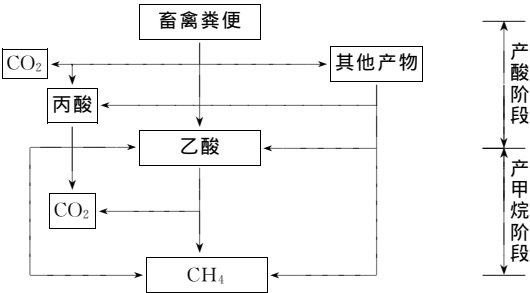
工程规模及投资分析见表 4-9。

表 4-9 工程规模及投资分析（以养猪场为例）

| 规模/头  | 日处理污水<br>/(t·d <sup>-1</sup> ) | 厌氧罐规模<br>/m <sup>3</sup> | SBR 反应器<br>/m <sup>3</sup> | 日产沼气量<br>/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) | 工程投资<br>/万元 |
|-------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|-------------|
| 10000 | 80~100                         | 240~300                  | 250~300                    | 360                                          | 120~150     |
| 15000 | 120~150                        | 360~450                  | 400~450                    | 540                                          | 180~220     |
| 20000 | 160~200                        | 500~600                  | 550~600                    | 720                                          | 250~300     |
| 40000 | 300~400                        | 900~1200                 | 1000~1200                  | 1500                                         | 300~350     |
| 60000 | 450~500                        | 1200~1500                | 1400~1500                  | 1800                                         | 400~500     |
| 80000 | 600~800                        | 1800~2400                | 2200~2400                  | 3000                                         | 600~700     |

(5) 优缺点

- ① 沼气回收与污水达标、环境治理结合得较好，适用范围广。
- ② 工艺处理单元的效率，工程规范化，管理、操作自动化水平高。但管理、操作技术要求高，工程投资较大，运行费用相对较高。
- ③ 对 COD、NH<sub>3</sub>-N 的去除率高，出水能达标排放。
- ④ 有机肥料开发充分，资源得到综合利用。
- ⑤ 对周围环境影响小，没有二次污染。



二、畜禽粪便褥草的焚烧处理

焚烧法在国外的畜禽粪便处理中有一定的应用，在国内主要用

于焚烧垃圾，可作为我国畜禽粪便处理方法的一个参考。

(一) 直接焚烧法

畜禽粪便褥草来自肉用畜禽的半自动养殖禽舍，是木刨花、稻草和畜禽粪便的混合物。木刨花和稻草可以助燃并可控制水分含量。利用负压可以将贮存装置中气味的散发减少到最低限度。通过分步壁炉系统将燃料加入到锅炉中，加入的燃料要保证材料，在850℃下有2s的滞留时间，从而杀死病原菌和防止气味散发。用搬运系统将褥草装入以前，先将其混合均匀。燃料由分步壁炉系统进入到熔炉中。焚烧以后，利用静电除尘器来保证低空粉尘排放。由于新鲜畜禽粪便含有大量的水分和有机物（蛋白质、氨基酸等），当用传统的焚烧炉系统时可能会引起一系列问题，因而焚烧温度、空气混合物以及水分含量必须控制在焚烧装置最有效和最适范围内。这个过程产生灰残留物，其主要成分是褥草和畜禽粪便中存在的磷酸盐和碳酸钾。

Fibroower、Page 和 Allen 于 1993 年 11 月在英国的 Eye 正式开通了他们的畜禽粪便褥草燃烧发电工厂，它是世界上第一个这种类型的商业工厂。工厂总产电量为 14MW。图 4-4 所示为以畜禽粪便褥草为燃料的发电厂系统流程。

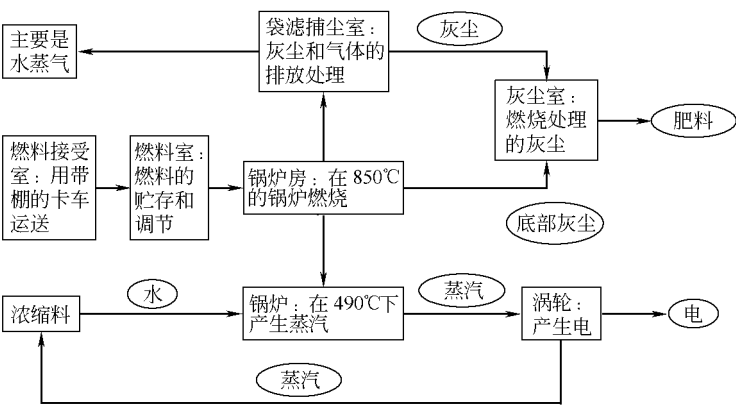


图 4-4 以畜禽粪便褥草为燃料的发电厂系统流程

(二) 流化床焚烧法

畜禽褥草燃烧的另一种方法是流化床焚烧法。流化床有 3 种主要的类型：沸腾床、湍流床和循环床。循环流化床锅炉是最有前途的城市生活垃圾焚烧装置。焚烧所需要的主要气体都是从底部的沙床吹入的，气流的调整是通过沙微粒的流化实现的，利用旋风器使沙微粒再循环进入床中。流化床发生器有利于分散进入的燃料，燃料很快被加热到着火点，并且有充足的时间滞留于反应器中被充分焚烧。流化床的结构比较紧凑，而且具有高的贮热能力和高的热转化效率，所以可以使不易燃烧的废弃物迅速燃烧。应用时应控制最低限度的燃料水分含量，这对所有的焚烧技术都是有益的。

第六节 鸡粪资源化技术

一、鸡粪成分

鸡饲料的营养很高，而鸡无牙齿，消化道短、消化吸收能力较差，导致鸡饲料 40%~70% 营养成分被排出体外。鸡粪所含化学成分或营养成分受多种因素的影响。一般情况下，在营养价值上，雏鸡粪高于成年鸡粪，肉鸡粪高于蛋鸡粪。表 4-10 和表 4-11 列出了鸡粪与常规饲料的营养及其他粪便成分的对比值（引用华南农业大学动物营养研究室的报道）。可见，鸡粪的营养成分高于大麦和玉米，鸡粪的肥料成分也高于其他畜禽的粪便。

表 4-10 鸡粪与常规饲料营养成分对比/%

| 项 目 | 粗 蛋 白 | 粗 脂 肪 | 无氮浸出物 | 粗纤维  | 粗灰分  | 钙    | 磷    |
|-----|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 大鸡粪 | 24.1  | 4.9   | 35.2  | 9.8  | 20.5 | 3.80 | 1.16 |
| 小鸡粪 | 30.8  | 2.8   | 37.5  | 10.9 | 18.0 | 3.88 | 2.05 |
| 肉鸡粪 | 29.9  | 3.8   | 29.5  | 16.8 | 15.0 | 2.8  | 1.8  |
| 米糠  | 15.3  | 19.1  | 47.7  | 8.6  | 7.61 | 0.11 | 1.51 |
| 麦麸  | 16.7  | 4.75  | 63.4  | 8.55 | 5.48 | 0.09 | 1.01 |
| 玉米  | 9.6   | 4.2   | 82.4  | 1.98 | 1.54 | 0.9  | 0.31 |

表 4-11 鸡粪与其他粪便主要成分对比/%

| 粪 类 | 全氮 N | 全 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 全 K  |
|-----|------|---------------------------------|------|
| 蛋鸡粪 | 3.66 | 5.30                            | 2.57 |
| 肉鸡粪 | 4.29 | 2.26                            | 1.78 |
| 鸭粪  | 2.33 | 3.00                            | 2.00 |
| 鹅粪  | 2.08 | 2.08                            | 3.75 |
| 牛粪  | 1.77 | 1.00                            | 0.59 |
| 马粪  | 1.67 | 1.25                            | 1.67 |
| 猪粪  | 2.50 | 2.00                            | 2.50 |

鸡粪中有撒落的鸡饲料、皮屑、羽毛、少量的破蛋液以及未消化的饲料和没有吸收的营养成分。在鸡粪中干物质粗蛋白占 24.1%~30.9%，其中有 1/2 以上是尿酸、尿素、肌酸等非蛋白氮以及鸡粪本身含有的粗纤维和垫草中的大量粗纤维。对于这些物质，鸡、猪都不能利用，而牛、羊等反刍动物瘤胃内共生有数以亿万计的微生物，能利用这些非蛋白氮合成微生物蛋白，这些微生物蛋白在肠道能有效地为牛、羊等反刍家畜利用；瘤胃内微生物能分解纤维，提供牛的生命活动所需的 20% 左右能量。

此外，鸡粪还含有大量的钙、磷等常量元素，铁、铜、锌、镁等微量元素以及维生素 B<sub>2</sub>、胆碱、维生素 B<sub>12</sub> 等多种维生素。据测定，鸡粪每千克干物质含有消化能 10080kJ、代谢能 8820 kJ，而优质青干草中，每千克的能量为 7140kJ，远低于鸡粪。可见，鸡粪可作为牛、羊的蛋白质补充饲料和能量饲料加以利用。具体的鸡粪营养成分，见表 4-12。

## 二、鸡粪饲料化

### (一) 饲料化方法

#### 1. 干燥处理法

鸡粪的干燥方法基本与前面介绍的方法相同。

#### 2. 发酵处理法

发酵处理比干燥处理具有省能源、成本低、易推广的优点，同时也可以达到灭菌、去臭的目的。

#### 3. 化学处理法

表 4-12 鸡粪营养成分

| 名 称    | 检 测 结 果 | 名 称                    | 检 测 结 果 |
|--------|---------|------------------------|---------|
| 粗蛋白/%  | 31.52   | 亮氨酸/%                  | 0.82    |
| 谷氨酸/%  | 1.58    | 苯丙氨酸/%                 | 0.52    |
| 丝氨酸/%  | 0.32    | 赖氨酸/%                  | 0.60    |
| 甘氨酸/%  | 2.30    | 天冬氨酸/%                 | 1.0     |
| 组氨酸/%  | 0.27    | 粗脂肪/%                  | 2.40    |
| 精氨酸/%  | 0.64    | 粗纤维/%                  | 10.03   |
| 苏氨酸/%  | 0.38    | 粗灰分/%                  | 18.02   |
| 丙氨酸/%  | 0.72    | 氮/%                    | 5.04    |
| 脯氨酸/%  | 0.32    | 总磷/%                   | 0.90    |
| 缬氨酸/%  | 0.64    | 钾/%                    | 1.30    |
| 蛋氨酸/%  | 0.22    | 有机物/%                  | 60.70   |
| 胱氨酸/%  | 0.16    | 霉菌总数/个·g <sup>-1</sup> | <100    |
| 异亮氨酸/% | 0.46    | 沙门菌/个·g <sup>-1</sup>  |         |
| 酪氨酸/%  | 0.32    | 大肠杆菌/个·g <sup>-1</sup> | <30     |

将鸡粪晾干，然后加入福尔马林、硫酸等化学药剂，处理24h，再晾干后即可。

#### 4. 热喷处理法

这种处理方法类似“爆米花”。先将鸡粪晾干，注入热喷机中，喷放后粉碎包装。具有消毒、除臭、膨松、味香等优点。

### (二) 鸡粪饲料的应用

#### 1. 应用方面

##### (1) 产蛋鸡

在配合料中占10%~15%，可提高夏季鸡蛋的蛋壳强度，明显降低夏季鸡蛋的破损率和无壳蛋的数量，加深蛋壳的色泽。长期使用未见不良反应。

##### (2) 育成鸡

以鸡粪再生饲料作为惟一蛋白质饲料时，可在配合料中占20%~25%。应在配合料中添加约0.05%蛋氨酸和0.05%赖氨酸，否则在6~12周龄内的育成鸡会出现喙羽问题。12周龄以上的育成鸡则不必另外加入氨基酸。

### (3) 雏鸡

可在配合料中占 10%~15%。经试验,在整个育雏期,不添加抗球虫药的情况下,未发现因球虫病死亡的雏鸡。但为保证安全性,建议在 7 周龄以内的雏鸡料中加入预防量的抗球虫药。

### (4) 牛、羊

在精饲料中可占 45%左右,其余为能量饲料和矿物质及维生素、自由采食秸秆及青干草。经屠宰检查,未发现胃肠道被毛团阻塞的情况。牛、羊饲喂鸡粪发酵饲料,需要经过一段时间的适应,才能达到较高的采食量。

### (5) 猪

用蛋鸡粪生产的再生饲料喂量应少些,以避免饲料中钙含量太高。用量范围大约为 15%~25%,用量过大,可能会因饲料中矿物含量过高而造成粪便变稀,严重时可导致腹泻。

## 2. 鸡粪再生饲料的益处

### (1) 丰富的 B 族维生素

由于微生物的繁殖,合成了大量的 B 族维生素,对畜禽可起到补充维生素和增加抗病力的作用, B 族维生素对提高蛋壳的色泽有明显作用。日晒干燥的鸡粪再生饲料还含有维生素 D<sub>3</sub>,能增强蛋壳强度,提高蛋品质量。

### (2) 可能含有抗生素

真菌群落的繁殖过程,可能会产生一定量的抗生素,有利于防治畜禽疾病,促进畜禽生长,减轻夏季蛋鸡的腹泻。

### (3) 大量的挥发性脂肪酸

微生物的产酸作用,使鸡粪再生饲料中含有大量的脂肪酸,有利于防止配合饲料的霉变。配合料中加入有上述鸡粪再生饲料时,即便是在含水较高的情况下,也不容易发生霉变。所以,这种鸡粪再生饲料有可能成为一种新型的保质剂。

### (4) 具有与动物性饲料相似的特征

鸡粪再生饲料虽然不属于动物性饲料,但由于鸡粪中含有一定量的鸡消化道的黏液、消化道上皮细胞,以及丰富的 B 族维生素,

所以使其具有部分与鱼粉等动物性饲料相似的功能。

#### (5) 消化酶群

由微生物产生大量的酶类，如蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等，能提高畜禽对饲料的消化能力。

### 三、鸡粪肥料化

鸡粪中含氮约 4%、磷 1.54%、钾 0.08%，是非常适合植物生长的优质有机肥。据测定，1 吨鸡粪垫料混合物大约相当于 160kg 硫酸铵，150kg 过磷酸钾和 50kg 硫酸钾。在土壤中施用鸡粪加工成的有机肥后，可以促进土壤微生物的活动，改善土壤结构，减少水土流失。因此，鸡粪肥料广受欢迎。

鸡粪可直接用作有机肥料，但由于未经处理的鸡粪中的肥料成分不易为作物吸收，因而直接使用浪费较大。现主要介绍用鸡粪造生态有机肥的技术和方法。

#### 1. 设备

需要搅拌机 1 台，堆放肥料的厂房若干平方米，一些覆盖肥料发酵的旧麻袋片若干。具体操作在简易水泥地面上进行。

#### 2. 原料

以生产 1t 鸡粪为例，需鸡粪 1t，秸秆粉 0.3t，玉米面 5kg，菌种 8kg。

#### 3. 工艺流程

鸡粪+秸秆粉+玉米面+菌种→搅拌→堆制→配肥→晾干→包装→出厂

先将鸡粪与适量秸秆粉掺和，掺入多少视鸡粪含水量而定，一般发酵要求 45% 的含水量，相当于手捏成团，手指缝见水，但不滴水，松手一触即散的情形。然后添加玉米面和菌种，玉米面的作用是增加糖分，供菌种发酵用，使多维复合酶菌很快占绝对优势。

再将配好的混合料加入搅拌机进行搅拌，搅拌一定要匀、要透，不留生块。搅拌好的配料堆成宽 1.5~2m、高 0.8~1m 的长条，上面覆盖麻袋片进行好氧发酵堆制。堆制过程可概括为“一天升温、两天无臭、三天松散、四天变香、五天成肥”。具体讲就是，

堆制第一天温度可达 60～80℃，杀死大肠杆菌、虫卵等病虫害；第二天消除了鸡粪的臭味；第三天堆肥变得松散干爽，长满白色菌丝；第四天发出一种酒曲香味；第五天菌肥便发酵成熟，稍加晾干便可装袋出厂。

此种绿色生态有机肥是以鸡粪和农作物秸秆为主原料，应用多维复合酶菌进行发酵生产而成。多维复合酶菌是由能产生多种酶的耐热性芽孢杆菌群、乳酸菌群、双歧杆菌群、酵母菌群等 106 种有益微生物组成的微生态发酵制剂，对人畜无毒、无污染，使用安全，能固氮、解磷、解钾，同时分解化学农药及化肥的残留物质，对种植业和养殖业有增产、优质、抗病的作用。如果再有针对性地配以不同元素，便会形成蔬菜、花卉、果树、粮棉油等各种作物的系列专用肥。

## 第七节 猪粪资源化技术

### 一、猪粪成分

随着养猪业生产的集约化、规模化和化肥的广泛使用，猪粪便的污染逐渐成为了问题。为了扭转这一趋势，就需要将猪粪便当作是一种可有效管理和充分利用的资源，这样既可减少化肥的投入，同时又可防止环境污染。表 4-13 和表 4-14 分别显示了猪排泄物和猪粪的成分。猪粪的营养成分虽没有鸡粪含量高，但仍然具有较高的资源化价值。

表 4-13 猪排泄物的成分

| 种类 | 水分/% | N/%  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /% | K <sub>2</sub> O/% | CO <sub>2</sub> /% | MgO/% | T-C/% | pH 值 |
|----|------|------|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|------|
| 猪粪 | 69.4 | 1.09 | 1.76                             | 0.43               | 1.35               | 0.50  | 13.0  | 6.6  |
| 猪尿 | 98.0 | 0.48 | 0.07                             | 0.16               | 0.24               | 0.04  | —     | 7.6  |

表 4-14 猪粪的成分

| 项 目 | 粗蛋白<br>/% | 真蛋白<br>/% | 粗纤维<br>/% | 其他浸<br>出物/% | 可消化能<br>/kg·g <sup>-1</sup> | 总消化氮<br>/% | Ca/% | P/%  |
|-----|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------------------|------------|------|------|
| 含量  | 23.5      | 15.6      | 14.8      | 8           | 160.3                       | 15.3       | 2.72 | 2.13 |

同前一节所介绍的鸡粪利用方式一样，猪粪同样可用作饲料、肥料、燃料等资源化的再生，而且制作方法如干燥法、青贮法、有氧发酵法等同样适用于猪粪。但由于猪粪的理化性质与鸡粪的差异，在利用方式上有自己的特点。

我国的养猪业目前仍以农户散养为主，尽管生产水平较低，却可做到粮食就地转化、粪污就地消纳，却是一种较原始、功能稳定、和谐的生态系统。猪粪的利用主要是表现在生态工程效应上。

## 二、“猪乐菌”垫床法积肥

刮粪再用水冲猪栏和人工垫圈是中国传统养猪积肥的两种形式：前者被现代化大型猪场采用，所不同的是用机械代替人工操作；而垫床（圈）法由于劳动强度大，自动化程度低，又存在臭味和垫料污染等问题，已逐渐被人们摒弃。上海农科院研究出了“猪乐菌”，使垫圈积肥重放异彩。该垫圈法操作简单：猪舍内铺垫干木屑、麦秸、稻秆等厚约 60cm，每平方米撒入“猪乐菌” 50g，适当洒水，然后将猪赶入饲养。以后每周撒“猪乐菌”一次，每次 5g/m<sup>2</sup>。肥猪喂食、饮水及通风和采光，与水冲式猪舍相同。肥猪出栏时可一次清除垫料，也可将表层 20～30cm 垫料替换后继续养猪。

据北京、上海等地试验，该积肥法与水冲积肥比较，有以下优点。

① 省饲料，增重快。平均日增重提高 13.01%，料肉比下降 8.9%。

② 省工、省水、节电，猪场总用水量下降 99.4%。

③ “猪乐菌”可抑制或杀死有害细菌。在不再消毒的情况下，猪发病率下降 90%。

④ 猪舍无蝇无臭。

⑤ 垫料含氮量是鲜猪粪的 3～5 倍。

“猪乐菌”——垫床养猪法，还存在猪舍改造、菌剂批量生产和进一步降低菌剂成本、需求大量的垫料（木屑）和雨季垫料返潮等问题。

### 三、生态养猪法

生态养猪业是随着工厂化、规模化养猪业发展而形成的一种跨学科行业，它涉及到养猪学、环境卫生学、生物学、农作物栽培学、农机工程学、动物营养学与土壤学等学科。它是以养殖业为主体进行开发，利用粪尿的科学处理，结合不同动物种类对食物和环境条件的需求差，进行合理的搭配、组合，实行相互利用、相互促进，低投入、高产出、少污染的良性循环的生态养猪系统工程。生态养猪法主要有以下几种类型。

#### (一) 养养结合型

养猪—养鱼，是利用养猪废弃物和猪粪尿换取鲜鱼的模式。一般养一头 90kg 肉猪，约产生猪粪尿及污水 2500kg，每 40kg 猪粪尿可养出 1kg 鲜鱼，如果全年饲养 6~7 头肉猪，即可产 400kg 鲜鱼，此类模式的鱼产量主要是指滤食性鱼类。如果挖掘池塘生产潜力，还可增放其他吞食性鱼类，增加青精饲料，达到精养高产的目的。另外，猪粪尿厌氧发酵产生沼气，沼气燃烧可产生热能，沼渣可作为养殖业饲料等。

##### 1. 利用沼水、沼渣养鱼

例如，北京某猪场在 40hm<sup>2</sup> 水塘内进行了养鱼试验，头年春天开始挖泥清塘，放入井水，同年 7 月中旬将草鱼、白鲢鱼苗 6000 尾放进鱼塘，每天用 3~4kg 沼渣喂鱼 2 次，同时还掺一些清扫料库的下脚料均匀撒入鱼塘。沼水每周放 1~2 次，约 500kg。到次年 1 月底第 1 次捕捞测重，鱼苗长到 200g/尾；次年 11 月份第 2 次测重时，草鱼已长到 450g/尾，鲢鱼已长到 250g/尾~300g/尾；次年 11 月底至第三年 3 月底，停止喂食。待第三年 6 月第 3 次捕获测重时，草鱼重达到 600g/尾~650g/尾，鲢鱼重 400g/尾~450g/尾。在放养期间，水质一直很好，没有发现畸形鱼或死鱼现象。试验证明，养鱼是解决沼水、沼渣的一条重要渠道。

##### 2. 利用沼渣养蚯蚓

如某猪场利用 20 公顷地用沼渣养蚯蚓，养殖量由最初 2500 条发展到 1.3 亿条左右（一般 1 条蚯蚓可以繁殖出幼蚓 500 条/a~

1000 条/a)。特别是鲜蚯蚓干基的营养丰富,粗蛋白质 55.26%,钙 0.4%,磷 0.83%,氨基酸含量高,是高质量的蛋白质饲料。

### 3. 利用沼水、沼渣做肥料

某猪场利用沼水、沼渣混合物做肥料,种植黄芪、木香、金银花、盆栽串红,经 1 年栽培,枝繁叶茂,并且没有病虫害现象发生。实践证明,沼肥是一种高效有机肥,因为沼肥中除含有丰富的氮元素外,还含有磷、钾及植物生长所需要的微量元素,对植物有较大的促进生长作用。特别是经厌氧处理后的沼肥,无臭味、无致病菌、不生蛆、不招蚊蝇,使用方便。由于肥效高,还可作为花卉肥料进入市场。

## (二) 养种结合型

养种结合是利用养猪业与种植业有机地结合形成食物链,提高物质良性循环和转化速度。当猪粪尿渗透进入土壤时,借着生物作用使粪污中某些有机物被微生物分解,经过土壤的物理作用过滤除去细菌,而化学作用可使某些物质被氧化去除。

如果是田间处理猪粪尿需掌握如下 3 条原则。

- ① 不影响作物生长。
- ② 不因为长期施用而劣化土壤。
- ③ 不污染水源和空气。

养种结合型的模式很多,概括为养猪-种水稻;养猪-种旱田粮食作物、蔬菜等;养猪-种果树;养猪-种植树木;养猪-利用猪粪尿加工成各种有机肥料。这些都是低投入可持续农业的有效模式。

## (三) 养种养混合型

### 1. 养-养-种

辽宁省大洼县西安生态养殖场采用这一模式,取得了较好的效果。该场位于辽河下游,有涝洼盐碱地 47hm<sup>2</sup>,养猪 5000 头,创造了三段净化(水葫芦塘、细绿萍塘、养鱼塘净化污水)、四步利用(利用污水生产水葫芦、细绿萍等水生饲料、养鱼及种稻)净化和利用猪粪的方法,取得了较好的环境经济效益。既充分利用了 10hm<sup>2</sup> 水生饲料塘和 2.7hm<sup>2</sup> 鱼塘中的植物、动物、微生物净化粪

尿污水，又使污水中氮、磷等得到多层次利用。该处理方法的优点是工程造价低，投资省，经济效益高，环境效益好。缺点是工程占地面积大，水资源消耗多。但对于坑塘洼地多的地区来说，仍是一种经济与环境协调发展的好途径。

## 2. 养-种-养

该模式较成熟的应用是用猪粪尿肥田种植粮食，利用粮食作物开发养殖业，这种猪粮结合、相互依赖、相互促进的模式，在我国已有几千年的历史，如今已被更科学地利用，常见的组合如下。

### (1) 养猪-种桑-养蚕-养鱼

利用猪粪尿种桑树，用桑叶养蚕，蚕茧缫丝，蚕沙、蚕蛹养鱼。

### (2) 养猪-种草-养鱼

该模式比直接养鱼产出高。据研究，100kg 猪粪尿直接养鱼，可产滤食性和杂食性鱼 2.5kg；如果用来种草，可产草约 100kg，再用草来养鱼可产草鱼 4kg 以上，滤食性和杂食性鱼 2kg 以上，合计产鱼约 6kg。

### (3) 养猪-种食用菌-加工菌糠饲料

江西抚州地区畜牧良种场利用猪粪栽培食用菌，与利用稻草、棉籽壳栽培食用菌方法相似，每 50kg 培养料可生产平菇 45～55kg。食用菌收获后的培养料和菌丝体营养丰富，有浓厚的蘑菇香味，适口性良好。猪粪中的有害物质和寄生虫经发酵、曝晒，接种食用菌后均被消除和杀死，是喂猪的良好饲料。

总之，生态养猪使养猪生产获得了最大限度的环境效益、经济效益和社会效益，是未来养猪业发展的方向。

## 参 考 文 献

- 1 国家环境保护总局. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- 2 白群安, 王志跃. 畜禽排泄物与环境保护. 国外畜牧科技. 2001, 28 (6): 29～31

- 3 李远. 我国规模化畜禽养殖业存在的环境问题与防治对策. 上海环境科学. 2002, 21 (10): 597~599
- 4 黄兴国, 戚咸理, 贺建华. 控制畜禽生产对生态环境污染的营养策略. 当代畜牧. 2003 (9): 35~36
- 5 江传杰, 王岩, 张玉霞. 畜禽养殖业环境污染问题研究. 河南畜牧兽医. 2005 (1): 28~31
- 6 杜永才, 周庆安, 李云甫. 采用营养调控措施减少畜牧业对环境的污染. 家畜生态. 2003, 24 (2): 48~51
- 7 孙晓华, 罗安程. 家禽养殖场废弃物处理技术的研究进展. 环境污染治理技术与设备. 2003, 4 (7): 18~21
- 8 方热军, 王康宁, 方玉媚. 生态营养理论及生物技术在畜牧业环境污染控制中的应用. 家畜生态. 2004, 25 (1): 4~6
- 9 闫秋良, 刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染. 家畜生态. 2002, 23 (3): 68~70
- 10 孔源, 韩鲁佳. 我国畜牧业粪便废弃物的污染及其治理对策的探讨. 中国农业大学学报. 2002, 7 (6): 92~96
- 11 田宁宁, 王凯军, 李宝林等. 畜禽养殖场粪污的治理技术. 中国给水排水. 2002, 18 (2): 71~73
- 12 田宁宁, 李宝林, 王凯军. 畜禽养殖业废弃物的环境问题及其治理方法. 环境保护. 2000 (12): 10~13
- 13 李国学, 孙英, 丁雪梅等. 不同堆肥及其制成低浓度复混肥的环境和蔬菜效应的研究. 农业环境保护. 2000, 19 (4): 200~203
- 14 翁伯琦. 防治畜禽养殖污染刻不容缓. 农业环境保护. 2002. (6): 288
- 15 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 刘杰. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策. 长江流域资源与环境. 2002. 11 (5): 456~460
- 16 张建云. 非点源污染模型研究. 水科学进展. 2002, 13 (5): 547~551
- 17 管妙东. 规模畜禽场环境污染问题及其对策. 四川畜牧兽医. 2002, 29 (2): 11
- 18 杨彩梅, 陈安国, 刘金松. 通过日粮营养调控降低畜禽排泄物对环境的污染. 四川畜牧兽医. 2000, 27 (2): 25~26
- 19 楼平. 畜禽养殖环境污染调研报告. 中国环境年鉴. 北京: 中国环境科学出版社. 2000. 286
- 20 王兆军, 张怀成, 刘键, 郑雯, 高洪江. 规模化畜禽养殖污染有效防治途径探讨. 中国人口·资源与环境. 2001, 11 (51): 72~74
- 21 郭良星, 彭爱娟, 周玲等. 烘干鸡粪作为蛋白质饲料的应用研究. 河南

- 畜牧兽医, 2001, 22 (9): 6~7
- 22 常志州, 朱万宝, 叶小梅等. 禽畜粪便生物干燥技术研究. 农业环境保护, 2000, 19 (4): 213~215
- 23 邓良伟. 规模化猪场粪污处理模式. 中国沼气, 2001, 19 (1): 29~33
- 24 李秀金. 养殖场气味的产生及其控制技术. 农业工程学报, 2001, 17 (5): 78~81.
- 25 戴凤微, 林伟华. 大中型养殖场能源环境工程技术探讨. 能源与环境, 2003 (4): 39~41

## 第五章 塑料地膜的资源化利用技术

我国的农用地膜发展极为迅猛，产量和覆盖面积已跃居世界第一，人们称它是继化肥、种子之后农业上的第三次革命，也称“白色革命”。

然而，塑料是一种高分子材料，它具有不易腐烂、难于消解的性能，使用过的农膜由于开裂、破碎会被埋进土壤中，完全降解大约需 200~400 年。土壤中残膜量的不断增加，会阻碍作物根系的发育及对水分、养分的吸收，使土壤的透气性降低，这就是通常所说的“白色污染”。我国人多地少，“白色污染”若不加以防治，将严重妨碍和制约农业的可持续发展。

### 第一节 废弃塑料地膜污染特征分析

#### 一、白色污染

大量的废旧农用薄膜、包装用塑料膜、塑料袋和一次性塑料餐具（以下统称为塑料包装物）在使用后被抛弃在环境中，给景观和生态环境带来很大破坏。由于废旧塑料包装物大多呈白色，因此造成的环境污染被称为“白色污染”。塑料棚膜比较容易回收，因此造成塑料农膜污染的主要来源是塑料地膜。在收获植物后，使用过的塑料地膜应该及时拾捡清除，否则留在农田里会造成污染。少量的残留塑料地膜虽不至于对作物生长造成危害，但是其留在农田中，或随风飞扬，也会造成视觉污染。有的残膜如被牲畜误食，严重时会造成牲畜死亡。

#### 二、白色污染的危害

##### （一）对农田生态系统的危害

残留塑料地膜是否会造成对农田土壤的危害？危害的主要表现是什么？我国的农业工作者进行了长期大量的调查和试验研究，得出了残留塑料地膜对土壤和农作物污染的一些定量结果。研究方法

通常采用模拟试验的方法，即将一定量的塑料地膜混入未污染的农田，模拟相当一定年数的污染状况，然后考察对所栽培作物的影响。

### 1. 残留塑料地膜对农田土壤物理性状的影响

水向土壤的渗透是水依靠自然的重力作用向土壤深层移动的结果。土壤中残留塑料地膜碎片切断或改变土壤孔隙的连续性，增大孔隙的弯曲性，使水移动时产生较大的阻力，向下移动速度减慢，从而使水分渗透量减少，塑料地膜残留量越大，水分渗透量越少，从而降低了农田土壤的保水能力，削弱了农田的抗旱能力。

### 2. 残留塑料地膜对作物生长势的影响

农业工作者对残留塑料地膜对玉米、小麦、花生和蔬菜等作物生长发育的影响进行了详细研究，研究结果表明残片的尺寸和残留量均对作物的生长势有不良影响。

### 3. 残留塑料地膜对作物产量的影响

据现场观察，花生减产的原因是残留塑料地膜对花生根系发育的抑制作用，花生须根少、根发育不好，引起生长失调。另外，塑料地膜残留量大的地块，因改变了农田生态环境质量，因而在花生生长期病虫害发生率高，使减产率高达 18%~25%。残留塑料地膜对玉米、小麦、蔬菜的减产影响也十分显著。

## (二) 残留农膜的化学污染

农用塑料膜是聚乙烯化合物，在生产过程中需加 40%~60% 的增塑剂，即邻苯甲酸二异丁酯，其化学性能对植物的生长发育毒性很大，特别是对蔬菜毒性更大。

邻苯甲酸二异丁酯从农膜挥发到空气中，再经叶子气孔进入叶肉细胞，它的毒性作用主要是阻碍和破坏叶绿素的形成。植物的生长点和嫩叶由于生理活动旺盛，最易受到伤害。据对白菜叶切片的显微镜观察，发现受害叶细胞内叶绿体明显减少，因而影响了作物的光合作用，导致作物生长缓慢，严重的黄化死亡。

## (三) 其他方面的危害

残留地膜碎片会随农作物的秸秆和饲料进入农家，牛羊等家畜误食残膜碎片后，可导致胃肠功能失调，膘情下降，严重时会引起

厌食和进食困难，甚至导致死亡。近年来各地牛、马、羊由于误食塑料残膜导致死亡的现象时有发生。另外，有些地方将残膜碎片焚烧，产生有害气体（二噁英），造成大气污染。农田中部分残膜被风吹到田边、地角、水沟、池塘、河流中，有的挂在树枝上，给人们的视觉带来不良刺激，由此又造成种种白色污染。

## 第二节 焚烧回收热能技术

在塑料的生产、加工成型及消费过程的每一环节都会产生废料，主要是聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、聚丙烯（PP）和聚苯乙烯（PS）。目前中国使用的塑料农膜材料仍比较简单，主要是聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）。

研究表明：木材的燃烧热为 1465GJ/kg，聚乙烯的燃烧热为 4663GJ/kg，聚丙烯的燃烧热为 4395GJ/kg，聚氯乙烯的燃烧热为 1806GJ/kg。可见，废旧塑料的燃烧热一般高于木材，通过焚烧进行热能回收具有很大的发展潜力。

废旧塑料地膜的热能利用，是指将其作为燃料，通过控制燃烧温度，充分利用废塑料地膜焚烧时放出的热量。

### 一、焚烧废旧塑料地膜的方式

现行的焚烧废旧塑料地膜的方式主要有 3 种：

① 使用专用焚烧炉焚烧废旧塑料地膜回收利用能量法。这种方法使用的专用焚烧炉有流化床式焚烧炉、浮游焚烧炉、转炉式焚烧炉等。要求这类专用设备尽量无公害，可长期使用和能稳定连续操作。

② 作为补充燃料与生产蒸汽的其他燃料掺用法。这是一项可行而又比较先进的能量回收技术，应用此法热电厂可将农用塑料废弃物作为补充燃料使用。

③ 通过氢化作用或无氧分解，转化成可燃气体或可燃物再生热法。这既是一种能量回收方法，又属于农用塑料废弃物在特殊条件下的分解。

上述使用专用焚烧炉回收利用能量的方法，可以燃烧各种塑料废弃物或与其与部分城市垃圾的混合物，但需根据废弃塑料分布状

况，合理地选择焚烧设备和场地，以最大限度地减少运输费用和确保连续进行焚烧处理。

专用焚烧炉法的不足之处是，需要较大场地、庞大的辅助设施和需有效地防止气体排放物中的有害成分污染环境，故所需投资较大。

## 二、废旧塑料地膜的能量回收

废旧塑料地膜的能量回收是通过对它焚烧时释放热能的有效利用来达到回收目的的方法。废旧塑料地膜能量回收工艺过程大致如下：

废旧塑料地膜收集→破碎→焚烧→热量回收→排烟处理

这种将废旧塑料地膜焚烧转化为热能的方法具有明显的优点：

① 不需复杂预处理，也不需与生活垃圾分离，特别适用于难以分捡的混杂型塑料制品。

② 废旧塑料地膜的产热值几乎与相同种类的燃料油相当，产热量可观。

③ 从处理废弃物的角度看是十分有效的，焚烧后可使其质量减少 80% 以上，体积减少 90% 以上，燃烧后的废渣密度较大，作填埋处理也很方便。

采用焚烧法回收热能时，值得注意的问题是：有些塑料焚烧时产生有害物质（如 PVC 燃烧时产生氯化氢气体、聚丙烯腈燃烧时产生氰化氢气体、聚氨酯燃烧时也产生氰化物等），所以如何有效防止这些有害气体产生二次污染，是解决问题的关键。

废旧塑料的热能利用得到了越来越多的重视。在日本，用于焚烧回收热能的废旧塑料约占回收总量的 36%，远远高于简单的直接再生或复合再生的比例。此外，由于塑料在城市固体垃圾中的能量值最高，平均为 37450kJ/kg，因此，不少国家利用废塑料发电。日本在富岛县岩木建成了一座废塑料发电厂，日处理废塑料 200t，发电能力为  $2.5 \times 10^4$  kW，可供 1 万个家庭用电。原联邦德国已有 47 家废旧塑料烧结厂（并计划继续扩建这类工厂），它们将这种热能用于火力发电，已占总发电量的 6% 左右。

利用废旧塑料回收热能的前景是十分广阔的，虽然我国在这方

面基本还是空白，但由于我国废旧塑料回收再利用的综合技术比较落后，所以，通过焚烧废旧塑料利用其热能是很适合我国国情的。

### 第三节 洗净、粉碎、改型、造粒技术

废塑料地膜回收利用的关键是对其回收并再生，主要是熔融再生。熔融再生技术分为简单再生和复合再生处理。简单再生是针对塑料生产过程中的边角碎料而言，这些废塑料品种单一，较少被污染，一般经以上介绍的方法进行简单处理便可直接加工成粒料或片料；而复合再生是对从流通、消费领域回收的废塑料，经过分选、预处理、熔炼、造粒（有的不经过造粒，直接成型）、成型等工序再生。

#### 一、预处理

预处理包括分选、破碎、清洗和干燥。如何分选，请参考相关资料进行处理，下文仅介绍剩余的工序。再生所用的废料主要来源于使用和流通后从不同途径收集到的塑料废弃物，它们在造粒前必须经过清洗、破碎和干燥等预处理工序。具体情况因不同情况而异。

#### （一）清洗和干燥

对于污染不严重且结构不复杂的大型废旧塑料地膜，宜采取先清洗、后破碎的工艺。首先用带洗涤剂的水浸洗，以去除一些胶黏剂和油污等，然后用清水漂洗，清洗完后取出风干。而对那些因体积大而无法放进破碎机料斗的较大制件，应粗破碎后再细破碎，以防挤出造粒机喂料。为确保再生粒料的质量，细破碎后应进行干燥，常采用设有加热夹层的旋转式干燥器，夹层中通入过热水蒸气，边受热边旋转，干燥效率较高。实际使用的各式干燥器不尽相同，既可使用各类商品干燥机械设备，也可使用自行设计制造的干燥设备。

对于有污染的废旧地膜，应首先进行粗洗，除去砂土、石块和金属等异物，以防止其损坏破碎机。废旧塑料经粗洗后离心脱水，再送入破碎机破碎。破碎后再进一步进行精洗，以除去包藏在其中的杂物。清洗后需干燥，以便下一步熔融造粒。

清洗工艺目前我国仍采取人工清洗和机械清洗两种方法。人工清洗的工作效率低，应大力发展机械清洗，特别是废旧农膜，用

机械清洗的效果很好。其工作原理是将被清洗的废旧塑料制品放在温热的洗涤液中，如果是被油污染的制品，用适量浓度的碱水即可奏效。先浸泡数小时，再用机械搅拌，通过彼此摩擦和撞击可除去杂质和污物。

## （二）破碎

对于较大制件的塑料地膜在造粒前应粗破碎后再细破碎。根据需要可选择不同型号和功能的破碎设备。

## 二、再生料的成型前处理

### （一）配料

回收的废塑料经一系列的预处理得到干燥的粉料后，或直接塑化成型，或经造粒后再成型。在此之前，往往需要进行配料，加入各类配合剂，如稳定剂、着色剂、润滑剂、增塑剂、填充剂和各类改性剂等。

废旧塑料地膜一般都有不同程度的老化，为了保证再生塑料制品的稳定性能，应当加入稳定剂。如热氧稳定剂、防紫外线稳定剂等。在使用稳定剂时，应注意其毒性和污染性。如再生聚氯乙烯（PVC）料中盐基性铅类有一定毒性，不宜制作与食品接触的塑料制品；弹性体的稳定剂中 4010 颜色深，不宜制作浅色制品。再生 PVC 料中可选取配合盐基性铅类、脂肪皂类、复合稳定剂，聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）再生料可用 1010 稳定剂。

废旧塑料常有一定程度的污染，故常选用深色的着色剂，如炭黑、铁红、塑料棕等。

润滑剂也是回收料中必不可少的助剂。再生聚氯乙烯（PVC）料中加入极性润滑剂比非极性润滑剂效果好，如用氯化石蜡比用普通石蜡好，而对于聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、聚乙烯（PE）再生料用普通石蜡即可。

回收聚氯乙烯（PVC）料往往需要增塑剂。由于原塑料制品中的小分子增塑剂易在制品中发生迁移现象，所以再生的聚氯乙烯（PVC）制品中需要补充一些增塑剂，用量视制品要求的硬度而定。另外，若将适量软聚氯乙烯（PVC）回收品与硬聚氯乙烯

(PVC) 回收品掺用，可减少或不用增塑剂。

填充料有碳酸钙、陶土、滑石粉、硫酸钡、赤泥、木粉等。加入填充料时需注意三个问题：一是要注意回收料中钙塑回收品的比率，如已经含有大量填充剂，不宜再加入相应的填充剂；二是在不影响加工流动性并保证其基本力学性能指标的前提下，可适当增加填充量；三是填充剂应经偶联剂（如钛酸酯偶联剂）活化。针对不同种填充剂，选择适宜型号的钛酸酯。

## （二）捏合

再生回收料与各类填加剂的捏合是十分必要的，捏合能使要配合的各组分在塑化混熔前达到宏观上的均匀分散，而成为一个均态多组分的混合物。在选定捏合设备与配合组分后，捏合的效果主要取决于捏合工艺（如温度、时间、加料顺序、搅拌速度等）的控制。

回收塑料的捏合一般在混合造粒之前；如果再生料粉碎后不需造粒而直接加工成型，那么捏合应在成型之前进行。

捏合的温度、时间、搅拌速度、加料顺序等操作及调控，可参照新生塑料捏合工艺。

## （三）造粒

不论何种废塑料制品，在制备回收废塑料的再生粒料前，首先应进行预处理：鉴别、分选、清洗、粉碎（硬制品）或切碎（软制品），然后经过两段热风干燥，使水分含量不超过 5%。这样处理过后的粉料经与其他组分的配合、捏合后即可造粒。

