

# 生物质能及综合利用

技术编辑：岳 军、百 胜

贵州省能源编辑部

# 赠 读 者

对物质能从大自然中来，到大自然中去，形成一个互相转换的封闭系统，永远保持能量平衡，只是在不同的时期，不同的条件下，能量的表现形式不同罢了。任何物质能都是周而复始，都是螺旋式的逐步从低级到高级的发展，并进行新陈代谢的。

综合利用就是研究能源能量的守恒，即在不同条件下的表现形式，分析研究资源的闭路系统，以便开拓更多更好的新产品。

目前，我国乡镇企业蓬勃发展，生物质能源的综合利用和生化工程的实际应用，将给我国广大农村和乡镇企业带来新的活力和动力，本书介绍的废物废料、谷壳、稻秆及垃圾变废为宝技术，乙醇生产，沼气生产技术等等，会给读者带来新的启迪，为您的事业开拓新的路程吧！生物工程技术将给您带来福音，愿您的事业兴旺发达。感谢您对本书的阅读，并赠词一首。

## 念 奴 娇

赴太原能源会议 岳军

一九八一年六月十四于太原

银鹏展翅，人十亿，能源紧张国家忧，  
三千里。为四化建设，天南海北共筹。  
翻动扶摇羊角。英勇奋斗，节约能源，  
背伏青天朝下看，神州将起宏图。开发能源，  
都是华夏村舍。今日坐机北求，加强交流，  
江河畅流，先飞北京，能源力争上游。  
山青水秀。后飞太原城

# 前 言

生物技术是近10年来发展得最快的一项新技术，它是一个技术体系，它主要包括遗传工程（或叫基因工程），细胞工程，酶技术和发酵技术。在美国，生物技术的应用正由医药转向能源和工业化学品的制造，这一转变将对能源产生极为深远的影响。

生物技术对能源的影响，可分为创造新的能源和节约能源两方面。在创造新的能源方面，生物技术的进步，将促进使用纤维质原料、有机废物、煤、二氧化碳和太阳能等制造甲醇、乙醇、甲烷、氢等能源的技术达到经济可行，同时可望有更多的能源作物提供人类所需的能源。此外，还将促使石油、煤炭和铀等传统能源在更经济的条件下开发出来。

在节能方面，生物技术的主要目标是发展新的生物工艺来制造现有的化学品，使其价格更便宜；其次是生产新的或特殊的化学品，由于石油涨价，合成化学工业不再享有丰富而廉价原料的优势，取而代之的是丰富的生物质原料。因此发酵技术大有用武之地，基因工程则使发酵更有吸引力。

发酵也可称为生物合成，它是以微生物为工厂或以酶为催化剂，在常温常压下进行反应，而化学合成则一般在高温高压下进行。

日本和美国已研究成功用生物技术制造丙烯酰胺、脂肪酸。环氧乙烷和环氧丙烷等化学品，与传统工艺相比，可节约大量能源，为了广泛应用生物合成发展节能工艺，正研究利用微生物大量生产廉价、高效的生物催化剂（酶）。

目前研究工作有以下几方面，应用基因工程改良纤维分解酶菌种，进行高活性酶水解，提高发酵产率；将酵母或细菌改造成兼有分解纤维素和发酵糖生产酒精的微生物，实现一段式纤维素发酵；用基因工程改造微生物，提高其耐酒精和耐高温性能。这样，在发酵过程中，酒精一产生即被蒸发，可省去耗能最多的蒸馏过程。

本书介绍的这些技术是近十几年来发达国家生物工程方面的一些成果，我国广大知识分子和劳动人民在借鉴外国先进经验的基础上，一定会创造出更多更好的生物工程技术，服务于我国的四化建设。

# 目 录

|            |         |
|------------|---------|
| 生物质能合成途径   | 1—133   |
| 酒精生产概论     | 134—178 |
| 生物质能综合利用情报 | 179—195 |

