

解读生物能源 新能源产业及对环境、生态与社会经济发展的影响*

文 / 赵 军

1 中国科学院科技政策与管理科学研究所 北京 100190

2 中国科学院研究生院 北京 100049

3 中国科学院院士工作局 北京 100190

【摘要】 发展生物能源是当前世界许多国家解决能源安全问题的普遍趋势,也是解决我国日益严峻的能源供需矛盾的重要途径之一。本文分析了生物能源在新能源产业中的角色、生物能源对环境的影响、生物能源在生态可持续发展中的利弊以及生物能源产业与社会经济发展之间的相互作用,并在此基础上提出了相应的政策建议。

【关键词】 生物能源 新能源 环境 生态 社会经济发展

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.02.011



中国科学院



赵 军

化石能源一直是近现代社会发展的基石,然而目前正面临着日益枯竭的困境。因此,开发新型可再生能源成为解决能源安全问题的

必经之路。生物能源是一种重要的可再生能源,但是生物能源对于促进新能源产业的

发展及其对生态环境变化、粮食安全和经济发展等方面的潜在影响,一直也是争论热点,而世界各国又不得不对生物能源发展做出抉择。在这一抉择过程中,必须充分且客观地认识生物能源的前景、挑战与风险,准确地把握其发展方向。

1 新能源产业中的生物能源

煤、石油、天然气等化石能源是由上古时代的动植物遗骸沉积于地下数百万年,经复杂的物理化学变化而形成的,它是目前全球消耗的主要能源,每年占全球消耗能源的80%以上^[1]。随着社会经济的快速发展,化石能源有限储量和人类日益增长的能源需求

* 修改稿收到日期 2011年12月2日

之间的矛盾正在不断凸显,开发更加清洁的可再生能源是世界能源产业的必然趋势。

在生物能、太阳能、风能、地热能、水能、氢能、核能等新能源中,生物能源比较特殊,它的使用理论上不会净增温室气体排放,同时能在一定范围内维持甚至增加陆地土壤的碳储量,从而可有效地解决化石能源枯竭和全球环境污染问题。

1.1 生物质能源概述

生物质能源(Biomass energy),又称生物能源(Bioenergy),是指来源于生物质原料的可再生能源。生物质原料,如农业中的粮食作物、饲料作物,工业中的木材、纤维、化学制品加工残留物,生产和生活中的废弃物以及细菌、藻类等微生物的发酵产物等,都可用于生产各种形式的生物质能源,或转化为电能热能等其他能源形式^[2]。依据原料来源不同、产品形态不同,生物质能源可以划分为不同类别。较为公认的划分方式,是2008年联合国粮农组织(FAO)根据利用效率和加工程度不同,将生物质能源分为初级生物燃料(如木质作物、木质颗粒等天然未加工生物质,用于日常生活和小型生产等,直接燃烧获得能量)和高级生物燃料(如燃料乙醇、生物柴油、沼气、发酵氢气等加工后的生物能源)。其中,高级生物燃料由于产生的能量更高,应用范围更广而成为现阶段生物能源发展的主体^[3]。

燃料乙醇是目前世界上生产和使用最普遍的生物燃料。2010年全球燃料乙醇的生产占全部生物燃料累积投资的54%,其中主要集中于美国和巴西^[4]。理论上,任何含有大量糖、淀粉或纤维素等糖类物质的原料都可以用于生产燃料乙醇。乙醇混合燃料可以改进发动机的燃烧效果,减少一氧化碳、二氧化硫、未燃碳氢化合物和烟尘等致癌物质的排放。因而,已经有越来越多的国家明令要求在汽油中添加一定量(10%~15%)乙醇作为运输燃料(Gasohol),以缓解石油消费压力,同时限制大气污染物的释放^[1,4]。

生物柴油是植物油或动物脂肪与某些醇类及氢氧化物催化剂经过酯化作用而获得的一种长链

脂肪酸单烷基酯^[1]。从世界范围看,最常用的原料有油菜籽,还有大豆、棕榈、椰子、麻风树以及向日葵、各种麻类及藻类植物、动物脂肪。生物柴油可以和矿物柴油混合使用,甚至不经混合也可直接用于任何未经改造的压燃式发动机。生物柴油中较高的氧含量有助于充分燃烧,且含硫量低,大大降低了环境污染物的排放。

