

## 巴西生物质能发展可持续性研究

张宇，杨松

**内容提要：**本文以巴西生物质能产业为例，从经济、社会、环境和技术四个维度对生物质能产业的可持续发展问题进行研究。研究表明，巴西生物质能产业存在显著资源禀赋优势，并未危及巴西粮食安全，巴西生物质能产业在经济和社会维度上的可持续性不存在显著障碍。然而，生物质能生产及其原料处理过程中存在大量污染，且能源作物种植面积扩大引起土地利用变化会造成严重的环境污染，因此，环境可持续性在未来最有可能限制巴西生物质能可持续发展的因素。生物质能技术分析表明，第二代和第三代生物质能技术相对于第一代生物质能技术而言，不会引发潜在的粮食安全问题，并且对于环境的污染较少。若巴西继续加大对第二代和第三代生物质能技术的研发投入，最终实现其商业化，则巴西生物质能产业将具有更好的可持续发展前景。本文最后结合中国国情，从资源禀赋、能源政策和技术成熟度的角度，给出了中国可持续发展生物质能产业的相关建议。

能源是国家战略性资源，在一国工业化和城市化进程中扮演着重要角色，世界各国在传统能源储量限制和能源需求不断增加的背景下都在加快实施能源多元化的战略。生物质能因其被视为“绿色能源”和“清洁能源”，逐渐成为各国以“减排”为目标的新能源政策的重要选项。生物质能消费量已经占到全球能源消费总量约15%，属世界第四大能源。传统上普遍认为，生物质能有助于保障传统能源进口市场的能源安全、减少温室气体排放以及促进农业发展。但近年有研究认为，生物质能生产的一定程度上扭曲了农产品价格，巴西的生物乙醇工业对亚马孙流域的生态环境造成了较为严重的破坏，全球性生物质能发展可能会诱发天然林采伐加剧，从而导致碳排放量增加。这些对生物质能发展的反思可归纳为两个问题：一是生物质能对粮食安全潜在的负面效应问题；二是生物质能可能诱发严重的环境污染问题。这提示各国在生物质能使用和推广中，要特别关注可持续发展问题。目前，中国还未形成统一的、全面的生物质能发展战略。已有文献表明发展生物质能亦会面临资源禀赋和外部环境等诸多约束。因此，研究世界主要生物质能生产大国的生物质能发展可持续性对于中国发展生物质能源有极大的借鉴意义。

作为最早开展生物质能研究的国家之一，巴西一次能源消费结构中可再生能源已经占到能源消费总量的44%，而全球平均水平仅为14%；其中，生物质能的比重已经超过40%，而全球仅为15.6%。通过发展生物质能，巴西已经取得了一系列的直接收益，包括确保能源安全、节约外汇储备、增加当地就业、减少城市污染以及二氧化碳排放；此外，还取得了间接收益，包括规模经济、技术进步、生产率提高和形成不需要补贴的产业竞争力。巴西生物质能发展领域的表现已经引起了众多学者的关注。

然而，2008年全球粮食危机以来，巴西生物质能遭到非政府组织、社会运动团体、技术官僚以及全球农业食品公司等社会各界的批评，认为生物质能产量的不断增加推高了巴西粮食价格，压缩了其他作物，特别是水稻等粮食作物的种植面积，可能严重威胁巴西粮食安全，加上其长期遭受诟病的环境污染问题，迫使巴西政府开始反思其生物能源政策。生物质能发展的可持续性在巴西遭受挑战。

既有研究一般从资源禀赋优势、粮食安全角度出发，对影响一国生物质能发展的内部因素和外部环境进行分析，但是未能深入系统分析影响一国生物质能可持续发展的多重维度因素。本文试图从经济、社会、环境和技术四个维度，分析生物质能发展在巴西的可持续性，并且考虑生物质能技术发展对巴西生物质能可持续性的影响，总结生物质能在巴西可持续发展中的潜力。在此基础上，结合中国国情，探讨中国可从巴西生物质能发展可持续性中得到的启示。

。

### 一、巴西发展生物质能的动因及条件

巴西是世界上最早进行生物质能研究、开发和产业化的国家之一，这是由其外部环境、自身有利条件和内部推动所决定的。

确保能源安全是巴西发展生物质能的最初动因。历史上巴西探明的石油储量很低并且自身开采技术落后，大规模的工业化使得石油需求量激增，因此石油不得不大量依赖进口。其进口石油量一度占巴西国内石油消费总量的90%，且占其进口商品总额的50%以上。两次石油危机引发的巴西国内经济恶性通货膨胀、贸易收支严重失衡和发展资金急剧短缺，促使巴西政府深刻反思自身经济的脆弱性，积极寻找替代能源。但随着巴西石油探明储量的增加（截至2014年年底，巴西石油探明储量为16.18亿加仑，比2013年增长3.7%，在南美地区位居第二位，仅次于委内瑞拉），巴西发展生物质能的动因也在发生变化。目前，发展清洁能源、减少政府部门的投资以及缩小贫富差距成为巴西发展生物质能的新动因。传统能源被认为造成了巨大的环境问题，而发展生物质能被认为有助于减少环境污染，因此，巴西致力于将作为清洁能源的生物质能打造成其国家名片。传统上，巴西政府在能源供给方面支出很大，形成了对医疗、教育和

住房等政府投资的挤出效应。在目前致力于减少政府赤字的大背景下，巴西政府期望通过发展生物质能最终减少政府对于能源供给的支出。巴西国内区域贫富差距特别是城市与农村的贫富差距较大，巴西政府希望借助于生物质能的发展，增加对粮食作物的需求量，提高粮食价格，最终提高就业率，增加农民收入，缩小贫富差距。

大量的农业用地和可耕地为巴西发展生物质能提供了稳定的原料来源。作为拉美面积最大和人口最多的国家，巴西农业用地和可耕地资源丰富。世界银行数据显示，2015年拉美农业用地为748.7万平方公里，其中巴西为282.6万平方公里，占比37.7%，位列拉美第一；同期拉美可耕地为1.75亿公顷，其中巴西为0.8亿公顷，占比45.7%，同样位列拉美第一位。并且，巴西还有很多退化的牧场和未开垦的土地，可以用来种植生产生物质能所必需的各种作物，比如甘蔗、玉米、甜菜和油棕等。

研究利用甘蔗等农作物来制造生物质能在巴西有很长的历史。早在20世纪初，巴西就已经开始研究将甘蔗乙醇作为燃料，该项研究由国家技术研究所（INT）主导，对巴西生物能源发展产生了深远的影响。1933年，巴西成立了糖和乙醇研究所（IAA）；1938年，巴西通过了第737号法律，强制要求所有石油中都要添加甘蔗乙醇。这些早期的措施为巴西后来大规模发展生物质能奠定了技术基础，为巴西在生物质能研究领域处于领先地位打下了基础。

## 二、巴西生物质能发展的可持续性分析

可持续发展是当今世界各国发展普遍追求的目标，也是评估产业发展潜力的核心指标。可持续发展要求各国在多个发展目标之间平衡取舍，其核心思想是人口、资源、环境和发展之间的相互协调。基于此，本部分从经济、社会、环境和技术四个维度分析巴西生物质能发展的可持续性。

### （一）巴西生物质能发展可持续性的经济维度分析

经济性是影响生物质能可持续发展的一个重要指标。学者从不同角度对生物质能的经济性做了分析，以此来判断其发展可持续性。有学者通过综合考虑粮食价格、投入资金和劳动成本三个因素来预测生物质能的经济潜力，认为生物质能的成本是随着时间推移而逐渐降低的；有学者认为决定生物质能整体成本高低的因素主要是原料，试图通过分析原料利用成本来判断生物质能发展的可持续性。本文通过市场可持续性、资源禀赋、价格竞争优势三个经济指标来分析巴西生物质能发展的经济可持续性。