## A 前景广阔的生物质能

世界能源潜在不断地扩大，对能源需要以飞快的速度增长着。近一百年来，世界能量的消耗量约增加了二十倍。现在每年世界上大约要消耗九十亿吨标准煤。预计到2010年，世界每年的燃料消耗量将超过三百五十亿吨。可是自然界中存在的天然资源已不多，就石油而言，目前世界上石油可开采的贮存量估计二千三百亿吨左右，而美国1977年消耗石油就高达九亿吨之多，如果今后全世界对石油的消耗量在1974年耗量二十八亿吨的基础上，每年以4%的速度增长，则现在已勘察的石油储量只够开采三十七年。因此，开发和利用新能源是非常重要的。在新能源中，生物能源有赖于太阳能，是一种取之不尽，用之不竭，有广阔发展前途的新能源。它在自然界中有着自己的循环规律，能不断地再生，已经形成了一门专门的生物能源学科。这门学科的特点是较年青、发展快、用途广、具有生命力的综合性学科。它将为能源发展，能源结构改革开辟一条极为重要的途径。

全世界能源短缺日趋加剧的严重现象，对于资源贫瘠的国家尤其严重。占世界人口27%的美国、日本、欧洲和苏联，每年的能耗量占世界总能耗量的94%，尤其是美国更为突出，它只占世界人口的6%，能耗量却占世界能耗量的33%，今天，美国每个居民平均能耗量是印度每个居民平均能耗量的50倍，加上石油价格的提高，因此，人们到处寻找代替天然气、石油、煤炭的新能源。近三十年来，生物能源的研究、探索、开发引起了大批科学工作者和许多国家有关部门的兴趣和注意，投入较多人力和资金，加强了生物能研究与中间实验，取得较大成果，推动了生物能源的

发展。能源已成为美国科研中最多的一项任务，1977年十月一日美国成立能源部。把生物能归属于能源部的太阳能技术司管，1978年该部对生物能的发展作了全面规划，并作为开发太阳能的重要一环。日本通产省1972年夏季制订一个从1974年到2000年的“阳光计划”——“新能源技术研究开发计划”，总投资数千亿日元，重点开发太阳能、地热能、合成天然气（生物能）、氢燃料能四种无污染的能源。生物能就是开发四种新能源中的一种。由此可见，生物能在新能源中是相当重要的。过去一段时间，生物能源行于欧洲，现在亚洲、美洲、非洲、澳洲也都开展研究和应用，发展很快，估计不久将来会有较大的突破。

生物能源是一种可更新的能源，最主要的是指微生物形成甲烷（沼气），此外还有微生物形成氢、醇类等。但是人们通常把生物能等于沼气，虽说不那么确切，然而可见沼气的地位与重要性。它的发展关系到能源建设、肥料建设、环境保护和卫生建设，具有小型分散生产、就地取材和使用，成本低、易分离、产量高、具有高的热能、运输方便、清洁卫生、扩大能源的优点，对我们国家来讲更有发展前途。

生物能的研究和应用我国是从1958年开始的，当时比较集中的省份有湖北、安徽、广东、湖南、四川、浙江、河北省等，通过研究和应用也取得一定成绩，例如安徽阜阳县创造了浮动气罩式沼气池，湖北工业厅设计了水压式沼气池，沙阳农场用沼气发电，武汉公共汽车公司用沼气开汽车等，研究单位在沼气发酵条件、池型结构、沼气利用也进行了很多试验，1958年下半年农林部在广东鹤山县召开全国沼气现场会，后来由于许多技术问题没有解决，加上其他原因，影响了沼气的发展。一直到1972年11月中国科学院和农林部在四川中江县召开了全国沼气现场会，1975

年4月国家计委、中国科学院、农林部又在四川绵阳县召开全国沼气推广利用经验交流会，近几年来，召开的会议就更多了。从沼气池的数量来讲，1975年3月全国已达四十六万三千多个，到了1978年6月底为止又增加到七百万只，居世界首位，年产气量为二十亿立方米，总热量相当于二百万吨煤。据统计，全国已有十八个县，一千三百多个公社，一万七千个大队，十四万个生产队基本上实现了沼气化。其中四川沼气池达五百万只，江苏有四十六万只，上海有四万只。此外，西安、抚顺、青岛、成都、上海、鞍山、南阳等城市也利用沼气发酵处理城市的生活污水、废渣、工业废水的工作，有一定成绩。但是与国外相比，我们的差距很大，整个研究工作进展不大，仍停留在原来的水平上。正如全国会议所指出的“产气率低、使用率低、配套率低”是当前最突出的问题，有待我们研究解决。浙江省领导非常重视这方面工作，加上有一定技术力量，确信不久将会做出更大成绩。让我们一起为发展祖国的生物能源而共同努力。

