

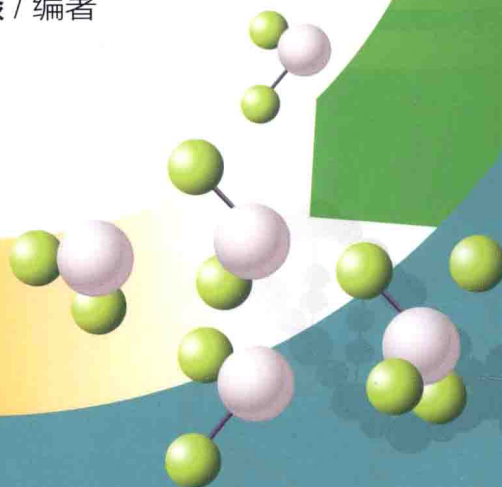


GAODENG ZHIYEJIAOYU SHENGWUHUAGONGGONGYI ZHUANYEJIAOCAI

• 高等职业教育生物化工工艺专业教材 •

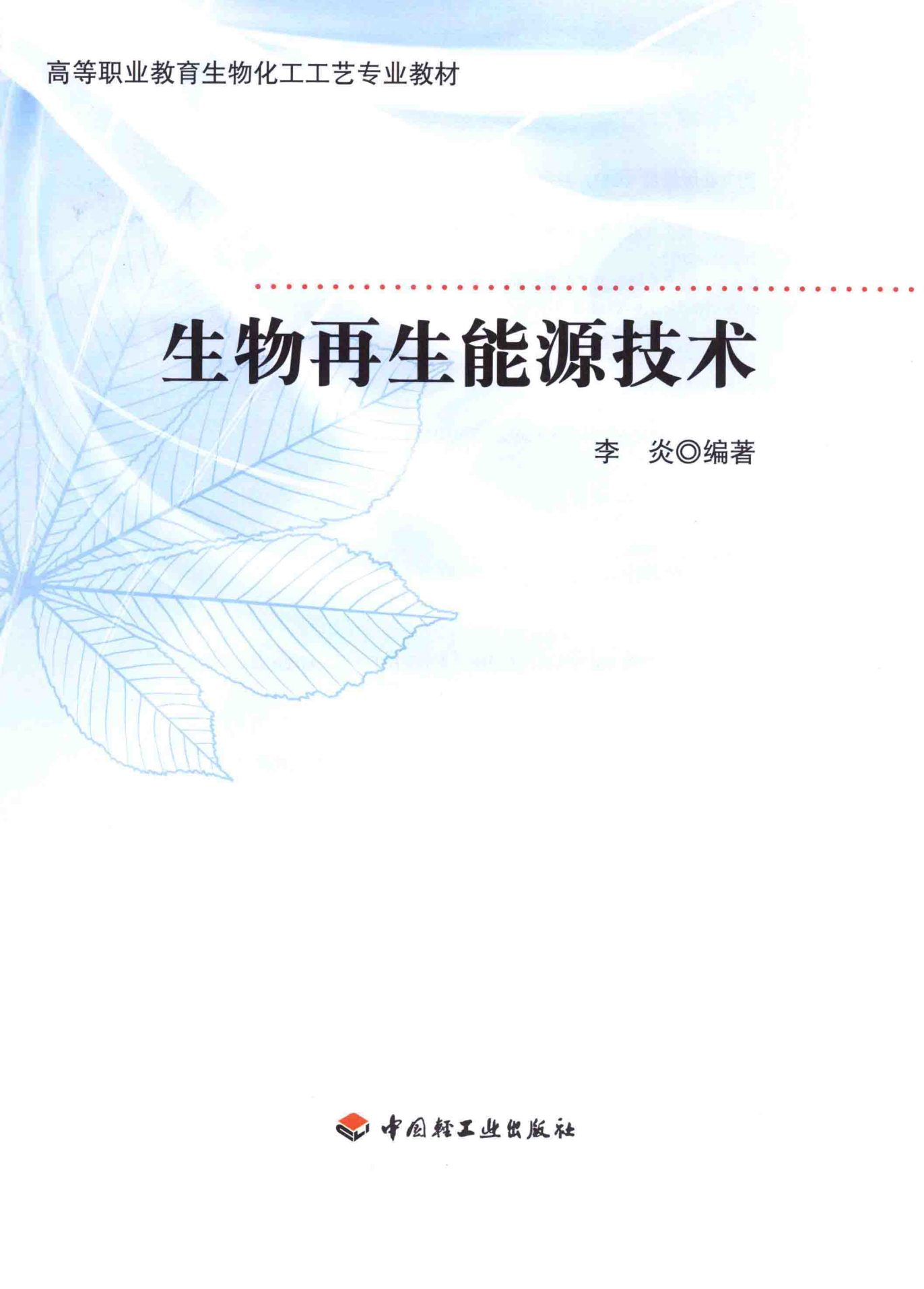
生物再生 能源技术

李焱 / 编著



中国轻工业出版社

高等职业教育生物化工工艺专业教材



生物再生能源技术

李 炎◎编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物再生能源技术 / 李炎编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2013.1
高等职业教育生物化工工艺专业教材
ISBN 978-7-5019-8814-3

I. ①生… II. ①李… III. ①生物能源—再生能源—高等学校—教材 IV. ①TK6

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第100117号

本书经台湾艺轩图书出版社授权中国轻工业出版社于中国大陆地区独家出版发行简体字版。

责任编辑: 江 娟 朱 恺
策划编辑: 江 娟 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 水长流文化 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京昊天国彩印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2013年1月第1版第1次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12

字 数: 236千字

书 号: ISBN 978-7-5019-8814-3 定价: 45.00元

著作权合同登记 图字: 01-2010-4784

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

090881K1X101ZYW

作者简介



李炎

学历

美国杨百翰大学微生物与生化博士

经历

台湾台东师范学院总务长、主任秘书、创育中心主持人、环教中心主任，台湾台东大学生命科学系主任，台湾盐业公司主任秘书

现职

台湾台东大学生命科学系副教授

自序

