



## 巴西生物能源产业 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】** 发展生物能源是当今世界许多国家解决能源安全问题的普遍选择,也是解决我国日益严峻的能源供需矛盾的重要途径之一。巴西是世界上最发达的生物能源生产国之一,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教训尤为重要。文章详细研究了巴西生物能源产业的发展过程,并系统分析了发展过程中的各种政策变迁。

**【关键词】** 巴西,生物能源,产业生态系统,政策

DOI 10.3969/j.issn.1000-3045.2014.06.011

与传统能源相比,生物能源产业生态系统不仅强调资源开发和利用系统自身的平衡状态,还强调要达到实现可持续发展目标的资源开发利用与其外部生态环境相互作用的系统平衡状态,这正是其内涵所在<sup>[1]</sup>。从世界范围来看,生物能源生态系统目前尚处于初级发展阶段,系统的规模、种群结构以及演进方向均会不断变化。在全球生物燃料发展热潮中,巴西是世界上最早推广使用燃料乙醇的国家,也是唯一不供应纯汽油的国家,其生物资源丰富,发展历史长,具有很强的技术和市场优势,生物燃料产量曾一度居世界首位。了解其生物能源产业生态系统的演化过程,有助于了解国际生物能源

产业的演化过程并判断其总体发展趋势。

20 世纪 20 年代巴西就有了乙醇汽油,并将乙醇与汽油混用,随后一直未中断燃料乙醇的生产,到 70 年代由于全球石油危机,巴西出于能源安全考虑,更加重视发展燃料乙醇产业,生产规模不断扩大,实际产量呈现出快速增长的趋势(图 1)。其燃料乙醇发展过程可分为四个阶段。

### 1 开拓期

1931 年,巴西颁布 19717 法令,规定汽油须添加 5%乙醇,对生物能源产业发展起到了一定引导作用,其生物能源产业进入开拓期初级阶段。二战期间,因石油缺乏曾在汽油中掺入 62%乙醇,之后的全球石油危机则进一步推动了巴西生物能源产业的发展。

\* 修改稿收到日期:2014 年 11 月 15 日



中国科学院

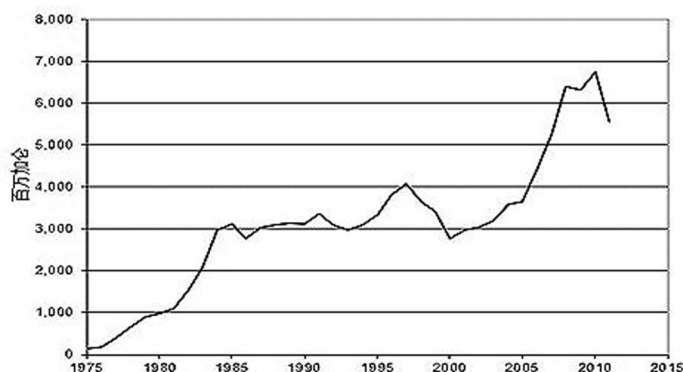


图1 1975—2011年巴西燃料乙醇产量变化情况(数据来源:F.O. Licht)

**资源条件:**巴西是农业大国,国土面积851万平方公里,牧场2亿多公顷,农田6 200万多公顷,除山地和荒漠,约有1亿多公顷土地尚未开发。巴西光照充足,适合种植甘蔗,是世界上最大的甘蔗种植国。生产的甘蔗一半用于制造白糖,另一半则加工乙醇。

**政策支持:**1931年,巴西颁布了第19717号总统法令,正式规定蔗糖乙醇可用于进口汽油的添加剂。紧随1973年全球石油危机爆发以及糖价下跌,为改变原油进口依存度高达85%的被动局面,1975年宣布实施《国家乙醇计划》,鼓励利用甘蔗生产乙醇以替代石油,拉开了发展燃料乙醇的序幕,成为第一个实现乙醇工业化的国家,这标志着其生物能源产业生态系统进入开拓期。《国家乙醇计划》要求巴西国内动力汽车必须使用甘蔗乙醇,明确提出到1979年,乙醇产量达3亿升(1975年乙醇产量为0.5亿升)。1977年政府要求乙醇与天然气混合比例达4.5%,甚至还要逐渐扩大到20%。当时巴西处于军管阶段,政府较易做到以国家战略的形式将政策支持稳定下来,这对推动乙醇产业发展起到了有利作用,但该阶段巴西生物能源政策与具体产业的结合较弱<sup>[2]</sup>。

