



现代生物质能源
技术丛书

XIANDAI SHENGWUZHONG NENGYUAN JISHU CONGSHU

生物质 SHENGWUZHONG

热化学转化技术

REHUAXUE ZHUANHUA JISHU

肖波 马隆龙 李建芬 朱跃钊 主编



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn



现代生物质能源
技术丛书

生物质热化学转化技术

肖波 马隆龙 李建芬 朱跃钊 主编

北京
冶金工业出版社
2016

内 容 提 要

本书以生物质热化学转化技术为主线,从生物质资源和特性入手,重点阐述了生物质储运及预处理技术、生物质燃烧技术、生物质热解气化技术、生物质材料技术等方面的内容,并介绍了国内外在该领域的研究进展情况及发展前景。全书共分9章,包括生态系统中的生物质资源,生物质的特性,生物质收运、储存与机械预处理技术,生物质燃料及其制备工艺,生物质燃料燃烧技术,生物质热解液化技术,生物质热解气化技术,生物质原油提炼技术,生物质热转化材料技术。

本书内容丰富、取材新颖,对生物质热化学转化技术进行了比较完整和深入的讨论,系统性强。本书既可作为能源、化工、材料、环境、机械等相关学科的高等院校师生阅读材料,也可供相关科研院所的工程技术人员、管理干部及关注该技术的相关人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物质热化学转化技术/肖波等主编. —北京:冶金工业出版社, 2016. 6

(现代生物质能源技术丛书)

ISBN 978-7-5024-7135-4

I. ①生… II. ①肖… III. ①生物能源—热化学—转化
IV. ①TK6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第075308号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

策划编辑 谢冠伦 责任编辑 李维科 李鑫雨 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7135-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016年6月第1版,2016年6月第1次印刷

169mm×239mm; 19.5印张; 381千字; 298页

59.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

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

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

作者简介

肖波，华中科技大学教授，博士生导师，华中科技大学生态能源研究所所长。长期从事生物质能源技术及清洁生产技术研究，承担国家和省部级等纵横向科研项目 30 余项；荣获国家教委、湖北省及武汉市科技成果奖 5 项；获得国家发明专利 12 项；在国际权威期刊上发表论文 100 余篇。近年来，大力推广生物质热化学转化与利用技术，并利用该技术协助建立 4 个生物质热解和气化生产民用燃气示范基地，为居民提供生活燃气服务，供气达万余户，解决了农林废弃物堆放和焚烧污染难题，取得了良好的经济、社会和环境效益。

马隆龙，中国科学院广州能源所党委书记兼副所长，研究员，博士生导师，“973”计划项目首席科学家，“百千万人才工程”国家级人选，“万人计划”人选，享受国务院政府特殊津贴。长期从事生物质能源科研开发和战略研究工作，主要研究方向为生物燃料高效制备与利用、生物质热解气化及发电以及生物质全组分高效转化与利用。主持完成了“973”计划、国家基金、“863”计划、科技攻关、重大国际合作项目和广东省研究项目等科研项目 30 余项，取得了水平较高的科研成果和较大的经济效益。

李建芬，武汉轻工大学教授，博士，湖北省新世纪高层次人才，湖北省有突出贡献中青年专家。主要从事固体废物资源化及生物质热转化利用技术的应用基础研究。近年来主持国家和省部级项目 20 余项，主编专著 6 部；发表高水平学术论文 100 余篇；获国家发明专利 8 项；获省部级科技成果奖 6 项。致力于推广生物质热化学转化与利用技术，协助建立 3 个生物质燃气站，受到当地政府和用户好评，经济、社会和环境效益显著。

朱跃钊，博士，教授，博士生导师。从事热科学与工程教学和科

研工作，并作为常务副理事长筹建“中国绿色能源产业技术创新战略联盟”，牵头组建“江苏省低碳技术学会”并当选常务副理事长；担任中国机械工程学会膨胀节委员会副主任委员，江苏省工程热物理学会副理事长及江苏省过程强化和新能源装备重点实验室副主任，入选省“六大人才高峰”。主持国家和省级项目 10 多项；发表论文近 100 篇，主编著作 3 部；授权发明专利 30 项；获国家和省级奖励 5 项。