## (一) 微生物合成甲烷

最早要追溯到古罗马时代，在那时就有科学家说过地球的表面各处都有易燃气体逃掉，无可非议，这一点是了解最早的，后来有人报导沼气是Shirley于1667年发现的，但是，事实上，在世界上早已知道植物体在沼泽和湖沼里腐烂后就会释放气体——沼气的现象，如1630年，Vcm Helment记述15种气体中就发现有机腐烂过程所出现的一种可燃气体，在动物瘤位、肠道的气体中亦有这种气体存在。直到1776年意大利物理学家沃洛塔(Volta)对自然界中易燃气体做了许多工作，积累了大量资料。他说：“这种‘易燃空气’能连续不断地形成，在所有湖、池塘和意大利北

部的Como附近的河流里有相当大量”，并发现这种气体能扰乱瓶底沉积物，使气泡上升到表面，他进一步认识到富含易燃气体和沉积物中的植物材料的量有着密切关系，由于当时化学知识所限不能作进一步阐明。人们称自然界中的易燃气体为“Volta氏易燃气体”，这种气体主要组成——照明气，现在称为甲烷，即沼气。此后60年中，有几位著名科学家，包括Bunsen等对甲烷形成很兴趣，他们从不同来源收集和分析气体样品，证实了“Volta氏易燃气体”在自然界丰富存在，这种气体由植物淹没于水中腐烂而产生。直到1868年巴斯德的学生Bechamp第一个明确指出甲烷形成是一种微生物学的过程。1875年波波夫(Popoff)氏也发现了微生物可以产生甲烷，这就广泛地引起了微生物学家的兴趣，为甲烷发酵奠定了基础。1883——1884年，巴斯德的学生Gayon成功地记录了他用动物粪便生产甲烷（沼气）的试验报告。巴斯德断定在35℃收集到的气体量最大，这些气体可作为加热和照明之用，他的这种倡议在法国的费加罗报上登载过。他们提出如果把拉马车的马的粪便都收集起来进行甲烷发酵的话，就可以解决巴黎街道的照明问题。但这项倡议并没有得到实现，直到1896年，英国埃克塞特街道上终于将污泥气体用于照明了。

在产甲烷细菌的研究方面，最早是法国。1892年，有二位科学家从Auatun沼泽地带发现了甲烷产生菌，命名为石油微球菌。此后1902——1903年巴黎巴斯德研究所的马氏(Maze)找到了一种产生甲烷的微球菌，现在命名为马氏甲烷球菌(Methanococcus mazei)。这就推动了产甲烷微生物学和应用研究的发展。到目前为止，已发现产甲烷细菌14种分为四个属。

在19世纪后的二十五年中，甲烷发酵的主要中心是利用纤维素作为一种底物和发现吃草动物的消化道中形成大量甲烷，这就

推动了实际应用的发展。到二十世纪初，动植物废弃物厌氧消化生产甲烷的成功，也同样推动了甲烷发酵研究。1922年英国开始推广沼气装置，1930年美国也开始研究。第二次世界大战后，德国、法国、印度、意大利、美国、捷克、英国、肯尼亚、中国、比利时、坦噶尼喀、奥地利、瑞士、苏联等已有各种生物能装置在顺利运转。尤其是近三十年来进展更快，可以概括为如下11个方面：第一、生物能的研究作为开发太阳能的一个重要组成部分，在改变能源结构中将起重要作用；第二、甲烷发酵由作为处理城市下水道污水、污泥、工业废料为主要目的而转入以回收能源、补给能源短缺为主要目的，从发展生物能源的角度进行城市废物处理；第三、生物能装置日益完善和现代化；第四、工业、农业废物管理法律化和应用推广系统化；第五、发酵工艺有较大改进，如从一级发酵到多级发酵，从中温发酵到高温发酵等；第六、垃圾发电；第七、开辟新用途——转化剧毒重金属，消除污染，回收化工原料；第八、甲烷生物合成机理的研究与控制有了较大进展；第九、对产甲烷的微生物学研究更加深入，到目前为止已经分离到十四种产甲烷细菌，对种属特性了解较清楚；第十、国家拨钱和银行贷款对生物能进行研究；第十一、有些国家已建立专门研究机构，在大学里设置生物能专业，培养专门人材。联合国大学在印度孟买建立了生物能研究中心，开展生物能研究工作。

