

·学科进展与展望·

# 生物质能研发展望

匡廷云\* 马克平 白克智

(中国科学院植物研究所,北京 100093)

**[摘要]** 本文介绍了国内外生物质能研发现状。提出生物质能开发的决定因素是技术水平的提升。强调了基础研究的重要性。建议:充分利用生物的多样性筛选优良能源植物树种、草种;重视生物质能源基地海洋的开发,特别考虑在我国北方广大缺水地区发展水生微藻光合生物制氢;大力开展转基因研究,创建优良能源植物种质资源;加强能源植物生理、生化、生态学研究,为优良能源树种、草种的大规模开发打下坚实基础。

**[关键词]** 生物质,生物柴油,氢,生物能

## 1 生物质能在能源中的战略地位

能源问题不仅关系到我国经济的快速增长和社会的可持续发展,也关系到我国的国家安全和外交战略。在我国石油进口直线增长和国际油价一路攀升的形势下,尤其凸显出发展替代化石能源的新能源的重要性。

在过去150年里,世界能源结构的发展先后出现过3个波峰。19世纪中叶前,世界各国能源结构以生物质燃料为主,19世纪末到20世纪初煤是主要能源,20世纪中石油占据主要地位。目前,世界能耗中生物质能的传统的低效利用在不发达地区占主要地位。在我国生物质能也仍占相当比重,由于未进入商品市场,未统计在能源数据中。

由于化石能源的大量使用,导致全球环境变化和化石能源的急剧减少,世界开始将目光聚焦到了包括生物质能在内的可再生能源。

20世纪90年代以来,生物质能的现代化利用在许多国家得到高度重视。联合国开发计划署(UNDP)、世界能源委员会(WEC)和美国能源部(DOE)都把生物质能当作发展可再生能源的重要选择。目前,经现代化转化的生物质能源约占世界一次性能源消费的2%,发达国家平均约占3%,美国、瑞典、奥地利三国生物质能源的利用,分别占该国一

次性能源的4%、16%和10%,且仍在大力发展中。可以说,可再生能源利用程度的高低已经成为社会发展文明程度的指标之一。生物质能有可能成为未来可持续发展能源系统中的主要组分之一。

生物质能是通过植物的光合作用将太阳光的物理能转化为化学能贮存在生物体内的能量。光合作用是地球上最大规模的光能转化过程。植物吸收太阳能,将水和二氧化碳合成有机物,放出氧气。它是人类、动物及大多数生物的能量的主要来源,是地球上氧气的主要来源。当今世界文明所需的化石燃料,也都是古代植物光合作用的产物。

太阳对地球表面的辐射能量中被大气吸收和被地面反射的占50%,剩下的一半大部分射入海洋,只有 $1.8 \times 10^{21}$  kcal入射于陆地。通过光合作用,绿色植物和海洋藻类每年可贮存 $6 \times 10^{17}$  kcal的能量,其有效利用率只有入射太阳能的约0.1%。但是合成的有机物(生物质)约2200亿吨,相当于人类当前每年全部能耗的10倍。

与石油能源相比,生物质能是固定空气中CO<sub>2</sub>的产物,所以每增加一吨生物质能的消耗可以减少相当于化石能源两吨温室气体的排放。欧美等工业发达国家将能源的研发与执行“京都议定书”紧密联系起来。

\* 中国科学院院士。

本文于2005年9月13日收到。

## 2 国外生物质能的研究

上世纪70年代的石油危机促使工业化国家加强能源的研究,投入巨资开发新技术并取得显著成效。例如,现在的汽车已比那时的油耗下降了一半。与此同时,大力开发核电、水电、风电以及太阳能、生物质能。例如,美国在20世纪70年代曾提出大规模种植甜高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *sucarafum* Kouern),生产燃料乙醇的计划,但随着化石能源价格的回落,生物质能生产成本无法与之竞争,该计划趋于萎缩,当初宏伟的设想也就束之高阁。但这次能源危机在总体上大大推动了能源科技,乃至整个科技水平的提高,可以称之为“坏事变好事”。

