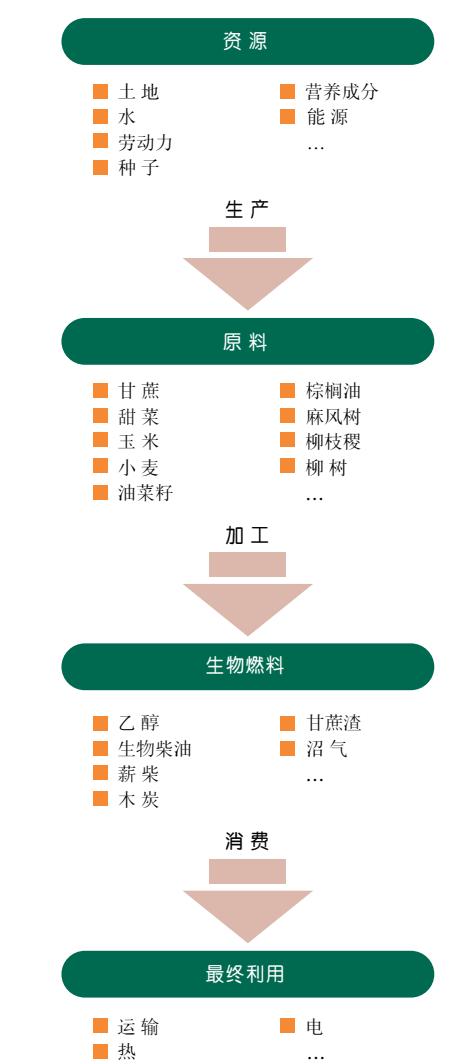


2. 生物燃料与农业 — 技术综述

在世界许多地区，包括薪柴、木炭和牲畜粪便在内的传统生物质仍然是重要的能源来源。生物质能源是世界大部分赤贫人口的主要能源来源，且主要用于煮饭。更为先进高效的转化技术使得

图 4
生物燃料 — 从原料到最终利用



资料来源：粮农组织。

从木材、作物和废弃物等材料中萃取固体、液体和气体的生物燃料成为可能。本章对生物燃料进行了概述，主要介绍什么是生物燃料，其潜力如何，对农业将产生怎样的影响。不过，重点关注的是交通运输中使用的液体生物燃料，因为随着使用量的快速增长，液体生物燃料变得越来越重要。

生物燃料的类型

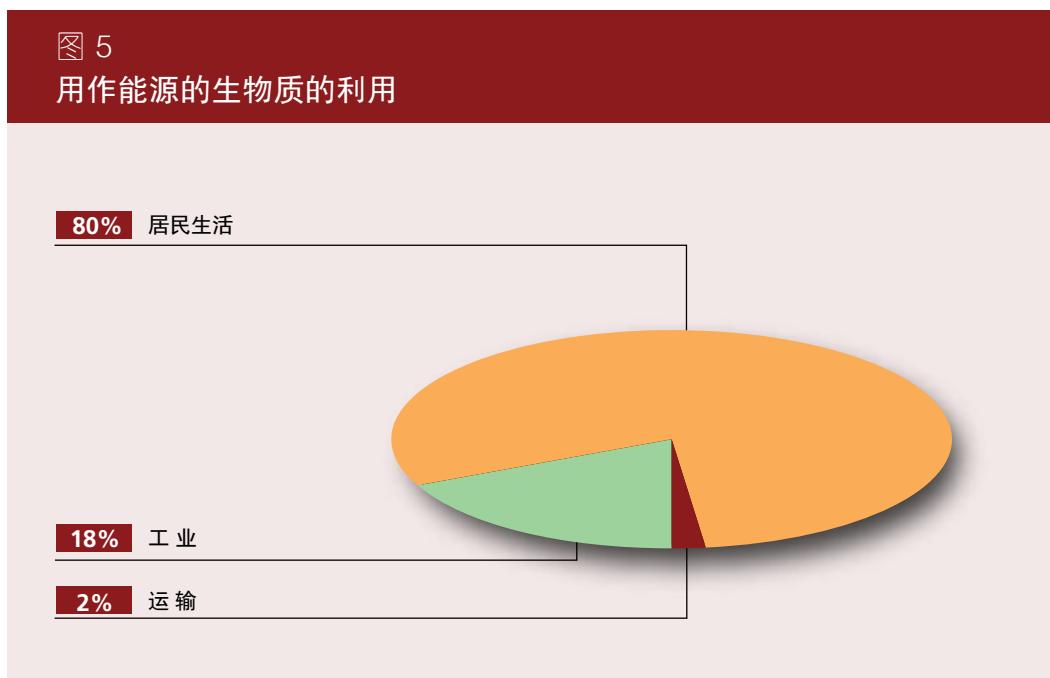
生物燃料是储存生物质能源的载体。²一系列生物质原料都可用于生产各种形式的生物质能源。如来自工业的粮食、纤维以及木材加工废弃物；来自农业的能源作物、短期轮作作物以及农业废弃物；林业的残留物都可以用来生产电能、热能、热电联供及其他形式的生物质能源。生物燃料可被称为可再生能源，因为生物燃料是太阳能的一种转化形式。