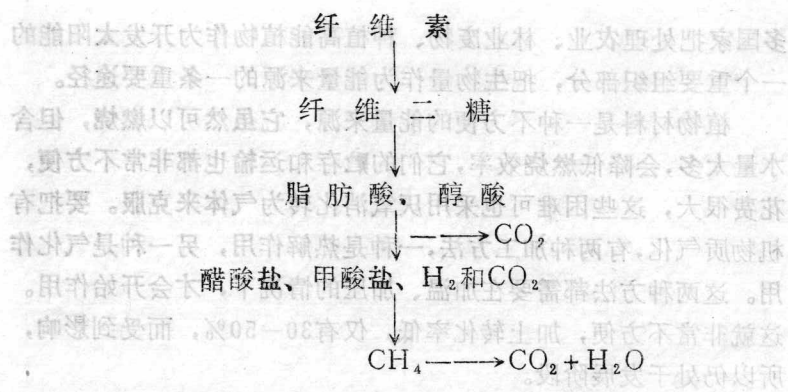
## (二) 生物能是开发太阳能

众所周知，太阳辐射是一种不方便的能量形式，因为它是扩散的，需要一种大面积的用具才能把它收集起来，而又是断续的，夜间，天气不好，就没有太阳辐射，这就必须采取某种形式的能量贮存设备。虽说光电和光热转化方法有5——15%的转化效率，但是这些系统的成本很高，在实际应用上存在较大困难，也就是说不能广泛地应用。但是太阳能可以通过植物的光合作用来收集，植物具有自己特殊的收集系统和太阳能的“贮存库”。从目前看来，它是利用太阳能的最好“机器”。曾有人提出模拟植物利用太阳能的高效率，对开发太阳能有着极为重要的意义，甚至在某种程度上说更有它的现实意义。洪格特氏指出，太阳能通过植物光合作用的化学转化作用是目前地球上储存太阳能最主要的方法，除了地球上有些地方缺少水和无机盐，植物的光合作用受到限制，才影响太阳能的转化，再也没有别的因子了。虽然有人设计出了直接收集太阳辐射能的机器，亦仅限于小规模的范围利用，不像绿色植物那样广泛。植物是以叶片系统或称叶片复盖面作为收集太阳辐射能的表面，根据叶片复盖面的结构和植物类型，可以把太阳辐射的总入射量的0.2%到4.0%转化成生物量(生物能)，这一转化率相当可观，引起了微生物学家的重视，他们就想利用微生物把植物光合作用的产物转化为甲烷和二氧化碳，以甲烷供燃料之用，这一想法终于实现了。近十多年来，许

多国家把处理农业、林业废物、种植高能植物作为开发太阳能的一个重要组织部分，把生物量作为能量来源的一条重要途径。

植物材料是一种不方便的能量来源，它虽然可以燃烧，但含水量太多，会降低燃烧效率，它们的贮存和运输也都非常不方便，花费很大，这些困难可也采用厌氧消化转为气体来克服。要把有机物质气化，有两种加工方法，一种是热解作用，另一种是气化作用。这两种方法都需要在加温、加压的情况下，才会开始作用。这就非常不方便，加上转化率低，仅有30—50%，而受到影响，所以仍处于发展阶段。

