



生物燃料的碳印迹

我们能否及时缩小它的影响范围？



根据可再生燃料标准 (Renewable Fuels Standard, RFS)——2007年能源独立与安全法案的一部分,到2022年,美国将每年生产360亿加仑的可再生燃料,到2015年,其中的150亿加仑将来自于玉米乙醇。乙醇转换工厂发展迅速。根据一个贸易团体——可再生燃料协会的数据,一年前全美有19个州的114家乙醇转换工厂,年生产能力为56亿加仑,另有80家在建的工厂,建成后产量会翻一番。美国的三位总统候选人以前都支持过粮食换乙醇计划, Hillary Clinton就曾在去年11月的一个竞选活动中呼吁,到2030年生产能力要达到600亿加仑(但是,由于担心以玉米为原料的乙醇生产会影响到食品供应,三位候选人后来都闭口不提)。

生产可再生燃料的目的并不仅仅是为了保证能源独立,也是为了缓解全球气候破坏——曾被联合国秘书长潘基文称之为“我们这个时代的明确挑战”。在众多令人担忧的问题中,气候变化已威胁到了全球食品供应。伍兹霍尔研究中心 (Woods Hole Research Center) 主任 John P. Holdren 在接受可居住星球 (Habitable Planet) 网站的访谈时说道:“目前气候变化对农业影响的模式是提前和加速农作物产量的降低。但该模式并没有充分考虑到温暖、潮湿的环境对农作物害虫和病原体的影响——任何一位生态学家都会告诉你,温暖潮湿的环境更有利于农作物害虫和病原体的生长”。

《纽约客》(New Yorker) 杂志在2006年11月20日刊出的 Elizabeth Kolbert 研究报道,二氧化碳(CO₂)——影响气候变化的主要温室气体——的排放,可引起海洋的酸化,大量毁坏位于海洋食物链最底层的浮游生物,并可抑制贝类生物壳体的形成。在全球大多滨海城市,气候变化也被认为是洪水泛滥的罪魁祸首。

2008年3月7日,美国环保署(EPA)发布了《1990~2006年美国温室气体排放和碳汇清单》草案(U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990~2006),并广泛征求公众对该报告的意见。报告中的数据表明,交通对CO₂排放的贡献占人类活动总CO₂排放量的27%。由于其可再生性,生物燃料被认为是能解决碳排放问题的最快速、最简单的方法。但是,《科学》杂志于2008年2月29日发表的两项研究已开

始降低人们对生物燃料的热情。这两项研究认为,开辟新耕地和将现有耕地转为种植生物燃料会引发“碳债”,即生物燃料种植的碳排放超出使用生物燃料的碳减排。这种碳债则需要数十到数百年才能完全偿付,偿付期长短主要取决于耕地原始碳含量、生物燃料种类和生物质转化成燃料的效率。因此,根据2007年2月的联合国报告《正视气候变化:避免难以掌控的局面出现,控制好不可避免的因素》(Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable),在避免气候灾害的关键时间期限内,生物燃料作物将会加剧全球气候破坏。

生物燃料支持者们辩解到,《科学》杂志上发表的这两篇文章并没有考虑到日益上升的农业生产力,并且忽略了汽油(比较的基线)对碳排放的影响其实是一个变量,汽油价格的升高能够刺激油沙的开采和煤的液化,这都将提升石油的碳印迹。支持者们坚称,这两项研究中没有对另外几个重要因素加以说明:蒸馏谷物(乙醇的副产品,是一种蛋白质丰富的家畜饲料)的价值、乙醇转化工厂产能的提高,和替代农业方法(如免耕种植)获取的碳截存。还有人认为,应用农业领域的一些我们做梦都想不到的创新性方法,将为我们提供更多的燃料和食物。但关于这些问题,上述两篇文章没有提及。

