

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

生物质 洁净能源

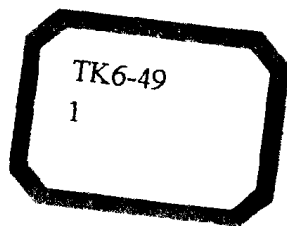
朱清时

阎立峰

郭庆祥 著

化学工业出版社





国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

生物质洁净能源

朱清时 阎立峰 郭庆祥 著

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质洁净能源/朱清时, 阎立峰, 郭庆祥著. —北京:
化学工业出版社, 2002.1
(高新技术科普丛书)
ISBN 7-5025-3610-8

I. 生… II. ①朱… ②阎… ③郭… III. 生物能源-
普及读物 IV. TK6-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 087077 号

高新技术科普丛书
生物质洁净能源

朱清时 阎立峰 郭庆祥 著
总策划: 陈逢阳 周伟斌
责任编辑: 张玉崑
责任校对: 李 林
封面设计: 田彦文

*

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)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 4 $\frac{3}{4}$ 字数 120 千字
2002 年 1 月第 1 版 2002 年 3 月北京第 2 次印刷
ISBN 7-5025-3610-8/X·125
定 价: 10.00 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

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的世纪，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技

术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

洛角祥

2000年9月

目 录

第 1 章 绪论 回归生态平衡	1
1.1 地球生态系统	1
1.2 绿色化学	3
1.3 如何更好地利用生物质	6
1.3.1 植物生物质——巨大的太阳能仓库	8
1.3.2 “种植燃油”	9
1.3.3 醇类燃料的昨天、今天和明天	9
1.3.4 把秸秆转化为高值燃料	11
主要参考文献	12
第 2 章 植物生物质的分子结构和性质	13
2.1 生物质的基本成分——碳水化合物	13
2.2 单糖的结构	14
2.2.1 单糖的构型	15
2.2.2 相对构型	15
2.2.3 醛式糖的构象	17
2.2.4 单糖的环状结构	17
2.2.5 单糖异构体和旋光性	18
2.2.6 单糖的构象	19
2.3 单糖的性质	20
2.3.1 生成酯和醚的反应	20
2.3.2 生成糖苷键的反应	21
2.3.3 单糖的氧化反应	22
2.4 二糖——两分子糖手拉手	22
2.4.1 纤维二糖和麦芽糖	23
2.4.2 蔗糖	23
2.5 糖的聚合物	24
2.5.1 纤维素	24
2.5.2 淀粉和糖原	25
2.6 其它重要的碳水化合物	27

2.6.1	脱氧糖	27
2.6.2	氨基糖	27
2.7	纤维素的结构	28
2.7.1	纤维素的晶体结构	28
2.7.2	纤维素链折叠结构	30
2.7.3	纤维素结构研究的进展	31
2.7.4	原子力显微镜的应用	32
2.8	纤维素的化学性质	35
2.8.1	氧化反应	35
2.8.2	与酸的反应	35
2.8.3	成醚反应	36
2.8.4	亲核取代反应 (S_N2)	37
2.8.5	接枝聚合反应	38
2.8.6	自由基接枝聚合	38
2.8.7	离子型接枝聚合	38
2.9	纤维素的降解	39
2.9.1	物理降解方法	40
2.9.2	化学方法降解	42
2.9.3	酶催化降解	46
2.10	什么是半纤维素	47
2.10.1	半纤维素的命名	48
2.10.2	半纤维素的分离和鉴定	48
2.11	半纤维素的结构	50
2.11.1	半纤维素结构的鉴定	50
2.11.2	半纤维素的结构	51
2.12	木质素的结构	55
2.12.1	木质素的化学组成	57
2.12.2	木质素的分子量	59
2.12.3	木质素结构研究的进展	61
2.13	木质素的化学性质	62
2.13.1	木质素的硝化反应	62
2.13.2	木质素的氧化反应	63
2.13.3	木质素的显色反应	63
2.14	木质素的降解	65
2.14.1	木质素的生物降解	66