通过厌氧消化把农业、林业、蔬菜、果树、草原等废物转化成甲烷，这个过程是在常温常压下进行，按洪格特(Hungate)氏计算，从理论上推断，热量转化率可高达94%。实验证明，每公顷耕地上的绿色作物，每一昼夜所增加的重量就能制取10米<sup>3</sup>沼气。厌氧消化过程如图I—1、图I—2所示，可以分为三个过程：固体有机物质酶促分解，通过胞外酶类将复杂的糖类水解为单糖，将蛋白质水解为肽和氨基酸，脂肪水解为甘油和脂肪酸，——>可溶性有机物质被产酸细菌代谢成为挥发性有机酸，主要是醋酸、甲酸、丁酸、丙酸和乙醇，还有菌体，CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>和其他产物——>经产甲烷细菌把这些有机酸和乙醇等再转化为甲烷和二氧化碳，还有菌体。我们也可以把它归纳为液化和气化作用的二个过程。在厌氧消化中是同时产生的。通过实验室对干草、玉米、聚合草、栎树等植物和城市垃圾的研究，结果证明：一磅碳可以转化成0.585立方米(19.5呎<sup>3</sup>)甲烷。这些材料的含碳量为30—40%，而其中以80%的碳能转化计算，则每0.453公斤(每磅)干作物材料就能产生0.17立方米(6呎<sup>3</sup>)甲烷，同志们可以结合本地区、本单位计算一下，该地区、该单位生产甲烷的潜力。



图I—1 厌氧消化的食物链

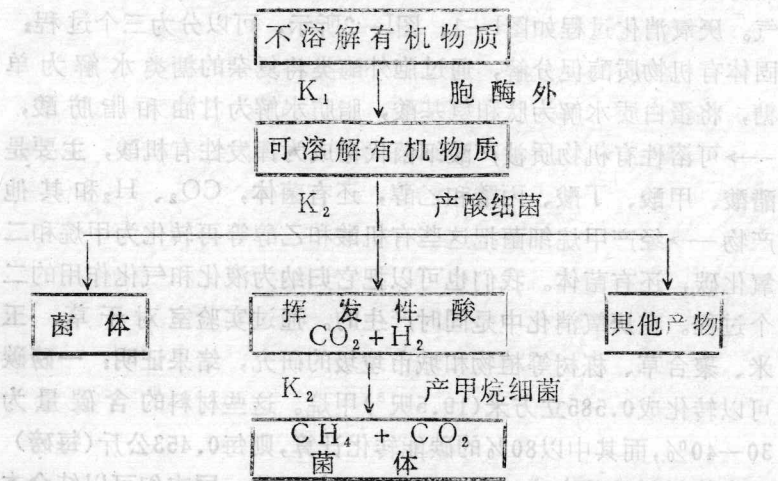


图1—2 有机废物的厌氧消化图解

在美国，据卡尔文 (Calvin) 估计，日照14小时，平均照射率  $3 \text{ Btu/分一呎}^3$  ( $0.028$  立方米) 上的太阳能就足以能够供给美国1975年所消耗的能量。换一句话说，美国的能量需要可以由全年照射在14569平方公里面积上的太阳辐射能来供给，这就说明太阳能是最普遍最丰富的能量形式。如前所述，植物是收集和贮存太阳能的最好“仓库”，若把作物废物和森林、草原、蔬菜、果树废物烧掉十分可惜，这些废物中有许多有用物质，除了提供能源之外，还能生产许多工业上有用东西。如甘蔗渣能生产酒精，许多作物废料能生产纸、糖类，都是有价值的物质。所以美国的土地按照它的用途来划分，其中作物地、草原地和森林地大约各占总土地面积的20%，牧场占地为4.5%，非农村用地占36%。从各种农作物的太阳能转化效率资料表明 (表I—1)：玉米和甘蔗的典型效率范围是1%左右，森林大约是0.2%—0.4%，且燃料值较高。不仅如此，根据研究结果又指出，只要改进叶片复盖系统和把它置于控制条件之下，植物的转化率就可以提高到30%。也就是说，植物转化太阳能的潜力很大，获得较高生物能的转化率是可能的，给栽种高能植物提供了依据。高能植物将为生物能的一种主要来源。据估计，美国每年将有四亿吨以上的农业废物，若把它收集和转化为生物能，仅这一项就能相当于美国能量需要量的6%，而森林和草原若每年每英亩 (折中国6市亩) 生产5吨生物量计算，全国就能生产55860万吨生物量 (生产生物能的物质)，如果生物量的热值为  $6500 \text{ Btu/0.453kg}$ ，则占美国总能量消耗的8.8%，也就是说美国有8.8%的能量可以从森林、草原的生物量提供。从当前看来美国大约总能量需要量的  $1/4$  可以通过现有的农业技术在空闲地上生产生物量和农业废物的生物量就可以得到满足。毫物疑问，作物废物在某些国家、地区是一