生物质能的研究也有不受化石能源价格潮长潮落影响的少数例外,比如巴西燃料乙醇的开发。巴西的石油主要靠进口,上世纪70年代以来上下同心、稳扎稳打,不受政府更迭和市场变化的影响,从燃料乙醇年产几十万吨发展到现在的1200万吨以上,国内交通能源普遍采用醇油混合燃料。起初乙醇燃料接受政府的价格补贴,到2000年已具有与石油市场竞争的能力,无需政府补贴,而且等当量燃料乙醇的价格已低于汽油的价格。巴西回过头来算了一笔总账,30多年政府发展燃料乙醇的总投入为49亿美元,而在此期间光进口石油节省的外汇达50亿美元<sup>[1]</sup>。

一项估测显示,世界7种主要农作物的秸秆和谷壳等若能转化为燃料乙醇,即相当于现在全球汽油总消耗的32%(不包括甘蔗和粮食可能转化成的燃料乙醇)<sup>[2]</sup>。由此可见生物质能的潜力。

对全球变化和化石能源枯竭的忧虑以及履行“京都议定书”的压力,导致包括生物质能在内的可再生能源研发的新浪潮。欧美发达国家一马当先,纷纷投入巨资研究化石的可替代能源。这一次不再重犯20世纪70年代的冷热病,研究热情持续高涨,成果迭出,开发规模不断扩大。在许多国家,可替代能源在一次性能源中已占有相当地位,且比率不断提升。

这里说的生物质能不是指目前广大第三世界国家及我国广大农村地区的传统柴薪燃烧,其热能利用率只有10%—20%。现代意义的生物质能利用是将其加工转化为电、热、液、气的能源形式,从而使热能利用效率大大提高。

生物柴油是另一项可大规模替代化石能的生物

质能。是将植物或动物油脂(以及废烹调油等)酯化后百分之百或部分替代柴油,也可将内燃机的密封件更换直接改燃生物柴油。英国等西欧适合种植油菜的国家已将菜籽油大规模用作柴油,现在年用量达百万吨级,还在不断扩大。只是价格尚不能与柴油竞争,需要政府税收优惠等补贴措施。

人类过去百年对化石能源的消耗远远超过人类有史以来的总消耗,是地球无法长期供应的。加之使用化石能源产生的温室气体与SO<sub>2</sub>等污染物的排放构成对人类生存环境的威胁,迫使人们寻找非碳基能源,因而有“氢经济”的设想。从碳基能源过渡到无碳的氢能源也与生物质能有关,因为植物可以通过光合作用不断进行固定CO<sub>2</sub>的反应,而将水还原为氢。从碳基能源向无碳能源转变,将使现在的环境与能源问题彻底解决,但这是一个长远的历史过渡,非朝夕可以完成。可贵的是人类的智慧发现了这一途径并已起步探索。一旦实现,其意义不亚于人类用火的发端<sup>[3]</sup>。

## 3 我国生物质能的研究

自20世纪70年代开始的农村户用沼气池的推广堪称我国生物质能利用的先驱,至今仍有活力,并不断扩大,解决了部分农村炊事及照明的能源,也为联合国所垂青,向许多第三世界国家推广。它是因陋就简加工转化生物质能的方式,使得生物质做到能源、肥料的综合利用,达到了物尽其用的目的。它的缺点是科技含量低、生产效率低。进一步的发展应是依托禽畜养殖场和中小城镇发展高温、高效沼气池并商品化、管道化送至用户或转化为热、电使用。目前我国沼气生产的总量约合200多万吨标准煤。

我国另一项大型生物质能的利用,是2000年启动的国库陈粮转化燃料乙醇的工程。已建成总年产百万吨乙醇的生产厂,并在吉林、黑龙江、河南等省成功实现乙醇汽油混合燃油的市场销售,并有继续扩大的趋势。由于上马较晚,工厂采用了较先进的工艺,为继续扩大生产打下了良好的基础,工厂生产规模扩大也将带来效益的提高。目前生产成本尚不能像巴西那样有市场竞争力,每吨乙醇尚需政府补贴千元以上。它的另一问题是“陈粮”随着粮食库存科技水平的提高未必是个稳定的原料来源,而非陈粮的粮食生产燃料乙醇,原料到底有多少与国家农业收成有关。以非淀粉类生物质能,如农作物秸秆或树木枝叶生产燃料乙醇的工艺则要复杂得多,

