利用边际土地开发生物质能源研究综述

刘婷婷[1]，马忠玉[2]，谢海燕[3]

(1.北京工业大学循环经济研究院，北京 100124；2.国家信息中心，北京 100045；3.国家发展与改革委员会经济体制与管理研究所，北京 100035)

摘要：粮食作物用于生产生物质能源的需求不断增加将导致“与粮争地”的矛盾日趋激烈，利用边际土地种植非粮能源作物已成为缓解“粮油矛盾”的一个重要方向。基于此，从边际土地生产潜力，利用边际土地的经济性、环境影响、政策驱动等方面对利用边际土地开发生物质能源的相关研究进行了系统梳理。综述结果显示，目前有关利用边际土地开发生物质能源的研究才刚刚起步，研究大多集中于对边际土地生产潜力的分析，仅有部分研究对如何利用边际土地进行了宽泛的论述。由于实证数据的欠缺和模型方法的不完善，定量分析相对较少。已有研究表明合理利用边际土地开发生物质能源具有较大的能源供给潜力，但在边际土地上大范围种植能源作物的经济可行性、对生态环境的影响以及利用边际土地导致的区域土地直接与间接变化币口政策作用效果等内容都应在未来的研究中进行更充分的分析和讨论。

0引言

随着世界能源需求的增加以及全球对气候变化问题的关注，生物质能源的发展已成为各国保证能源安全和应对气候变化的重要发展战略之一。

生物质能源能够为国家可再生能源的供给作出贡献，与煤、石油等化石燃料相比，还具有减少温室气体排放的“碳中性”潜质。生产生物质能源的原料有玉米、小麦等粮食作物，含有纤维素类的能源作物和废弃生物质等。目前，大多数国家生产生物质能源还是以玉米乙醇等第一代生物燃料为主。然而，粮食作物用于生产生物质能源需求的不断增大将导致“与粮争地”的矛盾突显以及国际粮价严重波动。利用边际土地来种植能源作物发展第二代生物燃料已成为缓解粮油矛盾的一个重要方向。边际土地一般是指那些尚未被利用，质地较差的土地。

这种土地较难用于粮食作物生产，但有的却能用于种植抗逆性较高的能源作物，具有一定的开发潜力和价值。利用边际土地开发生物质能源的具体表现形式，即为在边际土地上种植能源作物，之后利用能源作物作为原料来生产生物质能源。能源作物是重要的生物质资源，有关能源作物的定义较多，目前还没有一个统一通用的定义。在已有的研究中，能源作物一般是指专门用于生产生物质能源的一年生和多年生植物。

我国在2006年1月1日实施的《中华人民共和国可再生能源法》中对能源作物的定义是“经专门种植，用以提供能源原料的草本和木本植物”。我国的基本国情是人口众多、耕地资源较少，因此发展生物质产业的原则应是在保证粮食安全的前提下再发展生物质能源。如何既保证生物质产业的发展以减少对石油的过度依赖，同时又保障粮食安全，利用边际土地种植能源作物为缓解“燃料与粮食”之间的矛盾提供了一个潜在的、有前景的解决方案，同时也为生物质产业的发展提供了新的方向。

虽然利用边际土地种植能源作物可以缓解由粮食作物作为原料生产生物质能源所带来的粮食安全问题，但是考虑到利用边际土地大范围地种植能源作物的经济可行性以及相关的环境和社会效应时，对边际土地的使用也不容乐观。目前已有的研究中，几乎没有综合考虑利用边际土地种植能源作物所产生的经济、环境与社会效益的内容。一份来自“欧洲燃料技术论坛”的报告中提到，最近很多研究中已经开展了在低肥力边际土地上的作物种植模拟实验。大多数研究结果表明该类土地具有较大的开发潜力。然而，利用边际土地必须要同时满足经济和可持续性指标使其具有竞争力。基于此，本文将从边际土地的可得性、边际土地的生物质产量，利用边际土地开发生物质能源的经济程度以及环境影响，边际土地纳入生物质生产的有关模型分析、政策驱动等方面进行梳理和评述。最后，对该研究领域已有研究进行总结，展望未来研究潜在空间，以期对未来更好地利用边际土地发展生物质能源，探索制定相关政策的作用提供一些参考。

