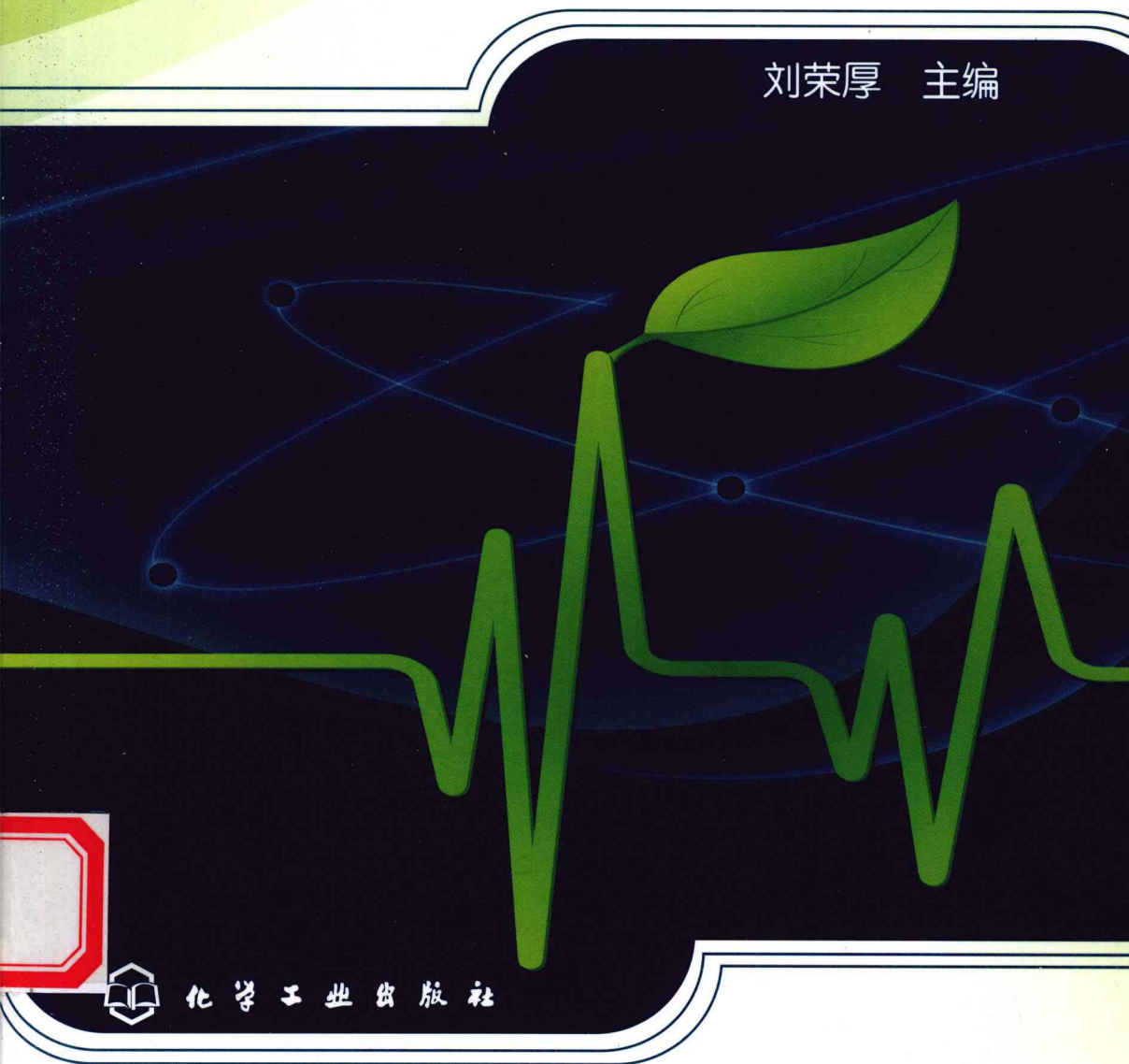




高等学校教材

生物质能工程

刘荣厚 主编



化学工业出版社



高等学校教材

TK6
L662-2

生物质能工程

刘荣厚 主编



化学工业出版社
· 北京 ·

内 容 提 要

本教材根据编者长期的教学经验和研究成果,结合世界上生物质能的研究发展前沿,系统地阐述了生物质能转换技术的原理、工艺、设备及其应用。本教材注重理论与实践相结合,主要包括生物质能转换技术定义及类型、生物质的直接燃烧技术、沼气发酵工艺及户用沼气技术、大中型沼气工程、燃料乙醇技术、生物质热裂解机理及工艺、生物质快速热裂解液化技术、生物质气化技术、生物质压缩成型技术、生物质制氢技术、生物柴油技术、生物质超临界水处理制氢技术、能源生态模式与生物质能项目技术经济评价等内容,以期能对我国生物质能源的教学、科研与开发产生有益的影响。

本教材可作为新能源和可再生能源领域相关专业本科生和研究生的教材,并可供从事相关专业的高等院校师生、科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物质能工程/刘荣厚主编. —北京:化学工业出版社,
2009.9

高等学校教材

ISBN 978-7-122-06289-5

I. 生… II. 刘… III. 生物能源-高等学校-教材
IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 118439 号

责任编辑:侯玉周

文字编辑:向东

责任校对:宋 玮

装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张21¼ 字数447千字 2009年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00 元

版权所有 违者必究

《生物质能工程》编写人员

主 编：刘荣厚（上海交通大学）

参编人员：（按姓名笔画排序）

王效华（南京农业大学）