生物燃料可按来源和类型进行分类。生物燃料可能源自森林、农产品或林产品，抑或城市垃圾，以及农产品加工业、食品产业、食品服务业的副产品及垃圾。生物燃料可以是固态的，如薪柴、木炭、木质颗粒燃料；可以是液态的，如生物乙醇、生物柴油或热解油；也可以是气态的，如沼气等。

生物燃料也基本划分为初级（未经加工）和高级（经过加工）生物燃料：

² 有关生物燃料术语的研究详见粮农组织（2004a）。

图 5
用作能源的生物质的利用



资料来源：国际能源署，2007。

- **初级生物燃料**，如薪柴、木屑和木块，即有机材料基本是在其自然状态（收获时的状态）下被使用。这类燃料直接燃烧，一般用于烹饪、供暖或小型及大型的工业用电。
- **高级生物燃料**，形式有固体（如木炭）、液体（如乙醇、生物柴油和生物石油）或气体（如沼气、合成气和氢气）等，应用范围更加广泛，包括交通运输和高温工艺。

运输用液体生物燃料³

尽管总量有限（见图5），近年来最强劲的增长是以农业和粮食商品为原料的交通用液体生物燃料生产。其中最重要的是乙醇和生物柴油。

乙醇

任何含有大量糖、淀粉或纤维素等可转化成糖的物质都可用于产生乙醇。现在生物燃料市场上出售的乙醇以糖或淀粉为原料。常见用作原料的糖料作物是甘蔗、甜菜以及少量的甜高粱。常见的淀粉类原料包括玉米、小麦和木薯。使用可直接发酵产生乙醇的含糖生物质是产生乙醇的最简单的方式。在巴西和其他目前生产乙醇的热带国家，甘蔗是使用最广泛的原料。在经合发组织成员国中，大部分乙醇都是从谷物中可轻而易举地转化为糖的淀粉成分生产（但也使用甜菜）。但这些淀粉产品只占整个植株质量的很小比例。植物质量的大部分由纤维素、半纤维素和木质素组成；前两项可在首先转化成糖后直接转化成酒精，但工艺要比淀粉的更为复杂。现在几乎没有从纤维素生物质中生产商品乙醇的例子，但此领域的很多研究正在继续（见第18-19页关于第二代生物燃料的部分）。

³ 本节依据全球生物能源伙伴关系（2007，第2-10页）和国际能源署（2004）。

插文 1

用于热能、电力和交通运输的其他生物质类别

用于热能和电力的生物质

一系列生物质资源通过燃烧来发电和产生热能。其来源包括各种废弃物，诸如农产品加工业的废弃物、收割后田间残茬、动物粪便、林业和工业的废木、食品业和造纸业的废弃物、城市固体垃圾、污水污泥以及利用农业和其他有机废弃物发酵产生的沼气。加以利用的还有专用能源作物，诸如轮作期短的多年生植物（桉树、白杨和柳树）和草本植物（芒草和柳枝稷）。

有几种工艺程序可用于发电。大部分源自生物质的电力是用蒸汽循环程序生产的：在锅炉里燃烧生物质产生的高压蒸汽流经一连串的空气动力叶片使涡轮机旋转，从而带动与之相连的发电机发电。经紧压的生物质，例如木屑颗粒和煤砖也可用于燃烧；生物质也可同煤一起放在常规电厂的锅炉里燃烧，产生蒸汽和电力。后一种做法是目前把可再生技术与常规电力生产结合在一起且最具成本效益的办法，因为这样就可利用现有基础设施而无需进行重大变动。

用于热能、电力和交通运输的沼气
厌氧发酵

通过细菌在缺氧环境下对食物或动物废弃物进行厌氧发酵可产生沼气。所产生的沼气含有大量的甲烷以及二氧化碳，可用于加热或用于经改造的内燃机发电。把动物废弃物和粪便转化成甲烷/沼气，非常有益于环境

和健康。甲烷这种温室气体可对全球变暖造成的影响为二氧化碳的22-24倍。通过收集和利用甲烷，其温室气体的影响可得以避免。此外，在生物发酵过程中产生的热力可杀死粪便里的病原体，发酵过程结束后留下的物质则是高价值肥料。

气化

通过气化过程，固体生物质可被转化成一种燃气或称为沼气。生物质气化器在低氧高温环境下加热生物质，将其分解并释放出可燃烧的、富含能源的合成气体，即“合成气”。这种气体可在常规锅炉里燃烧，或替代天然气用于燃气涡轮机来带动发电机。通过气化过程形成的沼气可经过滤来除去不必要的化学混合物，可用于高效的“组合循环”发电系统，将蒸汽和燃气涡轮机组合在一起进行发电。

沼气用于交通运输

由于甲烷含量低（60-70%）而污染物浓度高，未经处理的沼气不适合用作运输燃料。但可对其进行处理，去除二氧化碳、水和腐蚀性硫化氢，提高甲烷含量（超过95%）。压缩后，经处理的沼气具备类似于压缩天然气的属性，适于交通运输使用。

资料来源：根据全球生物能源伙伴关系，2007。

乙醇可混合汽油或单独在稍加改装的火花点燃式发动机内燃烧。一升乙醇的能量相当于一升汽油能量的66%，但与汽油混合用于交通运输用燃料时，混合燃料的辛烷值较高，因此可以改进汽油的燃烧效果。同时，混合燃料也可改进交通工具中的燃料燃烧，相应减少一氧化碳、未燃碳氢化合物和致癌物质的排放。但乙醇的燃烧也会加剧与大气中氮气的反应，导致氮氧化物的小幅增长。与汽油相比，生物乙醇仅含有很少量的硫。因此，乙醇混合汽油可以减少燃料的硫含量，也就相应的减少了硫氧化物的排放，而硫氧化物是酸雨和致癌物的成分。