市场可持续性衡量一个产业发展可持续性的最终目标和检验标准。只有市场供给和需求稳定发展，规模不断扩大，一个产业的可持续发展才能得到保证。从市场供给侧看，巴西是全球乙醇燃料第二大生产国和第一大出口国。2016年巴西共生产生物质能1855.2万吨油当量，占全球生物质能产量的比重为22.5%，仅次于美国（43.5%）。实际上，就生物质能而言，目前已经形成美国、巴西和欧盟三足鼎立的态势。巴西生物质能产量已经稳居全球第二（见图1）。美国和巴西是主要的燃料乙醇生产地区，而欧盟则是主要的生物柴油生产和消费地区。2018年巴西生物质发电装机容量有望从2013年的1151万千瓦上升到1710万千瓦，从而超越美国成为全球最大的生物能源市场。

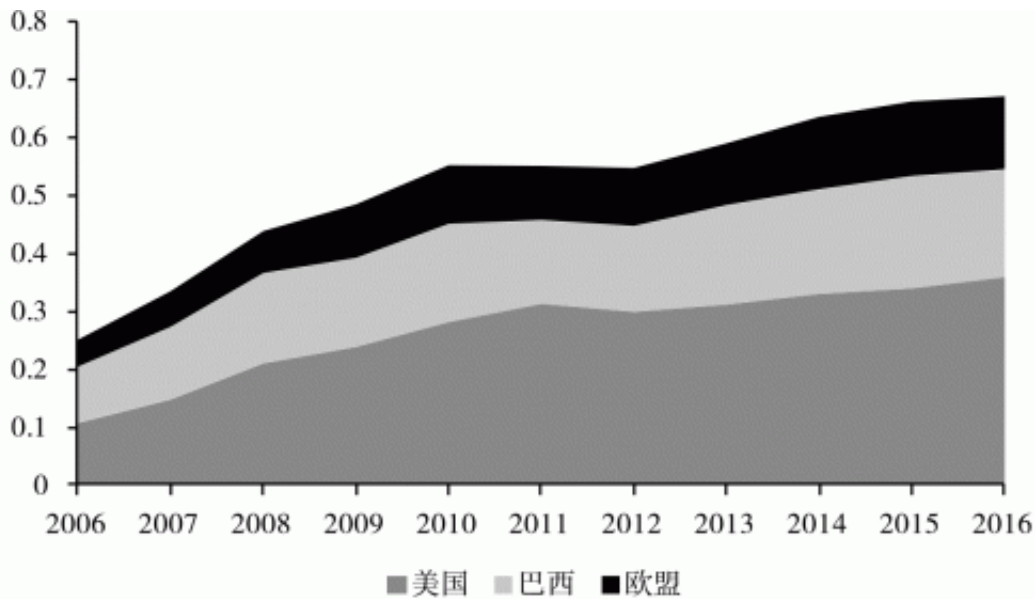


图1 2006—2016年美国、巴西和欧盟生物质能生产量（亿吨油当量）

BP, “BP Statistical Review of World Energy June 2017”. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [2018-03-06]

巴西生物质能产业已有相当规模，推动了政府和企业对产业技术研发的持续投资。生产技术的持续进步使得生物质能生产成本持续降低，巴西乙醇生产价格也在持续下降。20世纪80年代巴西独立研发出用甘蔗渣生产乙醇的Dedini快速水解法技术，可从每吨甘蔗渣中提取109升~180升乙醇，使每公顷甘蔗的乙醇产量由7740升提高到13800升，并使乙醇能源成本降幅达40%以上。随着乙醇生产技术进一步提升，1996年巴西的乙醇生产成本仅为1980年的2/3。进入21世纪，在国际市场原油价格持续上升的背景下，巴西乙醇燃料生产成本随着转换技术的提高从原来的每升0.6美元降至0.2美元。研究表明，2005年巴西乙醇的平均生产成本为0.23美元/升，在这一成本水平下，只要国际油价不低于36美元/桶，乙醇燃油就具有相对市场竞争优势。而当年国际原油价格为50.64美元/桶，并且此后持续走高，从未低于36美元。

从市场需求侧看，全球对包括生物质能在内的其他可再生能源的需求量持续增加。2000年全球其他可再生能源消费量仅为0.932亿吨油当量，但2016年这一数值已经增加到4.196亿吨油当量（见图2），表明全球对包括生物质能在内的其他可再生能源的接受度和需求均在稳步上升。随着国际市场能源价格的持续走高和各国国内原油资源日渐枯竭，生物质能产业的经济性和环保意义日渐显现，产业发展的内在动力不断增强。据估计，到2020年，全球乙醇燃料需求预计将翻倍至1.2亿~1.3亿吨左右。而2016年全球生物质能产量仅为0.823亿吨，表明全球生物质能仍处于供不应求的局面。作为全球生物质能出口量占全球出口量2/3的巴西，其生物质能仍具有强劲的外部需求。美国、中国、日本和欧盟都将成为巴西乙醇燃料的主要需求者，总计需求量将达到150亿升。

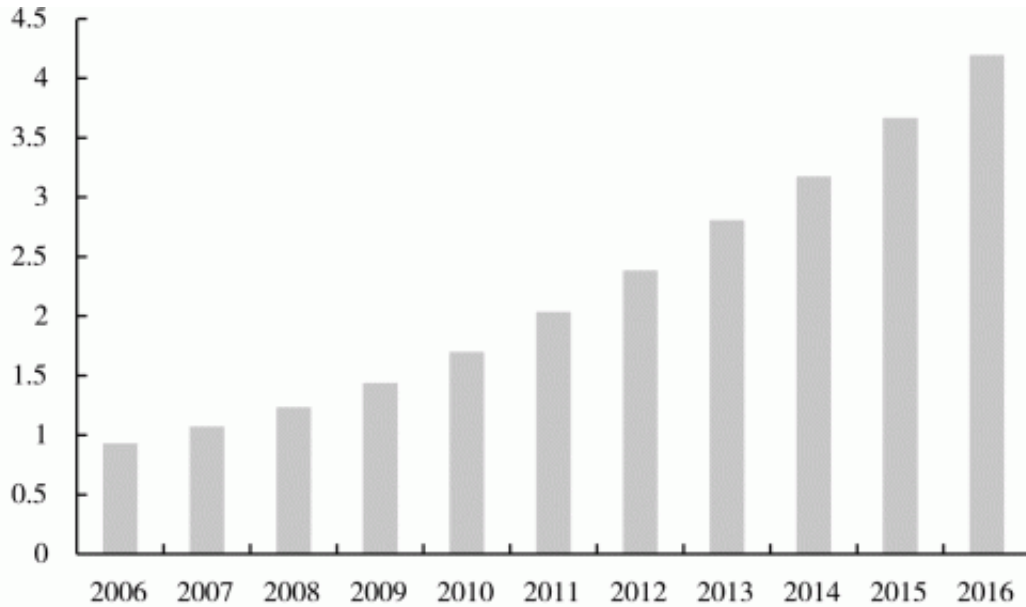


图2 2006—2016年全球其他可再生能源消费量 (亿吨油当量)

资料来源：BP, “BP Statistical Review of World Energy June 2017”. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [2018-03-06]

