

技术丛书

XIANDAI SHENGWUZHI NENGYUAN JISHU CONGSHU

生物质 SHENGWUZHI 生化转化技术

SHENGHUA ZHUANHUA JISHU

陈洪章 王 岚 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



现代生物质能源
技术丛书

生物质生化转化技术

陈洪章 王 岚 著

北 京

冶金工业出版社

2012

内 容 提 要

本书围绕生物质生化转化技术,从生物学和化学工程的角度阐述生物质生化转化过程,解析生物质生化转化过程中的各个单元操作,论述各个单元操作对应的技术平台,深入分析各个技术平台中的技术优势、限制因素及突破点,为生物质生化转化技术的进一步研究提供参考,最后提出以生物质生化转化可再生资源为核心的多联产模式,为生物质生化转化技术的工业化发展提供了技术依据。

本书可供生物质生化转化应用领域的工程师、管理者、技术人员以及对本领域研究感兴趣的相关人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

生物质生化转化技术/陈洪章,王岚著. —北京:冶金工业出版社,2012. 10

(现代生物质能源技术丛书)

ISBN 978-7-5024-6030-3

I. ①生… II. ①陈… ②王… III. ①生物能源—转化
IV. ①TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012) 第 195750 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 谢冠伦 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6030-3

北京慧美印刷有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 10 月第 1 版, 2012 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 15.25 印张; 298 千字; 233 页

49.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

人类从征服自然的工业文明走向善待自然的生态文明，要想实现可持续发展，首先要保护地球，寻找可以替代石油资源的有形工业通用原料。生物质是太阳能的有效储存器，现已成为清洁可再生资源研究和应用的核心。

生物质生化转化技术与物理、化学转化技术相比，具有清洁、高效、温和的特点，其在研究和应用领域中备受关注。作者经过对生物质生化转化技术二十多年的研究和产业开发，逐渐形成了汽爆集成前处理技术平台、固相酶解发酵分离耦合技术平台、规模固相纯种培养技术平台，实现了各个平台技术在不同领域的产业化应用，并得到同行和企业的认可。在研究和应用中，我们提出了生物质生化转化技术的理念，通过构建相关的技术平台，在实现生物质生化转化的同时，为相关学科的发展作出了应有的学术贡献。

生物质生化转化方面的著作随着研究的深入而逐渐问世，但这些著作主要是关于生物质定向转化的特殊技术，而没有关于生物质生化转化过程所需技术的系统论述。为了弥补这一空白，作者总结归纳了生物质生化转化中相关平台技术的研究思路和成果，以从长远和系统工程的角度推动生物质生化转化技术的发展，促进生物质的资源化开发和应用。

本书前两章概述了生物质生化转化及相关单元操作；第3章到第8章论述了生物质生化转化技术的前处理平台、酶平台、细胞炼制平台、糖平台、发酵平台、后处理平台；第9章、第10章论述了生物质生化转化多联产模式和新型平台化合物。

作者在生物质生化转化方面的研究得到了国家重点基础研究计划

(973 计划)(2004CB719700 和 2011CB707400)、“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD22B02)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KGCX2-YW-328)和中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-11A1)的资助。另外,我的二十几位研究生的研究工作是本书得以出版的重要前提,其中赵军英博士参与了第1章、第3章的撰写,张玉针硕士参与了第2章的撰写,李冠华博士参与了第3章的撰写,段颖异硕士参与了第4章的撰写,马力通博士参与了第5章、第10章的撰写,张志国博士参与了第6章的撰写,贺芹博士参与了第7章的撰写,王宁博士参与了第8章的撰写,王冠华硕士参与了第9章的撰写,最后王岚博士参与了总体修改汇总。此外,在本书写作过程中,参考了大量国内外前辈和同行们撰写的书籍和期刊论文资料,在此一并表示衷心的感谢。