生命科学未来发展有5大重心：

1. **再生生物技术**——无论用干细胞技术或基因工程或其他方式能使断臂再生，瞎眼再明，缺牙再长，残缺恢复（如火伤、烫伤的皮肤复原）。
2. **长寿健康生物技术**——医学相关生物技术如基因治疗、癌症治疗、减缓老化并使人能常葆年轻美貌。
3. **太空生命科学**——人口增加，资源不足，垃圾堆积，环境污染，造成地球上部分地区不适合人类居住，且最终地球也将不够容纳不断繁衍的人类，人类必须向外层空间发展，外层空间有无其他生命？生命长期处于外层空间又是如何生存？太空移民有关生命科学：如怎样利用细菌分解宇宙飞船内粪便？如何循环用水？在宇宙飞船内长期航行及在其他星球上如何生产粮食、产生氧气等。
4. **农业生物技术**——增产粮食，农产品改良，园艺生物技术等。
5. **生物再生能源**——人类面临能源短缺，最终得靠太阳能，光合作用所吸收保存的生物质能源必得充分利用。不只在地球上，甚至人类移民月球、火星甚至太阳系以外，只要有如太阳般恒星的系统，此生物质能源技术均将不断被改进利用。在地球上要能提供不断增加的能源需求，而且要合乎经济生产与二氧化碳中性的条件。

本书原仅为台湾台东大学生命科学系开设《生物再生能源技术》课程与在台湾台东武陵戒治所开设《简易应用生物技术》课程的讲义，而且为配合不同科系、不同专业、不同的学历学生的选修，因此较通俗化，常识性强，课程与实验配合，旨在引起同学对生物质能源探索的动机，并可实际着手去做，而且多以简易的仪器设备起始，后因同学反应尚佳而集为书，并略为加入理论部分，着眼于高中职（含）以上至大程度同学参考之用，注重应用，希望引起年轻人的兴趣，以便更深入研究，而一般社会人士要是以应用为目标，本书亦颇有实用性，可作为入门的操作参考手册。因此，本书只是一个引子，期望未来贤者能有更进步更高深的论著。

台东大学 末学

李炎 谨识

2010/4/15



目 录

1	概 述	1
	能源	1
	生物质能源	3
	生物质能源分析	4
	温室效应	5
	能源供应问题	7
	第二代生物质能源	11
	生物质能源与石化能源比较	15
	生物质能源的型式	16
2	直接燃烧	21
	裂解	25
	实验	26
	共生能源	26
3	植物油或动物脂肪转化为生物质柴油	27
	生物质柴油	31
	废油为原料以化学催化剂制生物质柴油制作实验	32
	生物催化剂转酯化技术	34
	利用生物催化剂生产生物质柴油	35
	其他方式生产技术	39
4	生物电池	43
	生物电池运作机制	44
	微生物电池 (MFCs) 原理	47