有的回收料 [如回收聚氯乙烯 (PVC) 软制品] 也可不经切碎而直接用开炼机塑化、放片、切粒。制备聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP) 的再生钙塑料粒可采用开炼或密炼工艺，其工艺流程基本相同，只是捏合后经开炼机塑化、混炼、放片后切粒，也可由密炼机塑化、混炼，接开炼机放片后切粒。

回收聚氯乙烯 (PVC) 料因其熔体黏度高，宜在开炼机上人工控制，不论是否是钙塑再生料，皆可采用开炼工艺。

若采用双螺杆挤出机，以螺杆反向旋转式塑炼为好。双螺杆挤出机比单螺杆挤出机能耗少、效率高。反向式双螺杆挤出机可采用多处

进料口，这对于进行原位反应挤出或动态硫化工艺都是适合的。

### 三、成型

#### (一) 模压成型

模压成型也称作压制成型或压缩模塑成型。废塑料的模压成型工艺是生产再生热塑性塑料制品的基本手段。

#### (二) 挤塑成型

挤塑成型也称挤出成型。通常使用螺杆挤出机完成塑化和挤出，即利用加热和螺杆剪切作用使塑料变成熔体，然后在压力作用下通过塑模直接制备连续的型材（如管、棒、丝、板、片及异形材等）。

#### (三) 注塑成型

注塑成型工艺是热塑性树脂和再生塑料重要的成型工艺。注塑成型有注入熔体和模壁冷却两个主要环节。

与模压、挤塑工艺相比，注塑成型操作较复杂，有温控、自控、液压、电控等系统；注塑设备的一次性投资较大；对物料的熔体流动性也有较高的要求。

#### (四) 压延成型

压延成型是热塑性塑料加工的主要工艺之一。对于生产回收热塑性塑料片材来说，是较佳的生产工艺。它是将已熔融的塑料通过相向旋转的数个辊筒组（至少由两个辊筒组成）中的辊筒间隙，通过压延作用而生产连续片材的成型方法。

#### (五) 吹塑成型

吹塑成型是指将熔融状态的塑料型胚或管膜，通过压缩空气直接或间接地吹胀成型，冷却后得到相应制品的一种热塑性树脂的成型加工工艺。对回收塑料的再生制品而言，已经商品化的大宗吹塑制品有 PE 类再生膜、中空制品、PVC 再生膜等。

无论是吹膜还是吹塑中空制品，均以挤塑吹塑应用最广，尤其回收塑料，更适于用挤塑吹塑法制备中空或再生膜制品。

## 第四节 制备氯化聚乙烯技术

回收利用农用薄膜进行废聚乙烯制备氯化聚乙烯是非常需要

的，一方面是高密度聚乙烯紧缺，另一方面是氯化聚乙烯作为聚氯乙烯的优良改性剂和特种橡胶应用已被世界公认。

聚乙烯（粉状）树脂进行氯化，可制得系列氯化聚乙烯（CPE，chlorinated PE），因其含氯量不同而特性各异，用途也各不相同。其中商品化的 CPE 具有非常广泛的用途。

对回收 PE 进行与 PE 树脂类似的氯化，也可制得氯化再生聚乙烯料。特别应当指出的是：我国科研人员研制出的搅拌式氯化工艺，工艺简单可行、操作方便、设备投资少，可很方便地制得 CPE 系列产品，是制备氯化聚乙烯的有效方法。

CPE 的生产工艺有溶液法、悬浮法和固相法 3 种：溶液法是比较早使用的方法，因有机溶剂用量大、环境污染大、生产成本低，现已很少使用；悬浮法是现今国内外普遍采用的方法，但存在设备腐蚀和“三废”处理困难等问题；固相法对设备腐蚀小，基本无“三废”，生产成本低，是生产氯化聚乙烯的方向。这节仅介绍固相法基本工艺。

一、配方

固相法工艺基本配方见表 5-1。

表 5-1 固相法工艺基本配方

| 原 料      | 用 量/g | 原 料        | 用 量/g |
|----------|-------|------------|-------|
| 废聚乙烯(PE) | 70    | 水          | 280   |
| 助剂       | 3     | 氢氧化钠(NaOH) | 8     |
| 液氯       | 8     |            |       |

二、工艺流程

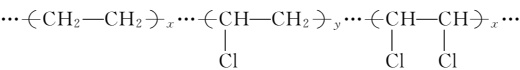
废聚乙烯薄膜洗涤→干燥→粉碎→氯化

三、操作步骤

氯化工艺是将粉碎好的废料加入反应釜中，加入一定量的引发剂、水、助剂，边搅拌边加热，加热到一定温度时通入氯气，进行氯化，氯化过程中放出的氯化氢由酸吸收槽吸收。通过此槽吸收可控制氯含量，未反应的氯气通过循环泵和循环槽循环使用，一直达到预定的含氯量为止。产物经洗净、中和、干燥后即为产品。该产

品作为进一步制备氯化聚乙烯的原料。

氯化聚乙烯的分子链结构可以看成是乙烯、氯乙烯和 1,2-二氯乙烯的三元无规律共聚物



聚乙烯氯化改性料的显著特点是：氯化基本上仅一步，所以氯化改性工艺比较简单；可制得软质和硬质塑料、类橡胶弹性体、涂料等系列氯化改性产品，这些产品具有阻燃、耐油、耐臭氧、耐气候变化、抗撕裂等良好特性。尤为引人注目的是 CPE 弹性体（含氯量约 35％左右），可以作为大分子增韧剂及高聚共混物的增容剂。

由湖北省化学研究所开发成功的搅拌式固相氯化工艺很有特色（见表 5-2），值得推广，其主要特点如下。

① 在普通搪瓷反应器中以机械搅拌方式使固体颗粒在充分分散的情况下进行氯化反应，对设备腐蚀较轻，使用寿命长，安装和维修方便。

表 5-2 搅拌床与流化床工艺比较

| 项 目                   | 搅 拌 床 | 流 化 床    |
|-----------------------|-------|----------|
| 反应条件                  | 纯氯气   | 惰性气体稀释氯气 |
| 物料运动                  | 机械搅拌  | 气体流态化    |
| 尾气处理                  | 回收    | —        |
| 气固分离装置                | 无需    | 需要       |
| 物料粘壁现象                | 可避免   | 易发生      |
| 氯化时间/min(Cl 质量分数 35％) | 120   | 120      |
| 安全性                   | 安全    | 易着火      |

② 氯气在密闭系统中循环，原材料利用率高，基本无“三废”污染。

③ 反应体系在常压下操作，对设备没有特殊要求。

④ 流程短，动力消耗少，氯化氢可回收，产品的生产成本低。

⑤ 可以随时准确地显示和控制反应过程和氯化程度，只要改

变氯化条件就可以得到一系列具有不同含氯量和不同性能的氯化改性产品。

用搅拌式固相法与水相悬浮法比较（见表 5-3），也可以看到除一项两者相当外，其他均显示出搅拌式固相法的优越性。

表 5-3 搅拌式固相法与水相悬浮法工艺比较

| 项 目        | 搅拌式固相法 | 水相悬浮法      |
|------------|--------|------------|
| 工艺条件       | 简单     | 复杂         |
| 反应器容量      | 较大     | 较小         |
| 设备腐蚀       | 轻或无    | 严重         |
| 环境污染       | 几乎无    | 有          |
| 反应过程及氯含量控制 | 容易,准确  | 不容易,欠准确    |
| 操作压力       | 常压     | 0.2~0.3MPa |
| 尾气处理       | 回收利用   | 火碱中和       |
| 后处理        | 容易     | 费时         |
| 产品规格       | 多样     | 单一         |
| 弹性体产品性能    | 相当     | 相当         |

搅拌式固相法回收 PE 膜的工艺流程麻烦较少，因为不会由于粒度太大而产生氯分布严重不均的现象。对于非膜制品，采用该工艺的关键是破碎的粒度应尽量小。

第五节 还原油化技术

聚乙烯是塑料工业中产量最大的品种，已在工业、农业、食品包装、军工行业得到广泛应用。因此，废聚乙烯在塑料垃圾中所占比例越来越大，高达 48%。另外研究表明，聚乙烯类农膜中的酞酸酯类在人体积聚易引起肝肿大。因此，进行废聚乙烯塑料回收再利用是当前研究的重点领域。由于废塑料是石油化工的产物，从化学结构上看，塑料为高分子碳氢化合物，而汽油、柴油则是低分子碳氢化合物。证明废旧塑料薄膜油化技术在原理上可行；废塑料垃圾的与日俱增及其危害已引起各国政府及科技界的重视，美、日、德、中、加拿大等国对废聚乙烯的降解机理和动力学进行了大量研究，并进行了废聚乙烯类塑料油化工艺实验，证明该工艺在技术上

可行。

废聚乙烯裂解制取油品与化学品（简称油化工艺）有如下几种方法：热解法、催化热解法（一步法）、热解-催化改质法（两步法），以下分别论述。

### 一、热解法油化工艺

该工艺是将废聚乙烯或废聚乙烯与其他废塑料混合进行热解，制取蜡、油品、炭黑等产品。实验结果表明，热解混合废塑料所得产物组成分散，利用价值不大，热解制得的柴油含蜡量高，凝点高，十六烷值低；制得的汽油辛烷值低。中国石油大学对此类油化工艺的研究结果证实：在促进剂作用下单独热解废聚乙烯可得油品与合格的地蜡，蜡产率 50%~90%，制取地蜡较制取油品的经济效益要高。英、美等国已有类似专利。

### 二、催化热解法（一步法）油化工艺

该工艺是将废聚乙烯或废聚乙烯与其他废塑料的混合物及催化剂加入反应釜，热解与催化热解同时进行。据中国专利报道，以多次改性的 Y 型分子筛和高活性的氢氧化铝为催化剂，生产汽油、柴油，总回收率可达 85%~87%；另外也有使用 Ni, Cu, Al 等 5 种金属混合物作催化剂制取油品的报道。

一步法油化工艺的优点是：裂解温度低，全部裂解所用时间短，液体收率高，设备投资少。其缺点是：催化剂用量大，而且催化剂与废塑料裂解产生的炭黑及塑料中所含的杂质混在一起，难以分离回收，使此工艺的推广受到限制。

### 三、热解-催化改质法（两步法）油化工艺

该工艺是将废聚乙烯与其他废塑料混合，先进行热解，然后对热解产物进行催化改质，得到油品。该工艺在废塑料处理行业应用最多，如日本的富士公司回收法、KURATA 法，德国 BASF 公司回收法。中国的金河、宏基等厂也采用此工艺。值得一提的是南京大学研制的 NB、MTYF 催化剂，用于废聚乙烯地膜单独热解-催化裂解，液体收率达到 74.3%。为了缩短裂解时间，降低裂解温度，也有在两步法的热解段加入少量催化剂的催化热解-催化改质

工艺，如中国专利 CN1075328A 报道：在第一段采用催化剂 SSHZ-1，第二段采用催化剂 SSHZ-2 或 ZSM-5，反应时间为 10~20min，液体收率为 75%~78%。

两步法油化工艺较为成熟，应用广泛。一步法油化工艺裂解时间短、温度低，但催化剂用量大，不易回收，推广应用受到限制。热解法处理混合废塑料所得油品蜡含量高、质量差，但采用此方法处理废聚乙烯可得高质量地蜡，经济效益较制取油品高。催化热解-催化改质工艺在热解段可使用少量催化剂，以缩短裂解时间和降低裂解温度。而催化热解-催化改质工艺处理混合废塑料及热解法处理废聚乙烯，则是两种有发展前景的工艺。

#### 四、油化工艺存在的问题及其对策

##### (一) 原料的分拣

原料分拣有如下两种方法。

① 人工分选，根据废塑料的外观、色泽、透明度、硬度、手感等对其进行人工分选。这种分选方法效率低，劳动强度大，使废塑料的油化成本升高。中国的废塑料裂解工厂多采用此法，限制了工厂的规模。

② 自动分选，采用 X 射线或红外线对废塑料制品进行分选，对于粉碎的废塑料可以采用干式比重法（风力或液态化分离）、湿式比重法（浮选分离或离心分离）、电磁分离法、涡流分离法、静电分离法、溶剂溶解分离法等进行自动分选。自动分选有利于大规模生产。对废聚乙烯热解法油化工艺而言，建议采用 X 射线或红外线对原料进行自动分选。

##### (二) 原料的输送与出渣

常用的废聚乙烯进料装置有：活塞式进料器、螺旋挤出机、星型加料器及两段式重锤进料器。使用星型加料器、两段式重锤进料器时，原料不用粉碎，进料方便，进料过程节省动力，进料器器壁不易结焦，但密封较为困难；使用活塞式进料器、螺旋挤出机时，密封性能好，但原料需粉碎，进料过程中易出现“气阻”现象，进料过程动力耗费较大；使用螺旋挤出机进料时，塑料处于熔融状

态，易因物料传热不匀产生结焦。出渣多采用刮刀和螺旋输送机，连续出渣。

### (三) 传热和结焦

废聚乙烯熔融物黏度大，传热性差，热解反应器内易因物料温度不匀导致结焦，物料容易粘壁形成积炭，可采取以下改良措施。

① 炭黑、褐煤、金属（如铜粉、铁粉）、合金球或金属盐（ $350\text{molMgCl}_2 + 65\text{molKCl}$ ）、砂子等与废塑料混合，以改善传热条件。

② 使用特殊的环状填料悬浮在混合废塑料中，或使用特定的分成块状的反应釜。

③ 采用搅拌装置改善传热并清除反应器内壁积炭。

④ 采用减压瓦斯油将废聚乙烯溶解，或用部分产物油作溶剂，降低黏度，使传热均匀。

⑤ 将进料螺旋挤出机的机轴改为内通热油的中空轴，或在进料机外围加热，使塑料熔化，便于流动，或采用聚四氟乙烯衬里，使内壁及出口光滑。

⑥ 通入  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  或过热水蒸气。

⑦ 采用熔盐为裂解热源，或在裂解炉底部铺一层砂子。

⑧ 加循环系统，将反应器内物料用泵抽出，加热后再返回，形成循环流动，使反应器内物料温度均匀，防止结焦。

⑨ 采用砂子流化床，改善传热，防止结焦。

废聚乙烯的催化热解和热解-催化改质产物，有气体、油品、炭渣。气体可作燃料或化工原料；油品可作车用燃料；炭渣可制成活性炭或作燃料。废聚乙烯的热解产物可制取蜡和油品。

一步法及两步法油化工艺热解段用催化剂有以下 3 种。

① 金属。如 Cu 粉、Fe 粉等单一金属或几种金属的混合物（如 Kurata 法中使用的催化剂为 Ni、Cu、Al 等 5 种金属混合物），通常直接将金属粉加入反应釜中，金属催化剂可以使废塑料在熔融状态下直接进行裂化，具有较高的液体收率。

② 非金属。如 Veba 公司使用的褐煤，通常直接将此类催化剂

加入反应器内。

③ 金属盐。如  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。

两步法油化工艺催化改质段用催化剂有以下 2 类。

① 分子筛或改性分子筛：如 Y 型分子筛与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  形成的多层固定床、REY 型分子筛等，常用于热解反应液相产物的催化裂化改质。

② 金属氧化物：如硅铝微球、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、氧化铈 ( $\text{CeO}_2$ )、Co-Mo 或 Ni-Mo 氧化物系列。

关于废聚乙烯处理制取油品，国外在这方面已经取得了一些可喜的成绩。如日本的富士回收技术公司，利用塑料油化技术，从 1kg 废塑料中回收 0.6L 汽油、0.21L 柴油和 0.21L 煤油。他们还投入 18 亿日元建成再生利用废塑料油化厂，日处理 10t 废塑料，再生出 1 万 L 燃料油。美国肯塔基大学还发明一种把废塑料转化为燃油的高技术，出油率高达 86%。

我国在变废旧塑料为再生燃油技术方面，已经在海南研究开发成功，并投入工业试生产，而且此项技术已经获得国家专利。他们将一次性不可降解泡沫塑料饭盒、塑料袋、塑料薄膜等废旧塑料，送进热裂解反应釜，加入催化剂，在高温条件下，生成气体柴油和汽油的混合物，再经过冷却变成液体，最后经过分馏、过滤，就得到了成品汽油和柴油。由于这项技术中所产生的有害气体和炭黑全部进入了再生器燃烧，不产生有毒气体和“三废”物质，没有二次污染，因而完全实现了对白色污染的无害化处理。

我国目前在北京、西安、太原等城市，都开展了用热解催化制取废塑料燃油的工艺，为我国废塑料的回收利用开辟了一条新路。

## 第六节 地膜二次、多次利用技术

在地膜覆盖技术高度发展与普及的日本及欧美一些国家，地膜大都仅使用一季就报废。我国近年来，在已有试验研究的基础上，对“一膜两用”及“一膜多用”覆盖栽培技术进行了大面积推广，即一次覆盖地膜在其上种植两茬、三茬作物；或者地膜多次异地覆

盖，以达到降低成本、增产增收的目的。在河南、辽宁、山东、山西、内蒙古、河北等地，在棉花、玉米、小麦等作物上推广使用的“一膜两用”覆盖技术，充分发挥了地膜覆盖的优势，提高了地膜利用率，对塑料地膜的资源化利用和推动地膜覆盖技术的进步发挥了重要作用。

### 一、“一膜两用”及“一膜多用”的现实意义

#### (一) 提高地膜利用率、降低成本，节省农业投资

一般采用 0.014mm 厚的地膜，每亩用量为 8~10kg，成本费用约 100 元。如果采用“一膜两用”或“一膜多用”的覆盖方法，“先盖天”，“后铺地”，可在 2~4 亩地上应用，提高了地膜的使用次数，或者一次覆膜，在其上连续种植二茬、三茬作物，这样使每亩成本大幅度降低，其投资仅为原来的 1/2 或 1/4，经济效益却显著提高。

#### (二) 延长地膜使用期，使地膜长时间发挥作用

地膜一次利用，多在 4 月中、下旬覆盖棉花、花生、玉米、瓜类等作物；甘蓝类作物在 4 月上旬，茄果类蔬菜作物一般在 6~7 月份收获结束后地膜破碎，清除后再种下茬作物。“一膜多用”在蔬菜上可在早春 1 月开始在温室或改良阳畦内直接覆盖用于育苗，2 月直接覆盖早春速生叶菜，4 月份再改覆盖露地夏菜，夏菜收获后在原定植孔部位点播秋大白菜。这样从春到秋，一张地膜在多种类、多茬蔬菜上有效利用，延长了使用期。在粮棉作物间作套种中，先覆盖晚播麦，促进小麦越冬期间继续生长与分蘖，待早春小麦返青后，再转盖玉米或棉花，促进其早发快长，早熟高产，这样同一地膜对多种作物都能发挥应有的增产作用。

#### (三) 增加蔬菜淡季产量，调节市场供应

“一膜多用”在越冬菜及春播小菜上应用，可使菠菜、小葱、韭菜、小白菜、芹菜、茴香、小萝卜、青蒜等提前 5~15 天收获，有利于及早满足春淡季蔬菜供给。春夏菜育苗中可用地膜作短期覆盖，接着覆盖栽植春夏菜，能使茄果类、甘蓝类、瓜类等多种菜提前 5~10 天收获。夏菜采收结束后在定植孔继续种秋大白菜。这样

周年利用，重点服务于春秋蔬菜淡季，可为蔬菜周年均衡供给做出贡献。

## 二、“一膜两用”及“一膜多用”的覆盖方式

“一膜两用”及“一膜多用”的覆盖方式主要如下。

### （一）地膜平盖

将地膜直接覆盖在播种后的畦面上，或定植作物的表面，四周封严，充分利用地膜覆盖下稳定的小气候环境及“温室效应”，促进幼苗出土和健壮生长。

### （二）地膜近地面短期覆盖

露地栽培作物，为防霜、防风、保温、保湿，促进尽早出苗和幼苗生长，在黄瓜及架豆等作物播种后，用细竹竿或竹片、柳条等作小拱架搭设高 30cm 左右的矮拱架，上面覆盖地膜呈近地面小拱棚，其方法简便易行，作用明显，易于推广。

### （三）高畦（高垄）地膜覆盖

用于甘蓝、花椰菜、瓜类、茄果类等主要春夏菜，也用于棉花、玉米、花生、烟草、甜菜、西甜瓜、甘蔗、果树等多种作物所应用的地膜，可选用早春已覆盖其他作物后的地膜，再加以利用，提高利用率。

### （四）一次覆膜多茬连种

早春平盖越冬菜或早春速生叶菜，接着高畦覆盖甘蓝、菜花、莴笋等，待其采收后可栽植茄果类、瓜类或播种豆类，秋季继续应用于大白菜，做到一次覆膜多茬次连种，成本低、产量及效益明显提高。

## 三、“一膜两用”及“一膜多用”栽培应注意的问题

### （一）选用耐候性地膜

一膜两用和一膜多用覆盖栽培，应用的时间长，覆盖的作物种类多，有时覆盖后还要揭起异地覆盖，所以，要求选用高强度耐候性优秀的地膜，用后能完全清除，不残留污染土壤；如果地膜过薄拉力不强，耐候性不好很快老化碎裂，则达不到“一膜两用”和“一膜多用”的目的。

## （二）精心使用地膜

为了增加使用地膜茬次，防止损伤，延长有效使用时间，要精心使用，细心维护，保持地膜完整，减少破口。

## （三）要有计划的安排好茬口及适宜品种

“一膜两用”或“一膜多用”首先要安排好种植茬口，合理搭配早、中、晚熟品种，注意季节时间的衔接，使地膜能适时而有效地发挥其综合改善栽培环境效应，做到增茬次、增产量、增效益。

## （四）明确目标

蔬菜“一膜两用”和“一膜多用”覆盖栽培是以降低成本、增产增收、大幅度提高经济效益为目的，所以在实施中应考虑市场需求，并种植高产值的作物和调整好上市期；对粮棉等作物要考虑覆盖期的合理衔接，使上茬及下茬作物都能发挥早熟或增产的优势。

总之，对塑料地膜实行的“一膜两用”和“一膜多用”覆盖栽培技术，是在我国目前的经济水平和精耕细作的水平基础上提出的，在推广过程中，根据各地不同的栽培习惯需逐步完善，使其不断地改进提高，进一步科学化和规范化。

# 第七节 其 他

废旧塑料地膜除了以上一些具有良好前景的处理和利用途径外，还有其他一些处理和利用方式。

## 一、用废旧塑料地膜制造控释肥料的包膜材料

北京化工大学的专利（CN，93100227.3）公开了一种新型释放肥料，它是外有一层塑料包膜的3~5mm直径的颗粒。其芯子是复混肥料，它可根据作物的品种、生长期的需要配氮磷钾、微量元素、植物生长调节剂、除草剂、杀虫剂和腐殖酸等，一次施用有效期可从数月到一年。其包膜在肥料未施入土壤前很坚硬，使该种颗粒肥易于向土壤中播撒，大大减轻施肥的劳动强度；颗粒肥施入土壤后包膜则自行开孔，形成大小比较稳定的孔隙，使包膜中的肥料得以均衡释放。肥料释放后成为皮包水颗粒，在耕作或风化中包膜自行粉碎并进一步降解，它不仅不妨碍耕作，还会增加土壤的透

气性和透水性。这种控释肥料存放时不潮解；施撒时对眼、口、鼻黏膜和皮肤无刺激；施用该种包膜复合肥料比单纯用化肥或农家有机肥少释放甲烷 70%~80%（甲烷是产生温室效应的气体之一），有利于提高环境质量。该肥有显著的增产效果，可减少施肥 15%，但可增产 10%。

这种控释肥料的包膜材料主要是来源广泛、价格低廉的废旧塑料，如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等。

主要加工设备有粉碎机、搅拌混合器、转鼓、烘干炉、溶解釜、砂磨机、空压机、喷枪、吸收塔、精馏塔等，溶剂及填充共混物，在国内市场上均能购到。

这种消纳废旧塑料的方法纯属物理加工，生产中不会排放“三废”。

包膜的厚度、开孔密度、包膜与芯子肥料的质量比及芯子粒径，可根据需要进行调节。

因农作物施用化肥量很大，因此推广该项技术既可消纳大量废旧塑料资源，也可实现人们的肥料释放与植物生长同步的愿望。

## 二、废旧塑料地膜的掩埋处理

如果把废旧塑料的再利用也当作一种处理方式，那么可以说处理废旧塑料有两大类方式：第一种是对其再利用的方式，即如前所述的再生制品的利用、分解产物的利用、热能回收的利用。显然，通过利用废旧塑料而对其处理是一种积极的做法，既保护了自然环境，又利旧利废，真正实现了废旧高分子材料的资源化；第二种是深埋废旧塑料地膜的处理方式，由于我国对废旧塑料地膜的再生利用技术落后，事实上人们已经用掩埋的方法处理了大量的废旧塑料地膜。

掩埋处理法有两个优点：一是深埋于地下，对地表的绿色植物生长不会构成危害；二是这种处理方法最为简单，设备投资最少，甚至可以只消耗人力和使用简单工具即可。

然而掩埋法也存在严重的弊端：一是因埋入地下不见阳光和隔绝了空气，使其真正成为“不朽之物”、“顽固不化之躯”，短时期

内虽然无害，但最终还是有害无利的，因其积累过多会严重妨碍水的渗透和地下水的流通等；二是耗费了大量人力物力，却把可再利用的资源白白弃掉浪费，更严重的是若长期如此操作，地下水源也将受到这类废弃物的污染。

在处理废旧塑料方面，日本在亚洲国家中是处于领先地位的。20 世纪 70 年代中期，日本处理废旧塑料按焚烧、再生、掩埋三者的比例分别是 10 : 2 : 4，可见，掩埋处理还占有较大的比重。日本在掩埋处理废旧塑料中指出：掩埋物必须予以破碎、切断或用其他方法使其最大尺寸约在 15cm 以下。而对大量的地膜、棚膜，因实际处理中没有严格执行这样的规定，又造成二次公害。

### 三、可降解性塑料及其制品的开发应用

根据现有研究开发状况，可降解性塑料大致可分为如下几类。

#### (一) 光降解塑料

光降解塑料一般是指在太阳光的照射下，引起光化学反应而使大分子链断裂和分解的塑料。纯聚烯烃塑料对紫外光是稳定的，但加入某些光敏性化合物后，可以产生光敏化聚烯烃的光降解作用。某些过渡金属化合物（如硬脂酸铁、乙酰基丙酮铁等有机铁化合物、二茂铁衍生物和铁的烷基化合物、重金属有机盐等）是常用的光敏剂。此外，还有光敏促进剂，它可有效促进光解作用。

如果通过共聚改性法在塑料基体中引入光敏性基团，则可制得光降解效果更好的光降解性塑料（如引入光活性基的接枝共聚物、乙烯酮-乙烯共聚物、乙烯-CO 共聚物等）。

用聚乙烯作为基料生产光降解薄膜的方法有直接法和母料法。母料法是将含有光敏剂的浓缩母料或含有高浓度的光敏性树脂母料，按适当比例加入普通聚乙烯后，再吹膜。为了提高实效性和针对性，应依据不同地区和不同季节进行配方调整。

可控光降解塑料可以说是降解塑料向深层发展的一种标志。它除具有光降解的必备性能外，还具有特定的光降解行为。如聚乙烯可控光降解地膜或包装材料，在一定使用期限后能迅速被光分解，以尽快消除环境污染。

可控光降解塑料具有理想的可控光分解曲线,要求能精确地控制诱导期,在诱导期内力学性能可保持在80%以上;达到有效使用期限后力学性能则迅速下降,即控制衰变期值尽可能小,这就意味着地膜超过使用期限后,降解得越快越彻底越好。为达此目的,要求所用的光敏剂不仅可以控制光氧化的时间,而且在一定浓度下,在加工过程中具有抗氧化剂的作用;在短期光氧化中具有光稳定剂的作用。这样才能保证在热加工过程中不因热氧化而明显生成含氧产物,也不致进而引发紫外光辐照下的光氧化反应,以确保适当长的诱导期。过短的诱导期不利于维持使用中的力学性能。

## (二) 生物降解塑料

生物降解塑料尚无国际公认的明确定义,其含义较为广泛,一般是指土壤中微生物能分解的塑料。降解机理比较复杂,主要是可生物降解的塑料经细菌、酶或各类微生物侵入、吸收、破坏等作用,使其断链、裂化和崩坏的结果。

有人将生物降解塑料划分为如下两大类:一类为生物降解性塑料(biodegradable plastics),它包括利用微生物生产的高分子(如聚3-羟基丁酸酯及衍生物)、生物质(如醋酸纤维素等)和部分合成高分子;另一类为生物崩坏性塑料(bio-destructible plastics),它包括PE/淀粉共混物等。

生物降解塑料主要有以下四大类型。

### 1. 天然高分子型

利用纤维素、淀粉、木质素、甲壳质等多糖类天然高分子或将其与合成高分子接枝制得的生物降解塑料。

### 2. 共混型

将淀粉与降解添加剂加入聚酯等通用塑料制成的生物降解塑料。淀粉与LDPE共混物已经实用化,其淀粉含量可高于50%。淀粉与乙烯/丙烯酸共聚物采用干混或溶液混合法,可制得机械性能较好的生物降解塑料。共混体系较多,并已开发出化学改性天然高分子与通用塑料共混的体系,由于增加了共混组分间的相容性,使共混体系不仅具有生物降解性,而且成膜性能和力学性能均有所

改善。

### 3. 微生物产生的可降解性塑料

据文献报道,英国 ICI 公司以葡萄糖作为碳源进行菌种培养,向氢细菌 (*alcaligenes eutrophus*) 供给丙酸,产生出 3-羟基丁酸 (3HB) 与 3-羟基戊酸 (3HV) 共聚酯 P (-HB-CO-3HV), 并已进入中试阶段。德国还用其制作容器试用。如果改变氢细菌的培养条件,更换碳源种类,还可制得不同性能和构造的共聚物。这种类型的生物降解塑料已引起人们的浓厚兴趣和众多厂商的注意。

### 4. 合成高分子型

这是一类利用化学方法合成与天然高分子结构相似的生物降解塑料。如聚己酸内酯 (PCL), 即可为微生物所分解。除 PCL 和共聚物外,正在开发的聚羟基丙酸、乙烯-乙醇醇共聚物、聚酯-聚醚共聚物、聚酰胺-氨基甲酸酯等均有较好的生物降解性能。

### (三) 可控光降解与生物降解塑料

具有可控光降解与生物降解双重降解功能的塑料,是近年来开发的一种新型降解塑料。它的特点是先使聚烯烃地膜发生光降解,大分子链迅速断裂,分子量迅速降低,然后发生生物降解。聚烯烃的生物降解过程比较复杂,热、紫外光、应力和水等皆可影响生物降解。田间试验表明,当聚乙烯残体的平均分子量在 1 万以上时,微生物(土壤中)对其作用很小,甚至不起作用。由此可见,可控光降解的程度是影响微生物降解的关键,这也表明降解塑料具有双重降解功能的技术先进性和实效性。

## 参 考 文 献

- 1 李国建,赵爱华,张益等编著. 城市垃圾处理工程. 北京:科学出版社,2003
- 2 张宝莉,乔玉辉,李淑芹等编著. 农业环境保护. 北京:化学工业出版社,2002
- 3 杨福馨,侯林青,杨连登等编著. 包装材料的回收利用与城市环境. 北京:化学工业出版社,2002
- 4 赵由才,柴晓利,张华等编著. 生活垃圾资源化原理与技术. 北京:化学

工业出版社, 2002

- 5 卞有生, 宋秀杰, 徐锦链等编著. 生态农业中废弃物的处理与再生利用. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 6 杨惠娣编. 塑料农膜与生态环境保护. 北京: 化学工业出版社, 2000
- 7 陈占勋, 刘安祥, 邱桂学等编著. 废旧高分子材料资源及综合利用. 北京: 化学工业出版社, 1997
- 8 王耀林, 王坚, 方向晨等编著. 新编地膜覆盖栽培技术大全. 北京: 中国农业出版社, 1998
- 9 冀星, 钱家麟, 王剑秋等. 我国废塑料油化技术的应用现状与前景. 化工环保, 2000; 20 (6): 18~22
- 10 韩建多, 韩玲. 废旧塑料油化的研讨. 陕西化工, 1999; 28 (1): 7~8
- 11 冀星. 废聚乙烯的油化工艺. 化工环保, 1998; 18 (4): 215~219
- 12 杨爱明, 董勤, 马衡等. 白色污染的防治. 云南环境科学, 1998; 17 (1): 26~28
- 13 麻世华, 叶东平, 麻成军. 农用塑料薄膜的残留危害及控制措施. 现代化农业, 1997; 10: 5~6
- 14 冀星. 废塑料降解制油品和化学品. 石油化工, 1997; 26 (8): 564~572
- 15 Toshiro Tsuji, Koji Hasegawa, Takao Masuda. Thermal cracking of oils from waste plastics. Material Cycles and Waste Management. Springer-Verlag Tokyo. 2003, 5 (2): 102~106
- 16 Kiyoshi Saito, Hideo Narita. Studies on the dechlorination and oil-production technology of waste plastics. Material Cycles and Waste Management. Springer-Verlag Tokyo. 2001, 3 (2): 93~98
- 17 Tadao Kasakura, Reiji Noda, Kenichi Hashiudo. Trends in waste plastics and recycling. Material Cycles and Waste Management. Springer-Verlag Tokyo. 1999, 1 (1): 33~37

## 第六章 农村生活垃圾与乡镇工业废弃物的资源化利用技术

### 第一节 农村生活垃圾与乡镇工业废弃物的特征

#### 一、农村生活垃圾的特征

全世界垃圾年均增长率约为 8% 左右，年产生总量约为 100 多亿吨。我国垃圾年均增长率也为 8% 左右。大量研究表明，生活垃圾的产量与人均 GDP 呈正相关性。只有当经济发展水平达到一定程度时，垃圾产生量才逐渐趋于稳定。我国农村人口众多，农村生活垃圾数量相当可观。目前，我国农村还没有从根本上建立一套生活垃圾收集、处置的管理系统，大多数村民还是采用传统的自行随意处置的办法。因此，伴随着农村人口的膨胀，农村的暴露垃圾与日俱增，已成为农村环境污染和我国农村城市化进程中的突出问题。

随着农民生活水平的提高，农村生活垃圾的构成也在发生多方面的变化。首先，由于农村住房改善、燃气普及和用肥习惯改变，许多秸秆、果皮、蔬菜和稻草未能被利用还田而成为有机垃圾随意丢弃；其次，农村垃圾中许多难以分解的塑料、玻璃物品以及包装材料等物品的数量在增加。农村生活垃圾的成分主要是废菜、蛋壳、废弃的食品、煤灰、废塑料、废纸、废纤维、碎玻璃、碎陶瓷、废电池以及其他废弃的生活用品。农村生活垃圾成分复杂，除含有碳、氮、磷、钾等植物需要的营养元素以外，还含有铬、铅、砷等有害元素。一般来说，农村垃圾中至少有 30% 是可以发酵的物质，垃圾质量的 50% 以上的部分都是可以再循环的废弃物，如纸张、纸盒、玻璃、塑料、金属。

#### 二、乡镇工业废弃物的特征

中国的农村工业，即乡镇工业，在中国经济的改革开放进程中

得到了大规模的发展，成为中国经济发展的推动力。据《2000 年中国环境状况公报》报告：中国工业固体废物年产总量为 8.2 亿吨，其中县及县以上工业固体废物产生量为 6.7 亿吨，乡镇工业的产生量为 1.5 亿吨。按行业统计，采掘业一个行业的工业固体废物排放量，占全国工业固体废物排放总量的 85%。乡镇工业在给农村的收入带来飞跃性提高的同时，也带来了环境问题。在中国总体环境问题中，乡镇工业的主要污染物质的排放量将达到总体污染量的 50%。

由于乡镇工业规模较小、资金和技术力量薄弱，大多数分散在农村，并且政府的监督和政策实施难以达到，因此乡镇工业在环境领域上存在着不容易事先采取有效措施预防和由此导致的环境污染在农村扩散两个方面的问题。在乡镇工业中污染特别严重的行业有造纸、染色、电镀、化学、制革、淀粉、酿造、制糖、焦炭和硫磺等。

目前中国的工业固体废物大致组成如下：尾矿 29%，粉煤灰 19%，煤矸石 17%，炉渣 12%，冶金废渣 11%，其他废弃物 10%，危险废弃物 1.5%，放射性废渣 0.3%。

本章中有关乡镇工业废弃物的资源化利用技术，主要涉及的是粉煤灰、煤矸石和废橡胶的资源化利用技术。

## 第二节 卫生填埋

卫生填埋分为厌氧、好氧和准好氧三种类型。其中，厌氧填埋是国内采用最多的一种形式，它具有填埋结构简单、操作方便、施工费用低等优点。卫生填埋场占地面积大，并且会产生诸如填埋气 (landfill gas)、渗滤液 (leachate) 污染等环境问题。因此，卫生填埋技术要求主要包括填埋场场址的选择和填埋场底部不透水层、管道输出产生的有害气体或易燃气体的设置等。

### 一、卫生填埋场的技术要求

#### (一) 卫生填埋场的场址选择

卫生填埋场址的选择是工程设计的第一步。首先要合理地选择

填埋场场址，要求集雨面积较小、库容大、地下水位较低的区域。填埋的场地要有足够的面积，至少要满足 8 年以上服务区内垃圾的填埋量，满足 5~20 年的使用期最为经济。

卫生填埋场的场址选择确定要根据地形地质、水文、环境等综合条件。

选址还要综合考虑垃圾运距、交通、覆土来源等。

## (二) 卫生填埋场的技术设计

填埋场的设计包括场底基础及地下水导流设施、防渗层及其保护层、垃圾渗滤液导流及处理设施、垃圾填埋气收集及处理设施等。

## 二、新型的卫生填埋场技术

20 世纪 70 年代，美国最先开展了“生物反应器（bioreactor landfill）填埋技术”的研究。在传统的卫生填埋场中，不能为微生物提供适宜的生长条件，垃圾的生物降解是一个无法控制的自然降解过程。生物反应器是一个由许多填埋单元构成的填埋场，一个填埋单元就是一个小型的“可控生物反应器”（controlled bioreactor）。生物反应器填埋场与传统卫生填埋场相比具有的主要优势是：增加了填埋场的有效容积、降低了渗滤液污染强度、提高了气体产量和产气速率等。

## 三、卫生填埋处理的社会与环境效益

在西方发达国家，由于人们的生活水平逐步提高，垃圾构成中可燃物成分不断增加，同时也是为了节约宝贵的土地资源，人们对垃圾的很大一部分正在采用焚烧技术来处理。焚烧过程可以消灭垃圾中微生物的污染，它还能将垃圾的体积大大缩减。在世界上对垃圾进行焚烧热处理做得最多的国家是瑞士和丹麦，这些国家中 3/4 的垃圾是这样被处理掉的。虽然发达国家的生活垃圾填埋处理量处于下降趋势，但是综合分析世界各国垃圾处理现状和发展趋势以及从最终处理的角度而言，卫生填埋处理仍然是一种行之有效的重要方法，它是一切不能再利用物质的最终处理方式。

鉴于我国目前社会经济发展的实际水平，垃圾的焚烧处理由于

投资和运行费用高、烟气处理困难，在应用上受到了很大限制；堆肥处理则由于在我国垃圾一般没有进行分类收集和存放，致使堆肥产品质量低劣，也难于推广。因此，卫生填埋技术在我国生活垃圾处理领域里仍然会在今后相当长的一段时间内作为主要手段。

### 第三节 生物处理

农村生活垃圾，特别是当其中植物秸秆等有机物成分含量较高时，适合用生物法来进行处理。生物处理是在发酵过程中利用细菌分解有机物质，它可以分为在通气条件下（好氧发酵）或无氧条件下（厌氧发酵）进行的两类。

#### 一、生物处理技术概述

生物降解过程可以在通气条件下（好氧发酵）或无氧条件下（厌氧发酵）进行。好氧发酵时会释放出很多的热量；相反，厌氧发酵时几乎没有热量释出，甚至对厌氧发酵过程要从外界提供热量，以便满足发酵过程的良好条件。根据发酵细菌类型的不同，发酵过程可以在低温（接近  $35^{\circ}\text{C}$ ）下进行或在较高的温度（接近  $55^{\circ}\text{C}$ ）下进行。

发酵过程会产生一些生物气体和固体残留物：固体残留物可用作土壤的有机改良剂或肥料使用；生物气体是一种混合气体，基本上是甲烷和二氧化碳，其构成比例可以变化。在好氧发酵的过程中，生物气体直接逸散到大气之中，会增强大气的温室效应。此外，逸散气体会发出令人讨厌的气味。因此人们更情愿地使用厌氧发酵的方式。在这种情况下，产生的生物气体中一部分可以作为发酵过程所必需的能源，剩余部分可以收集起来用于其他方面。在一个密闭环境中发酵，温度要比好氧发酵时高，这样可以杀灭发酵物中的致病菌，这样就可以避免致病菌在最终残留物用作农业肥料时的散播。

#### 二、微生物对有机物的转化

秸秆类有机物（麦秆、稻草等）和绿色垃圾均含有大量纤维素和半纤维素，它是农村垃圾中的有机废弃物的重要成分。纤维素是

葡萄糖的高分子聚合物，每个纤维素分子大约含有 1400~10000 个葡萄糖基—— $C_6H_{10}O_5$ 。生物降解纤维素的微生物有细菌（芽孢杆菌、假单胞菌、节细菌）、放线菌和真菌（根霉、曲霉、青霉和镰刀霉）。

在好氧微生物的作用下，纤维素依次降解生成纤维二糖和葡萄糖，最后生成  $CO_2$  和  $H_2O$  并放出热能。能降解纤维素的微生物基本上也能降解半纤维素。半纤维素和淀粉在好氧条件下的最终降解产物也是  $CO_2$  和  $H_2O$ 。在厌氧微生物的作用下，纤维素和半纤维素的最终发酵产物是丙酮、丁醇、乙酸、 $CO_2$  和  $H_2$ ，淀粉的厌氧发酵的最终产物则根据菌种的不同可以是乙醇和  $H_2O$  或者是有机酸、 $CO_2$  和  $H_2$ 。

有机物中的其他成分如脂肪类和蛋白质可以被微生物分别降解为甘油（丙三醇）、脂肪酸和氨基酸等，大多数可以被微生物作为碳源或能源而利用的物质。

### 三、好氧发酵

好氧发酵又称好氧生物处理或堆肥化，是处理有机废弃物的主要方法。它是废弃物中的有机物在好氧条件下通过微生物的作用，降解为有利于土壤性状和作物容易吸收利用的有机物的稳定化过程。在这个稳定化过程中，可以使部分病原微生物失活、有机物分解并生成腐殖质。

有关堆肥的基本工艺，在我国很多地方存在着由传统的农家堆肥的基础上发展起来的野外人工堆肥。这种人工堆肥方法操作简单，费用低廉，但对通气、水分、温度等条件不易控制，只能适用于分散的农家堆肥。高温堆肥可以采用半坑式堆积法和地面堆积法堆制。前者的坑深约 1m，后者则不用设坑。两者均需要设置通气沟，以利于好氧细菌的生活。两者都需要铺一层农作物秸秆等，再铺一层人畜的粪尿，并泼一些石灰水，最后盖上一层土。一般发酵  $56^{\circ}C$  以上 5~6d，高温  $50\sim60^{\circ}C$  持续 10d 即可。如果堆肥的温度骤然下降，则应及时补充水分。待堆肥的温度降低到  $40^{\circ}C$  以下时，高温堆肥中的有机物就大部分形成腐殖质了。