书中如有不足之处,诚请广大读者批评指正。

陈洪章

中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室

2012 年 4 月

目 录

1 概述	1
1.1 生物质的概念	1
1.2 生物质转化方式	2
1.2.1 生物质物理转化技术	2
1.2.2 生物质化学转化技术	3
1.2.3 生物质生化转化技术	4
1.3 生物质生化转化技术的作用与地位	4
1.4 生物质生化转化平台技术总论	5
1.5 生物质生化转化产业化前景	6
参考文献	7
2 生物质生化转化单元操作及过程工程总论	9
2.1 生物质原料的特点	9
2.1.1 生物质原料的复杂性	9
2.1.2 生物质原料复杂性对工艺的要求	10
2.2 生物质生化转化的单元操作	11
2.2.1 生物质生化转化前处理单元操作	11
2.2.2 生物质生化转化糖化单元操作	12
2.2.3 生物质生化转化发酵单元操作	12
2.2.4 生物质生化转化后处理单元操作	13
2.3 生物质生化转化过程工程与集成	13
参考文献	14
3 生物质生化转化前处理平台	15
3.1 生物质生化转化的抗降解屏障	15
3.1.1 生物质生化转化抗降解屏障在生产生活中的应用	15
3.1.2 生物质生化转化的抗降解屏障提出	17
3.1.3 生物质生化转化的抗降解屏障定义	17
3.1.4 生物质生化转化的抗降解屏障解析	18

IV 目 录

3.1.5 生物质生化转化抗降解屏障的研究进展	25
3.2 生物质生化转化的前处理平台概述	26
3.2.1 生物质的自然生化转化过程	26
3.2.2 生物质的人工降解发展历程	28
3.3 生物质生化转化的前处理技术机制及应用	30
3.3.1 生物质生化转化前化学处理机制	31
3.3.2 生物质生化转化前物理处理机制	37
3.3.3 生物质生化转化前生物处理机制	41
3.4 生物质生化转化的前处理分级技术	41
3.4.1 生物质生化转化前汽爆处理技术	41
3.4.2 生物质生化转化前组织分级分离技术	42
3.4.3 生物质生化转化前细胞分级分离技术	43
3.4.4 生物质生化转化前组分分级分离技术	44
3.5 生物质生化转化前处理分级技术的特点	47
3.6 生物质生化转化的前处理分级技术评价	47
3.6.1 生物质生化转化的前处理分级技术评价指标	47
3.6.2 生物质生化转化的前处理分级技术比较	48
参考文献	49
4 生物质生化转化酶平台	56
4.1 生物质降解过程中酶的概述	56
4.1.1 纤维素酶	56
4.1.2 半纤维素酶	57
4.1.3 木质素降解酶系	62
4.1.4 纤维素酶解协同因子	64
4.2 生物质转化酶平台的搭建	65
4.2.1 酶的生产制备	65
4.2.2 酶的化学修饰	71
4.2.3 生物酶工程	73
4.3 生物质转化酶平台的使用	79
4.3.1 酶协同作用	79
4.3.2 多组分酶系统	79
4.3.3 纤维小体	80
4.3.4 CBH-EG-BG 系统的优化	81
4.3.5 多酶复合物的设计使用	81

4.3.6 酶反应器	82
参考文献	84
5 生物质生化转化细胞炼制平台	89
5.1 生物炼制	89
5.2 细胞炼制	90
5.2.1 细胞炼制的宏基因组学	91
5.2.2 细胞炼制的代谢工程	94
5.2.3 细胞炼制的系统生物学技术	97
5.2.4 细胞炼制与合成生物学	100
5.3 细胞功能全能性——人工细胞	103
5.3.1 多酶反应体系	104
5.3.2 载体固定化	105
5.4 细胞间协同作用	107
5.4.1 混菌发酵的特点	108
5.4.2 混合发酵的注意事项	110
5.5 细胞炼制工厂构建	110
5.5.1 微生物细胞特性的改造	112
5.5.2 细胞炼制工厂的设计	113
5.5.3 细胞炼制工厂的构建	114
5.5.4 细胞炼制工厂的优化	115
参考文献	116
6 生物质生化转化糖平台	120
6.1 葡萄糖的全能性	120
6.1.1 葡萄糖的分解代谢	120
6.1.2 初级代谢产物和次级代谢产物	123
6.2 木糖的全能性	125
6.3 葡萄糖制备途径	127
6.3.1 木质纤维素的预处理	128
6.3.2 天然纤维素的水解	129
6.4 木糖制备途径	131
6.4.1 木糖制备工业概况	131
6.4.2 工业上木糖产品制备工艺	132
6.5 抑制物作用机制及其破解途径	134