巴西国内市场对生物质能的需求也在不断增加。根据英国BP公司发布的报告，在整体消费量呈现递增的趋势下，巴西能源结构也正在发生着积极的变化，以生物质能为代表的其他可再生能源消费量显著增加（见图3）。数据显示，目前生物质能在全世界能源消费结构中的比重为15.6%，发达国家仅为6%，但巴西却已经超过40%，处于世界领先地位。目前巴西政府将商用汽油中乙醇含量要求从20%提高至25%。这意味着每年乙醇需求增加近20亿公升，进一步刺激了巴西对生物燃料乙醇的需求。

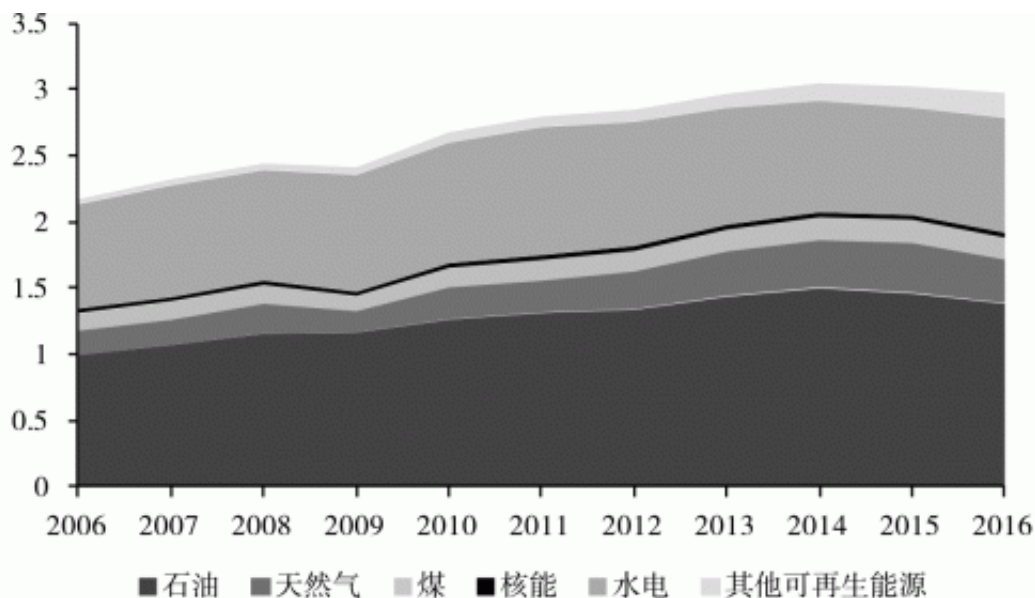


图3 2006—2016年巴西能源消费 (亿吨油当量)

资料来源：BP, “BP Statistical Review of World Energy June 2017”. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. [2018-03-06]

资源禀赋是生物质能原料选取的关键因素。在生物质能的生产中，原料成本占总成本的70%以上，选择什么样的原料决定了产业发展的方向和潜力。借鉴张锦华和吴方卫的研究，以单产比率和面积比率作为基本变量，构建效率优势

资源禀赋是生物质能原料选取的关键因素。在生物质能的生产中，原料成本占总成本的70%以上，选择什么样的原料决定了产业发展的方向和潜力。借鉴张锦华和吴方卫的研究，以单产比率和面积比率作为基本变量，构建效率优势

指数和规模优势指数（SAI），并在此基础上构建综合优势指数（AAI）。其中，效率优势指数（PAI）是指一国某种农作物单产水平与该国内同类作物平均单产水平的比值跟全球相应指标值的比率。规模优势指数则是指一国某种农作物播种面积占该国内同类作物播种面积的比值与全球相应指标值的比率。

考虑到 PAI 和 SAI 的相互制约性，即其中一个指数降低将会对整体水平有很大影响，因此通过构建综合优势指数（AAI）来反映两者之间的制约关系。AAI 综合了 PAI 和 SAI 指数的结果，能更为全面地反映一国某种作物生产的比较优势度。AAI 是 PAI 和 SAI 指数的几何平均值，即  $AAI_{ij} = \sqrt{PAI_{ij} \times SAI_{ij}}$ 。

从定义可知， $PAI_{ij} > 1$  意味着 i 国第 j 种农作物相对于世界平均水平具有效率优势， $PAI_{ij} < 1$  则表明 i 国第 j 种农作物处于效率劣势。 $PAI_{ij}$  值越大，优势越明显，反之则劣势越明显。同理， $SAI_{ij} > 1$  意味着 i 国第 j 种农作物相对于世界平均水平具有规模优势， $SAI_{ij} < 1$  则表明 i 国第 j 种农作物处于规模劣势。 $AAI_{ij} > 1$  意味着 i 国第 j 种农作物相对于世界平均水平具有综合比较优势， $AAI_{ij} < 1$  则表明 i 国第 j 种农作物生产无优势可言。 $AAI_{ij}$  值越大，比较优势越明显。根据公式，下面将依据计算结果进行比较分析（见表 1）。

**表 1 世界主要生物质能生产国（地区）的资源禀赋状况（2016 年）**

农作物	计算指标	国家或地区			
		巴西	美国	中国	欧盟
玉米	PAI	0.73	1.62	0.99	1.01
	SAI	1.27	1.53	1.39	0.51
	AAI	0.96	1.57	1.17	0.72
甘蔗	PAI	1.03	0.96	0.98	1.00
	SAI	6.07	0.11	0.42	0.00
	AAI	2.50	0.33	0.64	0.00
小麦	PAI	0.89	0.87	1.49	1.01
	SAI	0.16	0.66	0.74	1.54
	AAI	0.37	0.76	1.05	1.25

注：0 表示不足 1%。

资料来源：作者根据联合国粮农组织统计核心数据计算。http://www.fao.org/faostat/en/#home.

[2018-03-06]

与其他国家不同，巴西选择甘蔗作为生产生物质能的主要原料。由于气候适宜，甘蔗在巴西境内全年可种植。巴西是世界上甘蔗种植面积和产量最大的国家。根据联合国粮农组织数据库（FAOSTAT）数据统计，2016 年巴西共收获甘蔗 1022.6 万公顷，年产量高达 7.687 亿吨，两项数据分别占到全球的 38.2% 和 40.7%。表 1 显示，相比于玉米和小麦，巴西的甘蔗虽然效率优势并不是很明显（PAI 值为 1.03），但却具有明显的规模优势（SAI 值为 6.07），因此综合来看，其综合比较优势明显（AAI 值 2.50），所以巴西生物质能的主要原料甘蔗具有明显的比较优势。

比较价格优势是产品竞争中的主体参量。由于乙醇基本上是蔗糖生产的联产品，并且巴西基本只发展甘蔗乙醇，因此资源禀赋上的优势使得巴西生物质能具有显著价格优势。2008 年巴西乙醇生产成本为 0.48 美元/升，比美国玉米乙醇生产成本低近 58%，比欧盟小麦乙醇生产成本低 30%，比欧盟甜菜乙醇生产成本低 28%。巴西乙醇的低廉价格也使其

在国际市场上广受欢迎，目前巴西乙醇出口量已经占到全球出口总量的50%。低廉的价格使得美国等主要乙醇生产国不得不借助于对进口巴西乙醇征收特别关税来保护本国的乙醇产业。美国的乙醇进口关税为2.5%，但对从巴西进口的每加仑乙醇加征54美分。

以上对巴西生物质能发展可持续性的经济维度分析表明，巴西生物质能市场可持续性较好，供需规模同步持续增长为巴西生物质能的可持续发展奠定了重要基础；并且巴西以甘蔗作为生物质能原料具有明显的资源禀赋优势；此外，和其他生物质能利用大国相比，巴西生物质能具有显著的比较价格优势。因此，从经济维度分析，巴西生物质能的可持续性较强。