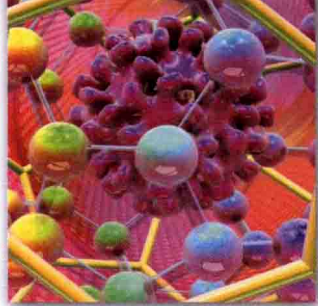
微生物电池制作实验	58
水果电池	70
5 生物发电	75
电鱼类发电	75
6 无氧分解	79
沼气生产	79
沼气的发酵条件	81
经厌氧发酵制造甲烷流程图	82
筛选培养产甲烷菌需厌氧技术	82
生物质生产沼气	85
沼气池构建	91
沼气纯化	101
沼气的储存及输送	102
沼气池的日常管理	102
沼气池的安全运行	103
甲烷计量	104
产甲烷实验	104
7 发酵产乙醇	107
相关实验	108
乙醇	108
制米酒实验	110
制乙醇实验 I	114
制乙醇实验 II	117
培养液中糖分检测	122
化学分析法测糖浓度	124



目录

糖发酵产乙醇	127
8 蓝细菌或藻类产氢	129
蓝细菌或藻类产氢	138
蓝细菌产氢实验	140
微生物厌氧分解有机物产氢气	142
实验	142
氢气计量	145
氢气的储存与运输	145
如何利用氢气产生能量	147
未来挑战	148
9 以藻类或蓝细菌产油脂再用为能源	149
蓝细菌或藻类产油脂	151
微藻液化产油	154
藻氢化作用	155
研发以 <i>E.coli</i> 生产油脂	156
10 生物科技改良植物、微生物快速产生物质	159
植物加速成长的改良	160
实验	162
海藻直接提炼生物质燃油	167
11 生物质能源利用相关议题	169
推广生物质燃料的影响因素	170
结论	173
词汇	177

Chapter 1



概述



“能”简言之就是做功的力量。计量能的方法有许多种，例如石油常以桶或加仑计，天然气以立方英尺计（约为 0.028m^3 ），煤以吨计，电以千瓦·时（ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ）计，但是在各种能源相互比较时，其中常用的一种单位是Btu（即英国热量单位）。（<http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/science/unitsindex.html> 2005/09/12）

Btu是指：使1bl（453.6g）的水在海平面高度（即压力为 0.1MPa ）由 15°C 升高至 16°C （升高 1°C ）所需要的热量。 $1\text{Btu} = 1055.06\text{J}$ 。（<http://www.energyquest.ca.gov/scientists/joule.html> 2005/12/05; <http://egov.oregon.gov/ENERGY/RENEW/glossary.shtml#BDT> 2005/12/16）

1cal指使1g的水升高 1°C 所需要的热量。 $1\text{cal} = 4.186\text{J} = 1.163 \times 10^{-6}\text{kW}\cdot\text{h} = 0.0039\text{Btu}$ （http://www.engineeringtoolbox.com/heat-units-36_664.html 2005/08/04）。

$$1\text{J} = 1\text{kg} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \quad (\text{http://en.wikipedia.org/wiki/Units_of_energy} \text{ 2009/07/22})$$