VI 目 录

6.5.1 抑制物及其作用机制	134
6.5.2 破解途径	136
参考文献	137
7 生物质生化转化发酵平台	140
7.1 同步糖化发酵	141
7.1.1 同步糖化发酵 (SSF) 工艺特点	141
7.1.2 同步糖化发酵的抑制性因素	144
7.2 组合生物转化工艺	145
7.2.1 组合生物转化工艺 (SSCF 工艺) 的优势和突破点	145
7.2.2 木质纤维素组合生物转化	145
7.3 统合生物工艺	148
7.4 共培养发酵	150
7.5 固态发酵优势与前景	151
7.5.1 传统固态发酵技术的难点	152
7.5.2 新型固态发酵清洁技术	155
7.5.3 纤维素乙醇发酵示范工程	157
7.5.4 固态发酵的应用与发展前景	159
参考文献	160
8 生物质生化转化后处理平台	163
8.1 生物质生化转化后处理原则	163
8.2 生物质生化转化后处理的操作单元	164
8.2.1 发酵液的预处理和固液分离	164
8.2.2 生物技术产品分离和纯化技术	165
8.2.3 单一后处理方式的局限性与优势	167
8.3 生物质生化转化后处理的耦合集成	167
8.3.1 生物反应-分离耦合	168
8.3.2 分离过程与分离过程的耦合	172
8.4 生物质生化转化产品 2,3-丁二醇的发酵后处理技术举例	175
参考文献	177
9 生物质生化转化多联产模式	179
9.1 原料特性与多联产模式的必要性	179
9.1.1 生物质原料的特性	179



9.1.2 生物质资源开发存在的问题	179
9.1.3 生物质生化转化多联产的必要性	180
9.2 多联产关键黏结技术的突破	180
9.2.1 无污染汽爆及其组分分离技术平台	180
9.2.2 节水节能固态纯种发酵技术平台	181
9.2.3 秸秆固相酶解-液体发酵乙醇耦合技术平台	181
9.2.4 汽爆秸秆膜循环酶解耦合发酵工业糖平台	181
9.3 清洁生产与多联产	182
9.3.1 清洁生产概念与内涵	182
9.3.2 清洁生产与生物质资源多联产	183
9.4 生态工业与多联产	184
9.4.1 生化工程与工业生态学	184
9.4.2 工业生态学理论	185
9.4.3 工业生态学研究方法	190
9.4.4 生态工业与过程集成	193
9.4.5 生态工业与多联产技术范例	196
9.5 循环经济与多联产	200
9.5.1 循环经济的概念及技术特征	201
9.5.2 循环经济与生物质资源多联产	204
9.6 低碳经济与生物基产品	204
9.6.1 低碳经济	204
9.6.2 低碳经济与生物炼制	205
9.6.3 低碳经济与生物基产品多联产	205
参考文献	209
10 生物质生化转化制备新型平台化合物	211
10.1 C ₁ 平台化合物	211
10.1.1 生物质合成气	211
10.1.2 甲烷	212
10.2 C ₂ 平台化合物	214
10.2.1 乙醇	214
10.2.2 乙烯	214
10.2.3 乙酸	215
10.3 C ₃ 平台化合物	216
10.3.1 甘油	216

10.3.2 乳酸	217
10.3.3 1,3-丙二醇	220
10.4 C ₄ 平台化合物	221
10.4.1 丁醇	221
10.4.2 2,3-丁二醇	222
10.4.3 琥珀酸	222
10.5 C ₅ 平台化合物	225
10.5.1 乙酰丙酸	225
10.5.2 糠醛	226
10.6 C ₆ 平台化合物	228
10.6.1 柠檬酸	228
10.6.2 赖氨酸	228
10.6.3 葡萄糖酸	230
10.7 C ₁₀ 平台化合物	230
参考文献	231

1 概 述

1.1 生物质的概念

生物质是人类自诞生以来都在使用的太阳能资源，太阳能通过植物的光合作用以化学态能的形式转存下来，有了呼吸的氧气、饮食的动植物、建房取火的木材、遮羞保暖的衣物。然而，正如其他的自然存在物一样，生物质被人类真正地定义才不过 50 年的时间。

