



美国生物能源产业生态系统演化过程研究*

文/赵 军

中国科学院学部工作局 北京 100190

【摘 要】 发展生物能源是当前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。美国是世界上最大的生物能源生产国,了解其整个生物能源产业的演化过程对于更好地借鉴其经验及教训尤为重要。文章详细阐述了美国生物能源的发展过程,并系统分析了发展过程中的各种政策变迁。

【关键词】 生物能源,产业生态系统,演化,美国

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2014.04.012

在全球生物燃料发展热潮中,美国在产量、产能、市场、技术等方面都有领先优势,如生物燃料产量已跃居世界第一,提出明确的生物燃料发展规划和相应的政策措施,预计未来将对世界生物能源产业发展产生重大影响。了解美国生物能源产业生态系统的演化历程,有助于把握世界生物能源产业的总体发展概况和演化趋势。

早在1896年,美国亨利·福特就用大豆乙醇启动了美国第一辆乙醇燃料汽车,1908年福特T型车使用乙醇、汽油或按任何比例调和的乙醇汽油燃料。20世纪30年代,美国中西部就曾把乙醇作为燃料开始使用,有2 000个以上的加油站提供含有6%—10%的乙醇汽油,但二战结束后石油价格下跌导

致美国乙醇需求量急剧下降。20世纪70年代,处于石油危机的美国其生物燃料产业重新起步,至今已近40年。经过近10多年的快速发展,美国具备了世界上最大的燃料乙醇生产规模,2012年美国燃料乙醇销售量超过140亿加仑。美国30多年生物燃料产业发展历程大致分为4个阶段^[1]。

1 开拓期

20世纪70年代中期石油危机之际,美国开始淘汰含铅汽油,重新发展生物燃料,进入新一轮发展生物燃料的开拓期。

资源条件:首先,耕地资源丰富,其近20 000万公顷,占世界耕地总面积的13.15%,人均耕地0.7公顷,是世界人均耕地(0.23公顷)的2.9倍;其次,玉米产量高居世

* 修改稿收到日期:2014年7月9日



中国科学院

界第一,其出口占世界出口总量的2/3。充分的农业资源是美国发展燃料乙醇的基础。

政策支持:首先,1978年通过了《能源税收法案》,第一次提出乙醇汽油概念,并对“酒精-汽油混合燃料”进行了规定:在汽油中至少添加10%乙醇,并且乙醇不能来自于汽油、天然气和煤炭;其次,为鼓励私有企业生产燃料乙醇,1980年出台了《能源安全法案》,对年产量低于100万加仑的生产厂家,由政府提供100万美元担保,并与其签订购买协议保证最低收购价格,同时对从巴西进口乙醇征收关税设置贸易壁垒;第三,为鼓励使用乙醇汽油,政府免除乙醇汽油4美分/加仑的消费税,即对燃料乙醇给予40美分/加仑的补贴,1983年的《地上运输补助法案》将其提高至50美分/加仑,1984年的《税制改革法案》进一步将其提高至60美分/加仑。此外,各州政府也出台了相关政策,仅1980年就有25个州对乙醇汽油全部或部分减免货物税,以促进乙醇生产和消费市场。

1979年美国石油公司开始生产燃料乙醇,产量达1000万加仑,1980年迅速增至有4600万加仑,1985年则跃至5亿加仑,生产厂商达160余家。

2 调整期

1984年国际原油价格暴跌,使得燃料乙醇成本失去竞争优势,政府对乙醇燃料的各种优惠政策明显减弱甚至终止,燃料乙醇产业发展乏力,产业进入调整期。尽管90年代出台过有关促进政策,但并未形成大气候,这种状况一直持续到20世纪末。

原油价格及原料变化:从1985年至20世纪末,除1990年第一次海湾战争爆发后数月内原油价格上涨外,其余时间总体上一直呈下降趋势,期间原油价格从1985年每桶27美元猛跌至1986年每桶12美元,第一次海湾战争后的8年中原油价格一直下跌,1998—1999年曾掉至每桶20美元以下。