第一代生物燃料产业,主要依赖于玉米、小麦等粮食作物作为原料,成本较高,其发展很大程度上依赖于政府补贴。第二代生物燃料则扩大了生物质原料的取材范围,不仅可以利用现有作物的非食用部分,如粮食植物经食物提取后所剩的茎、叶、表皮等,还可利用芒草、柳枝稷、麻风树等其他非食用目的的植物,甚至包括木屑、树皮等工业废弃物和水果压榨所剩的果肉纤维等^[5],生产成本有望显著降低,且能够减少90%的温室气体排放。由此可见,原料广泛的第二代生物燃料能够在更大范围内提供燃料供应,同时产生更大的环境效益。目前世界各国都加大了对发展第二代生物燃料的投入力度。

1.2 生物能源在新能源产业中的角色

相比于其他形式的新能源,生物能源在原料来源、燃料形式和环境可持续性等方面表现出其特有的优势:

首先,生物能源不仅取材自各种能源作物,还可以利用农业、畜牧业、林业的加工剩余物、畜禽粪便以及工业的副产品和废水废渣、城市生活垃圾等,因而具有广泛的原料多样性。

其二,生物能源的产品形式多样。既可以直接燃烧供热和发电,又可以用作交通运输燃料,还可以在提供能量的同时联产生物塑料、生物纤维以及生物化工原料等产品,促进形成庞大的生物制造产业体系。

其三,生物燃料燃烧后的全部有机物质均能进入地球的物质循环,所释放的二氧化碳(CO₂)也会重新被植物吸收再次作为生物质能源被固定,从而可以实现零碳循环。物质上的永续性、资源上的可循环性使得生物能源产业先天具备低碳环

保的生产特征。

另外,生物能源产业可以促进工农业联动,创造更多农村就业机会,增加农民收入,带动农村经济发展;还能促进制造业、建筑业、汽车运输、航空航天等其他行业发展。生物能源在生物经济中将扮演重要角色。

2 生物能源的环境影响

除了对能源安全问题的关注之外,对于环境可持续发展的考虑也是在世界范围内发展生物能源产业的另一个重要推动力。减缓环境污染、减少温室气体排放已成为许多国家设立推动生物能源产业支持性政策措施的明确目标之一。

2.1 生物能源的环境裨益

事实上,化石能源也是古老的生物质能,但由于化石能源中所含的碳元素已离开地球碳循环太久,燃烧化石能源相当于将地下的碳元素以 CO_2 的形式释放到大气中,从而给环境造成了温室气体的净增加。这种能量的损耗以及空气的污染都是不可逆的。相比之下,各种植物和农作物在生长过程中通过光合作用直接将大气中的 CO_2 转化成有机物储存在生物质中,转化为生物能源燃烧后,会再以 CO_2 的形式回归大气。这种碳循环所需的时间相对较短,因此,生物能源有时也被称作“碳中性”能源。使用生物能源替代化石能源最直接的环境优势正是它可以减少温室气体和酸性气体的排放,并在一定范围内维持大气与陆地中碳含量的平衡^[6]。

然而,值得注意的是,从生物燃料的角度看,其对于能量的净供给量,不仅取决于该生物燃料中的能量成分,同时还取决于生产这种生物燃料所耗费的能量。人们将一种生物燃料中所含有的能量与其生产中消耗的化石能量的比值称为化石能量平衡(fossil energy balance),用以衡量各种生物

能源净能量的高低^[7]。传统化石燃料的化石能量平衡理论上应为1.0,但由于原油炼制和运输上的部分能源消耗,该数值在实际的汽油和柴油生产中仅为0.8~0.9^[3]。不同的作物原料在生产同种生物燃料时的化石能量平衡差别很大。例如,生产燃料乙醇,玉米的化石能量平衡为2.0,而甘蔗最高可达到8.0。因此,巴西利用甘蔗的生物质残留物为原料生产乙醇是一个极为成功的选择。以纤维素为原料的化石能量平衡可以超过10.0^[8],因此以木质纤维素为基础的“第二代生物燃料”在能量平衡中的优势也表明其很可能成为未来替代能源的发展趋向。

