



评述与展望

Review and Progress

## 粮食燃料问题的研究与展望

周佳瑶<sup>1,2</sup>✉, 王浙茹<sup>2</sup>, 丁丹妍<sup>2</sup>, 刘楚楚<sup>2</sup>

1 诸暨市翠溪生物技术研究院, 诸暨, 311800

2 浙江农林大学暨阳学院生命科学研究所, 诸暨, 311800

✉通信作者, [zhoujiayao@molplantbreed.org](mailto:zhoujiayao@molplantbreed.org)

欧洲生物技术研究进展, 2023 年, 第 13 卷, 第 1 篇 doi: [10.5376/fbe.cn.2023.13.0001](https://doi.org/10.5376/fbe.cn.2023.13.0001)

收稿日期: 2023 年 6 月 29 日

接收日期: 2023 年 7 月 6 日

发表日期: 2023 年 7 月 13 日

本文首次以英文发表在 *Journal of Energy Bioscience* 上, 现依据版权所有人授权的许可协议, 采用 Creative Commons Attribution License 协议对其进行授权, 用中文再次发表与传播。只要对原作有恰当的引用, 版权所有人允许并同意第三方无条件的使用与传播。如果读者对中文含义理解有歧义, 请以英文原文为准。

### 建议最佳引用格式:

周佳瑶, 王浙茹, 丁丹妍, 刘楚楚, 2023, 粮食燃料问题的研究与展望, 欧洲生物技术研究进展, 13(1): 1-7 (doi: [10.5376/fbe.cn.2023.13.0001](https://doi.org/10.5376/fbe.cn.2023.13.0001))

(Zhou J.Y., Wang Z.R., Ding D.Y., and Liu C.C., 2023, Research and prospect of food fuels issues, *Ouzhou Shengwu Jishu Yanjiu Jinzhan* (Front in European Biotechnology), 13(1): 1-7 (doi: [10.5376/fbe.cn.2023.13.0001](https://doi.org/10.5376/fbe.cn.2023.13.0001)))

**摘要** 生物燃料的发展, 不仅与能源和环境有关, 而且与全球贫富差距和粮食安全保障问题紧密相连。近年来, 随着全球经济的快速发展和人口的不断增加, 对能源的需求也日益增加。同时, 由于化石燃料的使用对环境造成的负面影响, 越来越多的人开始考虑使用生物燃料作为替代品。而粮食燃料作为生物燃料的一种, 也越来越受到人们的关注。粮食 VS 燃料, 历年来是一个两难的问题。但当生物燃料被正确使用时, 社会不能忽视其带来的积极作用, 如减少温室气体的排放, 产生环境和社会效益。当然, 社会也不能接受生物燃料所带来的负面影响, 如为提炼生物燃料而浪费更多的化石能源, 同时, 由于粮食短缺, 还导致世界粮食价格不断上涨。由于非可再生能源的枯竭和环境保护的要求, 生物燃料逐渐成为了替代能源的新宠。而粮食作为生物燃料的重要来源, 也引起了人们的广泛关注。本综述将评述和展望粮食燃料问题, 主要包括可以做燃料的作物、粮食燃料存着的问题、生物燃料相关背景、发展状况, 粮食燃料对粮食价格的影响以及总结展望等方面。

**关键词** 粮食作物; 生物燃料; 燃料; 存在问题; 未来展望

## Research and Prospect of Food Fuels Issues

Zhou Jiayao<sup>1,2</sup>✉, Wang Zheru<sup>2</sup>, Ding Danyan<sup>2</sup>, Liu Chuchu<sup>2</sup>

1 Cuixi Academy of Biotechnology, Zhuji, 311800

2 Institute of Life Science, Jiyang College of Zhejiang A&F University, Zhuji, 311800

✉ Corresponding author, [zhoujiayao@molplantbreed.org](mailto:zhoujiayao@molplantbreed.org)