较常见能量单位参考表如下。

较常见能量单位参考表

单位名称	符号	定义	换算为国际单位
焦耳	J	$\equiv m \cdot N = W \cdot s = V \cdot A \cdot s = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$	=1J
电子伏	eV	$\equiv e \times 1V$	$\approx 1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19}$ $\pm 4.9 \times 10^{-26} \text{J}$
里德伯	Ry	$\equiv R \infty h \cdot c$	$\approx 2.179\ 872 \times 10^{-18} \text{J}$
尔格	erg	$\equiv 1\ \text{g} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}^2$	= 10^{-7}J
卡 (20℃)	cal _{20℃}		$\approx 4.1819 \text{J}$
卡 (热化学卡)	cal _{th}	$\equiv 4.184 \text{J}$	=4.184J
卡 (15℃)	cal _{15℃}	$\equiv 4.1855 \text{J}$	=4.1855J
卡 (国际蒸汽表卡)	cal _{IT}	$\equiv 4.1868 \text{J}$	=4.1868J
卡 (平均卡)	cal _{mean}		$\approx 4.190\ 02 \text{J}$
卡 (3.98℃)	cal _{3.98℃}		$\approx 4.2045 \text{J}$
千卡, 大卡	kcal; cal	$\equiv 1000 \text{cal}_{\text{IT}}$	= $4.1868 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (热化学英热单位)	BTU _{th}		$\approx 1.054\ 350 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (ISO)	Btu _{ISO}	$\equiv 1.0545 \times 10^3 \text{J}$	= $1.0545 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (63°F)	Btu _{63°F}		$\approx 1.0546 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (60°F)	Btu _{60°F}		$\approx 1.054\ 68 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (59°F)	Btu _{59°F}	$\equiv 1.054\ 804 \times 10^3 \text{J}$	= $1.054\ 804 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (平均)	Btu _{mean}		$\approx 1.055\ 87 \times 10^3 \text{J}$
英热单位 (39°F)	Btu _{39°F}		$\approx 1.059\ 67 \times 10^3 \text{J}$
千卡时 Board of Trade Unit	k W · h ; B.O.T.U	$\equiv 1 \text{kW} \times 1 \text{h}$	= $3.6 \times 10^6 \text{J}$
一桶石油的能量	bboe	$\approx 5.8 \times 10^6 \text{Btu}_{59°F}$	$\approx 6.12 \times 10^9 \text{J}$
吨煤当量	TCE	$\equiv 7 \text{Gcal}_{\text{th}}$	= $29.3076 \times 10^9 \text{J}$
吨油当量	TOE	$\equiv 10 \text{Gcal}_{\text{th}}$	= $41.868 \times 10^9 \text{J}$
quad		$\equiv 10^{15} \text{Btu}_{\text{LT}}$	= $1.055\ 055\ 852\ 62 \times 10^{18} \text{J}$

(http://en.wikipedia.org/wiki/Conversion_of_units 2009/07/22)

能量单位间换算工具

<http://www.gordonengland.co.uk/conversion/energy.htm>

<http://convert-to.com/energy-units.html>

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/Tools/energyconv/energyConv.pl>

常用不同能源间相互比较之参考值如下：

1 桶 (158.987dm^3) 原油 (42gal) = 5800000 Btu

1 gal (3.785L) 汽油 = 124000 Btu

1 gal 柴油 = 139000 Btu

1 ft^3 (0.028m^3) 天然气 = 1026 Btu

1 gal 丙烷 = 91000 Btu

1 短吨 (907.185kg) 煤 = 20681000 Btu

1 $\text{kW}\cdot\text{h}$ = 3412 Btu

生物质能源

生物质能源是指生命物质（生物质）中所含的能量。生物质是一切有生命的可以生长的有机物质，包括动植物和微生物。生物质能主要是由太阳能转换而来，地球上的绿色植物、藻类、某些原生动物和光合细菌等，通过光合作用（即利用空气中的二氧化碳和土壤中的水及矿物质、养分等，将吸收的太阳能转换为碳水化合物如糖类、淀粉、纤维素等有机质的过程），储存化学能（少数深海火山口附近亦有利用火山喷出物质生长的生物，不过以总量而言仍属少数）。而其他生物再摄食这些生物或利用这些生物之腐质（如霉菌）而生长。生物质可转化为能量，因为生命物质可以再生，因此生物质能是可循环再生的能量（<http://www.science.org.au/nova/039/039print.htm#key%20text> 2005/08/07）。由生物将光能固定减去生物本身呼吸所耗而存下的净能量称为净原始能产值（net primary production, NPP），（<http://dieoff.org/page83.htm> 2006/06/03）估计每年地球上NPP值在 $132.1\sim 200\text{pg}$ （ $1\text{pg}=10^{15}\text{g}$ ），亦即（ $1.95\sim 3.0$ ） $\times 10^{21}\text{J}$ （<http://dieoff.org/page83.htm> 2006/06/04；Hall and Rao., 1992. Photosynthesis. 4th edi. Cambridge Univ. Press. P.3.）。太阳每小时照射到地球的日光能约为 $4.3\times 10^{20}\text{J}$ ，也约等于地球上每年目前消耗的能量总和（ $4.1\times 10^{20}\text{J}$ ）。（Donohue T.J., Cogdell R. J. 2006. Microorganisms and clean energy. Nat rev Microbiol. 4 (11) :800.doi:10.1038/nrmicro11534；Lewis N. S. and Nocera D. G. 2006. Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. PNAS.