那么什么是生物燃料的碳影响呢?答案取决于许多未知因素。对于具有商业竞争力的环境友好生物材料,技术的进步能降低其生产成本吗?当不考虑环境约束、市场力能提供更高的利润时,这些生物燃料还能良性生长吗?耕种技术、转化效率和燃料里程的改善和提高能降低我们对液体燃料的需求,以至于在不适宜耕种粮食作物的土地上种植出来的生物燃料能满足全世界交通运输的要求吗?当商品价格飞涨的时候,文明社会能否发挥其政治意愿和管理的灵活性,以抵制开拓荒地种植生物原料的诱惑?人们能否改变其生活方式以进一步降低对耕地的要求?各种各样诸如此类的重要问题,决定了生物燃料到底是有助于建造一个可持续发展的未来,还只是威胁环境的一个失败选择。

现有生物燃料造成的碳债比较

由“自然保护”组织的区域科学主任 Joseph Fargione 和明尼苏达大学的生态学教授 David Tilman 共同

发表在《科学》的第一项研究表明，全球土壤和植物的碳存储量是大气的2.7倍。这种碳主要是以不能完全降解的有机碳（让土壤肥沃的物质）的形式截存。

Fargione研究显示，在排除气候恶化效应的时间框架内，清理未开垦的土地并在上面种植生物燃料作物的碳排放超出了其碳减排。研究报告显示，在烧荒清理耕地或植物的叶和细根茎降解时，CO₂能迅速释放。但在大的根茎或木制品腐烂时，CO₂释放速度减缓。

Fargione等人报道，生物燃料的碳债偿

一话题的更多内容，参见本期第6页的《是粮食还是燃料：农产品移作他用可能引发饥饿扩大》。

去除间接效应的生命周期研究发现，与汽油相比较，乙醇能减少20%的温室气体排放，生物柴油能减少50%的温室气体排放。在文章中，Searchinger等人发现，“与20%的减排相比较而言，玉米来源的乙醇在三十年内排放的温室气体，差不多是减排的两倍，而且将会在167年里持续增加温室气体。”文章还认为，到2016年，计划的玉米换乙醇占用的土地将会超过2004年

粗略算下来，需要50年来偿付。

位于明尼苏达州明尼阿波利斯市的Institute for Local Self-Reliance副主任David Morris争辩道，在美国，即使乙醇产量从0快速增加到50万加仑，但由于玉米产量稳定增长 [根据美国阿贡国家实验室的机动车和燃料系统分析师Michael Wang的数据，从1980年（玉米变乙醇项目的起始年）到2006年，美国玉米产量的年增长率为1.6%]，玉米田的面积总的来讲没有增加。Morris说，根据联邦要求，用于生产乙醇的玉米仍将会增加30~50%，但这将会通过增加产量来满足，而不是增加种植面积。然而，Searchinger提到，全球每12年就增加10亿人口，“每一亩土地用于燃料作物种植，就意味着少一亩种植食用作物的土地。”

《科学》杂志上发表的研究中，被用作比较基线的汽油的碳排放，其本身就是一个变量。当储油量紧缩而石油需求增加的时候，石油公司转向寻找不易提取的重油来源（例如加拿大油砂）和高效能技术（例如煤液化技术），但这些均能提高石油碳排放的基线值。据科学家关怀联盟2007年度报告《生物燃料：低碳饮食的一个重要组成部分》（*Biofuels: An Important Part of a Low-Carbon Diet*）的数据，与传统的从石油中提取汽油技术相比，油砂重油提炼将增加14%的CO₂排放，而煤炭液化则会增加83%的碳排放。

尽管有乙醇工业界的批评，但大量的翔实证据表明，的确存在二次土地替代的现象。由于美国生物燃料补贴鼓励农民由种植大豆转为生产玉米，大豆产量降低了19%，因此其价格也翻了近一番。史密森尼热带研究所的研究员William Laurance在2007年12月14日《科学》杂志的读者来信中提到，森林砍伐和大火毁坏了亚马逊地区的大豆和牛肉的主产区，但对大豆种植面积较少的国家影响不大。Laurance说，森林砍



在人类活动排放的主要温室气体CO₂总量中，交通运输占27%。生物燃料被认为是能解决大部分碳问题的最简单快速的方法。但两项最新的研究宣称，生物燃料生产中的碳排放超过燃料本身的碳减排。