英文中“biomass”一词，最早使用于 1934 年（在韦伯词典中指生物量）。从外文回溯数据库中看，1971 年，美国《植物与土壤》杂志^[1]中，首次将“biomass”一词定义为生物质；1972 年石油危机后，1976 年，一篇介绍生化过程工程的文章^[2]中提出可将废弃生物质作为一种原料使用；1979 年，“Nature”的一篇文章^[3]中指出生物质燃烧产生了污染环境的气体；而 1980 年，荷兰农业大学过程工程系真正提出将生物质作为能源材料^[4]；1981 年，美国橡树岭国家实验室开始对生物质能源技术进行安全性评估^[5]。自此之后，关于生物质能源的研究报道陆续展开^[6~12]。

如果将 1980 年作为生物质能源化利用研究的起点，那么至今已过去了 30 年，也就是一个孩子从出生到他开始回报家庭社会的时间，在此期间生物质生化转化技术已经有了迅猛的发展，正如那个已经成熟的孩子可以开始回报家庭社会一样，生物质生化转化的研究也开始了工业化应用，为人类带来福祉。

美国能源部对于生物质的定义是：生物质是指任何动植物有机体。他们特别指出其国内的生物质包括农业和林业废弃物、城市固体垃圾、工业废弃物和专用于能源的陆生和水生物种。

中国可再生能源协会对于生物质的定义是：生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体，包括所有的动植物和微生物。

在动植物和微生物有机体中，植物是自养生物（生产者），动物是异养生物（消费者），人类生存过程中选择种养可以服务于自身的植物和动物，其中动物多被利用，而对于植物，人类主要利用了淀粉、蛋白、油脂、维生素含量较高的果实，因为没有迫切的需要，所以没有寻找转化利用其他部位的方式，便将用汗水浇灌的大部分植物体遗弃。本书中所论述的生物质是指植物生物质中除了人类食用、药用等之外的木质纤维素废弃物。



1.2 生物质转化方式

木质纤维素原料收获储存一定时期后, 主要由死细胞遗留的细胞壁组成。细胞壁的成分主要是纤维素、木质素和半纤维素, 胞间层主要是果胶物质。细胞壁中的三种主要组分中, 半纤维素和木质素主要通过化学键相连接, 木质素、半纤维素与纤维素主要通过氢键连接, 形成了以纤维的多级结构为骨架的紧密细胞壁。因此, 要充分利用木质纤维素原料, 无论是应用其中何种成分, 首要的就是破坏已有的细胞壁结构。

人类利用生物质的技术是多样的, 可以归结为三种: 物理转化技术、化学转化技术和生化转化技术。

1.2.1 生物质物理转化技术

生物质物理转化是指通过物理方法对生物质进行改性和加工, 生产高附加值的产品, 从而实现木质纤维素的高值化应用。在人类利用木质纤维素的过程中, 物理转化方法的应用领域主要包括: 板材、建筑材料以及木质纤维素复合材料。

生物质人造板材的制备工艺流程一般包括: 原料制备→搅拌混合→模压成型→后处理, 对于不同的生物质原料和不同用途的板材, 工艺的主要区别在于原料的粉碎程度、添加剂的种类和数量、模压的条件以及不同的后处理方式^[13]。适用于生物质人造板的非木材类木质纤维素主要包括甘蔗渣、麦草、稻草、玉米秸秆、棉秆、亚麻屑。生物质人造板, 尤其是非木材类木质纤维素人造板对于减少森林资源的消费以及环保都有积极的意义。生物质建筑材料主要是指生物质墙体材料^[14], 其中以秸秆镁质水泥轻质跳板^[15]和稻草板^[16]为主, 其他还有玉米秸秆保温材料^[17]。墙体材料的加工过程与木质纤维素板材的加工过程相似。所得到的墙体材料具有质轻、隔声、保温、抗震、抗腐蚀等性能。人造板和墙体材料是木质纤维素原料的一种初级利用形式, 现在多数是将木质纤维素直接粉碎后加工, 将其中的纤维素提取后制备人造板的工艺目前应用较少。