成本也高。

以上两项是我国目前最大规模的生物质能的开发,其总量只占资源总量的0.5%,仅为全球平均转化率(14.5%)的1/29,而与工业化国家相比转化的比率相差就更大了。

我国正在研究的生物质能转化与利用项目包括:纤维质转化液体燃料的热解工艺、生物发酵产氢、生物柴油转化加工、燃料油源树种植物筛选、高效甲烷菌种筛选与基因改造等,但都是分散在各个大项目(如“973”、“863”等)之中的小项目,研究零星分散,缺少长远规划与目标,且经费极少。2000年我国能源研发总经费57.59亿元,占当年GDP的0.0068%,远低于发达国家的比率,这其中分到生物质能的自然少而又少了。这与需求的迫切性相比是很不相称的。

中国农业科学院油料作物研究所所长王汉中提出,当前中国最大的一项潜在的生物质能源是大规模利用长江流域稻田的冬闲季节扩种(移栽)油菜,菜籽油经酯化而与柴油混用或完全替代柴油。长江流域有几亿亩稻田,冬闲种植油菜没有技术困难,油菜的秆是优良绿肥,种子榨油后的饼粕是高蛋白优质饲料,油则是最佳的生物柴油。油菜资源量大,初期有千万吨级的产量,远期“可相当一个半永不枯竭的绿色大庆”<sup>[4]</sup>。这是一项技术难度和投资都不大的开发项目,而其意义极大,值得认真论证<sup>[4]</sup>。

#### 4 提升科技水平是生物质能开发的关键

全球生物质能的开发遇到的共同问题是,以等能源当量计,所有生物质能的种类都难与化石能源的价格竞争。这只是表象,其实质是技术的差距。纵观煤、石油和天然气的开发已有上百年的历史,都已大规模开发的现成技术,因而其成本很低。而生物质能的加工转化刚刚起步,规模小,技术不成熟,加之原料分散等因素使其成本居高不下。巴西发展燃料乙醇的事例对我们极有教益。经过长期不懈的努力,2000年与1975年相比巴西的甘蔗单产提高了33%,甘蔗的含糖量提高了8%,蔗糖-乙醇的转化率提高了14%,发酵罐生产率提高了30%。上述几项提高即使对工业是外行的人也能看出其总效益之大了。分析这几项提高,无一不是由技术的进步而来。单产提高和含糖量的提高源自品种和栽培技术的进步;蔗糖-乙醇转化率的提高源自发酵菌种的改进;发酵罐产率的提高源于工艺的改进<sup>[5]</sup>。

其他生物质能开发的关键也都是提升科技水

平。例如要发展高温、高效沼气生产,就要解决从菌种到装备的一系列技术难题。纤维素基质生物质原料在我国占大部分,其液化要通过物理化学或生物学的方法将纤维素转化为糖类再转化为乙醇,国际上尚无成熟的工业化技术,需要着力研发。目前即使是生物质直燃或与煤的混燃的锅炉以及城市固体垃圾的焚烧炉,国内也无技术积累而需进口装备。期望我国生物质能的研发做到未雨绸缪、技术先行,开发出大量具有自主知识产权的技术,不要再像风能发电那样,98%的装备都靠进口。美国能源部支持各种各样的能源研究,使得美国有丰富的技术储备,但各项技术能否产业化则让市场决定。期望我国能有所借鉴,把钱花在前期的研发上,而不是花在大规模投产后的补贴上,同时尽可能减少成套装备的进口。

#### 5 基础性研究是生物质能研发的重要环节

生物质能研究包括从农林废弃物到近代化学与生物转化技术,从自然资源的利用到对环境生态的影响等广泛领域。生物质能开发的意义则更应从战略高度着眼。它不仅仅是化石能源的替代也是从碳基能源向无碳能源时代转变的过渡媒介。对它的基础研究不是“小题大做”或“无的放矢”。

2005年德国马普学会会长在回答德国《世界报》记者的提问时指出,德国马普学会的能源基础研究项目是:(1)太阳如何制造能量;(2)制氢与储氢技术;(3)光合作用如何进行能量转换<sup>[6]</sup>。

太阳如何制造能量不言而喻是研究核聚变反应。光合作用机理研究则涉及物理能如何转化为化学能,怎样调控和提高它的转化效率,生物质能自然包括其中。从我国的实际出发,至少下列几项有关生物质能的基础性研究应予以足够的重视。