还期从17年到420年不等。其中，用全世界生物多样性最丰富的巴西塞拉多草原上种植的高产甘蔗生产乙醇，估计的碳债偿付期约为17年，而将热带泥炭地出产的棕榈油转换成生物燃料则需要420年的碳债偿付期。如果在美国中部草原种植乙醇转化用玉米，碳债偿付期则为93年。如果在“美国土地休耕计划”中的闲置耕地上种植15年的玉米，那么美国需要48年的时间才能偿还其所产生的碳债。

《科学》杂志上发表的第二篇文章，第一作者为普林斯顿大学的客座研究员Timothy Searchinger。该文认为，即使将现有的种植食用农作物的耕地转为种植生物燃料用原料，所间接产生的碳债也将与闲置耕地差不多。原因很简单：即使这片耕地不用于种植食用农作物，不管是什么原因（包括转为种植生物燃料用原料），在全球食物供应系统中，必定会有另一块未开垦的土地被充分利用于粮食生产（关于这

全美家畜喂养的玉米用地的三分之一，“更多的这种土地用途转变将迫使更换用于生产乙醇的谷物。”另外，为解决燃料作物种植对动物喂养的影响，将用蒸馏谷物来替代大部分的动物饲料。

Searchinger及其同事用公认的、通用的经济学模型确定了土地替代的直接影响。除此之外，还有一些能加剧耕地替代需求的更细微效应。例如，未开垦土地通常有碳截存。因此，生物燃料作物的碳收益必需超过土地未开垦时的碳截存的收益。

另外，当美国的一块耕地被征用做燃料作物种植时，在世界的其他地方，可能就会有一块替代耕地，而通常因为缺少美国的科技强化援助，这些地方的产量并不高。因此，作者写道，为替代美国的一英亩耕地，对于南美草原或森林来讲，需要的土地面积不止一英亩。研究者们认为，如果在“美国平均产量的玉米田”里种植纤维素乙醇，那基本没什么收益可言。由此产生的碳债，

伐和大火的频发造成了大豆和牛肉价格的上升，研究也提示，亚马逊地区的森林砍伐和大豆需求间存在强关联。

自然资源保护协会 (Natural Resources Defense Council, NRDC) 的能源政策高级专家 Nathanael Greene 说：“巴西已采取法律强制措施，尽力减少森林砍伐现象。”他特别指出，在 2002~2004 年间，这些措施的确有效地降低了森林砍伐率，但 2004 年后，由于大豆等谷物的价格飞涨，森林砍伐又卷土重来了。的确，《时代》杂志 2008 年 3 月 27 日刊出的一篇文章写道，森林砍伐率“紧贴”芝加哥期货交易所 (Chicago Board of Trade) 上的日用品价格。

Greene 说，Fargione 和 Searchinger 文章中强调的潜在碳循环动力是“千真万确的”。然而，他补充到：“在下最终结论之前，还有许多非常复杂和重要的理论及模型的问题需要得到大家的关注。”

纤维素生物原料：未来原料的可行性

那些生长在边缘地带的纤维素原料几乎是碳中性的，为生物燃料提供了希望。这些原料甚至有碳捕获的作用，可以防止碳从土壤中逸出。此外，多年生的草本植物 (包括杂生的野草、芒属植物和柳枝稷) 和快生树种 (例如杂交的白杨和柳树) 几乎不需要肥料就能生长，而化石燃料是碳排放最密集的来源，大约三分之一的直接生命周期的碳排放与农业-工业玉米生产有关。而且，纤维素原料的供应非常充分，尤其是在美国。这种原料，包括了从碎胶合板到纸袋之类的任何东西，可以作为一种碳中性的原料。

纤维素农作物的生产能力也比玉米高。Tilman 说，多年生的草本植物能够捕获大量的碳，而每两年收割一次可以加速根系的生命周期从而增加捕获碳的能力。这些草类有大范围的根系，虽然其他部分死亡了，但根系却一直在生长，为土壤里增