前 言

从物质的角度，地球上物质资源可分为地下不可再生矿物资源和地表可再生的生物质碳氢资源。经济发展必须以物质资源为媒介，而且当今世界经济80%以上是利用地下不可再生矿物资源，如果现代工业没有地下矿物资源，世界经济将随之崩溃，矿物资源匮乏和生态环境恶化将动摇现代物质文明的基石。利用低品位的自然资源获取经济建设所需要的物质，是未来科技发展的重点领域，也是人类物质文明总的发展趋势，人类要有足够的心理准备去迎接开采良田土壤冶炼金属的时代。利用低品位物质资源进行可持续发展的经济，关键依靠的是新的化学方法、化学工艺和工业装备。

相对于化石碳氢能源，生物质就是一种低品位的碳氢资源。生物质与化石能源特性相比，它们的主体成分都是碳和氢，这在科学原理及物质本质上决定了生物质具备转化为与化石能源同品质燃料和同品质材料的可行性，决定了未来能源和有机材料的出路。导致生物质燃料品质低的原因是其较高的含氧量和含水量，以及体积大且不规则的物理特性，这些劣势不是本质问题，是科学技术发展所处的阶段问题，它可以通过不断进步的科学技术和方法予以解决。至于生物质资源分散更不是障碍，这是国家系统管理的问题，在国家层面容易解决。因此，利用低品位资源维持人类的生存，才是人类实践活动的常态。越早掌握将低品位资源转换为高品质材料的科学技术，就越能占据未来发展的主动，这是新一轮科学追求的原动力引擎。

在支撑现代商品经济生产的金属材料、无机材料和有机材料三大材料体系中，基于碳氢资源的有机材料最具有活力，它不仅是国民经济中重要的材料，而且是国民经济中的主要能源。发展至今，抗拉强度最高的是碳纤维，而热值最高的常规能源是氢能。从化学的角度看，物质在开采、加工、使用和再生的生命周期中活动的本质，在很大程

度上可以归纳为各种元素氧化物的还原加工、使用过程的氧化物回归和氧化物再还原加工的往返过程。然而世界上 100 多种元素中，只有碳和氢两种元素被人类氧化使用后，能够通过大自然太阳能的光合作用合成为碳氢化合物资源（生物质），并可以规模化收获再利用，而其他所有元素在使用过程中氧化后，都不能通过大自然再生。例如铁矿石冶炼还原成钢铁材料，在使用过程中被氧化成氧化铁后，自然界不能将氧化铁规模化地还原。尤其是绝大多数元素的氧化物为固体，经过多次人为再生回用的过程，越来越分散于广阔空间的陆地上和水体中，在工程上是无法收集的，也无法按常规方法循环再生。无机材料的原料经过高温烧制后，很难再规模化逆转为原来的原料。生物质碳氢资源具备材料、能源和可持续发展的优势，这是其他元素物质所不具备的。可见，生物质碳氢资源科学对人类的可持续发展极为重要。

支撑当今世界有机材料的化石碳氢能源资源越来越匮乏，所导致的环境问题越来越严重，解决这一问题的重担落在生物质碳氢资源肩上。其中的科学问题是如何对低碳氢含量的生物质纤维材料进行精细化加工及低成本高效率转化，以达到化石能源的燃料品质和煤化工及石油化工材料品质的标准要求。

生物质作为固体燃料，应该达到燃煤的燃烧温度，以替代燃煤，比如要达到 1400℃ 以上温度去烧制水泥；生物质转化为商品燃气，应该达到中热值煤和高热值天然气的热值标准；生物质转化为商品燃油，应该转变为汽油、柴油和煤油的烷烃物质；生物质转化为有机原料、塑料和纤维，应该具备相应的分子结构和物化性能。