**技术开发:**巴西早在16世纪就开始种植甘蔗且一直非常重视培育和推广甘蔗优良品种,同时注重加强对生产甘蔗的农户进行技术培训和指导。1931年巴西设立了糖和乙醇的研发机构。20世纪70年代巴西组织各类科研机构、高校和相关

企业研发生物燃料汽车。

**环境改善:**与传统液体燃料相比,乙醇燃料具有明显环保优势,生产过程几乎是可持续的,可减少二氧化碳、重金属和其他有毒污染物的排放。乙醇汽油对环境污染程度仅为传统汽油的30%,汽车排放的一氧化碳、二氧化碳降低了25%左右,可减少碳氢和氮化合物等有害物质的排放。

## 2 拓展期

随着《国家乙醇计划》的实行,1979年巴西生物能源产业的发展进入拓展期,直到20世纪80年代中后期<sup>[2]</sup>。

**政策支持:**政府的扶持政策几乎涵盖了燃料乙醇产业的各方面,如提供财政支持和补贴,对甘蔗种植进行奖励,直接投资乙醇企业建设,燃料乙醇交通工具税收减免,燃料乙醇企业营业税减免等。政府投资各类乙醇企业,总金额超过1.5亿美元,占巴西该类投资的96%;同时税收减免7亿美元,由此可见政府投入的力度之大。

**市场拓展:**1979年巴西研制成功首辆乙醇燃料汽车,80年代中期每年生产的80万辆汽车中有3/4以上采用乙醇燃料。1982年开始对各类乙醇燃料交通工具减征工业产品税,如对乙醇燃料汽车减收5%工业产品税,对残疾人乙醇燃料交通工具和出租车直接免除其工业产品税,部分地区对乙醇燃料汽车行业减收甚至免收增值税以促进其销售。

**技术发展:**在甘蔗种植方面,巴西注重开发新技术,甘蔗产量及品质不断提高。巴西圣保罗大学发明真空发酵蒸馏技术,使乙醇发酵时间从9小时缩短至2小时<sup>[3]</sup>。

**环境改善:**20世纪80年代末,巴西年使用燃料乙醇量已达约1 000万吨。1991年混和燃料中已不含铅。燃料乙醇的推广使用有效减少了温室气体排放,1975—2000年燃料乙醇显著减少了由

于燃烧汽油生成的碳。据测算,仅2000年由于乙醇替代汽油,减少二氧化碳排放920万吨<sup>[4]</sup>。

总的来说,20世纪80年代国际油价低迷令其他国家更多地使用原油而忽略发展替代能源,巴西则充分发挥原材料甘蔗产量丰富、成本较低、有发展基础等综合优势,在燃料乙醇产业发展上抢得了先机,生物乙醇产量一度超过世界总产量的3/4。巴西乙醇汽车销售最高曾占据市场总额的90%以上。巴西生物能源产业产生了很大的经济和社会效益,建立了先发优势和核心竞争力。

### 3 调整期

从20世纪80年代末开始,巴西政府开始减少干预燃料乙醇行业,不再给生产和消费进行配额,停止对使用普通E95乙醇作为燃料的经济补助,致使乙醇产量在80年代末停止了增长势头,至90年代乙醇汽车的市场占有率几乎降为零。90年代末《国家乙醇计划》整体性支持减弱,长达近60年的糖与乙醇研究所也被取消。上述调整的一个重要原因是,90年代巴西国内政治和经济局势不稳定,政府背负高额外债,财政负担较重,面临极高的通货膨胀(1988年通货膨胀率超过1 000%,1993年超过2 000%),一方面为有效控制通货膨胀和降低政府开支,另一方面也无力大规模支持燃料乙醇产业的发展,由此停止支持乙醇项目并继续降低对乙醇生产的补贴。