加了大量的碳。Tilman 说，在种植这类作物的过程中，每公顷每年可以把 2 至 5.5 吨空气中 CO₂ 转化成有机碳存储到土壤里。

然而，纤维素生物原料的另一个特别重要的优点是，我们可以把几种不同种类的草进行混合种植，达到高产。2004 年 12 月 NRDC 发布的一个报告《增长的能源：生物燃料如何帮助美国结束石油依赖》(Growing Energy: How Biofuels Can Help End America's Oil Dependence) 说：“从环境和经济学的角度来看，这将对减少疾病和害虫的传播起到十分重要的作用。而另一种选择——化学品使用的增长——将会开始减少柳枝稷带来的环保益处。”

但是纤维素乙醇是否能够成为商业现实，仍然是空中楼阁。与把纤维素转换成淀

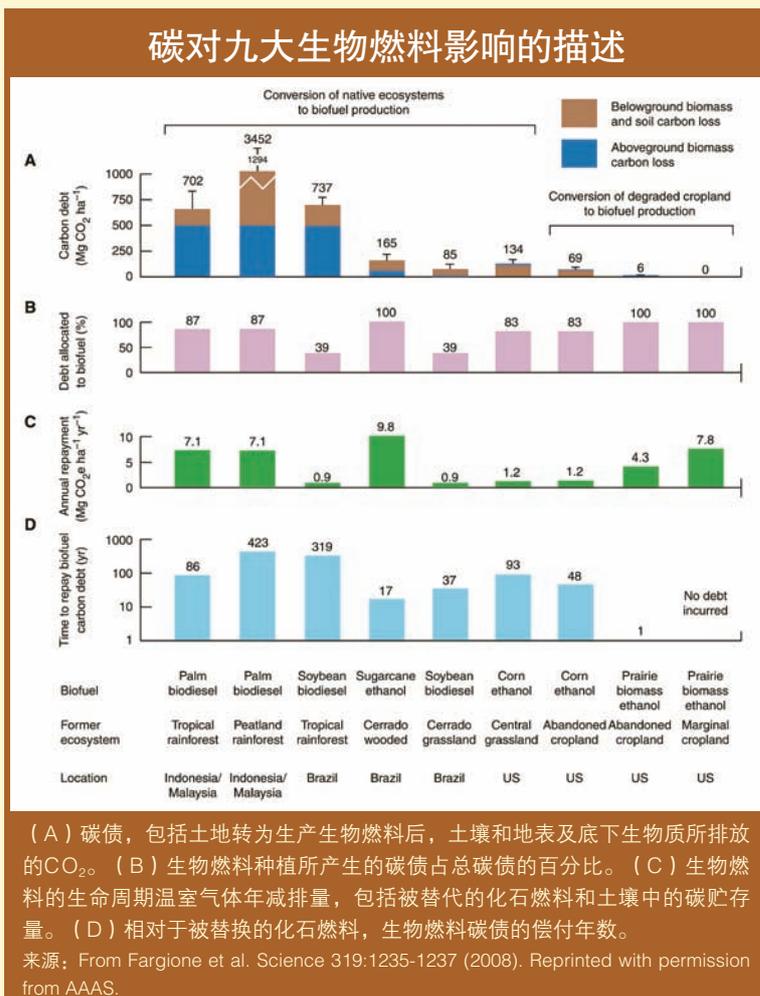
粉相比，把它转换成乙醇要困难得多。和纤维素相反，淀粉溶于水，很容易分解为发酵的糖分子；而纤维素虽然也是由糖组成的，但却不溶于水。

纤维素与植物的本质中的半纤维素和木质素相互啮合，使事情变得复杂。半纤维素是由糖分子组成的，比纤维素更难发酵。木质素不是由糖组成的，

不能发酵。国家再生能源实验室 (National Renewable Energy Laboratory, NREL) 的首席工程师 James McMillan 说：“你需要 [对纤维素原料] 进行化学预处理，这样酶才能进入纤维素。”

达特茅斯大学的环境工程设计教授 Lee R. Lynd 说：“一体化的生物加工能够大大降低把纤维素转换成乙醇的成本。”他在《自然生物技术》(Nature Biotechnology) 杂志 2008 年 2 月号上发表了关于这一课题的研究结果。他说，在这种过程中，一种厌氧型的微生物可以在纤维上生长，然后发酵乙醇，可以省略产生酶这一步。这不需要新的生物功能，只要通过工程技术把现有的两种功能合并到一种微生物中。