生物柴油

生物柴油是植物油或动物脂肪与某种醇和某种催化剂，经过酯交换化学反应获得。用于生物柴油生产的原料油可从大部分含油种子作物中提取；从全世界看，最常用的原料包括欧洲的油菜籽、巴西和美国的大豆。在热带和亚热带国家，生物柴油来自棕榈、椰子和麻疯树油，少量的来自鱼和牲畜加工的动物脂肪。生产过程一般会额外产生副产品，如饼粉（动物饲料）和甘油。由于生物柴油可以一系列油为原料，因此产生的燃料也会比乙醇拥有更多的物理特性，如粘性和可燃性。

生物柴油可以混合传统柴油燃料或单独在压燃式发动机内燃烧。虽然其能量是柴油的88-95%，但生物柴油可以改进柴油的润滑性，提高十六烷值，两种燃料的燃烧效率几乎相当。生物柴油中较高的氧气含量有助于燃料的充分燃烧，减少颗粒状空气污染物、一氧化碳和碳氢化合物的排放。由于乙醇，生物柴油的硫含量也几乎可以忽略不计，因此可以减少车辆的氧化硫排放。

直接燃烧植物油

直接燃烧植物油（SVO）⁴是一种潜在的柴油机燃料，可从油菜籽、向日葵、大豆和棕榈等一系列含油种子作物中提取。餐厅用过的烹饪油和肉类加工厂的动物脂肪都可用作柴油车燃料。

生物燃料的原料

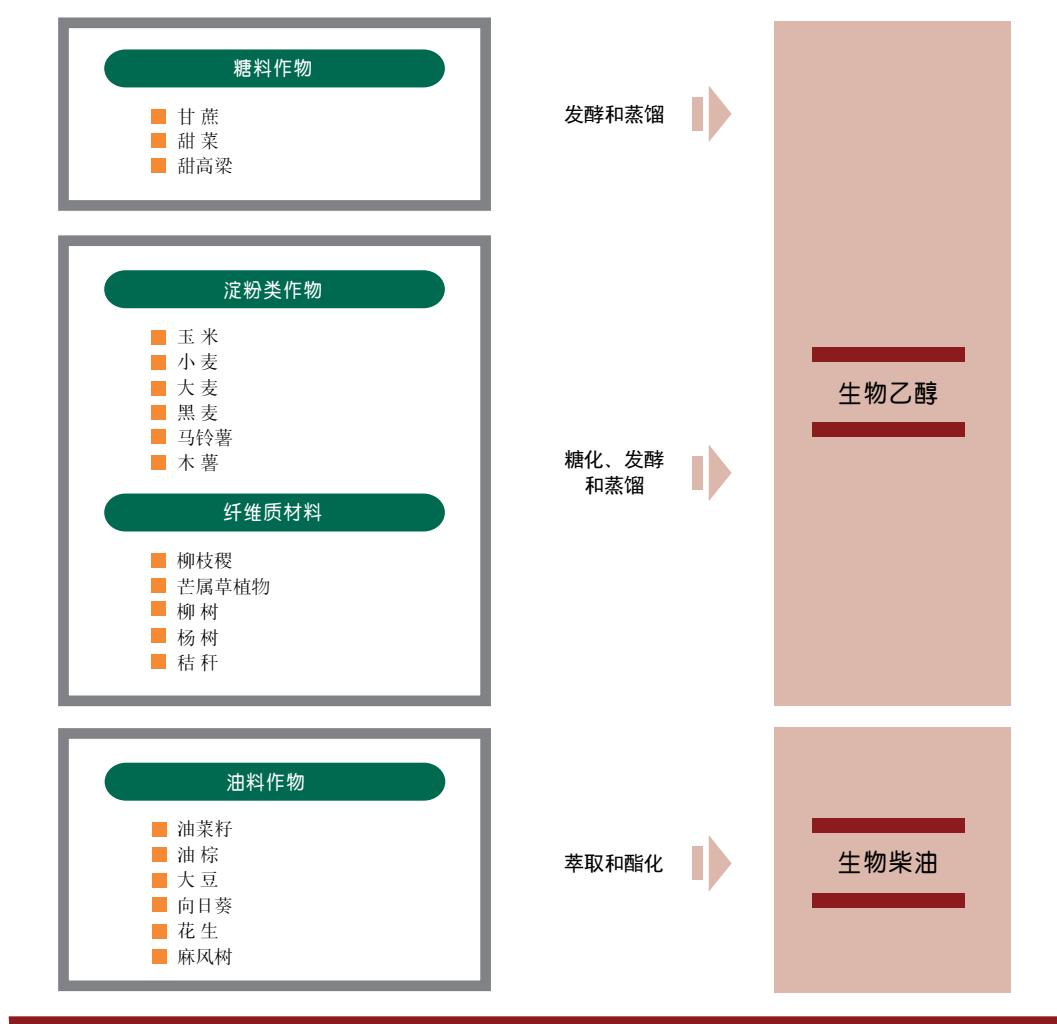
可供生物质能源生产的众多原材料分散在广大且多样的地理区域。即使是今天，大部分生物质燃料都以食品、饲料和纤维生产的副产品或并发产品为原料。例如，林业的主要副产品用于生产薪柴和木炭，醋酸铁液（纸浆厂的副产品）是巴西、加拿大、芬兰、瑞典和美国等国家生物发电的主要燃料源。大量的热和能量来源于回收或循环再利用的木质生物质，越来越多的能源都来自农田（秸秆和棉秆）以及林地（木屑和木块）的生物质中获取。在生产糖类和咖啡的国家，甘蔗渣和咖啡壳被直接燃烧，产生热能和蒸汽。

