

生物质能源综合效益及评价方法研究综述

姜洋，周涛滔

(东北林业大学经济管理学院哈尔滨150040)

摘要：生物质能源的综合效益即指经济效益、环境效益、社会效益3个方面。文章着重从国内外学者对生物质能源综合效益及评价方法的研究现状进行梳理与评价，提出在生物质能源综合效益研究中纳入环境成本，并引入系统动力学的方法对生物质能源内部各子系统之间的关系进行深入挖掘，以期获取有价值的研究基点和可借鉴的经验。

1引言

当今世界各国共同面临着与能源有关的难题，石化能源具有不可再生，储量有限，且燃烧后释放出大量的CO₂、N_x及其它有害气体的缺点，对环境造成了严重污染，并引发了一系列生态问题，如温室效应、生物多样性降低、荒漠化等。近几年我国经济持续、高速的发展，对能源需求越来越大，同时环境保护压力也日益增加，这已然成为可再生能源开发的直接动力。生物质能源的开发可以弥补我们资源在未来严重不足以及煤炭等资源带来严重的环境污染问题，也将是保证我国经济未来健康可持续发展的同时保持在生态环境方面平衡、和谐发展的关键，是助推生态文明的现实路径之一。

然而目前针对生物质能源的系统研究还较少，尤其专门针对生物质能源综合效益方面分析的研究就更加稀缺，这与现实生活中迫切需要开发研究可再生清洁能源的意愿相脱节。本文将国内外学者对生物质能源综合效益研究进行综述，通过相关内容的述评，对生物质能源的研究历程及研究进展情况进行梳理与分析，为生物质能源的未来发展提供更多理论依据。

2生物质能源综合效益相关研究

2.1生物质能源经济效益相关研究

从国外研究来看，很多学者对发展生物质能源带来的经济效益产生共识：生物质能源来源广、量大，并且有效热价低、成本低，经济性比石化燃料好，可完全替代应用于一般工农业上的石化燃料(Lasi C D, 2008)。生物质能技术相比传统能源具有优势，生物质能转化的单位成本是传统能源转化的15.87% (Ravindranath.N.H, 2009; Norman等, 2009)。Sims (2010)对于如何成功发展生物质能源产业问题提出了多个有效途径的建议，例如生物质能源产业发展初期的高成本可以通过开发利用过程中的附加效益来降低，并进一步提升产品竞争力。DedefP.和van Vuuren (2009)在研究中发现：在一特定时间段内，生物质能源的生产量与生产成本之间存在着最优比，通过对不同时期进行比较，可以发现其生产成本是随着时间而逐年降低的。

国内学者刘叶志(2009)从基于能源替代温室气体减排的视角，计算了每口沼气池在能源温室气体减排方面的环境经济年效益，一个普通沼气池一年产出沼气折算化石能源价值分别为：替代电力915.74元，替代液化气763.64元，替代煤炭710元，替代薪柴210元，其中可以看出替代电力的效益最高。生物质能源作物种植的发展能改善地区生态环境。以燃料乙醇为例，安徽丰原集团作为国家新型能源试点示范工程，年产32万吨燃料酒精项目。丰原集团不仅用玉米生产出了燃料乙醇，而且生产乙烯及环氧乙烷等衍生品，并获得巨大利润。2010年，该集团生产的环氧乙烷6000元/t，利润高达40% (冯伟, 2011; 何潇等, 2011)。以秸秆气化集中供气为例，每1kg秸秆可产生燃气2m³，热值为1100~1300千卡。一个四口之家农户的炊事用能每天只需要4~6m³，折合秸秆2~3kg，折合标煤1.46kg左右。从目前来看，如果农民在炊事用能上都使用秸秆燃气。每户每年均能剩余8~12t秸秆，按60元/t计算，每个农户每年可多收入480~720元(王荣兴等, 2007)。

2.2生物质能源环境效益相关研究

2.2.1环境正效益相关研究

Gerin.P.A

(2008) 对比利时南部

及其周边地区部分农业生态系统中玉米和牧草

厌氧发酵生产沼气及CO₂

排放研究中计算

出了净能量收益率，并根据不同

的农业选项考虑，转换为电能后，可以显著减少CO₂

排放。Robert和David (2009) 等人研究表明：粮食、能源以及所处环境会受到生物质燃料开发利用产生了一定的影响，他们认为大力发展生物质燃料、开发多种生物质原料应该在新的核算规则和国家政策扶持环境下进行，同时应在以不对粮食