1利用边际土地开发生物质能源的生产潜力研究

1.1边际土地的可得性

据估算，全球废弃农业土地面积约为3.85亿～4.72亿hm^2，其中很大一部分是无法被传统农业所利用的土地。Cai等的最新研究表明，全球废弃和退化的土地面积为3.2亿～7.0

2亿hm^2
，如果加上草地和灌木，总面积将达到11.07亿～14.11亿hm^2
。Milbrandt等估算了亚太经贸合作
组织成员国可利用边际土地的面积大约为4亿hm^2
，占成员国国土总面积的6.5%。其中，边际土地面积最大的国家为澳大利亚、加拿大、中国、俄罗斯和美国。加拿大的边际土地面积约为3 760万hm^2，占土地总面积的3.8%；中国的边际土地面积为5119万hm^2，占土地总面积的5.4%
。美国肯塔基州大学的农学研
究者发现，该州有20%的土地未完全使用，其中190万hm^2
的土地未用于粮食生产，30万hm^2
的土地为矿山废弃地。如果将这些边际土地用于种植本地草本植物(如柳枝稷)，生产出的生物质能源能够满足该地区17.2%的能源需求。

我国已经开展了有关边际土地的可得性以及将其用于生物质生产的潜力研究。2008年农业部进行了全国范围的边际土地调查，结果表明我国适宜用于能源
作物种植的边际土地面积为2680万hm^2
(不包括冬季闲田)，这些边际土地主要分布于我国长江以南的贵州、云南、湖北、湖南、江西、四川、广东等地区；同时，调查将可利用边际土地划
分为4个等级，其中一级边际土地面积为433.33万hm^2
，占总面积的16.2%；二级边际土地面积为873.33万hm^2，占32.6%；三级边际土地面积为1
373.33万hm^2，占51.2%。按照60%的平均垦殖指数计算，我国现有的边际土地中可用于生产生物质的土地为1
608万hm^2。

在我国可以转换为能源用途的植物有200多种。如果将这些可垦边际土地全部用于种植能源作物，每年可以生产出约4542万t
生物质燃料。严良
政等也对我国的边际土地进行了研究
，结果表明我国边际土地面积为8230万hm^2，其中2400万hm^2
是可耕地。考虑到运输方面的经济可行性，其中有700万h
m^2
可用于能源作物种植。严良政等的研究结果与农业部的调查结果略有不同，结果的差异主要是数据的获取方式以及对边际土地定义的不同所致。Zhuang等采用多要素分析方法对中国适宜生产生物质能源的边际土地进行了识别。结果表明，中国可以大范围种植能源作物的边际土地面积约为4380万hm^2。

如果将其中10%的边际土地用来种植能源作物，那么可以生产出1340万t的生物燃料。王小兰等研究认为四川省油桐适宜和较适宜种植的边际土地面积分别为46.14万和64.12万hm^2。

1.2边际土地上的生物质产量

除了土地的可得性，另一个决定边际土地生物质生产潜力的重要因素是生物质产量，它是进行经济分析的基础。由于边际土地的种植条件较差，一般来说，生物质在边际土地上的预期产量低于其在其他类型农业生产土地上的产量。Tilman等、Campbell等、Bauen等研究认为边际土地的年均生物质产量分别为4.5t／hm^2，4.3t／hm^2和2～5t／hm^2。Hoogwijk等估算了在退化土地及相似土地上木质和草质生物质的年均产量为1～10t／hm^2。虽然边际土地上生物质的产量很大程度上取决于土地类型和退化程度，但是只有Nijsen等研究了不同退化程度的边际土地上生物质产量的差异
。Nijsen等的研究结果表明，随着土地退化程度的加剧，年均生物质产量由10.1t／hm^2减少到2.7t／hm^2。

但是还有一些研究表明退化土地上的生物质产量并不像想象中的那么低。例如，McElory等发现在爱尔兰的边际土地上生长的短周期灌木柳树的年均生物质产量为12～15t
／hm^2
。Metzger等指
出木质能源作物大叶合欢和
印度实竹在印度干旱热带矿山破坏区的年产量分别为20t
／hm^2和32t／hm^2
。美国密歇根大学正在进行一项实验研究，将休耕农田用于种植能源作物，采取不同的种植技术与管理方式，以期获取在不同技术和管理水平下的种植产量，但是到目前为止，还没有公布研究结果。北京农林科学院在北京市郊边际土地开展木