位于伊利诺斯州 Warrenville 的一个新创



立的公司正在尝试采用一种稍为不同的方法。能源公司Coskata用热把纤维素材料分解成CO、CO₂和H₂，这是一种已经十分成熟的方法。在一个专有的生物反应器里，一种已获得专利权的微生物把这些混合气体转换成乙醇。最后一步就是蒸馏。这种方法的一个优点是在这一过程中不需要对木质原中的三种成分进行分离。另一个优点是，其他的含碳材料，甚至轮胎，都可能作为原料。公司的首席市场官和副总裁Wes Bolsen引述阿尔贡国家实验室在2008年4月第五次世界生物技术和生物过程年会上展

之前，提高生物原料的能量密度，这可以通过很多方法实现，例如把原料进行碾磨或压缩。”

海藻：地球的浮渣会有用吗？

海藻是另一种潜在的原料，它突然吸引了人们的注意力、风险投资以及一些新成立公司的兴趣。雪佛龙正在与美国国家可再生能源实验室（NREL）进行合作，用海藻生产汽车燃料。高风险、高回报的国防高级研究计划署有一个项目，是用海藻制作喷气飞机燃料。壳牌公司在夏威夷建立了一个试验性的工厂，养殖能够产出油

可能会有地址上的局限性。

这种技术面临许多挑战，大部分挑战最终归于成本。海藻生产系统需要许多土地（开阔的浅池塘可以让海藻接触到更多的阳光以进行光合作用）和许多靠近碳来源的水。选址也十分重要：海藻开以在开放的水域或封闭的系统里生长，但是在开放的浅池塘（比如在西南地区的沙漠里有这种池塘）地区，那里有很多的阳光，水的蒸发和更换是一个问题。而另一方面，封闭的系统，所需的资金成本太高。

利用海藻的另一个挑战是，它们倾向于在饥馑的情况下产生最多的油类（这是预计到可能面对困难时贮存能量的一种方法），这对于产量会产生负面的影响。海藻可能最终需要通过基因工种的方法以产生最高的效益，在这一领域有许多研究正在进行。但是为了特定产品的产量而通过基因工程产生的生物通常不能理想的适应生存，甚至在封闭的系统里也不得不对它们进行保护以防止野生的竞争者。Darzins对此的看法是：“没人知道这些竞争者会是什么”。

马萨诸塞州剑桥市的绿色燃料技术公司，是目前倍受观注的众多新兴试验性机构之一，这些机构用海藻生产生物柴油。这个公司把发电厂的烟道气体注入到一个封闭的系统内作为CO₂的来源。Cary Bullock是该公司商业发展部的副主任，他说根据该公司的设计原型（他描述为一个1英里长、10英尺宽的设施），该公司的设计能力大约为每英亩能够生产2000~7000加仑的燃料。

在去年夏天，当绿色燃料技术公司把海藻养殖在该公司与亚利桑那州公共卫生部门一起运作的一个试验性封闭系统中时，海藻的繁殖过于迅速，这是公司始料未及的，使公司遇到一次挫折。为了收获这个系统中的海藻变成了一种负担，以至于当微米大小的海藻阻塞了捕捞网膜上的



那些生长在边缘地带的纤维素原料几乎是碳中性的，为生物燃料提供了希望。这些原料甚至有碳捕获的作用，可以防止碳从土壤中逸出。但是纤维素乙醇是否能成为商业现实，仍然是一个空中楼阁。

示的一个研究，表明与汽油相比，生产的乙醇可以把温室气体排放降低多达96%。一个商业化的工厂正在封顶，在2011年开始运作，通用汽车公司对这个公司有极大的兴趣。

McMillan说，对于生物原料来说，大规模生产仍然是个大问题，因为它的能量密度—每单位重量可利用的能量—比化石燃料要低。他说：“这使得收集和把它运输到一个转化设施有点麻烦。你不能象石油或天然气一样用管道把它输送到别处”。他还补充说，一旦到了工厂，“你要经过一个稀释的过程，这将占用更多的贮藏罐，需要更多的能量进行蒸馏…… [和化石燃料相比] 资金成本将会加倍”。