正在发展之中的先进的快速堆肥方法是工厂化机械式堆肥。这是目前堆肥生产采用的主要工艺。这种堆肥操作形式种类繁多，但基本工艺流程都是由前处理、主发酵、后发酵、后处理及贮存五个部分组成，如图 6-1 所示。

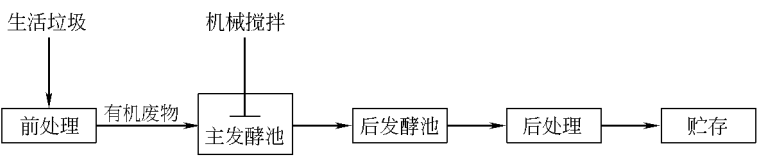


图 6-1 工厂化机械式堆肥工艺流程

四、厌氧发酵

将生活垃圾经厌氧消化后，1kg 垃圾可产生约 0.3m<sup>3</sup> 的沼气，其甲烷含量为 50%~60%。同时，厌氧消化后的剩余物可用做饲料进行综合利用。

(一) 厌氧发酵机理

厌氧发酵又称沼气发酵，就是在特定的厌氧条件下，利用微生物将垃圾中有机质分解、转化为可燃气体甲烷等物质。在这个转化作用中，被分解的有机碳化合物大部分转化成甲烷，小部分氧化成二氧化碳，同时释放出可供微生物生命活动需要的能量。

有机物厌氧发酵可大体分为液化发酵、产酸、产甲烷三个阶段，如图 6-2 所示。每个阶段有其独特的微生物类群起作用。液化发酵阶段起作用的细菌是发酵细菌，包括纤维素分解菌、脂肪分解菌、蛋白质水解菌；产酸阶段所起作用的细菌是醋酸分解菌。在这两个阶段没有甲烷产生，所起作用的细菌统称为不产甲烷菌。产甲烷阶段起作用的细菌是甲烷细菌。

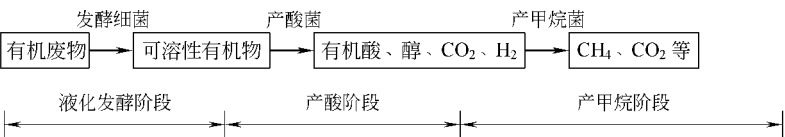


图 6-2 有机物厌氧发酵过程

在液化发酵阶段，细菌利用胞外酶对有机物进行体外酶解，使之变成可溶于水的物质，然后，细菌再吸收这些可溶性物质并将其发酵分解；在产酸阶段，产氢和产醋酸细菌会把前一阶段的发酵产物丙酸、丁酸、乳酸、长链脂肪酸、醇类等进一步分解成醋酸和氢气；在产甲烷阶段，甲烷菌会利用  $H_2$ 、 $CO_2$ 、醋酸等主要基质产生出甲烷。

## （二）厌氧发酵工艺类型

厌氧发酵工艺类型较多，人们经常按发酵温度划分厌氧发酵为高温发酵和自然温度发酵两种类型：高温发酵工艺的最佳温度范围是  $47\sim 55^{\circ}C$ ，此时有机物分解发酵迅速，垃圾、粪便等物料在厌氧池内停留时间短；自然温度厌氧发酵指在自然界温度影响下发酵，温度通常低于  $20^{\circ}C$ 。目前我国农村多采用这种发酵类型，这种工艺的发酵池结构简单、成本低廉、简单易行。但该工艺的发酵温度随自然气温变化，通常夏季产气率较高，冬季产气率较低。图 6-3 所示为厌氧发酵类型沼气池的结构示意。

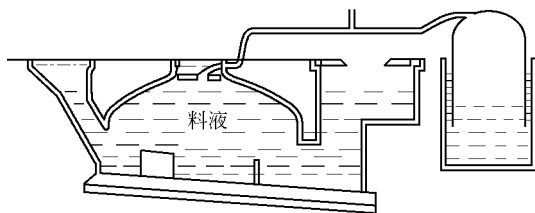


图 6-3 厌氧发酵类型沼气池的结构示意

还可以根据发酵级差来划分工艺类型。这就是根据发酵工艺系统中相互连通的沼气池的数量的多少，将沼气发酵工艺分为单级、两级和多级发酵：操作简单、只有一个沼气池的发酵装置称为单级发酵；为了提高有机物的消化率，在两个或两个以上互相连通的发酵池内进行的发酵装置分别称为二级和多级沼气发酵工艺。

根据投料运转方式的不同，可以将厌氧发酵划分为连续发酵、半连续发酵、批量发酵、两相发酵等工艺类型。其中半连续发酵工艺适合我国广大农村由于原料特点和农村用肥集中等情况，在农村

沼气池的应用很普遍。这种工艺特点是启动时一次性投入较多的发酵原料，当产气量趋于下降时，开始定期添加新料和排出旧料，以维持比较稳定的产气率。图 6-4 所示为厌氧发酵类型半连续沼气发酵工艺处理流程。

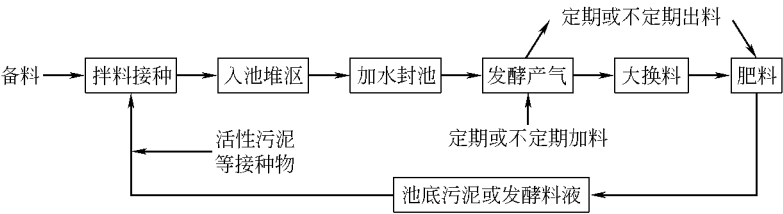


图 6-4 厌氧发酵类型半连续沼气发酵工艺流程

两相发酵工艺的理论根据认为，甲烷发酵过程中的微生物菌群可分为不产甲烷细菌和产甲烷细菌这两类在两个不同阶段的优势菌群。这两类细菌的营养要求、代谢、繁殖条件和环境要求差异很大。从这一理论出发，美国 S. Ghosh 等人设计的两相发酵工艺流程如图 6-5 所示。

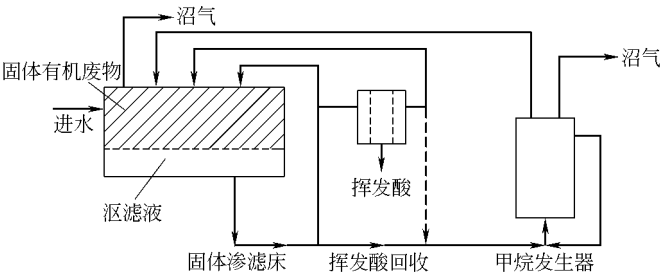


图 6-5 两相发酵处理有机垃圾工艺流程

其特点是沼气发酵过程中的产酸和产甲烷过程分别在不同的装置中进行，并分别给予最适条件以及实行分步严格控制，以便实现甲烷发酵过程的最优化。两相发酵工艺可以大幅度提高产气率，气体中甲烷含量有所提高并实现了渣和液的分离，因此这是一种高效厌氧处理器方式。

目前在欧洲，大约只有 2% 的生活垃圾被用来堆肥。其主要原因是认为建立垃圾堆肥厂往往会对环境产生不利影响，同时认为堆肥中含有的重金属等有害物质元素会通过作物果实进入人体，因而目前对垃圾堆肥的产物以及生活污水处理厂的污泥是否适合用做肥料施用于农田，尚有争议。

## 第四节 垃圾焚烧技术

采取焚烧的方法处理垃圾，是当前世界工业发达国家最广泛采用的手段之一。垃圾焚烧法能最快实现垃圾无害化、稳定化、减量化、资源化的最终处理目标。

垃圾焚烧法是将垃圾进行高温处理，在  $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$  的焚烧炉里，垃圾的可燃成分与空气中的氧气进行剧烈地化学反应，转化为高温的燃烧气体和少量的固体残渣。垃圾焚烧设备是垃圾焚烧过程中最关键的设备。

焚烧系统的主体焚烧炉按照燃烧方式，可以主要分为最常使用的机械炉排式焚烧炉、流化床式焚烧炉和旋转窑式焚烧炉三种。

### 一、机械炉排式焚烧炉

机械炉排式焚烧炉的特点是垃圾在炉内停留时间长，适合处理含水多、热值低的垃圾燃料。但容易出现机械故障和产生恶臭气味。

机械炉排式焚烧炉可以分为干燥段、燃烧段和燃烬段三个区段。

机械焚烧炉按炉排构造不同，可分为台阶往复式、并列摇动式、逆推式、履带式等。

### 二、流化床焚烧炉

流化床焚烧炉是指由于流化床层内粒子处于沸腾运动状态，加到流化床上的垃圾处于完全混合和均匀状态。此外，载体本身可以贮存大量热量，并且处于流动状态，所以床层反应温度均匀并容易控制。使用这种燃烧技术时，应注意通入流化床层的空气必须预热并使之分布均匀。流化床焚烧炉技术与利用流化床沸腾炉燃烧煤矸

石发电具有相似之处，可参阅本章煤矸石发电一节。

### 三、旋转窑焚烧炉

旋转窑焚烧炉结构是个卧式圆筒炉，外壳用钢板卷制而成，内衬是适应焚烧废物特性的耐火材料。旋转窑焚烧炉绕其水平轴旋转，窑内设计多数为结构平滑。圆筒的一端用螺旋加料器或其他方式进行加料，另一端将燃尽的灰烬排出炉外。窑体两端应密封良好。废物与高温气体在转窑内可逆向流动或顺向流动。

旋转窑适应各种构成的垃圾，在焚烧生活垃圾的领域内最适宜提高垃圾的燃烬率，将垃圾完全燃尽。旋转窑的优点是适应范围广，可以燃烧不同性能的废物，机械结构简单。但占地面积较大，同时有恶臭气体产生，因而需要安装脱臭装置或进行二次燃烧。

### 四、垃圾焚烧技术

垃圾焚烧技术众多，可以按照流程中是否对垃圾进行预先分选而分为不经分选的直接焚烧技术和经过分选的焚烧技术两类。

#### (一) 不经分选的直接焚烧技术

垃圾不经分选直接焚烧处理的典型流程一般为：将垃圾收集后运至垃圾贮存槽后，经下料斗送至炉内完成燃烧过程。燃烬物灰渣由排渣机排出锅炉，经除铁后由运送带送至灰渣池。烟气经去除HCl、除尘后经烟囱排往大气。燃烧空气要先由烟气空气预热器加热到较高的温度，才能使含水分高的垃圾得到较好的烘干与燃烧。燃烧产生的热能可以蒸汽形式用作小区采暖或供热。

图 6-6 所示为 1994 年底投入运行的韩国釜山 HAEWUNDAE 焚烧厂工艺流程。它的焚烧设备是一种机械炉排式焚烧炉。

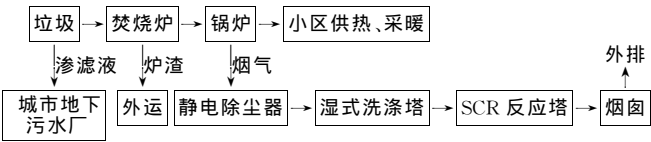


图 6-6 韩国釜山 HAEWUNDAE 焚烧厂工艺流程

HAEWUNDAE 焚烧厂是由法国著名的 GEC ALSTHOM 公

司负责设计和建造的。其中主要的设备如往复逆推炉排、锅炉及烟气处理均系法国生产制造。每台锅炉热容量为 24.2MW，炉内温度为 850~1100℃，日处理垃圾 440t。

我国兴建的大型垃圾焚烧厂，如深圳和北京两个垃圾焚烧厂，主要为引进国外设备。国内已研制了日处理 100t 的循环流化床垃圾焚烧炉并取得成功，目前还需进一步完善系统，以便达到工业应用要求。

第四代小型垃圾焚烧炉技术，由垃圾预处理、焚烧、烟气治理、综合利用等方面的技术组成。每天可处理 100t 左右的生活垃圾，特别适合我国的 600 多个县级市使用。上海多灵环保工程设备有限公司研制的这种焚烧炉技术，具有的优点是对生活垃圾不需分拣、一般不需加助燃物以及可以暂时封炉间歇式焚烧。海南琼海市使用这项焚烧技术的实践表明，垃圾焚烧后排放的废气中 TSP、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 含量均达到国家标准。

CAO 垃圾焚烧技术，是加拿大安高集团根据控制空气燃烧理论研制的垃圾处理系统。垃圾不用分选就可以充分地分解和燃烧，处理垃圾时不熔化金属和玻璃。CAO 燃烧系统的工作原理是：系统分为上下两个燃烧室。在下部的第一燃烧室中垃圾停留时间较长，垃圾在通入少量空气和一定温度条件下会部分气化、分解和燃烧。灰渣和不能热分解的物质（如金属、玻璃等）经过自动清灰系统排出炉外；产生的可燃烟气进入上部的第二燃烧室，在增加空气的条件下和超过 1000℃ 的高温下充分燃烧后排出。这些高温气体可以引入余热蒸汽锅炉回收热量。

## （二）经过分选的焚烧发电技术

我国垃圾焚烧发电技术尚属起步阶段，在垃圾处理中所占的比例很小。下面简要介绍两种我国将垃圾经过分选后焚烧发电的技术。

深圳市科创环保技术有限公司与美国芝加哥大学合作，根据垃圾发电系统原理，于 2000 年共同开发出 CSR II 型垃圾焚烧发电技术。CSR II 型垃圾焚烧发电技术是一种垃圾固体燃烧气化处理技

术，该技术被认为是目前对废物资源有效利用最有发展前景的技术。

CSR II 型垃圾焚烧系统工作原理是由计算机控制的垃圾自动分拣系统，将可燃物和不可燃物分开。可燃物经脱水、干燥和破碎后加工成垃圾固体燃料，热燃气化装置将固体燃料进行热解，产生的可燃气体与空气混合后在锅炉里燃烧，产生的蒸汽可以用来发电。这是利用垃圾焚烧热能的简便而高效的垃圾发电方法。

CSR II 型垃圾焚烧系统与 CAO 燃烧系统相比，具有由计算机网络平台控制系统实行垃圾自动分拣、垃圾进炉后自动点火助燃以及采用自动炉排进而提高了燃烧效率和烟气温度等优点。

另外一种由北京市中宜环能有限公司开发出的 CECO 环保垃圾焚烧发电系统，工艺流程如下。

垃圾收集→垃圾自动筛选及分类→脱水干燥→破碎→贮存鼓→混合→热燃气化→清理→热能氧化→余热锅炉→汽轮机→发电机→变压器→电能输出

垃圾自动分拣技术是 CECO 环保垃圾焚烧处理系统的核心技术。该项技术创新之处体现在把过程控制与计算机控制技术结合起来，使系统控制准确、灵活，利用热燃气化技术进行气化后燃烧再进行发电，运转自动化，排放的二噁英类有害气体污染物远远低于国际标准。经中国科学技术研究所鉴定，CECO 环保垃圾焚烧处理系统技术利用中、低热值生活垃圾焚烧产生余热发电工艺，达到了国际先进水平。

## 五、垃圾的燃料转化技术

生活垃圾还可以在加热的条件下热解液化。所谓热解液化，是指在高温下通过催化作用，将加热分解所获得的气体、分解油、焦油、碳等转变为液态燃料。英国的曼彻斯特大学研究了一种能将垃圾变为石油的装置，10min 内能把 1t 有机垃圾变成 170kg 石油。

印度将垃圾加工进行固化，最后压缩制成可燃烧的颗粒状垃圾浓缩燃料。这种垃圾颗粒燃料燃烧充分，无烟产生，可以部分替代工业和民用燃料。还可以采用垃圾浓缩燃料用来发电，其经济效益

远高于煤炭燃料。

## 第五节 生活垃圾卫生填埋场渗滤液处理

卫生填埋技术目前我国被广泛应用于生活垃圾的处理。在生活垃圾的卫生填埋过程中，由于雨水渗入和垃圾的生物化学和化学降解作用，会从垃圾层中渗出含高浓度的悬浮物和高浓度的有机或无机成分的废水，即渗滤液。

### 一、渗滤液的产生来源与特点

渗滤液的组分比较复杂，与垃圾成分、填埋场的土壤组分和填埋场使用年限有关，主要污染物是有机污染物、金属离子、氨氮、总溶解性固体等。

生活垃圾填埋场渗滤液是地表水和地下水污染的主要来源之一。渗滤液中污染物会缓慢地沿着地下水流向成扇形扩散，造成对地下水的污染。同时，垃圾填埋场经导管引流出来的渗滤液，一般没有经过完全的处理就直接用于农田灌溉或排入地面水系，随渗滤液进入水系或农田的各种有机污染物、无机污染物，会危害水生生物和农作物，并通过食物链和生态环境对人体健康产生危害。曾有报道，我国某些垃圾堆放场附近的地下水中细菌总数和大肠菌群超过饮用水水质标准很多。

### 二、渗滤液水量控制工程

生活垃圾卫生填埋场渗滤液控制系统是整个填埋场设计的最重要组成部分。防止污染物向垃圾填埋场外扩散的主要措施是垂直和水平防渗系统，它能够控制渗滤液对周围环境的影响，但却不能调节渗滤液水质、水量。

控制渗滤液产生量的主要工程措施是实现清污分流，这是卫生填埋场设计中渗滤液控制的首要原则。将渗滤液并入城市污水厂处理或场内处理，则是对渗滤液水质污染物控制的基本措施。

### 三、渗滤液处理技术

目前生活垃圾填埋场渗滤液的处理有其显著的特殊性，已成为水处理领域里的研究热点，因此，选择工艺技术可靠、经济合理的

方案显得极其重要。

渗滤液的处理一般可分为场外和场内处理两种主要方案：其中场外处理方案是将渗滤液直接排入城市污水处理厂进行处理，场内处理方案是在填埋场内建设独立的水处理系统对渗滤液进行处理。

### （一）场外处理

所谓场外处理，就是将渗滤液直接引入附近的城市污水处理厂进行处理，但并不排除在填埋场内进行必要的预处理。填埋场排出的渗滤液首先在预处理设施进行必要的处理，以去除渗滤液中的重金属离子、氨氮以及 SS 等污染物质，为下一步在城市污水处理厂进行处理创造良好的条件。

### （二）场内处理

由于渗滤液中经常含有浓度较高的重金属离子等有毒有害物质，会导致城市生活污水处理厂设施中活性污泥的活性下降并增加处理难度等原因，在场内建设独立的处理系统也是一种可行的方案。

渗滤液循环喷洒是场内处理方案中的一种。通过多次回流循环可以增加垃圾的湿度和微生物活性，提高甲烷气的生产速率、垃圾中污染物的溶出及有机物分解。

### （三）渗滤液深度处理技术

对于生物处理基本没有效果的晚期渗滤液，必须采用以物化为主的深度处理技术处理。垃圾渗滤液中含有一些不能被好氧微生物降解的物质，因此仅仅通过好氧生物处理是难以达到处理标准的。深度处理技术一般有用强氧化剂氧化法，如臭氧氧化、臭氧催化氧化以及膜处理技术等。由于深度处理技术需要较高的投资和运行费用，如何找到一种廉价的处理方式就显得非常重要。深度氧化技术的研究主要集中在高效反应器的研制，以提高单位能耗的处理效率。

## 第六节 人粪尿处理技术

由于我国农村地域分散、广阔，粪便处理覆盖率较低，缺乏完

整的管理体系。目前粪便处理方法大体上不外乎堆肥发酵和沼气发酵两种方法。

### 一、堆肥发酵

堆肥发酵是将经筛分的生活垃圾中的有机物或农业作物秸秆与粪便混合起来，采用野外人工堆肥的方法，混入的粪便可调节肥堆的湿度和增加肥力。堆肥过程中有机质在微生物分解作用下导致堆肥物料的温度升高，其变化可经历为 40~50℃ 的中温阶段和 60~70℃ 高温阶段两个过程。通过堆肥温度升高，基本上杀死致病菌和寄生虫卵，达到一般的无害化卫生处理。

### 二、沼气发酵

从建国初期，中国就开始提倡应用沼气技术处理粪便。沼气厌氧发酵处理可以有效地杀灭致病菌和寄生虫卵，控制苍蝇孳生繁殖的条件，对防止环境受粪便污染是很有效果的。根据气候、农作物和生活环境等条件均相似的沼气村和非沼气村观察结果显示，在密闭的沼气池中处理粪便，可以降低周围环境中的苍蝇密度的 63.5%。沼气发酵处理粪便的措施会增进农民健康水平，改变农村脏、乱、臭的面貌，使农民的生活环境质量得到进一步提高。详细有关人粪尿的堆肥发酵和沼气发酵技术，可参阅本章第三节生物处理部分，此处不再赘述。

### 三、生态厕所

有关人粪尿处理技术方面还有值得一提的是生态厕所。生态厕所是自身具备良性循环结构的一种厕所。它一般具有生态建筑方面的如下特点：首先是它的关键设施地下沼气净化池，而不是普通的沼气池；其次是墙体要进行垂直绿化，厕所屋顶可进行覆土种植或设置太阳能利用装置。

设在地下的生态厕所的沼气净化池，由厌氧发酵池和生物过滤池组成。沼气净化池的作用是将人粪尿和污水等污物及时地、分散地、局部地进行无害化处理。沼气净化池可以将人粪尿和污水等污物发酵处理，分解成沼气和沼气发酵液。沼气可以经管道输送供作能源，沼气发酵液可作为农业肥料。沼气净化池的容积可以根据实

际使用人数而变化来进行设置，因而适用于分散的广大农村地区。

#### 四、粪便处理的卫生要求

人粪尿无论是经过堆肥发酵还是经过沼气发酵等技术处理，粪肥应达到相应的国家“粪便无害化卫生标准”（GB 7959—87）。

### 第七节 粉煤灰的资源化利用

燃煤电厂将煤磨细至  $100\mu\text{m}$  以下后用预热空气喷入炉膛燃烧，燃烧后产生大量的煤灰渣。其中从烟道排出并经除尘设施收集的灰渣即是粉煤灰，它约占整体煤渣灰的 70%。我国电力工业是以燃煤火力发电为主，因此粉煤灰排放数量巨大。每年全国排放的粉煤灰数量为 1 亿多吨，是世界上粉煤灰排放量最大的国家。排放的粉煤灰不但侵占土地，还会严重污染大气和水体环境。因此，粉煤灰的综合利用是一种资源的节约，可以取得极大的经济效益、社会效益和环境效益。

我国目前对粉煤灰尚无公认的分类方法，只是大体上按照氧化钙的含量高低将粉煤灰分为高钙灰（CaO 含量在 20% 以上）和低钙灰，分别相当于美国 ASTM 的 C 类灰和 F 类灰。

粉煤灰的主要化学成分为氧化硅、氧化铝及氧化铁，其总量约占粉煤灰的 85% 左右。我国排放的粉煤灰基本上都是低钙灰。粉煤灰的矿物组成基本上可分成以玻璃体（ $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  的固熔体）为主的无定形相和以石英、莫来石等为主的结晶相两大类。低钙粉煤灰的活性主要取决于无定形相玻璃体，其含量越高，粉煤灰的活性越好。粉煤灰的活性也叫火山灰活性，是指像天然火山灰一类物质所具有的在潮湿环境中能与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  发生反应生成凝胶的性能。

粉煤灰是由各种大小不等、类型不同颗粒所组成，大多数粒径是  $40\sim 60\mu\text{m}$ 。其中表面光滑的球形颗粒，它的密度较大，在水中下沉，称为沉珠，又叫密实微珠。密实微珠依其化学成分，可以分为富钙玻璃微球和富铁玻璃微珠。富铁玻璃微珠具有磁性，又称为磁珠。此外，还有表面不规则的多孔颗粒，不规则多孔颗粒包括多

孔炭粒和多孔铝硅玻璃体。多孔铝硅玻璃体富含氧化硅和氧化铝，是粉煤灰中数量最多的一类颗粒。其中具有封闭性孔穴的颗粒有一种密度很小、能浮在水面上的颗粒，称为漂珠。其含量可以达到粉煤灰体积的 15%~20%，具有较大的利用价值。

### 一、粉煤灰用于生产建筑材料

粉煤灰在建筑材料中应用广泛，按其特性和质量可分别用于生产水泥、制砖、配制混凝土、生产陶粒等。

#### (一) 粉煤灰生产硅酸盐水泥

粉煤灰硅酸盐水泥的生产，基本上有两种工艺：一种是把粉煤灰与水泥熟料在水泥磨机中共同混合磨细，另一种是与磨细的水泥在混合设备中共同混合。在国内采用较多的是混合磨细的工艺。因此，粉煤灰硅酸盐水泥一般是由硅酸盐水泥熟料和占水泥质量 20%~30% 的粉煤灰以及适量石膏磨细而形成的产品。现在世界上有很多国家生产粉煤灰硅酸盐水泥。粉煤灰在各种活性混合材料中所具有的独特性能，有利于粉煤灰水泥产品的发展和质量的提高。粉煤灰硅酸盐水泥中由于水泥熟料、粉煤灰质量和掺量的不同，粉煤灰效应和效率也会有较大变化。因此，在开发粉煤灰硅酸盐水泥产品时，针对选定的粉煤灰原料需要进行一定掺量和一定工艺条件下的水泥产品的粉煤灰效应和效率试验。

同时，粉煤灰的磨细工序对减低粉煤灰的颗粒形态变异影响，进而提高水泥产品的均匀性和产品质量，相当重要。上海的试验证明，细度为  $45\mu\text{m}$  的粉煤灰筛余量从磨细前的 19.6%~45.9% 下降到经过磨细后的 17.1%~20.6%，使粉煤灰的性能有明显提高。近年来，我国有些水泥企业采用了较先进的“康拜登磨机”。这种球磨机将熟料和粉煤灰混合磨细，可以提高粉煤灰水泥的早期强度。

粉煤灰硅酸盐水泥的生产特点是用粉煤灰来取代部分水泥熟料，因而可以节约水泥生产的能源消耗。

除了粉煤灰硅酸盐水泥以外，还有用水泥熟料、矿渣、粉煤灰三种材料共同混合磨细而成的矿渣硅酸盐水泥。在矿渣硅酸盐水泥

中的粉煤灰掺量比粉煤灰硅酸盐水泥中的掺量相对要少。

## （二）粉煤灰生产黏土烧结砖

粉煤灰黏土烧结砖是以粉煤灰和黏土为主要原料烧制而成的。用粉煤灰代替部分黏土烧制的砖与普通砖相比，强度相同，但一般质量约轻 20%。粉煤灰含有较多的氧化硅和氧化铝，在一定条件下加入激发剂，在压制成型后粉煤灰能改善砖的物理性质。

利用粉煤灰作原料生产粉煤灰黏土烧结砖，可以节约大量的黏土和能源，又能处理大量的粉煤灰。据报道，每生产 1 亿块黏土砖就要毁田约 100 亩。我国的黏土烧结砖厂星罗棋布、遍及各地，因此，利用粉煤灰制砖可以减少耕地的破坏。

生产粉煤灰黏土烧结砖的工艺过程与普通黏土砖基本相同，由于在黏土砖坯内掺入了一定数量的粉煤灰而导致其生产工艺变化具有相应的特点：首先，黏土塑性是决定粉煤灰掺灰量的首要条件。黏土颗粒越细时其塑性指数越高，而黏土塑性指数越高，掺灰量越大。根据生产经验，一般认为湿法挤出成型掺灰量少，掺灰量质量比最多达 40%~50%；其次，在码窑技术方面，粉煤灰烧结砖码窑密度比焙烧普通黏土砖码窑密度要大，粉煤灰烧结砖的码窑就意味着燃料总量的增加，燃料的增加可以提高窑内温度和产量。此外，粉煤灰烧结砖的码窑形式与普通黏土砖相比也有不同。

## 二、粉煤灰用于农业土壤改良

我国从 20 世纪 60 年代开始把粉煤灰用于农业，迄今已有 40 多年的历史。粉煤灰中的硅酸盐矿物和炭粒具有多孔性，用粉煤灰可以改良土壤的质地，使其密度、通气性、孔隙度、渗透率等得到改善。同时增加土壤的磷、硅、铜、锌、钼等营养元素的含量，达到增产的效果。粉煤灰会对土壤理化性质发生影响，根据试验结果，土壤孔隙度平均为  $55.3\% \pm 3.7\%$ ，比无灰对照土壤（样本数  $N=6$ ）的孔隙度  $47.9\% \pm 2.7\%$  增加 7.4%。并且施灰量在每亩 10 万千克之内时，孔隙度随着施灰量的增加而增加，呈明显的相关性。施用粉煤灰还可以明显提高 5~15cm 深度的土层温度，粉煤灰所具有的黑灰色有利于其吸收热量。一般亩施灰  $(0.75 \sim 2) \times$

$10^4\text{kg}$ ，可提高土壤温度  $0.5\sim 1.3^{\circ}\text{C}$ 。土壤温度提高，有利于微生物活动、养分转化和种子萌发。

根据全国各地大量小区和大田试验结果，不同土壤合理使用符合农田标准的粉煤灰均有增产作用。每亩施灰量为  $(0.15\sim 6)\times 10^4\text{kg}$  时，小麦、玉米、水稻等主要粮食作物都有明显增产效果。

### 三、粉煤灰的精细利用

粉煤灰是空心玻璃微珠、密实玻璃微珠、富铁玻璃微珠、多孔球状炭粒、碎屑状炭粒以及海绵状玻璃体等组分的混合物。粉煤灰也是包含铝、铁等多种元素的重要资源。因此，粉煤灰具有不同的利用途径和较高的经济价值，通过一定的化学或物理方法将玻璃微珠或铝、铁等元素从粉煤灰中分选或提取出来，就是所谓的粉煤灰精细利用。

国内外研制的开发项目很多，我国已研究开发的项目有粉煤灰漂珠、沉珠、炭粒和富铁玻璃微珠的分选和利用以及粉煤灰中铝的提取等。这些利用技术用灰量少，并且能够带来一定的经济效益，可以用此收益去补偿那些用灰量大、效益低的利用项目。

#### (一) 从粉煤灰中提取漂珠和磁珠

漂珠的主要成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，其含量分别为 60% 和 30% 左右。漂珠是一种轻质、中空、光滑、能漂浮在水面上的珠状微粒。具有耐磨、高强、耐蚀、绝缘、稳定等多种优异功能，可在火箭、潜艇、坦克等军工产品中用作涂料；可作为油漆、塑料的填料，例如在聚氯乙烯中掺用微珠可节约树脂。漂珠具有耐高温和良好的绝热和绝缘性能，在工业上广泛应用于制作隔热材料、绝缘材料和填充材料。

在密实微珠中有一部分含氧化铁较高的富铁微珠，即磁珠。它具有磁性，是铝硅酸盐玻璃体的实心微珠。磁珠可作为冶金工业的原料和特种材料的填料。

漂珠的密度小于 1，可漂浮在水面上，利用这个特性，可

在贮灰场的水面上直接捞取。但由于贮灰场的水面太大，漂珠过于分散，效率太低。为了能最大限度地提取漂珠，同时又能回收磁珠，可采用浮选和磁选相结合的方法。目前国内外从粉煤灰中提选空心玻璃微珠，大致可分为两种方法，即干法分选法和湿法分选法。干法分选法适用于干排粉煤灰，湿法分选法适用于湿排粉煤灰。湿法分选工艺效果要好于干法。湿法分选法是根据电厂实际情况增设一个浮选和磁选系统，工艺流程如图 6-7 所示。

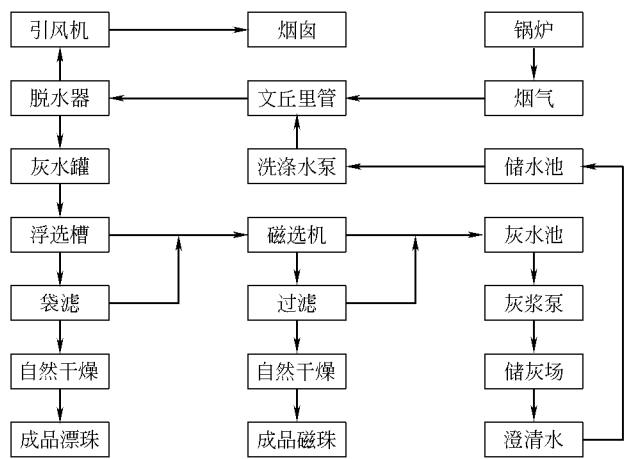


图 6-7 湿法分选漂珠和磁珠的提取工艺流程

(二) 粉煤灰提取氧化铝

国内外从粉煤灰中提取氧化铝的工艺很多，但最常用的为石灰石烧结法、酸浸法和气体氯化法。美国采用石灰石烧结法从  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 20% 的粉煤灰中提取  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的提取率为 80%。美国橡树岭实验室也进行过用酸浸法从粉煤灰中提取氧化铝的研究。我国从粉煤灰中提取氧化铝的工作最早是在 20 世纪 50 年代。我国安徽省冶金科学研究所从粉煤灰中提取氧化铝的方法是应用粉煤灰、石灰石和碳酸钠 3 种主要原料，这就是石灰石烧结法，其工艺流程如图 6-8 所示。

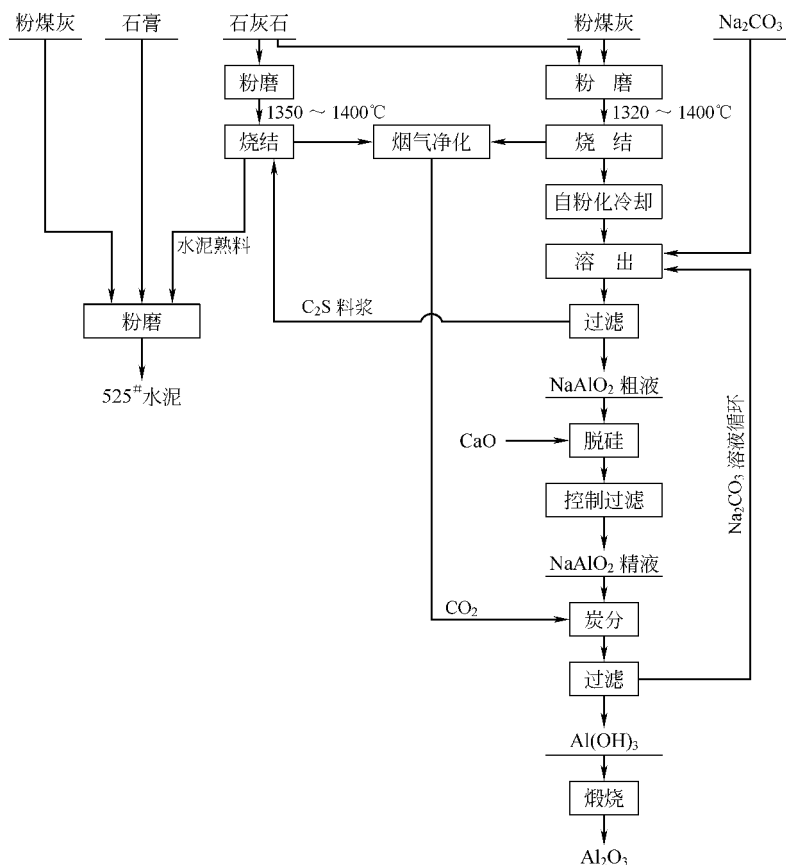


图 6-8 石灰石烧结法从粉煤灰中提取氧化铝工艺流程

## 第八节 煤 石的资源化利用

我国是一个以煤炭为主要能源的国家，煤炭在煤、天然气、水电、核能等构成的能源消费结构中所占比例大约为 70%，显著高于世界发达国家。乡镇企业煤矿增长和发展也相当迅速。

煤矸石是煤炭的伴随产物。煤矸石是在成煤过程中与煤层伴生的一种比较坚硬的岩石，它是由碳质页岩、碳质砂岩、砂岩、页

岩、黏土等岩石组成的混合物，其化学成分主要有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等（见表 6-1）。

表 6-1 煤矸石的主要化学组成 单位：%

| $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ |
|----------------|-------------------------|--------------|--------------|-------------------------|----------------|------------------------------------------|
| 51~65          | 16~36                   | 1~7          | 1~4          | 2~14                    | 1~4            | 1~4                                      |

煤矸石是采煤及选煤行业排出的主要固体废弃物，每采选 1t 原煤约产生 0.2t 煤矸石。目前全国产生的煤矸石数量相当可观，我国煤炭行业年排出的矸石量为 1 亿吨。据统计调查，由于煤矸石发热量较低，难以利用，一般被视为固体废弃物。大量的煤矸石堆积成山不仅侵占土地，而且其中发热量相对高一些的煤矸石山还会发生自燃，排放出大量  $\text{SO}_2$ 、CO 等有害气体，污染大气环境。煤矸石中含有重金属微量元素，短时间内就可被浸淋溶出，直接污染地下水。它还会随着地表径流排入附近河渠，造成地表水体的污染。

煤矸石综合利用的研究，很久以来就引起国内外的广泛关注，且在科研和生产实践中都取得了很大进展。对煤矸石的综合利用具有以下一些途径。

一、煤矸石替代燃料

我国煤矸石的发热量一般在 6300kJ/kg 以下，发热量在 6300kJ/kg 以上的仅占一少部分。由于煤矸石中含有一定数量的固定碳和挥发分，可用来替代燃料，回收其中的热能。将煤矸石中能源物质利用的主要方式，有燃烧沸腾锅炉、煤矸石发电、化铁、烧石灰等。

（一）燃烧沸腾锅炉

使用沸腾锅炉燃烧煤矸石，是近年来发展起来的一种燃烧技术。沸腾锅炉的工作原理，不同于普通燃煤锅炉。它是将破碎到一定粒度（一般在 8mm 以下）的煤矸石，用风在下部吹起，在炉膛的一定高度上成沸腾状态燃烧。

沸腾锅炉燃烧的特点是对煤种适应性广，除了可燃烧煤矸石以外，还可燃烧褐煤和烟煤等。使用沸腾锅炉燃烧煤矸石可以节约燃料和降低成本，但对煤矸石的破碎量和排出的灰渣量均较大，锅炉

沸腾层埋管的磨损也比较严重。

(二) 煤矸石发电

将含碳量相对较高、发热量大约 6300kJ/kg 以上的选煤厂的洗矸和劣质煤用作混合燃料发电，是一种综合开发利用能源资源的很好方式。1975 年在四川永荣矿务局建立了我国第一座流化床矸石电厂，是我国利用煤矸石发电的最早尝试。流化床锅炉产蒸汽为 35t/h。20 世纪 80 年代初，在黑龙江鸡西矿务局滴道煤矿建成了较大规模的矸石电厂，该厂利用 130t/h 的大吨位流化床锅炉燃烧技术发电，当时这在我国和世界上均属领先地位。经过 20 年的连续运行证明，这套煤矸石发电技术可行。

煤矸石发电的主要工艺流程如图 6-9 所示。

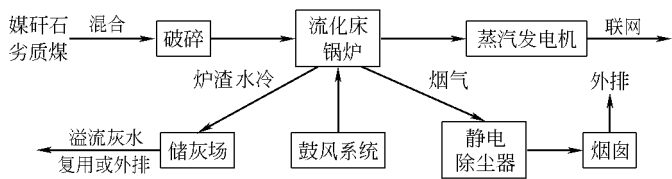


图 6-9 利用煤矸石发电的主要工艺流程示意

这种煤矸石发电的主要工艺是流化床燃烧技术。流化床燃烧是一种特殊的燃烧方式，要比煤粉炉、层燃炉发电技术难度大。一般而言，煤是在锅炉排上燃烧，还是在炉床上沸腾燃烧，主要取决于两个力：一个是煤粒自身向下的重力，一个是从床下向上送入的风力，如果风量调整适宜，煤即在炉床上一定高度内沸腾燃烧。流化床燃烧的基本原理是靠从床下送进的高压一次风，而使煤矸石粒和煤粒在炉床上一定的高度内沸腾运动，形成流化状态。流化床燃烧的技术特点为：一是它适用的煤的种类范围宽广，发热量高的无烟煤和发热量低的油页岩均能很好地燃烧，以洗煤矸石为主配以少量的劣质煤作为混合燃料亦能很好地燃烧；二是燃烧工艺过程比较简单，煤矸石和劣质煤混合物经机械破碎筛分后，用皮带机送入锅炉进行流化床上沸腾燃烧，烟气经除尘后送入烟道，灰渣经水冷后泵

入灰场。

以流化床燃烧技术利用煤矸石发电，具有明显的经济效益、社会效益和环境效益。它不但是节约能源的一条可行的新途径，还可以缓解和减少由于煤矸石占地和煤矸石堆自燃带来的生态破坏和大气污染等环境问题。

通过上述分析之后，还要提及几个值得注意或探讨的有关问题：首先，矸石电厂适合于建在大型乡镇企业煤矿，特别是洗煤厂所在地区。这样既可保证充足的廉价燃料来源，又可节约运输费用；其次以流化床燃烧技术利用煤矸石发电，需要具备一定的经济和技术条件；再者应注意烟尘和冲灰水的环境污染防治。

## 二、煤矸石生产各种建筑材料

煤矸石是以高岭石或含水高岭石为主要成分的黏土矿物，它的化学成分和黏土相似。它燃烧以后具有一定的活性，可用来生产矸石砖、矸石水泥、矸石砌块等各种建筑材料和筑路回填。

### （一）煤矸石制砖

用煤矸石制砖是一条简单易行、投资少、见效快的好途径，尤其适用于乡镇企业。煤矸石制砖包括用煤矸石生产烧结砖和做烧砖内燃料。用做矸石砖的煤矸石，要求发热量在  $2100\sim 4200\text{kJ/kg}$  范围内。矸石砖的配料以煤矸石为主，约占坯料质量的 80%，并掺以少量的黏土。煤矸石制砖工艺与黏土制砖工艺相似，主要包括原料的破碎、砖坯成型、干燥和焙烧。

利用煤矸石制砖，既大量节约了耕地土壤，又大量节约了燃料。例如，云南省富源县某煤矸石砖厂一年共生产 2500 万块矸石砖时，年耗用煤矸石 13 万吨，节约原煤 3000t。

### （二）用作水泥配料

烧失量在 5% 以内的自燃过或经过人工煅烧的煤矸石具有一定的活性，与水泥熟料混合磨细后可以改善水泥性能。煤矸石掺量在 15% 以内时制成的水泥被称为硅酸盐水泥。掺量在 20%~50% 时制成的水泥被称为火山硅质硅酸盐水泥。煤矸石用于水泥配料能够降低水泥熟料的烧成温度，使生产水泥的燃料消耗降低 10% 左右。

### (三) 生产建筑砌块

用煤矸石含量占 30% 以上的原料可以生产石灰质矸石建筑砌块和水泥胶接砌块等。生产石灰质矸石建筑砌块是用粉碎到 5mm 以下的矸石材料代替了天然砂。这种砌块制作时要求矸石中  $\text{SiO}_2$  含量越高越好，而碳含量应尽量低。砌块原料配比为粘接物料石灰占质量的 6%~7% 和矸石砂占质量的 93%~94%。这种砌块的物理特性符合工业用建筑砌块的要求。

### 三、煤矸石生产化工产品

以硬质高岭岩为主要成分的煤矸石，在我国贮量巨大。煤矸石中高岭石含量为 90%~95%，主要成分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$ ，其中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 34%~39%。煤矸石可用于制备硫酸铝、硅酸钠、氢氧化铝、氧化铝、硫酸铵、氯化铝等多种化工产品。

#### (一) 煤矸石制取硫酸铝

硫酸铝是一种广泛应用于造纸、印染、制革、电镀、饮用水净水剂、木材防腐、冶金工业等行业的化工原料。用煤矸石制取硫酸铝工艺简单，是将煤矸石经过粉碎和焙烧后与硫酸相反应而得