朱锡峰（中国科学技术大学）

李文哲（东北农业大学）

张全国（河南农业大学）

陈冠益（天津大学）

林 聪（中国农业大学）

郑文君（南开大学）

易维明（山东理工大学）

盛奎川（浙江大学）

梅晓岩（上海交通大学）

董良杰（吉林农业大学）

前 言

随着世界人口增长及生产的发展,人类对能源的需求越来越大,而常规能源资源储量有限且不可再生,因此,如何合理开发可再生能源已经成为人类进入21世纪以后面临的新课题。在众多的可再生能源中,具有广泛使用价值的是生物质能。绿色植物利用叶绿素通过光合作用把空气中的 CO_2 和 H_2O 转化为葡萄糖并将太阳光的光能储存在其中,然后葡萄糖再进一步聚合成淀粉、纤维素、半纤维素和木质素等多糖并构成生物体。而生物质能则是指直接或间接地通过绿色植物的光合作用,把太阳能转化为化学能后固定和储藏在生物体内的能量。作为研究对象的生物质,通常是指农业和林业废弃物,如秸秆、稻壳、锯屑、甘蔗渣、花生壳、动物粪便及城市垃圾等。生物质由C、H、O、N、S、P等元素组成,被誉为即时利用的绿色煤炭。生物质能是唯一既具有矿物燃料属性,又具有可储存、运输、再生、转换的特点,并较少受自然条件限制的能源。因此生物质能转换技术和产品具有极大的潜在市场,成为世界,特别是我国发展多元化的清洁能源战略的重要组成部分。

本教材根据编者长期的教学经验和研究成果,结合世界上生物质能的研究发展前沿,系统地阐述了生物质能转换技术的原理、工艺、设备及其应用。本教材注重理论与实践相结合,主要包括生物质能转换技术定义及类型、生物质的直接燃烧技术、沼气发酵工艺及户用沼气技术、大中型沼气工程、燃料乙醇技术、生物质热裂解机理及工艺、生物质快速热裂解液化技术、生物质气化技术、生物质压缩成型技术、生物质制氢技术、生物柴油技术、生物质超临界水处理制氢技术、能源生态模式与生物质能项目技术经济评价等内容,以期能对我国生物质能源的教学、科研与开发产生有益的影响。本教材可作为新能源和可再生能源领域相关专业本科生和研究生的教材,并可供从事以上相关专业的高等院校师生、科研和工程技术人员参考。