2.14.2 木质素的化学降解	68
2.14.3 木质素的热降解	72
主要参考文献	74
第3章 生物质制酒精的生物技术方法	75
3.1 木质纤维素生物降解机理的研究	77
3.2 生物质发酵主要产物及过程	86
3.3 今后的研究目标	91
主要参考文献	92
第4章 生物质制合成气和燃料的热化学法	93
4.1 热解	94
4.2 气化	100
4.3 气化技术的分类	102
4.4 中国生物质能利用技术的状况	108
4.5 气化气体的净化	111
主要参考文献	115
第5章 生物质气化动力学	116
5.1 流化床气化器动力学	116
5.1.1 流化床的一维数学模型	116
5.1.2 磨蚀和淘选现象	119
5.1.3 全反应动力学的估计	120
5.1.4 模型计算的基本结果	121
5.2 固定床气化器	123
主要参考文献	130
第6章 生物质洁净能源的现状与展望	131
6.1 气化/燃料合成路线	131
6.2 快速热解/催化裂解	134

第 1 章 绪论 回归生态平衡

1.1 地球生态系统

大约 46 亿年前，地球从一团围绕太阳高速转动的星际物质中诞生。至少在地球诞生 8 亿年后，就已经有了坚硬的陆地。早期的地球上火山密布，灼热的岩浆从地壳裂缝中喷涌而出，在放出巨大能量的同时，也将地球内部大量的气体和水分释放出来。地球内部释放出来的大量水分以滂沱大雨的形式落回地面，形成了地表的原始海洋，其余的气体则被地球本身的引力束缚，形成了地球的原始大气，正是在电闪雷鸣的原始大气中，诞生了我们这个星球上最初的生命物质，这些简单的生命分子以降雨的形式进入原始海洋，最终形成了地球上最早的生命。

地球形成之初，大气层是由 CO_2 、 NH_3 、 H_2 和水蒸气组成。在漫长的时间里，覆盖地球的植物不断吸收 CO_2 ，放出氧气，并将 NH_3 氧化为 N_2 和 H_2O ，植物和以它们为食的动物变成化石之时，又把 CO_2 带到化石里（煤或石油）储存起来，才逐渐形成了今天这样适合人类生存的以 N_2 和 O_2 为主的、 CO_2 仅占 0.035% 的大气圈。

在最近的几亿年中，生命形式日趋复杂，生命的足迹也由海洋到陆地，逐渐布满了地球的各个角落，直到距今约 600~700 万年前，诞生了我们这个星球上惟一的智慧生物——人类。人类的出现是地球生命史中最具魅力的事件。

自然界的生态体系是由复杂的封闭食物链构成的。光合作用合成植物生物质（纤维和淀粉等），它们被动物食用后转化为动物生物质，这两种生物质被微生物降解还原成水和二氧化碳。这个体系包含多种生物种群，使各级转化过程中的废料和能量都被利用。从

而来自太阳的能量被充分利用后逐渐消耗，而构成生物的各种元素则被循环使用。因此这种生态体系是可以持续发展的。

在原始社会时期，人们靠天然食物生存。由于自然生态食物链中供给人类的食物有限，不同部落的人群之间经常严酷竞争以争夺食物。这种“优胜劣汰”促进了当时的人类进化。后来的人类学会了耕种和饲养家畜，形成了一种自给自足的农业生态体系，文明开始起源。但是初期的人类文明不知道生态体系的重要性，忽略了保护地球生态体系。大约五千年前，人类文明步入快车道。在相当长的时期中，农业生产能力低下，为了满足人口增长和人类对食物和能源不断增加的需求，人们不断毁林开荒和捕猎动物，造成水土流失，土壤沙化，森林和生物种类减少。一些古代文明的中心区域，现在已是荒漠。

