

世界农业
丛刊

农业与能源译丛

(2)

农业出版社

目 录

生物能源展望.....	[英] D.O.Hall (1)
食物—能量的平衡.....	[美] H.F.Breimyer (21)
能源危机对农业生产的经济 and 环境影响.....	[美] D.Dvoskin E.O.Heady (27)
第三世界农业与能源的政治经济学	[美] A.Levinson等 (36)
今后的农业和能源问题.....	[日] 川井一之 (46)
用模拟法估价节能措施.....	[美] R.M.Pearl等 (55)
欧洲农业中能量的使用.....	(60)
亚洲今昔蔬菜生产的能量研究	[澳大利亚] K.Newcombe (70)
新西兰农业能源问题.....	[新西兰] R.G.Pearson等 (78)
农业与能源 (二)	(85)

生物能源展望

〔英〕D.O.Hall

目前,生物量(biomass)提供的能量占世界年耗能总量的1/7,相当于每天2,000万桶石油。其中的大部分是由发展中国家(尤其是那些农村地区)所应用的。对生物量的过分依赖正在引起严重的农业和生态问题。在较干旱的地区,这种情况更为突出。

1980年,世界各国政府在太阳能研究和发展上的投资近25亿美元。其中4/5以上是美洲国家(巴西、美国、加拿大)提供的,这些国家的生物量研究计划已经贯彻了四年之久,这是由于他们认识到:生物量除了能够提供固态燃料和化工原料之外,还能提供液态和气态燃料,而其费用与社会经济收益,即使从研究和试验工厂的早期情况来看,也是出人意料地有利的。目前世界上许多国家都在执行和估价生物能源计划,十分重要的是:每个国家和地区都应估算自己的需求与潜力,培训执行计划所需的人才,发展必要的基础设施。

本文将阐述生物量资源、转化技术及怎样在各个不同国家运用。讨论模拟光合基本过程(即C和N的固定、水的分解)的可能性和通过细胞膜电荷的分离(为取得电)问题。

一、引言

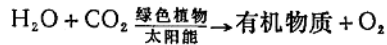
几乎天天都可以听到这样的警告:石油正在日益耗竭;即使我们能够幸运地获得的话,其价格也是惊人的。不可再生的液体能源价格将日益高涨,甚至可能定量供应,这正是许多发达国家特别看重生物量的原因之一。而对发展中国家说来,或许更值得重视的是所谓的“薪柴危机”,由于毁林对农业、社会、经济有着长远的不利影响,这个问题就显得更为严重。

近五年来的石油(能源)问题,对生物量的利用与开发有着三个方面明显的影响。第一,发展中国家对生物能的使用大大增加,这是由于石油产品变得太贵而且不易获得;第二,不少发达国家建立了大规模的研究和发展计划,以寻求确定生物能源的潜力和开发的费用。目前,北美和欧洲每年在这方面的研究经费约一亿美元。工作还处于早期阶段,但所取得的成果比那两年前人们所料想的更富有希望。有关示范性的设计和小规模商业化生产正在迅速地实施着;第三,至少在一个国家即巴西,大规模的生物量计划正在以尽可能快的速度进行着,目前每年的投资已经超过了五亿美元。因为这个国家每年要花掉一半外汇来进口石油。

世界上大多数人是种植和加工植物产品为生的。发展中国家的主要难题就是缺乏这种资源,以及如何努力维持、乃至提高现有的利用水平,而又不给农业、林业和生态

系统造成危害。应该尽快地考虑和更有效地利用现有的生物量和可能替代它的如太阳能及风能的措施,以努力扭转对生物量的过度使用,而这种趋势已出现在许多国家了。发达国家中已发展起这方面的专门知识,并已应用于旨在确定生物量开发的技术与经济潜力的计划。生物量在现在和将来都可以提供能量,至于它在各类能源中占的比重有多大,则由各个地区和各国的具体情况而定。每个国家都必须建立自己的能源利用模式,明确自己的生物量潜力。这是不容易很快做到的,但需要尽快地做到。

众所周知,地球上碳化石的矿藏,无论是用作燃料的还是用作化工原料的,都是过去年代中光合作用的产物。光合作用是生命的基本过程。在植物界,这个过程可以简单地表示为:



除了C、H、O之外,植物还通过光有关反应过程将N和S结合到有机物中,这一点常常为人们所忽视。我们知道,生命依赖于有机物质和 O_2 ,因此,迄今为止,光合作用的基本过程对生命起着决定性的作用,在未来生物能系统的集约中,也将如此。

在过去,光合作用为我们提供了煤、石油、天然气、薪柴、食物、纤维,以及化工原料。对这种被固定碳的使用,在时间上各不相同,以后也仍会是这样。现在有必要来看一下光合作用在生物圈中占据的地位到底如何,以及今后怎样将生物太阳能转换为一种原料来源,而不必采用传统方式。

许多人对当前光合作用的规模缺乏认识。光合作用生产出的以生物量形式储存起来的能量,约为世界每年使用能量的10倍。表1说明已探明的地下燃料储藏仅仅跟地表现存的生物量(大部分是森林)相当,而全部地下化石燃料可能仅仅是这个数目的10倍。这种太阳能的摄取和转换,规模巨大,但效率却很低,全球平均仅为0.1%。但由于植物具有广泛的适应性,这种光合作用也就能在世界的大部分地方发生和被利用。

世界每年耗用燃料的1/7是由生物量提供的(相当于美国的消耗,即每天2,000万桶石油),并且砍伐的林木中,约有一半是用于炊事和取暖,人们并没有普遍地认识到这一点。由于对生物能源的使用主要是限于发展中国家,因此,直到不久以前还没有受到人们的重视。由于对生物量的过度利用,已造成严重的和长期性的后果。在占世界人口50%的非石油输出国组织的发展中国家,非商品性能源经常占总耗能的90%以上。其中包括林木、牛粪和农业废物。由于这些能源不是买来的,所以也没有得到深入的研究,世界上半的人口主要靠林木来做饭(约占家庭耗能总量的4/5)和取暖,实际消耗的林木可能是通常统计数字的三倍。况且,非商品性能源供应的统计,由于十种甚至上百种因素的影响,使之与实际数字不符。

按个人估计,发展中国家一个农村居民平均每年消耗生物量约为15GJ(即 15×10^9 焦耳——译著)。这相当于1吨或1.4立方米的风干木材。各地由于木材、牛粪、农业废物的相对比例不同,使用情况也就不一。发展中国家约有30亿人口,其中70%为农村人口。在农村,生物量占总能源的85%以上,其中大部分是用于做饭。另外,农业和小工业也急需地方性的能源。我们计算的结果,世界农村生物量的使用量为 3.2×10^{10} GJ。各地区生物量占总耗能的比例分别是:非洲65%,拉丁美洲45%,印度和远东为50%。如果将发展中国家的城市人口的生物量耗用量(平均每人每年8GJ)和小工业的耗量也