## （二）巴西生物质能发展可持续性的社会维度分析

满足生物质能可持续发展的社会性要求是衡量生物质能发展可持续性的重要维度。生物质能原料或是直接来源于粮食，如玉米、小麦等，或是原本可种粮食的土地改种甘蔗、甜菜等。在生物质能发展过程中，出现了与其原料来源紧密相关的三个粮食安全问题：“与人争粮”“与粮争田”和粮食贸易安全。根据联合国粮农组织粮食安全委员会1983年提出的定义，粮食安全是指“确保所有人在任何时候既能买到又能买得起他们所需要的基本食品”。这一定义表明粮食安全要求粮食的充足供应和粮食价格的合理性。因此，本部分通过分析巴西人均粮食占有量、巴西生物质能是否出现“与粮争田”、巴西主要粮食与生物质能产量的关系来研究生物质能的发展是否影响了巴西的粮食安全。

人均粮食占有量是指在一个粮食生产年度内，一个国家粮食总供给量与该国内同一时期内总人数的比例。人均粮食占有量可以在较高程度上反映一个国家的粮食安全状况。显然，人均粮食占有量与粮食安全水平的高低成正比。从整体趋势上来看，巴西人均粮食占有量尽管表现出一定的波动，但整体上呈增加趋势（见图4）。这表明，生物质能产量的增加并没有减少巴西人均粮食占有量，巴西国内没有出现与人争粮和粮食安全问题。但是生物质能产量的增加是否可能导致世界范围内的与人争粮和粮食安全问题（即作为主要粮食出口国之一的巴西粮食出口减少或无增长，从而使得国际市场上粮食供给趋紧，出现生物质能与人争粮现象。这种问题无关巴西国内粮食安全状况，而是具有外部效应），有待进一步研究。

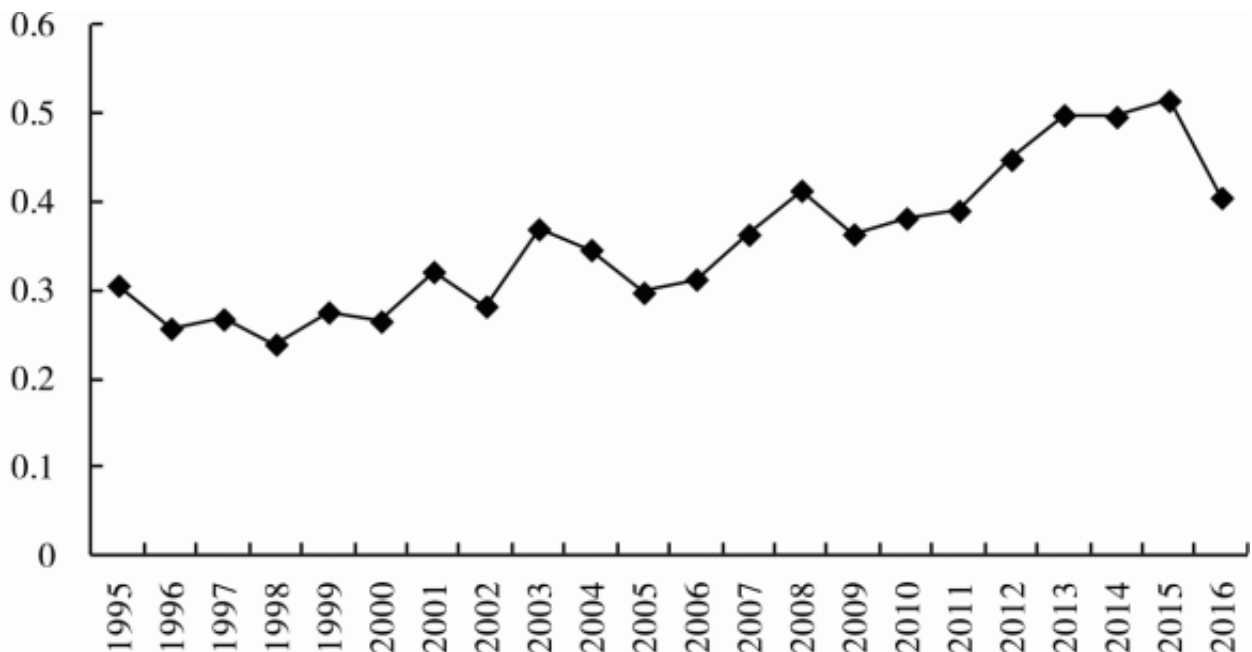


图4 1995—2016年巴西人均粮食占有量（吨/人）

资料来源：世界银行数据库。https://data.worldbank.org/. [2018-03-06]

从粮食的充足供应角度来看，由于政府的大力支持和推广，巴西甘蔗种植面积呈现明显扩张势头。作为世界第一大甘蔗生产国，巴西甘蔗产量的一半以上都用于生产乙醇，并且根据印度糖业协会数据，近年来巴西糖的产量并没有显著增长，反而是在近6年（2011—2016年）中有4年出现下降。考虑到巴西甘蔗的主要用途是制糖和产生生物质能，因此可以通过甘蔗以及主要粮食作物的收获面积来窥探生物质能产量增加是否出现了“与粮争田”。2001年巴西甘蔗收获面积为480.45万公顷，2016年扩大到1022.62万公顷，年均增加5.17%。但同期其他粮食作物除了水稻收获面积持续下

降外，玉米和小麦的收获面积也没有下降，反而整体略有上升。并且从整体上看，巴西谷类产量处于增长趋势（见图5）。结果表明，尽管甘蔗对水稻种植形成了一定的土地替代效应，但并未形成显著的“与粮争田”效应。

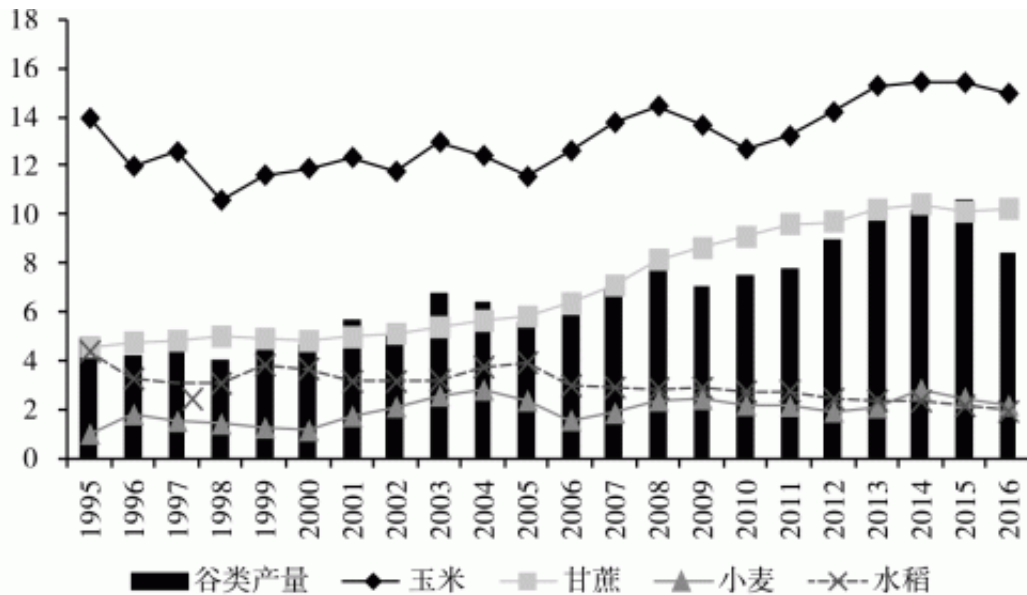


图5 1995—2016年巴西蔗糖、主要粮食作物收获面积（百万公顷）和谷类产量（千万吨）

资料来源：联合国粮农组织。http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC. [2018-03-06]