安全造成影响基础

上才能鼓励发展利用。因为生物质能

本身具有环境友好性和可再生能力，在CO₂、N_x、SO₂

等温室气体及环境污染气体排放方面也能得到有效遏制，具备代替短缺的化石能源、减少农林废弃物和环境公害等特点，维持了农业粮食、能源和环境的生态平衡，生物质能源具有明显的环境效益而备受各个国家关注 (Wahlund B, 2004)。Asep (2009) 研究了在印度尼西亚乡村是否适合利用林业废弃物生产的生物燃料代替化石能源来发电或者提供交通燃料，并探讨了生物甲醇的发电和碳减排潜力。结果表明，利用生物燃料的发电量可占到现在印度尼西亚全国用电量的一半，同时可减少全国9%~38%的碳排放。

国内学者孙志强等 (2009) 利用生物质能源植物柳树与燃煤掺烧发电所产生环境效益的研究表明：发电系统的产能效率在掺烧10%的生物质能源植物的情况下提高了8.9%

，CO₂的减少量达到7%~10%，同时也减少了SO₂和NO_x

的排放。以25MW的生物质燃料发电厂为例，年可处理农林废弃物20万t；与同类型火电机组相比，年可替代标准煤9万t，减少CO₂

排放约10万t。郑艳琳 (2011)、胡理乐等 (2012) 的研究显示：我国每年产生的农作物秸秆是7亿t，畜禽粪便近30亿t，农村垃圾3.6亿t，这些都是开发生物质能源的巨大潜力所在。例如，近些年我国农村大力发展沼气，把畜禽粪便以及生活垃圾经过处理，转化成生产生活用能。到2007年底，农村沼气用户已经达到2650万户，年产沼气102亿m³，相当于1600万t标准煤，等同于减排4400多万tCO₂

(胡理乐等, 2012)。由此可见，发展生物质能源能够缓解我国存在的电力供应短缺、环境严重污染等问题，生物质能源产业是环境友好产业，具有较好的长期发展潜力。

2.2.2 环境负效益相关研究

国外一些学者 (Cookl等, 2000; Lal R, 2005) 认为生物质能源利用对一系列生态环境问题具有重要影响。例如将一年生的农作物用多年生的本地作物替代能够保护生物多样性；相反如果用生物质能源作物替代自然覆盖，那么将削弱生态系统的功能并降低生物多样性。学者Kim (2008) 和Youngquist、Patzek (2010) 及Pimentel (2005) 分别对作为生物质燃料生产大豆、玉米、葵花籽、木质纤维素和柳枝进行了分析，结果表明所有燃料的能源净产出均为负值，而且可能对生态环境造成不利的影 响。生物能源发展对土地利用变化具有间接影响，现有研究通常将这一点忽略，即能源作物价格的上升，诱使生产者将更多土地转为种植能源作物以取代森林或草地，这对环境造成了一定的负面影响 (Searehinger, 2009)。Von Blotnitz H (2007) 从环境影响、资源枯竭、全球变暖、臭氧层破坏、酸化、富营养化、人类和生态健康

、烟雾的形成等7个角度，

研究分析测量了乙醇在燃烧过程中所释放的净能量和

造成的CO₂

等温室气体的排放量以及之间的比值关系，包括对自然环境的影响程度，认为在生产和加工过程中生物燃料乙醇的环境效益为负，往往会产生不利环境现象出现，这对未来生物燃料乙醇的生产和使用具有一定的指导意义。

生

物质能源

最初提出是出于环

境问题的考虑，但同时需要注意，虽

然生物质能源减少了污染物末端产生的CO₂

，但在其本身产生物理或化学转化过程中也会造成大量的温室气体产生。而且人们还忽略了生物质能源的开发利用可能会对水资源、土地资源产生一定的影响。近几年，作为生物质能源原材料粮食作物需求量也在不断扩大，许多土地被过度耕种、泛滥的使用化肥和农药，这些行为都会直接或间接的导致地下水受污染、土壤质量明显变差等环境问题