算在内,那么,发展中国家的生物量就达到 4×10^{10} GJ, 占世界总能耗量的 1/7, 相当于每天2,000万桶石油。

表1 化石燃料的储量、总资源、生物量生产与CO₂平衡表

项 目	煤 当 量 (吨)
已探明储量	
煤	5×10^{11}
石 油	2×10^{11}
天 然 气	1×10^{11}
	8×10^{11} 吨 = 25×10^{21} 焦耳
估算资源	
煤	85×10^{11}
石 油	5×10^{11}
天 然 气	3×10^{11}
	20×10^{11} 吨 = 300×10^{21} 焦耳
其 它(不常用的燃气与燃油)	113×10^{11}
迄今的化石燃料用量(1976年)	2×10^{11} 吨碳 = 6×10^{21} 焦耳
世界年能耗	8×10^{20} 焦耳
年 光 合	8×10^{10} 吨碳
(a)净第一性产量	$(2 \times 10^{11} \text{ 吨有机物质}) = 8 \times 10^{21}$ 焦耳
(b)耕种土地上的产量	0.4×10^{10} 吨碳
储存在生物物质中的能	
(a)总量(90%在树木中)	8×10^{11} 吨碳 = 20×10^{21} 焦耳
(b)耕种土地上的	0.06×10^{11} 吨碳
大气圈CO ₂	7×10^{11} 吨碳
大洋表层CO ₂	6×10^{11} 吨碳
土壤有机物质	$10-30 \times 10^{11}$ 吨碳
大洋有机物质	17×10^{11} 吨碳

这些数据尽管不是十分精确的,但却说明了:(1)世界年能耗仅仅是经光合作用而储存起来的能量的1/10;(2)储存于地表生物量中的能量相当于已探明的化石燃料储量;(3)以化石燃料储存起来的能量总数仅仅相当于约100年的净光合量;(4)储存于生物物质中的碳近似于大气和海洋表层中的碳(以CO₂的形式存在)

本文论述的是:通过转化太阳能而得到的燃料,现在是将来也仍然是能源的一个重要的组成部分,或许在将来占的比重更大。我们应该重新审查(在可能时重新使用)以前的方法,但由于今天人口的增长和生活水平的提高,不可能回到旧有的技术水平上去,而必须发展新的、更有效地利用目前光合作用系统的方法。太阳—生物系统,可以在短期到长期一系列不同的水平上实现。其中有一些,例如林木、生物废物和农业废物,以及能源农业的利用,可以直接应用到实际中去,而另外的一些,则可能永远也不能付诸实践。光合作用的利用系统,可依各国的具体情况而定。这需要考虑能源总量,当地的食物和纤维生产情况、生态平衡以及气候和土地的利用情况。无论在哪种情况下,任何生物系统能量的总输入(除太阳能以外)都必须与能量输出相比较,同时还要与别的能量生产系统的建设和运转中所耗掉的能量相比较。

太阳能是未来的一个十分诱人的能量来源,但它也有不足之处。它依每日和季节而变化不定,断断续续,使收集和储存费用昂贵。然而,我们却可以利用植物来摄取和储存变化不定的太阳辐射,以供将来使用。因此使用生物量做为能源的设想获得了人们真正的重视,并且已经进行了一些投资。通过生物量,不仅可以获得大量的液态燃料,而

表2 生物能源的优缺点

优 点	缺 点
1. 储备能量	1. 争水争地
2. 可再生性	2. 需要更多的土地
3. 能量转换容易, 产品多种多样某些产品蓄能量高	3. 初始阶段的供应不准确
4. 建立在现有的技术基础之上, 资本投入最小, 不受贫富限制	4. 费用往往不准确
5. 可用现有人力与物质开发	5. 需要肥料、土壤、水
6. 生物和工程开发潜力大	6. 与现有农业、林业和社会生产有矛盾之处
7. 创造就业机会, 有助于训练人的技能	7. 体积庞大, 运输与储存均有问题
8. 在许多情况下价格合理	8. 易受气候变化影响
9. 生物学上安全无害	
10. 不会增加大气中的CO ₂ 含量	

且还可以用它发电和用于其它用途。据了解, 以下国家均有生物量的利用开发计划: 英国、爱尔兰、法国、德国、丹麦、瑞典、美国、加拿大、墨西哥、巴西、苏丹、肯尼亚、澳大利亚、新西兰、印度、菲律宾、泰国、以色列、南朝鲜和中国。在贯彻这些计划中, 最大的困难是对这个如此复杂的问题的解决方法太简单了。幸亏植物种类繁多, 适应性强, 从而给我们连续不断地提供着食物、纤维、燃料和化工原料。如果在10—15年内出现严重的粮食问题, 我们可能要更快地设法利用生物量。

现在还不能肯定, 一个国家会不会将其全部能源需求均系于生物量之上——除了在条件极为优越的情况下, 这大概是不可能的。每一个国家或地区都应该仔细调查生物能源系统的优点和缺点(表2)。从长远的观点考虑。但任何重大计划的实施都需要时间, 同时还需要经济和政治方面的重要保证, 各地的计划将各有侧重, 从而大部分研究

和开发工作都应是分地区进行的。因此, 这种研究和发展工作是鼓励(同一能源供应领域中的)当地的科学家、工程人员和管理人员的好机会。对任何能耗预测, 尤其是当这些预测落后了半年乃至一年之后, 只有充分认识清楚。有关的假定条件, 才能做出肯定明确的结论, 在将来, 即便某个国家不把生物量作为重要的能量来源, 但就对农业、林业、土地利用方式和生物转化技术的好处来说, 生物量系统的副产品也是很有意义的。

二、光合作用效率

植物吸收利用的主要是太阳辐射光谱中波长为400—700nm的部分, 即所谓的“活跃光合作用辐射区”(PAR), 这个区的辐射量占太阳光总量的一半, 而太阳照射到地球表面上的总辐射, 在一个一般晴日的平均强度约800—1,000瓦/平方米。