##### 5.1 充分利用生物的多样性筛选优良能源植物树种、草种

生物的多样性是人类赖以生存的自然资源宝库,人类几千年的文明史就是开掘这一宝库的历史。但是发展到信息文明时代的今天,对生物多样性的利用还只是九牛一毛,潜力巨大。例如,人们的衣着从树皮、兽皮——丝麻——棉,而天然有色棉只是近几年才栽培利用的。又如,粮油蔬菜等农作物都属于有限的几个植物科属,90%以上的植物种类并未栽培利用。人类虽只利用了生物多样性的一小部分,但成效巨大,将整个人类从茹毛饮血推进到现代的文明。生物质能的优良树种、草种的选育还处于

初期阶段,存在着巨大的潜力。人类在几千年的粮食作物稻、麦、玉米等的驯化栽培中已使其性能有本质的改善,单位土地面积的产量已有几十倍的提高。如果对能源植物的研究给予同样的付出,相信会有更大的回报。

下面列出一些已初露端倪可能成为优良能源植物的树种、草种:甜高粱,柳叶稷(*Panicum vigatum*),芒属(*Miscanthus X giganteus*),柳属(*Salix spp.*),杂交杨(*Populus sp.*),槭树(*Acer spp.*)。我国长江流域以南的2种本土植物竹和马尾松(*Pinus massoniana*)值得特别重视。

已有的研究表明在能源植物中多年生草本在生态与环境友好方面优于一年生的;而木本种类又较草本种类更好,所以欧洲密植杨树与柳树,已规模化种植用于发电。

上述几种植物中杨和芒属都是杂交种。众所周知,杂交种具有杂种优势,既高产又对不良自然环境条件有耐受力。熟知的例子是杂交玉米和杂交水稻,它们对缓解第三世界人口增长带来的粮食不足的压力起到了巨大作用。而在能源植物方面杂交优势的利用才仅仅开始,这方面的增产潜力是不可估量的,关键是要像对农作物那样进行持久的、大量的科研投入。

要充分利用我国地域横跨寒、温、热三带,气候多样,土质各异的特点,在生物多样性基础上引进世界各国优良能源植物,再加以人工改造逐步选育出不同地域的适宜草种、树种。

## 5.2 重视生物质能源基地海洋的开发,特别考虑在我国北方广大缺水地区发展水生微藻光合生物制氢

我国海洋专属经济区是有待开发的资源宝库。我国有广阔的海洋,仅黄、渤、东、南四海面积即达470多万平方公里,迄今海洋生物质能的研究尚属空白。改革开放以来,由已故海洋生物学家曾呈奎院士倡导的“耕海”已使我国海水人工养殖业走在世界前列。单只海带一种海藻年产已达十数万吨,除满足全国补碘之需外,还有部分出口。海洋自然生长的藻类种类繁多,大型藻类长达数十米,微型藻则只能在显微镜下见到。藻类的成分多种多样,有的积累碳水化合物,有的主要成分为油脂。对海洋能源藻类的研究应及时开展,为本世纪及下世纪的绿色能源打好基础。

藻类对高低温、强弱光、酸碱度等极端环境的适应能力极强,其发展潜力不可低估。已发现一种小球藻能在10%的CO<sub>2</sub>条件下生长,又有人发现另一

种小球藻能在燃烧液化天然气锅炉的废气(含10%的CO<sub>2</sub>及(20—30)×10<sup>-6</sup>的NO<sub>x</sub>)中快速生长,这就为从工业装置中直接回收利用CO<sub>2</sub>开辟了道路<sup>[7]</sup>。

水生微藻的一个重要特性是在适当条件下直接将太阳能转化为氢,其机理是通过光能裂解水产生的电子在厌氧条件下将氢离子还原为氢气。这一过程需要厌氧环境是因为产氢需厌氧的氢酶参与。如果通过生理、生化调控使光合作用生成碳水化合物(CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>与H<sub>2</sub>的适当比例,就可以实现在藻类的正常生长与更新的同时释放大量氢气<sup>[8]</sup>。