(李碧芳, 2010; 胡理乐, 2012; 张碧溶, 2013)。从生物质能源生产环节来看, 有些加工利用工艺可能会产生不同程度的污染, 如原料的预处理与运输等。生物质能开发利用更重要的影响是在生态环境方面, 大面积种植单一的某种能源植物会破坏生态系统内部的生物多样性, 同时可能会对田野乡间的野生动物、植被的多样性造成一定的影响。湿地和森林若因为生产生物质能源而被单一植物所替代, 将使土地肥沃度不断降低、养分大量流失, 水土流失不断加剧等(李景明等, 2010; 汪新民等, 2015)。

2.3 生物质能源社会效益相关研究

Norman和Steven在2009年的研究过程中发现, 北美地区发展生物质能源尤其是在五大湖区, 其附近一带的生态环境、经济、能源都受到巨大影响, 具体表现在新能源在利用过程中可以减排CO₂等温室气体从而对该地区的生态环境带来一定好处, 而且随着生物质能所需原材料的种植也会给周围百姓带来一定收入。研究认为在未来期间当地经济的可持续发展都将依赖于生物质产业的发展。每年约有1/3的秸秆被直接燃烧, 这些农林产品废弃物若能被充分回收, 对农民收入总额、贫穷地区发展都将获得极大提升, 同时减少能源资源的浪费。再者, 设备生产企业和能源生产厂将随着新能源的出现而获得发展, 这将直接增加劳动就业岗位, 对农村剩余劳动人口的就业问题将是一个很好的解决方法(Saxena R C等, 2009)。

法国对生物质能源开发利用非常重视, 在多层次都形成了比较完整的管理和保障体系, 目标是将生物燃料产量提高3倍, 到2020年要实现3个20%目标: 即减少温室气体排放20%, 能源利用率提高20%; 可再生能源达到欧洲能源消耗的20%, 其中生物质能源在交通燃料中达到10%。到2020年可再生能源消耗量占能源消耗总量比例由2005年10.3%提高到23%(樊喜斌, 2012)。Erb K(2011)指出, 生物燃料在巴西已经完全实现商业化生产运行, 代替了40%的化石燃料, 利用乙醇与汽油的混合燃料汽车已经达到80%, 生物质能源的规模化生产为巴西创造了60万个就业机会和数十亿美元的社会财富, 但有很多国家或地区维系生物质能源的生产离不开政府的经济支持, 同样, 经济成本也成为影响生物质能源可持续发展潜力的重要因素。

王丽佳(2009)提出, 农村能源的用能品质, 农业生态环境的保护和农村卫生面貌的改善都可以通过沼气池建设及综合利用的开展而实现, 这样做不仅能使生态农业系统中能量和物质得到有效的良性循环, 而且还加强了农业之间的可持续发展续存能力, 沼气的综合利用就成为开发利用自然资源合理而有效的重要手段。农村经济、环境、新能源是未来生物质能源产业发展的三大主题, 同时在农村发展生物质能源产业将是改善农民生活质量, 缓解能源紧张局面, 保障国家能源安全以及减少温室气体排放量的有效途径(石元春, 2010; 马昊, 2010; 何潇等, 2011)。发展生物质能源可实现农民收入总额增收, 促进贫穷地区发展, 减少能源资源浪费, 可解决很多农村剩余劳动人口的就业问题(杨艳华等, 2015)。以生物质能源发电项目为例, 掺烧生物质的电厂将带来很好的经济效益; 同时收购秸秆等原材料将很大程度上减轻城乡生活垃圾和废弃物堆放压力, 对农民额外收入, 减少SO₂的排放, 降低企业发电成本方面具有正面影响, 也降低了因露天焚烧带来的火灾隐患和环境污染(高志宏等, 2015)。

亿利集团在沙漠生态修复过程中, 注重产业链延伸和价值链拓展, 刈割沙柳为动力的生物质能源产业已为公司的支柱业务之一。亿利生态修复和绿色能源生态产业每年可安排当地农牧民近1万人次, 累计创造了100万人次的绿色就业岗位, 组建了220个“生态建设民工联队”。当地农牧民人均年纯收入由原来的2000元提高到2013年的30000元。

3 生物质能源计量评价方法相关研究

国外很多学者(s.wenisch等, 2004; Sabrina Spatat等, 2005)运用生命周期评估模型方法对生物质能源的综合效益进行分析。研究指出: 由于生物质燃料在目前市场环境下需求量正以一定比例增加, 农业生产需求已慢慢开始从粮食作物向能源植物转移, 以满足其原材料储备, 由此也带来许多的机遇, 同时也存在一定的挑战。