光合作用能量转换的最大实际效率可达5—6%(表3), 这是根据我们对CO₂的固定以及生理和物理损失等过程的研究而得出的。以碳水化合物形式固定下来的CO₂的含能量为0.47MJ/mol(百万焦耳/克分子)而每克分子红色光子(波长为680nm)含能为0.176MJ(红光在可进行光合作用的光线中光合力最低)。因此, 以红光固定CO₂的最小克分子当量数为: $0.47/0.176 = 2.7$ 。由于至少需要8个光子才能将水分子中的4个电子释放出来, 以固定一个CO₂, 所以, 理论上的CO₂固定效率为 $2.7/8 = 33\%$ 。这是红光的情况, 显然对白光来讲, 这个数还要小一些。在最佳田间条件下, 植物可以取得3%的转换值。这个数值仅仅是短期的生长季节的情况, 如果全年平均, 就降至1—3%

(表4)。在实际中,典型的温带地区的全年光合转换率为0.5—1.3%,而亚热带作物则为0.5—2.5%。在各种不同效率下,不同太阳辐射强度的产量,可以很容易地通过图表资料算出。

表3 光合作用效率和能量损失

损 失 率	可获得的光能
海平面	100%
50%: 因为可用作光合作用的(400—700nm波长的)光占总辐射的50%	50%
20%: 为反射、非活性吸收、叶传导所损失	40%
77%: 代表680nm波长的光固定CO ₂ 时的光量子需求所造成的损失(假定10个光量子/CO ₂)*	9.2%
40%: 呼吸作用的损失	5.5%
	(此为总的光合效率)

* 如果取最小的光量子需求数(8/CO₂),则这个损失率将变成72%而不是77%,结果使最终总的光合效率为6.7%而不是5.5%

表4 干物质生产的中上年产量

	吨/年·公顷	克/米 ² ·天	光合效率(占总辐射的%)
热带:			
野生真珠粟(Napier grass)	83	24	1.6
甘蔗	66	18	1.2
芦苇沼泽	59	16	1.1
一年生作物	30	—	—
多年生作物	75—80	—	—
雨林	35—50	—	—
温带(欧洲):			
多年生植物	29	8	1.0
一年生植物	22	6	0.8
草地	22	6	0.8
常绿林	22	6	0.8
落叶林	15	4	0.6
Savanna	11	3	—
荒漠	1	0.3	0.02

三、生物能源计划的实施

一个生物能源计划,能否在一个具体的国家中得到实施,取决于以下几个主要因素:(1)生物资源情况;(2)转换、分配、销售的技术和相互关系;(3)政治、社会和经济的因素。下面依次讨论这几个方面的问题。

表5 年产生物量(吨)

净初级生产量(有机物质)	2×10^{11}
森林产量(干物质)	9×10^{10}
谷物: 总收获量	1.5×10^9
其中淀粉	1×10^9
根茎作物	5.7×10^8
其中淀粉	2.2×10^8
糖类作物	1×10^9
其中糖	9×10^7

1. 资源基础

生物量年总产量(净初级产量),森林产量(包括天然林与人工林)和主要的淀粉作物与糖类作物的产量见图5。除此之外,世界各地还广泛地存在着作物残遗物和其它有机废物。这些残遗物在北美和欧洲称作“主要的短期生物量”。虽然在这些国家中已经对这些残遗物做了一定精确度的计算,但发展中国家目前却没有。这方面已有的数据

也常常是大可质疑的,在目前不能用作能源计划讨论的依据。除了已经建立起来的森林和食物资源之外,人们也已提出了今后利用广阔的其它陆地和水生生物养殖的系统。已

建立起来的系统和将来的选择，均概括于表 6 中。下面将对其中两种往往被忽视了资源做一略述。

表6 可供转化为燃料的生物资源

废 物	陆生植物	水生植物
粪 肥	木质纤维素：	藻类：
淤 泥	各种树木（主要	单细胞的小球藻
家庭垃圾	有杨树、冷杉、各	舟形藻和栅列藻
食品下脚料	种松树、木麻黄和	多细胞的海带
污 水	Luceana）	
残渣物	淀粉作物：	水草类：
甘蔗 头	玉米、木薯	凤眼莲
禾 草		芦 苇
果 壳	糖料作物：	灯心草
柑 桔 皮	甘蔗、甜菜	
蔗 渣		
糖 浆		

(1) 水生生物与藻类 淡水与海水中的生物产量的潜力是很大的。但是，这些植物收获后的水分太大，又难于在太阳光下很快干燥，这都使之不能成为直接燃烧所能利用的燃料。对这些水生生物和其它湿的作物秸秆进行封闭(绝氧)发酵，可以将其转变为燃料、肥料和饲料，是一个最可取的办法。水草能在污水中繁茂生长，在它们迅速生长的同时，又有效地净化了污水。因此，水草的作用是双重的：既改善了环境质量，又提供了可观的能源。

利用水生凤眼莲进行沼气的生产，这种方法已经为一些国家所采用。选这种植物做原料，是由于其生长速度快，而且是浮游植物，易于收获。世界上阳光充足的经常往

废水处理问题的许多地方，生长着藻类的池塘，很有发展希望，因为藻类可吸收那些有往有污染作用的和处理费用高的有机废物。

在生物—太阳能系统中，利用藻类和细菌的想法并不是最近才有的，只是最近才得到人们更多的注意。微生物系统的优点之一，是根据当地条件的不同，既可以采用复杂精密的技术，也可以采用简便的技术。对最适合的种的选择也取决于当地的具体情况，例如对盐度和温度的考虑，从而所选择的种类能够很容易地适应环境的要求。

工业、农业和居民生活所排放出的许多液态和半固态废物，对行光合作用的藻类和微生物都是很理想的。在有利情况下，可以 3.5% 的太阳能转换效率快速生长。收获后的藻类可以直接用作饲料、用来发酵生产沼气或者用作燃烧发电。与此同时，废物得到了处理，水质得到净化。加利福尼亚藻类处理污水方法的费用，仅为传统处理方法的 1/2—3/4，主要是花在收获上面的钱较多。但随着新技术的发展和选择各种不同的、易于收获的生物种类，这种情况正在大大改善。现在正在试验一种“双塘式”的处理液态废物的方法。第一个池塘，种植可以通过排干水的方法收获的藻类，而在第二个池塘中，种植有固氮作用同时又是便于收获的蓝绿藻，后者从前者的池塘中吸取养料。对工业废物，例如 CO₂ 的利用，也有助于提高生产率。收获后的藻类，发酵后生成沼气（即甲烷，当量为 500 BTU/每磅藻），其残存物中，则会包含有藻类物质中的全部 N 和 P，从而为农业提供了良好的肥料。每亩藻塘所提供的肥料，可以满足 10—50 亩农田的要求。在最理想的情况下，将能量投入和转换损失包括在内，每亩藻塘每年可以获得 2 亿 BTU 的沼气净产量。在 30 度纬线的地方，这意味着 1.5% 的太阳能转换效率。以这种方法生产出的沼气的费用，经计算为每百万 BTU 2.75—4.10 美元，这取决于土地费用与池塘的规模。单从这些费用看是高昂的。但是，若将它节省的废物处理费用（这种费用日益增高）所带来的收益价值和副产品如肥料、有机化工原料的价值考虑进去，这些费用实