特别是在最近的三个世纪中，科学技术对社会经济的发展产生了巨大的影响。使用化石类的生物质——煤、天然气和石油作能源，引起了产业革命，在造就了当代巨大的物质文明的同时，也产生了大气被污染、臭氧层被破坏和全球变暖等严重环境问题。事实上，一方面人类大量使用煤和石油等化石燃料，放出它们储存的 CO_2 ；另一方面森林面积又在迅速减少，造成大气中 CO_2 含量增加。1827 年法国数学家傅利叶 (Fourier) 首先提出温室效应的可能性。19 世纪末瑞典化学家阿仑尼乌斯 (Arrhenius) 指出，燃烧化石产生的 CO_2 可能使全球变暖。1957 年证明大气层中 CO_2 含量确实在迅速增加，今天大气层 CO_2 含量是 40 万年来最高的。若无有效措施，到 2100 年，全球气温将平均上升 $1.4 \sim 5.8^\circ\text{C}$ 。此外，地球上以煤和石油为主的化石型资源藏量有限，我国更是如此。因此，人类需要开发和使用不增加温室气体的非化石能源，让地球回归生态平衡。生物质，特别是植物生物质正是地球生态系统为人类准备的能源。

地球上的能源可分为三种：化石燃料、可再生能源和核能。其中化石燃料主要包括煤炭、石油和天然气，它们在地球上的存储量有限，不可再生，而且是产生温室效应的重要原因，是必将被替代的能源。

可再生能源包括太阳能、风能、水电、地热和生物质，而核能的产生过程包括裂变和聚变。

生物质是指由植物或动物生命体而衍生得到的物质的总称，主要由有机物组成，如树木与庄稼等。植物在生长过程中通过光合作用把太阳能以碳水化合物的形式存储起来，通过合适的方法把这些存储的太阳能转化为可以直接利用的燃料能源（如甲醇）是未来解决能源危机的重要途径。

地球上现有植物生物质存量约有 1841×10^9 吨干物质，最近美国科学家把植物生物质资源称作“生物矿”(bio-ore)。这种“矿”年年再生。正如唐朝诗人白居易在他著名的五言律诗《草》中描写的那样：“离离原上草，一岁一枯荣，野火烧不尽，春风吹又生”。

人类利用生物质作为能源，可以追溯到远古时代。我国历史传说燧人氏发明钻木取火技术。希腊神话传说普罗米修斯盗取天火，带给人间，造福人类。考古学证明，大约 50~60 万年前，人类开始用树木作为燃料生火，用火取暖、加工食物，从而结束了“茹毛饮血”的时代。人类在掌握了取火技术之后，用火帮助狩猎，加工工具和武器。带上火种向寒冷的地区迁徙，扩大活动范围。并学会了烧制陶器和“刀耕火种”，过起了定居生活。火的使用是人类文明史上的一个光辉的里程碑。

虽然人类利用生物质已有很长历史，但用作能源时，直接燃烧的热值和能量利用率都较低。用作原料时，利用的主要是一些易分离、易转化的纤维素，它们在整个生物质资源中所占比例尚小，而其它大部分则任其流失造成污染。因此，人类要重新依靠生物质作能源和化工原料，绝不能重新使用长期以来使用的粗放型的老方法，而必须采用既充分利用资源，又不污染环境的绿色化学方法。

1.2 绿色化学

化学可以粗略地看做是研究从一种物质向另一种物质转化的科学。传统的化学虽然可以得到人类需要的新物质，但是在许多场合中却未能有效地利用资源，又产生大量排放物，造成严重的环境污

染。绿色化学是更高层次的化学，传统化学向绿色化学的转变可以看做是化学从“粗放型”向“集约型”的转变。由于绿色化学寻求变废为宝，可能使经济效益大幅度提高。绿色化学是环境友好技术（environmental benign technology）或清洁技术（clean technology）的基础，但它更着重化学的基础研究；绿色化学与环境化学是既相关、又有区别，环境化学研究影响环境的化学问题，而绿色化学研究与环境友好的化学反应。传统化学也有许多环境友好的反应，绿色化学将继承它们；对于传统化学中那些破坏环境的反应，绿色化学将寻找新的环境友好的反应来代替它们。

目前绿色化学及其带来的产业革命刚刚在全世界兴起。这场革命将持续到下一世纪，它对我国这样新兴的发展中国家是一个难得的机遇。在近几个世纪中，我国已错过了多次现代化的发展机遇，这一次无论如何要紧紧抓住。目前绿色化学主要研究的问题（又称“12项原则”）是：