本教材由刘荣厚主编,王效华、朱锡峰、李文哲、张全国、陈冠益、林聪、郑文君、易维明、盛奎川、梅晓岩、董良杰参与编写。其中,刘荣厚编写第一章、第六章;王效华编写第十三章;朱锡峰编写第八章;李文哲编写第三章;张全国编写第十章;陈冠益编写第十一章;林聪编写第四章;郑文君编写第十二章;易维明编写第七章;盛奎川编写第九章;梅晓岩编写第五章;董良杰编写第二章;最后由刘荣厚教授统稿。很多研究生对本教材的编写给予了热情帮助,在此表示诚挚的谢意。化学工业出版社对本书的编写给予了热情指导,在此表示感谢。

本书在编写过程中，参考了大量国内外有关资料，在此表示深深的谢意。由于书中内容涉及面广，编者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2009 年 6 月 4 日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生物质能的概念与资源	1
一、生物质能的概念	1
二、光合作用与生物质能	1
三、生物质的种类和资源	3
第二节 生物质能转换技术定义及类型	5
一、生物质能转换技术定义	5
二、生物质能转换技术类型	5
第二章 生物质的直接燃烧技术	8
第一节 生物质的特性	8
一、生物质的成分与化学特性	8
二、生物质的物理特性	11
第二节 秸秆与薪柴	13
一、秸秆与薪柴的性质	13
二、秸秆与薪柴的资源量计算	14
第三节 生物质的燃烧机理与方式	15
一、燃烧的基本类型	15
二、生物质的燃烧过程	15
三、燃烧要素	16
四、影响燃烧速度的因素	17
第三章 沼气发酵工艺及户用沼气技术	19
第一节 沼气技术发展现状	19
第二节 沼气发酵的原理	21
一、甲烷的性质	21
二、沼气发酵原理	22
三、沼气发酵原料	24
第三节 沼气发酵的工艺条件	24
一、严格的厌氧环境	24
二、温度	25
三、pH 值	27
四、接种物	28

五、发酵原料	29
六、搅拌	31
七、沼气池的有机负荷	32
八、压力	33
九、添加剂和抑制剂	33
第四节 沼气发酵的工艺类型	34
一、以发酵温度划分	34
二、以进料方式划分	36
三、按发酵阶段划分	38
四、按发酵级差划分	40
五、按发酵含量划分	41
六、以料液流动方式划分	42
第五节 水压式沼气池的构造及工作原理	43
一、水压式沼气池的构造	43
二、水压式沼气池的工作原理	45
第四章 大中型沼气工程	47
第一节 大中型沼气的定义及发展现状	47
一、大中型沼气工程定义	47
二、大中型沼气的分类	47
三、大中型沼气工程的发展现状	48
第二节 大中型沼气工程厌氧消化器	48
一、分类依据	49
二、厌氧消化器类别	52
第三节 厌氧消化工艺参数	65
第四节 沼气工程的设计	67
一、大中型沼气工程设计内容与要求	67
二、沼气发酵消化器设计	68
第五节 沼气工程的施工	70
一、施工准备	71
二、施工质量控制与安全要求	71
三、施工验收	72
第六节 沼气的净化和储存	73
一、沼气脱水	73
二、沼气脱硫	73
三、沼气储存	77
四、输气系统的设计	77
第七节 沼气的输配	77