从生物质能的产量与主要粮食作物（玉米和小麦）的关系看，生物质能的生产消耗了大量粮食，被认为进一步推高了国际粮价。2008年全球粮食危机使得众多学者开始关注粮食价格与生物质能生产的关系。有学者认为生物质能生产是否影响食品价格与农产品产量密切相关。在农业高产的年份，生物燃料生产对原料需求的增加对食品价格没有较大影响；但在农业产量低的年份，生物燃料生产使得粮食价格上涨的可能性很大。2015年的一项计量分析检验了生物燃料价格生产对巴西和美国食品价格的影响，其分析结果显示生物燃料生产的增长对食品价格产生了重大影响。该研究估计，在1995年1月至2013年12月期间，生物燃料产量每增加1倍将导致食品价格上涨21.9%。我们考察发现，2006—2011年期间小麦和大米的价格和生物质能的产量都在增加；2011—2016年期间玉米和小麦价格持续下滑（除了2016年的玉米价格），但巴西生物质能产量仍在持续增加（见图6）。直观上看，生物质能产量对巴西粮食价格并没有显著影响，生物质能对粮食的需求并不是粮食价格的决定性因素。进一步的计量分析也表明，生物质能产量对玉米和小麦的价格均不存在显著影响。2006—2011年期间粮食价格和生物质能产量同步增长的潜在原因可能是由于巴西经济处于快速增长时期，存在一定的通货膨胀，推高了粮食价格，因而刚好和生物质能产量增长处于同周期，但二者之间并不必然存在因果联系。

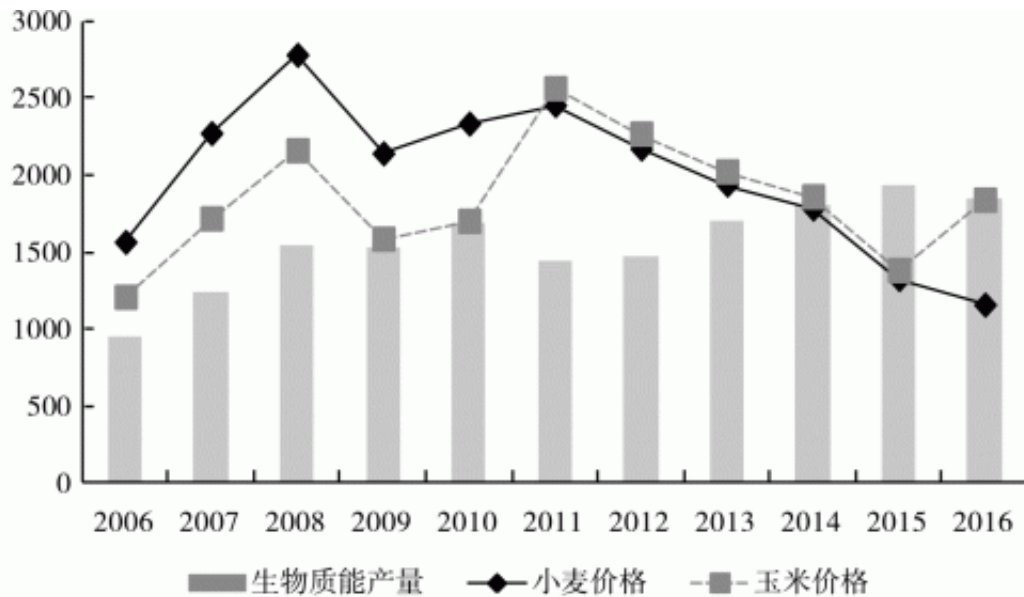


图6 2006—2016年巴西玉米和小麦价格（美元/吨）、生物质能产量（万吨油当量）

资料来源：价格数据来源于联合国粮农组织。http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC。[2018-03-06]；生物质能产量来源于BP：“BP Statistical Review of World Energy June 2017”。https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html。[2018-03-06]

以上对巴西生物质能发展可持续性的社会维度分析表明，尽管存在一定争议，但巴西生物质能生产并未显著影响巴西人均粮食占有量，生物质能原料甘蔗的生产亦未出现显著的“与粮争田”效应，并且巴西粮食价格也未受到显著影响。因此，目前为止巴西生物质能生产没有威胁到该国的粮食安全。从社会发展可持续性看，巴西生物质能并未遇到明显障碍。

### （三）巴西生物质能发展可持续性的环境维度分析

环境的可持续性一直是衡量产业可持续发展的重要内容。生物质能最初也正是因其被认为是“绿色能源”和“清洁能源”，而在各国政府以“减排”为目标的能源政策下快速发展起来的。有学者基于生命周期评价法（LCA），即通过对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和测量来定量评价生物质能减少的温室气体排放量，发现生物质能确实能够减少二氧化碳排放量。以巴西生物质能发展为例，从温室气体排放量看，巴西二氧化碳排放量大幅低于人均收入水平相当的中国（见图7）。不过研究二氧化碳排放量影响因素的文献表明，二氧化碳的排放量可能与人均GDP和地区纬度密切相关，故还需排除其潜在的影响。由于巴西大部分地区属于热带雨林气候，人均取暖能源消耗可能低于更高纬度的其他气候类型的国家。故本文选取了与巴西纬度相近且气候类型相同的新加坡、古巴和玻利维亚。为了剔除收入差异的潜在影响，本文没有选用人均二氧化碳排放量，而是选用碳排放强度（人均二氧化碳排放量/人均GDP）来衡量生物质能生产对巴西二氧化碳排放量的影响。研究发现2003年以后巴西和新加坡碳排放强度相差不大，但仍显著低于古巴和玻利维亚（见图7）。考虑到巴西与新加坡在发达程度和技术水平上的差异，我们可以认为与部分专家学者利用生命周期评价法得出的结论相同，即生物质能减少了巴西二氧化碳排放量。



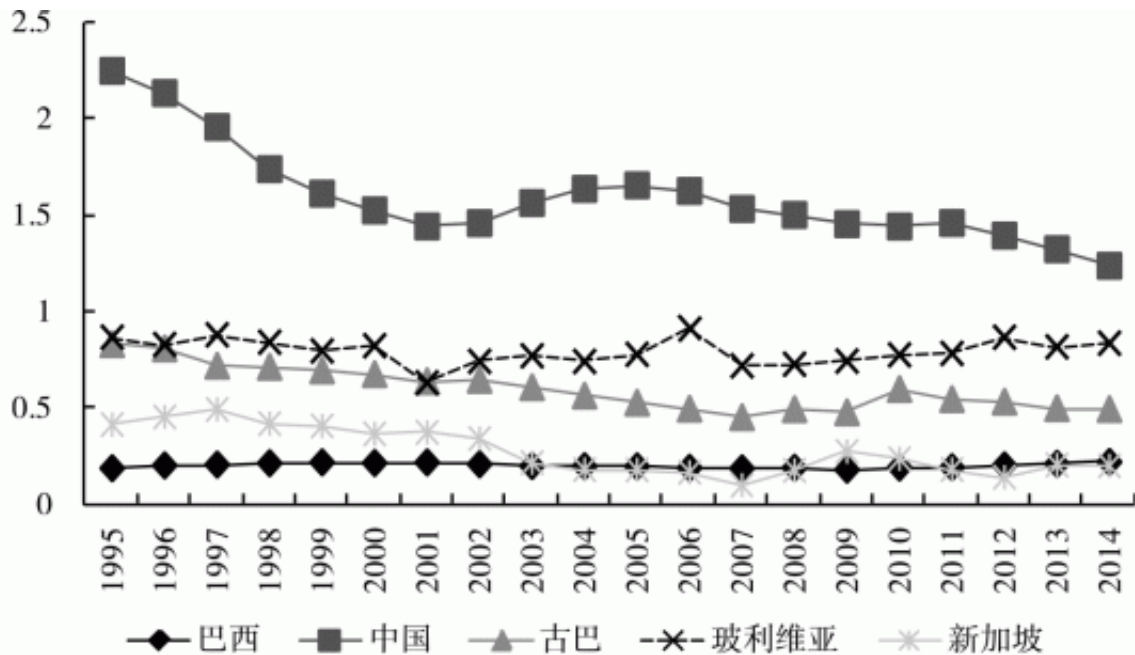


图7 1995—2014年巴西与同纬度国家、中国人均碳排放强度 (千克/美元)