- （1）从源头制止污染，而不是在末端治理污染；
- （2）合成方法应具“原子经济性”，即尽量使参加过程的原子都进入最终产物；
- （3）在合成方法中尽量不使用和产生对人类健康和环境有毒有害的物质；
- （4）设计具有高使用效益、低环境毒性的化学产品；
- （5）尽量不用溶剂等辅助物质，不得已使用时它们必须是无害的；
- （6）生产过程应该在温和的温度和压力下进行，而且能耗应最低；
- （7）尽量采用可再生的原料，特别是用生物质代替石油和煤等矿物原料；
- （8）尽量减少副产品；
- （9）使用高选择性的催化剂；
- （10）化学产品在使用完后应能降解成无害的物质并且能进入自然生态循环；

- (11) 发展适时分析技术，以便监控有害物质的形成；
- (12) 选择参加化学过程的物质，尽量减少发生意外事故的风险。

这里试举几例作为说明。

化学合成的原子经济性

为了节约资源和减少污染，化学合成效率成了绿色化学研究中关注的焦点。合成效率包括两个方面，一是选择性（化学、区域、非对映体和对映体选择性）；另一个就是原子经济性，即原料分子中究竟有百分之几的原子转化成了产物。一个有效的合成反应不但要有高度的选择性，而且必须具备较好的原子经济性，尽可能充分地利用原料分子中的原子。如果参加反应的分子中的原子 100% 都转化成了产物，实现“零排放”，则既充分利用资源，又不产生污染。这是理想的绿色化学反应。在许多场合，要用单一反应来实现原子经济性十分困难，甚至不可能。我们可以充分利用相关化学反应的集成，即把一个反应排出的废物作为另一个反应的原料，从而通过“封闭循环”实现零排放。

环境友好的化学反应

在传统化学反应中常常使用一些有害有毒的原料，如氰化氢（HCN）、丙烯腈、甲醛、环氧乙烷和光气等。它们严重地污染环境，危害人类的健康和安全。绿色化学的任务之一是用无毒无害的原料代替它们来生产各种化工产品。在这方面，人们已经进行了不少工作。另外，科学家们也在研究如何以酶为催化剂，以生物物质为原料生产有机化合物。酶反应大都条件温和，设备简单，选择性好，副反应少，产品性质优良，又不形成新的污染。因此用酶催化是绿色化学在目前研究的一个重点。

采用超临界流体作溶剂

在油漆、涂料的喷雾剂和泡沫塑料的发泡剂中使用的挥发性有机化合物（VOC）的排放是环境的严重污染源。目前绿色化学研究的一个重点就是用无毒无害的液体代替挥发性有机化合物作溶剂。当温度和压力均在其临界点（31.1℃和 73.8atm）以上时，二

氧化碳具有液体的密度，因而有常规液态溶剂的强度；同时它又具有气体的粘度，因而有很高的传质速度；而且具有很大的可压缩性。这些特点加上其密度、溶剂强度和粘度等性能均可由压力和温度的变化来调节。使超临界二氧化碳成为一种优良的溶剂，它无毒、不可燃，而且价廉。目前已发现了许多能在超临界二氧化碳中进行的反应。研究超临界二氧化碳溶剂不仅有可能代替挥发性有机化合物，从而消除它们对环境的污染，而且可能开辟出一个化学和物理学、流体力学的交叉学科领域。

研制对环境无害的新材料

工业化的发展为人类提供了许多新材料，在改善人类的物质生活的同时，由于它们的废弃物不能与生态环境兼容，致使人类的生存环境迅速恶化。为了既不降低人类的物质生活水平，又不破坏环境，我们必须研制对环境无害的新材料和新燃料。如高效低毒农药、生态协调废料、可自然降解塑料等。