103 (43) :15729-15735) 生物质能属于自然界碳循环的一部分, 碳经由光化学合成反应产生生物质能, 再经利用或燃烧变成碳回到大气层中, 因此生物质能被认为是一种可再生且可永续利用的能源。[高淑芳·参加亚洲生产力组织 (APO) 生物质能利用研讨会出国报告, “经济部能源局” 2007/02/16]

人类由钻木取火开始即知利用生物质为能源。可是当化石能源 (煤、石油) 被大量使用后 (化石能源虽亦由生物质产生, 但因须经数百万年才能产生, 不被认为属于可再生的生物质能), 生物质能的利用比率相对较低。当化石能源枯竭时, 人类除靠核分裂或核融合取得能以外就得靠太阳来的能了。可是核分裂会产生放射性废料储存问题, 而核融合却技术尚未成熟, 因此靠太阳得能是不得已而为之的方式。

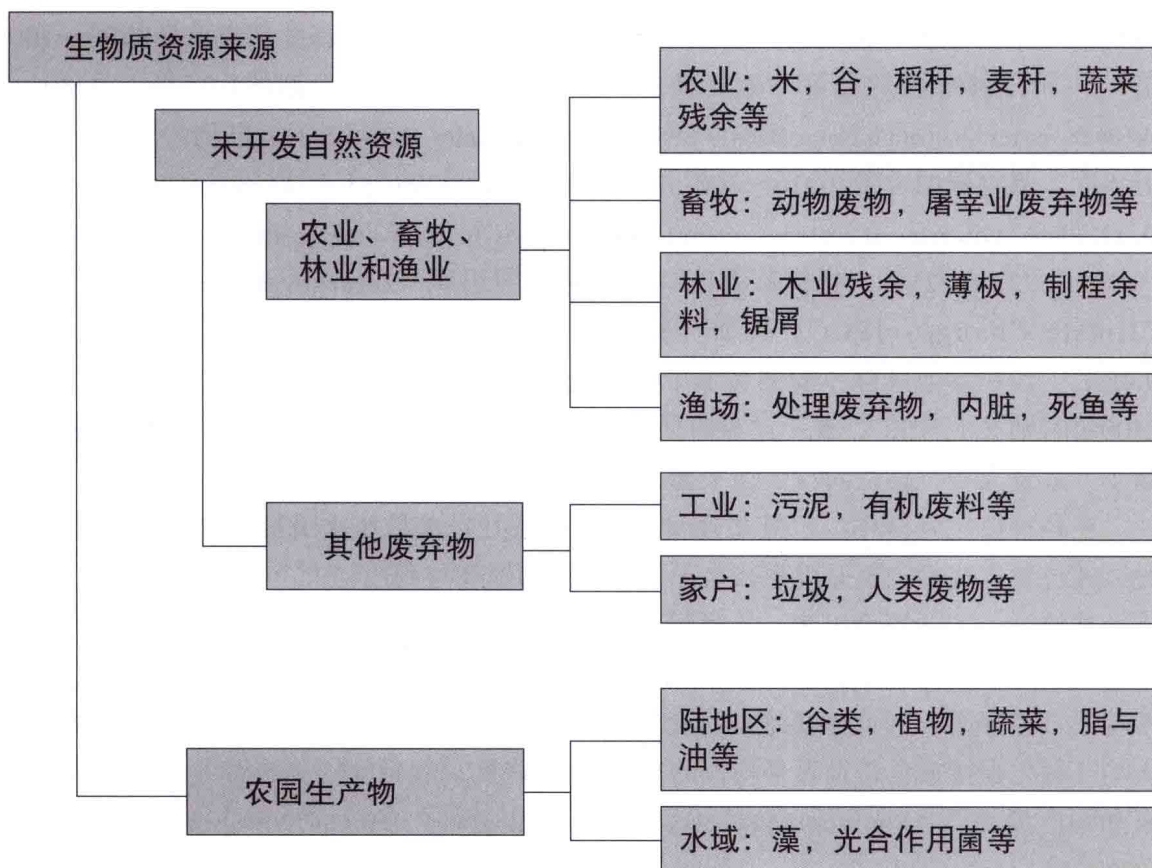
巴西利用榨甘蔗的剩余物制乙醇, 中国大陆在农村推广生物质产沼气用为能源均有显著成果。(Clay R. 2002. Renewable Energy: Empowering the developing world. Environmental Health Perspectives. 110 (1) :A30-33)