注：以2010年为基期不变美元计价。

资料来源：世界银行数据库。http://databank.worldbank.org/data/home.aspx. [2018-03-06]

但从温室气体排放源看，与中国、新加坡等国温室气体主要来源于能源活动不同，巴西温室气体排放主要来源于土地利用变化和林业。研究表明巴西土地利用变化和林业占温室气体排放的76.9%，相比之下能源活动只占其排放的15%。特殊的碳排放源结构也影响到巴西的气候谈判立场及其相关政策。生物质能的发展降低了巴西人均碳排放以及单位GDP碳排放水平，使得巴西气候谈判的立场与其他发展中国家，比如同为“基础四国”（BASIC）的南非、印度和中国有所不同。在巴黎气候变化大会中，四国都强调发展中国家与发达国家“共同但有区别”的责任，要求发达国家率先减排，并希望获得发达国家的技术和资金支持等。但相对于其他发展中大国，作为首个承诺减少温室气体排放的发展中国家，巴西制定了高于一般国家的减排标准，其设定的目标是在2005年的基础上，到2025年碳排放总量减少37%，减排目标甚至远高于美国（到2025年减排26%~28%）。

巴西之所以在气候变化问题上选择了更为积极的立场和政策，有如下两方面原因。一方面，以生物质能为代表的可再生能源在巴西的能源结构中占比很大且仍具有较大的发展潜力，使得巴西政府相信减排目标与经济发展不存在较大冲突；另一方面，巴西政府希望通过充分参与气候问题谈判并做出积极表态，充当发达国家和发展中国家之间协调者的角色，获得双方对其谈判“引领”角色的认可。在巴西综合国力仍相对较弱的背景下，巴西期待通过选择性地参与全球性事务，能够获得国际社会更多的关注，为其成为联合国安理会常任理事国争取更多的支持。此外，由于国际社会减排行动的升级以及可再生能源的环保属性，预期全球对开发利用生物质能的需求将大幅增加。巴西积极推动全球气候变化谈判的目标之一应是扩大巴西极具竞争力的乙醇等生物质能的出口，进一步确立并巩固巴西在生物质能发展中的地位。

但最近很多量化研究表明生物质能对巴西环境的正面影响可能远不如最初估计的那么大。首先，生物质能及其原料生产过程中存在大量污染。作为生物质能的主要原料，甘蔗在生产过程中频繁使用大量农用机器设备，加上甘蔗收割过后土地闲置，土壤裸露时间较长，会导致土壤板结，水土流失加重。裸露的土壤丧失了原有植被的固碳能力，容易激起扬尘，加重了空气中固体颗粒物的数量，从而也会加重污染。如多伯曼的研究也认为，甘蔗的种植会降低土壤对侵蚀和结构退化的抵抗力，降低甘蔗乙醇生产的经济和环境可持续性。此外，甘蔗收割时焚烧不需要的茎叶也会造成巨大的污染。如2006年在圣保罗州，大约250万公顷甘蔗种植区有焚烧环节，约占甘蔗种植面积的70%。如果按同样的焚烧比重来算的话，那么巴西种植甘蔗带来的焚烧面积大约为490万公顷。此外，甘蔗种植和乙醇生产过程中的水污染也不可忽视：无论是加工甘蔗过程中清洗甘蔗的环节，还是生产蒸馏过程中产生的酒糟排放环节，都会造成水污染。

其次，甘蔗种植面积的持续扩大带来的土地利用变化被认为会造成更大的二氧化碳排放。2008年2月国际权威杂志

《科学》(Science)载文指出,生物质能快速的发展导致对农业用地需求量的增加,更多的土地被用于种植能源作物后,新的土地可能会被翻掘、耕种,挤掉现有作物,从而导致大量的二氧化碳排放。土地利用带来的碳排放量增加主要源于三个方面:(1)原有地上和地下的生物质在燃烧或者分解腐烂的过程中释放出来的二氧化碳;(2)在达到新的生态系统平衡之前不断释放的土壤碳,其要到达新的平衡可能需要20年甚至更长的时间;(3)因土地利用方式改变而丧失的原有植被下的碳封存量。可见,发展生物质能总的碳排放量除了基于生命周期评价法计算的生产生物质能过程中带来的直接碳排放量外,还应包括能源作物带来的土地利用变化导致的碳排放量。有关燃料乙醇和生物柴油生产带来的土地利用变化的碳排放效应的研究表明,燃料乙醇带来的碳排放量为34~56克/兆焦耳,生物柴油碳排放量为39~76克/兆焦耳。由于巴西主要生产燃料乙醇,因此若按燃料乙醇带来的年平均碳排放量(45克/兆焦耳),那么仅按2010年生物质发电量280亿千瓦计算,仅此一项造成的碳排放年增加量就将约为4.56亿吨。

最后,巴西不同土地类型种植能源作物造成的二氧化碳排放量也值得特别关注。为了满足生产乙醇等生物质燃料的需要,大量土地用途的改变可能导致大面积的森林砍伐,森林的减少使其吸收二氧化碳的能力降低,这与试图通过使用乙醇燃料来减少二氧化碳排放的初衷背道而驰。有研究发现,砍伐森林而种植作物带来的碳排放最高,如巴西的热带雨林如果被开垦用来种植甘蔗和大豆,其二氧化碳排放量分别可达248克/兆焦耳和616克/兆焦耳。有学者利用CENTURY模型模拟巴西热带森林变为甘蔗地后的碳排放效应,发现在最初耕种的12年中,土壤有机碳储量下降了28%,耕作50年后下降42%。同等面积的森林所减少的碳排放量将比使用生物燃料所避免的排放量多2~9倍。考虑到这个机会成本,生物质能的排放成本超过化石燃料的排放成本。很多研究结果表明,相对于土地利用变化带来的碳排放量,生物质能与化石燃料相比减少的碳排放量微不足道,可能需要几十甚至上百年的时间才能实现碳平衡,这也就是常说的“碳回收期”。有研究甚至表明,到2020年,巴西由于甘蔗和大豆种植面积扩大而造成森林砍伐所增加的二氧化碳排放量需要250年才能通过生物燃料替代化石燃料来弥补,即碳回收期高达250年。

目前,巴西的森林面积仍在不断减小。2000年巴西森林面积为5.25亿公顷,而2015年下降到4.94亿公顷(见图8)。若按每公顷森林每天吸收二氧化碳1吨计算,森林面积减少使其二氧化碳吸收量减少101.24亿吨,相当于一年内38.9亿人次的二氧化碳排放量(以2016年巴西人均二氧化碳排放量2.6吨计算)。按照目前巴西生物质能的发展速度,在单产面积没有显著增加的情形下,未来甘蔗种植面积预期将继续扩张,由此引起的土地利用变更和森林砍伐还有可能加剧。