1990年“海湾战争”后国际原油价格高涨,巴西政府也曾对乙醇项目高度关注和支持,1993年规定汽油掺加乙醇的比例为20%—25%,由此推动了甘蔗燃料乙醇的扩大生产和使用,1997年乙醇生产量达1 200万吨。到20世纪90年代中后期,随着国际

原油价格逐步回落低于10美元/桶,巴西乙醇产量再次逐步下降。但随后几年国际油价迅速飙升又推动了巴西乙醇生产。

### 4 成熟期

2002年后,国际原油价格飙升,灵活燃料汽车研制成功并进入市场,巴西生物能源产业生态系统发展进入成熟期,产业形态不断丰富,自组织能力不断增强。

产业政策体系日趋成熟:该阶段政策更多的是引导乙醇燃料行业逐渐向市场靠拢,而不像过去那样过多依赖政府补贴。政策涵盖燃料乙醇产业链多方面:原料生产上对能源作物种植者补贴,2010年6月政府在部分穷困地区按照5美元/吨的标准直接补贴种植规模达10 000吨的种户,以和发达地区平衡种植成本;2002年废除燃料乙醇行业价格控制;对乙醇混用比例要求从1977年的4.5%升至25%,实际在20%—25%之间,利用税收减免刺激燃料乙醇产业发展,如给予灵活燃料车辆、乙醇加油站税收优惠等;联邦11727法案对乙醇生产商和分销商给予税收优惠,规定两者税负之和不超过9.25%;为燃料乙醇生产商提供可再生能源基金和国家银行的信用支持,国家银行对部分企业进行投资支持;为保护国内燃料乙醇生产商对进口乙醇征收高达20%关税;为进一步巩固燃料乙醇研发领先优势,2005年巴西公布《生物能源政策指令2006—2011》,2006年公布《巴西农业能源计划》,巩固第一代生物燃料优势的同时加快发展第二代生物燃料技术。2011年乙醇供应压力增大,2011年4月采取一项临时措施将乙醇由一般农产品的衍生品升级为战略能源,乙醇控制权过渡到巴西国家石油局,该局将对市场上乙醇生产、库存、供求和进出口情况加以调控,同时将汽油添加乙醇的比例调整到



中国科学院

18%—25%之间,以减轻乙醇供应压力。

**关键种企业:**受金融危机影响,巴西很多中小型乙醇企业倒闭,乙醇行业大幅洗牌,据F.O. Licht不完全统计,巴西乙醇企业2009年就发生了60起重组交易,涉及100个甘蔗加工厂。2010年前5大乙醇生产企业市场占有率达27%,到2015年预计将达40%,巴西乙醇行业将从家族集团经营模式转变为跨国公司控股模式。巴西国家石油公司的乙醇产能已接近9亿升/年,计划与日本三井集团和巴西卡马戈科雷亚公司共同建设投资总额11亿美元长达542千米的乙醇运输管道系统,输送能力达1 290亿升/年,2010年时计划数年内投资35亿美元,到2014年将乙醇产能增加两倍,成为巴西乙醇主要出口企业。壳牌公司2010年融资120亿美元联手巴西糖业集团Cosan,成立全球最大燃料乙醇公司之一Raizen公司,成为巴西乙醇最大生产企业。法国贸易巨头路易达孚2009年收购巴西Santelisa公司一跃成为巴西第二大乙醇集团。

**成本优势明显:**巴西通过技术研发、提升原料成本优势、提高原料种植效率等多种方式有效地降低了乙醇生产成本,成为国际上将燃料乙醇生产成本降到汽油成本以下的唯一国家。由于乙醇销售过程中运输成本很高,2009年设计了总运力超过100亿升的运输乙醇专门管线,对降低乙醇销售价格起到重要作用。2008年巴西甘蔗乙醇生产成本仅为0.48美元/升,比美国玉米乙醇生产成本低一半以上,比欧盟小麦乙醇生产成本低了近1/3。2009年巴西国内乙醇价格0.83美元/升,远低于国内汽油价格1.3美元/升。

**资源的可持续性:**巴西拥有极为优越的土地条件,可耕地面积达3.4亿公顷,而1990年仅使用不到430万公顷土地用于种植生产燃料乙醇的甘蔗,在2010年时升至近920万公顷,约占全国已耕地面积的15%,其中2003年以来,种植面积年均增长9%,总面积增加了约400万公顷。巴西的甘蔗