**Abstract** The development of biofuels is not only related to energy and environment, but also closely related to the global wealth gap and food security. In recent years, with the rapid development of the global economy and the increasing population, the demand for energy is also increasing. At the same time, due to the negative impact of the use of fossil fuels on the environment, more and more people are beginning to consider using biofuels as substitutes. As a kind of biofuel, grain fuel has attracted more and more



attention. Food VS Fuel has been a dilemma over the years. But when biofuels are used correctly, society cannot ignore the positive effects it brings, such as reducing greenhouse gas emissions, resulting in environmental and social benefits. Of course, society cannot accept the negative effects of biofuels, such as wasting more fossil energy for refining biofuels, and at the same time, due to grain shortages, world grain prices continue to rise. Due to the exhaustion of non-renewable energy and the requirements of environmental protection, biofuels have gradually become the new favorite of alternative energy sources. As an important source of biofuel, grain has also attracted people's extensive attention. This review will comment on and look forward to the problem of food fuel, including crops that can be used as fuel, the existing problems of food fuel, the related background and development status of biofuels, the impact of food fuel on grain prices, and the summary and prospect.

**Keywords** Grain crops; Biofuels; Fuel; Exist problem; Future prospects

粮食燃料属于生物燃料。所谓生物燃料,是指利用可再生或可循环的有机物质,以包括农作物、农产品和其他植物及其残体、畜禽粪便、有机废弃物等为原料,通过工业性加工转化生产生物基产品、生物燃料和生物能源。目前,生物柴油和燃料乙醇是生物燃料中最主要的两类产品,与粮食市场密切相关。一些作物,如玉米(*Zea mays* L.)、小麦(*Triticum aestivum* L.)、甜菜(*Betavulgaris* L.)、木薯(*Manihot esculenta*)、油菜(*Brassica napus* L.)和甘蔗(*Saccharum officinarum*)等,都可以用来制造生物燃料。生物燃料在保障国家石油安全,缓解石油过度依赖进口的危机,同时有效降低机动车污染物排放等方面具有突出的作用。现阶段生物燃料主要包括生物乙醇和生物柴油。在过去的几十年中,由于对石化能源的依赖和对环境污染的担忧,粮食燃料逐渐成为一种备受关注的新型能源。目前,粮食燃料已经成为全球能源消耗的重要组成部分。其中,美国、巴西、欧盟等国家和地区的粮食燃料生产和利用处于领先地位。在中国,粮食燃料的生产和利用也在逐步发展,但总体上仍处于起步阶段。

在能源与生态压力不断增大的情况下,发展生物燃料产业是一个相对有效的解决路径。生物燃料在 20 世纪 70 年代应运而生,并在本世纪获得快速的发展。在美国,每年大约 40% 的玉米用于生产生物燃料,而且其目标是到 2025 年生物燃料替代从中东进口石油的 75% 以上。国际能源署《交通用生物燃料技术路线图报告》的预测数据表明,到 2050 年生物燃料在运输燃料中的比例将由日前的 2% 上升到 27%。而粮食安全又是人类最重要的需求之一,因此探讨生物燃料产业对粮食安全的影响机制和结果,具有显著的现实意义。

然而,粮食燃料的发展也面临着一些问题。首先,粮食燃料的生产需要大量的农作物和土地资源,这可能会对粮食安全和农业可持续发展造成影响。其次,粮食燃料的生产和利用也会带来一定的环境问题,如土地占用、水资源消耗和生物多样性的破坏等。为了解决这些问题,本综述将从粮食燃料的生产、相关背景、发展状况等方面进行深入探讨,并提出相应的建议和展望。具体来说,我们将重点关注以下几个方面:一是如何提高粮食燃料的生产效率和资源利用效率,减少对农业资源的消耗;二是如何加强对粮食燃料生产和利用的环境监管,保护生态环境;三是如何制定更加科学合理的粮食燃料政策,促进其可持续发展。通过本综述的研究和分析,我们希望能够为粮食燃料的发展提供一些有益的思路和建议,同时也呼吁社会各界共同关注和参与粮食燃料的可持续发展,共同推动能源领域的绿色转型。