然而，近年来在生物能源方面最大的增长点是以农作物为原料生产运输用液体生物燃料。其中大部分是以糖类作物、淀粉类作物为原料的乙醇，或以油料作物为原料的生物柴油。

如图6所示，一系列不同的作物都可用于生产乙醇和生物柴油。然而，全球生产的大部分乙醇都以甘蔗或玉米为原料；巴西的大部分乙醇都来自甘蔗，美国则来自玉米。其他重要的原料作物包括木薯、稻谷、甜菜和小麦。在欧盟，生产生物柴油的最常用的原料是油菜籽，在美国和巴西是大豆，在热带和亚

⁴ 也被称作纯植物油。

图 6
农业原料转化为液态生物燃料



资料来源：粮农组织。

热带国家是棕榈、椰子和蓖麻油，对麻疯树油的关注也越来越多。

生物燃料与农业

过去十年中，大部分发达国家和部分发展中国家颁布的新能源与环境政策正在带来能源市场的扩张和发展，农业的作用也随之发生变化。农业为乙醇和生物柴油等运输用液体生物燃料生产提供原料的作用则最为显著。现代生物

能源对农产品提出新的需求，这也就意味着农民收入的提高和就业机会有望增加。但同时也会导致对土地和水等自然资源更激烈的争夺，短期内这种竞争将异常激烈，不过长期来看，这种竞争可能会因单产增长而有所缓和。由于一些目前供食用和饲用的作物（如玉米、油棕和大豆）会被用于生产生物燃料，或生产食品的农业用地会被用来生产生物燃料，用地竞争可能成为问题。

目前，全球85%的液体生物燃料都是乙醇形式（表1）。两个最大的乙醇

生产国，巴西和美国的产量占总产的近90%，其余产量大部分来自加拿大、中国、欧盟（主要是法国和德国）以及印度。生物柴油的生产主要集中在欧盟（占世界总产的60%左右），美国的产量相对少很多。在巴西，生物柴油生产还是较新的事物，产量有限。其他重要的生物柴油生产国包括中国、印度、印度尼西亚和马来西亚。

如表2所示，不同作物每公顷生物燃料产量会因原料、生产国和生产体系不同而差别很大。这种差异一方面由于不同国家不同作物单产不同，另一方面由于不同作物转化效率不同。这就意味着要生产更多的生物燃料，不同产地不同作物对土地需求的差异也会很大。目前，从甘蔗和甜菜中获取乙醇的单产最高，在每公顷生物燃料产量排名中，巴西以甘蔗为原料的产量位居第一，印度也较靠前。玉米生产生物燃料单产较低，但单产间差别较明显，如中国和美国。表2数据仅指技术单产。不同国家不同作物

生产生物燃料的成本呈现非常不同的规律。此问题将在第3章中进一步探讨。

生物燃料生命周期：能量平衡和温室气体排放

推动生物燃料产业发展的政策的两个主要动力是，对能源安全的关注与对减少温室气体排放的期望。正如不同的作物每公顷生物燃料的产出量不同，根据不同的原料、地点和技术，在能量平衡和温室气体排放方面也存在巨大差异。

一种生物燃料对能源供给的贡献率既取决于该生物燃料的能源成分，也取决于生产这种生物燃料所耗费的能源。后者包括在其生产和分销的不同阶段上原材料种植和收获所需的能源，将原材料加工转化为生物燃料以及运输原材料和最终生物燃料所需消耗的能源。化石能量平衡表达了生物燃料中含有的能量与其生产中消耗的化石能量之比率。化

表 1
2007年各国生物燃料产量

国家/国家集团	乙 醇		生物柴油		总 量	
	(百万升)	(百万吨油当量)	(百万升)	(百万吨油当量)	(百万升)	(百万吨油当量)
巴西	19 000	10.44	227	0.17	19 227	10.60
加拿大	1 000	0.55	97	0.07	1 097	0.62
中国	1 840	1.01	114	0.08	1 954	1.09
印度	400	0.22	45	0.03	445	0.25
印度尼西亚	0	0.00	409	0.30	409	0.30
马来西亚	0	0.00	330	0.24	330	0.24
美国	26 500	14.55	1 688	1.25	28 188	15.80
欧盟	2 253	1.24	6 109	4.52	8 361	5.76
其他国家	1 017	0.56	1 186	0.88	2 203	1.44
世界	52 009	28.57	10 204	7.56	62 213	36.12