1988年、1993年和1995年美国玉米出现大量

减产,1996年玉米价格曾涨至5美元/蒲式耳,致使约一半乙醇生产厂关闭,163家厂商中只有74家开工(约占45%),年产燃料乙醇约5.85亿加仑。

政策支持:在此期间,也出台过一些政策,具体包括:1988年的《汽车替代燃料法》鼓励使用替代能源;1990年的《综合性预算调解法案》将对燃料乙醇的补贴降至54美分/加仑;1992年的《能源政策法案》增加了燃料乙醇7.7%与5.7%两种添加比例的乙醇汽油,同时将乙醇添加比例高达85%的混合燃料(E85)作为交通能源,要求特定车队购买以E85为燃料的车辆,并对使用E85的车辆以及出售E85的加油站进行税收减免。但基本上都是维持性的策略,未出台过实质性刺激燃料乙醇市场加快发展的政策。

市场拓展:1992年,E85乙醇燃料成为合法交通能源后,美国汽车集团借机拓展有关市场。但由于90年代初期可使用E85的汽车售价高于汽油汽车,更重要的是公共加油设施严重缺乏,使得1993年使用E85的汽车还不到500辆。

环境保护:基于国内外社会对环保意识的增强,美国环保政策有所加强。继1988年乙醇被规定为汽油添加剂以控制CO₂排放后,国会于1990年通过《空气清洁法》修正案,规定39个CO₂排放超标地区从1992年冬季开始必须使用含氧量不大于2.7%的含氧汽油(相当于添加7.7%乙醇),美国9个臭氧超标地区从1995年开始执行上述标准。

在这10多年中,乙醇产量总体上缓慢增长,乙醇生产厂商一直靠补贴度日,补贴力度有所降低,燃料乙醇产业未有实质性发展。

3 扩展期

进入新世纪后,由于国际原油价格飞涨,加上环保压力加大,美国更加重视发展生物能源,生物燃料由此迅猛发展,进入扩展期,一直持续到2008年国际金融危机爆发。

社会经济环境:首先,国际原油价格飙升,从20世纪90年代末的不到20美元/桶,到2000年迅

速上升超过30美元/桶,随后呈不断上升趋势,2008年曾一度超过145美元/桶;其次,错综复杂的中东地区政治局势给国际原油稳定供应蒙上阴影;第三,中国等发展中国家工业化速度明显加快,世界能源需求总量快速上涨。这些因素助推了美国发展替代能源的进程和力度。

政策支持:尽管美国在2001年和2003年分别将乙醇生产补贴降至53和52美分,除1998年通过的《21世纪交通效率法案》对乙醇生产补贴时间延长至2007年外,还采取了一系列政策促进燃料乙醇产业发展,如:减免企业尤其是中小企业所得税、给予新建燃料乙醇企业一次性财政补贴、直接投资乙醇生产企业等。2005年的《新能源法案》,通过包括180亿美元的能源税收减免计划,同时可再生燃料标准规定,用燃料乙醇来替代MTBE(甲基叔丁基醚,汽油中抗爆成份)作为添加物,要求美国汽油销售商销售含有10%乙醇的混合汽油,提出2006年和2012年燃料乙醇销售量分别达40亿加仑和75亿加仑、2013年开始每年至少有2.5亿加仑纤维素乙醇的发展计划。美国2007年国情咨文提出“10减20”的战略目标,即通过增加可再生能源主要是生物燃料的供