用煤矸石生产硫酸铝时，一般要求用煤矸石中的三氧化二铝含量在 35% 以上，而氧化铁的含量在 1.5% 以下。

#### (二) 煤矸石制取氢氧化铝、氧化铝

可以用化学浸取法从煤矸石制取氢氧化铝、氧化铝。其主要工艺流程是将煤矸石和石灰石按一定比例混合磨碎，加水压制成块后，经 1000~1050℃ 高温烧结，再经粉碎后用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液浸取，得到  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，再进一步制备和得到氢氧化铝。氢氧化铝经焙烧脱水后成为氧化铝。

### 四、煤矸石充填采空区

由于煤炭开采造成矿区地表塌陷是采煤行业主要环境问题之一。我国煤炭生产约有 94% 为井下开采，由此引起的地表塌陷每年达  $(1.5 \sim 2.0) \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。地表塌陷不仅造成矿区建筑物、工程

设施和交通道路的破坏,给工农业生产和人民群众生活造成严重的损失,还会使农业和生态环境遭到破坏。从理论上讲,用煤矸石充填采空区可以防范地面塌陷。西方很多国家对这种办法已有采用。但需要的技术难度较大。已经塌陷地区用作建筑用地时,亦可采用分层充填的方法。

## 第九节 废橡胶的资源化利用

### 一、橡胶的生产和消费概况

我国的橡胶消费量居世界首位,但却是一个橡胶资源十分缺乏的国家。因此,废橡胶资源也在同步增长。第二次世界大战以后,全世界汽车工业发展迅速。2000 年全世界汽车的数量大约为 5 亿辆。预测到 2025 年全世界汽车的数量将会达到 10 亿辆。随着汽车工业的迅速发展,汽车轮胎和废旧轮胎的产生数量也急剧增加,废旧轮胎已成为废橡胶的主要部分。中国是世界上第三大汽车轮胎生产国,生产数量仅次于美国和日本。以 2001 年为例,全国轮胎生产量为 1.3 亿条,同年我国产生的废旧轮胎数量为 5000 万条之多。废旧轮胎这一废橡胶的主要组成部分,约占废橡胶总量的 60%~70%。除此之外,是废胶带、废胶管、废胶鞋等废橡胶制品以及橡胶制品生产过程中产生的废品和废料。中国是世界上最大的橡胶消耗国,也是世界上最大的废橡胶产生国。

### 二、废橡胶利用的意义

日益增多的被称之为“黑色污染”的废橡胶污染正在威胁着人类环境。对废旧橡胶不适宜采用填埋方法处理,因为橡胶的大分子在土壤中分解要达到不影响土壤中植物生长的程度需要的时间相当漫长,大约要几百年。同时,填埋也是一种资源上的极大浪费。一般来说,每生产 1000g 合成胶需 3000g 石油。3t 再生胶可替代 1t 天然胶。在北京、上海等很多大城市的郊区都可以见到堆积得像山丘一样的废旧轮胎,大量的废旧轮胎的存在,随时都在危害着人类环境,因为废旧轮胎易燃,容易形成火灾,燃烧生成的黑烟会对空气造成严重的污染。同时,废旧轮胎长期露天堆放不仅占用大量土

地，破坏植被生长，还导致蚊虫滋生传播疾病，恶化人类生态环境

随着科学技术的进步，人们已有能力将废旧橡胶变成一种再生资源进行回收利用，废旧橡胶已变成一种可以为社会利用的再生资源。废橡胶资源利用是国民经济发展、环境保护所必须重视的产业

此外，对废旧橡胶还可作为工业锅炉、热电厂和水泥厂的燃料进行焚烧。但是必须配备完善的烟尘净化技术设备，消除燃烧过程中产生的污染

### 三、橡胶资源综合利用方面的生产技术

目前，世界上已有许多将废旧轮胎作为资源回收再利用的技术成果，如原形改制、轮胎翻新、生产再生胶以及热能利用等。中国在废橡胶资源综合利用方面的生产技术和工艺装备方面，正在迈入国际先进水平。

中国废旧轮胎回收利用产业主要包括旧胎翻新、再生胶和胶粉三个领域。此外，在世界范围内还存在利用废橡胶进行热解产生气体燃料或直接焚烧产生热能的领域

#### （一）旧胎翻新

我国现有旧轮胎翻新企业约 500 家，每年翻新处理废旧轮胎约 20 万吨，生产的新胎与翻新胎的比例远远低于 10 : 1 的世界平均水平。其原因一方面是技术问题，另一方面是胎源不足。在中国，轮胎的使用情况与国外不同，往往是胎体使用过度、超过磨损极限而失去翻新价值。

#### （二）再生胶

目前我国再生胶、胶粉主要用于橡胶制品，应扩大再生胶、胶粉在建筑材料、塑料、涂料、交通等方面的应用领域，开发废橡胶和其他废物的共混技术以及将废轮胎作为水泥燃料的利用技术。我国是世界上最大的再生胶生产国，现有再生胶企业 600 多家，年产再生胶 35 万吨，共计处理废旧轮胎约 50 万吨，占废旧轮胎回收利用总量的 60% 之多。这些企业是中国废旧轮胎回收利用产业的主力军。

再生胶的制作方法很多，我国目前采用传统的油法和水油工

艺。这两种方法工艺流程长、能耗高、污染重、效益低，因而在国外已被高温高压法（如旋转搅拌脱硫）、微波脱硫法等先进工艺取而代之。

但是，再生胶产业被世界发达国家称为夕阳工业。因为美国等发达国家逐渐淘汰了再生胶产业，所以对再生胶产业的未来发展前途，国内外在舆论上尚有争议。

### （三）胶粉

目前，我国自行开发的常温法生产胶粉技术已经达到世界领先水平。但被大家所看好的胶粉工业，近年来并没有得到应有的发展，我国现有胶粉企业近 40 家，年产胶粉不足 5 万吨，总计处理废旧轮胎约 10 万吨。国外生产胶粉的工艺以冷冻粉碎法为主。

目前我国胶粉的应用市场尚未得到有效的开发，胶粉防水涂料、胶粉改性沥青等许多建材新产品还未得到推广应用。

### （四）废橡胶的热解

能够进行热解的废橡胶主要是指用天然橡胶生产的废轮胎、工业部门的废皮带和废胶管等。根据德国汉堡大学的研究，废轮胎的热解产物组成中，气体占 22%（质量比）、液体占 27%、炭黑占 39%、钢丝占 12%。在气体组成中主要为甲烷，约占 15.13%。其他少量气体为乙烷、乙烯、丙烯、一氧化碳和二氧化碳等。热解产物组成随着热解温度不同而略有变化。

废轮胎的热解工艺流程主要是应用流化床及回转窑。废轮胎首先经破碎机破碎至小段后，分离出轮胎中钢丝，并用磁选去除。将轮胎粒子加入电热流化床反应器中，产生的热解气体会与流化床上的固体经除尘器分离，再经静电沉积器除去炭黑，并经冷却器除油后成为燃料气体。

日本、美国等很多公司进行了将整轮胎不经破碎直接进入流化床热解的工艺研究。热解后分离的钢丝会由伸入流化床内的移动式格栅移走。热解产物经电除尘器和油洗涤器装置处理后，会得到以甲烷为主的热解气体。

在西方国家，也有将橡胶产品生产过程中的废品和废料直接用

作燃料的做法，利用在焚烧炉里焚烧这些废橡胶所产生出来的热能。

## 参 考 文 献

- 1 李国建，赵爱华，张益．城市垃圾处理工程．北京：科学出版社，2003
- 2 徐惠忠，王得义，赵鸣．固体废弃物资源化技术．北京：化学工业出版社，2004
- 3 杨慧芬，张强．固体废物资源化．北京：化学工业出版社，2004
- 4 杨玉楠，熊运实，杨军等．固体废物的处理处置工程与管理．北京：科学出版社，2004
- 5 王绍文，梁富智，王纪曾．固体废弃物资源化技术与应用．北京：冶金工业出版社，2003
- 6 克里斯蒂昂·恩戈，阿兰·雷冈．废弃物与污染对环境与健康的影响．鄂勇译．北京：中国环境科学出版社，2005
- 7 卞有生．生态农业中废弃物的处理与再生利用．北京：化学工业出版社，2000
- 8 朱蓓丽．环境工程概论．北京：科学出版社，2003
- 9 李建政．废物资源化与生物能源．北京：化学工业出版社，2004
- 10 沈东升．生活垃圾填埋生物处理技术．北京：化学工业出版社，2003
- 11 杨慧芬．固体废物处理技术及工程应用．北京：机械工业出版社，2003
- 12 边炳鑫．粉煤灰微珠湿法分选工艺．中国矿业，2000，9（4）：22~24

## 第七章 沼气发酵及综合利用技术

### 第一节 农村沼气发酵应用与特点

#### 一、沼气概述

在池塘、粪坑或者污水沟里，经常有气泡冒出，这种气泡就是沼气。沼气发酵的定义为：在没有硝酸盐、硫酸盐、氧气和光线的条件下经微生物氧化分解作用，复杂有机物中的碳素化合物彻底氧化分解成二氧化碳，一部分碳素彻底还原成甲烷的过程。二氧化碳为碳素氧化的终产物，甲烷为碳素还原的终产物。

沼气不是一种纯净的物质，而是一种混合气体。沼气的主要成分是甲烷，大约占沼气总体积的 50%~70%；其次是二氧化碳，约占总体积的 30%~40%；还有少量的硫化氢、氢气、氮气、氧气等。沼气的性质主要由甲烷所决定，甲烷在常温常压下是一种无色、无味的气体，容重比空气轻近一半。它的分子直径极小，因而在应用中沼气很容易跑掉。同时，甲烷对水的溶解度很小，在应用中可以用水封的办法来贮存沼气。

甲烷能够燃烧，其燃烧的浅蓝色火焰温度约达 2000℃，每立方米甲烷燃烧的热值为 39580kJ。而每立方米沼气的热值为 17928~25100kJ，相当于 1kg 原煤的发热量。甲烷在空气中的含量达到 5.4%~13.9%时，易引起爆炸，因此，在应用中要特别注意安全。

#### 二、沼气发酵工艺

沼气转化为能源的载体是沼气池。随着沼气厌氧发酵技术的不断改进，在池型上已由最初的水压式发展到较为先进的浮罩式、集气罩式、干湿分离式、太阳能式等；在发酵工艺方面已开始应用干发酵、两步发酵、干湿结合发酵、太阳能加热发酵等新技术；在规模上正由户用小型沼气池逐步向发酵罐容积几百至几千立方米、集中供气的大中型沼气发酵工程发展；发酵温度上有常温（10~

26℃)、中温 (28~38℃)、高温 (48~55℃); 气压上有低压式、恒压式等多种形式。

在我国农村, 沼气发酵大多以家庭模式利用沼气池自然发酵为主, 家庭模式自然发酵的沼气池生产沼气并不一定需要很高深的生物技术及复杂的工艺设备。1984 年国家标准局公布的 GB 4750-4752—84《农村家用水压式沼气池标准图集》, 适宜在广大农户中推广。建池户可根据自己院落大小、人口多少、用气数量、综合开发计划, 设计自己需要的池型和容积。沼气工艺有户用小型沼气池和大中型沼气池两类, 前者为常温发酵, 发酵时间较长, 投资较低, 管理方便, 适合以农户为单位; 后者处理量大, 效率高, 多选用中温发酵, 发酵时间短, 工艺要求严格, 投资大。目前农村家庭大多为小口之家, 选用 6~8m<sup>3</sup> 池型, 即可满足三五口人一日三餐烧水、做饭、照明、生活用气。

### (一) 农村常用的几种沼气池

沼气池种类很多, 我国农村最常用的有: 家用水压式沼气池、曲流布料沼气池和圆柱形自循环沼气池等。

#### 1. 家用水压式沼气池

这种沼气池的工作原理是: 池内装入发酵原料 (约占池体积的 80%左右), 以料液表面为界限, 上部为贮气间, 下部为发酵间。当沼气池内产生沼气时, 沼气集中在贮气间内, 随着沼气的增多, 池内的压力不断增大, 此时沼气压迫发酵液进入水压间。当用气时, 贮气间的沼气被放出, 此时, 水压间内的料液进入发酵间, 如此“气压水、水压气”反复进行, 因此称之为水压式沼气池。

水压式沼气池构造简单, 施工方便, 各种建筑材料均可使用, 取材容易, 价格较低, 一般 6~8m<sup>3</sup> 沼气池造价 600~1000 元。混凝土结构的沼气池使用寿命可达 20 年。年产沼气 240m<sup>3</sup> 以上 (黄河以北), 可供 5 口之家 8 个月做饭和全年照明。

#### 2. 小型高效沼气池

农村小型高效沼气池是在水压式沼气池基础上发展而来的, 其特点是: 年产沼气 300m<sup>3</sup>, 池容产气量每立方米每天 0.3m<sup>3</sup> 沼气,

容积在  $6\text{m}^3$  以下，成本不高于常规  $8\text{m}^3$  水压式沼气池成本，便于管理。现主要介绍如下两种。

### (1) 曲流布料沼气池

曲流布料沼气池为圆柱形沼气池，其工作原理是：原料通过带有检料板的进料口进入沼气池，长纤维状原料及砖石颗粒被滤出，然后原料通过曲流布料器（一水泥挡板。因改变了料液流向，故称曲流布料器），均匀分布于池内池顶设置破壳装置，利于池内产气，用气时液面波动破除结壳。池底为斜坡底，发酵后的沼渣通过坡底流向出料口。出料口加一塞流固菌板（一水泥挡板，起阻塞作用），阻止了原料“短路”排出，同时又起到固定及截留菌种的作用。曲流布料沼气池适宜于以纯粪便为原料的连续发酵工艺。

### (2) 圆柱形自循环沼气池

这种沼气池的工作原理是：原料从进料管进入沼气池，通过布料器板均匀分布于池内，当产气时，池内压力增加，沼气压迫沼液从高位的导液管〔出料管〕进入顶水压间内。当用气时，池内压力减小，沼液通过“U”形返液管回流入沼气池，从而实现料液自动循环。出料时，用一出料器从出料管（高位导液管）中上下提升，使沼液、沼渣进入贮肥间内。

河南省商丘、信阳等地把“U”形返液管去掉，就地取材，增加浮球和轮管，也能达到自循环目的。

圆柱形自循环沼气池内原料分布均匀，不会产生“短路”现象（原料从进料管不经发酵直接到出料口）；原料与微生物接触均匀，便于分解发酵；通过自动循环及拉动出料器，池内原料不易结壳，顶返水式水压间，增加了沼气池的气密性，便于利用太阳能增温及冬季保温。圆柱形自循环沼气池适宜于以纯粪便为发酵原料的连续发酵工艺或半连续发酵工艺。原料是产生沼气的物质基础，具备充足的发酵原料才能保证沼气发酵的持续运行。

### (二) 沼气生产原料

用于沼气发酵的原料主要是各种有机废弃物，如农作物秸秆、畜禽粪便、人粪尿、水浮莲、树叶杂草等。用不同的原料时要注意

碳、氮元素的配比。同时需注意，不是所有的植物都可作为沼气发酵原料。例如，桃叶、百部、马钱子果、肥皂皮、元江金光菊、元江黄芩、大蒜、植物生物碱、地衣酸金属化合物、盐类和刚消过毒的畜禽粪便等，都不能进入沼气池。它们对沼气发酵有较大的抑制作用，故不能作为沼气发酵原料。

## 第二节 沼气的资源化利用技术

### 一、沼气发酵的能量利用

#### (一) 有利提供热能，解决燃料

沼气和一定量的空气混合燃烧，最高温度可达  $1400^{\circ}\text{C}$ ，产生很大的热能。一般  $1\text{m}^3$  的沼气燃烧，大约能发出  $5500\sim 6000\text{kcal}$  热量，相当于  $0.5\text{kg}$  汽油或  $0.8\text{kg}$  煤燃烧发出的热量，这些热量能把  $65\text{kg}20^{\circ}\text{C}$  的水烧开，能使一盏相当于  $60\sim 100\text{W}$  电灯的沼气灯持续照明  $6\text{h}$ 。沼气发酵系统能够有效地回收农业废弃物如秸秆、牲畜粪便的能量。农村使用沼气，清洁、高效、卫生、方便，能有效地改变农村庭院烟熏火燎的状况。截止到目前为止，全国已推广农村户用沼气池  $570$  万户以上，加上糖厂，酒厂，畜牧场等的大、中型沼气池，全国年产沼气已达  $15.4$  亿立方米，解决了全国  $600$  多万户  $2500$  多万人的生活燃料。

我国的沼气资源非常丰富，牲畜粪便可年产沼气  $636.6$  亿立方米，人粪便可年产沼气  $45$  亿立方米，作物秸秆可年产沼气  $543$  亿立方米，全国全沼气资源共产沼气  $1255$  亿立方米。农村生活用能的解决，有利于保护森林植被，有利于恢复自然生态的良性循环，为农业的持续、稳定发展起着积极的作用。

#### (二) 沼气孵鸡

沼气升温孵鸡， $1\text{m}^3$  沼气相当于电能  $10\text{kW}\cdot\text{h}$ ，且孵化率可达  $94\%$ ，效益显著。据河南泰和县试验结果，每孵  $1000$  只蛋可节电  $84\text{kW}\cdot\text{h}$ ，或节煤油  $21\text{kg}$ ，耗沼气仅  $10.5\text{m}^3$ ，每立方米沼气所产生的能源效益达  $2$  元以上。而且孵化率比煤油孵鸡高  $10\%$ 、雏鸡成活率高  $5\%$ 。

### (三) 沼气温室育早稻秧

早稻利用塑料膜温室夜间沼气增温，不仅能使秧房温度稳定，而且不需花人力看守，安全可靠，可比普通大田育秧提早一个农时季节（约 15 天），有利于早稻杂优和双季杂交稻种植，提高粮食单产。

### (四) 沼气烤莲子

据江西省宁都县莲农胡进生应用结果，每千克莲子烤干可节约木炭 2kg，每亩莲子增收节支达 240 元。

### (五) 蔬菜大棚综合利用沼气增产技术

沼气用于大棚种植蔬菜，为棚内蔬菜生产提供了 3 项增产措施。

#### 1. 提供 $\text{CO}_2$

沼气是混合气体，主要成分是甲烷（ $\text{CH}_4$ ），其次是二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）；还有少量的  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等可燃气体。 $1\text{m}^3$  沼气燃烧后，可产生  $0.975\text{m}^3$  的  $\text{CO}_2$ 。塑料大棚内有时  $\text{CO}_2$  含量不足  $100 \times 10^{-6}$ ，严重影响蔬菜光合作用，通过点燃 4 灯 1 炉，可使二氧化碳浓度达  $1100 \sim 1300 \times 10^{-6}$ ，增加蔬菜叶片光合强度  $5\% \sim 18\%$ ，使黄瓜、西红柿、甜椒、芹菜产量分别提高  $49.8\%$ 、 $21.5\%$ 、 $36\%$  和  $25\%$ 。与使用其他方法制取  $\text{CO}_2$  相比年可节支 120 多元。

#### 2. 增加温度，节约能源

沼气的燃烧值  $20934 \sim 23027\text{kJ}/\text{m}^3$ ，全年产气量  $400 \sim 500\text{m}^3$ ，可获得  $1151$  万  $\text{kJ}/\text{m}^3$  的热量。早上温度最低时点燃，每天可为大棚提供  $46055\text{kJ}$  的热量，使棚内温度上升  $2 \sim 3^\circ\text{C}$ ，防止冻害，同时为生活带来方便。每年可节约  $0.5\text{t}$  标准煤，节约资金 100 多元。

#### 3. 提供肥料

沼渣、沼液是腐熟无菌、速迟兼备的优质肥料，1 个  $10\text{m}^3$  沼气池，每年可提供  $6\text{t}$  沼渣、 $4\text{t}$  沼液，每吨沼渣相当于  $70\text{kg}$  碳铵，每吨沼液相当于  $10\text{kg}$  碳铵。碳铵吨价 380 元，使用沼肥 1 年，节约化肥款 174.80 元。

## 二、沼气气体特性的应用

沼气的主要成分是甲烷、二氧化碳、一氧化碳、氧气等，其中甲烷占 60% 以上，二氧化碳占 30% 以上，而氧气仅占 0.5% 左右。利用这个特点，可有以下用途。

### （一）利用沼气贮粮

沼气可给粮堆创造低氧条件，同时，沼气中的一氧化碳还可以接受一部分氧气，使粮堆的氧气含量大大减少，在一定时间内可以使粮堆里的老鼠和害虫窒息死亡，从而达到贮粮的目的。沼气贮粮的方法如下。

#### 1. 户用沼气贮粮

沼气贮粮所用容器必须具有封闭条件，如果所用容器是竹篓等，可以用塑料袋做内存，以便封闭。有条件的用户最好用水泥混凝土专做贮粮屯。粮食晒干后装入容器内，封闭，然后从粮堆的底部进行充气，充气的粮、气比为 1 : 3 或 1 : 5，停气封闭 5~7 天，害虫杀死率可达 90%~100%。

#### 2. 粮库粮仓用沼气贮粮

在粮管部门或村镇有粮库粮仓的地方，可以集中专设沼气贮粮设施。一般建有 50m<sup>3</sup> 的沼气池，日产沼气 40~60m<sup>3</sup>。采用供气贮粮可一仓一仓地逐日进行，也可以贮气集中进行。

沼气贮粮防虫杀虫效果好，可以防止化学药物熏蒸雾的污染，能保持粮食的原有品质，对净化环境、改善卫生条件有重大意义。此法比常规方法节约成本 60% 以上，减少粮食损失 11% 左右。沼气贮粮必须注意要防止明火接触，确保安全。

### （二）沼气保鲜水果

利用沼气中甲烷和二氧化碳含量高、含氧量极少和甲烷无毒的性质和特点，来调节贮藏环境中的气体成分，造成一定的缺氧状态，以控制水果的呼吸强度，减少基质消耗，达到保鲜贮藏作用，符合气调贮藏原理。沼气保鲜水果，具有贮藏期长、成本低、效益高、无药害、好果率高等特点，沼气贮藏后，外观、硬度、甜度等均能保持鲜果的风味。

冬春以农村户用沼气池产气率较低的  $0.07\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  计算，一个  $10\text{m}^3$  的沼气池可贮果  $2000\text{kg}$  左右。

#### 1. 沼气保鲜贮藏苹果

经济效益十分显著，是投资的 60 多倍，而且设备简单，技术易于掌握，适宜在农村推广。

#### 2. 沼气保鲜柑橘

据江西省新干、于都、宁都 3 县试验结果，烂果率比药物保鲜少  $8.18\%$ ，减少干耗  $5.1\%$ ，保鲜出库好果率  $90.5\%$ ，比对照  $76\%$  高  $14.59\%$ 。

### 第三节 沼液的资源化利用技术

#### 一、概述

沼气池厌氧发酵除了产生气体——沼气以外，池内还有发酵后的副产物——沼气肥。沼气肥结构分上、中、底三层：上层水肥在沼气肥中数量最多，含有大量速效氮的高效能液体肥料，它具有见效快的优点，适用于粮食作物和蔬菜作早期追肥。施用前应先贮存密封坑内数日。如用于幼苗，应加适量水稀释，并要求快施盖土，这样既可防止“烧苗”，又能防止肥中的铵态氮挥发；中层糊状肥的浓度高，肥力强，铵态氮的含量比较丰富，适用于粮食作物和蔬菜作中期追肥。其优点是肥分不易挥发，能较长久的释放肥力，充分供给农作物在快速生长阶段所需要的多种养分。这两层都是沼气池在厌氧发酵制取沼气的过程中所产生形成的液体，因此统称为沼液，俗称“沼气发酵水”；底层为沉渣，称为沼渣。沼渣含有大量腐殖质，适用于农作物底肥，特别适用于粮食作物作底肥。对农作物具有壮秆、饱籽的功能。也可提高土壤保肥、蓄水能力。沼液、沼渣都是沼气发酵后的残留物，沼液的总固体含量约小于  $1\%$ ，沼渣含有较多的固体物（ $30\%$ 左右），沉于沼气池底，故又叫“沉渣”。

#### 二、沼液的成分

沼液含有水溶性的多种营养成分，不仅含有较丰富的可溶性无机盐类如氨和铵盐，同时还含有多种沼气发酵的生化产物-吡啶乙

酸、赤霉素等物质。沼液中含有多种氨基酸，由于厌氧发酵的原料不同，其中氨基酸的种类和数量有很大差别。因此沼液是一种速效肥料，具有易被作物直接吸收及营养、抑菌、刺激、抗逆等效果。从这一特点来看，作为肥料要比沼渣更有利。以往的研究多把两者放在一起，作为沼气肥，这样不利于对沼液的开发利用，因此，本书将两者的利用技术分别介绍。

### 三、沼液的应用

随着厌氧发酵的综合利用在我国农村的提倡，不断有试验证明沼液具有多重的功效，并且商业性开发的价值较高。

#### (一) 肥料

##### 1. 沼液作为基肥

研究表明，长期使用沼液作为基肥对改善土壤的理化特性起着积极的作用，能够提高农产品的质量和产量，降低农业生产的投入。用沼液浇灌果树，所结的果大、色鲜，味道鲜美，甜味好；用其肥田，则水稻生长强健，挺拔翠绿，分蘖多，苗高且根系粗壮发达、白根多，有效穗、穗粒数、结实率都有所提高。据四川省农业科学院在水稻、玉米、棉花等作物上的实验，亩施沼液 1500～2500kg，可增产 9.0%～26.4%，每 100kg 沼液增产水稻 1.38kg、玉米 2.0kg，棉花 0.65kg。

##### 2. 沼液作为追肥

用沼液追肥十分方便。在干旱地区，用其泼浇农作物，既能满足作物对水分的需要，又能供给多种营养元素，促进作物生长，增加作物产量，增强作物抗病能力。据河北省农科院的资料显示，追发酵液的小麦亩产比追清水加尿素的亩产多 20kg，增产 10%。据河南省的试验，用沼液泼浇的大白菜，较对照提前 5～7 天包心，增产 30%。再如河北省一农户用将沼液兑 1.5 倍的清水，对红富士苹果进行喷施取得较好的效果，坐果率平均提高 14.4%，单果重平均增加 58%，总产量提高 14%；果实可溶性固性物含量提高 2.8%，果形端正，果实香甜；另外，沼液与化肥配合施用，效果会更好。据山东省试验，沼液与氮、磷化肥配施，小麦生长旺，分

蘖多，植株高，生育期的干物质也多，比对照增产 20.5%，比单与氮肥配施的增产 14.5%，比与磷肥配施的增产 5.6%。

据试验，在施肥量相等，栽培条件基本一致的情况下，施用沼气的农作物产量比施用普通粪肥的农作物要高，而且使用沼气肥还可减少病虫害的发生。

### 3. 使用方法

沼液经过充分腐熟发酵，其富含多种作物所需营养物质（N，P，K），宜作根外施肥，效果比化肥好，特别是当农作物以及果树进入花期、孕穗期、灌浆期、果实膨大期，喷施效果明显，对水稻、小麦、蔬菜、果树都具有增产作用。沼液可单施，也可与化肥、农药、生长剂混合施。特别是施用于果树上，具有利于花芽分化、保花保果、果实增重快、光泽度好、成熟一致、商品果率提高等优点。

经过充分发酵后的沼液，可直接存入贮粪池中用做喷施、洒施和浇施。

#### （1）喷施

沼液喷洒在蔬菜上可以被植物植株直接吸收利用，能加快叶绿素的合成，提高光合效率，促进蔬菜体内物质和能量的代谢，提高蔬菜吸收肥水的能力、抗逆性能及抗病菌能力，使蔬菜植株健壮旺盛，有利于干物质的积累，从而产生明显的增产作用和抗病虫害能力。

喷施时间一般从定植后第 5 天左右喷第 1 次，以后每 7~10 天喷 1 次，共喷 3~5 次。沼液使用时，取正常产气一个月以上的沼气池内澄清、纱布过滤的沼液，应存放 2~3 天方可使用。使用浓度根据沼液浓度、施用作物及季节、气温而定。可将贮粪池中的沼液澄清液用喷雾器直接均匀的喷在作物上。一般幼苗、嫩叶期 1 份沼液加 1~2 份清水；夏季高温，1 份沼液加 1 份清水；气温较低，又是老叶（苗）时，可不加清水。喷施一般做作物追肥，每亩施肥量为 1500~2500kg。

番茄在开花结果期，以沼液兑 1.5 倍清水叶面喷 4~5 次，能

增产 20% 以上，能有效地防止番茄的晚疫病及灰霉病的发生；大白菜在生长期喷 2~3 次的沼液，能使菜包心快、包心实、增产 30% 左右，并且冬季贮存不易腐烂；黄瓜在育苗期喷施沼液稀释度 25%，不仅能使秧苗生长旺盛，且不徒长，苗齐苗壮。在开花和结果期，以沼液兑 1 倍清水进行叶面喷施，能使其茎增粗，节间缩短，叶面积增大，单株结瓜数增加 7%~9%，单瓜增重 12%，畸形瓜减少 17%，且能促使其多结回头瓜，产量提高 20% 以上；另外，秋播的洋葱、大蒜，冬季易发生冻害，在结冻前喷 2 次 25% 浓度，可有效的减轻冻害。

## （2）洒施

将沼液在耕地前均匀洒入土壤表面，并立即翻耕，以利于水肥与土壤结合，使养分吸附在土壤上，防止肥分损失。洒施一般做底肥，施肥量为每亩 2500kg 左右。

## （3）浇施

结合农田灌溉浇施沼液，使肥料中的养分与水结合在一起，均匀施到土壤中，有利作物吸收，并节省施肥用工。浇施沼液的土壤，要求地要平整，施肥时在水渠口将沼液均匀地浇到灌溉水中，浇施的数量与流水的速度要配合好，以达到所要求的施肥量。浇施一般做追肥，每亩施肥量为 1500kg 左右。

沼气肥宜深施不宜浅施，特别不宜表皮施，在相同条件下，深施比浅施增产 12%，比表施增产 20%。

## （二）沼液浸种

由于沼液在厌氧发酵过程中贮存了丰富的氮、磷、钾肥料，在多种厌氧菌的作用下，产生形成了有利于作物生长的微量元素和多种氨基酸等多种活性、抗性、营养性物质，因此，沼液浸种能够提高种子的发芽率、成秧率，促进生长的生理代谢，提高秧苗素质以及增加秧苗的抗寒、抗病和抗逆能力。

沼液浸种是农业增产的一项新技术，用沼液浸种的要求和方法如下。

### 1. 对沼液的要求

浸种用的沼液必须是正常产气的沼气池形成的沼液，不能用“病池”或较长期不利用、不产气的沼气池中的液体，以防变质后的沼液对种子产生不良的影响。沼液可直接在水压箱中利用或取用，用前必须清除水压间中的浮渣、沉渣，沼液量必须把种袋全部淹没。沼液浸种要求沼液：pH 值为 7.2~7.6，相对密度为 1.004~1.007，温度为 20~25℃。

浸种用的器具要清洁卫生，严禁使用带有农药的缸、罐、桶、壶。

## 2. 对种子的要求

沼液浸种所用的种子必须是上年生产的新种、良种，不宜用多年存下来的陈旧种子。浸种前要进行翻晒、筛选，清除杂物和伤粒、秕粒。浸后的种子必须用清水洗净晾干后再播种。

## 3. 浸种方法

浸种的方法有两种：一是直接在水压箱中进行；二是从水压箱中提取沼液浸种。采用第一种方法时，将种子装在布袋或编织袋中，装种不能过满，一般装至袋的 3/4 为宜，扎紧袋口。然后，用一根木杠横放在水压箱上，用绳子把种袋悬吊在水压间，将种子全部淹没进行浸泡。因种子的吸水性和种皮的渗透速度不同，不同作物浸种时间不同，小麦 12h 左右，玉米 12~16h，花生 4~6h，瓜类、豆类 2~4h，杂交稻 36h，浸种 12h 内的可一次浸种完成。由于水稻的呼吸强度大，一般采取间歇式浸种，三浸三晾，即每浸 12h，晾 6h，浸种不少于 36h。

采用第二种方法时，需选用盛沼液的容器，把取出的沼液过滤进容器内，将种子袋装或散放到容器内进行浸种，按时取出种子便可。

沼液浸种茶籽：先将优质茶籽用塑料编织袋装好，扎紧袋口，再用绳子把它吊在沼气池中的水压间内，连续浸泡 36~48h，取出后播种，再覆盖保温保湿的稻草，就能达到理想的出苗效果。

沼液浸种薯种：浸种一般是在大缸或清洁的水泥池内进行，把选好的薯种分层放入大缸或水泥池内。取正常产气运行的沼气池里

的沼液倒入缸内或水泥池内。以沼液浸泡过上层薯块表面 6cm 左右为宜。待 2h 后捞出薯种，用清水洗净后，放在草席上晒半小时，使种块表面无水分止，然后按常规排列上床。

沼液浸稻种：首先，在浸种前将水稻种子晒 1~2 天，目的是提高种子的吸水性能，保证种子的质量；之后，用透水性较好的编织袋包装种子，每袋装 15~20kg，应留出一定的袋容，把袋口扎紧。沼液采用正常运行的沼气池里的沼液。把种子袋放入沼液中，以沼液浸没种子为好。要求种子吸饱水，最低吸水量不应低于 23%。

### （三）用沼液抗病防虫

由于沼液中含有较高溶量的氨和铵盐，还含有吡啶乙酸、赤霉素等物质，因此沼液具有抑制大多数病菌生长防治虫害的功能。因沼液无污染、无残毒、无抗药性，而被称为“生物农药”。沼液对粮食、经济作物、蔬菜、水果等作物的病虫害有防治作用，如对稻穗颈瘟、纹枯病、白叶枯病、稻飞虱、螟虫、小麦赤霉病、根腐病、玉米大小斑病、蔬菜枯萎病、炭疽病、软腐病、菜青虫、蚜虫、柑橘红黄蜘蛛等 37 种病虫害均有防效。其中，对红、黄蜘蛛的杀灭率为 92.25%、矢尖蚨为 91.55%、蚜虫为 93.35%、青虫为 94.4%。沼液能有效地防治西瓜枯萎病，对玉米螟幼虫的防治效果与敌杀死完全相同。若采用沼液包裹麦粒和浸种，能使大麦黄花叶病的发病率降低 70%，产量增加 20%~50%。施用沼肥的庄稼、果树、蔬菜病虫害大大减轻，而且不会导致环境污染。

#### 1. 沼液防治农作物病害

##### （1）用沼液浸种防治农作物病害

为了防止作物种子带菌，通常采用药剂浸种。应用沼液浸水稻种子是近几年来人们开发的一项新技术。在沼液存在着很多的氨离子，在氨离子的作用下，能够起到杀菌的作用。

##### （2）用沼液喷洒在农作物的植株上防治病害

① 用沼液防治小麦赤霉病。小麦赤霉病是由于多种镰刀菌感染而产生的一种病害。当感染严重时，小麦的病穗达 50%~80%，

可降低产量 20%~30%，俗称小麦的癌症。

据研究，采用正常运行的沼气池产生的沼液喷洒在小麦的植株上，可以起到防治小麦赤霉病的作用。用沼液防治小麦赤霉病可使发病率下降 20.71%，与药剂多菌灵的防治效果相当。沼液防治小麦赤霉病具有无需投资，便于推广，避免造成环境污染的优点。

用沼液防治小麦赤霉病，以不稀释的沼液为好，在小麦盛花期每亩喷洒 50kg 为最佳。

据报道，用沼液喷施小麦，对小麦全蚀病的预防效果显著，其白穗率仅为 6%，而对照则高达 40%。沼液对小麦根腐病菌也有很强的抑菌效果。另外，用厌氧发酵原液对小麦喷施，对小麦赤霉病的防效与多菌灵相当，发病率比对照下降 20.71%，相对防治效果可提高 44.88%。玉米喷施沼液，对大斑病和小斑病有良好的抑制作用，喷施之后病害不会再发展。

② 用沼液防治水稻白叶枯病和纹枯病。沼液对水稻白叶枯病有明显的防治效果。使用沼液与使用化肥和猪杂肥相比较水稻的白叶枯病的病叶率降低 11.29%~21.43%，预防效果达 48.32%，治疗作用达 17.92%。沼液对水稻纹枯病也有较好的防治效果。使用沼液与使用化肥和猪杂肥相比较，水稻的纹枯病的病叶率下降 9.83%~26.16%。

③ 用沼液防治棉花枯萎病。棉花枯萎病是棉花的一种极厉害的疾病。在重病区，一般减产 20%~30%，严重时甚至绝收。而沼液中含有较高溶量的氮和铵盐，氨水能使棉花枯萎病得到抑制；沼液中还含有速效磷和水溶性钾，这些物质比一般有机肥含量高，有利于棉株健壮生长，增强抗病力。

用沼液防治棉花枯萎病的方法是：首先，利用沼液原液浸棉种，浸后的棉种用清水漂洗一下，晒干再播；其次，用沼液原液分次灌棉田，每亩用沼液 5000~7750kg 为宜。棉花现蕾前进行浇灌效果最佳。

沼液防治棉花枯萎病效果明显，一般可达 52%左右，死苗率下降 22%左右。单株成桃增加 2 个左右，棉花产量提高 9%~

12%，亩增皮棉 11~17.5kg。这既节省农药开支，又避免了污染环境。

④ 用沼肥防治西瓜“枯萎病”。西瓜“枯萎病”是由土壤传播真菌造成的，特别西瓜重茬这种病更为严重，对西瓜的生产危害极大。在 0~60cm 深度的土层中都有这种病原菌，单纯用药剂防治很难奏效。

北京市大兴区能源办公室等单位采用他们自己多年富集的甲烷菌种制取沼气，在沼气池内添加一些“活力素”一同发酵。用这样的方法得到的沼肥在重茬的西瓜地里施用，连续 3 年施用，起到了防治“枯萎病”的作用。研究人员认为，“活力素”主要成分是多种微量元素，这些微量元素与甲烷生成溴甲烷等物质，溴甲烷对西瓜“枯萎病”有防治作用。

用沼肥防治西瓜“枯萎病”的技术要点是：用沼液浸西瓜种子 8h 后，催芽中棚育苗移栽；用沼渣做基肥，每亩施沼渣 2000~2500kg，生育期喷洒 3~4 次沼液。

当发现病株时，采用浓度高的沼液灌根可治好病株。实践证明，连续 3 年施用沼肥，第 3 年几乎没有发生因“枯萎病”而死亡的西瓜秧苗。施用沼肥亩产西瓜可达 3800 多千克，比没有施沼肥的产量高 30% 以上。

## 2. 沼液在防治农作物虫害方面的应用

### (1) 利用沼液防治农作物蚜虫

四川省宁南县等地沼办用沼液制剂或洗衣粉、煤油和沼液复方制剂防治蚜虫，得到了与“乐果”治蚜虫一样的效果，其蚜虫杀死率在 90% 以上。

### (2) 利用沼液防治果树害虫

四川等地对用沼液喷洒在果树上进行了治虫试验。试验结果表明，沼液对红、黄蜘蛛的杀死率为 95.25%，对矢尖蚱的杀死率为 91.55%，对蚜虫的杀死率为 90.35%，对其他青虫的杀死率为 99.4%。

用沼液治果树害虫时，应采取正常运行的沼气池里的沼液。沼

液应随取随用，经过滤后用喷雾器喷洒在果树上，以喷湿滴水为好。喷洒沼液应选在晴天，天气越热越好。

### (3) 用沼液防治玉米害虫

玉米螟幼虫是玉米的主要害虫之一。江苏省沭阳县进行了采用沼液与敌杀死混合浇玉米心叶，收到了治虫、施肥双重效果。实验结果表明，用加入敌杀死药剂的沼液与单独用药液防治效果相同，没有再出现被玉米螟幼虫危害的植株。

用沼液防治玉米螟幼虫的方法是：玉米下种前用沼液浸种，选用正常产气的沼气池里的沼液浸种 12~16h。用沼液 50kg，加 2.5% 敌杀死乳油 10ml，配成药液，使用时将喷雾器喷头下挥浇心叶。值得注意的是，用沼液加敌杀死防虫需掌握适时期，应选在螟虫孵化盛期。如果沼液太浓且偏碱性，应加水稀释。

### (4) 防治柑橘螨、蚧和蚜虫

取新鲜过滤沼液 50kg，直接喷施，10 天一次，虫害高峰期，连治 2~3 次。若气温在 25℃ 以下，全天皆可喷施；高于 25℃，应在下午 5 时以后喷施。若在沼液中加入 1/1000~1/2000 的氧化乐果或 1/1500~1/2000 的螨必治，灭虫卵效果更佳，药效可持续 30 天以上。

防治蔬菜蚜虫：每亩用过滤沼液 30kg，加入煤油 50g、洗衣粉 10g 混合喷雾。利用晴天露水干后直接泼洒。

防治麦蚜：每亩用过滤沼液 50kg，加入乐果 2.5g，晴天露水干后喷施。

防治水稻螟虫：每亩取沼液 20 担、清水 20 担，混合均匀、泼浇。

## (四) 沼液作为饲料添加剂

### 1. 沼液养鱼

将沼液施入鱼塘，不仅可以改善养鱼池的条件，为水中浮游动、植物提供营养，促进浮游生物的繁殖和生长，增加鱼塘中浮游动、植物产量，使养鱼池中溶解氧增加 15%~20%，而且还可以减少鱼病发生，有效地控制烂鳃、赤皮、肠炎、白嘴等鱼病发生。

据报道,可使鲜鱼增产 19%~38%。

施用方法:春季清塘、消毒后,每亩用沼液 300kg 均匀撒施;4~6 月,每周每亩用沼液 200kg;7~10 月,每周每亩用沼液 150kg。晴天上午 8~10 时施用最佳,闷热天气、雷雨来临之前不施。水体透明度大于 30cm 时应增施沼液,即每两天施一次,每次 667m<sup>2</sup> 用 100~150kg,直至透明度回到 25~30cm 后,转入正常施用量。

## 2. 沼液拌料喂猪

沼液拌料喂猪并非是指用沼液直接喂猪,其方法如下。

① 取正常产气燃烧 1 个月以上的沼气池内新鲜洁净沼液,拌青饲料 2h 后直接喂养。

② 用量:育肥猪从 20kg 重开始,每天喂液 2kg;40kg 重时,每天喂液 3kg;60kg 重时,每天喂液 4kg,以后逐步减少。但种猪及空怀母猪不宜。

# 第四节 沼渣的资源化利用技术

## 一、沼渣的应用

沼渣一般含有机质 36%~49.9%、腐殖酸 10.1%~24.6%、粗蛋白 5%~9%、全氮 0.8%~1.5%、全磷 0.4%~0.6%、全钾 0.6%~1.2%,是一种高效有机肥和动物饲料,现具体介绍如下。

### (一) 沼渣作饲料

沼渣中含有 24 种氨基酸、多种微量元素、B 族维生素等营养成分。利用沼气发酵残留物养猪,育肥 1 头猪,可节省饲料 50kg 左右,缩短育肥期 1 个月。沼渣养鱼,能促进鱼池中水体的浮游生物的生长、改善水质、减少溶解氧的消耗,能减少鱼病和鱼浮头死亡、提高成活率,鱼产量可比对照增产 10%~25%。还可利用沼渣养鸡、兔、鳝、蚯蚓等,均能获得十分显著的经济效益。