注：所列数据经四舍五入。

资料来源：根据F.O. Licht, 2007, 数据来自经合发组织-粮农组织AgLink-Cosimo数据库。

表 2
各种作物原料及各国的生物燃料产量

作物	全球/国家估计数	生物燃料	作物单产	转化率	生物燃料单产
					(吨/公顷)
(升/吨)	(升/公顷)				
甜菜	全球	乙醇	46.0	110	5 060
甘蔗	全球	乙醇	65.0	70	4 550
木薯	全球	乙醇	12.0	180	2 070
玉米	全球	乙醇	4.9	400	1 960
稻米	全球	乙醇	4.2	430	1 806
小麦	全球	乙醇	2.8	340	952
高粱	全球	乙醇	1.3	380	494
甘蔗	巴西	乙醇	73.5	74.5	5 476
甘蔗	印度	乙醇	60.7	74.5	4 522
油棕	马来西亚	生物柴油	20.6	230	4 736
油棕	印度尼西亚	生物柴油	17.8	230	4 092
玉米	美国	乙醇	9.4	399	3 751
玉米	中国	乙醇	5.0	399	1 995
木薯	巴西	乙醇	13.6	137	1 863
木薯	尼日利亚	乙醇	10.8	137	1 480
大豆	美国	生物柴油	2.7	205	552
大豆	巴西	生物柴油	2.4	205	491

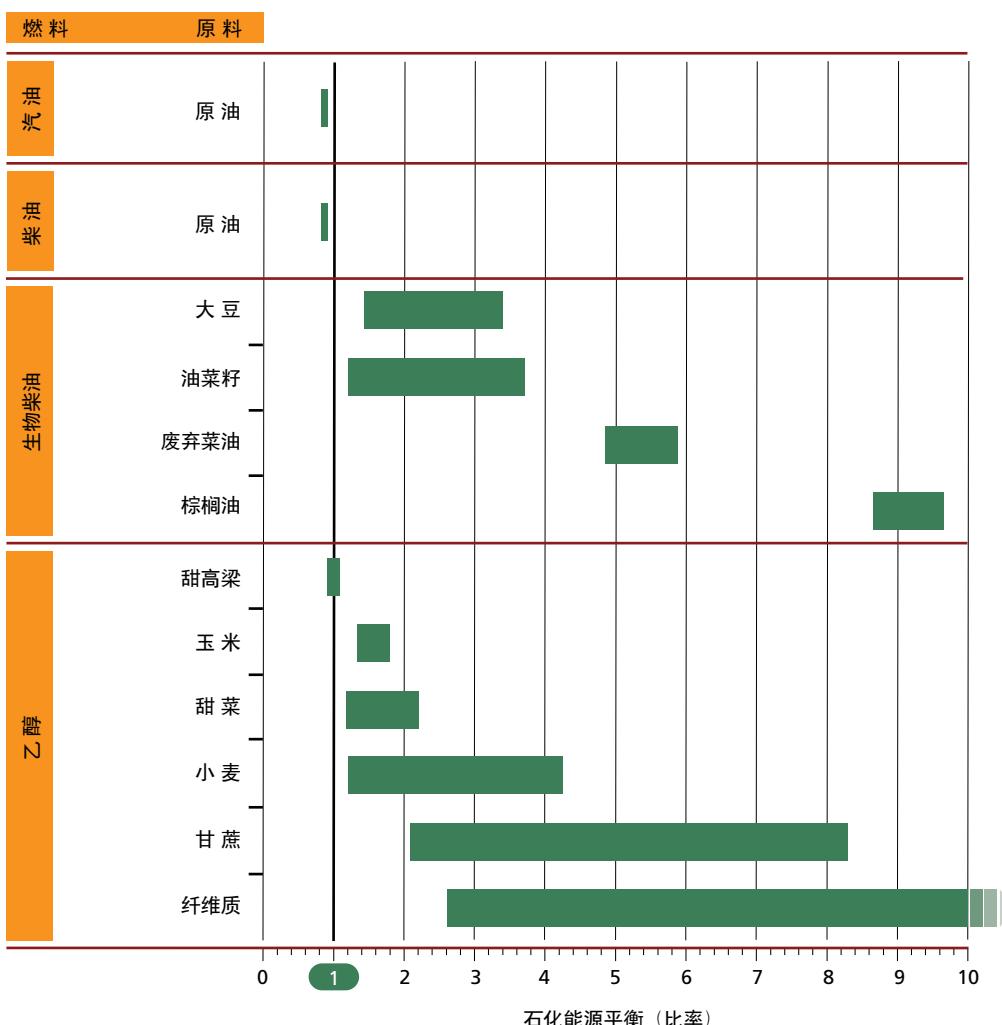
资料来源：全球数据来自Rajagopal等人，2007；国家数据来自Naylor等人，2007。

石能量平衡1.0表示生产一升生物燃料需要消耗与其中含有的能量相当的能量；换句话说，该生物燃料没有提供能源净增益或损失。化石能量平衡2.0表示一升生物燃料中含有的能量相当于其生产需要消耗能量两倍的量。精确评价能量平衡存在的难题源于难以清楚地界定分析的系统边界。

图7总结了针对不同种类燃料所作的化石能量平衡的几个研究的结果，世界观察研究所（2006）对此作过报告。本图显示了不同原材料和燃料（有时是原料/燃料混合），依据原料生产率、农作方式和转化技术等因素，化石能量平衡的大幅度差异。