## 1 粮食作物与燃料的关系

中国在生物质利用的关键技术方面,如木质纤维素水解、微生物利用、生物反应器与产品提纯技术等已取得重大进展。如果能利用全国 5% 的作物秸秆、40% 的畜禽粪便、30% 的林业废弃物,以及约 550 万  $\text{hm}^2$  边际性土地种植能源植物,其生产出来的能源可相当于 5 000 万吨石油,等于 2004 年全国石油总产量的 29%,净进口量的 35%。中国西南地区的麻疯树等木质油料发展迅速,籽含油率达 50%;中国是世界上玉米的主要生产国之一,每年玉米的种植面积大约有 2 000 万公顷,除去食用、饲料、酿酒等需要外,每年大约有 400~600 万吨玉米剩余;此外中国杂交油菜品种处于世界领先水平,油菜的种植面积及总产量居世界第一,油菜籽资源丰富,用来开发生物柴油原料充足。同时,中国也是世界最大的棉花生产国,每年棉籽产量 1300 多万吨,也可用来生产生物柴油。



由此可见, 生物质燃料的原料来源非常广泛, 只要合理开发生物能源, 不但不会对粮食安全构成威胁, 反而能在一定程度上保障粮食安全。生物质的利用, 不仅能使中国有限的耕地满足食物与饲料的需要, 还能替代发酵工业用粮生产氨基酸、抗生素等产品, 相当于增产粮食 5%。为了发展生物质资源, 中国已经启动了能源作物培育计划, 按计划将能源作物分为 4 类: 一、以制酒精为目的的一年或多年生作物, 如玉米、甘蔗、甜高粱、甘薯、木薯等; 二、以生产燃料油(如生物柴油, 烃类物质)为目的的植物, 如油菜、绿玉树、黄连木等; 三、用于直接燃烧的植物; 四、可供厌氧发酵的藻类或其它植物。对按计划种植的能源植物将给予一定的经济支持(图 1)。



图 1 正在建设中的工厂, 巴特勒县, 爱荷华州  
Figure 1 An ethanol fuel plant under construction, Butler County, Iowa

### 1.1 粮食燃料与玉米

在中国, 粮食主要包括谷物、豆类和薯类。中国粮食生产以谷物为主, 谷物包括小麦、稻谷、玉米这三大主粮以及高粱和小米等。三大主粮中, 小麦和稻谷是通常所说的口粮, 玉米(*Zea mays* L.)仅有少部分被食用, 大部分被用作饲料粮和工业用粮。2001 年, 国内乙醇原料玉米原料占 59%, 而到 2005 年则上升为 79%。玉米乙醇谷物的使用比例远远超过美国和巴西 2005/2006 年度, 美国生物乙醇所用的玉米只是该国玉米生产的 17.6%。截至 2014 年底, 中国已批复 11 个燃料乙醇项目, 累计生产和消费燃料乙醇 1728 万吨, 消耗玉米、小麦、水稻、木薯等约 5 768 万吨, 其中转化了人畜不能食用的玉米、水稻、小麦等约 1 211 万吨。目前, 中国燃料乙醇年产能达到 240 万吨左右, 年生产量和消费量位居美国、巴西之后, 居全球第三位。现阶段, 发展燃料乙醇消纳“问题粮食”已经成为最经济可行的方式之一。据预测, 若在全国范围内推广使用燃料乙醇, 燃料乙醇产能还需增加 800 万吨/年以上, 可多转化玉米等 2 500 万吨/年左右(图 2)。



图 2 粮食燃料与玉米  
Figure 2 Food fuel and corn

### 1.2 粮食燃料与木薯

生产酒精燃料最具成本优势的是木薯(*Manihot esculenta*), 平均每 27 吨木薯可生产 1 吨酒精。许多能



源植物都可以在自然条件较差, 很难种出粮食, 却可以生长植物的边际性土地上种植。据统计, 中国目前有盐碱地 1 000 万公顷、荒地 5 000 万公顷、低质土地 1 800 万公顷, 总量比现有耕地还要多一点, 有着广阔的耕种潜力。因此, 只要大力发展这类能源植物, 进行规模化和定向种植, 生物燃料产业的发展不仅不会影响到粮食安全, 还能使缺乏经济价值的边际性土地成为能源基地。

木薯生长在南方, 适合在土层浅、雨水不易保持的喀斯特地区种植, 因此不会与粮食作物争夺土地。目前中国每年的木薯产量在 800 万吨左右, 其中 60%来自广西, 另外每年从东南亚进口 300 万吨左右。只要企业建立稳定的原料基地, 用木薯生产燃料乙醇潜力巨大(图 3)。