此外，NDRRC的报告（它由一个主要由校院科学家组成团队撰写，包括Lynd）说：“尽管以前还没有出现过供应如此大量低密度生物原料到一个地方的后勤设施，但是可以很容易地设想出完成这一任务的系统。”他说：“关键的挑战是在运输

类的海藻，这些油能够转变成生物燃料。

从碳利用的角度来看，海藻有许多潜在的优势。它不会与陆地的农作物竞争土地甚至必需的淡水，因为许多种类的海藻生长在盐水或海水中。它们繁殖只需要几个小时，这意味着和陆地植物相比，它们的产量可能要高很多。Al Darzins是NREL国家生物能源中心的一个小组负责人，他说：“我们每年可以从每英亩海藻得到5千加仑（燃料）”。而每英亩黄豆只能产生48加仑，玉米也只不过是黄豆的10倍。海藻自然生产的油料比乙醇所包含的能量大约多50%，这种油料很容易就能适用于目前的燃料工厂生产（相反，乙醇吸水，会在交通工具中产生腐蚀问题以及引起管线不能工作）。

海藻潜在的生产率，大部分来源于植物生长的一个关键限制因素——非常低的CO₂浓度——可以在水中轻易地得到突破，仅仅通过往水中注入高CO₂浓度的气泡就行，例如注入从化石燃料的火力发电场排放的尾气。然而，这种需要有碳来源场所的条件

小孔时，不得不关闭这个系统。同时，这个系统花费的成本是预期的两倍。虽然公司已经削减了开支，Bullock把这件事看作是新技术发展过程中伴随的正常的经验摸索。此外，他把这次始料未及的高产看作是这种技术的潜力的一种征兆。

Bullock对这种系统的细节和未来的计划没有透露很多，只是说要使该技术商业化仍需要几年的时间。但是Xconomy，一个在线商业杂志在2008年3月14日报道这家公司已经签署了一个9千2百万美元的协议，准备在欧洲建立一个以海藻为原料的工厂，这个协议是否生效将视一个正在进行的小规模试验项目的成功与否而定。

可能的前景

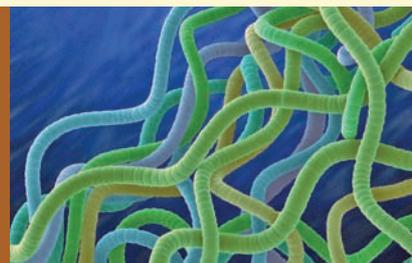
如果生物燃料将在减轻导致全球变暖的排放中扮演重要角色，还需要有足够高的产量才能对正在迅速增长的石油消费产生明显的扼制。目前还不能对此确定。2005年美国农业部和橡树岭国家实验室发布了一个报告《把生物原料作为生物能源和生物产品工业的原料：每年提供十亿吨燃料的技术可行性》(Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply) (通常称为“十亿吨研究”)，该报告认为美国的生物原料每年大约能产生13亿吨的燃料，足够取代目前美国大约30%的石油消费(这一数字在2050年大约会翻一番)。这些生物原料的绝大部分来源不会与食物产生竞争，包括农作物残留物、动物粪便、建筑废料或废城残骸等。根据该报告，“我们只需要对土地使用、农业和林业的耕作进行适度的改进。然而，不能把这种潜力看作是一种上限”。

另外一些人较为谨慎。Jeremy I. Martin是忧思科学家联盟(Union of Concerned Scientists)的一位清洁交通工具分析师，他说这个报告“被认为较为乐观”，他引述联

邦“可再生燃料标准”的目标，即到2022年产生210亿加仑的高级纤维素生物燃料，认为“在我们对生物原料资源的利用性了解更多时，这是一个合理的起点”。这个数字大约只是“十亿吨研究”的产量的五分之一，占目前所消费的石油的10%。Martin说，一个修订的“十亿吨研究”预计在今年夏天(指2008年夏。编者注)出台，其中会探讨一些类似的问题。