际上是并不高的。

在加利福尼亚,藻类的平均生产量达到干重100公斤/公顷·天以上,夏天,最高产量是这个数字的三倍。每年每公顷所生产出的50—60吨干物质,可以发电74,000千瓦小时。Oswald已经建成的藻塘总量有10⁶升,其光合作用转化效率已稳定地达到2—3%。在大的养牛场和养鸡场,现在都附设有藻塘,家畜的粪便直接投入这些藻塘中。其中约有40%的氮重新为藻类所吸收,而后又可拿去喂家畜。目前种植的绿藻含50—60%的蛋白质,而正在试验中的蓝绿藻含有60—70%的可吸收蛋白质。至少已有10个国家利用藻塘来进行污水的氧化。人们对这种既是净能量和肥料的生产器,又是污水净化器系统的兴趣,正在迅速而广泛地增加。尽管以这种方式获得的能量有限,在任何一个国家的能量需求量中都不是主要的,但这种藻塘系统却具有许多长处,其中重要的一点是其保存能量的特性。

(2) 干旱地区 世界的陆地中,干旱与半干旱地区占了很大的比重。这些地区往往具有严重的能源、薪柴和生态问题。如果管理妥善的话,这些地区的植被可以成为一个提供能量、食物、纤维、化工原料的可再生资源。研究这类地区的机构已经有了几个,但它们都需要进一步加强和扩大工作范围。

有许多种具备CAM景天酸代谢类型光合代谢机制、适于在干旱地带生长的植物,例如,大戟(*Euphorbia*)与丝兰(*Yucca*)。这类植物能最大限度地利用水,这类植物每单位水所能生产出的干物质,与别的类型的植物相比是很高的。它们在高温、强光以及其它生理不良条件下,均能生活良好。在这样的环境中,持续产量是很重要的。将来,在一个持续的基础上,通过恶劣环境中生长的植物来生产油类、橡胶、植物蜡以及能量,这是具有很重要的意义的。

许多植物生产碳氢化合物,可以用作燃料和化工原料,众所周知的就是橡胶树产生天然橡胶。这类碳氢化合物从化学上讲,还原程度比碳水化合物还原度高,即它们的分子构成中,氧与碳的比例数更小,因而利用起来比碳水化合物更为直接。碳水化合物在作为燃料使用之前,需要有一个微生物学或者热化学的转换过程。目前世界橡胶需求量的1/3是由天然橡胶提供的。由于合成橡胶(以石油为原料)的成本和天然橡胶的单产都在增加,这个比例数也在增长。天然橡胶也可以通过荒漠灌木植物银色橡胶菊(*Pavthanium argentatum*)来生产。墨西哥在过去已经进行了大量的生产,在1910年和1944年各生产了约2,000万磅,以应付当时的形势。墨西哥和美国都在重新认真考虑利用本地资源生产天然橡胶的可能性。

另外人们也在努力挑选能够生产比橡胶分子量小的碳氢化合物的作物,并建立起这些作物的试验种植园。目的是想从那些含有某种与汽油的成分十分相近的植物中提取液态物质。其中最著名的是在加利福尼亚的Calvin所做的研究工作。他利用的植物是大戟科的,要想达到的目标是在一个半干旱(荒漠类型)的环境中,每年每公顷生产出相当于20桶“石油”的产物。除此之外,在巴西也鉴定出能生产“石油”的树 *Cobaifeira* sp. 和巴豆属植物(*Croton* sp.), 这些“石油”可以直接应用,也可以加工后供发动机使用。

对高碳氢化合物含量的植物的系统研究,以前断断续续地进行过,其中主要是在美洲。这些工作是研究生产乳汁的植物,因为乳汁是一种含有30%的碳水化合物和70%水

的乳浊液。天然橡胶是众所周知的胶乳产品，但许多别的植物如大戟科植物的乳汁的分子量比天然橡胶小的多（10—20,000而不是1—2,000,000），人们正在寻求的就是这种象石油一样的小分子产品。我们将在下面讨论这些和其它一些例子，以说明有别的替代物来作为可再生的石油资源。但必须强调指出，各个国家能够在有利可图的基础上生产出来的数量，是相差悬殊的。通过这种办法所获得的液态燃料，在任何国家的液态能源需求中，均不会占很大的比例，但毕竟是将来提供液态燃料的途径之一。这类植物不必种在耕地上，不会跟粮食生产争地。最后应指出，这方面的研究并不是新近才有的：①在1874年前后，伦敦邱园（英国皇家植物园）的工人挑选出许多大戟属植物，因它含有油，有些样本一直保留到100年以后；②在托姆斯·爱迪生生命的最后四年中（即1928—1932），他为寻找一种长在美国的橡胶植物，检验了2,000多种植物的橡胶和树脂的含量，他发现了许多含碳氢化合物的植物，但其中仅有一两种的分子量较大，有可能成为天然橡胶的替代物。爱迪生的研究没能进一步进行下去。1921年，Hall和Long出版了一本论述北美植物橡胶含量的专著。1974年，Calvin推断说，如果植物能生产出碳氢化合物类的物质来，如果其产量能够设法提高的话（如象橡胶那样），那么就可能除了橡胶之外，还会发现一些别的产胶乳的植物，它可以种植在水温条件均较差一些的环境中（干旱和半干旱）；而在别的环境中，反倒可能不适宜。*Hevea*（天然橡胶），只生长在热带，是大戟科中的一种。大戟科中的大戟属中，几乎所有的种都是产胶乳植物。最初，Calvin将从橡胶树中得到的胶乳作为萃取、分析、层析等研究中的分析标准。对这个属中的十来种进行了化验，发现其中的大部分含有分子量远远小于橡胶的碳氢化合物。

可以被丙酮和苯萃取的、还原了的有机物质，平均为 $10 \pm 5\%$ 。如果含“油”10%，则可做出下列粗略的计算：在湿润地带或者灌溉区，生物物质产量可望达到每年每英亩10吨（干重），即可产油1吨（7桶），种植费用每英亩为150美元，即每桶油的费用约为20美元（加工费与残渣的价值未包括在内）。这种油除了作为燃料之外，在其它方面的价值尚未确定。初步估算的费用，跟目前的汽油价格是相当接近的，所以，进一步的研究是值得的。