生物质热化学转化，除了解决生物质的 高温高效和清洁燃烧的科学问题之外，更重要的任务是如何通过热化学手段，把生物质碳氢化合物的复杂大分子转变成为高品质的气体燃料、液体燃料和有机化工原料及材料等结构规则的碳氢化合物。这可以利用热解技术，将生物质转化为热解油，再加以分离纯化；也可以利用气化技术，先将生物质经热化学转化为 H_2 、 CO 、 CH_4 等小分子燃气，再合成需要的高分子燃料和有机化工原料。这既需要开发相关热化学转化技术和传热传质技术，也需要研制相关工艺设备。可见，生物质热化学转化过程是十

分复杂的热化学化工过程，生物质热化学转化将不断引出一系列新的复杂的化工科学问题，它包括化学、工程热物理、材料、机械和控制等多学科交叉的科学问题。这个科学问题的解决及其技术和装备的延伸，必将形成新兴生物质化学工业，并带动新兴能源、有机材料、农业和环保产业链兴起。在这个新兴工业平台上，人类将可在短期内摆脱对化石能源的依赖，利用取之不尽的低品位生物质碳氢资源，获得支撑国民经济可持续发展的高品质的绿色能源和有机材料。本书第1~3章介绍了生物质资源和特性及其储运技术，第4~9章用大量篇幅详细地介绍了生物质燃料制备、燃烧技术、热解液化技术、气化技术、生物油提炼技术、生物质材料技术，并对其发展前景进行了展望。希望本书能为读者对生物质热转化利用技术提供一些有益的参考。

本书是编者长期从事生物质热转化技术研究和实践成果的积累。参与本书编写的主要成员有：华中科技大学肖波教授、李光兴教授、靳世平教授、梅付名教授、舒朝晖教授、刘石明副教授、胡智泉副教授，中国科学院广州能源研究所马隆龙研究员，武汉轻工大学李建芬教授、许芳实验师，南京工业大学朱跃钊教授等；华中科技大学博士研究生王布匀、陈治华、易其国、王晶博，硕士研究生朱小磊、徐琼、冉丽、张焕影、孙蕾、李炳堂、王海萍、廖玉华、马彩凤、杨琳、蔡海燕、邓芳、陈健、王冰、李方华、李婷、马姝、王训、滕鹰、熊梅杰、张振雷、胡万勇、陈松黄、华伟、杨娉、许婷婷等，武汉轻工大学研究生王强胜、路遥等为本书进行资料收集、整理、文字修改和校对，做了大量的工作。同时本书还吸收和借鉴了该领域有关的研究成果，编者在此对给予本书以启示及参考的有关文献著作者深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，诚请专家与读者予以批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

1 生态系统中的生物质资源	1
1.1 自然界的生物质	1
1.1.1 陆生植物	2
1.1.2 水生植物	6
1.1.3 动物机体	7
1.1.4 其他生物质	8
1.1.5 自然界的生物质总量	9
1.2 生物质循环的生态保护功能	9
1.2.1 光合作用碳循环	10
1.2.2 植物的净化功能	11
1.2.3 植物的水土保持功能	15
1.2.4 植物的气候调节功能	16
1.3 自然界生物质潜在的能源资源	16
1.3.1 生物质与能源的区别	17
1.3.2 生物质作为能源存在的问题	17
1.3.3 生物质能源的技术瓶颈	20
1.4 生物质能源的使命	23
1.4.1 化石能源的作用及其问题	23
1.4.2 气候变暖对人类的影响	24
1.4.3 其他可再生能源的局限性	26
1.4.4 生物质热化学转化技术与低碳社会的关系	28
1.4.5 生物质热化学转化技术的使命	28
2 生物质的特性	31
2.1 生物质的组织特性	31
2.1.1 生物质的元素组成	31
2.1.2 生物质高分子化学特性	36
2.2 生物质的工程热物理特性	53