尽量采用可再生生物质代替石油和煤等矿物原料

这是绿色化学最重要的内容。人类要重新依靠生物质作能源和化工原料，能从石油、煤和天然气中提炼得到的东西，从生物质中也能得到。差别在于前者主要是碳氢化合物，后者主要是碳水化合物。在过去的一个多世纪中，为了用石油等化石类碳氢化合物制造燃料和化工产品进行了大量的研究，至今还方兴未艾，它们大大推动了化学各个分支的发展。可以预期，采用可再生生物质代替石油和煤等矿物原料，必将开辟一个新的研究领域，进一步推动化学的发展。

1.3 如何更好地利用生物质

我国的化石资源非常有限，已成为石油纯进口国。但我国的植物生物质，特别是非木材植物生物质资源非常丰富，仅农作物秸秆、蔗渣、芦苇和竹子等生物质，其总量已超过 10 亿吨。更为重要的是，我国有大量不适合农耕的土地，可以种植速生林。以它们产出的木材做生物质原料，既可以取代石油和煤等矿物原料，又能因经济利润推动大规模植树造林。关键问题是如何廉价洁净地把生

物质转化成燃料和化工产品。

最初的内燃机曾用乙醇作燃料，后来才被汽油和柴油取代。20 世纪 70 年代的石油危机重新唤起了国际上对醇类燃料的重视。它们不产生污染，不增加大气层中 CO_2 的数量，还可以用可再生的生物质大量生产。2000 年巴西用甘蔗制燃料乙醇总产量达 793 万吨，约占该国汽油消耗量的 $1/3$ 。美国主要以玉米为原料生产燃料乙醇，所耗玉米占全美玉米总产量的 $7\% \sim 8\%$ 。2000 年，全美燃料乙醇销售量已达 559 万吨，年均增长率为 20% 。我国也已开始利用玉米或糖类生产乙醇并且已在全国推广车用乙醇汽油。

然而，用粮食生产乙醇的成本居高不下。美国从 20 世纪年代就开始研究使用非粮食类生物质，如快速生长的树木（即速生林）、草类和废弃的农作物秸秆等，把它们中的纤维素和半纤维素转化为乙醇和甲醇。用它们作原料，可望大幅度降低成本。在非耕地上大量种植速生林，还可以增加植被，改善生态系统。现在美国能源部已计划用非粮食类生物质，通过酶水解法在 2005 年生产 90 亿升乙醇，价格为 $\$0.79/\text{加仑}$ （ $\$0.20/\text{升}$ ），在 2030 年生产 850 亿升乙醇，价格为 $\$0.56/\text{加仑}$ （ $\$0.14/\text{升}$ ）；通过气化后合成甲醇，成本为 $\$0.50/\text{加仑}$ （ $\$0.13/\text{升}$ ）。它将大大低于目前的市场价： $\$1.30 \sim 1.80/\text{加仑}$ （ $\$0.34 \sim 0.48/\text{升}$ ）。可以预见，在不久之后，在保护生态的要求和巨大的商业利润趋动下，用非粮食类生物质生产的醇类燃料必将得到广泛使用。

非粮食类生物质的主要成分是植物中的木质纤维素，它由纤维素、半纤维素和木质素组成。木质纤维素在植物体中的功能之一是为了保护植物体原料在大自然中免受微生物的侵害，历经亿万年进化逐渐形成了由木质素、纤维素和半纤维素相互连接、凝聚而成的复杂的超分子结构，组成了木质纤维素这种十分严密的化学结构防御体系。有效利用木质纤维素的障碍是其纤维素和半纤维素被难以降解的木质素紧密包被，并且纤维素本身也处于复杂的结晶状态。利用植物生物质的关键是除去木质素。

造纸的制浆实际上就是一个使木质素、半纤维素和纤维素分离

的过程。目前采用的传统化学途径不仅造成环境的严重污染，致使每年有 50 亿吨造纸废水产生，而且造成生物质资源的严重浪费，如造纸废水中约有 600 万吨的木质素被作为污染物排放到环境中。若能将其转化为多种化工原料，其价值可达 2000 亿元人民币。

20 世纪 70 年代的石油危机曾迫使人们在生物质资源领域进行了一系列的研究。近年来世界范围内非常重视生态环境和可持续发展，特别是最近石油价格居高不下，生物质转化的研究又掀起高潮。