### (二) 沼渣作肥料

沼渣是优质的有机肥料,粪便和农作物秸秆经过沼气发酵后,其肥效明显提高。沼肥与化肥混合施用效果最为显著。长期施用沼

肥，能有效地改良土壤。实验研究表明，土壤容重、浸水土容重和抗压强度减小，孔隙度增加，结构性系数、沉降系数增大，持水性增强。沼肥具有提高土壤有机质含量和丰富土壤氮素养分的作用。每季作物施  $22.5\text{t}/\text{hm}^2$  沼肥，则土壤有机质年均累积量为  $0.15\%$ ，全氮年均增加  $0.0090\%$ 。沼肥中的纤维素、木质素等可以起到松土的作用，而腐殖酸则有利于土壤微生物的活动和土壤团粒结构的形成。因此，沼肥具有改良土壤、增加地力的功效。

### （三）沼渣栽蘑菇

沼渣养分全面，含有有机质、腐殖质、粗蛋白质、氨基酸、氮、磷以及多种微量元素、维生素等，完全能满足蘑菇生长的要求。沼渣是一种人工栽培蘑菇的优质培养料，利用沼渣种菇，发菇快，菇质好，杂菌少，而且成本低，节省料，操作方便，产量比传统培养料增产  $10\%$  左右。

## 二、沼渣肥料的使用方法

### 1. 直接施用

沼渣可直接施入土壤，做底肥每亩施用量为  $2500\text{kg}$  左右，做追肥每亩施肥量  $1500\text{kg}$  左右。

### 2. 堆沤后施用

将沼渣与铡成  $6\sim 10\text{cm}$  的作物秸秆（麦秸、玉米秸、稻草）按  $(1:1)\sim(1:2)$  比例混合均匀后进行堆肥或沤肥，一般做底肥，每亩施肥量为  $3000\text{kg}$  左右。

### 3. 沼液和沼渣混合施用

沼液和沼渣从沼气池混合出料后，可按沼渣与作物秸秆的比例方法堆沤，每亩施用量  $2500\text{kg}$  左右。

## 第五节 沼气与当代可持续生态农业的发展

### 一、沼气工程

自然界在长期的演化过程中，形成了由生产者、消费者、分解者三部分组成的有机整体，即植物生产、动物消费、微生物分解，形成了一个周而复始的良性循环系统，植物、动物、微生物相互联

系、相互制约而生生不息，这就是大自然的奥妙。

人类的发展，特别是自工业革命以来，人类的活动阻断了这种循环。传统经济运行方式遵循一种由“资源-产品-废物排放”所构成的物质单向流动的开放式线性经济。这种经济运行方式能够持续发展下去必须具备两个条件：一是自然资源必须取之不尽，用之不竭；二是经济社会发展所产生的环境污染和生态破坏，永远不超过自然生态系统的自净能力，不影响人类自身的生存和发展。显然，当人类社会发展到 20 世纪中叶以来，这两个条件都已经不复存在，自然资源已经成为经济发展的瓶颈制约因素，环境污染和生态破坏已经给人类带来深重的灾难。这种非循环的单向线性经济发展模式正日渐难以为继。

农村沼气工程利用农村生产、生活过程中的废弃物，通过沼气的厌氧反应，产生沼气、沼液、沼渣，再用于生产、生活的各个环节，形成了一个良性的循环过程。广大农民在沼气建设中通过与改圈（栏）、改厨、改厕、改院相结合，改善了农民的生产、生活条件，提高了农业生产效益，保护了生态环境，对促进农业可持续发展和全面建设小康农村具有重要的战略意义。

#### （一）发展沼气可以使生物质得到充分利用、循环增值

农作物生产依靠太阳光能，植物利用叶片把太阳光的能量贮存于植物体内，这些能量仅有 30%~50% 存在于籽实中被人类合理利用，而剩下存在于茎叶中的 50%~70% 就很难得到合理利用，大部分会被烧掉，这不仅是对能源的严重浪费，而且污染环境。现代科学的多层次梯级利用，能把蕴藏在有机物的 90% 左右的化学能释放，形成良性循环。把秸秆等物质加以粉碎，供牲畜作饲料，转换成动物蛋白供人食用，然后再将其粪便进行厌氧发酵，同时，经发酵后的残液和残渣亦是良好的有机肥料，甚至还可用作饲料、添加剂或杀虫剂。这样就形成：生物质/食物/饲料/沼气/养殖业/肥料/生物质的良性循环，使生物质能量充分利用，循环增值。因此，厌氧发酵充分发挥了生物物质所具有的饲料、燃料和肥料三个功能，通过沼气的纽带作用，促使“三料”（饲料、燃料和肥料）

以有机物的形态互相转化，活化农业生态系统，完成生态农业的良性循环。通过图 7-1 农业生态系统的表述就更清楚了。

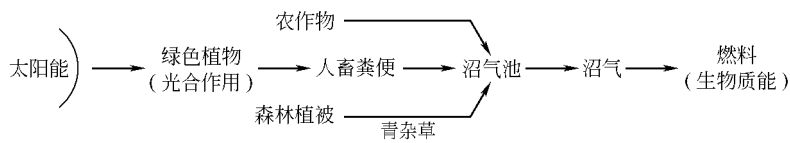


图 7-1 农业生态系统

(二) 发展沼气是有机物返还的重要途径

沼气生产是一个有机废弃物资源化过程，其功能在于促进能流、物流、经济流的良性循环，是生态农业系统中能流、物流、经济流的纽带。沼气发酵的主要原料是粪便和秸秆，在厌氧条件下经多种微生物消化分解产生沼气。粪便作为发酵原料就是废物利用，变废为宝；秸秆用作发酵原料是把一次性直接烧掉的“废物”经过饲料、燃料、肥料三次利用，使秸秆中所含的氮、磷、钾等营养元素和 90% 以上的有机质重新返回土壤，改善了土壤的理化性状。沼肥本身是优质的有机肥，它具有其他有机肥及化肥不及的特点。

二、以沼气为纽带的农村生态庭院经济

(一) 生态农业结构模式类型

1. 粮-猪-沼

该模式以沼气生产为中心，将农作物秸秆的一部分作饲料，发展畜禽生产；另一部分作物秸秆和畜禽粪便投入沼气池，通过沼气发酵分解，不仅解决了生活用能和部分生产用能，而且为农业生产提供了大量优质有机肥料和饲料（沼液喂猪、养鸡等），使原来投入灶膛的大量有机肥得以充分利用。池顶建猪舍，猪舍的另一端为露天菜地或温室菜棚，侧面建厕所。人畜粪便自动流入沼气池进行厌氧发酵，使沼池、猪舍、厕所、大田一体化。沼池年均可产气 300m<sup>3</sup>，折合 0.8t 标煤、5t 柴火。猪舍养猪年可出栏 10 头，每头节约饲料 29kg。栽培 150m<sup>2</sup> 特色蔬菜，按年三茬计算，户均纯收入可达 4000~5000 元。

## 2. 粮-猪-沼-鱼

该模式是以农作物秸秆饲养生猪，猪粪进沼气池发酵产气，发酵分解后的沼肥作为饵料养鱼，用沼气点灯诱蛾，增加鱼饵，这样不仅增加了饵料，而且还提高了鱼苗的成活率和鱼的产量。沼液、沼渣作肥料、饵料，种植、养殖业发展起来，不但产量提高，成本降低，而且由于有机肥多了，土质得到改良。1993年，四川省邻水县石永乡石稻村十社专业户甘良成，用沼液育水花鱼苗10万尾，节约投资40%。

## 3. 粮-菌-猪-沼

该模式首先将农作物秸秆一部分用于生产食用菌，如蘑菇、凤尾菇、草菇等，再将栽培食用菌之后的培养基用作饲料养猪，以猪粪加部分作物秸秆发酵生产沼气，沼渣再用来培养食用菌或还田进行粮食生产。在这个模式里，农作物秸秆通过多次转换增值，使其得以充分利用，发挥效益。

## 4. 粮-猪-沼-蚕

将农作物秸秆一部分作饲料，发展畜禽生产；另一部分作物秸秆和畜禽粪便投入沼气池发酵分解产气，用沼气肥还田进行粮食生产或浇施桑树，用桑树养蚕。从而开始下一个周期的循环。

## 5. 猪-沼-果（葡萄、梨、桃等）

这一模式以畜禽粪便进入沼气池发酵产气，解决生活用能，将沼肥用来种葡萄、梨、桃等庭园经济作物，从而改变农村用能结构。

## 6. “二池三改”生态家园模式

根据农户家庭圈养牛、羊的现状，将青贮氨化池、沼气池与改圈、改厕和改厨同步建设，充分利用农村现有的玉米秆、麦秆、稻草等农作物秸秆资源。农作物秸秆经青贮氨化池处理后，可作为饲料喂养牛、羊；人、畜粪便可以直接进入沼气池内发酵，产生沼气用于农户炊事照明；沼渣、沼液施于农田。

## 7. 四结合庭院经济模式

我国东北地区以沼气为纽带，沼气池、厕所、猪圈和日光温室

四结合，不仅解决了北方沼气池过冬、冬天养猪、种菜等难题，而且生产出大量无污染无公害蔬菜，农民们也变冬闲为冬忙，收入大幅度增加。

## （二）庭院经济模式的意义

庭院经济模式通过沼气建设拉长了生物链条，形成以沼气为纽带的循环生态系统，使植物生产-动物转化-微生物还原这个生物链完整地连接起来，使各链条间的能量流动更趋合理。

庭院经济模式大大减少了种植业中农药、化肥的使用量，避免了有害物质在整个生物链中的富集，促进了无公害农产品生产的发展。

在一些缺少煤炭的地区发展沼气后，解决了“锅下愁”的问题。在我国森林资源消耗中薪材消耗比重约占 70%，应用沼气燃料后，乱砍滥伐现象减少，保护了山林植被，减少了水土流失，促进了生态平衡。

## 参 考 文 献

- 1 张国强，王智展．“二池三改”庭院生态模式初探．可再生能源，2004，6：68～70
- 2 郇春花，刘继青，姜森林等．发展沼气在生态农业建设中的作用．山西农业科学，1999，27（2）：91～93
- 3 杨树生．沼气建造与管理技术．可再生能源，2004，（6）：60～61
- 4 郇春花，姜森林，王岗等．沼气肥保肥性能及肥效试验．土壤肥料，1995（2）：45～47
- 5 赵小明．生态农业建设核心内容的思考．中国沼气，1996，14（1）：45～47
- 6 杨纪珂．面临新挑战的科学技术．安徽科学技术出版社，1984
- 7 郭晋豫．大力发展沼气保护森林资源．云南可持续发展研究．云南科技出版社，1999
- 8 张无敌，宋洪川，丁琪等．沼气发酵残留物防治农作物病虫害的效果分析．农业现代化研究，2001，22（3）：167～170
- 9 杨增外．大力发展沼气保护生态环境．生态经济，2001，（12）：154～155
- 10 屠嘉琪．中国的沼气建设与农业现代化．中国沼气，1993，11（3）：

1~4

- 11 张无敌, 刘士清, 周斌等. 沼气及其残留物综合利用途径、作用与效益. 生态农业研究, 1997, 5 (2): 30~32
- 12 张无敌, 刘士清, 丁琪. 沼气发酵液浸种效果好. 云南农业科技, 1995 (2): 18~20
- 13 张无敌, 刘士清, 宋洪川等. 厌氧消化残留物养猪评述. 江苏农村能源环境保护, 1995 (2): 4~10
- 14 张无敌, 刘士清, 丁琪等. 沼气发酵残留物的养鱼效果. 淡水渔业, 1995, 25 (5): 13~15
- 15 沈瑞芝. 沼气发酵残留物的综合利用. 中国沼气十年. 北京: 中国科学技术出版社, 1990
- 16 张无敌, 周长平, 刘士清等. 厌氧消化残留物对改良土壤的作用. 生态农业研究, 1996, 4 (3): 35~37
- 17 张无敌, 刘士清, 侯长定. 沼气发酵残留物栽种蘑菇. 中国食用菌, 1995, 14 (5): 28~30
- 18 杨瑞澜. 大型畜禽养殖场沼气生态工程的实践. 农业现代化研究, 1996, 17 (3): 180~182
- 19 张岳. 沼气及其发酵物在生态农业中的综合利用. 农业环境保护, 1998, 17 (2): 94~95
- 20 张无敌, 宋洪川, 夏朝凤等. 论沼气及其综合利用与现代农业相结合. 生态科学, 1998, 17 (2): 114~117

## 第八章 农副产品废弃物的资源化利用技术

### 第一节 农副产品废弃物的营养价值

#### 一、农副产品废弃物的概念及营养价值

农副产品废弃物包括农作物副产品（如秸秆、糠麸等）、食品加工废料、沼气发酵残余物和部分畜禽粪便等。农业废弃物不含有毒物质，且含有丰富的营养，但因部分物质水分含量太高，极易为微生物分解而腐败。

不同的农副产品其加工后剩余物的营养也不相同，蔬菜及瓜果等农副产品加工后带来了大量的剩余物，蔬菜食品类的营养成分很丰富，（质量分数）总水分 71.8%~85.0%，干物质 15.0%~28.2%，其中蛋白质 1.7%~4.4%、油脂 0.4%~1.6%、无氮提取物 11.4%~15.5%、脛宋素 1%~3%、灰分 1.8%~2.4%；另外，每千克废弃物中还有 2.5g 钙、1.5g 磷、15~22g 可消化蛋白。经过专家分析与测定，苹果渣中微量元素、氨基酸及总糖含量比果干和鲜果干物质中的含量低，这表明在压榨过程中，营养成分中的可溶部分随汁液流走。若为二次压榨，其粗纤维、粗脂肪含量明显提高。苹果渣中果皮和果肉占 96.2%，果籽占 3.1%，果梗占 0.7%。其总能值比小麦麸高，热能也不低，粗蛋白含量比甘薯干高，Ca、P、微量元素和氨基酸含量与甘薯干较为接近，粗纤维与啤酒糟、酒糟类接近。粗纤维中除了少量的果壳、果梗为木质素成分外，果肉、果皮多为半纤维素和纤维素。苹果渣还含有丰富的维生素和果酸，有利于微生物的直接吸收和利用。

由于秸秆构成成分复杂，其组成和化学性质很难精确定义，一般而言，粗纤维含量达 18% 以上的饲料都称为粗饲料，其每千克干物质的消化能低于 10450J（2500kcal），有机物消化率在低于

65%~70%。禾谷类秸秆化学组成随品种、成熟期、肥料类型、气候状况和贮藏条件不同而变化；同种类秸秆的不同品种，同种秸秆的不同部位的化学成分差异也较大。禾谷类秸秆饲料的营养特点是粗纤维含量很高，一般都在35%~50%之间，难被消化，其有机物消化率都在50%以下，除能量外其他营养物质含量极低。秸秆细胞壁由相互紧密结合在一起的三种成分构成其丰富的碳水化合物组成，这三种物质即半纤维素、纤维素和木质素。半纤维素在细胞组织中结合松散，很容易被酸或酶分解，是最容易利用的碳源，主要分布在植物细胞的初生壁，次生壁中则较少，它由一种或数种单糖聚合的短链多糖（约300个糖单位）组成，主要成分为木糖、甘露糖和葡萄糖，典型分解产物有：L-阿拉伯糖、己糖、乳糖和麦芽糖；纤维素是植物细胞次生壁的主要成分，是由几千到一万多个脱水吡喃葡萄糖构成的多聚物；木质素是天然高分子聚合物，由苯基丙烷单元通过醚键和碳-碳键交联而成。并且木质素与纤维素、半纤维素复合程度越高，细胞壁降解效果越差。

## 二、如何有效利用农副产品废弃物的营养成分

有些农副产品废弃物经过简单处理就可以直接作为畜禽（鱼）的饲（饵）料。例如菌糠，就是种过平菇、金针菇、双孢菇等食用菌的下脚料。种植食用菌用的棉籽壳、秸秆中的纤维素、木质素，在食用菌发育过程中，50%以上被分解，同时大量的食用菌菌丝也残留在菌糠中，其营养接近于食用菌。经科研部门测定，用棉籽壳作原料生产食用菌后的干下脚料，其粗蛋白含量为7.8%，而玉米的粗蛋白含量仅为8.4%。也就是说，按粗蛋白算，1kg菌糠相当于0.9kg玉米。此外，菌糠中还含有丰富的钙、磷和维生素。这么好的饲料，不加利用，实在太可惜了。具体利用方法是，将没受杂菌污染的蘑菇下脚料（绿色、黑色、食用菌生长不良的下脚料不用）风干粉碎，装袋贮存备用。如用于养猪鸡，可代替近20%的精饲料，如用于养牛、羊、兔等草食畜禽，可代替25%的精饲料，这样既不影响生长和肉质，又可以大大降低成本，提高经济效益。

有些需要经过理化及生物学上的处理，才能得到符合畜禽

(鱼)的饲(饵)料, 秸秆转化为饲料的生态工程技术有物理法(粉碎、制造颗粒、叶茎分离等)、化学法(碱化、氨化)、生物法(青贮、酶发酵)等, 运用这些技术可以显著提高秸秆的营养价值和适用性、消化性。青贮、氨化法的广泛推广极大地促进了中国农区畜牧业的发展, 使 80% 的牛和 75% 的羊由草原转入农区, 年节粮  $1.6 \times 10^{10}$  kg。氨化处理技术多采用简便的堆垛式, 主要为麦秸, 用液氨或尿素、碳铵的水溶液, 可使粗蛋白含量增加 1~1.5 倍, 消化率提高 20% 以上。青贮的主要是玉米秸、甘薯藤和花生藤。热喷技术应用于饲料资源开发, 是 80 年代兴起的一项新技术, 它的出现冲破了旧的饲料观念的禁锢, 给饲料工业增添了勃勃生机。经过蒸汽处理的桦树粉, 半纤维素含量由 12% 降到 3.7%, 可溶性碳水化合物含量由 2.2% 提高到 20.9%。同期, 前苏联的研究者采用蒸汽蒸煮稻草, 使难消化的多糖分解成单糖含量增加 10 倍。蒸汽处理的小麦秸, 还原糖由 0.4% 增加到 9.5%, 木质素由 14.8% 降至 9.5%。日本采用热喷技术处理白桦, 总养分的消化率从 8% 提高到 65.5%。我国采用热喷技术, 使牛、羊对麦秸的消化率从 38.6% 提高到 75.12%, 玉米的消化率从 52% 提高到 88.02%。

还有利用微生物发酵技术, 在营养成分比较低农副产品的废弃物中生产菌体蛋白。随着饲料工业的发展, 蛋白质的不足将成为全球性问题, 而菌体蛋白在提供蛋白质方面起着重要的补充作用, 备受世界各国的重视, 该蛋白富含多种氨基酸, 尤其是苏氨酸和色氨酸等限制性氨基酸含量, 远高于鱼粉等动物性蛋白质饲料添加剂, 是优良天然营养食品添加原料和饲料添加剂。

例如, 我国西北地区用于淀粉加工的马铃薯废渣, 资源非常丰富, 但对马铃薯废渣的利用仍仅局限于以鲜渣或晾干后直接作为饲料。由于其蛋白质含量低, 粗纤维较多, 营养价值不高, 饲喂效果差, 从而造成极大的浪费, 而且导致严重的环境污染, 亟待解决。以马铃薯渣为主料采用微生物多菌协同固态发酵技术, 先经糖化菌糖化,  $\alpha$ -淀粉酶液化, 使大分子碳源降解, 再通过接入 SCP 菌发

酵、干燥、精制等一系列工艺，试制出菌体蛋白饲料，为开发新的蛋白质资源，利用废渣及解决环境污染开辟了新的途径。

## 第二节 农副产品废弃物的生物净化

### 一、生物净化的定义及类型

#### (一) 自然界中化学物质的降解方式

##### 1. 光降解

具有紫外线吸收峰的化合物，能吸收短波长的太阳光而被光分解。例如，DDT 可被分解为 DDD 和 DDE。

##### 2. 化学降解

土壤中污染物的分解并不都是由于微生物的作用，也可能由温度、pH 值、金属离子、土壤矿物质等的作用而发生化学降解。

##### 3. 生物降解

动物、植物和微生物能分解各种有机物，特别是微生物能通过它的代谢活动，发生氧化还原、脱羧基、脱氨基、加水分解、脱水、酯化等种种反应，对污染物进行分解或降解，其中微生物所起的降解作用最大，所以又可称为微生物降解。

自然界化学物质的降解虽然常是上述三种方式综合交叉进行的，但生物降解与微生物降解作用的关系最大。

#### (二) 生物净化的定义

生物通过代谢作用，能使环境中的污染物数量减少，浓度降低，毒性减轻甚至消失。利用生物来去除环境中的生物垃圾和有毒物质的过程，就称作生物净化。生物净化即是生物降解，只是说法不同而已。

#### (三) 生物净化的种类

从生态系统的角度出发，生物净化主要有如下三种类型。

(1) 陆地生态系统的生物净化，主要是由生物吸收、转化、降解各种污染物，其中包括植物对大气污染的净化和土壤-植物系统对土壤污染的净化。

(2) 淡水生态系统的生物净化，起主导作用的是细菌，但许多

水生和沼生植物也有较强的净化作用。

(3) 海洋生态系统的生物净化，也是细菌起主要作用，此外还有霉菌、酵母、放线菌和原生动动物等。它们对主要的海洋污染物石油烃类及多环芳烃类，都有较好的净化作用。

## 二、农副产品废弃物的生物净化

农副产品废弃物的生物净化属于第一种类型——陆地生态系统的生物净化，是指利用不同类型的生物吸收、转化、降解各种农副产品废弃物。

下面主要介绍畜禽粪便、农作物秸秆这两类有机废弃物的生物净化处理方式。

(1) 采用物理方法，如切碎、蒸煮、膨化等处理秸秆，用微生物进行发酵进行青贮，通过糖化过程把秸秆变成饲料。

(2) 用畜禽的排泄物及秸秆残渣来培养食用菌，生产食用菌的残余料又用于繁殖蚯蚓，最后再把剩下的残余物返回农田。

(3) 采取室内封闭式培育蝇蛆，立体套养蚯蚓、玛瑙蜗牛的方法对有机废弃物进行生物转化。玛瑙蜗牛为杂食性的软体动物，以畜禽粪、纤维性物质如菜叶、烂果实等有机废弃物为食，借助唾液腺和消化道内所分泌的酶，分解消化其他动物所不能消化的纤维素、半纤维素、果胶质等大分子有机质，同时排出大量未被吸收的分解产物。育蛆后的下脚料、蜗牛粪以及取食后剩余残料可以作为蚯蚓的培养料，通过蚯蚓的取食代谢活动，产出大量的蚯蚓粪，从而将上述废弃物转变成有用的有机肥料。同时这三种低等动物都具有生长快、繁殖率高、适于密集养殖的特点，故整体代谢水平高，转化废弃物的速度快。这三种低等动物体内含丰富的蛋白质、多种氨基酸及生物活性物质（未知生长因子）等多种营养成分，适于作动物蛋白饲料。因此，在用上述废弃物饲养这三种低等动物的过程中，农副产品废弃物不仅能够得到有效的处理，而且将能取得明显的经济效益。

(4) 生产饲料酵母和单细胞蛋白。一是间接地先把植物原料酶解，然后培养微生物得到单细胞蛋白；二是直接利用微生物对植物

原料进行降解、增殖菌体获得单细胞蛋白。为了简化生产过程，各国对微生物蛋白的制备进行了广泛的研究，现在生产单细胞蛋白原料除了传统的糖类以外，还有木材（包括林业原料、废料）、农业废料、石油、醇类（甲醇、乙醇）、天然气及含糖工业废水等。其中木材、农业废料因其是自然界中存在量最大的一类再生资源，价格低廉，且具有环境保护意义。这样既减少了污染，又进一步降低了饲料成本。美国、加拿大、日本和法国等国政府对这项研究都很重视，目前在原料预处理、菌种选育和发酵工艺上都有很大进展。

### 第三节 农副产品废弃物的资源利用

#### 一、农副产品废弃物资源化的目的和意义

- (1) 降低成本，节约粮食。
- (2) 改善环境条件。
- (3) 有利于国民经济可持续发展。

#### 二、农副产品废弃物资源化的途径

##### (一) 农副产品废弃物生产工农业原料

农副产品废弃物经过水解，主要生产酒精、乳酸、糠醛、木糖醇、木糖、饲料酵母及活性炭等工农业原料。

##### 1. 生产饲料酵母和单细胞蛋白

由于世界人口增加，食物蛋白短缺现象严重，估计到本世纪末人类对蛋白质的需求量将比现在大 2~3 倍，到那时，供需之间相差达 2500 万吨之多，因而开辟新的获取蛋白质的途径已成为当务之急。酵母、细菌、霉菌、藻类等单细胞微生物由于含有丰富的蛋白质和维生素等多种营养成分，且具有很强的繁殖能力，引起了人们的重视。农副产品废弃物水解液可直接作为发酵基质，生产饲料酵母和单细胞蛋白，满足人们对蛋白质的需求。

水解酵母厂主要有三种类型：一是专业的水解酵母厂，即水解液直接用来作发酵基质；二是利用酒精发酵后的水解废液或与其与水解液的混合物作发酵基质的水解酵母厂；三是利用糠醛和木糖醇生产后的残渣，再次水解的水解液作发酵基质的水解酵母厂。第二次

加工利用酵母菌，再发酵、再次生产的蛋白饲料，得率可达 30%，蛋白质含量可达 45%~50%。

## 2. 酒精

酒精是十分重要的工业产品，其用途十分广泛。酒精是水解工业的传统产品，现在全世界水解酒精年产量为 20 万吨，其中俄罗斯达 12 万吨，占全世界酒精总产量的 50%。此外，保加利亚和中国也有生产。前苏联的水解酒精原来主要用于生产丁二烯，制取合成橡胶。70 年代以后石油化工工业的发展使得用丁烷直接制取丁二烯获得了成功，而且经济上更为合理。为了提高水解酒精的纯度，前苏联改进了生产工艺，使水解酒精达到了粮食酒精的水平，并取代粮食酒精而应用于工业生产部门。因此，纯度高是俄罗斯水解酒精的特点。由于石油紧缺，各国都尝试利用农林废料生产酒精以取代汽油燃料，农林废料水解液经发酵生产酒精，可取代粮食酒精应用于工业生产中，并可取代汽油燃料用做汽车燃料。巴西的专用汽车有 85%~90% 的发动机用酒精作燃料。

## 3. 糠醛

植物纤维原料中多聚戊糖水解后形成了戊糖和糠醛酸，经脱水而生成糠醛。糠醛是迄今为止惟一的无法从石油化工产品合成，而只能用植物水解方法得到的产品，因而糠醛的发现为水解工业打开了一个新的突破口。糠醛的用途极为广泛，它是一种卓越的选择性溶剂，应用在精制油料（石油润滑油、柴油、催化循环的原料油和植物油）、合成燃料。糠醛可生产糠醇、四氢糠醇及四氢呋喃等多种重要的化工原料及各种化学中间体和树脂（酚醛类、糠醇类），又可制取呋喃药物、防腐剂、杀菌剂及除草剂等。

## 4. 乳酸

乳酸是用途广泛的有机酸之一，在食品饮料、化工、皮革、医药、卷烟等行业应用十分广泛。比如可以用聚乳酸制成手术缝合线，它会随着伤口的愈合而被人体组织吸收而无需拆线。特别是近年发现，可以用乳酸为原料制造可生物降解的新型包装材料，用其代替当前广泛使用的塑料包装材料，可以从根本上解决困扰人类多

年的白色污染问题，这就为乳酸工业的发展提供了巨大的应用市场。传统乳酸发酵所用原料主要是淀粉质原料，如果能采用价廉的农副产品废弃物中纤维为原料，利用纤维素和半纤维素水解成可发酵糖（主要是葡萄糖和戊糖），进一步发酵生成乳酸，既可节约粮食，又可降低乳酸发酵的原料成本。

## 5. 其他

植物纤维废料如玉米芯、棉籽壳、菜籽油下脚料，经水解、精制可生产芥酸和油酸，它们是工业上具有广泛用途的重要精细化工原料，国内外市场均较为紧俏。从米糠中可以提取菲丁，然后再生产肌醇。肌醇具有与生物素、维生素 B<sub>1</sub> 等类似的作用，广泛用于医药、发酵和食品工业，提取菲丁后的米糠还是优良的饲料，此法经济效益较高。近年来，美国、巴西、日本等国对柑橘果皮的综合利用进行了大量的研究，结果表明，从柑橘果皮中可以提取果胶、饮料混浊剂、橘油、类胡萝卜素等经济价值较高的产品；果皮发酵后，可以生产出丙酮酸和食醋、液糖、果酒等；加工后的果皮可用于食品工业中。烟草废弃物提取烟碱（俗称尼古丁，化学名称是1-甲基-2-吡啶烷）和茄尼醇，烟碱在医药工业上用于研制治疗心血管、皮肤、蛇毒、虫咬伤和无名肿毒等疾病的药物；茄尼醇具有较强的抗癌生物活性，是合成心血管疾病、抗癌、抗溃疡等新型药物的中间体，如作为合成辅酶 Q<sub>10</sub>、维生素 K<sub>2</sub> 的侧链以及合成抗溃疡药物、抗癌药物原料，在医学上用途广泛。目前，茄尼醇在日本、韩国及西欧和北美均有较大的销售市场。

## （二）农副产品废弃物提取工业原料或制成工业产品

各种农业废弃物经过适当的工艺，可以提取工业原料或制成工业产品，使其大大增值。

### 1. 制造纸浆

由于部分农副产品废弃物的化学成分与木材类似，如甘蔗渣，可以进行制浆造纸。但由于成本问题，现在利用甘蔗渣造纸还没有得到广泛地推广和应用。

### 2. 轻质板材

草板是以天然稻草或麦草为原料，经加热挤压成型，周边粘贴面纸而制成的一种新型绿色建材。按主要原料品种可分为两类：以稻草为主要原料的称为纸面稻草板，以麦草为主要原料的称为纸面麦草板。草板主要可用于建筑物的内隔墙、外墙内衬、望板和屋面板等。采用稻壳制板代替木材，具有实际意义。其产品加工工序简单，质量中的物理力学性能指标与脲醛刨花板比，基本接近。隔音、阻燃、抗啮、防蛀及保温性能均优于脲醛刨花板。其不足处是容量大，密度小，抗冲击力差，持螺钉力不如刨花板。稻壳板材表面采用单板、或浸渍二次加工，可做各种家具的侧板、面板。采用PVC壁纸饰面则具有图案清晰，立体感强的优点。中密度纤维板和刨花板不但可以木材作为原料，而且可用一年生的植物纤维如甘蔗渣、秸秆等作为原料。

此外，利用谷壳灰可以制水泥、水玻璃等。

### （三）农副产品废弃物作肥料

各种农业废弃物通常含有丰富的有机质、氮、磷、钾等营养元素，经好氧或兼氧条件的堆沤发酵可制成堆沤肥。与化肥相比，它具有营养全面、肥效长、易于农作物吸收等特点。对提高作物的产量和品质、防病抗逆、改良土壤等具有显著功效。制造简单方便，可利用的原料种类丰富，成本低，具有广泛的群众基础。长期以来制约这项技术的重要因素之一是没有肥料质量标准、生产不规范。1995年，天津市土壤肥料研究所首次编制了商品有机肥料质量控制标准，为有机肥料标准化、商品化进行了有益的尝试。近年来，国内外广泛开展了高温堆肥、机械化堆肥等研究，使这项技术朝方便化、规范化的方向发展。

### （四）生物质制氢

目前，人类使用的能源绝大部分来自于化石能，随着化石能源的枯竭及其使用所带来的环境问题的日益严重，人类将面临严重的能源危机与环境污染问题。氢是一种理想的新能源，具有资源丰富，燃烧热值高，清洁无污染，适用范围广的特点。制氢的方法有很多，电解水是大规模生产氢的一种途径。然而，水分子中的氢原

子结合得十分紧密,电解时要耗用大量电力,比燃烧氢气本身所产生的热量还要多,因此,若直接利用火电厂供应的电力来电解水,在经济上是不可取的。各种矿物燃料也可以制氢,如天然气催化蒸汽重整等,但矿物燃料作为非可再生能源,贮量有限,且制氢过程会对环境造成污染。因此,利用可再生能源,如太阳能、海洋能、地热能、生物质能来制取氢气是极具有吸引力和发展前途的。

利用生物质制氢可以实现污染物零排放,解决化石燃料能源消耗带来的温室效应问题。我国是个农业大国,各种农副产品的剩余废弃物长期堆积,不仅占用了土地,也污染了我们居住的环境。利用这类污染物作为底物原料,不仅可以产生氢气,而且还可以使固体废弃物不同程度的减量化、资源化,开发出一种行之有效的利用废弃物产生氢气的途径具有深远的意义。

## 参 考 文 献

- 1 周辉宇,陆文静,王洪涛等.高效纤维素分解菌生物强化技术在工厂化好氧堆肥中的应用初探.农业环境科学学报,2005,24(1):182~186
- 2 张承龙.农业废弃物资源化利用技术现状及其前景.新疆环境保护,2002,24(1):22~25
- 3 冯树,周樱桥,张忠泽.混合菌发酵转化纤维素生产单细胞蛋白.生物技术,2000,10(5):32~34
- 4 赵鹏,黄霞.利用可再生资源及有机废物发酵生产乳酸的研究进展.食品与发酵工业,2001,27(4):60~65
- 5 周亚樵.植物质生物转化发展近况.纤维素科学与技术,2000,8(3):59~65
- 6 周林,郭祀远,蔡妙颜.蔗渣的生物利用.中国糖料,2004,(2):40~42
- 7 孙作民.菜籽饼粕综合开发利用技术.中国油脂,1993,18(6):12
- 8 余燕春.利用农林纤维废弃物生产酒精的社会效益.江西林业科技,1996,(6):18~20
- 9 樊耀亭,李晨林等.天然厌氧微生物氢发酵制备生物氢气的研究.中国环境科学,2002,22(4):370~374
- 10 李建昌,张无敌,宋拱川等.生物质产氢的研究现状与发展.能源工程,2001,(6):15~19

## 第九章 微生物在农业固体废弃物资源化中的应用

### 第一节 微生物特性

#### 一、微生物的定义

微生物是指生物界中一类个体微小、结构简单甚至没有细胞结构的低等生物。它们主要包括由原核细胞组成的细菌、放线菌、蓝细菌、支原体、衣原体、立克次氏体和真核细胞所构成的真菌、藻类、原生动物以及无细胞结构的病毒和类病毒等。简单地说，微生物是对细小的人们肉眼看不见的生物的总称。

#### 二、微生物的主要特点

##### (一) 个体微小，结构简单

微生物的个体极其微小，必须借助于光学显微镜或电子显微镜才能观察到它们。细菌等须用微米作单位，病毒等必须用纳米作单位。

##### (二) 代谢活跃，方式多样，易培养

由于微生物的菌体表面积与其体积的比值大（人体的比值为1，而大肠杆菌为30万），必然有一个巨大的营养吸收、代谢废物排泄和环境信息接受面，这一特点也是微生物与一切大型生物相区别的关键所在。故营养物质能迅速转移到菌体内以维持很高的代谢速率。

##### (三) 繁殖快、易变异

相对高等动植物而言，微生物是以惊人地速度进行繁殖。在适宜条件下，大肠杆菌经20~30min就可繁殖一代，一天内就可繁殖72代，个体数可达 $47 \times 10^{22}$ 个。微生物倍增的速度比农作物快500倍，比家畜快12500倍。传代多，所以在其世代间也就易于发生性状变异。此外，也同微生物结构简单，表面积大，容易受环境

因素的影响有关，尽管变异也包含退化在内，但更主要的是，这也为人类改造它们提供了更大的可能性。

#### (四) 抗性强，休眠长

微生物具有极强的抗热性、抗寒性、抗盐性、抗干燥性、抗酸性、抗碱性、抗压性、抗缺氧、抗辐射和抗毒物等能力。

#### (五) 种类繁多、种源丰富

现在人们还不知道微生物的种类究竟有多少，目前已发现微生物的种类有 10 万种以上。已为人们所保藏的各种菌株全世界就有 40 余万株，其中细菌、放线菌 24 万株，酵母菌 4 万株，丝状真菌 11 万株，病毒 6029 株，藻类 5754 株，原生动物 1309 株。

#### (六) 分布广，分类界极宽

微生物在自然界中，除了“明火”、火山喷发中区和人为的无菌环境外，在土壤、水体、空气以及动植物体内外均有各种不同类型的微生物存在。

## 第二节 微生物菌剂在农业固体废弃物资源化中的应用

### 一、微生物菌剂的定义和用途

有机物可以利用微生物发酵转变成有用的化学品、能源或蛋白质，以供工农业使用。通过向传统的生物处理体系中加入具有特定功能的微生物，增强其对特定污染物的降解能力，从而改善整个处理体系去除含难降解物质的废物的处理效果的方法，就是微生物生物强化技术。该技术具有高效、稳定、节省投资的特点，因而成为环境生物治理技术的一种发展趋势。微生物生物强化技术中投加的菌种或混合菌制剂，称为微生物菌剂。

微生物菌剂在养殖业中普遍用于喷洒畜禽栏舍、池塘水体，以改善微生态环境，水加入饲料中直接饲喂能增强动物的抗病力和辅助治疗疾病，而更广泛的用途则是利用农业上丰富的秸秆资源通过发酵调制成营养丰富、适口性好的优质生物饲料，以加速畜禽和水产养殖业的快速发展。尤其是那些将农作物秸秆当作废弃物焚毁的

广大农村，若将其发酵转化成养殖业的优质饲料，既消除了焚毁秸秆所造成的环境污染，又创造财富增加了农民的收入，将产生良好的生态效益和显著的经济效益。

## 二、有效微生物群

EM 是有效微生物群的英文缩写，是世界著名生物学家、日本琉球大学比嘉熙夫教授发明的一项目前世界上应用范围较广的生物工程技术。EM 是将光合菌群、酵母菌群、放线菌群、丝状菌群和乳酸菌群等 5 科 10 属 80 余种有益微生物巧妙地组合在一起，让它们共生共荣、协调发展，是一种特殊的微生物菌剂。与其他生物制剂相比，它具有结构复杂、性能稳定、功能齐全的绝对优势。经农牧产业及环境保护等领域的试验对比，效果明显，因此已在 100 多个国家和地区的农业种植、水产及畜禽养殖、环境保护、人体保健等各个领域广泛应用，效果良好。

## 三、微生物菌剂在农业固体废弃物治理中的应用

### (一) 微生物菌剂发酵秸秆饲料

#### 1. 微生物菌剂发酵秸秆饲料的原理

微生物菌剂发酵秸秆生产饲料是通过有效微生物的生长繁殖使分泌酸大量增加，秸秆中分解纤维素的微生物有细菌、放线菌和真菌，好氧细菌中主要有生孢食纤维菌、食纤维菌及堆囊黏菌，它们都是革兰阴性菌。好氧放线菌有镰状纤维菌和纤维弧菌，其最适宜温度为 22~30℃，在 10~15℃ 便能分解纤维素，最高温度为 40℃ 左右，最适 pH 值为 7~7.5，pH 值 4.5~5 时不能生长。秸秆中的木聚糖链和木质素聚合物酯链被酶解，促使秸秆软化，体积膨胀，木质纤维素转化成糖类。连续重复发酵又使糖类二次转化成乳酸和挥发性脂肪酸，使 pH 值降低到 4.5~5，抑制了腐败菌和其他有害菌类的繁殖，达到秸秆保鲜的目的。其中所含淀粉、蛋白质和纤维素等有机物降解为单糖、双糖、氨基酸及微量元素等，促使饲料变软、变香而更加适口。最终使那些不易被动物吸收利用的粗纤维转化成能被动物吸收的营养物质，提高了动物对粗纤维的消化、吸收、利用率。

## 2. 用微生物菌剂发酵秸秆饲料的一般方法

先将稻草、麦草、玉米秆、树叶和杂草等任何两种以上秸秆混合粉碎成 5mm 左右的草粉，再按草粉：水：微生物菌剂：红糖 = 100 : 35 : 0.1 : 0.1 的比例配料。先将红糖全都溶于水温为 35℃ 左右的 3kg 水中，加入微生物菌剂后充分搅匀，将已预热的全量水倒入混合液中，即为微生物菌剂发酵液，然后将草粉倒入发酵液中搅拌均匀；也可将发酵液泼洒到摊开的草粉中搅拌，然后进行含水量测定。简单的测试标准是手握浸拌均匀的草粉，指缝见水但无水珠滴落为合格，否则需加发酵液或加草粉重新调制到合格为止。最后将调制好的发酵料装入事先备好的池或缸中，注意边装边压实，不让透气，密封贮藏备用。

## 3. 秸秆饲料发酵质量好坏的鉴别方法

若刚一开启贮料容器就有一股酒香味扑鼻而来，用舌头舔尝时有甜酸味者为合格料；假若只甜不酸则系发酵不够；如果只酸不甜则系含水量过高；但若有腐败臭味则系发酵失败，应找出失败原因，改进发酵工艺，将废料晾干重新发酵，直到将饲料发酵合格为止。

另外，饲料的青贮其实也是一个微生物发酵过程。近 20 年来，已明确这个过程是乳酸菌产生大量乳酸以及对植物、酵母菌和其他细菌产生抑制的结果，所以有效的青贮以乳酸发酵最好，接种乳酸菌、链球菌或球菌是有效措施之一，进行单菌或混菌接种都可获得满意的结果。

## (二) 微生物菌剂生产生物有机肥

传统堆肥法一般都是采用增加营养和改善环境条件的方法。利用堆制原料中的土著微生物来降解有机污染物，人为地促进可生物降解的复杂有机物降解为可吸收利用的小分子物质及腐殖质。但传统堆肥法存在发酵时间长、产生臭味且肥效低等问题，虽然有机废弃物堆肥可利用堆料初期存在的微生物群落（细菌、放线菌、真菌）进行自然发酵，完成堆肥化过程，但堆肥初期土著微生物量少，需要一定时间才能繁殖起来。

成熟堆肥中腐殖质主要是木质素、多聚糖和含氮化合物所形成的腐殖酸，芳香结构多，碳水化合物较少。农业废物中木质素主要来源于秸秆等禾本植物，木质素含量较高。而木质素是由苯丙烷结构单元通过醚键和碳-碳键连接而成的复杂的、近似球状的无定形芳香族高聚物，溶解性差，并难以被酸水解；且其含有各种生物学稳定的复杂键型，对酶的水解呈抗性，是目前公认的微生物难降解的芳香族化合物之一。因此，在农业垃圾堆肥处理过程中，由于许多微生物不能分解木质素，而纤维素受到外层木质素包裹保护，导致纤维素分解受到限制。故传统堆肥常因含有大量木质纤维素而致使堆肥效果不佳，于是加强木质纤维转化为腐殖质便成为堆肥充分腐熟的关键。

白腐真菌是降解木质素一类芳香化合物能力最强的微生物，在堆料中接种白腐菌菌剂，可迅速分解堆料中的难降解的有机物木质素，一定程度上促进了纤维素的降解，从而加速了堆肥过程，使堆肥中有机物降解得更彻底。因此，培养接种这类真菌用于堆肥，并控制堆肥参数以利于提高该类真菌活性等，将是促进堆肥、较好地处理固体废物的一条有效途径，极具应用前景。