2.2.1	生物质导热特性	53
2.2.2	生物质比热容	55
2.2.3	热值	58
2.3	生物质的材料学特性	60
2.3.1	生物质材料物理特性	61
2.3.2	粒度	61
2.3.3	密度	63
2.3.4	生物质粉料的表面性质	65
2.3.5	生物质材料机械强度性能	67
2.3.6	生物质机械加工特性	69
3	生物质收运、储存与机械预处理技术	76
3.1	生物质收集方法与设备	76
3.1.1	农作物秸秆收集方法与设备	76
3.1.2	水生植物收集方法与设备	78
3.1.3	林木收集方法与设备	80
3.2	生物质运输方法与设备	81
3.2.1	车辆运输	82
3.2.2	其他运输方式	82
3.3	生物质储存方法与设施	84
3.3.1	生物质在自然界中的变化	84
3.3.2	生物质厂内储存方法与设施	85
3.3.3	生物质厂外储存方法与设施	86
3.4	生物质机械预处理方法与设备	86
3.4.1	生物质破碎及设备	86
3.4.2	生物质干燥及设备	87
4	生物质燃料及其制备工艺	90
4.1	生物质自然燃料	90
4.1.1	秋后秸秆几何特性及其燃料制备工艺	90
4.1.2	林木废料几何特性及其燃料制备工艺	92
4.1.3	陆生野生生物质几何特性及其燃料制备工艺	93
4.1.4	水生生物质特性及其燃料制备工艺	95
4.1.5	谷壳原料特性及其燃料制备工艺	98
4.1.6	污泥原料特性及其燃料制备工艺	100



4.1.7	玉米芯原料特性及其燃料制备工艺	102
4.1.8	甘蔗渣原料特性及其燃料制备工艺	104
4.2	生物质成型燃料及其制备技术	107
4.2.1	生物质成型燃料原理	107
4.2.2	生物质成型燃料制备工艺	109
4.2.3	生物质成型燃料生产设备	110
4.2.4	生物质成型燃料存储和运输	113
4.3	生物炭燃料及其制备技术	115
4.3.1	生物炭燃料生产原理	115
4.3.2	生物炭燃料生产设备及制备工艺	115
4.3.3	生物炭燃料存储和运输	117
4.4	生物质焦油燃料	117
4.4.1	生物质焦油生成原理	117
4.4.2	生物质焦油的提取方法与设备	119
4.4.3	生物质焦油市场	121
4.5	生物质微米燃料及其制备技术	122
4.5.1	生物质微米燃料	122
4.5.2	生物质微米燃料物理特性	122
4.5.3	生物质微米燃料技术	124
5	生物质燃料燃烧技术	129
5.1	生物质燃料燃烧的能源意义	129
5.1.1	生物质燃烧的发展	129
5.1.2	生物质燃烧的应用及意义	130
5.2	生物质燃料燃烧的原理	137
5.2.1	生物质燃烧热力学和化学平衡	137
5.2.2	生物质燃烧动力学	140
5.2.3	生物质燃烧的物质平衡与能量平衡	145
5.3	生物质微米燃料高温燃烧技术及其意义	148
5.3.1	粉尘爆炸与生物质微米燃料高温燃烧技术	148
5.3.2	生物质微米燃料高温燃烧的原理	150
5.3.3	生物质微米燃料燃烧设备	152
5.3.4	生物质微米燃料高温燃烧技术的前景	160
6	生物质热解液化技术	163
6.1	生物质热解液化的能源与材料意义	163



6.1.1	生物质热解液化的概念	163
6.1.2	石油资源与生物质原油特性异同点	163
6.1.3	生物质热解液化的能源意义	164
6.1.4	生物质热解液化的材料意义	165
6.2	生物质热解液化原理	165
6.2.1	生物质热解液化反应机理	165
6.2.2	影响生物质热裂解的主要因素	167
6.2.3	生物质热裂解反应动力学	170
6.3	生物质热解液化原料选择	173
6.3.1	陆生生物质热解液化原料与含量特征	173
6.3.2	水生生物质热解液化原料与含量特征	174
6.3.3	塑料垃圾热解液化原料	175
6.3.4	其他生物质热解液化原料	175
6.4	生物质热解液化工艺与设备	175
6.4.1	生物质热解液化技术的工艺类型	175
6.4.2	生物质快速热解液化技术	176
6.4.3	生物质热解液化技术的流程	183
6.4.4	生物质热解液化设备	185
6.4.5	几种新型热解工艺	186
6.5	生物质热解液化技术研究进展	188
6.5.1	基本过程	189
6.5.2	新工艺	189
6.5.3	反应器	190
6.5.4	应用前景	193
7	生物质热解气化技术	195
7.1	生物质热解气化的能源与材料意义	195
7.1.1	生物质热解气化技术的发展	195
7.1.2	生物质热解气化的能源意义	196
7.1.3	生物质热解气化的材料意义	197
7.2	生物质热解原理	199
7.2.1	生物质热解热力学原理	199
7.2.2	生物质热解动力学原理	200
7.3	生物质气化过程及其影响因素	203
7.3.1	生物质气化的反应过程	203