Von Blotnitz H(2007), Rubo Leng(2008)分别对生物燃料乙醇的生命周期进行了研究, 同时分析和评价了能量消耗以及能量效率, 对环境的影响和各单位过程中的能源消耗进行量化和对一些潜在影响因素进行评估。指出生物燃料乙醇在生产和加工过程中环境效益为负, 往往会有不利现象出现, 对未来生物燃料乙醇的生产和使用具有一定指导意义。Jason(2009)利用生命周期法对生物质燃料所产生的环境成本与收益进行了研究, 以粮食和木质纤维素为生产生物质能源原料研究结果表明: 要想真正通过发展生物质能源以满足社会对能源的需求, 从而实现其明显的环境效益, 不仅要有充足的能源植物供给, 还得建立于人们对粮食需求处于满足的状态下。

Franco Kose(2008)运用Lp模型对生物质能供应链进行了研究, 指出在经济和环境方面生物质能源具有潜在优势,

它能够作为生活的主要能源而被人类运用。C. Tricase等(2009)基于技术经济评价方法对意大利沼气的现状进行了评价, 研究表明: 沼气能够对社会经济环境带来积极改变, 具有很好的发展前景。Gohin(2007)运用一般均衡模型进行了评估研究, 结果发现, 在欧洲生物质能源政策的全面实施下, 可以有效地解决欧盟能源安全和气候变化的问题, 同时对提供生物质能原料的农业部门也提供了支持。

国内很多学者也采用生命周期评估法对生物质能源的综合效益展开研究。如, Cheng Zhang等(2007)对广西的木薯燃料乙醇就其经济性和环境效益运用生命周期理论进行了评价。认为这种可再生能源将有助于减轻贫困, 提高土地利用效率, 有利于城市环境建设, 实现能源独立, 具有明显的经济优势。Suiran Yu等(2009)采用生命周期方法从投资风险、经济可行性、环境排放和能量效率做出评价和估算。高文永(2010)指出, 在利用生物质能的过程中, 各个阶段均可能产生环境污染, 应引入全面环境效应评价。赵兰、冷云伟等(2010)以大型稻秆沼气集中供气工程为研究对象, 运用生命周期评价方法, 对该工程的环境影响、能源流动和经济性进行了定量评价。结果表明稻秆沼气集中供气工程的经济效益和环境效益非常巨大。

张兵等(2012)运用成本-收益分析、货币价值折算及CDM项目分析等方法, 对江苏省生物质能源利用现状进行了重点研究。研究表明: 与燃煤发电相比, 利用秸秆发电 $1\text{KW} \cdot \text{h}$ 可节约 438.54g 原煤, 减少 669.73g CO_2 的排放, 时减少 7.79g SO_2 , 6.78g NO_x 等污染气体的排放, 还可以减少 13.35g 烟尘、 44.95g 粉煤灰、 40.04g 炉渣等固体废弃物的排放和 279g 的废水排放。由此可见, 相对于用煤炭燃烧发电, 改用秸秆替代发电过程中不仅节省了原煤利用, 还减少了污染气体大量的排放, 生物质能源产业要实现其资源环境价值, CDM项目不失为一种有效途径。张嘉强等(2010)运用影子价格法, 计算测量了某地区一个正常使用的沼气池年产生经济效益以及用等价价值法估算出其产生的生态环境效益价值, 并用模糊层次分析法进行了评价。

4对生物质能源综合效益相关研究的评述

通过对国内外学者关于生物质能源综合效益的相关文献进行梳理分析, 从生物质能源综合效益方面的研究来看, 国外学者研究层次比较深入且较全面, 其注意力更多的放在发展生物质能源对土地、粮食、经济、能源、环境等所产生的影响, 并对其在环境影响中具有一定优势等特点进行了评价。

国内学者对生物质能带来的综合效益也进行相应的研究, 尤其是在沼气生物质能源研究发展方面还是比较成熟的, 但对于生物质资源其它利用技术、经济效益的研究还较少。相对于国外, 我国生物质能源发展还略显欠缺, 尤其在农村, 生物质多数为传统利用和直接燃烧, 效率低下, 居民对生物质能源利用意识还相对薄弱。总体来说, 国内外大部分学者认为生物质能源具有明显的综合效益, 属于清洁能源, 减少 CO_2 、 SO_2