传统汽油与柴油的化石能量平衡约为0.8至0.9之间，因为在将原油炼成可使用的油料过程中以及将其运到市场上要消耗掉部分燃料。如果有一种生物燃料的化石能量平衡超过这一数字，这就将有助于减轻对化石燃料的依赖。所有生物燃料看起来都可做出积极贡献，虽然在贡献程度上差异很大。以葵花籽、油菜籽和花生为原料的生物柴油的估测化石燃料平衡约在1到4之间。棕榈油的数值则高达9，因为其他油籽必须经过压榨才能取得其中的油脂，这是额外的一个消耗能源的加工步骤。对于基于作物的乙醇，估测的化石平衡玉米为2.0，甘蔗约在2到8之间。以甘蔗为原料的乙醇

图 7
若干燃料类型中石化能源平衡的估计范围



注：纤维质类生物燃料的比率是理论上的。

资料来源：基于世界观察研究所，2006，
表10.1；Rajagopal和Zilberman，2007。

的有利化石能量平衡，以巴西为例，不仅取决于原料的产出率，也取决于它是利用甘蔗的生物质残留物（甘蔗渣）作为能源投入。对于以纤维素为原料的估测化石燃料平衡范围跨度更大，反映了这一技术的不确定性以及潜在的原料和生产系统的多样性。

与之相类似，不同生物燃料对温室气体排放的净影响也可能存在很大差异。生物燃料产自生物质；因此，从理

论上来说，它们应当是碳中性的，因为其燃烧只会将其在植物生长过程中从大气中固定的碳释放回大气 — 这与化石燃料不同，它们的燃烧将储存在地层下数亿年的碳释放到大气中。然而，评价生物燃料对温室气体排放的净影响需要分析生物燃料整个生命周期的排放：播种和收获作物、将原料加工成生物燃料、运输原料和成品燃料、储存、分销及零售生物燃料 — 还包括机车使用生物燃

料的影响以及燃烧造成的排放。此外，任何可能减少排放的并发产品都需要加以考虑。因此，显然化石能量平衡只是生物燃料对排放的影响的多个决定因素之一。与农业生产过程相关的关键因素包括化肥和农药的使用、灌溉技术和土壤处理。与扩大的生物燃料生产相关的土地用途的改变势必产生重大的影响。例如，将林地改为生物燃料作物用地或者农作物用地改作生物燃料原料生产用地可能导致大量碳排放，需要很多年才能通过替代化石燃料取得的减排得以恢复。第5章进一步讨论了生物燃料与温室气体排放之间的关系，并评价了下列证据：生物燃料对气候变化的影响可能可能不会有变化，并不一定是积极的，或者说像最初经常认为的那样是正面的。

第二代液体生物燃料⁵

当前以糖和淀粉作物（乙醇）及油籽作物（生物柴油）为原料的液体生物燃料生产通常被称为第一代生物燃料。正在开发当中的第二代技术有可能利用木质纤维素。纤维素生物质比淀粉、糖和油更难以被分解。将其转化为液体燃料的困难使得这种转化技术更加昂贵，虽然纤维素原料本身的价格目前要比第一代技术的原料低。将纤维素转化为乙醇要经过两步：纤维素和半纤维素首先要被分解为糖，然后再将其发酵得到乙醇。第一步在技术上很具有挑战性，虽然研究工作不断开发出高效、低成本的方法来完成这一过程。但到目前为止商业可行性不足仍阻碍着第二代以纤维素为原料的生物燃料的大量生产。

⁵ 本节基于全球生物能源伙伴关系（2007）、国际能源署（2004）以及Rutz和Janssen（2007）。

由于纤维素生物质是地球上存量最大的生物质，成功开发出商业上可行的第二代以纤维素为原料的生物燃料，可以大大扩大可用于生产的原料的数量和种类。纤维素垃圾，包括农业和林业废弃物（秸秆叶子），加工过程产生的废弃物（坚果壳、甘蔗渣、锯末）和生活垃圾的有机质部分，都可能成为潜在的原料。然而，也很重要的一点是要考虑到生物质分解对于保持土壤肥力和质地的关键性作用；过分地索取用作生物能可能造成消极的影响。

专用纤维素能源作物有望成为第二代技术的原料。潜在的作物包括短周期的木本作物，如柳树、杂交杨树及桉树，或者草本作物如芒草、柳枝稷和草芦。这些作物象对于第一代技术的作物在环境可持续性上有着巨大的优势。与传统的淀粉类和油籽作物相比，它们的每公顷生物质产量更大，因为整个作物都可以用作燃料生产的原料。此外，一些速生型多年生植物，如生长周期短的木本作物和大植株的草类，有时可以在贫瘠、退化的土壤中生长，而侵蚀和其他限制因素，粮食作物生产在这样的环境下则非常困难。这两方面的因素都可以缓解与粮食和饲料作物生产争夺土地。不利的一面是其中有几种植物被认为具有扩散性或潜在的扩散性，并可能对水源、生物多样性和农业产生消极影响。

第二代原料和生物燃料还可能有助于减少温室气体排放。大多数研究预计，将来源自多年生作物和木本以及农业废弃物的先进的燃料可以显著减少与石油燃料和第一代生物燃料相关的生命周期温室气体排放。这源自单位面积更高的能源产出以及转化过程中使用燃料的不同选择。在目前的乙醇生产过程中，加工使用的能源几乎全部都是由化石燃料供给（巴西的甘蔗乙醇是例外，

