

国际生物质能可持续发展政策及对中国的启示

常世彦^{1,2}, 康利平³

(1. 清华大学能源环境经济研究所, 北京 100084; 2. 清华大学低碳能源实验室, 北京 100084;
3. 能源与交通创新中心, 北京 100020)

摘要: 伴随着生物质能的快速发展, 生物质能产业可持续性问题的全球范围内也日益引起高度重视。该文概述了国际上主要的生物质能可持续发展政策和标准, 着重对其准则和指标进行了系统梳理, 并就温室气体排放这一核心指标及不确定性加以分析。阐述了生物质能可持续发展准则和指标对生物质能产业政策的支持作用, 并在此基础上提出了政策建议。中国应在《可再生能源法》和《生物质能发展规划》中明确提出可持续性要求, 生物质能产业政策应与可持续性要求挂钩, 可持续发展准则和指标的选取应兼具科学性和可操作性, 应明确 (greenhouse gas, GHG) 排放核算方法学, 并对最低排放要求的设置进行充分论证, 同时, 优先在航空生物燃料等领域构建生物质能可持续发展标准。

关键词: 生物质; 燃料; 可持续性; 准则; 指标

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.11.001

中图分类号: X24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-11-0001-10

常世彦, 康利平. 国际生物质能可持续发展政策及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 1-10.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.11.001 <http://www.tcsae.org>

Chang Shiyuan, Kang Liping. Global bioenergy sustainability initiatives and implications for policy making in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(11): 1-10. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.11.001 <http://www.tcsae.org>

0 引言

如何科学的定义和衡量生物质能可持续性是全球生物质能研究领域的重要议题之一。生物质能可持续性并不是一个全新的议题, 保障能源安全、减缓温室气体 (greenhouse gas, GHG) 排放和促进农业发展等是全球生物质能源规模化发展的主要推动力量。但是近年来生物质能产业发展过程中遇到的实际问题, 使这一议题不断面临新的挑战, 存在很大争议。例如, 生物燃料的快速发展是否为导致 2008 年全球粮食危机的主要因素^[1-2]? 巴西甘蔗乙醇生产是否会比亚马逊流域造成环境影响^[3-4]? 全球生物燃料生产是否会诱发大规模天然林采伐, 从而导致碳排放量增加^[5-6]?

生物质能可持续性的讨论, 提示各国政府在生物质能推广和应用过程中要特别关注其可持续性。中国生物质能的发展也在很大程度上考虑了可持续性方面的影响。例如, 中国燃料乙醇发展基本经历了 3 个不同的阶段^[7]。起步阶段从 2001 年开始, 国家批准在全国建立 4 个燃料乙醇企业, 初始生产能力为 102 万 t, 原料以陈化粮为主。2002 年, 在河南郑州等 5 个城市开展车用乙醇汽油使用试点, 2004 年试点范围扩大到黑龙江等 5 个省全省及湖北等 4 个省的部分城市。2004 年到 2006 年间,

燃料乙醇增长较快, 处于快速增长阶段。为了避免生物燃料发展对粮食安全和土地利用的影响, 2006 年 12 月, 国家发展与改革委员会、财政部发布了《关于加强生物燃料乙醇项目建设管理, 促进产业健康发展的通知》, 加强了燃料乙醇的管制。为了进一步加强对生物燃料产业和原料使用的引导和监管, 2007 年国务院办公厅和国家发展和改革委员会先后印发了《关于促进油料生产发展的意见》和《关于促进玉米深加工健康发展的指导意见》, 要求严格控制油菜转化生物柴油项目以及不再建设新的以玉米为主要原料的生物乙醇项目^[8]。

生物质能可持续性是中国政、产、学、研各界关注的重要问题。能源与交通创新中心先后对美国 and 欧盟的可持续生物燃料标准进行了详细的介绍^[9-11], 农业部规划设计院构建了一套生物质能可持续发展评价系统^[12]。自 2012 年起, 中国质量认证中心和中国标准化研究院作为国内第一和第二技术对口单位, 参加了国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 生物质能可持续发展准则项目委员会。经国家标准化管理委员会批复, 2016 年中国质量认证中心组建生物质能可持续发展准则国家标准国内对口工作组, 组织专家编写《生物质能可持续发展认证要求》, 并于 2017 年初提交了征求意见稿。本文是笔者在参与《生物质能可持续发展认证要求 (征求意见稿)》起草过程中部分工作的总结, 梳理了国际生物质能可持续发展政策和标准, 特别是具体的准则和指标, 就生物质能可持续发展政策和标准对生物质能产业政策的支持作用进行了探讨, 同时提出了中国构建生物质能可持续发展政策和标准的建议。