7.3.2	原料特性对生物质气化的影响	204
7.3.3	操作条件对生物质气化的影响	205
7.3.4	反应器对生物质气化的影响	206
7.3.5	其他影响因素	207
7.4	生物质热气化工艺	207
7.5	生物质热气化设备	209
7.5.1	气化设备的发展及应用	209
7.5.2	固定床气化炉	210
7.5.3	流化床气化炉	211
7.5.4	携带床气化炉	212
7.5.5	旋风气化炉	213
7.5.6	微米燃料外加热生物质气化炉	215
7.6	生物质热气化技术研究进展	217
7.6.1	生物质气化技术的应用	217
7.6.2	现代生物质气化技术的研究发展	221
8	生物质原油提炼技术	225
8.1	生物油分离技术	225
8.1.1	蒸馏和分级冷凝分离	225
8.1.2	溶剂分离	226
8.1.3	生物油精制技术	229
8.2	生物质原油提炼产品	234
8.2.1	单一化学品的分离	234
8.2.2	多级化学品的分离	237
8.3	生物质热裂解制氢	238
8.3.1	热解的概念及分类	238
8.3.2	影响热解的主要因素	239
8.3.3	生物质催化气化制氢	240
8.4	生物质合成气制备技术	241
8.4.1	生物质气化制备合成气技术路线	242
8.4.2	生物质气化制备合成气的影响因素	243
8.4.3	生物质合成气的品质	244
8.4.4	生物质气化制备合成气的研究现状	245
8.5	生物质合成气甲烷化技术	247
8.5.1	生物质合成气甲烷化的化学原理	248
8.5.2	生物质合成气甲烷化的影响因素	248

8.5.3 生物质合成气甲烷化的前景	250
8.6 生物质合成气化学品合成技术	251
8.6.1 生物质气化合成甲醇技术及特点	252
8.6.2 国外生物质气化合成甲醇工艺进展	255
8.6.3 国内研究进展现状	259
8.7 生物质合成气燃油制品合成技术	261
8.7.1 生物质合成气费托合成	261
8.7.2 生物质合成气费托合成产物	266
8.8 生物质化学产品直接提炼技术	267
8.8.1 生物质生产乙烯	267
8.8.2 生物质生产乙二醇	268
8.8.3 生物质生产丁二酸	268
8.8.4 生物质生产多元醇	269
8.8.5 生物质生产琥珀酸	269
8.8.6 生物质生产甲醇、合成氨	270
8.8.7 生物质生产醋酸	271
8.8.8 纤维素生物质制取芳烃	271
8.8.9 生物质制氢	272
9 生物质热转化材料技术	273
9.1 生物质材料及发展趋势	273
9.2 生物质炭吸附材料	274
9.2.1 木质活性炭材料	274
9.2.2 竹制活性炭材料	275
9.2.3 生物炭肥料	275
9.3 生物质热转化可降解材料	276
9.3.1 壳聚糖可降解生物质材料	276
9.3.2 淀粉类可降解生物质材料	276
9.4 生物质热融纤维材料	277
9.5 生物质热融复合塑料	279
9.6 生物质材料的应用与发展	282
9.6.1 灌木人造板	283
9.6.2 木基或生物质基塑料复合材料	283
9.6.3 农作物秸秆复合材料	284
9.6.4 生物质胶黏剂与其他生物质材料	284
参考文献	286

1 生态系统中的生物质资源

生物界是一个多层次的系统，生态系统是其中非常重要的一个层次，生态系统包括特定范围内的生物与环境因子。同更大的生物圈和较小的群落、种群以及个体层次比较起来，生态系统更多地强调生物与环境因子间的相互作用。因此在使用生态系统这一名词的时候，通常更关注于生物与环境之间的关系，而不仅仅将生物受到的环境影响或者生物对环境产生的影响限制于一时一地。最大的生态系统显然就是地球上的整个生物圈，当我们利用生物质的时候，对环境产生的影响可能是深远或者难以预测的，这是在利用生物质的时候必须注意的一点。