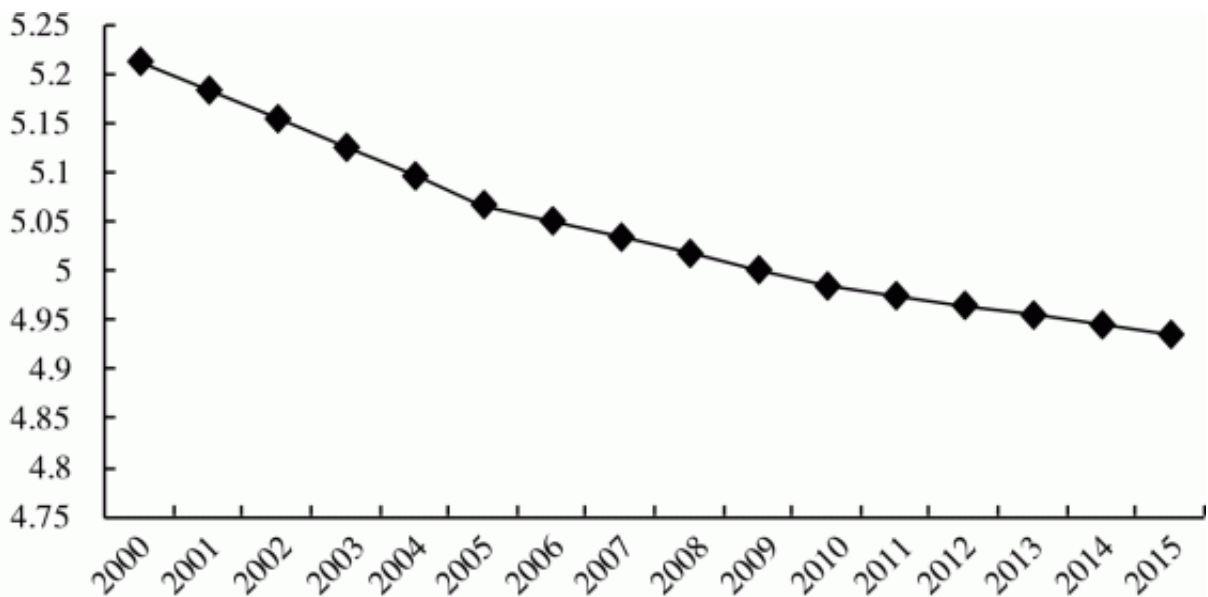


图8 2000—2015年巴西森林面积(亿公顷)

注:以2010年为基期不变美元计价。

资料来源:联合国粮农组织。http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC。[2018-03-06]

除此之外,生物质能原料生产链中的氮氧化物排放、农业用地的过分使用、野生动物的消亡以及水资源的大量使用都是巴西发展生物质能不可忽视的问题。正是由于生物质能生产会造成直接或间接的环境破坏,因此学术界对于生物燃料是否真正有利于减排仍存在广泛争议。

以上巴西生物质能发展可持续性的环境维度分析表明，生物质能不仅在生产过程中存在明显的环境污染，更为重要的是生物质能原料——甘蔗生产造成的土地利用变化和森林面积减少所引发的碳排放效应、土壤结构退化等问题严重阻碍了生物质能发展的可持续性。

#### （四）巴西生物质能发展可持续性的技术维度分析

当前生物质能技术的发展主要经历了三代。第一代生物质能主要是以粮食作物如玉米、小麦和大豆以及非粮食作物甘蔗、甜菜和菜籽等作为原料。这些原料在生产过程中不可避免地需要大规模地扩大种植面积、与粮争地，可能引发粮食安全问题。第二代生物质能是以秸秆、草和木材等农林废弃物为主要原料，通过纤维素乙醇技术、合成生物燃油技术、生物氢技术和生物二甲醚技术等合成生物质燃料，其中纤维素乙醇和合成生物燃油是最为重要的第二代生物燃料产品。但由于其技术成熟度不够、生产成本过高，目前第二代生物质能还处于实验室阶段，真正进入商业化阶段的项目极少。第三代生物质能则是以微藻为原料，故也被称为微藻燃料。微藻作物可用在海洋或废水中养殖，不会污染淡水资源，对环境污染很小。微藻作物可以生产生物柴油、生物乙醇、生物植物油、生物氢等生物燃料。

与第一代生物质能相比，第二代和第三代生物质能不仅不会造成与粮争地、引发潜在的粮食安全问题，而且第二代和第三代生物质能对环境的污染较小，以秸秆、草等为原料甚至可以变废为宝，有助于克服第一代生物质能生产造成的环境污染问题。因此，开发非粮燃料（第二代和第三代生物燃料）、实现原料多元化是发展生物质能的长久之路，也有助于解决生物质能的可持续发展问题。不过目前由于第二代生物质能用于分解纤维素的酶成本过高，而第三代生物质能即从海藻中提炼生物质能的研究还处于实验室阶段，油脂提炼难度极大，距离实现商业化还有很长的距离。

以上分析主要从经济、社会、环境和技术四个维度讨论了巴西生物质能发展的可持续性。从经济维度看，无论市场需求还是市场供给都表明巴西生物质能发展可持续性较好，而在资源禀赋上巴西亦有显著竞争优势。从社会维度看，巴西生物质能的发展并未威胁到巴西的粮食安全，表明社会维度并不是巴西生物质能发展的障碍。从环境维度看，生物质能的生产过程中有明显污染，而且生物质能主要原料甘蔗生产造成的土地利用变化和森林面积减少所引发的碳排放效应、土壤结构退化等会造成巨大的环境污染，对生物质能的可持续发展造成重大威胁。可持续发展要求在多种目标之间做出取舍，致力于将生物质能打造成“清洁能源”和“绿色能源”的巴西不应也无法忽视生物质能的环境污染问题。可以说，巴西生物质能未来的可持续发展取决于巴西能否解决好生物质能的环境污染问题。对于生物质能技术的分析表明，相对于第一代生物质能技术，第二代和第三代生物质能技术不仅可以变废为宝，而且对于环境的污染较少。但由于技术成熟度和成本等问题，短期内第二代和第三代生物质能技术还不能完全取代第一代生物质能技术。若未来巴西政府能持续加大对第二代和第三代生物质能的研发投入，最终实现第二代和第三代生物质能的商业化，则生物质能可持续发展的最大障碍——环境污染问题就能够得到很好解决，最终实现生物质能的可持续发展。

### 三、对中国的启示和建议

面对能源日益短缺的现状，大力发展以生物质能为代表的可再生能源成为中国调整能源战略的重要方向。借鉴巴西等国的生物质能开发经验对于中国制定正确的能源多元化与生物质能发展战略意义重大。但是，中国与巴西在生物质能发展领域国情差异巨大，因此本部分先简要比较两国在生物质能发展领域的主要差异，然后结合中国国情，给出巴西生物质能对中国的启示和建议。