生物质能源分析

根据国际能源总署 (International Energy Agency) 的统计资料 (IEA, 2003) 显示, 目前生物质能为全球第四大能源, 仅次于石油、煤及天然气, 供应了全球约 11% 的初级能源需求, 同时也是目前最广泛使用的一种再生能源, 约占世界所有再生能源应用的 80%。(http://re.org.tw/Pro/fl/flb1.htm 2009/07/23)

其来源大致归纳如下:

注: 太阳核心约占总质量50%, 占太阳半径的10%, 但为太阳99%的能量来源。太阳核心的压力为地球大气压力的 2.5×10^{11} 倍, 温度约为 15000000°C , 是氢进行质子-质子热核熔合的反应区。核心物质的密度为 $150\text{g}/\text{cm}^3$, 远高于铁的密度 $7\text{g}/\text{cm}^3$ 。一块方糖大小的核心物质在地表的质量可达150g。太阳的输出总功率 (或称光度、发光能力或发光本领: L_{sun}) 为 $3.826 \times 10^{26}\text{W}$, 绝大部分是由核心核反应所供给。太阳的核心每秒约有630万吨的氢, 经核熔合反应转换成氦, 这个过程造成的质量损失是被转换质量的0.72% (或每秒450万吨)。如假设只有太阳总质量的10%能参与核反应, 太阳的寿命约为100亿年。太阳形成于50亿年前, 所以大约可再维持50亿年。(http://www.phys.smcku.edu.tw/~astrolab/e-book/sun.html 2007/08/16)



[高淑芳,参加亚洲生产力组织(APO)生物质能利用研讨会出国报告,“经济部能源局”2007/02/16]

温室效应

在地球大气层中,氮气占最主要成分,约78%;其次为氧气,占21%;剩余1%则为其他气体,其中有20余种属于所谓的“温室气体”,可让短波辐射光源通过,吸收长波辐射、保存地球表面温度。此种温室气体主要包括 CO_2 、 CH_4 、 CFC_{11} 、 CFC_{12} 、 N_2O 及 O_3 等,其中以 CO_2 为“温室效应”的主要成因,其贡献度高达66%。所谓温室效应,系指大气层中增加了过量的温室气体,使地球表面如覆盖在一层玻璃罩(温室)之下,使全球气温逐渐升高的现象。换言之,地球表面温度,是由地球体吸收阳光短波辐射及地球本身向宇宙释放长波辐射的交互影响所决定的,在正常情况下地球表面温度约为 15°C 。然而在工业革命之后,人类经济活动耗用大量化石燃料,导致温室气

体在大气中的浓度大幅提高，此期间大气中二氧化碳的成长速度是史前期的30~100倍，二氧化碳浓度则为第二冰河期的1.25倍，为上一次冰河期的1.75倍。（<http://ck10628.spaces.live.com/blog/cnsB464FC89830FEE3E7959.entry> 2009/07/16）推测大气在过去42万年间二氧化碳的含量在210~300 $\mu\text{L/L}$ ，而目前已达380 $\mu\text{L/L}$ （Lewis N. S. and Nocera D. G. 2006. Powering the planet: chemical challenges in solar energy utilization. PNAS. 103 (43):15729-15735）。根据联合国气候变化跨国组织（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）的研究指出，在过去一百年间，地球平均温度已上升0.45℃，且在其他条件不变的情形下，公元2030年时地球平均温度将再上升1℃，至2100年时则又上升3℃，此一结果将使南北两极冰山消融，海平面上升，导致陆地面积缩小，危及人类生存空间与生态平衡。