而木质生物质多用于制备生物质复合材料^[18]。木质材料自身复合与其他材料复合的形态一般分为三种类型: 层积复合、混合复合和渗透复合。层积复合是指由一定形状的板材、涂胶层积、加压胶合而成的, 具有层状结构和一定规格、形状的结构材料。混合复合是指以木材或木质材料为基质与其他物质如无机质、矿物质等相混合或木质纤维素材料之间相混合, 加压成板。渗透复合是指将某种物质(无机物、有机物、金属元素等)渗注入木材或木质材料中, 并发生沉积或化学作用, 从而改良木材性质或赋予木材某种功能。

由上可见, 植物生物质的物理转化主要是利用其紧密的物理结构, 将其转化为材料, 用于生产生活中。物理转化难以将生物质转化为可替代石油基产品的可



再生产品, 因此难以满足现在对清洁能源和化学品的需求。

1.2.2 生物质化学转化技术

生物质化学转化在传统的领域中主要应用在制浆造纸行业, 随着能源、环境问题的出现, 生物质的研究和应用受到极大重视, 生物质的化学转化方式也呈现出多种方式, 目前主要包括燃烧、碳化、气化、热分解以及水热液化技术等。

传统的造纸行业主要采用酸碱化学预处理方式得到生物质其中的纤维素, 以制备纸浆。由于产品纸目前还具有不可替代性, 因此本书不作论述。

生物质燃烧转化技术: 它是直接利用生物质剧烈氧化过程中释放的热能或将其转化为电能形式的技术。 300°C 以下时, 半纤维素即可剧烈分解, $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 时, 纤维素可以完成分解过程, 而只有温度达到 500°C 以上时木质素才开始分解。该技术历史悠久, 成本较低, 大规模利用时可实现无害化, 但该法的产值较低, 并会产生大量 SO_2 等温室气体。

生物质碳化转化技术: 它是在隔绝或限制空气的条件下将生物质加热得到气体、液体和固体等产物的技术, 是较古老的生物质转化技术。其中机制炭^[19] 又称人造炭、成型炭, 它是在高温高压下成型, 再经热解炭化而得到的固型炭制品。热解过程中产生的气体混合物经冷凝、回收、加工, 得到副产品——焦油和粗醋液, 焦油中含有大量的酚类物质和多种有机物, 是提炼芳香类物质的原料, 焦油也可与渣油调和生产 200 号重油, 或与煤混合作燃煤锅炉燃料; 粗醋液是化工原料, 也是无公害药剂, 可制作防霉剂、防虫剂、抗菌剂、农药助剂, 和农药一起使用可增效并降解农药残留。

生物质气化转化技术^[20]: 由于生物质具有挥发组分高、炭活性高、硫和灰的含量低等特性, 可以利用空气中的氧气或含氧化物作气化剂, 在高温条件下将生物质中的可燃部分转化为可燃气 (主要是氢气、一氧化碳和甲烷) 的热化学反应。该技术最早由 Ghaly 用于生产生物质低密度燃料气体。根据用途的不同, 气化通常分为常压气化和加压气化, 二者原理相同, 但加压气化对装置、操作、维护等要求都较高。

热分解技术: 它是指生物质在高温下分解成两个成分以上的低分子化过程。快速热分解是指原料热分解时提高加热速度, 在几百度高温下瞬间热分解或通过快速升温进行热分解。热分解生物质可以得到热分解液、木醋、快速碳化物、脱水糖。其中, 热分解液和快速碳化物可以作为燃料; 木醋可以作为熏制液、害虫驱除剂、农药替代品; 脱水糖可以作为生物可降解塑料等的高分子原料。

水热液化技术: 它是将生物质在高温高压的水中进行分解的技术, 当得到的产物为气体时称水解气化; 当得到液体产物为液体时称水解化。与热分解技术相同, 水热液化生成气体、液体和固体三种物质。液相中的轻质成分 (热分解时的

木醋成分)溶解于水,重质成分处于与固体相混合的状态,即所得的是气相、水相和油相(油和木炭的混合物)三种。产品用途与热分解产物相似。

上述表明,生物质化学转化方式中,需要较为剧烈的条件,除直接用于发电外,所得产品的纯度较低,难以作为精细化学品替代石油产品,也不能作为工业的通用原料,满足现在能源、环境问题的需求。