图 3 粮食燃料与木薯  
Figure 3 Food fuel and cassava

### 1.3 粮食燃料与甜高粱

甜高粱(*Sorghum vulgare* L.)是所有植物中光合效率最高的, 且抗旱、耐涝、耐盐碱, 可以在 PH 值 5~8.5 的土地种植, 秆高可以达到 3 米多。从山东的黄河入海口到渤海湾一直到大连, 大部分沿海滩地都适合种植甜高粱, 这些土地因盐碱度高, 不能种植粮食。甜高粱秸秆含糖量在 18%~20%, 甚至比甘蔗都要高, 而糖正好可以发酵成酒精。甜高粱秆平均 667 平方米产 48 吨, 大约每 2 667 平方米可以生产出 1 吨酒精。用 10%的盐碱地种植甜高粱, 完全可以满足目前的燃料乙醇生产, 而且不存在与民争地争粮的问题(图 4)。



图 4 粮食燃料与甜高粱  
Figure 4 Food fuel and sorgho

### 1.4 粮食燃料与秸秆作物

一种利用秸秆为原料制取纤维素乙醇的新技术已逐渐受到关注。据统计, 每年全国大概产生 7 亿吨的秸秆。在农村, 这些秸秆一般在田间焚烧掉, 不仅白白浪费了能源, 而且造成空气污染。如果 7 亿吨秸秆中有 1 亿吨用于制造燃料乙醇, 按照 10%的转化效率, 每年可以生产 1000 万吨, 这将是目前全国燃料乙醇总产量的数倍(图 5)。



图 5 粮食燃料与秸秆作物  
Figure 5 Food fuel and straw crop

### 1.5 粮食燃料与菜籽油

菜籽油作为生物柴油具有其独特的优势，低芥酸菜油的脂肪酸碳链组成与柴油分子的碳数相近，是理想的生物柴油原料。中国每年有冬、夏闲田约 900 万公顷，如果用来种植油菜，并不影响水稻等主要粮食作物的生产，而且油菜是用地、养地的作物，有肥田、抗病的作用，可使水稻等后茬作物增产 10%左右。

油菜作为生物柴油的理想原料，具有适应范围广，发展潜力大等优势，是中国发展潜力最大的能源油料作物，具有重要的战略意义。中国油菜的种植面积及总产量居世界第一，杂交油菜品种处于世界领先水平，油菜籽资源丰富，长江流域、黄淮地区、西北和东北地区都适宜生长，仅长江流域和黄淮地区适宜于冬季种油菜的稻田面积就有 2 000 万  $\text{hm}^2$  以上。现阶段中国菜籽总产量 1 300 万吨左右，菜籽平均含油率 37.5%，平均年消费量 1 350 万吨缺口 50 万吨，每年需进口一部分菜籽，但也出口少量菜籽油。2005 年，中国共出口菜籽油 3.06 万；其中出口德国 1.22 万吨荷兰 9 300 吨。随着生物柴油的发展，菜油需求量增加，价格上升，中国油菜的生产潜力将逐步发挥出来。

## 2 生物燃料与粮食安全问题

保障粮食安全一直被称为国家一号战略。联合国粮食和农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)对粮食安全的定义涵盖四大要素：(1)可供应性；(2)可获得性；(3)可利用性；(4)稳定性。

在中国，生物质燃料发展与粮食安全并不冲突。中国政府历来重视粮食生产，始终把粮食安全放在第一位，发展生物燃料是在确保国家粮食安全前提下进行的，不与农业争粮争地是发展生物质产业的根本原则。

前期中国生物质产业使用的原料主要是上世纪 90 年代后期生产过剩的粮食；这既解决了地方性和暂时性卖粮难的问题，保护农民种粮的积极性，也起到粮食生产动态调节器的作用。一方面，从粮食结构上看，小麦和稻谷作为口粮已实现绝对安全，玉米以饲料粮和工业用粮为主要用途、少部分被食用，中国粮食总产量 90%的谷物基本自给。在中国，粮食主要包括谷物、豆类和薯类。中国粮食生产以谷物为主。谷物包括小麦、稻谷、玉米这三大主粮以及高粱和小米等。三大主粮中，小麦和稻谷是通常所说的口粮，玉米仅有少部分被食用，大部分被用作饲料粮和工业用粮。