它在转化过程中使用的能源绝大部分是甘蔗渣提供的）。对于第二代生物燃料，生产过程的能源消耗可以由植物残留的部分（主要是木质素）提供。

虽然纤维素生物质更难分解于转化为液体燃料，但它同时也更加耐处理，与粮食作物相比这就可以降低处理的成本并保持其质量。它也更容易储存，尤其是与糖基作物相比，因为它不容易腐烂。另一方面，纤维素生物质通常体积较大，需要良好的运输基础设施来将其在收获后运往加工厂。

为了使以木质纤维素为原料生产的乙醇在商业上具有竞争力，还需要克服巨大的技术挑战。现在仍然不确定何时用纤维素生物质转化成高级燃料可以在世界液体燃料供给中占到一个较大的比重。目前，世界上有几个正在运行或尚在建设中的示范工厂。生物化学和热化学转化方式的推广速度将有赖于目前正在进展的示范项目的发展和成功，持续的研究资金供给，以及世界油价和私营部门投资。

总之，以木质纤维素为原料的第二代生物燃料在对农业和粮食供给的影响方面呈现出迥然不同的景象。在目前第一代技术条件下使用的农作物之外有更为多样的原料可供利用，每公顷土地的能源产出也大为提高。它们对商品市场、土地用途改变和环境的影响也将不同——同样，它们对未来生产和转化技术的影响也不同（见插文2）。

生物能源的潜力

生物能源生产潜力如何？生物能源的技术和经济潜力应当置于这样的背景加以讨论，即全球农业产业面临做日益增加的冲击和压力，以及伴随着世界范围内人口和收入的增加，对粮食和农产

品需求的不断增长。技术上可行的生产方式可能在经济上不可行，或在环境上不可持续。本节更详尽地探讨生物能源的技术和经济潜力。

由于生物能源来自生物质，全球生物能源的潜力最终受到全球光合作用所产生的能源总量的限制。植物每年捕获的能源约相当于750亿吨石油当量（3150艾焦）（Kapur, 2004）——换句话说是目前全球能源需求的六到七倍。然而，这当中包括了大量无法采收的生物质。单纯从物理的角度看，生物质代表的是一种相对低效率的太阳能采集方式，尤其是当与效能日益高的太阳能电池板相比（粮农组织, 2006a）。

若干项研究计算了从技术上说可供应全球能源供给的生物质数量。它们的估计由于视角、前提假设和方法的不同而差异很大，凸现了围绕生物能源对未来全球能源供给的可能贡献率的高度不确定性。国际能源署最近开展了一次大规模的生物能源研究评估，根据现有的研究，2050年潜在的生物能源供给的变化范围下至10亿吨石油当量上至262亿吨石油当量（国际能源署, 2006, 第412-16页）。后一个数据是建立在技术快速发展的假设之上的；然而，国际能源署指出，一个建立在产出率提高速度较平缓且更加实际的评估是60-120亿吨石油当量。根据国际能源署的估测，若取其估测的中间值95亿吨石油当量，将需要把全世界农业土地的五分之一专门用于生物质生产。

比纯粹技术可行性更重要的是，技术上可行的生物能源潜力有多少具有经济上的可行性。长期的经济潜力关键取决于对化石能源价格以及农业原料生产和未来收获、转化和利用生物燃料的技术创新发展的假设前提。这些方面的详情将在第3章加以讨论。

插文 2

用于生物燃料生产的生物技术

许多现有的生物技术都可用来提高生物能源的生产。例如，开发更好的生物质原料，提高把生物质转化成生物燃料的效率。

用于第一代生物燃料的生物技术

目前被选用于第一代生物燃料生产的植物品种，是根据其与粮食和/或饲料生产有关的农艺性状，而不是基于是否有利于用作生物燃料生产的特性。生物技术可有助于加快挑选那些更适于生物燃料生产的植物品种——提高每公顷的生物质单产、提高含油量（生物柴油作物）或提高可发酵糖的含量（乙醇作物）、或改善其加工特性促进生物燃料转化。基因组学领域，即对一个生物体（其基因组）所有基因材料的研究，很可能会发挥日益重要的作用。第一代原料作物的基因组序列，如玉米、高粱和大豆等，有的正在处理之中而有的则已公布。除基因组学以外，可加以利用的其他生物技术包括标记辅助选择和基因修正等。

糖类发酵是用生物质生产乙醇的核心所在。然而，最普遍使用的工业发酵微生物，即酿酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）不能直接使玉米淀粉等淀粉材料发酵。首先必须使用一种被称为淀粉酶的酶来使生物质分解（水解）成可发酵糖。目前许多可从商业途径得到的酶，包括淀粉酶在内，都是利用转基因微生物生产的。科研工作继续开发自身可产生淀粉酶的高效基因酵母菌株，从而能够把水解和发酵这两个步骤相结合。

用于第二代生物燃料的生物技术

木质纤维素的主要成分是木质素、多聚糖纤维素（由己糖构成）和半纤维素（含有己糖和戊糖的混合物）。与生产乙醇的第一代原料相比，木质纤维素生物质的利用更为复杂，因为多聚糖更稳定，而戊糖不容易被酿酒酵母发酵。为了把木质纤维素生物质转化成生物燃料，多聚糖首先必须用酸或酶来进行水解，将其分解成单糖。目前利用几项生物技术措施来解决这个问题，包括开发可使戊糖发酵的酿酒酵母菌株；使用可使戊糖自然发酵的其他种类酵母；以及能把纤维素和半纤维素分解成单糖的酶工程。