质纤维素草本植物
规模化示范种植实践，研究表明荻在京郊挖沙废弃地上的生产潜力为2.31t／hm^2，具有一定的生产潜力。

有关边际土地上生物质产量的研究还有待进一步系统化，尤其是对不同退化程度的边际土地上种植不同能源作物所能获得产量的研究还需要进一步加强和完善。这些研究结果将为边际土地种植能源作物的生产潜力研究和经济有效性分析提供更可靠的依据。

2利用边际土地开发生物质能源的经济、环境与政策分析

2.1利用边际土地开发生物质能源的经济分析

是否将边际土地用于生物质生产取决于很多要素，其中经济要素是进行任何行为和决策都要考虑的因素。目前，有关能源作物生产的经济分析较多，但是对于在边际土地上种植能源作物的经济分析相对较少，且大多泛泛而谈，缺少相应的理论和经验分析。

生产成本是决定在边际土地上开发生物质能源经济可行性的一个主要参数。很多边际土地处于正常生产力土地的边缘区域，因此边际土地的形状大多不规则。不规则的土地形状会导致生产的重复投入，如燃料消费、工作时间的增加以及种子、杀虫剂和肥料等的重复投入，由此会增加生产投入成本。但是种植多年生草本或木质生物质能源作物可以较大程度地减少重复投人，具有比较优势。

由于边际土地一般处于偏远地区，较高的运输成本也会增加总的生产成本。然而，边际土地一般没有地租或者地租很低，因此又可减少生产成本。综上所述，总的生产成本主要是由边际土地的退化程度、种植的作物种类和当地的政策等要素综合决定的。

目前，评估边际土地生产生物质的成本和经济潜力的研究较少，但这对政府和农户利用边际土地决策又非常重要。Singh等评估了印度农林复合系统含钠的土壤，发现利用处于农林复合系统的含钠土壤生产生物质是一种经济可行的土地选择。比起薪材和木炭的市场价格，生产生物质的成本更具有比较优势。但是，该研究只是关注含钠的边际土地，没有关注其他类型和不同退化程度的边际土地的可利用情况。Wicke在研究中发现，相对于市场价格，在边际土地上生产生物质的成本是具有竞争力的。同时，他根据净现值评估了南亚农林系统不同盐碱程度土壤的经济绩效。虽然在研究的3个案例中，净现值均为正值，但分析结果表明生产生物质的经济绩效很大程度上取决于土壤的盐碱度、树木轮伐周期、木材产品市场、碳交易的可能性以及折现率。

2.2利用边际土地开发生物质能源的环境影响

在边际土地上种植能源作物具有修复退化土地、增加碳捕获等积极的环境影响，但是如果边际土地原本是被牧草所覆盖，为了生产生物质能源清除牧草，将其转换成能源作物种植土地，则会影响土壤碳库存。而且，在分散的边际土地上生产能源作物，由于运输距离较长，会增加燃料消费量，从而削弱能源作物在温室气体减排方面所产生的积极作用。潜在碳排放的增加可能成为发展能源作物的一个障碍。因此，在发展能源作物时有必要进行生命周期分析来评估其在温室气体减排方面的潜力。

Gutierrez等认为如果将已经用于生物质生产的边际土地停止生产，会导致土地的进一步退化，同时还会导致在该土地上很难再建立动植物群系。威斯康星大学麦迪逊分校的研究者通过计算分析了在边际土地上生产生物质对鸟类多样性的影响，结果表明生物质生产会对美国中西部的鸟类多样性产生有益的影响。Wicke分析了在边际土地上生产生物质的环境影响。结果显示在边际土地上生产生物质既会产生积极的环境效应(例如增加碳捕获，改善土壤肥力，减少土壤侵蚀)，也会导致一些负面的环境效应(例如加剧水资源匮乏地区的水资源短缺)。因此需要更多的研究来确定在什么样的条件下可以避免或最大程度地减少利用边际土地生产生物质所产生的负面环境影响。