应和提高汽车燃料经济标准以在10年内减少国内汽油20%使用量,相当于每年减少从中东进口石油的3/4。2007年美国通过《2007能源独立与安全法案》将可再生燃料标准比2005年提高了1倍,并提出2022年美国可再生燃料达360亿加仑,包括150亿加仑玉米乙醇和210亿加仑非玉米乙醇(其中160亿加仑纤维素乙醇)。2007年美国能源部拨款3.85亿美元用于支持预期总产能达1亿加仑的6家纤维素乙醇项目,同时对纤维素乙醇实行税收抵免1.01美元/加仑的政策,远高于玉米乙醇45美分/加仑的税收抵免。此外,为有效保护国内乙醇生产企业,美国的乙醇进口关税在2.5%的基础上,针对巴西进口乙醇关税提高至54美分/加仑。

原料稳定性:在此阶段玉米种植总面积总体上保持了稳中有升,通过技术改进提高了单产量,玉米生产量也有所提高。但由于乙醇产业快速发展,更多玉米被用于生产乙醇(表1)。2001年,美国燃料乙醇产业消耗了707百万蒲式耳的玉米,约占当年美国玉米产量的7.2%,2005年消耗1603百万蒲式耳的玉米,约占当年玉米总产量14%,到2008年消耗超过3700百万蒲式耳玉米,超

表1 美国2000—2008年乙醇产量及玉米用量变化表(数据来源:USDA)

年份	乙醇产量(亿加仑)	乙醇玉米用量(百万蒲式耳)	乙醇玉米占玉米总产量比例(%)
2000	16.3	630	6.5
2001	17.7	707	7.2
2002	21.4	996	10.5
2003	28.0	1168	11.4
2004	34.0	1323	12.4
2005	39.0	1603	14.2
2006	48.8	2119	18.9
2007	65.2	3049	23.9
2008	93.0	3709	30.8

过当年总产量的30%。

技术开发:政府加大对研发活动的投入。以纤维素乙醇研发为例,由于成本和技术等原因还无法商业化,能源部于2006年拨款3.75亿美元在田纳西州、威斯康星州和加利福尼亚州建立3个研究中心以加速纤维质乙醇和其他生物燃料发展的基础研究,尽早实现规模化生产。2007年通过的《农场法案》计划投资16亿美元主要用于纤维素乙醇的研究和生产,2008年政府预算中追加1.79亿美元用于研究以木屑和柳枝稷为原料生产纤维素乙醇。2007年联邦政府决定为生产纤维素乙醇的厂商提供20亿美元贷款担保以鼓励有关投资。此外,《2007能源独立与安全法案》提出2022年之前要将燃料效率提高40%,每加仑燃料乙醇能够让汽车和卡车行驶35英里。

环境改善:新世纪国际社会对环保问题呼声日益高涨,2001年《东京议定书》要求世界40多个主要工业国家在10年内将温室气体排放量减至1990年同等水平,而作为全球温室气体排放量最大的国家美国没有签订《东京议定书》,承受着国内外巨大舆论压力。由于美国原汽油配方中添加的MTBE对地下水有污染,玉米种植商、乙醇生产商及有关组织积极游说政府采用乙醇代替MTBE,燃料乙醇成为最理想的替代品。1999年加州规定从2002年12月31日起(后被推迟1年)禁止

本地区汽油中使用MTBE,随后纽约州等地区也出台相关规定,众议院2000年通过法案在未来4年后完全禁止使用MTBE。

市场拓展:首先,禁用MTBE使燃料乙醇产业获益,乙醇需求大幅度增加;其次,E85汽车得到了稳步发展,这缘于人们环保意识不断增强,更重要的是美国汽车厂商开发了既可使用E85又可使用普通汽油的汽车并于1996年批量上市,美国汽车厂商在加快推出E85车型的同时,还向传统加油站提供资助进行E85设备改造。1999年后美国E85汽车发展较快,2000年达150万辆,2006年、2008年分别达500万和600万辆,这进一步增加了燃料乙醇的需求。