另外,一些国家或地区生物质能源原料基于城市和工业废料,也可以为环境可持续发展做出巨大贡献。如包括用农业和食品加工废料厌氧产生沼气,产生的沼气经传统的热电联产装置(CHP)燃烧产能,系统产生的固体废渣则作为有机混合肥料出售,形成循环经济,或直接通过工业木屑等生物质气化,为城市居民供热、供电^[6],形成“零污染”的生物能源体系。

2.2 生物燃料与环境效益

尽管生物能源在理论上是“碳中性”,但也有人质疑其对环境一定会产生积极的影响。与计算化石能量平衡的原理相似,利用生命周期评价(life-cycle assessment, LCA)方法,可以计算生物燃料的温室气体平衡(greenhouse gas balance)^[9],它表示一种生物燃料在其整个生产和使用期间的温室气体总排放量与生产和使用等能效的化石燃料所排放的温室气体总量之间的比较^[3]。计算结果显示,虽然理论上生物质能源是“碳中性”的,但是在生产和使用过程中各个隐藏环节中的额外碳排放却是不容忽视的。若在生产加工中采用的方法不当,生物燃料可能比化石燃料产生的温室气体还要多。如,在作



中国科学院

物种种植中,由于施加含氮化肥而释放出的温室气体 N_2O ,其导致温室效应的潜力比 CO_2 高出约300倍^[10];又如,生产燃料乙醇的玉米每公顷每年可固定约1.8吨 CO_2 ,而作为第二代生物燃料作物的柳枝稷(switchgrass)每年每公顷最多能储存8.6吨的 CO_2 ,但若将草场或林地转变成农田来种植这些作物,就将一次性释放每公顷300吨以上 CO_2 ^[11]。若为追求生物能源产量,而将原本的森林或农作物用地改作种植能源作物,相当于释放了土壤中储藏的碳,在大量碳排放后可能需要很多年才能通过替代化石燃料取得的减排得以恢复,此举显然有失明智^[12]。这说明并非所有形式的生物质能源都会对温室气体平衡产生积极影响。

目前生物燃料的生命周期评价主要集中于美国和欧洲的生物柴油以及巴西的甘蔗乙醇,也还有一些对棕榈油、麻风树、木质纤维素和生物甲烷等进行研究。研究发现,乙醇和生物柴油等第一代生物燃料较化石燃料的减排幅度为20%~60%;相比之下虽然第二代生物燃料目前的商品化规模还很小,但与汽油和柴油相比,其减排程度却可达到70%~90%^[13],因而第二代生物燃料具有更强的环境效益。

3 生物能源在生态可持续发展中的利弊权衡

生物能源产业是一种土地密集型能源生产形式。如前述分析,土地用途转变会对碳排放造成一定影响。除此之外,发展生物能源对土壤、水和生物资源等生态环境都会产生影响。据国际能源署预测,未来几十年内全球用于生物燃料及其副产品生产的土地面积将增加到现在的3~4倍^[14]。生物能源产业的进一步发展可能会占用畜牧业草场及其他农作物用地甚至天然森林,还可能增加对未开垦土地的压力。

相对于土壤资源的压力,水资源短缺是一个更严重的问题。随着生活用水和工业用水增加,再加上气候变化,最终可以供农业利用的水资源量越来越少^[15]。在生物能源产业中,不少主要能源

作物(如玉米、甘蔗、棕榈等)都需要大量的淡水灌溉才能达到商业化产量^[13]。以燃料乙醇为例,每生产1加仑则需要消耗大约4加仑的水^[14]。若在干旱和半干旱地区发展种植能源作物则需要额外的灌溉水供给。此外,在生产过程中的洗涤、蒸馏、冷却等环节也需要消耗大量水,这势必让业已匮乏的淡水资源面临更大威胁。