等气体排放, 降低温室效益, 缓解环境压力, 有利于生态环境发展; 同时拉动许多产业发展, 促进就业, 提高农民收入。但是仅从传统的经济效益去对生物质能源产业进行评价是远远不够的, 需从产业发展带来的社会效益和环境效益等加以综合评价才更具有权威性。若想大力发展生物质能源, 下一步所需要研究解决的是如何用新思路、新体系、新政策实现生物质能源规模化生产, 同时带动经济增长, 以期长期实现生态效益、经济效益、社会效益三效合一。

从定性研究方面来看, 无论国内或国外, 对于将环境成本纳入生物质能源成本研究的提议不多, 少有深入挖掘生物质能源内部各子系统之间关系的研究成果。从定量研究方面来看, 这方面的研究相对还比较局限, 研究方法上没有明显的突破, 全生命周期法对生物质能源的综合效益评价采用的比较广泛, 其它的还有统计学中的层次分析法、随即模拟法、成本收益法为主要研究方法。而系统动力学方法特别适用于处理类似发展生物质能源这样自然界生态平衡和循环经济于一体的长期性和周期性的问题。系统动力学通过确定和量化生物质能源的综合效益及使用成本, 同时可以分析排放的影响因素。但目前利用系统动力学来研究生物质能源综合效益的学者还相对较少。所以未来在生物质能源效益预测及评估领域上将会有新的突破点及想象空间。

参考文献

- 冯伟,张利群,庞中伟,郭淑珍.中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经
济与环境分析[J].中国农学通报,2011,27(6):350~354
- 高文永.中国农业生物质能资源评价与产业发展模式研究[D].中国
农业科学院博士论文,2010
- 高志宏,王宇宏.生物质掺烧方案在火电企业中的应用研究及效益分
析[J].绿色科技,2015,133(2):232~233
- 何潇等.生物质能产业发展在农村环保中的重要作用[J].中国沼
气,2011(6):22~45
- 樊喜斌.法国生物质能源管理及其借鉴[J].林业经济,2012(6):123~
128.
- 胡理乐,李亮,李俊生.生物质能源的特点及其环境效应[J].能源与资
源,2012(1):47~49
- 李碧芳.发展生物质能源对能源安全和粮食安全的影响[J].生态经济,
2010,222(3):41~42
- 李景明,薛梅.中国生物质能利用现状与发展前景[J].农业科技管理,
2010,29(2):1~4
- 刘叶志.户用沼气能源温室气体减排的环境效益评价[J].长江大学学
报(自然科学版),2009,6(1):81~84
- 刘志强,孙学峰.25MW 生物质直燃发电项目及效益分析评价[J].应
用能源技术,2009,138(6):32~34
- 马昊.促进我国农村生物质能源发展的财税政策研究[J].生态经济,