生物质可被认为是建立在光合作用基础之上的各种有机体。这个定义显然过于宽泛，因此一般认为生物质是来源于各种动物、植物、微生物的生命活动且能够再生的物质。在对生物质资源加以利用的时候，需要考虑到人工行为对环境的影响，而行之有效的方法莫过于根据生物质生长的环境条件进行生态系统的划分而具体加以讨论。因此，人们常常将生物质资源根据其生长条件而划分成为陆生植物、水生植物、动物以及其他生物质等。

从能源角度来说，生物质是最早被人类利用的。毕竟，这是一种从人类学会钻木取火开始就主动利用的能源方式。时至今日，我国广大农村每天升起的袅袅炊烟依然在诉说着人们对生物质利用的悠久历史。但是这种生物质的能量利用方式无疑是低效而且不能适应现代社会发展需求的，因此各种提升生物质在能源行业中效能的方式也就应运而生了。例如以乙醇发酵和长醇发酵以及生物柴油分解的生物利用方式，在生物质转化为高等级能源的过程中充分利用了生物反应温和与清洁的特点，是一种很有前途的能源转化方式。但是利用生物方法实现能源转化方式转化效率低而且不够稳定，因此目前最有效而且发展较快的转化方式是生物质的热化学转化技术。适用于热化学转化技术的生物质种类繁多，而且能够有效地将生物质中的各种有机物都转变为能源产品，这都是生物法所远远不能比拟的。本书主要讨论的就是生物质的热化学转化方法。

1.1 自然界的生物质

自然界的生物质基本上都是建立在植物或者藻类的光合作用基础上的。植物是能够进行光合作用的多细胞真核生物。植物基本上都是陆生的，即使是水生植物也都符合陆生生长的形态结构与生殖要求。地球上生存的植物大约有 40 多万



种，结构不同、形态各异，这都是为了适应不同的生活条件而逐步进化产生的差异。

1.1.1 陆生植物

细胞分化过程中，形成了组成植物的各类组织，并组成了植物的各种营养器官和繁殖器官。根据其功能和结构的不同，植物的组织可以被分为分生组织、薄壁组织、保护组织、输导组织、机械组织和分泌组织等。分生组织具有细胞分裂的能力，位于植物生长的部位。其他的组织都是从分生组织分生而来的。植物生物质则主要是由薄壁组织合成而来的，薄壁组织又被称为基本组织，其中的同化组织是光合作用发生的部位。薄壁组织中还有一类储存组织，储藏了大量的淀粉、脂类和蛋白质。保护组织则是植物暴露于空气中的表皮，通常只有一层细胞且排列紧密。输导组织是植物体内运送水分和营养物质的组织，包括导管和筛管，分别组成了木质部和韧皮部。机械组织在植物体内起着支持的作用，细胞大多为细长形，主要的特点是都有加厚的细胞壁。机械组织中的厚壁细胞具有加厚的次生壁，且大部分都木质化，成熟细胞一般没有生活的原生质体。厚壁组织中形状较长的一般称为纤维，纤维不仅仅起着支持植物形状的作用，还对人类有着其他的重要作用，比如苧麻中的纤维长久以来就被作为纺织纤维的来源，其中的次生细胞壁含有的大量木质纤维素也得到了越来越多的关注。分泌组织可以产生一些特殊的物质，例如蜜汁、黏液、挥发油、树脂、乳汁等，作为次生代谢产物，这些物质对植物在生态系统中的生存起到了重要的作用，例如曼陀罗的生物碱就可以对其他的植物生长起到拮抗作用，还对一些昆虫有毒。与此同时，这些次生代谢产物对人类也有着多种重要作用，比如橡胶、蜡质、单宁和淀粉等。