一、输气管道的设计	77
二、室内管道的安装	81
三、室外沼气管道的布置	84
第八节 大中型沼气工程实例	85
第五章 燃料乙醇技术	90
第一节 燃料乙醇技术的发展概况	90
一、燃料乙醇的定义和性质	90
二、燃料乙醇技术发展现状	91
第二节 燃料乙醇的生产原料	94
一、生产燃料乙醇的淀粉类生物质原料	94
二、生产燃料乙醇的糖类生物质原料	95
三、生产燃料乙醇的木质纤维素类原料	96
第三节 乙醇发酵机理	99
一、生物质原料乙醇生产过程	99
二、酵母菌乙醇发酵的代谢途径及副产物	100
三、乙醇发酵过程	105
四、乙醇生产过程常用的技术指标	106
第四节 乙醇发酵微生物	107
一、乙醇发酵微生物的性能	107
二、乙醇生产常用的酵母菌菌株	107
三、能进行乙醇发酵的细菌	110
四、乙醇发酵菌的选育及基因工程菌的构建	112
第五节 乙醇蒸馏脱水的原理及工艺流程	114
一、乙醇蒸馏、脱水原理	114
二、乙醇蒸馏脱水工艺流程	116
第六节 糖类原料乙醇发酵工艺与实例	117
一、原料预处理工艺	118
二、糖液的灭菌工艺	119
三、糖类原料乙醇发酵工艺	119
四、糖类原料乙醇发酵实例	122
第七节 淀粉类原料乙醇发酵工艺与实例	126
一、淀粉类原料预处理	127
二、乙醇酵母的扩增培养	131
三、淀粉质原料乙醇发酵工艺类型	134
第八节 纤维素类原料水解工艺技术与实例	135
一、纤维素类原料水解机理	135
二、纤维素类生物质原料水解工艺技术	136

三、玉米秸秆制燃料乙醇工艺案例·····	140
四、木屑制取燃料乙醇工艺案例·····	142
第六章 生物质热裂解机理及工艺 ·····	148
第一节 生物质热裂解机理·····	148
一、生物质热裂解的概念·····	148
二、生物质热裂解反应机理·····	148
第二节 生物质热裂解反应动力学研究 ·····	152
一、概述·····	152
二、生物质热裂解反应动力学研究试验·····	153
第三节 生物质热裂解工艺类型及影响因素·····	157
一、生物质热裂解工艺类型·····	157
二、影响生物质热裂解过程及产物组成的因素·····	157
三、生物质热裂解液化技术的工艺流程·····	160
四、生物质热裂解液化技术研究及开发现状·····	161
五、生物质热裂解液化反应器的类型·····	163
第四节 典型生物质热裂解液化装置·····	164
一、旋转锥反应器生物质闪速热裂解液化装置·····	164
二、流化床反应器生物质闪速热裂解液化装置·····	172
第五节 生物油的特性·····	175
一、生物油组成成分·····	175
二、生物油的典型特性·····	176
三、生物油的精制·····	178
第六节 生物油的应用·····	179
一、概述·····	179
二、生物油用于燃烧 ·····	179
三、涡轮机发电·····	180
四、生物油作为柴油机代用燃料·····	181
五、生物油制取化学品·····	182
六、生物油制取黏合剂·····	182
七、农业废弃物热裂解循环利用制取缓释肥·····	183
八、不可冷凝气体及木炭的应用·····	183
第七章 生物质快速热裂解液化技术 ·····	184
第一节 生物质快速热裂解挥发特性·····	184
一、概述·····	184
二、快速热解动力学研究小型装置的研究现状及特点·····	185
三、生物质热解模型的研究概况·····	189
四、采用改进的层流炉对生物质热解挥发特性及反应动力学进行的研究 ···	192