除农林副产品和其他副产品外，用于生产第二代生物燃料的木质纤维素生物质的主要来源很可能会是“专用生物质原料”，诸如某些多年生草本植物和林木植物。现正在研究将基因组学、基因修饰和其他生物技术作为手段，来生产具备优良特性的植物用于第二代生物燃料生产。例如，木质素（一种不能被发酵转化成液体生物燃料的合成物）含量较少的植物；自身产生酶可使纤维素和/或木质素降解的植物；产生更多纤维素或生物质总量增加的植物。

看待生物燃料生产潜力一个不同视角是考察相对土地使用要求。在《2006年世界能源展望》对2030年所提出的“参考情景”中，国际能源署预测世界上用于生产液体生物燃料的生物质种植面积在世界可耕地中所占比例将从2004年的1%增加到2030年的2.5%。在其“备选政策情景”中，2030年的比例增加到3.8%。在两种情况下，其预测都是基于这样的假设，即液体生物燃料将利用传统作物来生产。如果第二代液体生物燃料在2030年到来之前实现广泛的商业化，国际能源署预测生物燃料在运输需求上的比例将增加到10%而不是参考假设情景中的3%和备选政策情景中的5%。土地使用的要求将仅仅略有增加，达到可耕地面积的4.2%，这是由于每公顷能源产出更高以及利用废弃生物质来生产燃料。不管怎样，这表明，即使在第二代技术情况下，假设中的对石油液体燃油的大规模替代将需要大规模改变土地用途。有关这一问题的进一步探讨，包括对各区域的影响请参阅第4章。

Rajagopal等人（2007）所做的假设性计算也说明了用目前的生物燃料技术替代化石燃料的潜力。他们得出了根据谷物和糖类作物的全球平均单产和常见的转化率生产乙醇的理论估测值。表3对他们的估测结论进行了概述。表中所示作物占目前作物种植面积的42%。将所有的作物转化成乙醇将能占到全部石油消耗量的57%。根据较为现实的假设，即把全部作物的25%用来生产乙醇，则石油消耗总量中只有14%可以被乙醇替代。

对各种假设前提的计算表明，鉴于其对土地的需求巨大，只能期待生物燃料在十分有限的范围内替代化石燃料。但即便生物燃料对能源总供给的贡献率有限，其对农业和农产品市场的影响也可能将十分巨大。

本章要旨

- 生物能源占世界能源总供给的10%左右。传统的未经加工的生物质占

表 3

用主要谷物和糖料作物生产乙醇的假定潜力

作物	全球面积 (百万公顷)	全球产量 (百万吨)	生物燃料单产 (升/公顷)	乙醇最大量 (10亿升)	石油当量 (10亿升)	供应量占2003年全球石油用量的份额 ¹ (百分比)
小麦	215	602	952	205	137	12
稻米	150	630	1 806	271	182	16
玉米	145	711	1 960	284	190	17
高粱	45	59	494	22	15	1
甘蔗	20	1 300	4 550	91	61	6
木薯	19	219	2 070	39	26	2
甜菜	5.4	248	5 060	27	18	2
合计	599	940	630	57

注：... = 不适用。所列数据经四舍五入。

¹ 2003年全球石油用量 = 11000亿升 (Kim和Dale, 2004)。

资料来源：Rajapogal等人, 2007。

其中的绝大部分，但商业化生物能源正在占据日益重要的地位。

- 用于交通运输的液体生物燃料最为引人注目，其生产也在迅速扩大。然而，从数量上看，它发挥的作用仍然十分有限：它只占全部交通运输燃料消耗的1%和全世界能源总消耗的0.2-0.3%。
- 主要的液体生物燃料是乙醇和生物柴油。两种燃料都可以用多种原料生产。乙醇最重要的生产国是巴西和美国，而生物柴油的最重要生产国则是欧盟国家。
- 目前液体生物燃料技术要依赖农产品为生产原料。乙醇以糖和淀粉类作物为原料，在巴西用的是甘蔗，在美国用的是玉米，这两种作物的用量最大。生物柴油则是利用一系列油料作物生产的。
- 生物柴油的大规模生产意味着要用大量的土地来生产原料。因此，可以认为在运输中液体生物燃料只能十分有限地替代化石燃料。
- 即使液体生物燃料只能满足全球能源需求的很小一部分，但是它们仍

然可能对全球农业及农产品市场造成巨大的影响，因为它们的生产要使用大量的原料并占用相应的土地面积。

- 当考虑到其生产过程中作为投入物使用的化石能源时，各种不同的生物燃料对于减少化石燃料消耗的贡献差异很大。生物燃料的化石能量平衡依赖于一系列因素，如原料特性、生产地点、农作方式和转化过程中使用的能源来源。不同的生物燃料对于减少温室气体排放的作用也各不相同。
- 目前正在开发中的第二代生物燃料将使用木质纤维素作为原料，包括木材、大型草本植物以及林业和农作物废弃物。这将会增加每公顷土地出产生物燃料量的潜力，并且还能够提高生物燃料的化石能量平衡和温室气体平衡。然而，尚不清楚这种技术何时才能够投入大规模的商业化生产。