Calvin做出结论说，这种类型的开发将会以两种途径提供出可再生资源：①将从植物中获得的浓度（重量比）为2—10%的碳氢化合物作为原油，经过提炼，分离其所含的固醇，将其余的化合物分裂为乙烯、丙烯等等；然后以这些产品重新合成理想的化工原料。Calvin认为，这种特别的方法目前就能获得发展。②研究分子量的大小是受什么因素制约的，从而控制植物使之生产出分子量理想的物质。这种办法是将植物作为收集器和组建器，情况更为复杂，因而也需要较长的研究时间。

Buchanan和Otey在伊利诺斯州美国农业部的一个试验室中，对300来种植物进行了估价，并制订出一个将新的含油和产碳氢化合物的作物引入美国农业的方案。他们认为，为了使碳氢化合物和天然橡胶的生产，在美国的农业中得到实施，就必须鉴定出适合美国生长而生产能力高的植物来，并对其遗传性能进行改善。选择时，应从各个方面的用途着眼，包括用作纤维、蛋白质和碳水化合物。因此，已经对那些具有潜在多种用途的产碳氢化合物的植物种，建立起初步估价的步骤与标准。他们预计，在直径为25公里的产油和产碳氢化合物的作物区内，可建立一个初级加工工厂（“植物化学工厂”），

每个工厂可加工24—500公顷作物，每年生产出的全部植物产品约280,000—550,000吨。产品的混合物可用于满足经济的或社会的需要。可能获得的初级产品包括：全植物油（wholeplant oils）、可溶性多酚、橡胶、硬橡胶、牛用饲料、高蛋白饲料和食物、造纸用纤维、葡萄糖、木糖、燃用醇类、甲烷以及土壤改良物质。

根据Buchanan和Otey1979年的预计，在人工栽培的条件下，干物质产量提高50%，油和碳氢化合物的含量增加2—3倍，这是可能达到的。从作物培育者和农学家在传统作物（尤其是橡胶上已取得的成果看，这些预测数字是合理的。人工栽培时，也必须要达到使培育出的作物能够每年每公顷至少生产出2.24吨的油和碳氢化合物来。在300多种化验过的植物中，选出进一步详细研究的种数很有限：可产橡胶的作物13种；兼产油类和橡胶的作物11种；可产油类的作物9种；可产硬橡胶的作物3种。

最典型的橡胶作物是草本多年生植物，如可以用山薄荷（*Pycnanthemum incanum*）、*Cacalia antriplicifolia*（狗舌草近缘植物，菊科——译注），或者牛奶草（*Asclepias syriaca*）培育出来的作物。兼产油类与橡胶的作物也是草本多年生的，可以由高风铃草（*Campanula americana*）、泽兰（*Eupatorium altissimum*）、苦苣菜（*Sonchus arvensis*）或者美山莴苣（*Silphium*）属中的种培育而来。产油作物是多酚含量高的木本多年生矮灌木，可由银槭（*Acers accharinum*）、光滑漆树（*Rhus glabrd*），或者黄樟（*Sassafras albidum*）培育成。硬橡胶作物是从多年生草本中培育出来的。此外了解较多的种类还包括有：银色橡胶菊（*Parthenium argentatus*）、橡胶菜（*Taraxacum kok-saghyz*）、一支黄花（*Solidago leauenworthii*）、锯齿大戟（*Euphorbia dentata*）、异叶大戟（*Euphorbia heterophylla*）等。

迄今为止，研究工作都是集中于对那些可能成为新的油类和碳氢化合物作物的植物进行鉴别和鉴定。这项工作需要大大加以发展。随着有希望的植物种的鉴定，培育计划、遗传研究和农学研究都应该相应跟上去。银色橡胶菊是目前最可能成为一种多用途的产油和碳氢化合物的作物，因为其生产过程的大部分研究，美国农业部已在第二次世界大战期间完成了。银色橡胶菊易于普遍推广采用，其远期的贡献意义尤为重要。

有机物质在土壤中的作用亟需予以调查研究。土壤肥力必须得到保持，无论在何种耕作制度下，或是由于气候作用使植物残余物还田很少的情况下，都应该对改良土壤的有机物质进行估价和研究。这些物质在没有作物秸秆直接还田的时候也是可以获得的，例如动物粪便、糖化作用过程中所得到的木质素、沼气生产中所得的污泥、以及燃料的灰烬。

具有固氮能力的产油和产碳氢化合物的作物是极为理想的。没有这种作物时，则可以采取复种或轮作这样一种替代办法。碳氢化合物生产的生物化学感应作用提供了很大的潜力，正为人们所研究，这牵涉到绿色植物生长的化学控制。对植物进行化学加工的经济来说，有效地降低从纤维性植物中提取油和多酚等的费用是至关重要的。这一点也正在研究之中，需要找出费用低，规模小的加工方法。对于提取后的、作为饲料和食物的残渣，需要在营养和安全上进行研究，以发展出在这两方面均能达到要求的产品。一份美国杂志最近对一些植物的试种情况做了报道，这些植物包括：阿拉巴马和犹他州的牛利筋属，亚利桑那州的大戟属，德克萨斯州的中国牛脂树（Chinese tallow trees）（生长在盐沼中）。美国能源部正着手对从植物获取碳氢化合物的潜力和费用进行详细

的研究。估算每桶油的价格不等，可低到18美元，而高可达90—177美元！

最后，是Fortaleza的Ceara大学所进行的广泛的研究，检验了原生于巴西东北部的150多种植物。几乎已经鉴定出了500种“油”，其中的几种植物看起来很有趣，尤其是“油树”Marmeleiro（巴豆属中的一种）。

荒漠面积约占地球陆地表面积的30%。此外，还有大面积的半荒漠和热带稀树草原地区。人们对这些地区可能产出有机化学品的重要性的认识，显然正在提高。但是，总的来看，这些地区的研究和发展工作却不能令人满意。一般国家政府或国际组织在制订一般的经济发展计划时，总是将这些地区摒弃在外。现在确实有必要来拯救这些荒漠，保存其生态特性，在对植物进行调查的过程中，利用这些荒漠，使其成为能够生产出那些在粮食生产地区生产不出来的工业物质与化学产品的可再生资源。