第二节 下降管热裂解反应器中试装置的组成与工作原理	199
一、下降管热裂解反应器中试装置的组成	200
二、下降管热裂解反应器中试装置的工作原理	202
第三节 下降管热裂解反应器中试装置的物质平衡分析	203
一、物质转化分析	203
二、产物质量分布及计量	204
三、能量平衡分析	205
四、生物质热解过程耗热量	205
五、同步热分析仪的原理和 DSC 曲线的特性	207
六、部分实验结果	207
第四节 流化床反应器热裂解中试装置实例	209
一、加热系统	210
二、生物质颗粒喂料器	210
三、反应器	211
四、流动特性冷态实验	211
五、氩气流量控制	212
六、热解实验	213
第八章 生物质气化技术	214
第一节 概述	214
一、气化技术概念	214
二、气化技术分类	214
第二节 生物质气化原理	221
一、气化基本原理	221
二、气化反应动力学	222
三、气化反应平衡分析	225
四、气化主要影响因素	227
第三节 生物质气化评价参数与设计计算	228
一、生物质气化评价参数	228
二、气化过程质量和能量衡算	230
三、气化炉设计计算	231
第四节 生物质气化焦油的处理	233
一、燃气中焦油的特点及其危害	233
二、传统的焦油去除方法	234
三、催化裂解去除焦油方法	235
第五节 生物质气化技术的应用	238
一、气化气体特性	238
二、生物质气化供热	240

三、生物质气化集中供气	241
四、生物质气化发电	242
第九章 生物质压缩成型技术	244
第一节 概述	244
第二节 生物质致密成型原理	246
一、生物质压缩成型过程的颗粒特征	246
二、生物质压缩成型过程的黏结作用	248
第三节 生物质压缩特性及影响因素	249
一、秸秆的物理特性	249
二、秸秆的压缩特性	250
三、压缩过程的影响因素	252
第四节 生物质压缩成型工艺及流程	256
一、生物质压缩成型工艺	256
二、生物质压缩成型生产流程	258
第五节 生物质压缩成型设备	262
一、螺杆挤压式成型机	262
二、活塞挤压式成型机	263
三、压辊式成型机	264
第六节 生物质成型燃料的特性	267
一、生物质成型燃料的物理特性	267
二、生物质成型燃料的燃烧特性	269
第十章 生物质制氢技术	271
第一节 概述	271
第二节 生物质热化学转换法制氢	274
一、生物质气化制氢	275
二、生物质热裂解制氢	276
第三节 微生物法制氢	278
一、厌氧发酵法制氢	278
二、光合微生物法制氢	282
三、厌氧细菌和光合细菌联合产氢	288
第十一章 生物柴油技术	291
第一节 名词解释	291
第二节 生物柴油概述	292
一、生物柴油发展历史	292
二、生物柴油研究和利用现状	293
三、生物柴油原料和生产工艺	294
四、生物柴油的优缺点	294

第三节 生物柴油标准	295
一、各国生物柴油标准	295
二、生物柴油标准主要质量指标分析	297
第四节 生物柴油测试方法	298
第五节 生物柴油生产工艺	301
一、酸/碱催化法	301
二、超临界法	302
三、酶/细胞法	302
第六节 生物柴油案例	303
第十二章 生物质超临界水处理制氢技术	304
第一节 生物质超临界水处理制氢技术概述	304
一、超临界水体系的特征	304
二、生物质超临界水处理制氢的反应装置	306
三、生物质超临界水处理制氢技术的影响因素	309
第二节 生物质超临界水处理制氢技术的反应过程	314
第十三章 能源生态模式与生物质能项目技术经济评价	319
第一节 能源生态模式及其特点	319
第二节 技术经济评价指标	320
一、静态投资回收期 (PB)	320
二、动态投资回收期	320
三、成本效益分析	320
第三节 “猪、沼、果”南方能源生态模式	321
一、模式构成及其作用	321
二、经济评价	322
第四节 四位一体北方能源生态模式	324
一、模式构成、作用及特点	324
二、经济评价	325
参考文献	328