在各种温室气体中，二氧化碳问题是最严重且目前科技水平最无法有效解决的一种，其过量生成的主要原因系来自于化石能源的燃烧与利用。

据统计，工业革命以来，人类排放到大气中的二氧化碳逐年递增，大气中二氧化碳浓度已由工业革命前的280 $\mu\text{L/L}$ ，大幅增加至现今380 $\mu\text{L/L}$ ，其造成气候的变迁与异常现象日益显著，因此解决地球暖化问题，已成为各国一致努力的目标。中国台湾的人均二氧化碳排放量是世界平均值的3倍，因此降低二氧化碳排放的需求，又比其他国家和地区殷切。（<http://ck10628.spaces.live.com/blog/cnsK!B464FC89830FEE3E!7959.entry> 2009/07/16）

全球碳循环与温室效应可参考影片：

<http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/content/chp58/5802002.html>。

思考问题

1. 原始地球的大气成分是什么？后经蓝细菌、藻类与植物光合作用消耗 CO_2 ，大型动物吃植物后大地变化，使动植物埋入地下，成为煤炭与石油，理论上最多可能有多少石油与煤炭呢？大地的蓝细菌、藻类与植物光合作用消耗 CO_2 ，对此趋势有何办法呢？植物会不会因大气中 CO_2 量增加而加速光合作用呢？此二者可否逐渐平衡？
2. 蓝细菌、藻类、可行光合作用原生动物与植物，每种对吸收 CO_2 的效率各如何？它们的光合作用效率如何？

能源供应问题

目前全球能源的供给结构中有4/5为化石能源。因此，一般认为应以化石能源为防止温室效应问题恶化的管制重点。而在各经济部门中，工业与能源产业使用化石能源，以及排放二氧化碳的数量最多。（许志义.1997.论全球温室效应问题与因应对策。经济情势暨评论季刊. 2(4): 127-141.台北）

基于化石能源燃烧产生CO₂所带来的温室效应与其他环境污染问题（如燃煤产生氧化硫等会形成酸雨）与日俱增，且化石能源逐步耗竭，价格日益高涨，在1998年原油每桶13美元至2008年4月曾涨至130美元。

近年世界能源消费情形可参考下表：

2005年世界能源消费（燃料）

单位：Mt油当量

地区	石油	天然气	煤炭	核能	水力	总计
北美地区	1132.6	697.1	613.9	209.2	148.6	2801.3
中南美洲	223.3	111.7	21.1	3.7	131.7	501.4
欧洲地区	963.3	1009.7	537.5	286.3	187.2	2984.0
中东地区	271.3	225.9	9.0	—	3.9	510.2
非洲地区	129.3	64.1	100.3	2.9	19.9	316.5
亚太地区	1116.9	366.2	1648.1	125.0	167.4	3423.7
世界合计	3836.8	2474.7	2929.8	627.2	668.7	10537.1

（高淑芳。参加亚洲生产力组织（APO）生质能利用研讨会出国报告。经济部能源局2007/02/16）

另依1998年9月“经济部能源委员会”的资料，全球重要能源供应状况参考如下表（<http://www.npf.org.tw/PUBLICATION/SD/090/SD-B-090-002.htm> 2005/09/20）：

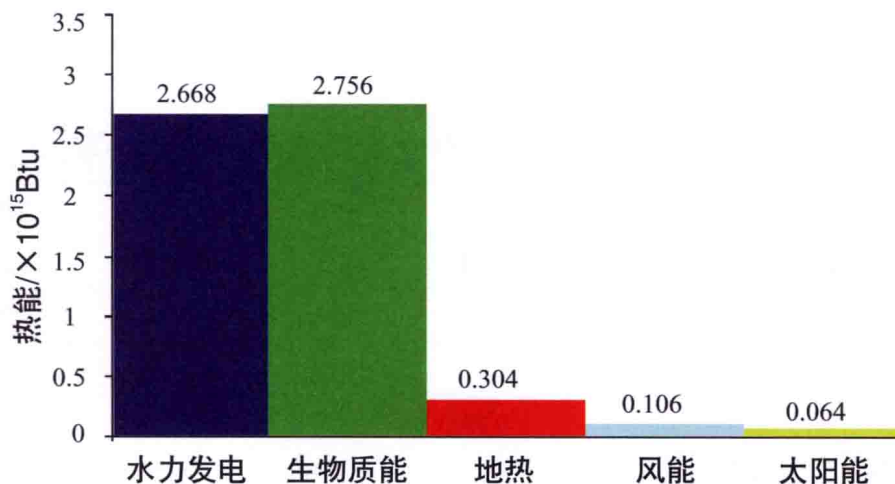
项目 \ 能源	石油	天然气	煤炭	核能
蕴藏量	10529亿桶	146Mm ³	9842亿吨	235万吨
产量（1998年）	257亿桶	2.3 Mm ³	45亿吨	—
可使用年数	41年	63年	218年	77年*