- 2010(5):59~63
- 石元春.非粮生物质新能源最适合中国国情[J].山西能源与节能,2010,2(59):1~3
- 汪新民,丁会.生物质发电环境影响评价要点分析[J].绿色科技,2015(2):210~211
- 王丽佳.基于沼气技术的生物质资源利用综合效益分析[D].西北农林科技大学,2009
- 王鹏.论我国生物质能产业发展的法律制度完善[D].2010(4)
- 王荣兴,杨璞,李勇.吉林省秸秆资源综合开发利用现状与开发前景分析[J].现代农业,2007(12):63~64
- 杨艳华,汤庆飞,张立,郑仕鸿.生物质能作为新能源的应用现状分析[J].重庆科技学院学报,2015,17(1):103~104
- 张碧溶.全球生物质能源对中国粮食安全的影响研究——基于价格与政策传导路径的实证[D].2013 硕士论文
- 张兵,张宁,李丹,徐超.江苏省秸秆类农业生物质能源分布及其利用的效益[J].长江流域资源与环境,2012,21(2):181~186
- 赵兰,冷云伟,任恒星等.大型秸秆沼气集中供气工程生命周期评价[J].安徽农业科学,2010(34):19462~19464
- 郑艳琳,李福利,刘芳.山东省生物质能总量测算及其环境效益分析[J].安徽农业科,2011,39(27):16734~16735
- Asep S.et al. Bio-methanol potential in Indonesia: Forest biomass as a source of bio-energy that reduces carbon emissions[J]. Applied Energy,2009;86(5):215~221
- C. Tricase, M. Lombaedi. State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations [J]. Renewable Energy, 2009(34): 477~485
- Cook J,Beyea J.Bioenergy in the United States:Progress and Possibilities [J].Biomass and Bioenergy,2000,18(6):441~455
- David Tilman, Robert Socolow, et al. Beneficial Biofuels-- The Food, Energy, and Environment Trilemma[J]. SCIENCE,2009 (325):270~271
- Detlef P.Jasper V.Elke. Future Bio-energy Potential Under Various Natural Constraints[J].Energy Policy,2009(37):4220~4230
- Franco Rose. The LP Model to Optimize the Biofuel Supply Chain[J]. European Association of Agriculture Economists, 110th Seminar, February 18-22, 2008, Innsbruck-Igls, Austria
- Fu-elthrough Biochemical Routes: a Reviews[J]. Renewable And Sustainable Energy Reviews,2009,13(1):156~167
- Gerin.P.A.Energy and CO2 balance of maize and grass as energy crops for anaerobic digestion[J].Bioresource Technology,2008 (99):2620~2627
- Gohin.impacts of the European bio-fuel policy on the farm sector:a general equilibrium assessment[J].bio-fuels,food and feed trade off conference,2007(4):12~13
- Jason Hill. Environmental Costs and Benefits of Transportation Biofuel Production from Food- and Lignocellulose-Based Energy Crops: A Review[J], Sustainable Agriculture, 2009(10):125~139
- Kim S, Dale BE. Life cycle assessment of fuel ethanol derived from corn grain via dry milling . Bioresource technology, 2008, 99(12): 5250~5260
- Lal R.World Crop Residues production and Implications of Its Use as A biofuels[J].Environmental International,2005,31(4):575~584

- Lasi C D. Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2008, 34(1):47~90
- M.C.Heller, G.A.Keoleian, et al. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass[J]. Renewable Energy, 2004(29): 1023~1042
- Norman J. Rosenberg, Steven J. Smith. A sustainable biomass industry for the North American Great Plains[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability 2009(1):121~132
- Pimentel, David, Tad W. Patzek. Ethanol production Using Corn, Switch grass, and Wood: Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower [J]. Natural Resources Research, 2005, 14(1):65~76
- Ravindranath. N.H. Sustainable bioenergy for India: Technical, economic and policy analysis [J], Energy 2009(34):1003~1013
- Rubo Leng, Chengtao Wang, Cheng Zhang, et al. Life cycle inventory and energy analysis of cassava-based Fuel ethanol in China. Journal of Cleaner Production, 2008, 16(3): 374~384
- S.wenisch, P.Rousseaux. Analysis of Technical and Environmental Parameters for Waste to energy and Recycling: Household Waste Case Study. International Journal of Thermal Sciences. 2004, 43(5):519~529
- Sabrina Spatari, Yimin Zhang, Heather L. Maclean. Life Cycle Assessment of Switchgrass- and Corn Stover-Derived Ethanol-Fueled Automobiles[J]. Environ. Sci. Technol. 2005, 39, 9750~9758

- Saxena R C, Adhikari D K. Biomass-based Energy Searchingcr, T, Hcimlich, R, Houghton, RA, Dong, F (2008). Use of U. S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319
- Sims. Energy in China's modernization. [M]. New York, 2010.
- Suiran Yu, Jing Tao. Economic, energy and environmental evaluations of biomass-based fuel ethanol projects based on life cycle assessment and simulation. *Applied Energy*. 2009; 86(5): 178~188
- Thomas, Launhardt. How Clean Do Chip Furnaces Burn—measuring Emissions from Domestic Wood Chip Furnaces All Across Bavaria[J]. *Landtechnik*, 1999, 54(1): 28~35
- Tom Bond, Michael R. Templeton. History and Future of domestic biogas plants in the developing world[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2011(15): 347~354
- Von Blottnitz H, Curran MA. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective [J]. *Journal of cleaner production*, 2007, 15(7): 607~619
- Wahlund B, Yan J Y, Westermark M. Increasing biomass utilization in energy systems: A comparative study of CO₂ reduction and cost for different bio-energy processing options. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 26(6): 531~544

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/185641.html>