第一章 绪 论

第一节 生物质能的概念与资源

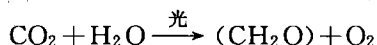
一、生物质能的概念

生物质 (biomass) 是自然界中有生命的、可以生长的各种有机物质, 包括动植物和微生物。生物质能是由太阳能转化而来的以化学能形式储藏在生物质中的能量。在 2005 年 2 月 28 日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议上通过, 自 2006 年 1 月 1 日起施行的《中华人民共和国可再生能源法》将生物质能的含义解释为: 生物质能, 是指利用自然界的植物、粪便以及城乡有机废物转化成的能源。与传统的矿物燃料相比, 生物质资源具有明显的特点, 即可再生性和无污染性。自 20 世纪 70 年代以来, 人们逐渐认识到矿产资源储量有限且无再生可能这一能源问题的严峻性, 而生物质作为地球上最丰富的可再生资源逐渐被世界各国重视起来。时至今日, 以寻找石油替代物为主要目的生物质资源转化为能源和化工原料的研究在世界上的许多国家掀起高潮, 并取得了一系列重大进展。随着资源和环境问题的突出以及生物质资源利用技术的日趋成熟, 生物质资源作为能源和化工原料的作用越来越重要, 最终必将成为社会长期持续发展的基本支柱之一。

生物质的基本来源是绿色植物通过光合作用把水和二氧化碳转化成碳水化合物而形成。因此, 绿色植物利用太阳能进行光合作用是维持地球上千百万种生物生存下去的基础。可以通过各种生物质能转换技术把生物质能加以利用。

二、光合作用与生物质能

光合作用是绿色植物吸收日光能还原二氧化碳并释放氧气的过程, 在这个过程中把光能转变为化学能积蓄在有机物中, 其总反应为

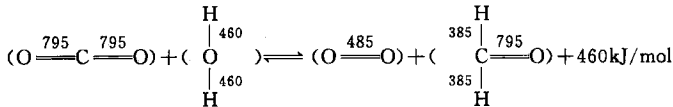


由于光合作用所利用的是自然界取之不尽、用之不竭的太阳能, 和大气中的 CO_2 与地球上十分丰富的水作原料, 故而绿色植物在地球上得到了优势的发展, 成为规模最大的一类植物。后来, 发现某些光合细菌也能进行光合作用。

地球上的植物通过光合作用每年约吸收 $7 \times 10^{11} \text{ t}$ 二氧化碳, 合成 $5 \times 10^{11} \text{ t}$ 有机物, 光合作用是地球上制造有机物的重要途径。从能量利用方面看, 光合作用又

是一个巨型能量转换过程，它是地球上唯一大规模地将太阳能转变成可储存的化学能的生物学过程。虽然通过光合作用固定的太阳能只约占到地球表面太阳能的千分之一，但其每年合成有机物的能量还是非常巨大的，约为世界每年消耗能量的10倍。

为什么光合作用能把太阳能转变为化学能储存起来呢？这是因为化合物的能量，实际上可以看作是由形成化合物的原子之间的化学键所储藏着的。从上述光合作用总反应式可以看出，反应前和反应后的碳原子、氢原子和氧原子的数目都没有变化，只是这三种元素作了重新排列，即原子的结合不同了。不同的原子之间的化学键所储藏着的能量亦不同，经测定，氢原子和氧原子之间化学键（H—O）的能量每摩尔为 460kJ；氧原子和氧原子之间化学键（O—O）的能量每摩尔为 485kJ；而氧原子与碳原子之间化学键（O—C）的能量每摩尔为 795kJ，碳原子与氢原子之间化学键（C—H）的能量每摩尔为 385kJ。这样就可算出光合反应前二氧化碳和水的总键能是 2510kJ，而光合反应后氧气和碳水化合物的总键能是 2050kJ，即



因此，反应后的氧气和碳水化合物里的键能，比反应前二氧化碳和水里的键能要小。键能小，就是所处的化学势位高，容易向键能大、化学势位低的方向转化。这种转化趋势就是化学能。光合作用在这里所得到的化学能是每摩尔 460kJ。我们利用有机物时，例如将有机物燃烧时，只要把 1mol 的碳水化合物和 1mol 的氧气结合起来，变成为更稳定的 1mol 的二氧化碳和 1mol 的水，同时就可以获得 460kJ 的能量。