产量在过去几十年中总体上一直处于增长状态,特别是近几年增长更为迅速(图2),2004—2009年增长了61.7%。根据美国农业部(USDA)有关预测数据,巴西在未来10年内将新开发1 000万公顷以上土地用于种植甘蔗,将其用于生产乙醇则可新增数千万吨乙醇。因此,巴西原料资源具有较大的潜力。

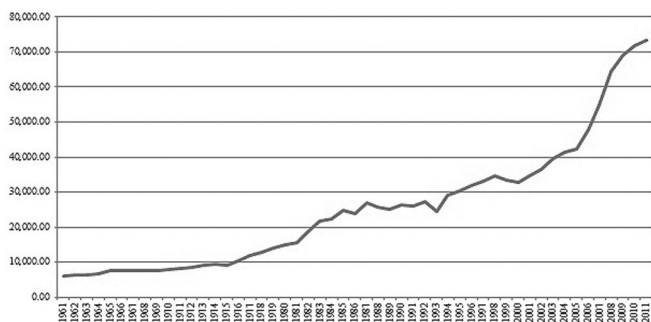


图2 巴西历年甘蔗生产总量变化情况(单位:万吨)(数据来源:FAO,2012)

**市场扶植效果:**经过近30年持续改进,巴西首辆灵活燃料汽车于2003年研制成功并投入生产,燃料乙醇汽车生产技术在整体上相当成熟,在动力、持续驾驶里程等方面的指标已和同类汽油燃料汽车基本持平。驾驶者可以自由选择添加燃料类型,可以是汽油、乙醇或两者混合物。灵活燃料车销售量从2003年近4万辆猛增到2009年224万余辆,2008年2月已超过500万辆,2011年达1 530万辆,占汽车销售份额的90%。在巴西,加油站不供应纯汽油,即便是“普通汽油”,里面也添加了5%的乙醇。巴西政府对乙醇生产和销售给予补贴,一般乙醇价格只有汽油的70%左右。此外,巴西国内有1万多架小型及农用飞机使用乙醇燃料。据统计,巴西乙醇市场平均月供应量约为14亿升,消费量超过全国汽车燃料总量的一半。

**技术开发不断深入:**首先,巴西非常重视研究培育甘蔗优良品种,目前甘蔗平均单产达78—85吨/公顷,甘蔗含糖率达14%—15.5%,均代表了国际最高水平。2000年至今,巴西甘蔗单产增长超过30%,甘蔗含糖量和乙醇产出率也同时提高(图



3)。从20世纪70年代以来,单产从最初34吨/公顷(2.27吨/亩)提高至2010年79.7吨/公顷(5.31吨/亩)。

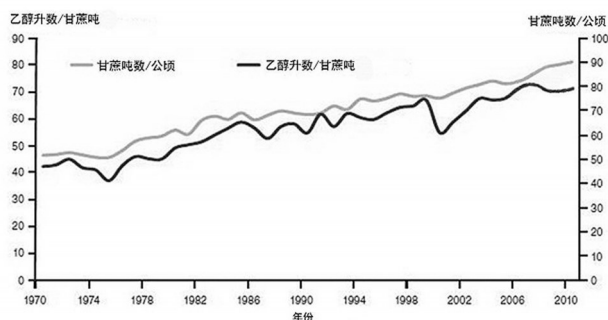


图3 巴西甘蔗产量和乙醇产出率变化情况(数据来源:USDA)