中国的国情是人多地少，可供发展粮食的农业生产资源有限。从长远发展着眼，中国今后将不能再大量增加利用粮食作原料的生物质燃料生产，而是转向开发非食用性生物质资源，如菜籽、薯类、甘蔗、玉米秸秆，林业废弃物、废弃油脂、稻米糠等。且在中国有很大一部分油菜是冬季作物，中国每年有冬、夏闲田约 900 万  $\text{hm}^2$ ，如果用来种植油菜，并不影响水稻等主要粮食作物的生产，而且油菜是用地、养地的作物，有肥田抗土传病的作用，可使水稻等后茬作物增产 10%左右。还有在荒山荒坡和盐碱地、荒滩、沙地等种植高产能源作物，如菊芋、甜高粱、红薯、木薯等，既不占用宝贵的耕地资源，又可提供大量的生产原料，还有利于改善生态环境、增加农民收入。



### 3 生物燃料对粮食价格影响

担心生物燃料产业发展威胁粮食安全的观点, 所依据的一个主要理由就是粮食用于乙醇等生物燃料生产后, 会大大提高粮食价格, 从而导致更多的人口因购买力不足而难以消费足够的粮食。然而从长期来看, 需求的增加会带动行业生产规模的扩大, 而行业生产规模的扩大是否会提高均衡价格, 取决于行业的成本函数性质。根据 FAO 的研究, 全球范围内用于提高农业产出耕地和其他自然资源足够, 中国国内最大的问题也主要是土地“撂荒”的问题, 长期中“燃料与粮争地”的问题并不存在。因此生产规模增加不会对成本、进而对粮食均衡价格造成太大影响。

与此同时, 农业科技随着工业发展日新月异, 对粮食生产效率的潜在促进作用不容低估。首先是对土地、劳动力与水资源的节约, 其次是改变粮食生长的自然环境, 比如无土栽培、人工合成等方式, 都会在增加粮食供给的同时不提高均衡价格。总之, 生物燃料产业的发展对粮食价格升高的作用有限。

粮食作为最主要的农产品, 迄今为止仍属于人类生存的必需品。因此, 粮食的需求收入弹性和需求价格弹性都很小。另外, 粮食的不可替代性以及生命规律所决定的需求时间刚性, 进一步降低了粮食的需求弹性。美国国际食品政策研究所认为, 近来全球大众农产品价格上涨, 有四分之一到三分之一归因于生物质燃料的生产。

### 4 生物燃料对环境的影响

粮食燃料的生产也会对环境造成一定的影响。首先, 生产粮食燃料需要大量的土地、水资源和化肥等农业生产要素, 这会导致大面积土地破坏, 生态环境受损。其次, 生产粮食燃料也会产生大量的温室气体, 这会加剧全球气候变化的进程。此外, 大规模的粮食燃料生产也会对生态系统造成一定的破坏。

相对于化石燃料而言, 粮食燃料的能源效率较低。这是因为生产粮食燃料需要使用大量的能源, 如化肥、农药、机械、运输等, 而这些能源的消耗也会导致粮食燃料的成本上升。此外, 粮食燃料的能源密度也较低, 这意味着需要更多的粮食燃料才能产生相同的能量。为了提高燃料产量, 可能还会使用一些危害生态的化学品。

据估计, 中国每年的作物残余物可产生生物质大约 280 百万吨, 能源作物可产生的生物乙醇超过 150 万吨, 这远远高于目前国家燃料乙醇的年产量以及 2020 年的产量目标(400 万吨/年)。从环境影响来看, 用生物燃料替代化石燃料可以大大减少温室气体排放和空气污染(如颗粒物)。但生物燃料生产对生物多样性、水量和水质的影响因原料类型、土地来源和管理实践的差异而有很大的不确定性。改善农业管理和景观规划有利于保护生态系统服务功能。

### 5 总结与展望

在政府推动和市场引领的趋势下, 生物燃料市场正在成为全球范围内的一个新兴市场。粮食燃料作为生物燃料的一种, 虽然具有可再生、环保等优点, 但也存在一些问题。首先, 粮食燃料的生产会对粮食价格产生影响, 这将对贫困地区的人民造成影响。其次, 粮食燃料的生产也会对环境造成一定的影响。最后, 粮食燃料的能源效率低, 这也是它在替代传统化石燃料方面面临的一个挑战。