绿色植物的光合作用过程实际上只由植物的叶和茎在进行。叶绿素细胞上有许多叶绿体，叶绿体上分布着许多叶绿素分子。它吸收光能后就相互传递并引发一系列化学反应，即发生光化分解；生成氧气和氢；发生光合磷酸化反应，生成腺三磷；发生二氧化碳同化反应，生成碳水化合物。植物的种类繁多，光合作用的方式亦各有差异，光合作用的效率也高低不同；按植物光合作用中碳同化过程来区分，可把植物分成为三碳（C₃）植物和四碳（C₄）植物。

大多数植物同化二氧化碳的途径都一样，即二氧化碳进入叶子以后，先与腺三磷生成一种叫磷酸甘油酸的中间化合物，然后再经几次反应生成碳水化合物。由于磷酸甘油酸是一种具有三个碳原子的化合物，所以凡属于这一类型的，都叫做三碳（C₃）植物。

有一些起源于热带地区的植物，它们的碳同化过程，在开头还要先生成一个比较稳定的叫做草酰乙酸的中间化合物。这个中间化合物，经过一些变化后，再放出二氧化碳，然后再像三碳植物一样，通过磷酸甘油酸而发生一系列同化反应，生成碳水化合物。在整个过程中，由于先生成的中间化合物是有 4 个碳原子的草酰乙酸，所以这一类植物就叫做四碳（C₄）植物。高粱、玉米、甘蔗等都是四碳植物。

四碳植物由于比三碳植物多了一个二氧化碳吸收和放出的过程，所以四碳植物比三碳植物具有更高的二氧化碳吸收能力，从而使得光合作用效果更好。四碳植物是高光效植物，其产量一般要比三碳植物高。除太阳光外，植物的产量还受温度、二氧化碳、氧气、水分及营养条件等多因素的影响。由于气候差异，世界上有的地区的作物光能利用率比一般作物高得多，可达4%以上。这里的光能利用率是指作物光合产物中储存的能量占照射到地面能量的百分率。

三、生物质的种类和资源

（一）生物质的种类

通常提供作为能源的生物质资源种类很多，主要是农作物、油料作物和农业有机剩余物、林木、森林工业残余物。此外，动物的排泄物，江河湖泊的沉积物，农副产品加工后的有机废物和废水，城市生活有机废水及垃圾等都是重要的生物质能资源。水生生物质资源比陆生的更为广泛。生物质资源既包括陆生植物，也包括水生植物。这是因为地球上有着广大的水域，而且不存在陆生资源那样与住宅、粮食等争地的问题。水域费用一般比陆地费用较低。水生生物质资源品种繁多，资源量大，领域广阔。

依据来源的不同，将适合于能源利用的生物质分为：农业生物质资源、林业生物质资源、畜禽粪便、生活污水和工业有机废水、城市固体有机废弃物。

1. 农业生物质资源

农业生物质资源是指农作物（包括能源植物）；农业生产过程中的废弃物，如农作物收获时残留在农田内的农作物秸秆（玉米秸秆、高粱秸秆、麦秸、稻草、豆秸和棉秆等）；农业加工业的废弃物，如农业生产过程中剩余的稻壳等。能源植物泛指用以提供能源的植物，通常包括草本能源作物、油料作物、制取碳氢化合物的植物和水生植物等。

2. 林业生物质资源

林业生物质资源是指森林生长和林业生产过程提供的生物质资源，包括薪炭林、在森林抚育和间伐作业中的零散木材、残留的树枝、树叶和木屑等；木材采运和加工过程中的枝丫、木屑、梢头、板皮和截头等；林业副产品的废弃物，如果壳和果核等。