土壤与水资源的质量也会受到生物燃料生产的影响。施用化肥、杀虫剂和除草剂等可能会引起水污染,造成局部水域和土壤的富营养化,水体含氧量严重降低,从而导致水生生物可能无法生存。北美最大的河流密西西比河灌溉了美国境内40%的土地,也恰恰由于密西西比河流域的大范围玉米及其他农作物,因施用化肥而使大量的氮与磷经由河流流入墨西哥湾,刺激水生藻类过度繁殖,大量藻类死亡后沉入海底分解,消耗了海水中过多的氧气,使得其他海洋生物缺氧死亡^[15]。在美国,燃料乙醇的发展更使得玉米的种植量不断加大,并促使更多的林地和草场改作农田,进一步加重土壤侵蚀、地表沉积,施用化肥造成过多氮磷元素渗入地下水源,汇入河流与海洋。

生物能源的发展对于野生和农业生物多样性的影响也同样不可小觑。虽然在生物燃料扩大生产时退化土地的开垦对于局部生态系统具有一定的积极作用,但与之相比,因作物种植面积扩大,以农田取代原自然生态系统所带来的水土流失和生物多样性破坏等负面影响则显得弊大于利。生物多样性流失的首要祸端就是占林为田后造成的生物栖息地的丧失^[16]。研究预测,在美国中西部地区20%的边际土地上,因经济和政策等激励因素,扩张种植生物能源作物(玉米和大豆)将导致鸟类的丰富度减少7%~65%^[17]。另外,农田集约化生产也使得作物品种相对单一,因而也会因遗传多样性水平较低而使农业生物多样性流失^[18]。俗称假高粱的石茅就是一种曾被人工引进的饲用牧草,但其很快却成了困扰美国16个州的侵略型杂草。石茅泛滥生长,与棉花、大豆竞争资源以致作物减产,其中仅3个州每年因此至少损失3000

万美元。因此,必须谨慎关注如何管理和发展生物燃料,在确保社会收益最大化的同时,使生态环境风险降到最低。

4 生物能源与社会经济发展

过去10多年中,大多数发达国家和部分发展中国家颁布新能源与环境政策推动了生物质能源产业的发展,这与社会经济发展之间的相互作用也在不断发生变化。

4.1 能源农业与国际贸易

生物能源的快速发展,将农业与能源空前紧密地联系在一起。它们的关系主要体现在生物能源在农业和贸易领域的市场竞争力上。一方面,石油资源的短缺和国际原油价格的不断上涨,使得燃料乙醇、生物柴油等生物燃料与汽油、柴油等化石燃料在能源市场上形成直接竞争;另一方面,在农产品市场上生物燃料生产与粮食和饲料的加工亦形成拮抗关系。近年来,越来越多的贸易往来也不再限于邻近国家和地区,生物燃料和原料的国际贸易快速攀升。此时,放松或限制生物燃料产品贸易政策都有可能对未来产量和消费模式产生很大影响。如果有完善的国际贸易体制,能源产品的流通可同时为出口国和进口国建立互惠关系:一方面出口国可以借此增加额外收入并增加就业机会,另一方面进口国又可实现温室气体减排和复合燃料多样化。由此可见,国际贸易准则对于全球生物燃料发展至关重要。

生物能源产业发展有助于丰富农村产业结构,减少贫困,促进能源农业发展。在巴西的能源产业中,对石油化工行业1个就业岗位的投资是22万美元,而生物燃料行业仅为1.1万美元。这意味着在石化行业创造1个就业岗位,就可以在燃料乙醇行业创造多个就业岗位。在我国,生物质原料多分布在东部经济发达地区,与风能、水能、太阳能资源富集区与终端市场分离不同,那里人

口密集、能源需求最大,生物质资源不仅具有储藏量的优势,更存在区位上的优势^[19]。生物能源产业原料在三农,而加工和市场在工业和城市,是构建新型工农城乡关系的最佳纽带和抓手。