未来, 随着生物燃料技术的不断发展, 粮食燃料可能会逐渐被其他更为环保、可持续的生物燃料所替代。同时, 政府也应该加强对粮食燃料生产的监管, 避免对粮食市场产生过大的冲击。

生物燃料只是多种可再生能源的一种选项, 它作为替代能源有其局限性, 不可能成为主要的替代能源, 更不可指望其成为唯一的替代能源, 要因地制宜, 把生物能源作为能源多样化的一环。各国应弄清家底, 测算出未来几十年甚至更长时期内本国最优能源结构, 然后实施相应的政策措施来实现。发展可再生能源就是发展民生、维护能源安全, 减少温室气体排放的有效手段。可再生能源本身的经济性与化石能源(以石油为代表)的价格密切相关。短期内, 可能产生显著经济效益, 但如果超出了资源本身限制, 盲目推动生物燃料生产, 设立过高的生物燃料指标, 即使不与本国粮食争地, 也会通过进口生物燃料转嫁短缺, 从而对



地区和全球粮食安全造成负面影响。各国需在确保粮食安全的前提下, 积极扩大生物燃料的原料来源和综合利用, 逐步减少对世界石油资源的依赖, 为国际社会发展做出应有的贡献。

尽管粮食燃料存在一些问题, 但从长远看, 生物燃料生产和使用对社会、环境和经济都有巨大的潜力, 可以促进可持续发展。为了促进生物燃料产业健康、可持续发展, 应巩固粮食供应的稳定性, 创新生物燃料生产技术, 推广新型燃料的应用, 以降低生产过程的环境污染和碳排放。此外, 也需要制定全球统一的制度框架, 鼓励生物燃料生产转向非粮农产品和废弃物生产, 以避免竞争粮食和生态空间, 实现可持续发展目标。相信, 在各方共同努力下, 生物燃料生产和应用将迎来更加广阔的发展前景。

### 作者贡献

周佳瑶是项目负责人, 负责文献收集、论文写作和定稿; 王浙茹负责论文翻译; 丁丹妍和刘楚楚负责修改和校对。全体作者都阅读并同意最终的文本。

### 致谢

本研究由诸暨市翠溪生物技术研究院《翠溪创新研发项目基金》资助。

### 参考文献

- Archived from the original (<http://vejaonline.abril.com.br/notitia/servlet/newstorm.ns.presentation.NavigationServlet?publicationCode=1&pageCode=1&textCode=145568&date=currentDate>) on 10 February 2009. Retrieved 29 July 2008."
- Biofuels major driver of food price rise - World Bank ("<http://www.alertnet.org/thenews/newsdesk/N28615016.htm>). Reuters .28 July 2008. Retrieved 29 July 2008.
- Etanol não influenciou nos preços dos alimentos (<https://web.archive.org/web/20090210110110/http://vejaonline.abril.com.br/notitia/servlet/newstorm.ns.presentation.NavigationServlet?publicationCode=1&pageCode=1&textCode=145568&date=CurrentDate>). Veja (in Portuguese). Editora Abril .28 July 2008.
- Food and Fuel II-Biofuels will help fight hunger (<http://www.ihf.com/articles/2007/08/06/opinion/edsimoes.php>). International Herald Tribune .6August2007.Retrieved15 April 2008.
- Greenpeace UK (9 May 2007). "Biofuels : green dream or climate change nightmare" (<https://web.archive.org/web/20080421113313/http://www.greenpeace.org.uk/blog/climate/biofuels-green-dream-or-climate-change-nightmare-20070509>). Archived from the original (<http://www.greenpeace.org.uk/blog/climate/biofuels-green-dream-or-climate-change-nightmare-20070509>) on 21 April 2008. Retrieved 28 April 2008.
- Planet Ark (26 September 2005). " Food Security Worries Could Limit China Biofuels" (<http://www.planetark.com/dailynewStory.cfm/newsid/32656/story.htm>). Retrieved 28 April 2008.
- Response:Lord Oxburgh: Through biofuels we can reap the fruits of our labours" <https://www.theguardian.com/commentisfree/2008/feb/28/alternativeenergy.biofuels>). the Guardian Retrieved 22 September 2015.