3. 畜禽粪便

畜禽粪便是畜禽排泄物的总称，它是其他形态生物质（主要是粮食、作物秸秆和牧草等）的转化形式，包括畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。我国主要的畜禽包括猪、牛和鸡等，其资源与畜牧业生产有关。根据这些畜禽的品种、体重、粪便排泄量等因素，可估算出畜禽粪便的资源实物量。

4. 生活污水和工业有机废水

生活污水主要由农村和城镇居民生活、商业和服务业的各种排水组成，如冷却水、洗浴排水、洗衣排水、厨房排水、粪便污水等。工业有机废水主要是酒精、酿

酒、制糖、食品、制药、造纸及屠宰等行业生产过程中排出的废水等，其中，都富含有机物。

5. 城市固体有机废弃物

城市固体有机废弃物主要是由城镇居民生活垃圾，商业、服务业垃圾等固体有机废弃物组成。其组成成分比较复杂，受当地居民平均生活水平、能源消费结构、城镇建设、自然条件、传统习惯以及季节变化等因素影响。

（二）生物质资源

生物质资源是可再生的，且产量很大，中国土地面积辽阔，生物质潜在的资源量非常巨大，但目前的利用率很低。生物质是由植物的光合作用固定于地球上的太阳能，本质上是太阳能的储存形式，只要太阳辐射能存在，绿色植物的光合作用就不会停止，生物质就会将太阳能不断地储存起来，周而复始的循环使生物质资源取之不竭。可是，生物质能远远没有得到有效利用。据统计，每年经光合作用产生的生物质约 1700 亿吨，其能量约相当于世界主要燃料消耗的 10 倍；而作为能源的利用量还不到其总量的 1%。中国生物质能资源相当丰富，中国的生物质资源年产量是美国与加拿大总量的 84%，是欧洲总量的 121%，是非洲的 131%。

王久臣等（1997）研究表明，我国生物质资源可作为能源利用约 7 亿吨标准煤。2005 年我国主要农作物产量达 5 亿吨，秸秆产量约 6 亿吨。目前秸秆的用途主要是用于饲料、肥料和工业原料以及农村居民的燃料等，剩余部分可以作为规模化能源利用的原料，约为 1.5 亿~2 亿吨。农产品在加工过程中产生的剩余物主要包括稻壳、玉米芯、花生壳、甘蔗渣等，农产品加工剩余物的年产量约 1.3 亿吨。适合我国种植的能源作物主要有甜高粱、木薯、甘薯、油菜等草本能源作物和小桐子、麻风树、黄连木等木本能源作物。由于我国人口众多，人均耕地占有面积少，发展能源作物必须避免与粮争地和与人争粮的问题，种植能源作物必须利用边际土地资源。据测算，我国有各种荒地约 2.88 亿公顷。其中，宜农荒地 1 亿公顷；荒草地 0.49 亿公顷；盐碱地 0.1 亿公顷；沼泽地 0.04 亿公顷；宜林荒地 1.25 亿公顷，在上述荒地中约 2 亿公顷可用于能源作物的种植；林业资源每年可用于能源用途约 3 亿吨；2005 年畜禽粪便资源的实物量为 1.38 亿吨；全国年产有机废水 25.2 亿吨，废渣 0.7 亿吨；城市生活垃圾年产生量约 1.5 亿吨。工业废水和畜禽养殖场废弃物经过沼气化处理，理论上可以生产沼气约 800 亿立方米。

（三）生物质资源的特点

生物质由 C, H, O, N, S, P 等元素组成，被喻为即时利用的绿色煤炭。它的优点如下。

① 生物质资源分布十分广泛，远比石油丰富，可以不断再生。生物质能是地球上最普通的一种可再生能源，它遍布于世界陆地和水域的千万种植物之中，犹如一个巨大的太阳能化工厂，不断地把太阳能转化为化学能，并以有机物的形式储存