1.2.3 生物质生化转化技术

生物质生化转化技术是指生物质经一定的物理、化学、生物预处理后,由生物法转化为相应的产品。生物质生化转化前期的预处理过程是为达到理想的生物转化效果而进行的,不是要达到最终的产品,这是生物质生化转化中各种预处理方式区别于前述生物质物理、化学转化方式的本质所在,也正是由于这一本质,使得生物质生化转化前的预处理技术较 1.2.1 节和 1.2.2 节中的生物质化学、物理转化方式要温和。

生物质在生化转化过程中,通过选用不同微生物,可以将其转化为不同的产品^[21]:氢气、沼气、乙醇、丙酮、丁醇、有机酸(丙酮酸、乳酸、草酸、乙酰丙酸、柠檬酸)、2,3-丁二醇、1,4-丁二醇、异丁醇、木糖醇、甘露醇、黄原胶等。各种产品,一方面可以经过进一步的化学合成替代石油基产品;另一方面,也可以替代粮食作为原料生产的产品,比如乙醇等。

生物质生化转化技术相对于其他转化技术而言具有操作条件温和、产品纯度高、清洁、高效、转化率高等优点,并且可以通过筛选不同的酶或微生物而将生物质转化为多种中间产物,从而为多种可再生材料、燃料和化学品的转化提供平台物质,成为石油基产品的替代物,因此,生物转化技术在研究和应用领域受到关注。

1.3 生物质生化转化技术的作用与地位

从上述比较可以看出,植物生物质生化转化技术可通过温和的方式得到石油基产品的替代品,是以工业化的方式发展生态农业,实现循环经济发展的新模式,将在能源、环境、三农问题的解决中发挥重要作用。因此,生物质生化转化技术对人类的长远发展以及社会的稳定起着重要的作用,具体来说,生物质生化转化技术的作用和地位体现在以下几个方面:

(1) 生物质生化转化技术是人类赖以生存的技术基础。自石油被发现并开采利用以来,石油基产品在人类生产和生活的各个领域中都担当着重要的角色,尤其是生产过程中的能源角色。然而,据 BP 世界能源统计 2010 显示,世界石油探明储量为 186.634Gt,以 2009 年的开采速度计算,石油可以开采 45.7 年,天然气可以开采 62.8 年,煤可以开采 119 年。BP 世界能源展望 2030 表明,液体燃



料的年消费,由2010年的39.433Gt增加到2030年的46.711Gt,生物燃料的生产量将由2010年的575Mt增加到2030年的2351Mt。木质纤维素作为制备生物燃料的原料与粮食作物相比,更加廉价丰厚。因此,将木质纤维素生物质,尤其是农林废弃物,转化为通用的、可替代石油的、通用化工原料的技术是目前人类赖以生存的技术基础。

(2) 生物质生化转化技术是人与自然和谐相处的重要方式。在长期的工业化发展过程中,人类为了得到快速的经济 development 方式,以廉价的石油、煤、天然气等资源为资本,创造了工业文明,而忽略了地球生态的承载能力,因而导致了温室效应以及由环境污染而带来的人类健康问题。要想扭转这种发展方式,尤其是减少已经建立起来的工业体系对于石油的依赖,一个重要的途径就是开发出新的可以替代石油基产品的产业链,以满足相关产业发展的需求。生物质生化转化技术,以可再生的生物质为原料,通过生化转化这种清洁的方式,得到能够替代石油基产品的生物基能源、生物基材料和生物基化学品,其已经开始在工业体系中发挥作用。生物基产品的发展,利用自然界生态转化的过程,将生态循环中的中间产物服务于人类,因此是实现人与自然和谐相处的重要方式。

(3) 生物质生化转化技术是转变农业角色、增加农民收入的重要方式。农业在长期的社会进步中,主要扮演着粮食供给者的角色,尽管粮食的价格受到保护,即便粮食产量不受到自然灾害的影响,也越来越难以满足农民生计中教育、医疗、婚丧嫁娶等基本生活的需求。因此,将生物质通过生化转化的方式制备生物基产品,使农产品增加能源、材料的新角色,可以从两个方面增加农民的收入。一方面,以前废弃的农林废弃物可以作为产品销售,得到农业收入;另一方面,由于生物质生化转化新产业的兴起,尤其是依次兴起的民营企业会增加农民就业的机会,从而增加了农民的非农收入。