2000—2008年,美国乙醇产量从16.3亿加仑上升至93.0亿加仑,2008年产量约占全球总量53%,成为生物能源大国。

燃料乙醇在美国投资界也受到了重视,企业投资迅速增加、华尔街的股票投资和风险资本大量涌入,燃料乙醇产能快速提升,实际燃料乙醇生产甚至超过了额定产能(表2)。乙醇企业上市融资非常热门,美国第二大乙醇生产商VeraSun首日上市就受到投资者青睐,从发行价格23美元涨至30美元,成为纽约证交所当日涨幅最大的股票,紧随其后的鹰眼控股将其计划融资的数额从3.5亿美元提升至5.2亿美元。

表2 美国2000—2008年燃料乙醇额定产能及其利用情况表(数据来源:RFA,2012)

年份	全国额定产能(百万加仑)	产能利用率(%)
2000	1 749	93
2001	1 922	92
2002	2 347	91
2003	2 707	104
2004	3 101	110
2005	3 644	107
2006	4 336	113
2007	5 493	119
2008	7 888	118

4 二次调整期

2008年金融危机后,美国不少乙醇生产厂商被并购甚至倒闭,国内对发展生物能源也有不同声音,燃料乙醇工业进一步发展面临诸多挑战,非粮燃料乙醇特别是纤维素乙醇受到更多重视,生物能源产业由此进入二次调整期。

替代品及原料供应:金融危机爆发后,国际原油价格从2008年7月的140美元/桶狂跌至2009年初的40美元/桶。玉米价格在2007年和2008年一路攀升,很多公司在当时签订的玉米合约接近7美元/蒲式耳,而2009年4月芝加哥期货交易所玉米价格下降至3.9美元/蒲式耳。超过半数的美国燃料乙醇公司在2008年底至2009年第一季度之间出现股价崩盘,全美排名第七和第八的燃料乙醇生产商先后倒闭,2008年12月美国第二大乙醇生产商VeraSun公司宣布破产。美国乙醇产业受到重创,超过20亿加仑(总生产能力为120亿加仑)的产能破产,2009年燃料乙醇产能利用率从上一年的118%下降至88%。

目前美国乙醇工业消耗的玉米占总产量比例超过25%,稳定充足的玉米产量为2022年玉米乙醇150亿加仑产量的目标奠定了基础,但对于360亿加仑可再生能源总目标以及美国每年消耗的1700亿加仑汽油和柴油燃料总量来说,纤维素乙醇原料和生物能源原料需要找到更切实可行的办法。

社会环境:BP公司墨西哥湾漏油大事故对环境的危害进一步促进了石油公司开发生物燃料。与此同时,联合国呼吁美国立即暂停政府指令的乙醇生产,联合国粮农组织对大量玉米用于乙醇生产可能产生的后果表示担忧,美国部分州以及肉制品和牲畜行业因为玉米价格不断上升也对燃料乙醇产业发展提出不同声音。国际上不少国家,

包括法国、印度和中国在内的G20成员国对美国乙醇政策表示担忧。

政策支持:美国2009—2011年持续对乙醇燃料生产提供退税补贴和对进口乙醇征收高额关税,每年补贴金额超过50亿美元。环保总署(EPA)2010年同意将汽油中乙醇比例从10%(E10, 10%乙醇)提高至15%(E15),但主要限于2007年及之后车辆。联邦政府决定自2012年起取消混合燃料生产每加仑45美分的税收抵免优惠以及每加仑54美分进口关税,这对燃料乙醇产业运营提出了更高要求。2010年美国总统发布指令,要求加快生物燃料行业发展,并成立由能源部、农业部和EPA联合组成的跨机构工作组,其发布的《发展美国的生物燃料》报告,启动了美国发展生物燃料中长期计划,动用国家力量支持第二代和第三代生物燃料技术发展。能源部2010年发布《藻类生物燃料技术路线图》,以此推动藻类生物燃料商业化研究。