#### （一）中巴两国生物质能发展差异

目前中国和巴西都将大力发展生物质能作为调整能源战略的重要选项，但两国在生物质能开发领域的差异较大，主要体现在资源禀赋、能源政策、技术成熟度三方面。

1.资源禀赋差异。正如上文分析，由于地域辽阔、雨水充足，巴西甘蔗全年可种植并且种植面积持续扩大，使得巴西生产生物质能具有显著的资源禀赋优势。而中国发展生物质能的资源禀赋优势不容乐观。表1表明，目前中国在主要的生物质能原料如玉米、小麦和甘蔗的生产上均不具有显著的资源禀赋优势，使得中国在发展生物质能的原料选择上相当有限，生产出来的产品也不具有竞争优势。考虑到中国的粮食安全问题，发展以农作物剩余（主要是农作物秸秆）作为主要原料的生物质能具有较大的可行性。数据表明，中国是世界上秸秆资源最为丰富的国家之一，每年可生产数十亿吨农作物秸秆。而据估测，秸秆热值约为15000千焦/千克，相当于标煤的50%，即每2吨秸秆的热量值相当于1吨标准煤热量。秸秆发电是将秸秆原料送入蒸汽锅炉中，用产生的蒸汽驱动蒸汽轮机，带动发电机发电，这被认为是生物质能利用中最具开发潜力和利用规模的形式。并且，秸秆具有含硫量低等优点，其含硫量仅为0.38%，远低于煤的平均含硫量1.0%。秸秆处理是当前中国农业与环境面临的重大挑战。若能大力发展秸秆发电技术，无论是对于解决中国秸秆处理引发的环境问题还是对生物质能产业的发展都有重大的益处。尽管目前秸秆发电技术还处于起步阶段，但却是具有广阔前景的朝阳产业。

2.能源政策差异。在法律法规上,巴西是国际上首个立法推行生物能源的国家,并强制实施生物能源计。巴西明确规定了生物质能在汽油和柴油中的掺混比例,早在1931年巴西政府就颁布法令,规定在汽油中必须添加5%的无水乙醇。而中国尽管也颁布了《中华人民共和国节约能源法》《中华人民共和国可再生能源法》等法律法规,但在立法时间上远落后于巴西,并且这些法律法规一般是针对所有可再生能源的共性,真正针对生物质能的较少;法规内容太过笼统,缺乏具体实施细则,并且多为鼓励性质,缺乏法律强制性。在发展规划上,巴西政府制定了详尽的政策目标,先后制定了《生物能源计划》《国家乙醇计划》《国家生物柴油生产和使用计划》等来规范和推广生物质能的使用。这些政策不仅以法律形式确定了可再生能源在国家能源消费中的份额,还提出发展生物质能用于取暖、发电、交通等商业化领域,以实现规模化利用生物质能。而中国仅通过了强制性较弱的发展规划,内容比较空泛且缺乏具体细则,并且同一时间内规划的目标低于巴西。在经济政策刺激方面,两国都将政府补贴和税收减免作为发展新能源的主要经济刺激政策,但相对而言,中国的财税政策缺乏强制性保障,减退税额度设置缺乏系统性和明确性,并且目前还缺乏像巴西那样完善的针对生物质能的信贷优惠政策。

3.技术成熟度差异。作为世界上唯一一个大量利用可再生能源来满足能源需求的发展中国家,巴西利用淀粉和糖类生产乙醇的技术在世界上已经到达顶尖水平。除此之外,巴西还利用蔗渣、草类等纤维素生物质来生产乙醇(即第二代生物乙醇)。经过多年的创新研究和技术积累,巴西生物乙醇的加工和提纯技术已经名列前茅。而由于起步较晚,目前中国以粮食为原料的燃料乙醇还处于推广使用阶段,以动植物废油为原料的生物柴油处于试点示范阶段,而以纤维素生物质燃料乙醇和以油料植物为原料的生物柴油还处于技术研发阶段。可见,整体而言中国在生物质能技术水平上与巴西有明显差距。

## (二) 巴西生物质能发展对中国的启示

巴西生物质能发展对中国的启示主要有如下三方面。

1.生物质能发展的推进速度要考虑到可持续性。目前很多国家在调整本国能源发展战略时,都将大力发展生物质能放在优先的位置。中国可以有效借鉴巴西及欧美等国家的经验,在发展生物质能过程中应基于可持续性目标对该产业的约束条件进行战略高度的考量,据以制定有利于长远发展的产业政策。这些约束条件主要包括粮食安全、能源安全、环境污染、生态平衡、技术水平等。与欧美等能源消费大国和巴西等农产品生产大国相比,中国在发展生物能源时,既没有足够充裕的原料储备,在技术成熟度方面又存在一定差距,并且生态平衡仅能艰难维系。因此,在发展生物质能过程中,我们必须充分考虑到这些约束条件,在此基础上推进生物质能的有序、可持续发展。比起巴西,中国的可耕地资源更为紧张,在发展生物质能的过程中更要避免出现“与粮争田”“与民争粮”的问题。

2.积极寻找自身具有资源禀赋优势的原料,加大对生物质能技术的研发投入。在发展生物质能过程中,经济性始终是各国政府考虑的主要因素之一。目前生物质能生产主要是利用植物作为原料。各国自身的地理条件和气候等自然禀赋各不相同,植物种植的成本也不相同。如巴西利用甘蔗来发展生物质能的成本远低于美国利用玉米和欧洲利用小麦的成本。因此,中国也应该结合本国及各区域的实际情况,种植更具有比较优势的作物作为生产生物质能的主要原料。中国作为农业大国,各类粮食作物较为丰富,但均不具有显著的资源禀赋优势。并且由于人口众多,中国若大力发展以粮食作物为原料的第一代生物质能,不仅可能造成与巴西类似的环境污染问题,而且还可能威胁到粮食安全。目前,政府部门应当加大对第二代和第三代生物质能的研发投入,发展以非粮食作物为原料的生物质能。原因在于中国第二代生物质能的原料如秸秆、草类等资源丰富,能为生物质能生产提供更为经济的原料,而且不会引发与粮争地、抬高粮食价格等粮食安全问题。并且,相对于第一代生物质能,第二代和第三代生物质能造成的环境污染较少,对于生物质能的可持续发展意义重大。

3.加强和完善中国有关生物质能政策的制定。为了推动生物质能的发展,中国已经陆续在法律法规、发展规划、财税政策和补贴政策层面推出了一系列政策措施,但相对于巴西和其他发达国家,这些政策举措大多在内容上过于庞统,缺乏具体实施细则和可行性,法律法规缺乏强制性,发展规划缺乏前瞻性。中国应该借鉴其他国家的生物质能发展经验,充分考虑中国在发展生物质能上的优势和劣势,扬长避短,制定更加明确、系统的政策措施,充分结合各类政策工具的优势,提高政策的可行性和有效性,从而最终推动生物质能在中国持续稳定的发展,减少传统化石能源造成的环境污染,实现中国能源结构的多元化。

## 四、结论

伴随着生物质能在国际能源中的地位提高,生物质能可能引发的粮食安全问题 and 污染问题引发了全球范围内对生物质能产业可持续性问题的激烈讨论。本文从经济、社会、环境和技术四个维度对巴西生物质能的可持续性进行了考察,发现巴西在生物质能发展领域存在显著的资源禀赋优势,而且并未危及巴西粮食安全,因此巴西生物质能在经济和社会发展可持续性问题上不存在显著障碍。但巴西生物质能及其原料甘蔗在生产过程中存在大量污染,并且能源

作物种植面积扩大引起的土地利用变化、碳排放增加会造成严重的环境污染。因此，环境可持续性在未来最有可能限制巴西生物质能可持续发展的因素。生物质能技术分析表明，第二代和第三代生物质能技术相对于第一代生物质能技术而言，不会引发潜在的粮食安全问题，并且对于环境的污染较少，甚至能够实现变废为宝。若巴西能够加大对于第二代和第三代生物质能的研发投入，最终实现其商业化，则巴西生物质能的可持续发展前景看好。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/190264.html>