但是NRDC的报告《增长的能源》对压缩需求以适应潜在的供给表示乐观。这个报告花了几页的篇幅描述如何削减为全国的机动车提供燃料所需要的土地，按目前的运作方式估计，在2050年需要17亿5千万英亩(和目前所需的4亿英

从碳利用的观点看来，海藻有很多潜在的优势，其中之一就是利用废二氧化碳加速光合作用。由于需要一个碳源场所，这在一定程度上限制了选址。



亩相比)的土地，可以想法从中削减掉大约6百万至4千8百万英亩。这个报告假设把机动车的功效提供高到每加仑50英里(根据丰田混合动力车Prius所显示的，目前的技术可以很容易能达到这一水平)，把预计2050年所需的2890亿加仑的汽油——考虑到50%的人口增长所得到的数字——削减至1500亿加仑。这个报告声称“明智的增长”可以进一步把需求降至1080亿加仑。

为了满足剩下的需求，这个报告求助于先进技术，把柳枝稷的能量转换成乙醇、用热化学转换把柳枝稷不能发酵的成分转化为汽油或柴油，把目前的土地产量从目前的每英亩每年5吨提高到大约每英亩每年12.4吨，根据各种报道，这是一个合理的保守估计。该报告还建议把目前大部分用于种植黄豆的7300万英亩的土地用于种植柳枝稷，并收集75%的玉米秆、叶和谷物

收获后留在田间的干秸(剩下的25%用于保持土地质量)。此外，叶中的蛋白占了柳枝稷成分的10%，可以在生产过程中回收用于动物饲料。

《增长的能源》的一个共同作者Lynd预测，当农民们从应付产量过剩——上个世纪主要的问题——转向学会“如何从有限的土地中收获更多”时，会有一次农业变革。但是，保持任何变革的可持续性依赖于把农业-工业碳循环——目前对这一理论的科学描述仍然十分粗糙——与市场的激励和规章制度相结合，尽管Greene认为“政客们的过于迟钝或过于腐败将证明是真正的威胁，使这种结合不可能以任何理想的方式实现。”

目前的联邦RFS展示出来了在保持一个变革的可持续时所面临的困难。对于起跑者来说，标准在技术上不是中立的；它不仅设立了目标，而且指定了达到这一目标所需的方法。尤其是RFS要求使用生物燃料，虽然再生电能或燃料的生产是随着再生电能一起，例如氢，可以给汽车提供能量而且比汽车产生更少的碳排放。

此外还存在一个法律上的漏洞。虽然法规要求生物燃料企业降低温室气体排放，比汽油至少低20%，但在这一法案签署的时候，所有正在建设中的转化设施都被豁免了。这些设施，其产量将占150亿加仑的80~85%，将最终明显增加温室气体排放——例如，如果它们使用煤炭作为能源的话。

和RFS相比，Greene和Martin更喜欢加利福尼亚州的低碳燃料标准(Low-Carbon Fuel Standard, LCFS)。加利福尼亚的政策

签署成为法律较早，在2007年，它要求在本州出售的燃料，要在2020年把平均碳生命周期排放降低10%，到2050年降低80%。这就迫使燃油公司出售足够多的生物燃料以降低他们所售出的所有燃料中的平均含碳量，从而达到法律要求的指标。其他州，包括华盛顿、俄勒冈、亚利桑那、新墨西哥和明尼苏达，也在考虑采用相似的标准。

虽然LCFS比RFS更受欢迎，经济学家们更倾向于采用总量控制与交易制度或碳税。加利福尼亚大学戴维斯分校的一位经济学家Christopher Knittel说，LCFS在经济学上的效率不高，因为它本质上是对

政治的因素

但是，总量控制与交易计划有政治上的弱点。欧盟的计划已经出台，但受到强烈抨击，因为配额是直接给与企业而不是通过拍卖的方式。因此，欧盟本质上是给配额提供补贴，并且分配给企业的排放额度比它们实际上使用的额度要多。根据世界观察研究所《2008年世界情况报告：可持续经济的革新》(State of the World 2008: Innovations for a Sustainable Economy)，因为这一原因，在2007年初，配额的价格从每吨高达34美元直线下跌到不值一文。