此外,EPA为有效推进可再生能源计划,创建了可再生燃料积分制度,即创建了一套可再生识别编码制度(Renewable Identification Number,简称RIN)。RIN是一组由38个字符组成的字符编码,用来标记一定数量的在美国生产或者进口到美国的可再生燃料。以燃料乙醇为例,当生产或进口乙醇时需要申报以获得相应数额的RIN积分,当乙醇被销售时,RIN积分的所有权随之转移给下游买方。通常来说,购买生物乙醇的是燃料乙醇的混合中心或销售商(EPA将其称之为义务主体),EPA每年根据汽油销售总量以及可再生能源发展目标测算出汽油中所含乙醇的比例,由此,各义务主体可以计算出自己需要获得RIN积分数额,结余的RIN积分可在下一年使用,不足的RIN积分可延迟至来年偿还且必须在来年偿还,



中国科学院

RIN 积分创建后在来年年底后失效,并且各义务主体使用上一年 RIN 积分的比例不得超过 20%。美国还创建了 RIN 积分交易制度,允许义务主体和其他各方交易 RIN 积分,EPA 专门建立了 EPA Moderated Transaction System(简称 EMTS)系统来管理和跟踪 RINs 的交易。值得一提的是,EPA 为不同生物燃料规定了不同的比例,并且不同可再生燃料所获得的 RIN 积分是不一样的^[2]。

市场拓展:美国乙醇产量不断趋高但增速下降,主要原因是美国市场 E10 汽油已趋饱和。E85 汽油消费虽有所增加,但因只有 1 500 多家 E85 加油站,使得 E85 汽车用户加油不便,导致 E85 难以进一步扩大规模,这也使得其在机动车用乙醇汽油的份额很低。EPA2010 年同意启用 E15 汽车数量占当年美国汽车总数的 18%,且在 5 年内将增至 1 亿辆,从而增加了 50%燃料乙醇消费量。虽然多家乙醇生产商获得 E15 汽油销售许可,但目前销售量还比较有限,主要是涉及汽车保修期、加错油的风险、基础设施成本高和市场需求小难以在短期内引起商家重视等问题。

值得一提的是,EPA 曾提案建议美国政府削减纤维素乙醇生物燃料强制任务,2012 年纤维素乙醇的强制目标消费量降至 345 万—1 290 万加仑,而在 2007 年制订的 2012 年目标消费量是 5 亿加仑,差距如此巨大的主要原因是纤维素乙醇产

量难以满足可再生燃料标准计划(RFS)目标,而产量增速较慢的主要原因是生产成本较高,政府支持力度不够。

技术开发:瑞士先正达公司研发成功具有淀粉酶特质的玉米种子可以种植“乙醇玉米”,以此为原料可生产出更多的乙醇,美国农业部 2011 年同意对用于生产乙醇的转基因玉米完全解除管制,此举标志着企业专门为多产乙醇推出的生物技术作物在美国首次获得批准。弗吉尼亚州欧塞奇生物能源(OBE)公司于 2010 年着手开发冬季大麦乙醇作为先进生物燃料,将利用冬季大麦生产乙醇和高价值的联产品以供应东海岸市场。美国清洁能源投资公司(CEC)2010 年在加利福尼亚州投资 5.75 亿美元开发第一套大型商业化规模甘蔗乙醇炼制厂,生产的乙醇符合该州的低碳燃料标准。

产业生态化:美国在燃料乙醇产业布局上克服了生物能源产业分散性带来的问题,将玉米种植、乙醇生产和产品消费等产业链的各个环节统筹考虑,以更好地实现产业生态化,表 3 展示了截至 2012 年底生产乙醇能力前 6 名的各州生产数量之和超过了美国乙醇生产总量的 70%,其中,爱达荷州的乙醇产能占比超过了全美乙醇生产总量的 1/4。

新用途拓展:乙醇生产企业为降低成本并实

表 3 美国生物乙醇生产主要地区分布情况表(单位:百万加仑)(数据来源:RFA,2013)