在对这种供求关系普遍忽视的倾向中，有一个非常重要的例外，这就是墨西哥Saltillo的CIQA研究所，在亚利桑那州Tucson的荒漠研究所的合作下，对奇瓦瓦（Chihuahuan）沙漠所作出的研究。奇瓦瓦荒漠地区，海拔900—2,000米，位于美国西南部和墨西哥北部的州中，总面积500,000平方公里。对起源于Chihuahuan沙漠中的植物的管理、利用，甚至改进所取得的经验是很丰富的。已经并将继续从这个荒漠的植物中提取出来的工业原料，包括：小烛树蜡（*Euphorbia antisiphilitica*）和ixtle一类从龙舌兰（*Agave lecheguilla*）和丝兰（*Yucca carnerosana*）提取出来的硬纤维。这些植物在这个地区中提供了主要的就业机会之一。1902—1950年，在Chihuahuan荒漠中，有19个工厂进行着从银色橡胶菊中提取橡胶的生产。所有上述物质，在现在或者过去都是用作出口的。因为当地有别的东西可供消费，燃柴有大量的灌丛如牧豆树属的植物（*Prosopis fuliflora*），木本粮食作物有霸王树（*Opuntia streptacantha*）和nopal（*Opuntia* spp.）。这个荒漠的植物区系是很丰富的，至少有100个科，566个属，1,500个种。最重要的一些种列在表7中，这些种是用于工业、饲料和食物的可能性最大的种，也是我们在植物学和经济学的意义上知之最多的种。

荒漠地带的生物产量低，这使得任何分析工作和增加植被覆盖的可能性极为困难。在利用生物来获取工业原料的几个例子中（许多是在Chihuahuan沙漠），相同的、旨在研究资源投入与生产能力的管理系统，延续了几十年，降低了技术竞争与成本。人们经常仅仅凭借着一些定性的植物化学资料，便提出各种荒漠植物的利用建议。不知化学工业和原料工业的需要如何，单凭那一点资料便提出实施的建议。大量的有机化合物已经被鉴定出来，而其中许多已应用于各种不同的用途。这包括：抗菌素、类固醇及其它药物，杀虫剂和杀菌剂，化妆品，肥皂和洗涤剂，有机涂料，塑料，弹性物质添加剂，抗氧化物，染料和丹宁。当然，除上述之外，首先的和主要的用途，是作为动物的食料和为人类提供食物、燃料及纤维。

2. 转化技术

作为废物在田野或者采集起来的生物物质往往是不适用的，因为水分含量高，比重小，热容量低，这与当前大多数国家农业和运输上采用的主要动力设备——内燃机的燃料要求是不符合的。现已建立的转化技术可分为生物学的和热力学的两类（表8）。生物能源系统的适用面极为广泛，这正是它最为诱人之处。一系列转化技术已经发展起来，并在继续改善之中，它们产出了多种多样的产品，尤其是那些关系到世界经济盛衰

表7 Chihuahua荒漠中的主要植物科

科	名	种的数目
石蒜科	(最重要的属是龙舌兰属 <i>Agave</i>) 硬橡胶纤维就是产自 <i>Agave lecheguilla</i>)	26
百合科	(最重要的属是丝兰属, 其中 <i>Yucca carnerosana</i> 产纤维, <i>Yucca filifera</i> 产类固醇)	42
仙人掌科	(最重要的属是仙人掌属 <i>Opuntia</i> , 可以食用, 提取生物碱、糖、橡胶、色素等等)	98
大戟科	(最重要的属是大戟属 <i>Euphorbia</i> , 可从蜡大戟 <i>Euphorbia autisiphilitica</i> 中制取小烛树蜡)	46
豆科	(最重要的属是牧豆树属 <i>Prosopis</i> 和槐属 <i>Acacia</i> , 含生物碱、蛋白质、单宁、香精油等)	105
十字花科	(最重要的属是 <i>Lesquerella</i> *, 种子中含油率很高)	15
茄科	(最重要的属是莨菪属 <i>Datura</i> , 含生物碱)	25
菊科	(最重要的属是银色橡胶菊属 <i>Parthenium</i> , 从 <i>Parthenium argentatum</i> 中可制取橡胶)	182
禾本科	(其生长在牧场上的种可作为青饲料和干饲料喂牛)	386
藜藿科	(最重要的属是 <i>Larrea</i> , 从 <i>Larrea tridentata</i> 中可提取一种含NDGA的树脂、黄酮类化合物和木聚糖)	57

* 此属产于北美, 共四十余种

表8 利用太阳能获取燃料: 转化过程与产物

资 源	过 程	产 物	利 用 者
干生物物质 (如森林枯枝)	燃 烧	热 电	工 业
	气 化	气态燃料、 甲醇、氢气	家 用 工 业 运 输
	高温分解	油、气、炭	化学原料
	水解与蒸馏	乙 醇	工业、运输
湿生物物质 (如污水中的水生生物)	厌氧分解	甲 烷	运输、化工
	发酵与蒸馏	乙 醇	工业、家用
糖 类 (来自糖汁与纤维素)	发酵与蒸馏	乙 醇	运输、化工
水	光化学即光生物学催化	氢 气	工业、化工、运输

(注: 此为—略表, 其中有许多交叉关系, 农业包括在工业之内, 另外还有不少重要的产品未列出)

的液态燃料。

植物物质可以通过厌氧分解过程或发酵过程进行降解, 得到非常有用的甲烷、乙醇, 以及其它醇类、酸和酯。目前采用的技术是, 通过纤维质废物的厌氧分解以制取甲烷, 或通过单糖的发酵来制取乙醇。最适合厌氧分解的原料是粪便、污水污物、残羹剩饭、作物秸秆以及藻类。

最适于用热转化的是那些含水率低、木质化程度高的物质, 如木片、稻草、果核、果壳。最有可能采用的过程, 是用这些物质的一部分作为燃料, 以生产出CO与H₂的混合气体(合成气)在催化作用下, 进而化合成醇类或碳氢化合物。在气化过程中加入氧气或水蒸汽, 可促进合成气体的转化, 并能提高纯度。催化合成气体进一步转化为其他产物有两种基本途径: 即可以借Fisher-Tropsch合成作用直接转化为碳氢化合物, 或

制成甲醇。这两种途径，在南非和德国等国家的一些（以煤碳制取的气体为原料的）工厂中均被采用。还有一些工厂利用筛选过的民用垃圾来进行生产，木材气化的研究工作也正在深入进行。较小规模的燃木料气化工厂已建立起来了，其生产出的气体适用于固定式发动机。因此可以说，以生物物质来生产热、蒸汽、电、天然气和液态运输燃料的技术，已经具备。此外，醇类是合成一系列低分子化合物、塑料和纤维的最初原料。具体怎样选用可视当地的需要，及其经济和能量收支等情况而定。多适应性是这种生物量转化技术独特的优势之一。