其次,国家大力支持并资助相关企业和科研机构开展相关研究。巴西石油公司、圣保罗州蔗糖技术中心等机构开展甘蔗的基因及萃取技术等研究,希望提高乙醇的生产效率。根据目前开展的研究,巴西未来甘蔗新品种在抗病虫害和抗旱方面有可能将有更出色的表现。巴西最大的甘蔗乙醇生产集团德蒂尼公司已掌握从植物纤维素中提取乙醇的技术,从2012年起生产纤维素乙醇,预计数年后日产纤维素乙醇可达5万升。巴西石油公司计划发展植物纤维素乙醇的商业化生产,其下属的研发企业已开展从秸秆、稻壳和甘蔗渣等农林业废弃物中提炼乙醇的相关研究工作。如能高效使用废弃的甘蔗渣,在维持现有甘蔗种植面积的同时,巴西乙醇产量有望提高约60%,这将确保巴西作为世界最大甘蔗乙醇生产和出口国的优势地位<sup>[5]</sup>。巴西鼓励国内外企业发展大型甘蔗联合收割机,如巴西Deer公司生产的甘蔗收获机可一次性完成剪头、去叶、收割、码垛等工序,一个小型设备可代替80个工人,一台大型收获机可替代400个工人。此外,发酵厂商积极提升乙醇生产管理,发酵效率从1977年的75%—78%提高至2008年的90%—92%,蒸馏工艺效率也从

1997年的95%提高至2008年的99%。新工艺使得每吨甘蔗生产的乙醇有望在当前90—100公升基础上再增加80%。

2010年巴西还出资建成全球第一座乙醇发电站并投入使用,为保持其在生物能源产业的竞争优势占据前沿位置,可谓是前瞻布局、用心良苦,全国各个层面共同致力于技术的不断进步,有效地巩固了巴西的乙醇工业。

产业生态化和资源节约化:

一方面,巴西在燃料乙醇产业布局上注意克服生物能源产业分散性带来的问题,将甘蔗种植、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。考虑到原料运输距离的重要性,不少乙醇企业都建在蔗田附近。巴西乙醇生产主要集中在中南部和东北部,其中中南部占总产量的80%—85%,形成了大规模乙醇产业集群,中南部地区人均收入水平较高且汽车工业较为发达,其中圣保罗、米纳斯吉拉斯和巴拉那州三个地区就占据了80%以上的生产厂家;另一方面,巴西在乙醇生产过程中注重降低能耗,蔗能利用率高达71%。乙醇生产企业为更好地降低成本,同时实现产业生态化,一般都采用蔗糖→乙醇→热电联产方式,蔗汁可用来生产蔗糖,蔗渣和蔗叶均被有效利用转化为机械能、热能和电能,这样一方面可以丰富自身的产品线增加收益,同时又可减少化石燃料的使用和二氧化碳的排放,这些生产企业基本上做到“吃干榨净”,在实现了能源自我供应的同时还向公用电网送电。

新兴用途拓展:利用甘蔗及乙醇为原料研制生产甘蔗基塑料,使其原料摆脱原油转向可再生的甘蔗原料。如巴西化学集团Braskem公司,2007年6月利用甘蔗生产的



中国科学院

乙醇生产出世界上第一款PE(聚乙烯)塑料,从而为工业市场开发出“绿色”塑料。位于Miami的实验室碳测试表明,这种新塑料含有100%可再生原材料。2008年3月,Braskem公司采用开发的生物基途径生产丁烯取得了第二次重要突破,从而可使用丁烯开发生产生物基LLDPE(线性低密度聚乙烯),并将从甘蔗生产的生物基乙烯HDPE推向市场。

国际合作:首先,巴西非常重视利用国际资本,支持国外企业对巴西燃料乙醇项目投资并购。来自美国、欧洲和日本等国家的不少大型粮食和能源企业、金融机构都参与了巴西甘蔗压榨厂投资,如国际四大粮商中的邦吉、达孚公司均通过收购不断扩大其在巴西的生意,日本三菱、三井等企业通过投资股权来间接与巴西企业合作,印度最大食糖企业之一SRS收购了巴西一家甘蔗压榨厂。国际石油巨头BP集团每年在巴西投资4亿美元用于乙醇研究,并计划在巴西开始生产纤维素乙醇。壳牌公司也联手巴西糖业集团Cosan成立了全球最大的燃料乙醇公司之一Raizen公司,其市值超过了100亿美元。据估计,巴西榨糖和乙醇行业中,外资投资比例从2007年7%迅速上升至2010年22%,乙醇中外企所占比重由2007年6%增至2010年10%左右。