高效纤维素分解菌和 EM 菌结合，依靠微生物相互间协同作用，即 EM 菌的高效分解作用迅速将堆料中的糖类、蛋白质、淀粉、脂肪等易分解有机物降解，放出能量，使堆料温度迅速升高，使纤维素软化，为纤维素分解菌提供有利的环境；同时高效纤维素分解菌快速降解纤维素等大分子物质代谢为小分子物质，作为 EM 菌的营养物质，因而这些代谢产物不会影响纤维素等大分子物质的降解。从而 EM 菌、纤维素分解菌形成良好的共生代谢关系，生成复杂而稳定的生态系统，提高了堆肥效率。

综上所述，接种微生物菌剂进行堆肥，增加了堆肥初期微生物的群体数目，提高了菌群质量，使微生物菌群各菌种之间相互协同，形成复杂而稳定的生态系统，使堆层中的微生物迅速繁殖，并维持在相对稳定的较高水平之上，从而增强微生物的降解活性，使堆肥温度迅速升高并维持较长的时间，提高堆肥效率。因此，利用

秸秆等作为原材料，接种混合菌剂进行堆肥，是固体废物资源化的一条有效的途径。

最近，由河南省太康县生态源微生物有限公司与中国农科院何策熙教授联合研制的一种生态源牌秸秆还田高效速腐剂，被国家专利局授予专利。秸秆高效速腐剂具有升温快、腐熟烂、肥效高等特点，堆沤 3 天温度就可达 75℃。鲜秸秆 14 天、干秸秆 18 天左右便可腐熟上地。这种速腐剂是一种高效微生物菌剂，能在堆肥过程中大量繁殖，施入土壤后能抑制或杀灭土壤中的致病真菌，减轻作物病害。这种速腐剂通过广东省东莞市、河南省太康县以及山东、安徽等试验区的大田实验表明，沤制的秸秆肥中还含有一定量的生理活性物质，能刺激作物增产，分解土壤中的盐碱、农药残留和农产品毒素，对土地和农产品无污染、无毒害，是理想的绿色肥料。

### （三）生物除臭

近年来，许多研究表明，在鸡粪堆制过程中添加适当的微生物能显著加速有机碳的分解，减少氮素损失和缩短堆肥时间，还能明显减少堆制过程中臭味的挥发，提高肥效，保护环境。日本、美国等国家起步较早，进展较大。其中以日本的 EM 菌群为代表，在鸡粪、秸秆等有机材料堆制发酵有一定效果，能有效地去除畜禽粪便的恶臭。美国、马来西亚等国的研究工作主要集中在筛选产酸微生物方面，利用产酸菌进行发酵，降低鸡粪的酸度，减少氨的挥发。降解鸡粪的微生物菌剂是由蛋白分解菌、纤维分解菌、酵母菌、光合细菌、乳酸菌等多种有益微生物组成，这些菌群在生长中产生的代谢物质被相互利用，而不发生拮抗现象。在鸡粪堆制发酵过程中，微生物菌群以辅料为载体，与鸡粪组成了复杂而稳定的微生态系统，能够快速、环保地发酵鸡粪并增加肥效。

### 四、微生物菌剂的研制

微生物菌剂的研制是生物转化农业固体废物、变废为宝的核心部分，因此，选育高效的微生物菌种以及确定复合菌剂中的各菌种组合成为其中的关键，高效菌种的选育主要来自三个方面。

### (一) 野生型菌种

直接从被污染的环境或污泥中富集、筛选。由于石油污染、海上油轮事故和来源于大气沉降的多环芳烃，海底沉积了大量的石油组分，成为天然的富集驯化场所，因此，可从海底沉积物中筛选到降解石油组分特别是多环芳烃的高效降解菌株。

### (二) 诱导驯化

通过较长时间的驯化，诱导出自然界中已经存在的微生物产生能对特定化合物进行降解的代谢途径和代谢酶类，从而获得这些物质的降解菌种。

### (三) 基因工程改造

通过基因改良技术改造微生物的降解特性，可使其降解性能得到显著提高或者获得新的降解性能。通过定点基因突变技术，提高降解菌株的底物范围和活性。目前，已经筛选到了大量能降解难降解有机化合物的菌株或混合菌。

分子生物学技术的应用可更精确地揭示微生物的种类构成。如对被长期污染的环境样品中，所有微生物的总 DNA 进行 PCR 扩增，根据扩增产物的分析结果推断该环境样品的微生物的构成。运用 16sRNA 技术也可以分析被长期污染的环境中微生物混合体系的组成，再据此组成信息选育合适的高效降解菌种配制成菌剂。因此，现代分子生物学技术与经典和现代的分离技术的结合将会成为菌剂配制的更方便和高效的手段。

造成污染的原因多种多样，污染物的种类也不尽相同，因此菌剂开发应向模块化方向发展。事先将污染物按降解特性进行分类，再为每一类污染物配制降解混合菌，使用之前按照污染情况选择适当的混合菌配制成菌剂，便于商品化生产。随着近年来一些新技术特别是分子生物学技术的发展，各种高效菌种不断被选育出来，配制成的菌剂的功能越来越强大，为越来越多的人所接受和采纳。但还有一些问题急需解决，如各种降解菌之间的协同作用机制的研究、菌剂使用安全方面还有大量工作要做，在各种特殊环境条件下发挥作用的高效菌种和菌剂也需要大力选育和配制。

由于微生物菌剂在治理污染方面具有很多优点，因此世界各国普遍投入了大量的资金进行研究，迄今为止已研制出了一大批各种功能的微生物菌剂，并且已经申请了很多专利。一些公司还生产出了各种类型的商品化的菌剂产品进行出售，有些已经形成系列化产品，能够根据客户的要求专门配制特殊用途的菌剂产品。欧美各国从 20 世纪 70 年代就开始研制微生物菌剂，并已开发出各种用途的菌剂产品。我国目前应用于污水治理的微生物菌剂大都是从国外购进，价格昂贵（如液态微生物的国际售价是 50 美元 1 磅）。

近年来，我国各相关研究机构和公司加大了研究力度，相继研制出了一系列的高效菌剂产品。如中国科学院成都生物研究所已筛选出能降解多种污染物的高效降解功能菌株 300 余株，并形成 8 个系列的微生物菌剂。另外还成功开发出了治理电镀行业重金属污染的菌剂，能回收重金属，处于国际领先水平。四川绿友环保工程有限公司开发的产品 CMP（Compound Microorganisms Preparation）包括环保型 CMP 生物制剂——处理城市生活污水、工业废水，CMP 除臭剂——处理城市垃圾、畜禽粪便等；成都海发集团能根据污水中污染物的不同种类，配制不同的菌剂对污水进行治理，其与山东农业大学共同研制了一种名为“CMF”的生物治污技术，核心是一系列高效微生物组合菌剂和增氧菌剂；湖北畅响生物工程股份有限公司研究所选育出了适用于畜禽粪便无害化处理的有益微生物的优良菌株，并配制成复合菌剂，能用于处理畜禽粪便，使其变成无害、无臭、无病菌虫卵的高效优质生物有机肥。

### 第三节 生物工程技术在农业固体废弃物资源化中的应用

#### 一、生物工程的定义、技术体系和特点

生物工程学（Biotechnology），也称生物技术或生物工艺学。是 20 世纪 70 年代初在分子生物学和细胞生物学基础上发展起来的一个新兴技术领域。由于基因重组、杂交瘤、固定化酶和动植物细胞大规模培养等技术的出现，人们运用生命科学的新成就，定向设

计了组建具有特定性状的新物种或新品系，结合发酵和生化工程原理，在加工生物材料，在医药、食品、化工、能源、农业和环境保护等领域中为社会提供商品和服务，形成了现代生物工程学。

生物工程的产生和发展涉及许多学科，包括分子生物学、细胞生物学、遗传学、微生物学、化学、物理学等基础学科，同时又具有工程学现代技术，所以是一门新型的应用技术科学。

## 二、环境生物技术

### (一) 环境生物技术的概念及范畴

生物技术在环境治理和环境保护中的广泛应用，衍生出一门新学科和新技术，即环境生物技术 (Environmental Biotechnology)，也称环境生物工程。环境生物技术是一门由现代生物技术与环境工程技术相结合而形成的前沿交叉学科。凡是与生物技术结合，对环境进行监控、治理或修复、清洁生产、污染物资源化以及生物材料和能源开发等，均属于环境生物技术研究 and 应用的范畴。其重点研究领域包括以生物传感器为代表的环境污染监控技术、工业和生活废水中污染物的微生物降解技术、生态环境生物防治和生物修复技术、环境友好可再生材料和能源的生物合成技术等。

### (二) 环境生物技术的特点及优势

现阶段的环境生物技术的核心是微生物技术。它主要采用现代分子生物学和分子生态学的原理和方法，充分利用环境微生物的生物净化、生物转化和生物催化等特性，进行污染治理、清洁生产和可再生资源利用，多层面和全方位地解决工业和生活废水污染、石油和煤炭脱硫、农药残留、能源和材料短缺等问题。

环境生物技术具有如下的特点和优越性。

(1) 与化学、物理等其他技术比较，环境生物技术具有效率高、成本低、反应条件温和及无二次污染等显著优点。

(2) 环境生物技术是最安全和最彻底消除污染的方法，同时还可以增强自然环境的自我净化能力。

(3) 环境生物技术是有机废物资源化的首选技术，能“化废为宝”，将有机（污染）物转化为沼气、酒精、有机材料或原料、单

细胞蛋白等。

(4) 环境生物技术能改造传统生产工艺，实现清洁生产过程的生态化或无废化。

(5) 环境生物技术能大大降低环境友好生物材料和生物能源的生产成本，使其部分或完全取代化学材料和化石能源。

### 三、生物技术在农业固体废弃物治理中的应用

#### (一) 单细胞蛋白饲料的开发利用

##### 1. 单细胞蛋白饲料的定义和营养价值

单细胞蛋白生产是指用工业化发酵法培养蛋白质含量高的微生物和酵母细胞，作为人类或动物的食物蛋白质来源。生产单胞蛋白的原料十分丰富，作物秸秆、农副产品加工工业的大量废水、废渣以及木薯等均可利用。利用生物工程技术培育出纤维素酶活力高的微生物，可将纤维素转化为糖，再经细胞培养将糖转化为细胞蛋白。早在二次世界大战期间，为了解决粮食问题，德国和日本就开始利用水解纤维素和裂解石油生产饲料酵母。前苏联每年用谷壳、木屑等发酵生产 150 万吨单细胞蛋白，建立起了年产 10 万吨级的单细胞蛋白工厂。前苏联还建立了以甲醇为原料的、年产 120 万吨的饲料酵母厂，这可增产肉类 500 万吨，鲜蛋 270 亿个，经济效益达 90 亿卢布。前几年英国帝国化学公司投资 1 亿英镑建成了一座世界上最大吨位的蛋白饲料工厂。他们采用基因工程技术，使微生物对氮的固定率提高，从而提高生产速度和菌体得率。芬兰在堪培拉也建立了一座年产万吨级的单细胞蛋白工厂。世界各国都在积极发展单细胞蛋白生产工业。

微生物菌体蛋白、脂肪均优于一般动植物，而且富含各种维生素及其他生理活性物质，细菌含蛋白质 50%~80%、酵母菌含蛋白质 40%~60%、藻类含蛋白质 40%~50%、霉菌含蛋白质 20%~30%。单细胞蛋白质饲料富含动物所必需的氨基酸，特别是植物性饲料缺乏的赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸的含量较多。同时它含有多种维生素和酶类，可以促进动物生长发育，提高生产性能，是一种理想的新型蛋白质饲料，可消化率达 85%~95%。据试验，

在育肥猪饲料中添加 3%~7% 酵母, 肥猪日增重可提高 15%~30%; 在蛋鸡饲料中添加 3%~7% 酵母, 产蛋率可提高 20%~30%, 饲料消耗下降 10%~20%; 在猪饲料中添加 9% 单细胞饲料, 优于添加等量的一级秘鲁鱼粉。据报道, 用 500kg 酵母菌, 可生产蛋白 60kg/d, 而 1 头 500kg 重的公牛, 只能产生蛋白 0.4kg/d。单细胞蛋白不但能充分满足人和动物的需要, 有的还可以作为强化食品, 保健品或药品。

## 2. 单细胞蛋白饲料的生产原料

生产单细胞蛋白所用的原料丰富, 可以利用农业废弃物如秸秆、糠、籽饼等为原料。甚至能把高浓度有机废水及废糖蜜、酒糟、酱渣等利用起来, 既解决了耕地不足的问题, 又能把大量污染环境的有机废弃物变为优质蛋白。目前日本用农副产品下脚料生产单细胞蛋白代替豆饼, 美国和俄罗斯用大肠杆菌生产胰岛素的同时, 从中又获得单细胞蛋白。美国年产 800kt; 俄罗斯年产 3000kt。

我国饲料蛋白缺乏, 每年缺口达 12000kt, 是发展畜牧业的制约因素, 因此应大力发展单细胞蛋白饲料。我国粗饲料资源丰富, 每年可提供作物秸秆近亿吨, 可产树枝叶片数亿吨, 这些都是生产单细胞蛋白饲料的资源。

南京农业大学将杨树叶进行热处理后发酵生产单细胞蛋白, 每克含酵母菌 30 亿个, 粗蛋白含量达 50%, 可作配合饲料和养鱼饲料, 效果良好。

## 3. 单细胞蛋白饲料的生产工艺

单细胞蛋白饲料的生产采用液体深层发酵工艺。液体深层发酵工艺是利用细菌、酵母、真菌等微生物在通风控温的罐中发酵, 收获微生物细胞作为产品。

### (1) 液体深层发酵工艺的特点

机械化程度高, 产品细胞数多, 杂菌污染少, 产品质量稳定, 在发酵过程中对发酵工艺条件易监测和控制。

### (2) 液体深层发酵工艺存在的问题

能耗高、设备投资大、可溶性营养物质损失多、产品回收率低、发酵液中干物质含量低、后处理困难、有工业废水污染等，所得产品（单细胞蛋白，如饲料酵母）成本高。

### （3）液体发酵的原料

可以是石油、甲醇、乙醇及天然气等碳氢化合物。我国早在 20 世纪 70 年代初就建立了一个试验车间，但由于生产成本低而无法投入工业化生产。我国在能源十分紧张的今天不可能利用这些原料进行大规模的单细胞蛋白生产。

还有利用糖蜜和淀粉生产单细胞蛋白，由于原料来源及成本问题，用它们来发展单细胞蛋白也是行不通的。

自 20 世纪 80 年代以来，我国有些味精厂和酒精厂以废液生产单细胞蛋白，陆续在江苏、河南、福建等省市建立了数个饲料酵母厂。据统计，以 80~100t 味精母液可得 1t 粗蛋白含量 60% 的酵母饲料计算，一个年产 500t 的酵母废水处理装置需投资 350 万元以上。由于单细胞蛋白的成本并不低，仍存在二次废水污染，用这些方法处理污水及生产单体蛋白是不适宜的。国内外的实践经验表明，由于液体深层发酵工艺存在的问题，深层液体发酵生产单细胞蛋白的工艺（包括废水处理）难以推广应用。

## （二）微生物蛋白饲料

是以固体物料为培养基，接种酵母或混合菌种。利用固态发酵工艺进行发酵，其产品包括发酵基质和酵母细胞或混合菌种的混合物。它们与单细胞蛋白饲料有所不同，称为微生物蛋白饲料。产品中包括微生物代谢产物、可溶性和不可溶性营养物质。

### 1. 固态发酵工艺优点

固态发酵工艺的优点是设备投资少、工艺简单、产品具有较高的生物活性（固体发酵时微生物的代谢产物，如各种消化酶、维生素及未知促生长因子等）、无废水污染、产品成本低、易推广应用。近几年来固态发酵蛋白饲料增产很快，年产量 10 万吨左右。

### 2. 固态发酵原料

固态发酵培养基应采用含碳水化合物丰富的适合酵母发酵的基

质,培养基适宜的蛋白质含量应为 10%~20%,产品的粗蛋白含量增加约 10 个百分点,含量 25%左右。

发展微生物菌体蛋白饲料,必须要选择量大、来源广、价廉、经济效益好的培养基。以石油、天然气为原料,与能源争夺原料,且生产的单细胞蛋白价高,农业难以接受。

以秸秆为原料,价廉来源广,但在目前的技术条件下,尚难以将其变成价廉的蛋白饲料。近年来我国以有毒的饼粕如棉、菜籽饼脱毒(包括固体发酵脱毒)后作为原料生产蛋白饲料。有毒的饼粕经微生物的发酵脱毒,不仅将毒素去除,解决了食用问题,而且部分植物蛋白变成了营养价值更高的动物蛋白或活性生物蛋白。

## 参 考 文 献

- 1 孙耀华. 现代生物技术在畜牧业中的新应用. 江西饲料, 2004 (4): 39~40
- 2 吴南君. 单细胞蛋白开发利用前景及对策. 饲料与畜牧, 1994, (1): 27~28
- 3 章练红. 国内外单细胞蛋白的开发利用现状及其在我省的开发前景. 国外生物科技, 1989, (4): 31~35
- 4 张盛祥. 加快农业战略结构调整 发展白色工程农业. 贵州农业科学, 1997, 25 (5): 59~60
- 5 顾希贤. 垃圾堆肥微生物接种实验. 应用与环境生物学, 1995, 1 (3): 274~278
- 6 H. S. Shin, E. J. Hwang, B. S. Park, tal. The effects of seed inoculation on the rate of garbage composting. Environmental Technology, 1999, 20: 293~300
- 7 殷培杰, 孙军德. 微生物菌剂在鸡粪有机肥料堆制发酵中的应用. 微生物学杂志, 2004, 24 (6): 43~44
- 8 黄丹莲, 曾光明. 白腐菌应用于堆肥处理含木质素废物的研究. 环境污染治理技术与设备. 2005, 6 (2): 29~32
- 9 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): 262~264
- 10 徐峰. EM 技术在环保和其他行业中应用的展望. 中国环境管理, 2001, (4): 44~46

- 11 席北斗, 李英军, 刘鸿亮等. 纤维素分解菌和 EM 菌协同作用在有机废弃物堆肥中的应用. 环境与开发, 2002, 16 (4): 16~18
- 12 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): 142~146
- 13 Haug R T. Development of Simulation Models, In: The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, 1993, 342~436
- 14 金晓红, 任化炜. 环境生物技术应用与环境保护的新进展. 环境保护, 2002, 2: 18~19

## 第十章 农业固体废弃物的其他原料化技术

### 第一节 利用农业废弃物制取木糖醇

#### 一、木糖醇概述

木糖醇是一种五碳糖醇，含有五个羟基，它的化学分子式是 $C_5H_{12}O_5$ ，外形是白色结晶。商品木糖醇有些像绵白糖，有一定的吸湿性，并具有甜味，甜度相当于蔗糖，热量相当于葡萄糖。精制的木糖醇可以食用，有清凉感，并为人体所吸收，是糖尿病人的营养剂和治疗剂。木糖醇作为食品还有特殊的防龋功能。木糖醇在国防工业、塑料工业、轻工业等中也有广泛的应用。但木糖醇是最贵的多元醇之一，生产成本太高是推广其应用的主要障碍。

#### 二、木糖醇的制备

根据目前国内外工业化生产木糖醇的现状，不同的生产工艺路线均采用不同的操作方法，但其主要工序及其生产设备基本相似，概括起来木糖醇的生产方法可分成三种：提取、化学合成和生物合成。目前，工业生产主要采用化学合成法。

##### （一）提取

木糖醇是动物的正常代谢中间产物，人体在正常代谢中每天产生5~15g木糖醇。在自然界，木糖醇广泛存在于各种果蔬食物（如草莓、青梅、胡萝卜等），棉籽壳、甘蔗渣、玉米芯、稻壳以及其他种子皮壳等物质中，在酵母和蘑菇中也有发现。提取法生产木糖醇就是采用固液萃取的方法，将木糖醇从含有它的原料中提取出来。虽然可以用固液萃取的方法将其从这些原料中提取出来，但由于含量很低，通常少于900mg/100g，大量制备困难而且不经济。

##### （二）化学合成法

我们可以利用各种农副产品废弃物的水解液生产木糖醇。木糖

D-xylose（别名 wood sugar）属无热量甜味剂，有清爽甜味，是加工木糖醇的主要中间体。若将农业植物纤维废料如玉米芯、稻壳、甘蔗渣、秸秆、木棉壳、杏仁壳、木屑等水解，其中的多缩戊糖便水解生成一种白色至微黄色的结晶体或粉末，这就是木糖。木糖经氢化，便得到木糖醇。农业植物纤维废料中含有大约 1/4~1/3 的多缩戊糖。现将几种主要用于生产木糖醇的原料中多缩戊糖含量见表 10-1。

表 10-1 几种农业植物纤维废料中多缩戊糖含量

| 原 料 名 称 | 多缩戊糖/% | 纤 维 素/% | 木 质 素/% |
|---------|--------|---------|---------|
| 棉籽壳     | 25~28  | 35.5~43 | 28      |
| 玉米芯     | 35~40  | 32~36   | 23      |
| 甘蔗渣     | 24~25  | 40~45   | 24      |
| 稻壳      | 16~22  | 35~43   | 24~32   |
| 蔗髓      | 24~25  | 26      | 29      |

目前化学合成法生产木糖醇主要的工艺方法，有中和法、离子交换脱酸法、结晶木糖法等，其主要工序如下。

1. 中和法

原料→预处理→水解→中和脱色→蒸发→氢化→二次浓缩→结晶→离心→结晶木糖醇

2. 离子交换脱酸法

原料→预处理→水解→脱色→离子交换→蒸发→离子交换→氢化→二次浓缩→结晶→离心→结晶木糖醇

3. 结晶木糖法

原料→预处理→水解→中和→蒸发→甲醇沉淀→蒸发→木糖结晶→氢化→二次浓缩→结晶→离心→结晶木糖醇

木糖加氢生产木糖醇，从化学反应上看，似乎只需水解、氢化两步。但在工业生产中，则需要许多的工序，先将水解液中含有的酸、色素、胶体、灰分等有害杂质除去，只有使水解液中的木糖纯度达到 95% 以上，才适合于加氢制木糖醇。氢化工序要求在 80~

120℃、50atm，镍催化条件下进行。氢化工序要求较高纯度的木糖液，是因为若木糖液中有很多杂质，将导致加氢过程的催化剂中毒和很快失去活性。

### (三) 生物合成法

#### 1. 生物合成法生产木糖醇的原理及工艺

D-木糖可由 NADPH 依赖的木糖还原酶还原为木糖醇，或由 D-木糖异构酶异构为 D-木酮糖，再由 NADH 依赖的木糖醇脱氢酶还原为木糖醇。生物合成法即微生物发酵法是利用细菌、真菌和酵母等微生物中的还原酶将木糖转化为木糖醇。各种农副产品废弃物的水解液经发酵生产木糖醇，不仅有可能省去木糖纯化步骤，还可以简化木糖醇的分离步骤，它可有效降低木糖醇的生产成本，是一种很有前途的生产方法。

富含木糖聚糖的木质纤维

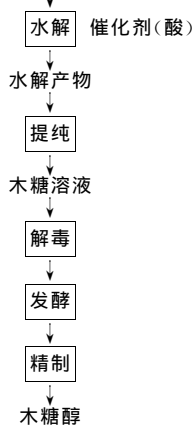


图 10-1 发酵法生产木糖醇的工艺流程

由于化学方法均要在氢化前对木糖水溶液进行许多步的纯化处理，使得木糖醇的制备成本大大增加。氢化步骤还要求高压，镍催化剂又会污染环境。因此不需要以高纯度木糖液为原料，且在温和的条件下进行的生物转化法已成为研究的热点。

发酵法生产木糖醇的工艺流程如图 10-1 所示。

#### 2. 发酵法生产木糖醇的微生物

##### (1) 细菌

只有很少一部分细菌能够产生木糖醇，如 *terobacter Liquefaciens*, *Myobactenum smegmatis*, 棒状杆菌 (*Corynebacterum* sp.) 等种属，可将木糖转化为木糖醇。

*M. smegmatis* 将木糖转化为木糖醇的能力较强，转化率可达 70%。将大肠杆菌置于木糖初始浓度为 100g/L 的培养基中进行发酵，木糖醇的生产速率达到 0.35(L·h)。大多数细菌含有木糖异构酶，这种酶能将木糖转化成木酮糖。木酮糖在木酮糖激酶的作用下，进

一步磷酸化成 5-磷酸-D-木酮糖，而后进入磷酸戊糖途径或通过 5-磷酸木酮糖磷酸酮酶作用，生成 3-磷酸甘油醛和乙酰磷酸。棒状杆菌属的菌株能够代谢生成木糖醇，这些菌株体内可能存在着一种酶的氧化还原系统同木糖异构酶并存或代替木糖异构酶的作用。这个体系能够进行木糖还原反应生成木糖醇，然后再进一步氧化生成木酮糖。木糖醇只是细菌代谢的一种中间产物。

## (2) 霉菌

有一些霉菌也能发酵木糖产生木糖醇。在含有木糖的培养基中，一些丝状真菌，如青霉、曲霉、根霉、胶杆菌、*Byssochlamys*、漆斑红菌或 *Neurospora* spp.，能够产生低浓度的木糖醇。在木糖最初浓度为 50g/L 培养基中对 *Fadum xysporum* 菌株进行 2 天的有氧培养后，检测到了木糖醇 ( $<1\text{g/L}$ )。*Petromyces albertensis* 菌株在木糖初始浓度为 100g/L 的培养基中培养 10 天后，木糖醇和木酮糖浓度分别达到了 39.8g/L 和 2.8g/L。

## 3. 酵母

在微生物中，酵母转化木糖生产木糖醇的性能较为优越。*Candida* 属酵母转化能力较强，如 *C. guilliermondii*，*C. tropicalis*，*C. mogii*，*C. parasilos*。其他转化能力较强如下。

① *Debaryomyces* 属，如 *D. hansenii*。

② *Pachysolen* 属，如 *P. tannophilus*。

③ *Saccharomyces* 属。

④ *Schyzosaccharomyces* 属。

由于农副产品废弃物水解液的成分比较复杂，除含有木糖外，还含有很多抑制酵母生长的有害物质，如糠醛、乙酸等。采用离子交换树脂进行处理固然可以有效地去除发酵抑制物，但成本太高。要使微生物发酵生产木糖醇技术工业化，必须找到低成本高效率的水解液脱毒方法，并提高菌株本身对水解液中有害物质的耐受力。由于水解液体系的复杂性，人们首先对商品木糖的生物转化进行了研究，寻找经济有效的水解液脱毒方法并提高得率，进而研究开发水解液发酵生产木糖醇的技术。

### 三、结晶木糖醇质量指标控制

目前国内有关厂家生产的结晶木糖醇参考质量指标是：水分 1.5%~2.5%，灰分 0.2%~0.4%，残糖量 0%~2.5%，含醇量平均为 96%，碳水化合物为 0.1%~0.5%，总酸 0.006%~0.02%，重金属 5ppm，色泽及外观呈白色结晶。

## 第二节 利用农业废弃物制造轻质建筑板材

### 一、利用农业废弃物制造人造板发展历程

国外 20 世纪初已开始利用农业废弃物发展人造板生产。早在 1948 年，比利时就建成了世界上第一条亚麻屑碎料板生产线。而后在欧洲、拉丁美洲、北美洲等地区相继建成投产一批以亚麻屑、甘蔗渣等为原料的人造板工厂。1970 年，联合国工业发展组织主持召开了非木质人造板学术讨论会。此后，以农业废弃物为原料的碎料板厂、硬质纤维板厂和中密度纤维板厂遍布世界各地。世界很多国家都投入了较大力量发展非木质人造板，并颁布了有关产业政策。如印度政府 1993 年 4 月实施了一项禁止将实木用于建筑的法律，旨在推动农业废弃物为原料的人造板。现在印度已有多家非木质人造板厂，并能生产高质量的蔗渣板、稻秸板等人造板。目前，世界的非木质人造板的总产量已达到世界人造板总量的 10% 以上。那些较早利用农业废弃物生产人造板的国家已形成了规模生产，并取得可观的经济效益。比如，在比利时，以亚麻为原料的刨花板一度占刨花板总量的 50% 以上。

在原料加工对象方面，20 世纪 90 年代初，中欧地区主要采用亚麻和大麻屑，热带地区主要采用甘蔗渣。现今，以麦秸为原料生产人造板在北美与欧洲已形成一种强劲的态势。在麦秸人造板方面，克瓦纳-比松公司具有领先的生产技术及设备制造水平。克瓦纳集团公司是一个跨国公司，注册在挪威，主要从事造船业以及人造板生产设备的制造。目前很多大型的麦秸人造板生产线都是由该公司设计的。Prime Board 公司于 1995 年 7 月开始投产，采用美国 ICI 公司开发的 MDI 胶作胶黏剂，每年用 50000t 的麦秸生产

53100m<sup>3</sup> 的高质量麦秸人造板。Isoboard 公司于 1998 年 8 月建成年产 18 万立方米、板厚 6~28mm，第一条使用连续压机的麦秸人造板生产线，这也是世界上最大的一条麦秸人造板生产线。英国 Compak 公司在 20 世纪 80 年代末期就着手研制麦秸人造板的生产设备，于 1995 年向澳大利亚提供了两条麦秸人造板生产线，1997 年又进入了北美市场。目前 Compak 公司可生产出厚度至 28mm 的麦秸人造板。另外，北美又另有 10 多个麦秸人造板厂在建或已投产，年生产能力在 6000~26500m<sup>3</sup>。

我国开发农业废弃物生产非木质人造板始于 20 世纪 50 年代末。通过数十年的研究与探索，这种板的资源利用、产品种类、生产规模、工艺技术、性能质量、检验标准等都得到了不同程度的发展与提高。迄今，我们的非木质人造板生产厂家已达 210 家以上，设计能力年产 50×10m<sup>3</sup>。在工艺技术方面，已先后研制成功了以竹材、亚麻屑、棉秆、蔗渣、豆秸、玉米秸、烟秆、谷秆、葵花秆和芦苇等 10 多种非木材植物纤维为原料的人造板，板材性能大多可达到相应的木材植物纤维人造板标准。在设备制造方面，已能生产年产 5000~15000m<sup>3</sup> 板材的成套设备。通过对国外先进技术的消化吸收，也初步具备了年产 3 万立方米的成套设备的能力。此外，我国还开发了无胶人造板，并已建成以甘蔗渣为原料的无胶中密度纤维板厂。但由于受到胶黏剂的限制，开发麦秸、稻草等为原料生产非人造板的技术尚不成熟。现在，国内以麦秸为原料的小型造纸厂（5000t/a 以下）因水污染问题而被关闭，为解决原料利用问题，麦秸人造板的发展已成当务之急。在这方面已经取得成效的是东北林业大学与上海人造板机器厂，他们联合开发的国内第一条年产 3×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> 麦秸刨花板生产线即将试产。

我国是木材资源缺乏的国家，但却是农业大国，各类农业废弃物排量很大，用以代替木质纤维制造人造板，不仅可变废为宝，且也符合可持续发展的方针。

## 二、人造板类型

人造板基本上可分为有机胶黏剂粘接的人造板与无机胶黏剂黏

结的人造板两大类。

### （一）有机胶黏剂粘接的人造板

这是用棉秸、麻秸、蔗渣、芦苇、稻草、稻壳、麦秸等作增强材料，用有机合成树脂（如脲醛、酚醛、三聚氰胺甲醛等树脂）作胶黏剂，经原材料处理、混拌、铺装、热压等主要工序制成的平板。品种有稻草板、稻壳板、麦秸板、麻屑板、蔗渣板、花生壳板、玉米秆板、葵花秆板、苕麻秆板等，这类板材共同的特点是原料来源广、生产能耗低、自重小（容重在  $0.4 \sim 0.9 \text{g/cm}^3$  范围内）、隔热保温性好、防蛀、防腐、可加工性好，它们的耐火等级一般可达 B1 或 B2 级，能用于三、四级耐火等级的普通建筑物中作为隔墙板。

异氰酸酯类刨花板的质量可以达到木质刨花板国家标准，且耐潮性优于标准要求，无甲醛气体释放，是很好的绿色环保产品。但是，它也存在如下几个问题。

① 异氰酸酯类胶黏剂价格较高（约 16 元/kg）。

② 由于异氰酸酯类胶黏剂具有很强的化学反应活性，尤其可与水（即使是微量的水）发生固化反应，用异氰酸酯类胶黏剂生产人造板，需采用不同于醛类胶黏剂的生产设备。

③ 需使用脱模剂（外脱模剂或内脱模剂）。

由于以上问题的存在，使得异氰酸酯类麦秆人造板成本较高，进行大规模市场推广还有困难。要想发展我国的秸秆人造板产业，有必要坚持两点：就产品品种而言，为提高产品质量，以发展中密度纤维板为宜；就胶黏剂种类而言，为降低产品成本，以使用脲醛树脂胶黏剂为宜。

### （二）无机胶黏剂粘接的人造板

用某些植物纤维作增强材料，用无机胶凝材料（如水泥、石膏、镁质胶凝材料等）作胶黏剂，并加入适量助剂，经混拌、成型、加压、养护等工序制成的平板。这类板材的特点也是原料来源广、生产能耗低、自重小（容重  $0.9 \sim 1.3 \text{g/cm}^3$  范围内）、导热系数不大，防水、防蛀、防腐、有可加工性等，它们的耐火等级一般

可达 B1 级，能用于二级、三级耐火等级的建筑物，可作隔墙板或外墙板。某些发达国家与发展中国家均在大力开发与推广用植物纤维制造此类人造板。我国此类板材与国外同类产品的先进水平相比，主要差距在于制作过程的自动化程度低、劳动生产率低、产品质量的稳定性差等。

### 三、几种农业废弃物生产的无机胶黏剂粘接人造板

#### 1. 水泥刨花板

水泥刨花板是以普通硅酸盐水泥为胶凝材料，木质刨花（碎料）为增强材料，并掺入适量的化学助剂和水，经搅拌、铺装、加压成型、养护与调湿干燥等工序制成的建筑板材。该板不仅具有轻质、高强、防火、隔热、隔音、调节室内湿度等良好的物理力学性能，而且具有可锯、可钉、可钻、可开槽以及可直接在其表面进行各种饰面装饰的良好的施工性能。

##### (1) 主要原材料

① 水泥。采用 425 号以上普通硅酸盐水泥，其物理力学性能应符合 GB 175—92 要求。生产中也可以掺入不超过 30% 的原状粉煤灰以替代水泥。

② 木质刨花（碎料）。可采用森林采伐剩余物（小径材、间伐材、枝丫材）、木材加工剩余物（边角废料、刨花、木屑）、农作物剩余物（棉秆、蔗渣、麦秸等）与竹材加工剩余物。

##### (2) 生产工艺

水泥刨花板的生产工艺流程如图 10-2 所示。

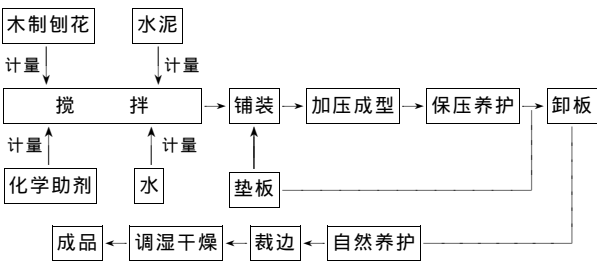


图 10-2 水泥刨花板的生产工艺流程

(3) 物理力学性能

水泥刨花板的物理力学性能见表 10-2。

表 10-2 水泥刨花板的物理力学性能

| 木质刨花 | 粉煤灰掺量<br>/% | 密度<br>/g·cm <sup>-3</sup> | 含水率<br>/% | 静曲强度<br>/MPa | 平面抗拉强度<br>/MPa | 吸水厚度膨胀<br>(24h)/% | 导热系数<br>/W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> | 耐火极限<br>/h | 隔声指数<br>/dB |
|------|-------------|---------------------------|-----------|--------------|----------------|-------------------|---------------------------------------------|------------|-------------|
| 木材   | 0           | 1.1~1.3                   | 9±3       | 9~11         | 0.4~0.6        | <2.0              | 0.17~0.23                                   | 1.18       | 32          |
| 木材   | 30          | 1.1                       | 12        | 9.7          | 0.77           | 0.97              |                                             |            |             |
| 竹材   | 0           | 1.16                      | 9         | 8.0          | 0.42           | 2.0               |                                             |            |             |
| 麦秸   | 0           | 1.35                      | 9~12      | 10.0         | 0.55           | 1.5               |                                             |            |             |
| 椰纤   | 0           | 1.3~1.4                   | 6~7       | 9.5~11       | 0.45           | 0.8~1.2           |                                             |            |             |
| 蔗渣   | 0           | 1.5~1.6                   | 6~7       | 8.8~9.6      | 1.06~1.14      | 0.3~0.5           |                                             |            |             |

(4) 用途

水泥刨花板适用于建筑中作非承重的内外墙板、天花板、地板、屋面重板、建筑模板、活动房屋、封檐板、烟风道与组合卫生间等。

2. 石膏刨花板

石膏刨花板是以建筑石膏为胶凝材料，木质刨花（碎料）为增强材料，并掺入适量的缓凝剂与水，经搅拌、铺装、加压成型、干燥等工序制成的建筑板材。该板具有质轻、较高的强度、防火、隔热、隔音与调节室内湿度良好的物理力学性能，以及可锯、可钉、可刨、可钻和可直接在其表面进行各种饰面装饰的施工性能。

(1) 主要原材料

① 石膏。采用建筑石膏，其物理力学性能应符合 GB 9776—88 的要求。也可采用生产磷酸时的副产品磷石膏或排烟脱硫石膏。

② 木质刨花（碎料）。可采用森林采伐剩余物（小径材、间伐材、枝丫材）、木材加工剩余物（边角废料、刨花、木屑）、农作物剩余物（棉秆、蔗渣、麦秸等）与竹材加工剩余物。

(2) 生产工艺

石膏刨花板的生产工艺流程如图 10-3 所示。

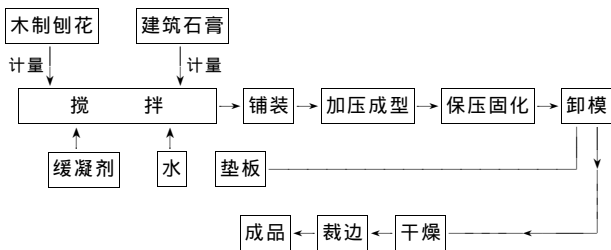


图 10-3 石膏刨花板的工艺流程

(3) 物理力学性能

石膏刨花板的物理力学性能见表 10-3。

表 10-3 石膏刨花板的物理力学性能

| 木质刨花 | 密度<br>/g·cm <sup>-3</sup> | 含水率<br>/% |     | 平面抗<br>拉强度<br>/MPa | 吸水厚<br>度膨胀<br>(24h)/% | 导热系数<br>/W·m <sup>-1</sup> ·<br>K <sup>-1</sup> | 防火性 | 隔声<br>指数<br>/dB |
|------|---------------------------|-----------|-----|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----|-----------------|
| 木材   | 1.2                       | 1.2       | 8.7 | 0.52               | 1.4                   | 0.25                                            | 难燃  | 32(单板)          |
| 竹材   | 1.40                      | 2.0       | 7.8 | 0.64               | 0.29                  |                                                 |     |                 |
| 蔗渣   | 1.20                      | 2.0       | 6.7 | 0.61               |                       |                                                 |     |                 |
| 麦秸   | 1.20                      | 2.0       | 5.5 | 0.22               |                       |                                                 |     |                 |

(4) 用途

石膏刨花板适用于建筑中作承重的内隔墙、天花板、地板与音箱等。

3. 矿渣刨花板

矿渣刨花板是以水淬高炉矿渣经粉磨后加入适量的活性催化剂为胶凝材料，木质刨花为增强材料，并加入适量的水，经搅拌、铺装、预压、热压等工序制成的建筑板材。该板具有轻质、高强、防火、防水、隔热、隔声等良好的物理力学性能，而且可锯、可钉、可刨、可铣等机械加工性能，也可直接在表面进行各种饰面装饰。

(1) 主要原材料

① 木质刨花（碎料）。可采用森林采伐剩余物（小径材、间伐

材、枝丫材)、木材加工剩余物(边角废料、刨花、木屑)、竹材加工剩余物、农作物剩余物(如棉秆、蔗渣等)。

② 矿渣。采用高炉炼铁后的废弃物水淬高炉矿渣。

(2) 生产工艺

矿渣刨花板的生产工艺流程如图 10-4 所示。

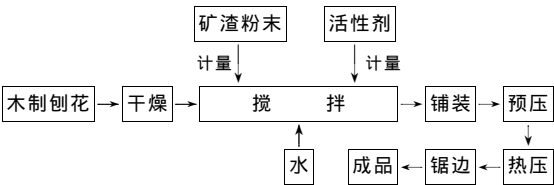


图 10-4 矿渣刨花板的生产工艺流程

(3) 物理力学性能

矿渣刨花板的物理力学性能见表 10-4。

表 10-4 矿渣刨花板的物理力学性能

| 密度<br>/g · cm <sup>-3</sup> | 静曲强度<br>/MPa | 平面抗拉强度<br>/MPa | 吸水厚度膨胀<br>(24h)/% | 吸湿线膨胀<br>/% | 导热系数<br>/W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> | 防火性 |
|-----------------------------|--------------|----------------|-------------------|-------------|------------------------------------------------|-----|
| 1. 2~1. 4                   | 10~14        | 0. 4~0. 6      | 2~3               | 0. 2        | 0. 25~0. 35                                    | 难燃  |

(4) 用途

矿渣刨花板适用于建筑中作非承重的内外墙板、天花板、地板与吸音板等。

利用农作物剩余物与无机胶凝材料制造绿色建筑板材，除了上述三种外，还可开发研制活化粉煤灰刨花板、氯氧镁水泥与农作物剩余物复合制造氯氧镁水泥刨花板、以普通硅酸盐水泥与适量的粉煤灰为胶凝材料与植物纤维(木纤维、竹、稻壳、蔗渣等)复合制造植物纤维混凝土空心墙板等新产品。

第三节 利用农业废弃物生产食用菌

食用菌 (edible fungi)，俗称蘑菇 (mushroom)，一般是真菌中能形成大型子实体或菌核类组织并能提供食用的种类，约有

95%的食用菌属于担子菌亚门中的层菌纲及腹菌纲，少数属于子囊菌亚门中的盘菌纲。全世界人工栽培的食用蘑菇不过 20 来种，随着人工驯化的研究及其利用的开拓，其数目将会不断增多。我国的大型真菌资源丰富，其中有食用价值的约 700 种。我国栽培的主要有各种平菇、香菇、金针菇、白蘑菇、草菇、白木耳、黑木耳，以及兼有医用价值的猴头、灵芝等。

食用菌含有丰富的人体所需的蛋白质、维生素和矿质元素，有“保健食品”、“绿色食品”和“抗病食品”等称号。随着人民生活水平的提高，食用菌的消费量也越来越大，将是生活中不可缺少的主要食品。

### 一、农业废弃物生产食用菌的原理

利用植物残体生产食用菌，是将许多农业废弃物或农产品加工过程中产生的废物作为食用菌生产的原料。植物光合作用的产物，一般只有 10%的有机物被转化成可供人类或动物食用的蛋白质和淀粉，其余的皆以粗纤维的形式存在，任其在自然界中自生自灭。众所周知，农作物秸秆，包括稻草，麦草，玉米芯、秆，以及谷壳、甘蔗渣、棉籽壳等的主要成分是纤维素、半纤维素及木质素，这些物质人类不能直接食用，作动物饲料营养价值也很低。但是食用菌中至少含有三种类型的纤维素酶，可以顺利地将纤维素等物质分解为葡萄糖分子，又可合成蛋白质、脂肪和其他营养物质。