3. 能量比与经济情况

理想的情况是，选择生物量转化方法应考虑的主要因素是能量的获得和是否经济。将植物材料转化为乙醇的收益可用净能量(NER)比来表示，净能量比为有用产品的最终能量产率除以去掉生物量之外的全部投入能量之比。在计算投入时，除了燃料、肥料、灌溉之外，还必须包括田间管理、加工过程以及维修方面价值。一般说来，净能量的产出象甘蔗的处理情形那样，来自以燃烧作物秸秆所进行的发酵和蒸馏；也可以燃烧就近取得的木材。例如燃烧桉树(*Eucalyptus*)，蒸馏出一种木薯醇(cassava alcohol)。这种系统净能量比值在2.4—7之间。大部分淀粉作物和甜菜的净能量比接近或小于1，即投入的能量比产生的多。不过即使如此，这种转化，可能也是值得的——如果燃料来源是廉价煤碳、质量差的木料或残枝，它可转化为高质量的燃料。

对于热转化方法来说，其效率可以用最终产物与最初投入物含能的比值来计算。由于原料中有一部分在转化过程中燃烧作为动力了，因此，这个比值必定小于1。这里，也是由于能将数量庞大的湿的生物物质转化为高质量、高能含量、高密度的液体燃料，所以，这种生产是有意义的。目前用木材生产甲醇的效率约为25%，不过从理论上说，可能达到60%。

据估算，生物量发酵来制取乙醇的生产费用差别悬殊，每升10美分到超过60美分。然而，这些估算大部分都是在纸上演算，真正的实际数字，据巴西1979年的统计是：从甘蔗中制取乙醇的费用为30.5美分/升；从木薯中制取乙醇的费用是31.7美分/升，而汽油的炼油厂出厂价格和零售价格分别为23美分/升和39.6美分/升。如果税收比例恰当的话，以农作物来生产乙醇，在美国最终合成为有利可图的事。联邦政府已经通过了一项对酒精汽油(gasohol，为10%的酒精与90%的汽油的混合物)的免税法案，免除的税额相当于0.4美元/加仑。各州在税法上还有进一步的刺激措施，衣阿华州总的补贴达到1美元/加仑。这样做的理由是：为了维持玉米价格，政府对少生产一蒲式耳玉米的补贴是1美元。一蒲式耳玉米可以生产出2.5加仑的酒精，可配合成25加仑的酒精汽油。

大部分纸上计算的结果表明：由木材气化和催化所生产出的甲醇，比发酵制取的乙醇要便宜得多。问题是目前没有这种生产甲醇的工厂。新西兰对建立甲醇工厂进行了详细的分析，结论是：如果效率为50%，每天耗用烘干植物2,500吨，以1977年的价格，按照新西兰全国的成本收益情况，那么，当木材价格为55美元/吨时，甲醇的价格为214美元/吨；当木材为25美元/吨时，甲醇则为146美元/吨。这就相当于17—19美分/升。可以与美国太阳能研究所最近的研究结果相比较。该结果是：在燃料作物厂原料的价格为50美元/吨、甲醇生产效率为25—50%的情况下，所生产出的甲醇的费用为11—35美分/升。

4. 计划的执行

对生物能源计划的估价与执行, 为一个国家发展其研究和示范能力, 提供了极好的机会。转化能量的生物量的方式因地制宜, 如在较热的气候下, 有甘蔗和木薯; 温带地区有纤维植物; 干旱地区有含碳氢化合物的灌木。利用生物量的知识是广泛传播的, 任何一个国家都不能享有垄断权。例如, 巴西执行的是乙醇方案, 在中国和印度是生物气体, 在德国是气化器, 丹麦是稻草燃烧器, 在东非是农林业 (agro-forestry), 朝鲜和印度部分地区的村社林地。这也为科学家、技术人员、林业学家、农学家、社会学家、经济学家和行政管理人员, 在各国各地区内部, 乃至各国之间发展合作关系提供了机会。利用生物量生产能量是一个“既老又新”的、正在迅速发展中的研究领域, 它吸引着许多年轻的科学家和技术人员的兴趣。这方面的工作既应从目前的实际应用需要出发, 又要对较长期的研究发展予以考虑。有一件值得做的事是: 努力发掘当地的人才, 鼓励他们的创造力, 并尽快地将其使用到野外的、实验室的和小规模试验项目中去。

必须对各个国家分别进行准确的能源估算, 对已有数据的局限性和利用这些能源的可能性进行分析。应优先研究那些本地富有的资源, 要认清生物能源在实际应用上的重要性。必须认真研究并明确提出实施这些生物量计划的措施方法。应该使决策者认识到: 只有明确社会经济和习惯方面的障碍, 并且找到克服这些障碍的方法, 以及广大群众与决策者进行完全的合作, 才有可能实行生物能源计划。经验表明, 否则将是一事无成的。在引入和改善生物量方法的实践中, 有广泛合作和自助的机会。

四、世界各国的生物利用计划

表 9 概略地展示出某些方案的生物量和能源费用。下面对其中的一部分, 作进一步的阐述。

1. 巴西

目前, 最庞大的生物量计划是巴西从甘蔗、高粱和木薯中制取酒精的计划。这项“国家酒精计划”制订于1975年, 将生产出的酒精掺入汽油中, 这种混合物在酒精含量 (体积比) 占到20%时, 仍可直接用于发动机 (在最近10年中, São Paulo州有1,300万辆小汽车使用了这种混合燃料, 其中的酒精含量变化不等, 最高达18%, 这取决于可获得的酒精量和糖蜜的价格)。1977年, 国家酒精计划批准了141个新的酒精酿造厂, 这需要9亿美元的投资。到1980年, 将提供出 3.2×10^9 升酒精, 约占预测汽油需求量的20%。至1985年, 酒精生产可达到 10×10^9 升, 投资将达数十亿美元。一项对以甘蔗与木薯为原料制取酒精的生产所作的经济分析表明, 酒精的离厂价格为0.33美元/升, 为同体积汽油价格的81%。显然, 巴西正在利用它所具有的天然的土地与气候优势, 推行着雄心勃勃的以酒精代替石油的计划。对其它国家说来, 这将是一个有益的示范, 并提供了可以学习的技术与知识。直接的收益是巨大的, 例如: 节省外汇, 创造新的就业机会, 促进本国技术与工业的发展, 以及减少污染。