其次,巴西乙醇出口总额曾长期领先(表1)。2008年前,巴西乙醇出口量一直是世界第一,曾达到全球乙醇出口总量的60%,主要向美国、欧盟和日本出口,出口金额达23.66亿美元,美国每年要从巴西进口逾10亿升乙醇。2009年后,因巴西国内乙醇需求增长、糖生产增加导致原料减少以及

美国和欧盟生产能力不断提高等诸多因素,巴西乙醇出口有所下降,从2008年的47亿升降至2009年的32亿升,近几年下降至20亿升以下,2011年由于气候变化导致甘蔗减产影响乙醇生产甚至进口了14亿多升乙醇以满足国内市场需求。

第三,非常重视开展生物能源产业的国际合作和协调。在巴西的倡议下,经中国、巴西、美国、欧盟、印度、南非(五国六方)的共同努力,2007年正式成立国际生物燃料论坛(The International Biofuel Forum),各国政府、生物燃料有关企业、科研机构以及有关部门可在该平台上沟通交流,对于防止贸易技术壁垒的产生、消除生物燃料生产国和进口国之间的分歧等方面起到了很好的协调作用。另外,巴西与美国合作设立美洲乙醇委员会,通过美洲开发银行、美洲机构等奖励在中美及加勒比海地区使用乙醇。

乙醇产业已成为巴西经济重要支柱产业,生物燃料产值已占全国GDP 8%左右,超过信息产业位居第一。巴西已建成从甘蔗种植→乙醇加工→专用汽车FFVs→国内市场→国际贸易的一套完善产业体系。巴西现有甘蔗厂总量超过400家,2010年甘蔗砍收量达7.3亿吨,占全球产量1/3以上,2010年产值超过330亿美元,约占巴西GDP的2.3%,约占农业总产值15%。2011年整个产业链为巴西创造直接就业岗位130万个,间接就业岗位则超过300万个。

通过巴西案例研究,我们发现,在生物能源产业生态系统的演化过程中,有几个因素起到非常重要的作用,主要包括:

(1)生物能源供给系统的稳定性,即资源禀赋

表1 巴西2006—2011年乙醇产量与进出口量统计表(单位:百万升)数据来源:UNICA

	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
产量	17 710	22 422	27 513	25 694	27 376	22 654
出口	3 692	3 625	4 723	3 166	1 906	1 892
进口	3.8	0.6	2.4	23	78	1 452

条件以及相关生产政策,如巴西具有丰富的生物质资源;联邦政府专门成立了多部门的生物质能源委员会;政府还为此专门出台国家发展战略,如1975年实施的《国家乙醇计划》是当时最大的化石燃料替代方案。

(2)生物能源消费的可持续性,即消费市场的拓展、能源消费政策的支持、环境的改善对于产业的发展和演化至关重要。如税收激励是巴西生物燃料乙醇发展的重要手段,主要包括给予灵活燃料车辆低于汽油燃料车辆的税收,以及给予乙醇加油站税收优惠。

(3)生物能源产业中关键种企业,其技术发展水平、创新能力、经营状况、创新投入与产出对于生物能源产业生态系统演化起

到非常重要的作用。

#### 参考文献

- 1 赵军. 生物能源产业生态系统的构建及其特征研究. 中国生物工程杂志, 2014, 34(7): 102-107.
- 2 曹俐, 吴方卫. 巴西支持生物燃料乙醇发展的经验借鉴. 经济纵横, 2011, (7): 100-102.
- 3 李冀新, 尹飞虎, 武冬梅等. 巴西生物能源考察报告. 新疆农垦科技, 2008, (1): 55-57.
- 4 夏芸, 徐萍, 江洪波等. 巴西生物燃料政策及对我国的启示. 生命科学, 2007, (5): 482-485.
- 5 钱维. 巴西将启动植物纤维素乙醇的商业化生产. 中国林业产业, 2008, (10): 69.
- 6 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 Bioenergy Industrial Ecosystem in Brazil

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. Brazil has become one of the biggest bioenergy manufacturers in the world, and thus it is very essential to know the evolution of its bioenergy industrial ecosystem. The paper discusses the evolution of Brazil's bioenergy industrial ecosystem and systematically analyzes all the policy changes along with their development trail.

**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



中国科学院