承担一定生理功能且具有一定形态特征的有机体组成部分，就是器官。被子植物的植物体中各个器官比较完备，包括承担营养物质吸收、合成、运输和储藏等生理功能的营养器官和承担繁殖任务的繁殖器官，其中前者为根、茎、叶，后者包括花、种子和果实。

除了少数的气生种类外，一般植物的根是生长于地下的营养器官，除了将植物体固着于土壤中之外，根还要从土壤中吸收水分和无机盐。一般的生长因子也要通过根从土壤中吸收。另外在菌根和根瘤这两种情况下，根也承担了合成的任务。根构成了生态系统中的地下生物质部分，这部分生物质通常不会被人类所利用，而是重新返回到生物的物质循环中去。

茎是植物地上部分的骨干，在茎上着生叶、花和果实。茎的形状根据植物的生长需求而各有不同，一般最常见的为圆柱形。茎是植物的地上生物质部分的主要部分，相对已经被广泛应用的果实、种子和次生代谢产物，现代生物技术也逐渐开始重视茎在能源利用中的作用。特别是茎中次生木质部中含有的大量木质纤



纤维素，不论是用于第二代乙醇还是热化学转化技术，可提供的潜在生物量都是非常巨大的。

叶是植物重要的营养器官，通过叶片中的光合组织进行的光合作用产生的生物质，是陆地上绝大多数生物量产生的基础。理论上叶也是可以加以利用的生物质部分，但是由于叶片中含有较多的蛋白质、酶并富集了植物在生长时从环境中提取并隔离的多种有害物质，目前对叶的利用还未有系统的研究。我国特别是城市，在每年秋天往往会对行道树的叶片进行集中燃烧，这会产生大量的空气污染物，显然不是一种很好的处置方式。

果实与种子既是植物的繁殖器官，也是人类及动物的主要粮食来源。例如各种水果，可食用的部分就是其果实部分；而水稻、小麦的种子胚乳经加工后就成为了大米、面粉；各种食用的植物油、调味品也主要是植物的果实和种子。一般所谓的作物产量指的就是这两个部分。

从能源利用的角度来看，特别是在现代能源技术发展迅猛的背景下，整个植物的全部生物质都可以作为能源供给使用，将植物的可利用部分仅限制于某个组织或者器官的做法已经很不现实了。根据植物的化学成分或者主要利用方式进行划分，则是在具体实践中常用的方法。

最简单的能源转化方式莫过于利用糖料作物进行的乙醇生产。例如甘蔗、甜菜和甜高粱中富含可溶性糖，这些作物中的含糖量很高以至于它们可以被直接用于酵母发酵生产乙醇。巴西盛产甘蔗，通过这种方式产生的乙醇成为了巴西主要的燃料乙醇来源。我国东北盛产甜菜，也可以用来进行乙醇的生产。这类作物最大的优点在于含糖量高，因此所需的预处理以及生产后的废渣处置都非常简单，而且生长周期也不长，一旦气候条件和种植条件都满足的话，就能迅速地达到很高的生物质产出。但是这类作物也有一定的缺点，首先是它们普遍需要较好的生长条件，会与粮食作物争地争肥，其次就是糖也是很多工业应用的原料，将其用于能源生产会严重影响其他行业的发展。

目前，用来生产生物乙醇的原料多是淀粉，因此关于淀粉类作物方面的研究是最多的。以淀粉为原料酿酒技术已经有很长的历史了，工业化生产燃料乙醇正是利用了酿酒酵母在厌氧条件下的发酵功能。常见的禾谷类作物产生的淀粉都可以用来生产乙醇，例如小麦、大麦、玉米、高粱以及水稻等，其次还有甘薯、木薯、马铃薯等薯类作物。但是这些作物一般也都是当地重要的粮食作物，利用这些作物生产乙醇不可避免地会引起汽车和人争夺粮食的结果。因此目前这类乙醇的生产基本都是利用农业生产过程中产生的废弃部分，例如霉变、劣质或者口感较差的面粉、大米等。但也因此产生了很多限制因素，第一就是这样的原料来源受到严重限制，特别是由于粮食作物生产技术和方法的不断改进，使得粮食的营养价值和口感也在不停地提升，而且在生产过程中带来的损失也越来越少，能够