自然界中能降解纤维素和半纤维素的微生物有细菌、放线菌、真菌和原生动物。降解纤维素的微生物大多数能降解半纤维素，但降解半纤维素的微生物多数不能降解纤维素，能降解木质素的微生物有细菌、真菌和放线菌。目前国内外研究较多的是真菌，能降解木质纤维素的真菌大多数为担子菌纲，少数为子囊菌纲。

真菌降解植物性农业废弃物的原理是：在适宜条件下，真菌的菌丝首先用其分泌的超纤维氧化酶溶解秸秆表面的蜡质，然后菌丝进入秸秆内部，合成并分泌纤维素酶、半纤维素酶、内切聚糖酶、外切聚糖酶等。降解木质素的两个关键酶为木质素过氧化物酶和锰过氧化物酶，在活性氧作用下尤其是在过氧化氢参与下触发一系列

自由基链反应，从而达到对木质素的氧化。这些酶的联合使得木质素变成可溶性的小分子木质素残片。在这个过程中，真菌（也包括食用菌）得以生长。现阶段，关于食用真菌对木质纤维素的分解并直接将其转化为人类的高级食品和动物易于消化吸收的饲料蛋白等方面的研究，已经越来越受到人们的关注。

## 二、食用菌栽培方法

### （一）生产原料

我国的食用菌的饮食文化源远流长，食用菌栽培历史悠久，食用菌最早使用纯椴木料栽培。我国是一个农业大国，每年的农产品产量极大，相应的农副产品也就极为丰富，这些都为食用菌的生产提供了充足的物质基础，也为食用菌产业的发展提供了必要的保证。由于秸秆的大量废弃，也由于近年来木材资源的紧缺，许多食用菌的工作人员通过认真研究、实践，将过去以木屑为主要培养料生产食用菌的方法，开发为以各种植物秸秆、农业下脚料为主要原料的食用菌袋料栽培，并获得很大的成功。这不仅极大保护了有限的自然资源，同时也是在一定程度上解决了固体废料的二次利用及其转化。

### （二）培养料制备方法

#### 1. 制备方法

生产食用菌的培养料主要有粉碎和发酵两种制备方法。粉碎即是将原料加工成合适的小颗粒，装袋培育食用菌，这是应用较普遍和常规的方法。在生产实践中，人们逐渐发现并认识到了食用菌栽培中要用发酵料的诸多优势，并在不断地改进和完善发酵料在食用菌栽培中应用的条件和工艺。因此，我们主要介绍一下发酵料栽培食用菌的相应知识。

#### 2. 发酵料的应用及优势

发酵料是不同的培养料通过发酵过程中微生物的作用，生成疏松透气、半腐熟、具半塑性及选择性的食用菌培养基。发酵期间存在和产生一些有益微生物，它们对培养料进行各种转化，改变培养料的理化性质与生物学特性，创造出一个适合食用菌生长的培养基

质。从发酵料中分离和筛选得到降解能力强、增温效果明显、抑制杂菌能力显著的微生物，具有极大的应用价值和潜力。揭示其中不同类群有益微生物的消长规律和作用机理，明确有益于微生物与食用菌的生态关系，将为主动控制发酵过程，缩短发酵周期，减少农药的施用，提高培养料的利用率，开发新工艺，代替或部分代替常规灭菌，提高蘑菇产量和质量提供可靠的理论依据。

酵素菌是从自然界中分离纯化获得的一类有益微生物菌群，包括细菌、酵母菌、丝状菌三大类数余种，有很强地好气性发酵力，对植物纤维基质具有极强地催化分解作用，可以用它发酵玉米秸秆制作食用菌堆肥。

我国加入 WTO 以后，食用菌产业要同国际标准接轨，在食用菌标准生产中，对抑制和消除多种有害杂菌及病虫害的各种农药等相关物质的检测指标越来越精细化。为了满足国际市场的需求，扩大在国际食用菌市场中的份额，限制和减少食用菌生产中农药的使用将是不可避免的趋势。应用发酵料培育食用菌可实现这方面的目标。

### 三、农业废弃物栽培食用菌

#### (一) 利用秸秆栽培食用菌

利用秸秆栽培食用菌，主要是用作物秸秆、棉籽皮、树枝叶等废物做培养基栽培食用菌。目前，我国用麦秸或玉米秆栽培草菇、平菇技术已得到广泛应用。用多种秸秆如豆秸、花生蔓、麦秸、玉米秆等按一定比例粉碎混合，栽培食用菌效果更好，食用菌营养价值高，用作物秸秆进行食用菌商品化生产，其效益可增加数倍甚至十几倍。

山东省秸秆种菇项目在研究开发的三年时间里，先后在 20 个基地县进行大面积推广，总棚数达到 40 万个，总产量达到 40 万吨，为山东省食用菌由大省向强省迈进奠定了基础。

#### (二) 稻草、麦秸栽培平菇

湖北省枝江市食用菌技术开发部在生产中根据稻草、麦秸营养成分不平衡（碳氮比失调），草茎疏松弹性大，脱水容易吸水难，

保水性能差，秸秆表皮细胞中硅酸盐含量高，阻碍平菇菌丝正常生长繁衍的不利因素，从严格筛选适宜稻、麦草生理特征的平菇菌株、改变菌种生产培养原料、将草茎碾轧成柔软似棉的草屑状后，进行袋栽，并结合二次覆土后再出菇等技术措施入手，在栽培技术上取得了突破性进展，每 100kg 秸秆投资 50 元，通过栽培后可获得鲜平菇 150~200 余千克，收入达 400~600 元，是一项投资小、效益高的生态农业，为城乡发展平菇生产拓宽了更广阔的原料资源。

### （三）秸秆及农业废弃物生产双孢蘑菇

人工培养双孢蘑菇基质的主要原材料为粪、草和加工业的废弃物。双孢蘑菇可将这些工、农业的废料，分解转化为可供人们食用的菇体蛋白、脂肪和碳水化合物等营养成分。

利用秸秆及农业废弃物生产双孢蘑菇，工艺设备简单、投资少、见效快，而且双孢蘑菇可以立体种植，节约土地，一般农村条件下均可以推广普及。据香港中文大学张树庭教授估计，每公顷土地可以生产 67308~78526kg 双孢蘑菇干蛋白，而在同样土地面积上只能生产牛肉干蛋白 78kg，或鱼类干蛋白 673kg，而且生产动物干蛋白还需要大量饲料的转化。这充分说明利用农作物秸秆及废弃物生产食用菌是增加蛋白营养的捷径。

### （四）葛渣栽培食用菌

湘西武陵山区具有丰富的葛资源。每年有约 500t 葛粉上市，也就有上千吨的葛渣作为废弃物被扔掉、烧掉。为充分开发利用葛根资源，葛粉上清液及葛渣作营养基质，经适当处理后用来进行食用菌的深层发酵及固体栽培，获得了较为满意的效果，充分证实葛渣是一种较好的栽培食用菌的材料，此举使葛渣变废为宝，每吨葛渣增值 2000~6000 元，5000t 葛渣可增值数千万元（1~3 千万元）。

以葛渣为主料，其与干草的比例为 3:1，1:1 时均有较高生物学效率，干草过多，产量有所下降。但若从干草的资源极其丰富这点来看，仍可取 2:1、1:1、1:2 的配方比例。

### （五）杜仲叶渣栽培食用菌

我国具有丰富的杜仲资源，除散生大量野生株外，栽植面积已

达 16 万公顷, 近年来试用杜仲叶渣、多糖、蛋白沉淀物作基质, 经适当处理用来培育多种食用菌, 获得较为满意的效果。用杜仲叶渣为主料培育食用菌是可行并易于推广的, 每吨渣可增值 2000~6000 元。杜仲叶渣与干草的比例以近 1:1, 产量最高, 过高过低产量均有下降。山区取之不尽的干草枯枝落叶均可作为食用菌代料栽培的主要原料。

## 参 考 文 献

- 1 周定国. 农作物秸秆人造板的研究. 全国农业废弃物及非木材植物纤维的综合利用新技术研讨会论文集, 成都. 2001, 4~6
- 2 A. L. Hammett et al. Non-wood fiber as an alternative to wood fiber In China's pulp and paper Industry. *Holzforschung*, 2001, 55 (2): 219~224
- 3 常用非木材纤维碱法制浆实用手册. 中国造纸学会碱法草浆专业委员会. 中国轻工业出版社, 1993
- 4 卢成英, 钟以举. 葛渣栽培食用菌研究初报. 中国野生植物资源, 2001, 20 (1): 53~54
- 5 卢成英, 钟以举. 杜仲叶渣栽培食用菌研究初报. 中国林副特产, 2000, (3): 3~4
- 6 张炳炽, 朱岭仁, 张卫等. 利用秸秆废弃物与木屑栽培长裙竹荪的研究. 山东师大学报, 1995, 10 (4): 432~434
- 7 徐俊, 郑建仙, 葛亚中. 木糖醇的发酵法生产. 中国食品添加剂, 2003, (3): 44~49
- 8 章和平, 章一平. 棉籽壳生产木糖醇的工艺与方法. 中国棉花加工, 1995, (5): 16~17
- 9 朱正华, 王维嘉. 用玉米芯生产木糖醇的工艺. 新疆农垦科技, 1992, (6): 34~35
- 10 谢春良. 稻草板面临新的发展机遇. 新型建筑材料, 1999, (4): 11~12
- 11 顾岱芳, 卞殿明. 饲用酶制剂作用及应用. 饲料研究, 1999, (2): 23~25
- 12 林国智. 利用农作物秸秆栽培食用菌的优越性. 承德民族职业技术学院学报 2004, (1): 80
- 13 张玉昆, 王敬荣, 张冬雁等. 利用小麦秸秆栽培平菇技术的研究. 山东科学, 1996, 9 (1): 72~76

# 第十一章 工程实例

## 第一节 北京市农业废弃物和 畜禽粪便资源化利用实例

### 一、秸秆类农业废弃物的处理利用

我国是一个农业大国，农业废弃物主要以稻草、麦草和玉米秆为主。北京市的主要粮食作物是玉米、小麦和水稻，约占粮食总产量的 97%。北京市秸秆资源的量非常巨大，其秸秆资源量为  $28 \times 10^8 \text{ kg/a}$  左右。北京市每年 6 月中下旬麦收时节的焚烧，严重地污染了大气。京郊小麦秸秆总焚烧率高达 90%~95%。玉米秸秆除用于制青贮外，大部分直接还田。水稻秸秆约有一半以上用作饲草、制稻草帘及草绳等，但仍有 40% 以上被沤烂、霉变浪费。因此，如何有效地利用秸秆这一丰富的可再生资源，已引起了北京市的高度重视。

目前，北京市秸秆类农业废弃物资源化利用的主要出路有，还田与肥料化、燃料化、饲料化及工业应用等。

#### (一) 还田与肥料化

粉碎后直接还田与沤制堆肥。

#### (二) 燃料化

秸秆粉碎后加凝固剂压制为成型燃料，以及进一步加工成活性炭，以棉秆、麻秆为最佳。一些欧洲国家以及我国西北农业大学均已开发出较成熟的技术。

#### (三) 饲料化

饲料化主要有如下四种方式。

##### 1. 物理处理

如微波、辐射、膨化与加热蒸煮等。

##### 2. 化学处理

如  $\text{NaOH}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等碱化、氨化等，国内外均有较成熟的设备与设施。

### 3. 生物处理

#### (1) 细胞蛋白的生产

纤维素水解发酵工艺的前景是乐观的，利用纤维素物质为底物生产微生物蛋白，有利于废物利用和保护环境，这已成为不断研究和改进该工艺的推动力。

#### (2) 发酵秸秆

畜牧业主要考虑的是那些人们所不能直接利用的粗纤维物质的动物转化。这一转化的必要条件是蛋白质或可利用氮的充分利用。因此用微生物发酵纤维素秸秆能够增加其蛋白质含量以用于动物饲料。

#### (3) 水解

酶法处理秸秆最好是纤维素酶和木素酶同时应用，因为秸秆较低的消化率是由纤维素和木素形成的复合物引起的。

#### (4) 青贮饲料

青贮是改良饲料质量和长期保存草料的有效方法。乳酸菌在青贮饲料发酵中起着主要作用，其可以迅速酸化来抑制杂菌的生长，产生的乳酸使饲料具有良好的风味。通过加入选育的微生物或提供这些微生物繁殖的合适培养基，可产生更多的乳酸。青贮可使可溶性糖大大减少，而脂肪酸含量显著增加。

#### (5) 堆肥

堆肥是有机物分解成腐殖质的生物化学过程。它提供转化和再利用农业废弃物中部分营养和有机成分的机会。农业废弃物常和动物粪便一起使用，以增加温度并提高微生物的营养。秸秆类废弃物堆肥成功的关键在于获得了降解高浓度纤维素的能力。堆肥施于贫地时，增加了土壤的生物活性，刺激植物生长。然而现有条件下，堆肥还不是秸秆类农业废弃物利用的经济可行方法，堆肥的价值太小，吸引力不大，在北京市尚缺少一个合适的市场。

#### (6) 养蘑菇

自从 Humfeld 证明蘑菇可用深层培养生产菌丝体以来,许多研究者开发了大规模深层发酵技术,大量生产各种蘑菇菌丝体蛋白。深层培养所需营养成分简单,可利用各种副产品如糖蜜、乳清、亚硫酸盐纸浆废液、淀粉黄浆等农业废料作为原料。但由于蘑菇菌丝体所含的风味物质较籽实体差,又缺少美丽的形态,限制了深层发酵法在北京市的广泛应用。

#### 4. 复合处理

目前世界上对秸秆饲料化的研究主要朝“可单独使用并能实现动物有效增重或产奶的目标”发展。因此,应将上述各种处理方法有效地结合起来,实行复合处理秸秆。

#### (四) 工业应用

(1) 利用生物降解生产酒精、醋酸等。

(2) 造纸。

(3) 生产建材。国内用玉米秸、稻草制轻型建材(秸秆板砖)技术正在推广。

(4) 制可降解薄膜。此技术尚待改进与完善。

总之,秸秆类农业废弃物的综合利用以及资源化等方面的研究,已经逐步得到国内外相关学者的重视。但是以我国现有的经济和技术条件,使秸秆等农业废弃物大规模利用仍不现实,这一巨大的可再生资源的处理还是一个严重的问题。就北京而言,如何直接还田(尤其是麦秸)和饲料化(尤其是运用物理、化学及生物技术的复合处理)是今后的主要研究方向。

## 二、鸡粪的处理利用

在畜禽粪便中,鸡粪营养成分较其他畜禽粪便要高,因为鸡的消化道短,食物只能在其中停留 4h 即被排出体外,70%左右的营养来不及充分消化吸收。开发鸡粪作为畜牧业饲料是目前国内外的一个研究热点。1993 年,北京市出栏肉鸡 3119.3 万只,存栏蛋鸡 3015.7 万只。据估算,全市年排鲜鸡粪 133 万吨以上,大约相当于粗蛋白 8 万吨或尿素 2.8 万吨,其中含磷在 0.8 万吨左右。该年正常生产运行的大型蛋鸡场 63 座,其中 20 万只以上的 8 座、15~

20 万只的 6 座、10~15 万只的 11 座、5~10 万只的 38 座。鸡舍设计按清粪方式可分成全进全出、隔（数）日清除、水冲式三大类。水冲式由于固液相混难分离，基本未被利用而成为环境的污染源；而前两类由于水槽（包括乳头式饮水器）漏水问题得不到解决，使鸡粪含水量大增，加大了鸡粪预处理的难度、能耗和成本。故而绝大部分直接排放，造成环境污染，或未加任何处理以鲜粪形式销售（用作肥料），也极易污染环境。

鸡粪用作饲料通常有如下两种主要方法：一是干燥处理，国外生产干鸡粪通常是用机械热烘干法，该方法虽然生产的饲料质量好、含水少、易贮运，但需要一定的设备，且耗电大，投资多。目前我国农村一般利用太阳能使鸡粪自然干燥，再按一定比例掺上玉米面、棉籽饼、麦麸、骨粉、生长素等制成混合饲料，其成本低廉，效果较好；二是发酵处理，某些细菌和酵母菌通过好气性发酵能有效地利用鸡粪中的尿酸，使发酵最终产物的粗蛋白含量达 50%，其氨基酸成分与大豆相近，是很好的畜禽饲料。目前我国有些地方采用青贮方法发酵鸡粪，即将鲜鸡粪晒干，加入 10% 的玉米或麸皮、米糠等，装缸或塑料袋压实密封，厌氧发酵，效果较好。北京市农林科学院在鸡粪青贮饲喂肉牛和猪研究上做了有益的探索，并在替代肉牛蛋白饲料（棉籽饼）方面取得了阶段性成果。

### 三、猪粪的处理利用

据统计资料，北京市现在拥有规模猪场 1031 个，其中大型猪场 10 座以上，几乎全部为水冲式清粪，故而粪水含水量高达 95% 以上。限于技术、能源与经济方面的可行性，绝大多数未做任何处理而直接排出场外。在规划、建设有一定规模的猪场时，只考虑到其大量耗水，故临水源而布局，导致猪场在地域分布上多在水源保护区。经多年运行后，目前，这种直接排放已造成地表水、饮用水的严重污染，同时也是大气、地下水的严重污染源。

现今，国际上大中型猪场的粪便处理主要有以下几种。

（1）沼气发酵

（2）采用专用设备或设施进行固液分离。然后，固相脱水干

燥，液相经发酵或曝气排放。

(3) 利用生物技术制作液体厩肥。

(4) 酶床法。即在猪进圈前在垫料（木屑、稻壳或褥草等）上施入一种特殊的酶和细菌混合物，用来发酵、消化猪粪便，可连续养 5 批猪而不清粪。目前已在日、荷、韩及中国台湾等 12 个国家和地区推广。此项技术尚在不断研究和改进，其前景看好，很有发展前途。

国内规模猪场粪便的处理技术，除沼气发酵和固液分离两项外，还有如下两项。

(1) 三段式生态法。即粪水依顺序经氧化与曝气、水葫芦和细绿萍三段净化而排放。由于冬季低温制约了这两种水生植物的生存和生长，因此在长江以北地区未能成功推广。

(2) 好氧微生物发酵法。此法尚在研究中

北京仅有个别规模猪场的粪便采用沼气发酵处理，而且发酵残余物的进一步处理和综合利用问题尚待解决。

#### 四、塑料地膜的处理利用

据调查，北京市废弃地膜污染面积达 75 万亩，平均每亩残留量 1.1kg，总残留量约占总使用量的 9.9%。地膜主要应用在蔬菜、西瓜和花生上，三者使用面积之比大约 6.5 : 5 : 4。估计郊区废弃地膜总残留量不会超过 3000t，亩均在 3kg 左右或更低。据调查，菜田残膜在 3~4kg/亩时会减产 1.8%~10.4%，小麦减产 10% 左右。主要原因是阻碍了根系生长，影响水肥运动，破坏土壤结构，影响了整地、中耕和播种质量，牲畜还会因误食含残膜的秸秆而发生肠道疾病。减产程度主要由地膜残留量和碎片大小决定，同时又受地膜种类、厚度、覆盖方式、使用年限和次数等影响。北京市农林科学院对胡萝卜进行盆栽实验表明，碎片以 1cm×1cm、2cm×2cm、3cm×3cm、4cm×4cm、5cm×5cm 五种处理后，分别与土以 1 : 1000 均匀混合，它们的产量差异不明显，仅影响了块根的外形质量。因可以说，当碎片小于 5cm×5cm 时基本不会劣化土壤而影响产量。

废弃地膜的回收是国内外都感到棘手的问题。主要制约因素是费工、回收体系不健全及价格低。新疆等地已研制出地膜回收机，但只适用于规模化生产，而超薄型膜易老化、易脆、易碎，回收难度更大。

防止废弃地膜的污染，目前有两种对立的看法：一种主张利用光解，生物降解或光、生物复合降解，使得地膜在自然状态下一定时期内自行破碎成碎片；另一种则认为，目前的降解效果并不令人满意，碎片如果大于  $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ ；仍有劣化土壤、污染环境的可能，而利用废膜制再生塑料至少可以减少塑料合成时所需的较高能量，也是解决我国塑料原料紧缺的一条途径。实际上，我国在实施治理废弃地膜污染的决策时，暂不宜排斥任何一种防治途径的探索。当今，国内外对废弃地膜再利用主要有以下几种方式。

#### 1. 焚烧回收热能

如美国芝加哥日处理 16000t 废弃地膜，每小时可供 40 万磅蒸汽。但焚化炉必须设置消除有害气体的装置。

#### 2. 洗净，粉碎，改性，造粒

此法工艺简单，个体专业户亦可用。

#### 3. 制氯化聚乙烯（仅限于聚乙烯薄膜）

废膜粉碎后通入氯气氯化。所得氯化聚乙烯耐油，耐老化、加工温度低、溶解性好、价格低。它既可直接用作材料，也可作为永久性塑料，还可用于生产特种橡胶。这是湖北省化学研究所做的研究，目前已通过工业规模试生产。

#### 4. 填料改性

（1）经表面活化处理的无机惰性填料，如  $\text{CaCO}_3$ 、滑石粉等，以及炼铝、黄铁矿制硫酸的废渣、粉煤灰等，制得“红泥”、“铁泥”和“黑泥”塑料，可大幅度降低原料成本。

（2）废木粉、木屑及作物秸秆。可用作建材、包装用材，既克服了一般塑料易受热变形、硬度差、刚度差、易起静电等缺点，又克服了木材吸水性大、易变形的弱点。国外研究的重点集中在与木屑的复合。

#### 5. 将其还原油化，即分解制取油品

日本开发出的一种日处理 5t 的装置，每处理 1kg 可得油品 1.2L。台湾的一种裂解装置可回收原油 65%、液化天然气 24%、燃料气 2%，其余为碳渣和石蜡。

#### 6. 农作二次、多次利用

湖北秭归县采用地膜农作收获后，在残膜上打孔移栽油菜，其后茬再移栽烤烟或套种玉米。1989 年全县已示范推广 1000 余亩，获得增产和增加收入的效益。

综上所述，在农业废弃物资源化利用上，北京市做了大量的工作，也取得了显著的成绩。但是，随着经济、生产的发展，环境、资源问题日趋严重，突出表现在以下几点。

① 市场经济下，对资源、环境在持续发展中的地位认识不足。因而，过分片面追求、强调所属项目的直接经济效益，不切实际地企望收回投资“还本”。纵观全球，绝大多数这类项目需要补贴，即使经营管理好的也只能维持正常运转。

② 在发展方向与重点、项目选择、目标的确定上，均存在相当大的盲目性和随意性，事与愿违，事倍功半，收效不大，这些都是决策缺乏民主化、科学化，忽视软科学的苦果。

③ 农业环保监测体系很不健全，现有的机构也很难有效地运转。

④ 农业环境、资源领域的科技投入十分短缺，导致科技储备不足，尤其是在生物技术研究、开发方面。

⑤ 现有科技的转化率低，究其原因大致有如下三方面。

a. 技术自身有缺陷，不配套，难成体系，只能在局部环节或某个时段发挥作用。然而又出于某种需要被不适当地渲染与夸大，反过来又损害了科技在公众中的形象；

b. 生产单位（农场，尤其是猪、鸡养殖场）经营风险大，不稳定，盈利微少，甚至亏损；同时又需还息还贷，难以筹措自有资金；

c. 政策支持力度小，在信贷、税收、保险、生产资料品种、

规格与价格上缺乏倾斜与优惠。

为了使京郊农业和农村能够持续发展,应针对北京市农业废弃物和畜禽粪便资源化现状,研究、开发出从农业废弃物的收集(回收)、贮运、预处理、加工处理到产品包装与贮运的全程性配套技术,并具备工厂化、商品化和产业化的特点。建议做到以下几点。

① 30%以上的大型鸡场配备鸡粪快速烘干设备,尤其是特大型鸡场;30%以上的大型猪场都建设相配套的沼气发酵工程,尤其是特大型猪场,沼气发电为主,发酵残余物综合利用,或作为生产绿色食品的肥料。

② 大兴、朝阳各建一座利用废弃薄膜生产氯化聚乙烯的工厂。

③ 在商品粮基地,能达到农艺要求的、高性能的小麦秸秆粉碎装置的普及推广率达35%以上;具有经济可行性的秸秆收集机械的普及推广达15%~20%。每座规模奶牛场、肉牛场至少有一套秸秆复合处理设备或设施。商品稻基地每5万亩应拥有一座稻草板砖制造厂。

## 第二节 台湾农业废弃物的再生处理与利用实例

随着环保意识的提高,农业废弃物的再生利用问题日益受到重视。从90年代初,台湾省就已把发展永续性农业作为农业的重要发展目标之一,其措施是注重农业生产体系,如针对本省农业生产特点和环境弱势,对大宗农牧业废弃物资源进行再利用研究,并加以指导推广,取得了显著的效果,有效地减缓了环境日趋恶化的趋势。

### 一、台湾主要农业废弃物资源介绍

台湾农业废弃物可分为五大类。

① 农作物收获后的纤维质废弃物。有稻草、玉米秆、花生壳、蔗渣、香蕉茎等,年产量大约460万吨。

② 庭院、公园等修剪后的废弃物。

③ 食品工厂废弃物。如凤梨皮、竹笋壳等,年产量大约60万吨。

④ 果蔬市场的废弃物。年产量约 70 万吨。

⑤ 禽畜及养殖的废弃物。估计全年高达 1000 万吨以上。

其他还有菇类生长基质废弃物等。目前台湾盛行太空生产菇类，每年约有 1 亿包以上，估计全年至少产生 3 万吨以上的菇类生长基质废弃物。农产废弃物中含有大量的有机质及植物生长所需的氮、磷、钾三要素，若能加以利用，将这些废弃物转化为有机肥料，不仅可以减少化肥的使用量，还可培肥地力，实现农业可持续发展。

据台湾农业年报 1998 年调查统计，台湾省当年养猪近 654 万头、鸡约 13548 万羽、养牛约 16.5 万头，每年所产生的畜禽粪固形物约有 730 万吨，是主要的畜牧废弃物资源。另外，台湾其他农作物废弃物资源还有：谷壳（粗糠）37.1 万吨，蔗渣 152 万吨；食用菌栽培废料 12 万吨，总计主要农业废弃物资源每年约有 930 多万吨。以 35% 回收制成有机堆肥，则每年可生产有机堆肥 326 万吨。台湾现有耕地面积约 86 万公顷，若每公顷施用堆肥 8t，约可供 41 万公顷，是现有耕地的 47%。

台湾除了上面介绍的农业废弃物资源外，还有鸡场死鸡、淘汰蛋鸡及屠宰场废弃物，如羽毛、内脏、鸡头、血水等。据台湾年报 1997 年统计，台湾 1996 年屠宰白肉鸡为 15900 万羽，有色肉鸡 17000 万羽、淘汰蛋鸡约有 2100 万羽，总计约屠宰 35000 万羽。若以白色肉鸡每羽平均 1.8kg，有色肉鸡每羽 2.4 kg 计算，其屠宰率为 80%，则分别有 57240t 及 81600t 农业废弃物；淘汰蛋鸡平均重约 1.5kg，按屠宰率 70% 算，则可得 9450t，因此台湾省一年总计有鸡副产物 138290t。此类废弃物资源主要用于加工再生饲料，以弥补岛内蛋白质饲料的不足。

## 二、台湾主要农业废弃物处理与利用

### （一）淘汰蛋鸡的处理与利用

据台湾农业年报 1996 年统计，1995 年该省大约有 2000 万羽蛋鸡需被淘汰。台湾至今尚未做到有规律、按固定比例地将蛋鸡淘汰，故只有在鸡蛋生产过剩、蛋价过低不敷成本时才大量淘汰蛋

鸡，因此造成淘汰蛋鸡处理上的困难。淘汰蛋鸡除了少数被用来取胸脯肉用做加工原料外，主要还是被用来制作家禽肉骨粉。肉骨粉的加工方法是，先将淘汰蛋鸡窒息后脱羽，再将全鸡（含内脏）用绞碎机绞碎后进行炼制。最终产品油脂含量不可超过 5%，水分不能超过 12%，以利于贮放。其营养价值超过其他肉骨粉和黄豆粉。除此处理方法外，台湾还有酸化处理和发酵处理等方法。

## （二）肉鸡屠宰副产物的加工利用

肉鸡经电宰厂屠宰后，会产生大量不可食用的副产物，其比例大概是鸡头 3%、鸡血 3%、内脏（不含鸡肫、鸡心）10.6%、各部位鸡骨 17.9%、羽毛 6.7%。台湾肉鸡副产物 1999 年平均每月的生产数量是羽毛粉 205t、血粉 30t、肉骨粉 210t、鸡油 135t，合计全年生产 6960 万吨。这一非常大宗的农业废弃物资源在台湾得到了很好的利用，既解决了大量废弃物污染问题，又很大程度地创造了产品的合理附加价值。

## （三）羽毛的加工利用

家禽羽毛是台湾一项大宗家禽屠宰废弃物，按屠宰 1 只肉鸡可得 220g 羽毛计算，则台湾省一年约有 77000t 羽毛废弃物，若包含血液则可达到 10 万吨以上。台湾肉鸡羽毛的再利用处理方法有如下二种。

### 1. 制粉

肉鸡羽毛的最大市场首先是用来生产羽毛粉，以取代部分昂贵的蛋白质原料。由于羽毛是消化率较差的蛋白质来源，所以必须经特殊处理后方可提高消化率。其主要加工工序如下。

① 水解。主要目的是利用高温高压将羽毛蛋白质转变成可消化蛋白质。

② 杀菌。由于产品最终目的为动物饲料，因此应做到完全无病原菌。

③ 干燥。使水分保持在 10% 以下。

④ 冷却，让粗羽毛粉冷却至一般室温即可。

⑤ 粉碎、包装与贮存。羽毛产品的消化蛋白质不得低于 70%，

使用量为 0.5%~1.5%，可用于鸡、鸭、鹅及猪饲料中。

## 2. 制肥

羽毛收集后经堆置、发酵、翻动、晒干、粉碎制成有机肥料。

## (四) 禽畜粪的处理与利用

### 1. 猪粪尿

台湾养猪场对于猪粪尿的处理，除部分小养猪户还采用农渔牧综合经营外，大部分猪场都配备了猪粪尿处理设施。目前，台湾主要是采用由该省畜产试验所研制的、特别适用于亚热带高温、多湿地区的“三段式养猪废水处理系统”。该系统以固液分离、厌氧发酵及好氧处理为主要处理步骤，猪粪经大量水冲洗再固液分离，分离后所剩的粪渣，大多为未消化的饲料颗粒，如玉米粒、麦皮、豆渣皮等粗纤维，其氮、磷、钾成分含量相对较低，含水率为 75%~85%，必须经处理后方可进行堆肥处理。至 1998 年，台湾省的 200 头以上规模养猪场废水处理设施配置率已达到 95% 以上。

### 2. 牛粪尿

近年来台湾养牛场为便于排泄物的处理，推广采用谷壳、蔗渣、木屑等垫料吸附牛粪尿，这些垫料与牛粪混合，流动性好，便于废水处理、质地疏松、通气性亦好，经充分堆肥发酵后可杀灭寄生虫卵和病原菌。

### 3. 鸡粪

养鸡场分为肉鸡场与蛋鸡场，台湾的肉鸡场垫料采用统进统出，鸡舍一般采用粗糠（稻壳）为垫料，鸡粪比例少，碳氮比相对较高，粗糠表层含蜡质不易吸水，此类鸡粪含水率 30%~40%，不易进行堆肥发酵处理。台湾对肉鸡粪的处理方法主要是采用开放式壕沟发酵槽，配合回转式搅拌翻堆机，使肉鸡粪进行充分发酵后施用于各种作物。由于台湾的蛋鸡饲料配方中含高比率肉骨粉、鱼粉，故鸡粪中氮、磷、钾、钙和镁的含量相当高，含水率也高达 80% 左右，所以应调整水分后再行处理。目前台湾蛋鸡粪采用密闭式发酵槽来处理，此类加工方法不但占地面积小，又可使鸡粪在短时间内完成发酵，但成本偏高。

近年来在各方的努力配合下,有关台湾家禽排泄物的堆肥利用方面的研究已获得相当成果,鸡粪堆肥制作已具规模化,可大量生产商业化、高品质的有机肥,农业相关研究机构也已配合提供了各种不同作物的施用量供采用。

### 三、农业废弃物再生处理的社会效益

#### (一) 降低农业环境污染

台湾农业废弃物产量十分庞大,弃之将造成极大的污染。因此这些农产废弃物经过再生利用处理后,既可减少垃圾量,又可解决环境污染问题,社会效益大。

#### (二) 推动农业永续发展

据统计,台湾现有堆肥集中处理中心 35 个,年产 65 万多吨有机肥。施用有机肥料,对提高土壤肥力和改善土壤物理、化学性能以及提高作物产量和品质均有十分显著的效果。通过几年的实施推动,台湾农林厅认为已达到增加农民收益、提高农产品品质、促进农地永续利用的目的。

## 第三节 广东省新兴县农业废弃物资源化利用实例

### 一、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用现状

近年来,新兴县畜禽养殖业发展呈现两大趋势:一是发展突飞猛进;二是畜禽养殖业向集约化、规模化方面发展的趋势明显。据统计,1999 年新兴县由年出栏百头以上育肥猪的养殖场提供的商品猪,所占市场份额已达到 20.32%;饲养量 1.5 万只以上的养殖场,提供的肉鸡所占市场份额为 7.28%。畜禽的大量饲养,必将造成粪便的大量排放。1999 年,畜禽年排泄物约有 45 万吨,农作物秸秆约有 70 多万吨。但新兴县在发展农业的同时,也十分注重资源化利用。1999 年,秸秆直接还田 50 多万吨,占秸秆总量的 71.43%,其余则作燃料、养殖畜禽垫料、牲畜饲料和沼气发酵原料,总利用率达 94%。对于畜禽粪便,该县德隆有机生物肥料厂收购鸡粪 3 万吨,占总排泄量的 6.67%;农作物肥料、鱼塘养鱼用去 7 万吨,占 15.56%;外地收购用于果蔬肥料、养鱼、加工生

产复合肥 33 万吨，占 73.33%，总利用率达 96%。农业废弃物的资源化利用，有效地改善了新兴县的农业生态环境，促进了该县农业的可持续发展。

## 二、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用模式分析

### （一）农户对农业废弃物的处置

新兴县畜禽业的发展主要是采取“公司/农户”的产业化经营模式。龙头企业向农户提供种苗、饲料、技术并保价回收，以此带动农户发展畜禽业。目前全县饲养肉鸡专业户 8000 多户，饲养瘦肉型猪专业户 2300 多户，其中肉鸡专业户平均每户饲养 2000~3000 只鸡，瘦肉型猪专业户每户饲养 100~300 头猪，数量比早期家庭饲养大大增加，畜禽带来的排泄物也大大增加。大多数农户除养鸡喂猪外，还种植其他农作物，部分鸡粪或猪粪被用来做积肥。但由于新兴县人多地少，每户承包的耕地仅 424m<sup>2</sup> 左右，农户自己所消耗的畜禽粪便非常有限，大部分粪便出售给收购粪便的小贩或直接出售给本县的德隆有机生物肥料厂。养猪农户的粪水一般直接排入鱼塘养鱼。

对于农作物秸秆，大多数农户嫌其返田麻烦，除部分用作鸡舍或猪舍垫料，其余都被烧掉，而食用菌在本县难销，故较少用来培植食用菌。由此可见，农户对畜禽粪便的处置较为妥善，较少带来环境问题。但对秸秆的利用效率低下，没有充分利用这一资源。

### （二）工厂化饲养场对废弃物的处置

龙头企业的种鸡（猪）场和鸡（猪）苗场都采用工厂化集中饲养。种鸡场和鸡苗场大多数建在水面上，而种猪场和猪苗场在选址时也尽可能接近大型水库或与果园菜场相毗邻，以解决其废弃物问题。

种鸡厂和鸡苗场建在水面上，鸡粪全部用来养鱼。一般 6.67hm<sup>2</sup> 水面上养 5000 只鸡，同时饲养 2 万~3 万条鱼，鸡粪可代替全部饲料。但从长期来看，鱼塘里鸡粪的浓度将会越来越高，目前的解决办法是浓度较高时加水稀释，但仍存在富营养化的问题。而且，每年排水捕鱼时，鱼塘水全部直接排入江河，对附近水

源造成一定污染。

种猪场和猪苗场的干粪一般出售给周边县村的农户，粪水则先经过过滤，经过三级自然沉淀后，将沉淀物出售。经过沉淀的粪水再进入发酵池，发酵后的粪水进入藻类池塘，最后排入鱼塘养鱼。发酵过程中产生的沼气和藻类池塘中的藻类目前尚未得到进一步的利用，利用效率较低，而且粪水养鱼富营养化问题依然存在。目前工厂化饲养较少与种植业相结合。

### （三）广东德隆有机生物肥料厂对农业废弃物的处置

广东德隆有机生物肥料厂主要是收购鸡粪，经过微生物处理除臭后加工成有机肥。目前该厂的新鲜鸡粪处理时间为 7d，日处理能力达到了 50t，年肥料生产能力为 2 万吨。主要品种有活性有机肥、有机生物肥和有机复合肥。有机肥的施用与新鲜鸡粪比较，能有效地降低病虫害的发生率。而且从长期来看，有机肥的施用有助于改进作物品质，增加作物产量及改善土壤性状，有增强地力的效果。但从短期来看，有机肥不如无机肥肥效显著，因而其产品的销售受到很大限制。本地区的农户很少购买这种有机肥，大部分销往广东省其他地区，如汕头、梅州、珠三角、深圳等地。

## 三、广东省新兴县农业废弃物的资源化利用模式效应的比较分析

通过以上分析可知，目前新兴县对农业废弃物的利用模式主要有以下几种方式。

- ① 直接利用。
- ② 出售。
- ③ 加工成肥料。
- ④ 养鱼。

农业废弃物直接返田，一方面解决了部分废弃物的处置问题，另一方面增强了耕地的肥力，利于提高农作物的品质和产量，生态效益和经济效益显著。这一模式主要是利用环境的自净能力来解决废弃物问题，而且给农户带来了额外的收入。出售的粪便部分被直接返田，部分被加工成有机肥，这不仅减少了新鲜粪便中的部分污

染物，而且通过加工使其商品化资源化，生态、经济效益显著。利用粪便或粪水养鱼既解决了部分废弃物的处置问题，又减少了养鱼成本。但由于粪便通常没经任何处理就直接排入鱼塘，对鱼塘的污染较大，而且对鱼的质量影响较大，并且限制了饲养鱼的种类。因此，这种利用模式虽然带来了一定的经济效益，但生态效益不显著，而且可能带来新的污染问题。

总体来看，新兴县的农业废弃物利用率相对于全国的其他地区较高，大部分废弃物都得到了合理的处置和利用。但主要是一次利用（秸秆一次性焚烧返田、畜禽粪便大部分被直接用作肥料或养鱼），利用效率低，而且存在安全问题。由于饲料添加剂的普遍使用，近年来畜禽粪便中的 Cu、Zn 等重金属含量增高，而且粪便中可能带有大量的病菌和病虫卵，直接返田或排入鱼塘可能污染土壤和水体，最终可能通过食物链危害人体健康。因此，目前最好的利用方式是发展生态农业与加工利用相结合。发展生态农业可实现废弃物的综合与循环利用，加工利用一方面可使废弃物增值，另一方面提高其利用效率，还可减少直接利用对环境可能带来的不良影响。但加工利用的长期环境效应还有待进一步研究。新兴县较少采用生态农业模式来利用废弃物，这主要是因为每户的承包田相当少，而土地在该县尚未得到有效流转，小规模种植业难以消耗较大规模养殖业所带来的大量的废弃物。

#### 四、广东省新兴县促进农业废弃物资源化利用的对策与建议

##### （一）制订配套的政策和法规，促进废弃物的资源化利用

长期以来，我国缺乏专门的法规制约农业废弃物的处置，缺乏必要的配套政策对其处置进行管理。通过立法可确立废弃物资源化和无害化的地位，鼓励或强制对废弃物的资源化利用，对其进行严格管理，并对资源化利用提供支持。

##### （二）发展生态农业，实现农业废弃物的综合和循环利用

可依托规模畜禽养殖场，建立互利、互补型生态农业经济联合体，开展废弃物的综合、循环利用，这对无公害农业生产基地的建立和农业生态环境的保护将起到积极作用。这需要政府提供适当的

政策用以促进生态农业的建立和发展。目前，最迫切的问题是解决土地的流转，使土地转移到能更好利用它的农户手中。

### （三）成立废弃物资源化利用中心，为资源化利用提供服务

废弃物资源化利用中心可同国家、产业界、学术界、消费者等保持密切合作关系，为促进废弃物资源化利用开展多种实验，积极开发资源再生技术，收集情报，推广资源化利用成果。

### （四）加强废弃物安全利用研究，减缓废弃物利用的环境负效应

对废弃物的资源化利用进行跟踪研究，除应注意短期的安全应用技术，还需注意长期利用的环境（水体、土壤）效应，对其进行长期定点实验，以了解长期利用后重金属等污染物在环境中的迁移、积累规律。

## 第四节 辽宁省西安生态养殖场畜禽废物利用实例

### 一、辽宁省西安生态养殖场概况

建于 1975 年的辽宁省大洼县西安生态养殖场，是一个以生态种养殖技术为依托、从事养殖业和种植业生产的综合性经营企业。1992 年 2 月被联合国环境规划署授予“全球五百佳”称号，是目前世界上惟一获此殊荣的养殖场。2001 年、2002 年连续两年通过国家环保总局有机食品认证中心 OFDC 的有机水稻“转换”和有机认证以及有机猪的认证，成为国内首家且惟一一家获此认证的养殖场。2002 年有机、无公害生猪产量达 2 万头，生产加工有机大米和绿色大米 1750t，绿色蔬菜 40t。2001 年被国家批准为 AA 级国家旅游区。

### 二、生态养殖场系统结构组成及运行机理

辽宁西安生态养殖场的系统结构由四部分组成，即初级生产者系统、次级生产者系统、水生生态系统和有机污水净化系统。

#### （一）初级生产者系统

初级生产的主体部分是水稻和水生饲料。目前全场水稻面积为 28hm<sup>2</sup>、水生饲料养殖面积 3.67hm<sup>2</sup>，还有大豆 1.13hm<sup>2</sup>、蔬菜 0.67hm<sup>2</sup>、葡萄园 1hm<sup>2</sup> 等。

(二) 次级生产者系统

次级生产以猪场和鸡、貂等畜禽饲养为主，其中猪是核心生物因子，正常情况下，母猪饲养 250 头，公猪饲养 15~20 头，每年产仔 3500~4000 头，出售仔猪 2000 头，自育肥猪 2000 头。

(三) 水生生态系统

主要为鱼塘，还有稻-鱼、葫-鱼-萍-鱼的共生生态系统。该场鱼塘分两部分：第一部分是防疫沟，面积 2.67hm<sup>2</sup>、水深 1.0m，实行两层利用，上层养鱼，下层放河蚌；第二部分是新挖两个面积共为 1hm<sup>2</sup>、水深 2.5m 的鱼塘，实行三层利用。按生活习性搭配不同种鱼，使上、中、下水层都得到充分利用。此外，还有 1hm<sup>2</sup> 蟹塘。