4.2 粮食安全

据FAO数据,全球有超过9.25亿人存在严重的营养不良问题,其中16%来自发展中国家^[20]。随着生物能源产业的发展,原本供给食用或饲料加工的作物(如玉米、大豆等)被转而用于生产生物燃料,可能让一些国家和地区面临土地竞争和粮食安全的威胁。生物燃料的扩大生产将对贫困人口的粮食安全问题产生何种影响,是生物能源发展的又一重要议题。生物能源的生产并不是造成粮食危机的主要原因,最根本原因是原油价格影响着生物燃料价格从而影响农产品价格。

事实上,没有一种生物燃料可以在不影响粮食供应的同时大规模替代石油^[7]。生物燃料的原料作物同时也和其他农作物争夺生产资料。当生物燃料需求抬高了作物原料的价格时,以相同资源为基础的农产品价格也都会随之水涨船高。即便使用非粮作物生产生物燃料,也不一定能够消除粮食和生物燃料之间的竞争。虽然粮价上涨一般会对农村贫困人口的购买力造成负面影响,但农村贫困人群也可能从生物能源产业所催生的劳动力就业机会中受益。农产品价格的上涨将会刺激原料产区对低技能农业生产者的劳动力需求,促进农民收入增加。如有合理的政策扶持和价格补贴,仍有机会将粮食安全的风险降至最低。

4.3 生物能源产业的战略决策

在当前能源危机、资源危机、环境危机的全球局势下,大多数发达国家和发展中国家都将生物能源作为解决问题的突破口。



中国科学院

目前,已有许多成熟的政策被各国所采用,如强制规定在汽油中混入乙醇等生物燃料;对生产、配送的补贴和税收激励机制;设置关税壁垒用以保护本国生物燃料生产等等^[2]。但这些恐怕还远远不够。良好的政策措施,不但需要保证产业的经济效益,还要考虑节能收益、温室气体减排、资源与生物多样性保护以及粮食安全等。生物能源产业的可持续发展,迫切需要更合理、更完善、更有效的产业政策。这要求决策者和管理者对各种生物燃料的各个生产与使用环节具备清晰且准确的认识,并能够对其中每一部分所产生的各方面影响进行系统的评估。由于政策的制定往往受到社会、经济、农业、贸易、资源、环境等多方面的制约,因而制订一套各个领域通用的评价方法显得至关重要,如化石能量平衡、生命周期评价、温室气体平衡等的计算方法以及标准化的可持续准则^[3]。

发展生物能源,只有政府对这一新生领域提供政策支持,生物燃料才有可能在市场上同化石燃料竞争。在农业经济方面,可以适当加入投资激励机制,包括:为大型生物能源加工厂提供融资渠道,通过配套拨款提高农民参与积极性,降低采用新技术的经营风险,同时为小规模生物燃料生产者提供所得税抵免等。

生物能源产业政策的制定还必须注意要有预见性和适应性。决策者必须要考虑到围绕全球生物能源领域相关的各种潜在作用和影响,充分估计各方面的风险与不确定性,并能够根据产业运行中出现的问题和产业环境的变化及时调整产业结构和发展方向,使政策的最终实现更具可行性。实现这一点还需要依靠各国间建立良好的国际协调合作,制定规范的国际贸易准则,利用现有机制开展国际对话,更好地了解生物能源产业在国际能源领域中的影响,确保在国际体系支持下的可持续发展。

5 生物能源的未来

全球能源和食品需求量仍会继续飞速增长,这必将进一步加剧化石燃料的使用。虽然当前化

石能源在世界能源领域内仍占主导地位,生物能源仅占能源市场中很小份额,而成品生物燃料(乙醇、生物柴油等)仅占全部生物能源总量的1.9%,但生物能源在未来具有巨大发展潜力。据国际能源署预测,全球生物燃料使用将从现在的1mb/d(百万桶/日)增长到2035年的4.4mb/d^[1]。同时,以第二代生物燃料为主的新型生物能源也会在不久的将来踏入生物能源主流。生物能源需要在理性分析和完善指导下走出一条可持续发展产业道路。未来一个核心问题是如何在协调环境影响和潜在利益的同时满足全球能源和食品的需求,进而打造出一个崭新的生物能源时代。这是一个复杂的问题,不能用简单的解决方案来处理。未来的生物能源是一个需要全球能源专家、生物学家、经济学家、环保人士、工程师与各地政府乃至社会公民一起合作努力的共同事业^[12]。