* 表示铀蕴藏量以目前技术而言，可使用77年，但考虑到使用过的核燃料在处理回收后可重复运用，则其使用年数可增加50倍。

世界各国已经历1973年中东战争第一次石油危机, 1978年两伊战争第二次石油危机及1990年波斯湾战争第三次石油危机 (<http://blog.xuite.net/chiping.lo/financet=c&w=176669&re=list&p=1:2005/12/20>), 2008年第四次石油大涨危机等的重大影响, 深感依赖石油能源的潜在危机。因此除加强太阳能、风能、潮汐能或海水温差能、水力、核能等开发外, 生物质能若妥善利用既不会增加温室效应, 还有可废物利用的特色, 如厨余、木屑、落叶、废纸、动物排泄物等皆可用于产生能。人类不得不再重新重视生物质能的开发利用。天然气中约含甲烷80%, 每 1m^3 含35714Btu热量, 生物质废物产生的生物质气体 (biogas) 含55%~65%甲烷, 每 1m^3 约含21428Btu热量。

(<http://www.habmigern2003.info/biogas/methane-digester.html> 2006/08/25)

生物质能源约占全球能源消耗的14%, 就美国而言, 在2002年生物质能约占所有再生能源的46.7%, 如下图所示。



(http://egov.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/Biomass_Home.shtml#overview 2005/08/15)

为适应能源供应高度依赖进口及全球为缓和气候变迁而管制二氧化碳等温室气体的趋势, 中国台湾于1998年5月召开能源会议, 各界达成推广再生能源利用的共识 (<http://fcu.org.tw/activity/session03/visit/Tianlong/reference/RenewEnergyPongHu.html> 2005/08/16)。即期以能源多元化的做法, 分散中国台湾能源供应风险, 并响应全球管制温室气体的趋势。(<http://www.npf.org.tw/PUBLICATION/SD/091/SD-B-091-018.htm> 2005/08/16)

中国台湾自产能源有限, 对进口能源依存度由1979年的82.2%上升到1999年的96.7%, 至2000年又上升到97.1%。

依中国台湾“经济部能源局”公布的能源指标如下表所示：

能源指标			
	1984年	1994年	2004年
进口能源依存度/%	88.78	95.33	97.94
能源进口值占总进口值比率/%	21.42	6.63	12.28
能源进口值占GDP比率/%	7.96	2.32	6.35
平均每人负担能源进口值/新台币元	9878	7119	30656
平均每人能源消费量/升油当量	1729.3	3029.18	4643.47
能源生产力/（新台币元/升油当量）	98.49	108.63	107.60
能源密集度/（升油当量/新台币千元）	10.15	9.21	9.29
中东原油进口依存度/%	83.26	73.84	76.74
石油依存度/%	59.22	52.83	51.03
平均每人用电量/kW·h	2.595	5.394	9.130

(http://www.moeaec.gov.tw/ePublication/energy%20situation_94/index.html 2006/05/08)

又“经济部能源局”公布之，中国台湾地区能源供应量自1984年的3810万升油当量增至2004年的13406万升油当量，年平均成长率为6.5%。进口能源占总能源供应量比例，自1984年的89%增至1982年的98%，自产能源自1984年的11%降至2%。进口能源占总能源供应比例甚高。能源供应结构为：

- 煤炭1984年的18%增至2004年的33%
- 石油自59%降至51%
- 天然气自4%增至8%
- 水力发电自3%降至1%
- 核能发电自16%降至7%
- 1966年以前以煤炭为主，1967年至今则以石油为主
- 第二次石油危机后积极推动以燃煤及核能代替燃油的政策
- 2004年进口能源支出为206.1亿美元，其中进口原油及产品为152.2亿美元，占73.9%
- 2004年进口能源值占总进口值12.3%，占省内生产毛额6.4%，按当时汇率计，平均每人负担能源进口值为新台币30656元 (http://www.moeaec.gov.tw/ePublication/energy%20situation_94/05.html 2006/05/08)