一个位于阿姆斯特丹的跨国界研究所

排放配额，并考虑把收入的一部分用于资助与气候有关的项目。

Knittel说，和那些含“税”的字眼相比，总量控制与交易项目从政治角度看来更好听一些。此外，加拿大不列颠哥伦比亚省已制定了碳税。该税率最终会上升至对排放的每吨CO₂征收30美元，或大约每加仑汽油30美分。Knittel说，这项征税将通过在其他方面减税的方式返回给个人或商业。

对总量控制与交易项目、碳税和其他法律是否以及如何规范农业土地使用的碳排放和土地使用置换还需拭目以待。一个主要的问题是，在市场激励很有诱惑力的情况下，政策将会产生多大的作用。Searchinger说，如果商品的价格上涨，农民们将尽可能多地在低成本的情况下提供自己的产品，实现这一目标的一个方法就是开耕新的土地。如果法规约束这种供应，穷人们就会吃得更少。

Greene说：“如果生态学解决方案不是经济上划算的解决方案，那么它们就行不通。不具有经济学上可持续性的方案也不是环保上具有可持续性的方案”。

不过，对于低碳生物燃料的成长以及它们增长到足够多的程度以预示合理的美好未来，《增长的能源》的作者们和Greene的总体态度还是乐观的。但是，在2008年2月8日Greene发布在NRDC博客上的一篇随笔“生物燃料：谢天谢地，还没的静悄悄地死去”中的陈述，显示出对于人类制度是否能够做出正确的选择的悲观。他写道：“当然，我们通过真正的政策和真正的市场能够获得的低碳生物燃料的数量会远远小于我们希望的那么多，这十分可能（采用Searchinger的表面价值的数字就非常可能）。这使得制定一个联邦的低碳燃料标准比以往更为紧迫。”

—David C. Holzman

译自 EHP 116:A246–A252 (2008)



如果生物燃料在减轻导致全球变暖的排放中扮演重要的角色，还需要有足够高的产量才能对正在迅速增长的石油消费产生明显的扼制。

汽油征税的同时，它对乙醇进行了补贴。“我们并不想对乙醇补贴，因为乙醇仍然产生碳，只不过比汽油少；和汽油相比，我们只想对含碳较少的乙醇征收的税比汽油少一些”。

碳税和总量控制与交易计划都是只根据碳含量对所有的燃料——和理论上所有其他的温室气体排放源——征税。因此，在技术上它们是中立的。经济学家们说，花费最少的减少全球碳排放的方法是对所有排放者平等地征税。

在总量控制与交易计划下，一个政府要设立排放的限额以及分配在该碳排放总量下的配额。污染的企业要么找到一种减少排放的方法，要么从其他能够更好地减少排放的企业那里购买配额。京都议定书（美国没有签署该条约）允许它的178个签署国（至2008年4月28日）按照至2012年把碳排放减少到1990年的水平这一目标建立在总量控制与交易计划。

有个项目叫“伦敦碳交易观察”，它的客座研究员Kevin Smith说：“这些基于市场的方案的问题是，在集体游说提案通过的每一阶段，它们具有先天性的弱点。那些最会拉关系的国家得到了最多的排放总额。”

此外，批评者认为最大的漏洞是企业能够购买“配额”，《2008年世界情况报告》称之为一种“廉价的信用额”。这些配额对那些试图降低排放的发展中国家的一些项目有帮助。但是“这些项目仅仅补充化石燃料的使用，而不是替代它们”。英国的一个非政府组织The Corner House的Larry Lohmann在2007年《合成/再生》(Synthesis/Regeneration)的春季号中写道：“即使风车和生物燃料工厂遍布陆地也没有多大作用，除非停止化石燃料的开采。”

总量控制与交易项目的漏洞是可以避免的。例如，根据《2008年世界情况报告》中报道，大西洋中部和东北部的9个国家联合开展了“地区温室气体行动”，计划拍卖