主要参考文献

- 1 IEA. World energy outlook 2010, 2010.
- 2 Demirbas A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy*, 2009, 86: S108-S117.
- 3 FAO. The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: prospects, risks and opportunities. Rome, 2008.
- 4 Farrell A E, Plevin R J, Turner B T et al. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, 2006, 311(5760): 506-508.
- 5 Somerville C, Youngs H, Taylor C et al. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, 2010, 329(5993): 790-792.
- 6 Bioenergy I. Benefits of Bioenergy, 2005.
- 7 Hill J, Nelson E, Tilman D et al. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, 103(30): 11206-11210.
- 8 Rajagopal D, Zilberman D. Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels. World Bank Policy Research Working Paper, No. 4341. Washington, DC: World Bank, 2007.
- 9 von Blottnitz H, Curran MA. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(7): 607-619.

- 10 Del Grosso SJ, Mosier AR, Parton WJ et al. DAYCENT model analysis of past and contemporary soil N₂O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. *Soil & Tillage Research*, 2005, 83(1): 9-24.
- 11 Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA et al. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 2008, 319(5 867): 1 238-1 240.
- 12 Tilman D, Socolow R, Foley JA et al. Energy. Beneficial biofuels the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 2009, 325(5 938): 270-271.
- 13 Grossmann IE, Martin M, Ahmetovic E. Optimization of Water Consumption in Second Generation Bioethanol Plants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, 50(7): 3 705-3 721.
- 14 Keeney DR, Muller M. Water Use by Ethanol Plants: Potential Challenges. In: *Institute for Agriculture and Trade Policy*, 2006.
- 15 Donner SD, Kucharik CJ. Corn-based ethanol production compromises goal of reducing nitrogen export by the Mississippi River. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105(11): 4 513-4 518.
- 16 Curran LM, Trigg SN, McDonald AK et al. Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science*, 2004, 303(5 660): 1 000-1 003.
- 17 Fargione J. Is bioenergy for the birds? An evaluation of alternative future bioenergy landscapes. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107(44): 18 745-18 746.
- 18 Palmer MW. Biofuels and the environment. *Science*, 2007, 317(5 840): 897-898.
- 19 Yin XL, Wu CZ, Yuan ZH et al. The development of bio energy technology in China. *Energy*. 2010, 35(11): 4 445-4 450.
- 20 FAO. *The State of Food Insecurity in the World 2010*. Rome, 2010.



中国科学院

Bioenergy as a New Energy Industry: Insights into Its Impact on Environmental, Ecological, Social and Economic future

Zhao Jun

(1 Institute of Policy and Management, CAS 100190 Beijing 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 100049 Beijing 3 Academician work Bureau of the CAS 100190 Beijing)

Abstract Developing bioenergy is the general trend for many countries to solve the problem of energy security, and it is also an important approach for solving increasingly severe problem of energy crisis in China. This paper discusses the role of bioenergy in the new energy syetem, impacts on environmental protection, merits and demerits of bioenergy on ecological environment, as well as interactions with social and economic development. Some suggestions have been made based on the research.

Keywords bioenergy, new energy, environmental protection, ecological environment, social and economic development

赵军 中科院院士工作局综合处处长,原微生物所人事教育处处长。1977年8月出生。中科院科技政策与管理科学研究所在职博士研究生,有6年知名企业高层管理工作经历,曾当选为首届中国MBA新锐人物,并获最佳创新奖。研究领域涉及生物产业、战略管理、人力资源管理、组织文化。曾主持或参与多个管理课题,在《中国科学院院刊》、《管理学家》、《清华教育研究》等刊上发表多篇论文。E-mail: zhaoj@im.ac.cn