微藻放氢的最可贵之处在于其生于水中,但放氢过程并不消耗水分,这是与陆生植物积累光合产物迥然不同的。陆生植物在光合作用过程中要通过叶片气孔不断蒸腾水分出去,这种“生理耗水”是无法避免的,而其数量则为所积累的光合产物干重的200—1000倍。水是限制我国北方广大地区种植农作物和造林的主要限制因子,自然也是扩展能源植物资源的主要障碍,而藻类的光合放氢恰恰在这方面有得天独厚的资质。我国北方有如此广阔的干旱地域,若能实现在类似蔬菜大棚的条件下大规模利用藻类人工养殖进行光合产氢,则极具我国特色。而且从长远看,有可能带动我国率先实现由碳基能源向无碳能源的转型,从而使全球变暖、酸雨等一系列问题得到缓解,意义重大。

藻类的光合产氢与生物质通过微生物转化或化学热解为氢有本质的区别,那就是生物质生成过程中消耗了大量水分。

## 5.3 大力开展转基因研究创建优良能源植物种质资源

近20年生物技术突飞猛进的发展已使植物的基因操作技术日臻成熟,展望未来30—50年基因操作技术必能达到“随心所欲”的地步。那就可以将生物多样性的各个种群的优点按照人们的意愿,汇集于一种植物上来,从而实现抗病、抗虫、高产优质、耐旱、耐土壤贫瘠等多项特性的共存。这样的科技突破将彻底改变能源的面貌与人类的生活。现在的问题并非是有无可能而是实现早晚的问题。实现的早晚则取决于科技的投入。

## 5.4 加强能源植物生理、生化、生态学研究,为优良能源树种、草种的大规模开发打下坚实基础

无论是陆生的还是水生的,无论是常规选育的还是基因改造的能源植物,在其筛选过程以及以后的栽培试验中,都需对逐个品系进行详细的生理、生化、生态特性研究,积累大量科学数据才能定其“终

身”。这些时间与人力消耗很大的过程是不可或缺的科学程序。短缺了这一环节将使前面的研究建立在沙滩上。工业化国家在能源植物的研发中都按照这个规程进行,可为我国借鉴。

### 5.5 节水能源植物的研究应受到特别关注

我国淮河以北的大半国土降雨量少且集中于7—8月份,干旱限制农业与林业的发展。如前所述,能源植物的“生理耗水”差别很大,一般木本植物的蒸腾系数(即植物制造1克干物质所消耗的水量(克))为200—500,草本植物则为1000—1200。从这个角度看,在我国北方应主要发展木本能源植物。而同样的草本或木本植物,甚或同种植物的不同品系,其蒸腾系数也有很大差别。例如,瑞典从几百个柳树品系中筛选出两、三个蒸腾系数为250左右的优良品系供大规模种植。我国这方面的研究在农作物方面尚且很薄弱,能源植物就更加薄弱。不过我国现有的技术支撑条件完全具备大规模开展这方面研究的能力。

## 参 考 文 献

- [1] Goldemberg J et al. Ethanol learning curve—the Brazilian experience. *Biomass & Bioenergy*, 2004, 26: 301—304.
- [2] Kim S, Dake, B E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass & Bioenergy*, 2004, 26: 361—375.
- [3] Adamson K A. Hydrogen from renewable resources—the hundred year commitment. *Energy Policy*, 2004(10), 32: 1231—1242.
- [4] 王汉中. 建造绿色油田. *科技日报*, 2005, 6, 18(8).
- [5] Macedo F C. Commercial perspectives of bioalcohol in Brazil. *Proceedings of 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Sevilla, Spain, 5—9 June, 2000, 35—37.
- [6] 彼得·格鲁斯. 走近马克斯·普朗克学会. *参考消息*, 2005年4月30日.
- [7] Lee J S et al. Utilization of chlorella KR-1 produced from CO<sub>2</sub> Fixation. *Its World Conference on Biomass for Energy and Industry*, 2000, 131—134.
- [8] Levin D B et al. Biohydrogen production: Prospects and limitations to practical application. *Intern J Hydrogen Energy*, 2004, 29: 173—185.

## PROSPECTS OF BIOENERGY EXPLOITATION

Kuang Tingyun    Ma Keping    Bai Kezhi

(*Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093*)

**Abstract** Current situation of bioenergy exploitations in China and the world were reviewed and the importance of basic researches on the area was emphasized in the paper. These include: estimation of potential biomass production plant species; macro-and micro-algae both in the sea and freshwater; applications of biotechnology in the bioenergy production higher plants and microorganisms; strength studies on the water use efficiency of biofuel plants.

**Key words** biomass, biofuel, hydrogen, bioenergy