(4) 生物质生化转化技术将开辟新型经济增长点。随着能源价格的上涨以及人类对环境的关注,石油依赖型的经济增长和产业结构将被可再生的生物质经济等清洁发展方式所取代。生物质生化转化技术产品,作为有形的可再生资源将代替石油基产品而具有较大的潜在市场需求。生物质生化转化技术是技术和资金密度高的产业,将促进产业结构的优化和升级,从而成为新型经济增长点。

1.4 生物质生化转化平台技术总论

自然界的植物生物质在进化过程中为了抵御微生物及病虫害的入侵形成了天然的自我保护机制——紧密的结构和复杂的成分。为了通过生化转化的方式充分利用生物质,可以首先将植物生物质转化成可以为多种微生物使用的糖,再通过发酵的方式将通用的糖转化为不同的小分子产物。由于生物质中多糖的复杂性,使得糖的成分多样,发酵后得到多种产品的混合物,因此需要对发酵产物进行后

处理,从而得到能够满足生产需求的最终产品。由此可以看出,实现植物生物质的生化转化,需要系统的技术产业链,即需要多个单元操作来完成,生物质的生化转化是一种建立在多学科基础上的集成技术体系。采用集成技术,无疑带来了较高的生产成本,因此,对生化转化过程的经济性提出了挑战。而植物生物质除了多糖以外,还具有木质素等非糖类物质,如果只是通过生化转化的方式利用其中的多糖,而将木质素作为废弃物排放,一方面不符合清洁生产的要求,另一方面也是资源的浪费。所以,在将植物生物质进行生化转化的同时,可以将其中的木质素通过物理、化学和生化的方式转化为相应的产品。此外,由于生物质中多糖具有复杂性,因此,将不同成分的糖转化为一种单一的产品,既会增加转化的成本,也会导致因产品的单一性所带来的市场风险性,且难以满足市场对不同产品的需求。因此,植物生物质中多糖的生化转化也应多向化。

针对植物生物质生化转化中的技术路线,形成不同操作单元的技术平台,然后针对原料和产品的需求将其集成,形成多联产的生化转化方式,是生物质生化转化技术产业化重要前提。陈洪章课题组在二十多年生物质生化转化技术的基础上,搭建起了从原料到产品所需操作单元的技术平台^[22-25],并在深入研究生物质组成结构不均一性的基础上,提出了分级炼制多联产的思路,形成了生物质生化转化的集成技术体系(见图1-1)。

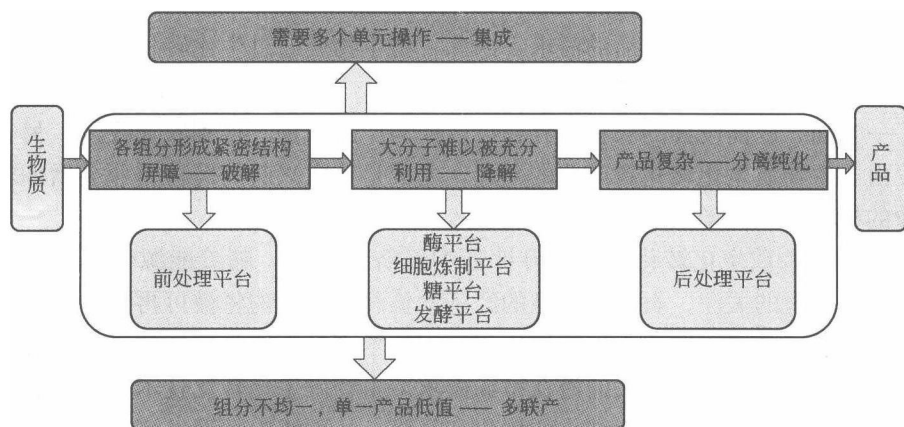


图 1-1 生物质生物转化集成技术体系^[12,26-30]

1.5 生物质生化转化产业化前景

生物质生化转化产业是解决能源问题的有效方式,因为可再生能源中,植物生物质是唯一有形的可再生能源。生物质生化转化产业是解决三农问题的有效途径,因为传统的粮食农业将承担能源农业和材料农业的新角色,农林废弃物的资