地区	额定产量	实际产量	小计	占总量比例(%)
爱达荷州	3 848.0	3 843.0	3 848.0	25.85
内布拉斯加州	2 058.0	1 744.0	2 058.0	13.82
伊利诺伊州	1 412.0	1 374.0	1 412.0	9.48
印第安纳州	1 148.0	826.0	1 148.0	7.71
明尼苏达州	1 147.1	1 010.6	1 147.1	7.71
南达科他州	1 016.0	1 016.0	1 016.0	6.82
美国生产总量	14 837.4	13 317.9	14 887.4	

现产业生态化,积极开发副产品,副产品产值规模快速提高(图1)。为进一步提高综合经济效益,企业用溶剂将燃料乙醇副产物干酒糟颗粒饲料 DDGS(养牛业饲料)中所含油脂萃取用于生产生物柴油和甘油,也有企业生产蛋白饲料和醋酸,或者进一步提高原料利用率生产更多乙醇。新用途拓展生产的副产物收益较好,有助于降低生产成本。

合作备忘录决定建立战略联盟,寻求建立燃料乙醇的全球生产标准,共同在国际市场推广乙醇燃料。

美国发展燃料乙醇尽管取得了巨大进步,有效地降低了石油需求的对外依存度(图2)。但相对于其发展目标,还面临纤维素乙醇生产成本低、关键技术有待突破、对世界粮食市场可能产生巨大影响等现实困难,还需进一步调整和探索^[3]。

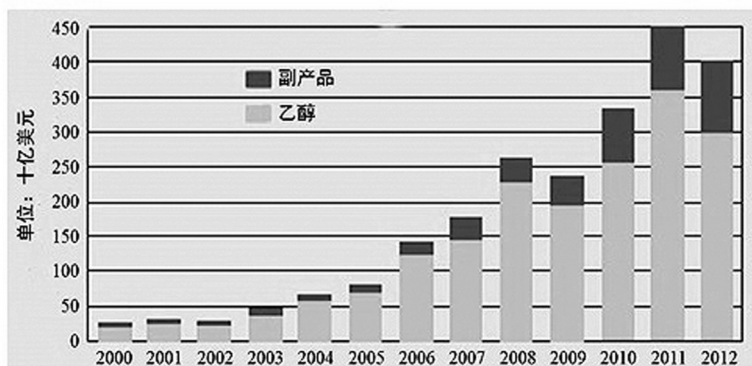
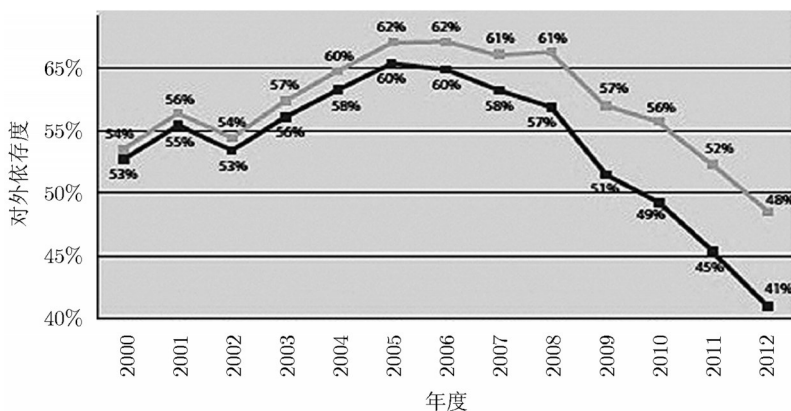


图1 美国生物乙醇及副产品产值变化情况(数据来源:RFA,2013)

从美国生物能源产业演变过程可以看出,产业生态系统与自然生态系统一样会不断发展和演化,其动态演化过程一般分为开拓期、扩展期、成熟期、重塑期4个阶段,不同阶段之间还可能伴随有调整期,具有不同

特征和核心任务,主导系统演化的关键因素也有差异。产业生态系统演化机制一方面是内在机制和外部机制共同作用的结果,内在机制是自组织作用,包括竞争和合作,竞争是根本动力,合作起稳定演化方向的作用;外在机制主要是指环境选择,包括来自