2.3将边际土地纳入生物质生产的模型分析

目前，一些研究已经开始尝试利用模型来分析将边际土地用于生物质生产的影响和变化，然而这些研究都还处于起步阶段。Gopalakrishnan等评估了利用边际土地和受污染水源种植能源作物的可持续性，同时讨论了在边际土地上种植纤维燃料作物如杨树和柳枝稷的生产潜力，并将其纳入到最优化系统分析中。Zhang等开发出一个利用EPIC(environmental policy integrated climate)模型的空间方法，用该方法模拟了将“农地保留计划”的土地和边际土地转化为作物生产用地后的影响。同时，由研究结果探寻区域粮食、燃料、环境质量和温室气体的潜在变化情况。Birur等提供了一个用来分析在边际土地上生产生物燃料的全新框架。分析结果显示，尽管边际土地较差的可利用性阻碍了耕作类型的

大尺度转变，但是间接土地利用变化会受到显著的影响。间接土地利用变化主要是指为补偿利用牧场种植能源作物而导致的森林砍伐的增加。

2.4利用边际土地开发生物质能源的政策驱动

随着粮食安全问题的逐渐显现，边际土地的利用受到了世界各国的广泛关注。目前已有部分国家出台了相关政策，鼓励边际土地的使用。印度已经设定了能源目标，到2017年印度全国柴油和汽油中生物柴油和生物乙醇的混合比例最少要达到20%，其中规定生物柴油必须来自种植于边际土地上的非食用油料籽。我国自2005年颁布《中华人民共和国可再生能源法》以来，政府相关部门也陆续出台了一些促进利用边际土地种植能源植物的相关政策，鼓励适宜的地区利用边际土地资源发展能源作物种植。如2007年国家发展与改革委员会在可再生能源发展“十一五”规划中提出：合理开发利用边际土地资源，能源作物和能源植物的种植做到不与民争粮，不与粮争地，不破坏环境，不顾此失彼，处理好生物质能利用与生物质其他用途的关系。云南和贵州省政府已经计划开始利用荒地种植麻风树来开发生物质能源。

3研究评述与展望

基于以上的文献综述，在利用边际土地开发生物质能源方面，还需要进行更多的研究。已有的研究大多关注于生物理化方面，如识别边际土地，评估边际土地的生产潜力。这些研究为进一步的研究提供了基础数据和信息。但是在将边际土地用于生物质生产的经济可行性和环境效应等方面还需要更多系统化的经济与环境分析。“什么样的证据可以证明利用闲置或边际土地生产生物质能是在不引发间接土地利用变化的基础上，以既可持续又经济的方式来实现生物能源目标”这个问题目前还没有得到解答，已有研究的不足和未来研究的空间主要可以归纳为以下几个方面：

1)边际土地定义不清以及缺少综合的边际土地识别系统。

很多评论者表达了对概念模糊这一问题的关注，但并没有做出相应的实际研究。“闲置”、“废弃”和“退化”等词往往被随意用来描述边际土地。实质上，这些词语在不同的情形下有不同的意义和内涵。随意使用这些术语很可能导致混淆和误解。为了促进能源作物在未用于农业使用的土地上生产，在描述土地的术语方面应该有一个全球性共识。

虽然很多学者在他们的研究中定义了边际土地，但是都是从生物理化的角度进行定义的，没有将其与社会经济相联系。相反，在如何将经济概念与土地分类和识别边际土地的方法相关联这方面，已进行了很多的讨论。然而，鲜有研究从综合的角度定义或定量化这种假设性的土地资源，由经济学家们研究出的土地分类方法也没有用于研究生产生物质的边际土地的识别。