2. 美国

美国有一个庞大的生物量研究和发展计划, 预算在1979年为5,600万美元, 1980年

表9 生物量和能源产品费用的估算

国 家	产 品	来 源	费 用
1. 巴 西 (1977)	乙 醇 (出厂) 酒精汽油(零售)	甘 蔗	16.7美元/10 ⁶ BTU 0.33美元/升 13.18美元/10 ⁶ BTU
2. 澳大利亚 (1975)	乙 醇	木 薯	250澳元/吨
	乙 醇	工 业	275澳元/吨
3. 加 拿 大 (1975和1978)	甲 醇	木 材	0.35—0.70加元/加仑
4. 新 西 兰 (1976)	沼 气	植 物	3.45—5.57新元/GJ
	天 然 气	工 业	1.09新元/GJ
	煤 气	工 业	6.33新元/GJ
5. 新 西 兰 (1977)	乙 醇 (生产能力为500吨/天, 收益来自副产品)	松 树	260新元/吨 (资本报酬为13%)
6. 上沃尔特	薪 柴	种 植 园	0.09美元/千瓦小时
	煤 油(零售)		0.13美元/千瓦小时
	丁烷气(零售)		0.11美元/千瓦小时
	电		0.19美元/千瓦小时
7. 菲 律 宾	电	以 <i>Leucaena</i> 为燃料	0.014—0.018美元/千瓦小时
8. 坦桑尼亚 (1976)	沼 气	粪 便	0.012美元/千瓦小时
	电		0.113美元/千瓦小时
9. 印 度 (1978)	木麻黄薪柴		12美元/吨(干重)

将更多。1975年美国消费的能量为 1.7×10^{18} 焦耳, 而现存森林总的贮能量是这个数字的三倍。可以用来生产能量并正在为人们所详细考察的生物量包括: 森林, 尤其是人工林与种植园, 以及农业、工业、城市的各种类型的废弃物。商品性森林的生物年产量为 9.3×10^{18} 焦耳, 其中 6.6×10^{18} 焦耳是可收集的。种植业每年生产的能量达 12×10^{18} 焦耳, 其中40%作为残遗物丢弃在田里。一项详细的“可用生物量残遗物”的分析表明: 在目前收集起来的废弃物中, 从城市固体垃圾中, 可获得 2.1×10^{18} 焦耳的能量, 从牧地、罐头厂、木材厂的废料中可获取能量 1.0×10^{18} 焦耳。没有收集起来的废弃物如谷物和玉米秸秆、伐木业的树枝等, 每年可提供 5×10^{18} 焦耳能量。美国耕地的60%是为畜牧业服务的, 这不包括2.82亿公顷的牧场和猎区(占美国大陆本土面积38%)。因此, 可供将来在必要时生产生物量的土地是大量存在的。

人们也在考虑灵活的植物生产系统, 将生物量中间产品(除了食物)加工成燃料和投入蔗糖生产。“重组美国玉米生物量系统, 以求在取得同样数量的牛肉、家禽、猪肉等最终产品的同时, 还能生产出 $10-18 \times 10^9$ 公升的乙醇(或等当量的其它发酵产品), 这在理论上是可能的。”这些酒精如果以10%的比例掺到汽油中, 可掺合美国总汽油用量的1/4。目前, 有2,000多个加油站提供这种酒精汽油, 价格低于汽油。蔗糖生产中有大量的副产品, 例如糖蜜、酒精和蔗渣, 这些都可以用来发电, 做发酵用和代用木料。

现在, 集约造林业生物量农场或能源农场的概念, 已成为人们详细分析的课题。已经对速生落叶树的萌生林进行了考察, 也考察了许多别的树如能够固氮形成氨的树。表

10列出对生物量生产和费用所作出的许多研究成果之一，表明某些技术在经济效益上同现存传统技术是十分相近。不过，对所有这些计算中的假定条件必须明确地加以识别并仔细分析。

表10 生物能的产品费用与传统费用的比较

产 品	生物能的费用 (美元/10 ⁶ ETU)	传统的费用 (美元/10 ⁶ BTU)	生物能费用/传统费用
甲 醇	8.4—15.0	8.4	1.0—1.9
乙 醇	15.0—36.3	19.6	0.8—1.9
中等热量的气体 (Medium BTU gas)	4.7—7.4	3.0—5.0	0.9—2.5
代用天然气	4.8—7.3	3.0—5.0	1.0—2.4
氮	5.8—11.4	7.4	0.8—1.5
燃料用油	3.6—7.9	3.2	1.1—2.5
电	0.03—0.14 (美元/千瓦小时)	0.03—0.06	0.5—4.5

3. 加拿大

加拿大对大规模的、生物制取甲醇的生产进行了研究，结果表明：到2025年42%的运输燃料可用这种办法提供。甲醇是一种独特的、兼具液态石油的轻便性和天然气的洁净及完全燃烧性的优质燃料。联邦政府最近宣布了一项1.8亿美元的生物量研究和 发展计划，并从经济上对利用木材和森林残遗物的工业实行鼓励。

4. 欧洲

欧洲的一些国家和欧洲经济共同体正在对未来开发生物量潜力，进行多方面的可行性分析。除了对农业残遗物与城市垃圾的能源产量、转化技术、荒地与林地的潜力，以及藻类系统进行研究之外，还试种了赤杨、柳树和白杨。现在已经制造了生物量与热能转化方面的设备。欧洲和海外项目对这些设备的需求是大量的。

5. 撒赫尔*

毁林和沙漠化问题，使这个地区中大部分国家突出地缺少薪柴。这种燃料的缺乏已经趋于危机，这种情况不仅仅局限于撒赫尔，在南亚的大部分地区，安第斯山脉地区的国家，中美洲和加勒比地区也是如此。每人每年单是炊用木材的需求就约为0.5立方米。总的薪柴需求量约为1吨，相当于400公斤煤炭，也相当于每人每天需消费一块3英寸见方的煤块。城区和工业以煤炭来取代价格较高的煤油和石油的要求，使得薪柴流出农村地区，结果进一步加剧了森林和灌丛的破坏（常常离村庄很远），并促使人们将牛粪作为燃料而不是作为肥料来使用。

荷兰最近对本地区的研究，指出了两种可能的解决办法：通过使用耗柴少的炉子来降低薪柴的需求，和通过建立“森林种植园”（forest plantations）以增加薪柴的供应。对所提树种进行森林恢复和薪柴生产的费用进行了计算，结果表明：在经济上是可行的。有一些习惯问题同农业和其它方面的社会生产相矛盾，但是如果这些国家打算在国内燃料生产上取得一点点成果，就应该认真考虑这样的生物系统，并尽可能快地建立

* 撒赫尔(Sahel)是撒哈拉荒漠南边的一条宽320—480公里的地带，是撒哈拉向典型热带草原的过渡带，跨马里、塔尼亚、马里、尼日尔、塞内加尔、冈比亚、乍得、上沃尔特等国境。