(四) 污水的净化、利用系统

这是西安生态养殖场最大的特点之一，按照生态学原理，将养殖、种植、能源、环保有机结合起来，经过几年的探索实践，总结创造出了以水生饲料为核心、以水为纽带的“四级净化、五步利用”一整套切实可行的科学养殖模式。实现了物质能量多层次利用，绿化环境和养殖业的完美结合，养殖业的清洁生产和可持续发展，系统的总体结构如图 11-1 所示。

1. 四级净化

(1) 在 5~10 月的清水冲圈期，每天要排出猪尿 5000kg 和大量冲圈脏水。污水的浓度为有机质 500kg/L，氮、磷的含量也较高。污水首先进入水葫芦池，开始第一级净化，污水在水葫芦池的净化效果见表 11-1。由表 11-1 可见各污染物含量在前 7d 急剧下降，7d 后缓慢下降。这种现象与水葫芦表现的缺肥状（植株变黄）时间吻合。由此，确定水葫芦净化污水的时间为 7d。

表 11-1 污水在水葫芦池的净化效果

| 净化时间/d<br>污染物含量         | 1(新放入水) | 2     | 3     | 5     | 7    | 9    | 11   |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 有机质/mg·L <sup>-1</sup>  | 500     | 301.5 | 240.7 | 150.3 | 89.1 | 80   | 68.5 |
| 速效态氮/mg·L <sup>-1</sup> | 12.6    | —     | 8.2   | 6.8   | 6.0  | 5.6  | —    |
| 速效磷/mg·L <sup>-1</sup>  | 3.86    | —     | 2.87  | 2.49  | 1.88 | 1.68 | —    |

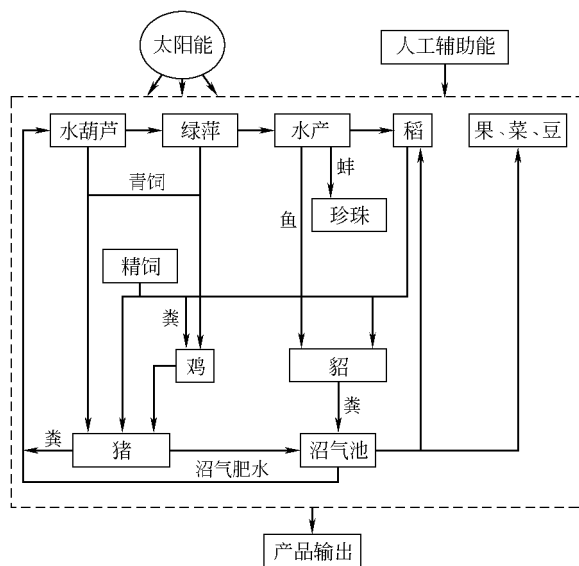


图 11-1 西安生态养殖场系统总体结构

(2) 7d 后将污水从水葫芦池引至细绿萍池，进行第二级净化。其净化趋势与第一级相似（见表 11-2），因此其净化时间也定为 7d。经过上两级净化后，污水的  $COD$  值由  $570\text{mg/L}$  降至  $138.7\text{mg/L}$ 、再降至  $70\text{mg/L}$ 。  $BOD$  值由  $356\text{mg/L}$  降至  $168.8\text{mg/L}$ 、再降至  $33.6\text{mg/L}$ 。溶解氧值由 0 增加到  $1.49\text{mg/L}$ 、再增加到  $2.45\text{mg/L}$ 。同时，繁殖出大量的浮游生物，可以作为鱼的天然饵料。

表 11-2 污水在细绿萍池的净化效果

| 净化时间/d<br>污染物含量                       | 1(新放入水) | 2    | 3    | 5    | 7    | 9    | 11   |
|---------------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|
| 有机质/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  | 89.1    | 79.1 | 75.5 | 63.3 | 58.6 | 57.0 | 55.2 |
| 速效态氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 6.0     | —    | 4.6  | 4.0  | 3.9  | 3.5  | —    |
| 速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  | 1.88    | —    | 1.34 | 1.15 | 0.98 | 0.9  | —    |

(3) 第二级净化后的污水继续引至鱼蚌混养塘进行第三级净化，时间视池塘水量和水浊度而定。肉眼观察浮游生物极少，池塘

水过多时可以排出。此时，污水已经变成了清水。

(4) 从鱼塘排放的清水引至水稻田做灌溉用水，即实现了四级净化。

## 2. 五步利用

废水在四级净化的同时完成了四步利用。每年排放到水葫芦池的 900t 猪尿和冲洗猪圈的脏水中，大约含氮 6150kg、磷 3480kg、钾 11190kg。按氮素计算，可生产水生饲料（水葫芦、细绿萍）3070t，节约精饲料 470t。第三步鱼蚌对废水中浮游生物的利用效果明显，2.67hm<sup>2</sup> 防疫沟水面在没加任何其他人工饵料的情况下，达到了产鲜鱼 3t/hm<sup>2</sup> 的高产水平。作为第四步灌溉用水，从鱼塘排出的水中含速效态氮 3.0mg/L、速效磷 1.68mg/L 和速效钾 6.0mg/L，用其灌溉水稻的增产效果达 11.68%。此外，为了消除猪粪等污染物对环境的污染，还开展了沼气的开发利用，实现第五步利用净化，产生的沼气用于生产。目前该场有 20m<sup>3</sup> 沼气池一座，可以全年产气。

西安生态养殖场根据生态学原理，将污水处理、青绿饲料生产、水产养殖、水稻种植有机地结合在一起，实现了变废为宝、多级利用的生产实效。不仅创造了显著的经济效益，更重要的是使猪场的污染问题得到了彻底解决，净化了水质，美化了环境，达到了“花园式单位”标准。分别获得国家环保总局科技进步二等奖、辽宁省星火科技二等奖，并被国家科委列为全国重点推广项目。

## 第五节 秸秆颗粒饲料加工技术实例

近年来，生物或称生态饲料加工技术开始在我国兴起，引起社会关注。2001 年，在大连星海会展中心召开的中国畜牧业及饲料工业交易会上，来自全国各地的几十家饲料生产厂家到会参展，此次交易会最大的变化是生态饲料多了起来，饲料和其他与动物饲养有关物品的展区处处体现绿色安全理念。大连一些饲料生产企业对生产绿色饲料非常重视。在此次交易会上，大连某公司展出的玉米

秸秆颗粒饲料颇受欢迎，这种饲料是采用当今世界处理农作物秸秆最先进、最科学的设备生产的反刍动物的基础食粮，不添加任何添加剂。据介绍，该公司引进德国生产的秸秆制颗粒饲料生产线，适用于各种农作物秸秆、农作物副产品、各种饲草的颗粒加工。公司占地面积 3.3 万平方米，第一条生产线于 2002 年 1 月 28 日投产，日生产能力 96t，全年生产量 3 万吨。

### 一、生产原理及工艺

反刍动物对原始秸秆采食量低、消化率低的主要原因是木质素的存在，木质素是不能被消化的。采用单纯机械粉碎加工的玉米秸秆颗粒，木质素不发生变化，致使消化率很低。为达到更高的消化率，必须首先破坏秸皮的“木质素外皮”，使纤维素和半纤维素在瘤胃中充分接受酶-微生物的作用分解，转化为可消化的有机物质。

秸秆制颗粒饲料生产线的主要原理是通过高科技的工业化学处理法和物理处理法，即使农作物秸秆经过碱化处理后，将其木质素彻底变性，然后在高温高压状态下将其制粒，生产出优质秸秆颗粒饲料，成为反刍动物的基础日粮。主要产品是以玉米秸秆为原料，生产出优质玉米秸秆颗粒饲料，同时也生产以稻草、豆秸、花生壳、苜蓿草为原料的颗粒饲料。产品具有无毒、无菌、水分低、体积小、营养成分高的特点，是一种真正意义上的无公害产品和绿色饲料。其主要生产工艺过程如下。

(1) 通过计算机控制配料和称料，精确控制碱液的添加量，保证按比例添加 NaOH 溶液，使 NaOH 在反应器中充分与秸秆反应转化成有机物，以至于无 NaOH 残留伤害动物胃肠。

(2) 在蒸气的作用下秸秆、氢氧化钠会加快化学反应。在化学转换时产生热，使物料温度很快上升到 150℃，在反应器内可保持 10min 以上。化学反应在高温高压状态下进行，使产品无毒无菌。

(3) 在高温高压 (100~150bar<sup>①</sup>) 作用下，物料被碾辊压进模具制成颗粒，物料被压缩 10 倍，容重达 450~500kg/m<sup>3</sup>。

---

① 1bar=1×10<sup>5</sup>Pa。

## 二、主要产品特点及类型

秸秆制颗粒饲料为科学饲养、科学饲喂提供了一种经济实用的新型非传统性基础饲料。下面对产品的特点作简单介绍，使饲养者能够充分了解产品，利用产品达到最佳使用效果，取得较高的经济效益。

(1) 产品在硬度、直径、水分、密度、长度以及混合搅拌的均匀性等方面，可得到精确的保证，符合国际 GAFTA 标准。

(2) 产品可使动物对秸秆饲料的总采食比例从 63% 提高到 77%，采食的秸秆量可增加 60%。在精料喂给相等时，肉牛平均日增重比用秸秆喂养时增加一倍，出栏期缩短，饲养成本降低。

(3) 产品密度高，便于贮存和运输，而且无粉尘，易于定时定量喂入。

(4) 产品在加工过程中，经化学反应和高温制粒，水分低，无病菌，不发生霉变，是名副其实的无公害产品和绿色饲料。

(5) 秸秆的产生是有季节性的，但加工成颗粒饲料就可常年均衡供应。

根据生产产品的原料不同，秸秆颗粒饲料可以分为不同的类型，表 11-3 列出了秸秆颗粒饲料的主要产品类型及各产品类型的主要成分含量。

表 11-3 秸秆颗粒饲料的主要产品类型及其主要成分含量

| 主要成分    | 主要产品类型       |                      |            |              |              |
|---------|--------------|----------------------|------------|--------------|--------------|
|         | 玉米秸秆<br>颗粒饲料 | 玉米秸秆加麦皮<br>(30%)颗粒饲料 | 稻草颗粒<br>饲料 | 大豆秸秆<br>颗粒饲料 | 葵花子壳<br>颗粒饲料 |
| 水分/%    |              |                      | ≤13        |              |              |
| 粗蛋白/%   | 8.1~11.8     | 10~12                | 4.8~6.8    | 6.8~9.2      | 5.2~6.8      |
| 粗纤维/%   | 28~33        | 24.5~28.5            | 25.1~28    | 38.2~44.4    | 30~34.2      |
| 粗脂肪/%   | 1~2          | 1~1.27               | 2~2.5      | 1.3~1.4      | 2.0~2.4      |
| 粗灰分/%   | 7~10         | 7~10                 | 11~14      | 5~9          | 2.98~3.5     |
| 无氮浸出物/% | 38~40        | 48~50                | 28~35.2    | 38.9~42.3    | 36~40        |
| 钙(Ca)/% | 0.20~0.29    | 0.21~0.40            | 0.41~0.62  | 0.84~0.92    | 0.3~0.37     |
| 磷(P)/%  | 0.21~0.25    | 0.22~0.29            | 0.18~0.22  | 0.12~0.13    | 0.1~0.15     |
| 粒径/mm   | 10~11        |                      |            |              |              |

### 三、秸秆颗粒饲料的优势

#### 1. 提高采食量

颗粒化可以提高动物的采食量，且采用 NaOH 化学分解和颗粒化相结合，能使采食量显著提高。优质玉米秸秆颗粒饲料比原始秸秆的采集量提高 48%，比机械粉碎制粒采食量提高 28%。

#### 2. 提高消化率

实验证明：经过碱处理后，玉米秸秆的消化率由处理前的 50% 提高到 74%，稻草的消化率由处理前的 46% 提高到 74%，小麦秸的消化率由处理前 39% 提高到 70%。

#### 3. 具有明显的增奶、增绒、增重效果

在奶牛的总采食量中，优质玉米秸秆颗粒占 60%，浓缩饲料占 40%，粗纤维为 23% 时，日产奶量可提高 20%，奶的质量也得到提高。

育肥羊的总采食量的 60%，绒山羊的总采食量的 70% 为优质玉米秸秆颗粒饲料。根据不同的需要配备各种不同的精料，有特别明显的增重、增绒的效果。

正在成长的青年牛，每天喂 6.5kg 优质玉米秸秆颗粒饲料，占总采食量的 77%，每日活增重可达 932g，比秸秆铡碎喂食活增重增加 450g，几乎提高一倍。肉牛每日喂食 4.5kg 优质玉米秸秆颗粒饲料，精饲料在 4kg 时，每日活增重可达 1100g。日粮中，约 60% 为优质玉米秸秆颗粒饲料，40% 为精饲料。

目前，在我国秸秆饲料加工技术正在蓬勃发展，除了前面提到的秸秆颗粒饲料加工技术外，秸秆压块饲料加工技术、秸秆揉搓、丝化加工技术及秸秆青贮技术等主要技术难题都已经解决，有些已经实现工业化生产。如秸秆压块饲料加工技术，2001 年在河北省得到积极的推广，当年新上马了 8 条秸秆压块饲料生产线。其中栾城县某秸秆压块饲料生产线，从 9 月 1 日就开始到各村预订玉米秸秆，并与农民签订协议。因此，我们可以看出秸秆饲料化技术的广泛应用不仅弥补了我国饲草的短缺，为农作物秸秆尤其是玉米秸等生物资源向工业品转化开辟了新渠道，更重要的是使资源得到了合

理利用，保护了环境，同时也使企业和农民得到了切实的经济利益。

## 第六节 秸秆气化集中供气系统的应用

出现“秸秆焚烧问题”后，有关部门力图采取生物质能转化技术，提高燃料质量，从而提高使用秸秆作燃料的积极性。从“七·五”开始，国家有关部门加大了这方面的工作力度，截至 2004 年已相继建立了几百个秸秆气化示范点。

山东省科学院能源研究所发明的秸秆气化集中供气技术，将废弃的秸秆变成清洁的燃气，使农民用上了管道燃气，乡村燃起了绿色之火。1998 年 5 月，山东省莱州市自筹资金建设了秸秆气化集中供气试点，1998 年下半年，国家计委拨款 500 万元支持莱州市在 50 个村中进行秸秆气化集中供气示范工程建设。

通过莱州市秸秆气化集中供气示范工程的成功，大大带动了各省市地区推广应用秸秆气化技术的发展，许多地方要求继续扩大试点工程的规模和范围。在此基础上，国家计委决定实施秸秆气化国家示范工程，在全国选取一批具有代表性的地方开展秸秆气化国家示范工程的建设，以此充分调动省、市、县、乡以及农民的积极性，引导资金流向，鼓励以多种资金渠道和多种经营方式发展这一新兴事业。

### 一、工艺流程

秸秆气化集中供气系统是一个村级生物质能源转换系统，由于生物质燃气在常温下不能液化，必须通过输气管网送至用户，因此集中供气系统的基本模式为：以自然村为单位，系统规模为数十户至上千户，系统由秸秆气化机组、燃气输配系统和用户燃气系统三部分组成。秸秆气化集中供气系统如图 11-2 所示，秸秆气化机组示意如图 11-3 所示。

### 二、经济成本分析

秸秆气化集中供气系统投资受村庄规划、规模、用气负荷集中程度和村庄经济水平等许多因素的影响。

相比之下，使用蜂窝煤时每户每月需支出燃料费 19.5 元（按

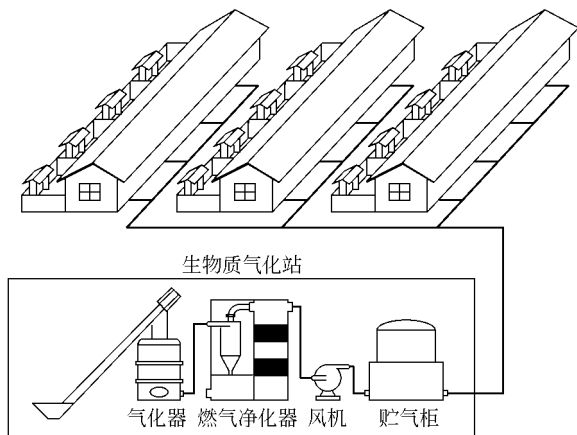


图 11-2 秸秆气化集中供气系统

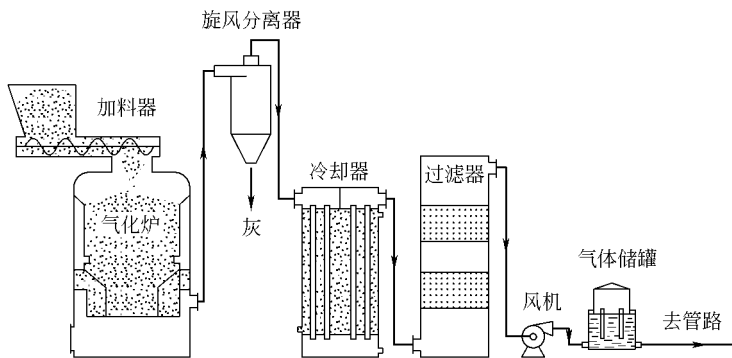


图 11-3 秸秆气化机组示意

蜂窝煤 0.13 元/块，每天每户烧 5 块计），使用液化气时，每户每月 27 元（按液化气 40 元/瓶，每户一瓶用一个半月计算）。

经济成本分析表明，系统的初投资可以为目前较发达地区的农民接受，燃气使用费低于蜂窝煤和液化气。随着农业经济的发展，秸秆气化技术将有广阔的前景和巨大的市场潜力。

### 三、目前秸秆气化工程推广存在的主要问题

秸秆气化技术是一种很好的生物质能转化技术，不失为“消

化”秸秆的好方法。然而也存在一些需要解决的问题。

(1) 用秸秆制造燃气与用煤制造煤气,在本质上是没有任何区别的。在农村能否建设人工燃气管道供应系统,不是取决于有原料与否,而是取决于该地区的经济发展状况,财政收入情况,农民的文化物质水平的高低等因素。就全国农村来看,仍属于温饱型的,有些地区尚达不到温饱型。在一个相当长的历史时期,农村不可能大面积推广管道化秸秆气化工程。

(2) 经过对农村调查发现,农民有吃、穿保证之后,随着收入的提高,希望改善的生活条件顺序,燃料排在最后。这说明,就广大农村来说,目前对管道燃气的需求没达到相当的迫切程度。没有农民自身的积极性,靠国家补贴在农村建设管道燃气是不可取的。

(3) 由于财力有限,国家补贴也有限,目前所建的秸秆气化供气系统投资都偏低,隐患很多。可以说,在全国所建设的几百个秸秆气化站所制订的部门标准、地方标准,降低了上百年总结出来的技术标准,增加了事故发生率,使系统不能长期稳定运行。

(4) 目前,只有采取干馏热解法建设较大规模的秸秆气化供气系统可以做到微利运行,其他所有氧化法气化系统都是没有经济效益的,即便是工程建成了,维修资金、运行亏损、安全管理等也是很难解决的问题。从已建成的几百个秸秆气化站看,基本上都是“国家补贴一部分投资,村里筹集一些资金,建成供气一段时间,不挣钱就停了下来”。

(5) 管道燃气的建设,是百年大计,必须与村镇建设规划结合起来。目前农民分散居住,建设管道燃气系统是短期行为。有研究表明,未来农村居住点必然是向集中型发展,30年后的中国农村居住点将不少于2000户。

## 第七节 稻壳气化发电系统的应用

我国每年产生的稻壳约为4000万吨。由于稻壳中蛋白质含量很低,不适合作饲料。稻壳的灰分含量高,大约占20%,灰分中

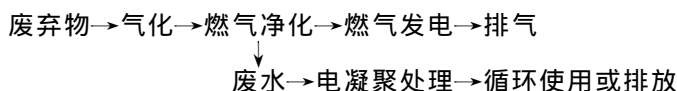
90%以上是二氧化硅，当其作为农民的家庭用燃料时，除了燃烧效率低外，燃烧过程产生大量的浓烟，严重污染环境。稻壳是碾米厂的废料，将稻壳丢弃在厂的周围并点火焚烧是不少碾米厂处理废弃物的方法，它显然成为一种环境的污染源。利用稻壳气化发电，既可解决废弃物对环境的污染，又可作为能源利用。

我国对生物质气化发电技术（Biomass Gasification and Power Generation，缩写 BGPG）的研究就是从稻壳气化发电开始的。目前主要使用的是 160kW 与 200kW 谷壳发电两种。在“九五”期间，中国科学院广州能源所在福建莆田成功完成了 1MW 循环流化床（Circulating Fluidized Bed，缩写 CFB）谷壳气化发电系统示范工程。完成示范工程后，对气化发电系统进一步改进，目前又在海南建设了 1.2MW 示范电站，该电站是我国及亚洲最大的生物质气化发电系统，已达到了国际先进水平。2003 年该研究所所属的广州中科华源科技有限公司，为泰国 ECEC 公司订购的两套 1200kW 稻壳气化发电成套设备进行安装调试，用于建设一座 1200kW 稻壳发电厂并送电上网，每年可发电 600 多万度，处理稻壳废弃物 1 万多吨。

以福建莆田 1MW 循环流化床谷壳气化发电系统为例，介绍稻壳气化发电系统的结构和性能特点。

### 一、工艺概况

该系统专门为大型粮食加工厂（处理稻谷为 150t/d）而设计，以处理大米加工中产生的谷壳为主，必要时也用木屑、秸秆等做燃料。发电容量 1000kW，发电效率 17%，其技术路线如下。



气化炉采用循环流化床气化炉。净化系统的除尘和除焦包括惯性除尘器、旋风除尘器、文氏管和水洗塔等过程，其中惯性除尘器兼有热回收作用。发电设备采用柴油机改装的发电机组，设计为 5 台单机功率 200kW 的内燃机组并联。

## 二、工艺控制

### (一) 气化炉的运行控制

气化炉点火成功后，即进入运行状态。在循环流化床谷壳气化反应中，当温度超过  $850^{\circ}\text{C}$  时，谷壳灰便会发生熔融结渣现象，堵住炉内排渣口，影响气化炉的正常运行。通常气化炉的反应温度应稳定在  $700\sim 800^{\circ}\text{C}$  之间，当炉内温度显示低于  $600^{\circ}\text{C}$  并继续下降，或高于  $800^{\circ}\text{C}$  并继续上升时，需要及时调节，主要是通过控制进料量和进风量来完成。调节方法为：当温度低于  $600^{\circ}\text{C}$  时，适当减少进料量或稍微加大进风量，使温度回升至正常范围；当温度高于  $800^{\circ}\text{C}$  时，加大进料量或减少进风量，使炉温下降至正常范围。

由于谷壳的灰分含量高达 12% 以上，气化后仍残余大量灰分，这些灰分必须及时排出炉外。采用螺旋干式排灰机，排灰连续而均匀，谷壳进料量和排灰量形成一种相对稳定的平衡状态，保证气化炉顺利运行。

### (二) 净化装置的运行管理

由于净化装置中文氏管除尘器及喷淋洗气塔都采用水封结构，故气化炉点火启动前必须先启动水泵，以确保水封结构有充足的水起密封作用，防止燃气通过水封口外窜引起意外事故。此外，应定期清除文氏管喇叭口处的灰垢，一般每星期清理一次较为合理。

### (三) 发电量的调节

1000kW 循环流化床谷壳气化发电系统，可根据生产负荷的需要对发电量进行调节，调节范围为  $200\sim 1000\text{kW}$ 。

## 三、产生废物的处理

### (一) 谷壳灰的处理

谷壳灰是谷壳气化后的产物。谷壳灰与谷壳相比较，体积并没有显著减少，故必须进一步处理，以达到完全消除固体废弃物的目的。通常可以采用以下几种方法。

(1) 在气化炉附近建贮灰池，使排出炉外的炽热谷壳灰在灰池中焚化为白灰出售给铸造厂和农户。

(2) 谷壳灰与石灰发生化学反应制成黑色谷壳灰水泥，这种水

泥的特点是防潮不结块。

(3) 制成块煤和煤球出售。

(4) 用谷壳灰制成白炭黑，这种办法的经济效益最好，但初期投资较大。

谷壳气化发电厂可根据当地的实际需要和自身条件选择相适应的处理办法。

## (二) 污水的处理

文氏管除尘及洗涤塔洗涤煤气所产生的污水每小时约 7~8t，污水中含有灰、焦油等，COD 含量极高，必须进行处理以避免二次污染。实践证明，采用电凝聚的办法处理废水，处理后的废水能够循环使用。

## 四、经济成本分析

### 1. 投资构成

生物质气化发电的投资主要包括气化与净化系统、发电设备及土建三部分。

### 2. 发电成本

BGPC 的发电成本包括生物质费用、设备维修、设备折旧和人工等部分，1000kW 的谷壳发电成本大约为 0.27 元/(kW·h)。这一成本与燃煤发电厂的成本接近，远低于柴油机的发电成本。

### 3. 环保投入

目前生物质气化的焦油问题仍未解决，为避免二次污染，必须投入一定的资金建设污水处理设备，对不同的系统处理污水的投入不同，而且功率越小，投入的比例将越大。由于污水处理占地较大，很多用户为了节省投入和降低运行费用，对污水不进行处理，势必引发环境问题。

## 五、影响生物质气化发电技术应用的主要因素

### 1. 生物质收集和预处理

因为生物质能量密度低且分散，所以其收集和运输费用是生物质价格的主要部分；另外，生物质预处理也需要设备投资。这两部分增加了生物质气化发电的运行费用。当生物质价格高于 200 元/t，

产电价格将达到 0.5 元/度，生物质气化发电将失掉其竞争力。在当前情况下，如果生物质收集范围大于 50km，气化发电价格就会大于电网价格（约 0.55 元/度），而失掉经济性方面的优势。目前仅在有大量生物质废料的企业（如碾米厂），不需生物质收集、运输和预处理的情况下，1MW 生物质气化发电技术才有经济上的竞争力。

## 2. 二次污染

废水污染问题目前是生物质气化发电技术应用的主要障碍，由于废水处理装置需要相当大的投资和场地，因此许多小型生物质气化发电用户没有处理废水的能力。只有当二次污染问题解决后，生物质气化发电技术才能与其他技术在相同的基础上竞争。

## 六、中国生物质气化发电技术的发展策略

### 1. 技术改进

焦油裂解是解决焦油污染问题的有效方法，只有当焦油量大幅度降低后，含焦油废水问题才能解决。但在目前的工艺水平下，很难保证焦油能完全裂解，一定程度的水洗是需要的，所以废水处理和循环再利用是必需的。

限于气化和气体内燃发电机组的效率，我们目前的 CFB、BGP 技术很难达到高于 20% 的效率，因此生物质消耗量常大于 1.1kg(dry)/度。由电价分析可知，生物质价格是电价的主要部份，因此提高系统的总效率，降低生物质消耗量，是大规模应用生物质气化发电技术的重要前提。

### 2. 中国生物质气化发电技术的示范和应用

比较其他国家而言，中国有较好的条件发展气化发电技术。但从电价分析可知，就算二次污染问题能解决，大规模收集和运输生物质仍然会大幅增加生物质气化发电价格，导致较差的经济性。因此在当前条件下，应该在有大量生物质废料的企业和地区大力发展气化发电技术。我们应当在这些企业和地区建设示范点，宣传生物质气化发电在经济技术方面的优点，从而使生物质气化技术被熟悉和接受。在此基础上，我们才能研究用气化技术大规模地处理农业

和森林业废料的可能性。考虑到我国企业的情况，目前最合适的气化技术的用户是碾米厂和木材厂。我国每年可加工约 2 亿吨·米和一千万立方米人造板，有几百个加工厂，会产生大量的谷壳、木屑，就算这些工厂是生物质气化技术的仅有用户，其市场前景也是十分可观的。

## 第八节 以沼气为纽带的生态农场典型实例

利用厌氧消化使工农业有机废弃物转化成沼气，在中国已走上了稳步发展的道路。当前沼气工艺技术的应用和发展主要是在三个领域：农村户用沼气池、大中型沼气工程和生活污水净化池。

在中国《新能源和可再生能源发展纲要》中提到，要利用农村及城镇酒厂、糖厂和畜禽养殖场的有机废弃物发展沼气，使之转化为高品位能源，开展综合利用，提高利用价值，同时加强大中型沼气工程的设计规范、标准和设备的成套供应，使全国沼气用户（含集中供气）2010 年达到 1235 万户，沼气供应量达到 40 亿立方米，约相当于 314 万吨标准煤的能量。

在最近 10 多年里我国已经建成了一批类似于杭州浮山养殖场、山东省胜利油田生态农场和南阳酒精厂的沼气工程。可以说，中国在大中型沼气工程方面已掌握了几套工艺先进、技术可靠和设备配套的工程技术，建立了初具规模的产业体系，具备了在全国大规模推广的条件。

### 一、杭州浮山养殖场沼气工程

浙江省杭州浮山养殖场是一个村办的养鸡、猪、鱼的综合性饲养场，有 32.47hm<sup>2</sup> 稻田、4hm<sup>2</sup> 茶叶、13.67hm<sup>2</sup> 西湖莼菜，饲养蛋鸡 3 万只、肉鸡 12 万只、商品猪 5 千头，年排污水 7300t。污水排放污染了周围环境，也使地下水质恶化。鉴于这种情况，养殖场于 1988 年和 1990 年先后建成了容积分别为 200m<sup>3</sup> 和 300m<sup>3</sup> 的沼气工程，用于处理 3 万只蛋鸡和 2000 多头猪的粪便，其工艺流程如图 11-4 所示。

该工程年运行成本和经济效益见表 11-4 和表 11-5。可以看出该

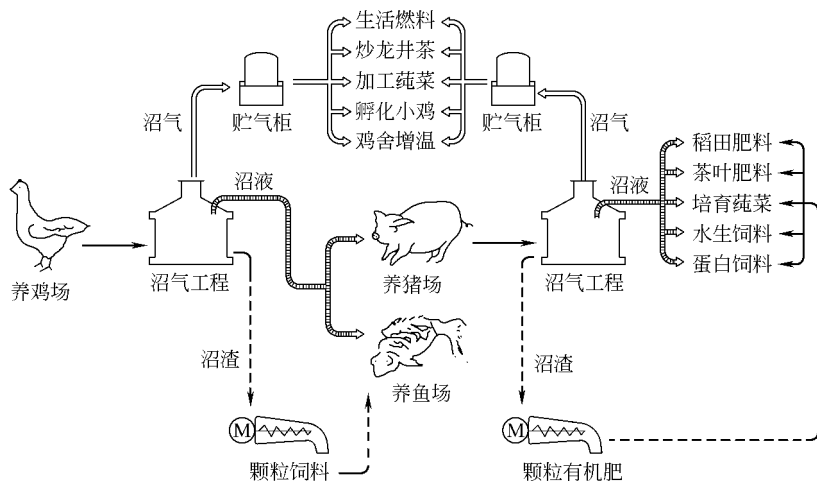


图 11-4 杭州浮山养殖场沼气生态工程示意

表 11-4 浮山沼气工程的年运行成本<sup>①</sup>

| 项 目                  | 200m <sup>3</sup> 工程 |                       | 500m <sup>3</sup> 沼气工程 |                        | 费用合计/元      |
|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------|
|                      | 用量                   | 费用/元                  | 用量                     | 费用/元                   |             |
| 原料/t                 | 1205 <sup>②</sup>    | 4015 <sup>③</sup>     | 1933 <sup>④</sup>      | 966 <sup>⑤</sup>       | 4981        |
| 电/kW·h               | 4380                 | 876/2190 <sup>⑥</sup> | 6570                   | 1314/3285 <sup>⑥</sup> | 2190/5475   |
| 煤/t                  | 10.05                | 1507                  |                        |                        | 1507        |
| 水/t                  |                      |                       | 1460                   | 146                    | 146         |
| 脱硫剂/t                | 2                    | 4600                  | 2                      | 4600                   | 9200        |
| 人工工资 <sup>⑦</sup> /元 | 1.5                  | 4050/6750             | 1.5                    | 4050/6750              | 8100/13500  |
| 维修费 <sup>⑧</sup> /元  |                      | 1589/1904             |                        | 5900/7068              | 7489/18972  |
| 合 计                  |                      | 16637/20966           |                        | 16976/22815            | 27793/45450 |

① 1990 年不变价。

② 为 3 万只鸡的年产粪便量。每只鸡每天产粪量 0.11kg。

③ 鸡粪出售价格为 10 元/吨，市场需求量为总鸡粪量的 1/3。

④ 猪粪便量按 1980 年猪平均提供 2.67kg/(头·d) 粪便计算。

⑤ 猪粪售价为 5 元/吨，市场需求量为猪粪量的 1/10。

⑥ 斜线上、下分别为财务评价和国民经济评价的用电费用。财务评价用实际电价 0.20 元/(kW·h)。国民经济评价使用市场议价电费 0.50 元/(kW·h)。没有斜线的项财务评价与国民经济评价相同。

⑦ 3 个管理运行人员，每人月工资 175 元，年底奖金 600 元。

⑧ 包括大修在内，年维修费用取初始投资的 1%。

表 11-5 浮山沼气工程产品及其效益<sup>①</sup>

| 名 称 | 产 量                    | 实际利用率/%          | 年效益/万元 <sup>①</sup>     |
|-----|------------------------|------------------|-------------------------|
| 沼气  | 26.28 万 m <sup>3</sup> | 100              | 6.57/20.44 <sup>②</sup> |
| 沼液  | 2.80 万 t               | —37 <sup>③</sup> | 13.53                   |
| 沼渣  | 475t                   | 100              | 4.08                    |

① 1990 年不变价。

② 斜线上、下分别为财务评价和国民经济评价的收益。财务评价中沼气按实际售价 0.25 元/m<sup>3</sup> 计算。国民经济评价中以当地农民使用液化气的市场价格 28 元/15kg 价为其替代价格计算。

③ 用于养鱼、养猪及农用肥料的沼液量占总用量的比例。

工程动态回收期是 5 年多，这表明它不仅是一个环保项目，也是一个经济效益好的项目。从各项效益比较，最好的是沼液的综合利用。沼渣作为优质肥料和可再生饲料的价值也超过了沼气价值。这也说明畜禽场沼气工程一定要遵循生态学原则，才能更好地发挥它的多功能作用。

综上所述，浮山养殖场沼气生态工程达到了产沼气和去除污染的目的，同时也实现了沼气发酵的全部产物在养殖业和种植业中的综合利用，形成了以沼气为纽带一个良性循环系统。

## 二、山东省胜利油田生态农场沼气工程

### (一) 工程概况

山东省胜利油田生态农场也是一个以沼气工程为纽带的大型农场。从 1988 年开始，油田决定对农场加强农副产品基地建设，发展生态农业，建设生态农场。整个建设历时 8 年，取得了显著的经济、环境和社会效益，成为黄河三角洲中低产田改造、发展农业生产的典范。同时，胜利油田生态农场作为迄今为止我国最大的一项农业生态工程，为我国生态农业的发展，特别是大型农场的生态农业建设积累了宝贵的经验，也为开发黄河三角洲、矿区（油田）的生态恢复探索了道路。

胜利油田生态农场建设过程中，很重要的一个内容就是沼气工程建设。胜利油田是我国重要的能源基地，在这里建设沼气工程具有特别重要意义。它不仅是生态农场建设的中心环节，使不完整的

传统农业循环转变为完整的良性生产循环，也极大地改善了农业生产环境，使资源的利用更加充分合理，同时又为国家节省了大量的原油和天然气资源。

(二) 工艺特点

该沼气工程工艺设计紧密结合农场生产实际，建设了 2 套套简折流式发酵装置（2 个发酵池），体积为  $600\text{m}^3$  和  $200\text{m}^3$ ，分别用于处理来自工厂化种猪场的猪粪尿和来自养鸡场的鸡粪。这 2 套装置既可同时运行，也可单独运行，这是当前国内外沼气生产中所不多见的。由于猪场和鸡场的工艺一定，清粪时间固定，因此本工程设计了 2 个贮液池（每个贮液池的容积为  $200\text{m}^3$ ），不仅保证了在短时间内把粪清完，同时还有效地保证了猪粪两步发酵的要求。在两条工艺系统中，各增设一个加热池，池容分别为  $15\text{m}^3$  和  $30\text{m}^3$ 。加热装置为蒸汽喷射加热器，在加热的同时起搅拌作用，保证了料液浓度的均匀和反应的顺利进行。此外，设计安装了发酵原料的前处理装置，除去猪粪尿中的猪毛等杂物，保证工艺的正常运转。胜利油田生态农场沼气工程工艺流程如图 11-5 所示。

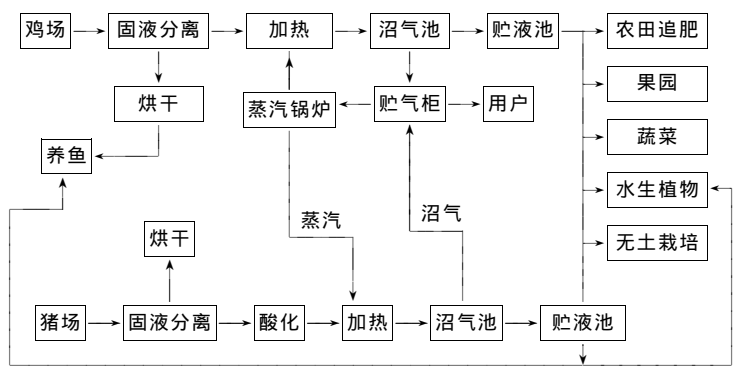


图 11-5 胜利油田生态农场沼气工程工艺流程

(三) 经济成本分析

猪粪原料经前处理装置滤出的固形物进入有机复合肥厂生产高效有机肥料，不仅提高了工程的经济效益，也有效地解决了不能进

入沼气池的固体废物污染问题。正常运转时工程年产沼气 255500m<sup>3</sup>、沼液 32850m<sup>3</sup>、有机复合肥 876t、蛋白质饲料 493t, 年直接经济效益达 85.03 万元, 年节省排污费 8.21 万元, 累计年经济效益为 93.24 万元。初始投资为 152.50 万元, 年运行成本 40.85 万元, 投资回收期为 2.8 年。

### 三、河南省南阳酒精厂生产沼气无害肥大型示范工程

#### (一) 工程概况

河南省南阳酒精厂猪鸡粪便工厂化生产沼气无害肥大型示范工程主要是解决养殖业发展带来的粪便污染环境和城市粪便污染问题, 将人畜禽粪污染源集中工厂化处理、进行厌氧发酵、生产沼气和无害肥, 这是一项既解决环境污染, 又变废为宝、开发能源、促进农业和养殖业发展, 具有一举多得, 生态良性循环的无害化可持续发展的生物环保工程。

该工程 1995 年列入国家星火计划项目。一期工程于 1997 年底建成, 总投资 300 万元, 年产沼气 300 万立方米, 无害有机肥 3000t。可供 7000 户至 1 万户居民生活用气, 已经与南阳市沼气公司管道联网, 现正常运行向南阳市民供气。该工程现在日处理粪便 400t (5%浓度), 可处理 80 万只鸡或 2 万头猪产生的粪便污染, 或处理相当于一个中等城市产生的粪便量。

该工程年运行维护费在 30 万元, 需厂房 400m<sup>2</sup>, 占地约 12000m<sup>2</sup>, 电力配套 100kW, 利用循环水, 其他用水量很少, 每日 10t。沼气按 0.50 元/m<sup>3</sup>, 肥料按 600 元/t 计算, 可实现年收入 330 万元, 支出 230 万元, 年盈利 100 万元, 投资回收期 3 年。该项目二期工程日产沼气 3 万 m<sup>3</sup>, 无害有机肥 30t, 总投资 680 万元。

#### (二) 工艺运行中值得注意的几个问题

(1) 南阳酒精厂酒糟液发酵罐沉砂处理一次停产 3 个月。所以禽畜粪便要想连续化进行发酵生产, 首先就是要除杂沉砂, 这个问题是首要问题, 也不容易解决。特别是猪鸡粪更不好处理, 因为猪粪里有猪毛, 鸡粪里有绒毛, 见缝就钻过去, 而又容易结盖, 所以

必须经过多次除杂沉砂过滤。

(2) 要进行连续化生产，想多产气，多进料，就必须要有温度保证，不能靠天发酵。猪鸡粪采用中温发酵比较合算，产气的容气比达 1 : 1 以上。

(3) 进行连续化生产，产气量多，要有原料保证。进料浓度要保证在 4%~7%，这个浓度发酵比较好，过高就会浪费原料，过低就会加大费用。

(4) 该项目工艺及设备申报了四项国家专利，比同规模水平投资要低 50%。如日产 1 万立方米沼气工程，按照常规设计，需 700 万元至 1000 万元。仅 UASB 发酵罐 200m<sup>3</sup> 就需 50 个，串在一起。该项目日产 1 万立方米沼气仅投资 300 万元，工程采用了生物能和气动自动搅拌，不用动力。发酵和贮气一个罐 3000m<sup>3</sup>，就节约工程费用 100 万元，同时维修方便费用少。

(5) 沼气发酵可以生产出的消化液和渣料两种肥料，渣料作为固体肥比较容易解决而消化液作为液体肥料，其肥效比较低，氮磷钾含量一般是 0.3%~0.5%，长途运输费用较高。所以，如果要作为商品外销，就要采用中低温浓缩，增大肥效，减小运输成本。

### (三) 工程建设中需要注意的几个问题

(1) 为了项目进展顺利，必须要有资金保证，此外要设计合理。

(2) 项目实施和试生产过程，要有实践经验人员负责，如南阳酒精厂沼气发酵技术在全国转让多家，都没有成功，其中一条主要原因就是转让技术与实施脱节。所以，沼气转让技术的同时，也要保证工程质量以及人员培训。

(3) 沼气发酵涉及到生物工程、化学、机械、电器等专业，因此要配备相应的专业技术人员。此外，要有一个中心化验室，对工艺运行进行日报告，不能盲目生产。

(4) 要有原料保证，不能中断生产，因此生产车间不要远离猪鸡粪原料场，否则运输不便，而且增加费用。

(5) 为保证正常供气，该项目已与可燃气生产相配套进行试

验，用秸秆柴草热解为可燃气来缓解沼气生产原料不足时产气少的问题。同时，生产可以利用生产可燃气的余热来提高沼气发酵温度，一举两得。

## 参 考 文 献

- 1 文化．北京市农业废弃物和畜禽粪便资源化综述．北京农业科学．1995，13（5）：8～2
- 2 陈玉水．农副产品废弃物的生物净化与利用研究．福建农业科技（增刊）．1998，25～27
- 3 黄波．台湾农业废弃物的再生利用．台湾农业情况．1996，（1）：21～23
- 4 李建华．台湾农业废弃物资源的再利用研究．台湾农业探索．2000，（4）：17～19
- 5 刘一明，牛宝俊．新兴县农业废弃物资源化利用模式研究．农业环境保护．2001，20（4）：261～263，265
- 6 江山，张丽娟．走发展生产与环境保护相结合的“科技兴农”新路．福建农机（增刊）．1995，20～21
- 7 卞有生，宋秀杰，徐锦链等编著．生态农业中废弃物的处理与再生利用．北京：化学工业出版社，2000