2)各种类型土地生产力评估的有效数据不足。

评估和划分农业土地已经有很长的历史，不同的组织和国家都有自己的土地分类系统和方法，如联合国粮食与农业组织、加拿大农业部。

土地生产力是评估划分土地并建立土地适宜性等级最常用的参考依据。土地生产力可以用产出量或产出效益来衡量。生产力是土地经济评估的必要条件。然而，在评估边际土地生产力时遇到的一个主要问题就是边际土地并没有用于集约型农业生产，因此很难获得边际土地上作物产量的实际数据。虽然有一些生物物理模型可以用来模拟能源作物的产量 卜，但是这些模型几乎没有用于模拟作物在边际土地上的产量，而且即使利用模型模拟，也很难证明数据的有效性。地租是衡量土地生产力的一个替代性指标。Birur等利用地租的概念识别边际土地的生产力，但是只分析了草地和闲置土地，没有包括可以用于生物质生产的所有边际土地类型，因此准确识别各种类型边际土地的生产力有待更多的研究。

3)缺少综合的经济与环境影响评价。

很多研究者已经对边际土地的生物质生产潜力进行了评估，但是他们中大都没有综合评估其经济性、环境影响以及社会福利，只是从理论角度评估了生产潜力。

在经济分析中，需要重点考虑边际土地的生物质生产成本，它在很大程度上决定了生物质在边际土地上的生产可行性。同时，还有必要进行在不同种类和退化程度边际土地上的生物质生产成本和经济潜力的研究。

在环境影响评价中，温室气体减排是推进生物质能源开发的主要驱动力之一。利用边际土地开发生物质能源过程中，温室气体排放的环境影响分析应作为评价的重点。同时，还要重视对边际土地生产生物质的环境影响进行案例分析，这有助于理解和评估环境影响。英国环境、食品和农村事务部目前正在开展一项研究，用以计算英格兰和威尔士具有潜在种植能源作物的闲置土地和目前处于边际经济产值的土地的面积。利用这些土地，可以不影响已有的粮食作物生产，不引起对预期温室气体储存产生负面影响的土地利用变化，同时没有显著的环境损害。虽然这个项目识别出了适宜种植和收获生物质作物的土地，但并没有评估利用土地的可能性。因此，计算出的面积是最大可能面积，但由于实际可利用面积取决于政策、经济环境、社会趋势、生态要素以及物流限制等因素，因此会比预期的面积小。

4)有关模型和政策有待进一步开发和研究。

虽然有很多模型可以用来分析生物质生产对土地利用变化和温室气体排放的影响，例如农林部门优化模型、全球贸易分析模型、生物燃料与环境政策分析模型、全球生物圈管理模型，但是几乎没有研究考虑将边际土地作为可利用的土地纳入到模型中。Birur等在一般均衡模型中考虑了将边际土地用于生物质生产，但没有评价相关的环境影响。不同国家和地区将边际土地纳入生产后对经济、环境和社会的影响分析这一方面还有待更多的研究。

除此之外，很多模型也已经可以模拟相关生物质能源、环境和气候政策对生物质能源生产、土地利用变化和环境的影响，例如农林部门优化模型(温室气体)、全球贸易分析模型和加拿大区域农业模型，但是大多数模型同样没有将边际土地纳入其中。印度和中国都制定了鼓励利用边际土地的相关政策，但均没有评估这些政策对经济与环境产生的影响。Birur等检验了将边际土地用于开发生物质能源的政策情景，但是该研究只考虑了命令控制型干预政策，没有考虑经济激励型政策的作用效果。

有关边际土地利用的研究正在积极地展开。美国阿贡国家实验室正在评估内布拉斯加州和伊利诺伊州的边际土地和受污染水源种植能源作物的可持续性。印度和巴西正在定义农业生态区域以期更好地划分土地使用类别。印度的边际土地已经被特定用于生物燃料作物生产。一些紧急救援组织、欧盟以及联合国粮食与农业组织也在开展有关边际土地利用现状的调查。在边际土地上大范围种植能源作物将是一项充满着挑战的尝试。为了获得双赢的结果，它的生态和环境影响以及经济和社会效益应该在未来的研究中进行充分的分析和讨论。利用边际土地对国家或区域产生的影响及其未来发展潜力需要从更多的角度进行分析和研究。目前，我国还没有在边际土地上发展生物质能源方面的系统的研究。已有研究多限于对边际土地生产潜力的分析，或是进行宽泛的论述，缺少经济、环境与政策方面的定量分析。因此，我国还需要在利用边际土地开发生物质能领域开展更多经济、环境与政策方面的研究。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/122860.html