国际合作:随着乙醇产业发展优势的建立,美国也更加注重其国际合作。一方面,由于成本下降和国内市场阶段性饱和,出口明显增加,2010年美国乙醇出口总量达3.97亿加仑,几乎是2009年的4倍。尽管巴西是美国在乙醇产业发展方面最大的竞争国,但巴西乙醇生产的原料甘蔗因自然灾害影响面临减产的危险,巴西国内灵活性燃料交通工具的使用不断增加,对燃料乙醇的需求非常大,巴西在未来数年内首先要满足国内不断增长的需求。此外,美国和巴西签署乙醇燃料



(—:有生物乙醇, —:无生物乙醇)

图2 美国石油对外依存度变化及对比情况

(数据来源:RFA and Energy Information Administration)



中国科学院

其他产业生态系统的影响、社会经济文化因素变化和自然界变化等几个方面,环境检验是系统演化的必要条件;另一方面,产业生态系统演化机制是由于关键要素作为动力推动演化,其机制是内生系统——基于经济效益提升的产业生态系统演化,外生系统——基于成本推动的产业生态系统演化,共生系统——基于环境效益改善的产业生态系统演化。美国生物能源产业系统在4个不同阶段的动态演化是自组织和环境选择相结合也就是内部机制和外部机制共同作用的结果,其中内部机制包括企业技术研发能力的不断加强、产品经济效率的提升,外部机制包括自然资源禀赋条件、环境政策及产业政策支持、消费市场的不断拓展、环境改善等方面。其生物能源产业生态系统演化机制的规律和特点如下:

(1)生物能源内生系统,包括生物能源一次开发及其二次加工在内的生物能源产品生产系统,其演化动力和特点主要是在资源具有可持续性发展条件的基础上,产业发展初期主要通过政府政策支持推动,中长期则主要通过技术创新不断降低生物能源产品成本和原料消耗,推动产品升级以提升产品综合性竞争力。

(2)生物能源外生系统主要是生物能源消费

市场,其演化的主要特点是生物燃料消费市场与石油市场及粮食市场的“一体化”,几者之间具有联动传导机制,主要体现在生物能源原料供给的稳定性和生物能源消费的可持续性上。短期来说,生物燃料市场的演化趋势和过程在很大程度上受到石油市场和粮食市场变化的影响,彼此相互影响并保持动态均衡;长远来说,生物燃料市场的演化方向及结果和石油市场、粮食市场的演化方向及结果有重要关联。

(3)生物能源共生系统主要指内生系统和外生系统所处的生态环境,其演化动力主要体现在进一步平衡化石能源消耗和不断减少温室气体排放的需求推动方面,这也是实现生物能源产业生态内生、外生、共生系统健康和谐可持续发展的基础。

参考文献

- 1 王子忠. 美国发展生物燃料的经济后果及政策含义. 硕士学位论文. 北京:中国社会科学院研究生院,2010.
- 2 McPhail L, Westcott P, Lutman H. The renewable identification number system and U.S. biofuel mandates. USDA Report, 2011.
- 3 赵军. 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. 中国科学院院刊,2012,27(2):219-225.

Research on Evolution of the Bioenergy Industrial Ecosystem in the United States

Zhao Jun

(Bureau of Academic Divisions, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Developing bioenergy is the general trend of energy security for many countries, and it is also an important approach for solving increasingly severe energy crisis in China. The United States has become the biggest bioenergy manufacturer in the world, and thus it is very essential to know the evolution of its bioenergy industrial ecosystem. The paper discusses the evolution of America's bioenergy industrial ecosystem.

Keywords bioenergy, industrial ecosystem, system evolution

赵军 中科院学部工作局综合处处长,清华-麻省理工学院IMBA,管理学博士。研究兴趣主要包括人才政策与管理、科技政策与管理、组织战略管理和生物产业,曾主持或参与多个管理研究课题,发表论文多篇。E-mail: zhaojun@cashq.ac.cn