目前国际上已开发出两类用非粮食类生物质中的木质纤维素制乙醇和甲醇的新工艺，一类是生物技术（发酵法），它在预处理后利用生物酶催化降解木素、纤维素和半纤维素，再把后两者转化为乙醇；另一类是热化学方法，即在一定温度、压力和时间控制条件下将生物质转化成气态或液体燃料（甲醇，乙醇或氢气）。

由于我国每年的农作物秸秆等废弃物达 10 亿吨以上。在南方大片非耕地上种植快速生长的树木，还可以得到大量可再生的木质原料，我国迫切需要研究用这些非粮食类生物质作原料生产气体燃料（如氢气）和醇类液体燃料，开发出有自主知识产权的实用技术，保障我国的能源安全和经济繁荣。醇类燃料的弱点是其单位能量低于汽油，但因为它的可再生性和对环境友好，它无疑是新一代的一种理想的能量载体。

1.3.1 植物生物质——巨大的太阳能仓库

在 1.1 中已讲过自然界的生态系统是由复杂的封闭食物链构成的，生物质是地球生态系统为人类准备的能源。据估计，全世界每年通过光合作用储藏的太阳能，相当于全球年耗能量的 10 倍。

在矿物能源危机的今天，人们意识到我们需要重新依靠以森林为代表的生物质能源，它们包括以生产能源为目的的薪碳林和林木培育、木材采伐加工中的剩余物和废弃物。根据国外报道，热带天然林生物质的年生长量为每公顷 0.9~2 吨石油当量。印度尼西亚的加里曼森林，就可以提供相当于目前印尼生产石油的能量。目前正在试验栽培的速生人工林，生长期很短，产出效率很高，在短时间内就可以产生效益。法国试验的杨树人工林生物质产量为每年每

公顷 40 吨干物质。美国试验的杨树林生物质产量每年每公顷 430 桶石油当量。现在，全球森林生物质存有量为 1650×10^9 吨。

发展以植物生物质为原料的绿色化学技术，将生物质转化为洁净的液体燃料，是克服能源危机和回归生态平衡的重要途径。

1.3.2 “种植燃油”

所谓“种植燃油”，是指种植一类可以直接或间接加工成燃料油（碳氢化合物和醇类化合物）的植物。可用于生产燃料油的植物，如绿玉树、三角戟、续随子等，这些植物中含有大量类似石油的碳氢化合物。巴西的苦配巴树，树液只需简单加工便可作为柴油使用。澳大利亚有一种桉树，含油率高达 4.2%。东南亚地区的银合欢树，分泌的乳液中碳氢化合物含量也很高。巴西有一种香胶树，割开树皮就可以得到化学成分与石油极其相似的物质，可以直接代替柴油使用。

除树木外，还发现许多野草也含有“燃油”。美国加州生长的黄鼠草，富含碳氢化合物。每公顷野生的黄鼠草可提取“燃油”1 吨。人工种植的杂交草产量可高达每公顷 6 吨。

近年来，用玉米、高粱、甘蔗的秸秆生产酒精（乙醇），用作燃料。如南美盛产甘蔗，用甘蔗制造酒精，作为汽车燃料。位于美国克罗拉州的可再生能源国家实验室正在研究用富含纤维素的林木、草类、废弃木材制造酒精的技术。他们把这些生物质中的木质素转化为锅炉燃料，把纤维素转化为酒精。在我国北方的一些地区，种植含糖量很高的杂交甜高粱。每亩地可收获 300~400kg 的高粱籽和 11000kg 的新鲜高粱秆。将这些甜高粱秆发酵生产酒精，剩余的残渣还可以做饲料、肥料。种植甜高粱这类能量作物，发展潜力很大。植物生物质可经过直接液化，或通过气化/合成气催化合成醇类液体燃料。

1.3.3 醇类燃料的昨天、今天和明天

在巴西圣保罗的马路边已有许多酒精加“油”站在营业。巴西每年生产乙醇 150 亿升，可以满足其汽车燃料需求的 20%。其实，用酒精开汽车并不是什么新鲜事。最初的内燃机就是用乙醇作燃料