种重要能源，在能源的世界舞台上将起着相当重要的作用，有助于推进工业和技术的向前发展，有助于处理一些工业发达国家污染的危害。把植物废物经微生物转化生成甲烷，对当前的矿物燃料价格而言，在经济上也是有吸引力的。如果我们办一个日产140万立方米的生物能工厂（利用植物废物厌氧消化），而甲烷的价格估计为2美元/28米<sup>3</sup>的话，这家工厂可以得到收益。

经济上的分析是相当重要的，它关系到今后生物能发展前途的一个重要因素，许多国家都重视这方面核算。美国能源部太阳能技术司1978年就总结出反映再生生物能目前经济核算应用的技术资料，主要介绍生物能成功的实例，这是很有益的。从农作物废物生产甲烷的经济分析表格中可以看出（表I—2），每年收益较多，投资回收率较高，随着工艺的改进，技术水平的提高，生物能装置的自动化，成本还要降低。据估计，到1985年，生物能的价格将等于天然气价格，可能还要便宜些。但目前的价格比天然气高一倍（美国统计数字），因此，生物能是取得廉价能源的重要途径之一。

表一、美国各种农作物的太阳能转化效率

(Clausen, E. C. O. C. Sitton 和 J. L. Gaddy, 1977)

| 植物种类    | 地 点        | 燃料值<br>(Btu/磅) | 干 产 量<br>(吨/英亩/年) | 太阳能转化<br>% (估计) |
|---------|------------|----------------|-------------------|-----------------|
| 栎树—松树林  | 组          | 7000           | 5.4               | 0.41            |
| 杂种杨木    | 宾夕法尼亚      | 5625           | 4—8               | 0.24—0.47       |
| 美国梧桐    | 乔治亚        | 5800           | 1.6—11.2          | 0.09—0.61       |
| 草       | 美国中西部      | 6500           | 6.32              | 0.29            |
| 狗牙根     | 阿拉巴马       | 5625           | 8—11              | 0.42—0.58       |
| 苜蓿      | 美国各地       | 6500           | 2.85              | 0.18            |
| 甘蔗      | 路易斯安那·佛罗里达 | 6500           | 20                | 1.11            |
| 甘蔗(好)   | 南得克萨斯      | 6500           | 50                | 2.79            |
| 玉米      | 美国各地       | 6500           | 11.2—17.9         | 0.72—1.15       |
| 沼泽香蒲    | 明尼苏达       | 6500           | 11.2              | 0.88            |
| 藻类(淡水池) | 加利福尼亚      | 6500           | 8—39              | 0.42—2.09       |
| 藻类(污水池) | 加利福尼亚      | 6500           | 25.1              | 1.34            |

Btu——英国热量单位

1磅 = 0.454kg

1英亩 = 0.405公顷(6市亩)

表二、农作物废物生产甲烷的经济分析

(Clausen, E. C., O. C. Sitton 和 J. L. Gaddy, 1977)

|            |         | K = 0.054 (天 <sup>-1</sup> ) |  | K = 0.086 (天 <sup>-1</sup> ) |  | (美国全国的估计) |  |
|------------|---------|------------------------------|--|------------------------------|--|-----------|--|
|            |         |                              |  |                              |  |           |  |
| 主要投资(百万美元) |         |                              |  |                              |  |           |  |
| 消化罐        | 51.70   |                              |  | 32.39                        |  | 1.34      |  |
| 磨碎机和贮存器    | 1.17    |                              |  | 1.17                         |  | 0.43—5.08 |  |
| 压缩机        | 1.90    |                              |  | 1.90                         |  | 0.88      |  |
| 泵和管道       | 2.00    |                              |  | 2.00                         |  | 0.13—1.12 |  |
| 汽提塔和吸收器    | 0.31    |                              |  | 0.31                         |  | 5.13      |  |
| 热交换器       | 0.69    |                              |  | 0.96                         |  | 1.11      |  |
| 临时费用(30%)  | 17.62   |                              |  | 11.62                        |  | 3.13      |  |
| 总计         | 7545万美元 |                              |  | 5035万美元                      |  |           |  |