收稿日期: 2016-12-17 修订日期: 2017-05-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71203119, 71673165); 科技部重点专项 (2017YFF0211900)

作者简介: 常世彦, 女, 山西晋中人, 副研究员, 博士, 主要从事能源系统分析与政策研究。北京 清华大学能源环境经济研究所, 100084。

Email: changshiyuan@tsinghua.edu.cn

1 国际生物质能可持续政策和标准

为了避免生物质能以不可持续的方式生产和利用,产生对环境、经济和社会的负面影响,很多国家、地区或组织都对生物质能自身的可持续性提出了要求,这些要求大致体现为政策法规、认证标准和自愿标准 3 种类型(表 1)。

1) 政策法规。欧盟出台的《可再生能源指令》(renewable energy directive, RED) (2009/28/EC) 具有法律效力,不仅对交通和其他用于发电、供热和制冷的生物液体燃料的强制掺混目标进行了规划,同时也以准则的形式对生物液体燃料应具备的可持续性提出了强制性要求。美国环境保护署出台的《可再生燃料标准 II》(renewable fuel standard II, RFSII) 不仅设置了促进可再生生物燃料掺混的强制性目标,同时也对燃料的 GHG 排放等重要可持续指标提出了门槛限值。

2) 认证标准。可持续生物质能认证在全球生物质能可持续评价和监管中扮演着越来越重要的角色^[13]。根据文献[14]的统计,目前全球至少有 67 项可持续生物质能相关认证。由于生物质能链条较长,且资源和技术种类丰富,所以认证类型也十分多样。有基于已有的

特定生物质原料认证扩展而来的,例如致力于促进甘蔗可持续生产和利用的 Bonsucro 认证(前身是蔗糖改进倡议认证)、促进棕榈油可持续生产和利用的可持续棕榈油圆桌倡议组织(roundtable on sustainable palm oil, RSPO)的认证和森林管理委员会(forest stewardship council, FSC)的认证等,也有新成立的且涵盖范围较广的认证,如国际可持续碳认证(international sustainability and carbon certification, ISCC)和可持续生物质圆桌倡议组织(roundtable on sustainable biomaterials, RSB)的生物质能认证。这些认证机构大都提出了各自的认证要求,在适用范围、认证原则、准则和指标以及认证方法等方面进行具体规定(表 1)。此外,由于政策法规具有较强的约束力,很多认证机构都根据特定区域的政策法规开发了专用的认证标准。例如,RSB 在自己原有认证标准(RSB Global Certification)的基础上开发了专用于欧盟 RED 的认证标准(RSB EU RED Certification)。ISCC 可以针对各种不同的生物质能原料和燃料在不同的市场提供认证,例如 ISCC-EU 是欧盟委员会认可的生物质能可持续标准体系,ISCC-DE 是德国联邦食品、农业和消费者保护部认可的生物质能可持续标准体系。

表 1 国际生物质能可持续政策和标准^[15-17]
Table 1 International bioenergy sustainability initiatives

| 政策和标准名称 Initiatives | 名称缩写 Abbreviations | 发布单位 Organization | 发布时间 Year | 适用的地域范围 Geographical coverage | 适用的原料 Feedstock (s) covered | 适用的生物质能 Bioenergy covered | 类型 Types |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|
| 生物燃料全生命周期评价条例 | BLCAO | 瑞士联邦环境、交通、能源与通讯部 | 2009 | 瑞士联邦(包括进口) | 所有类型 | 所有类型生物燃料 | 政策法规 |
| Bonsucro 欧盟生产标准 | Bonsucro | Bonsucro | 2010 | 全球 | 甘蔗 | 燃料乙醇 | 认证标准 |
| 生物质能可持续性认证要求(征求意见稿) | CRBS(DC) | 中国国家认证认可监督管理委员会 | 2017 | 中国 | 所有类型 | 所有类型 | 认证标准 |
| FFSC 森林管理原则和标准 | FSC-PCFS | FSC | 1993 | 全球 | 以森林产品为主 | 所有类型生物燃料 | 认证标准 |
| GBEP 生物质能可持续指标 | GBEP-SIB | GBEP | 2011 | 全球 | 所有类型 | 所有类型 | 自愿标准 |
| 国际可持续碳认证 | ISCC | ISCC | 2010 | 全球 | 所有类型 | 所有类型 | 认证标准 |
| 生物质能可持续性标准 | ISO-SCB | ISO | 2015 | 全球 | 所有类型 | 所有类型 | 自愿标准 |
| 加州低碳燃料标准 | LCFS | 加州环保署 | 2010 | 美国加州 | 所有类型 | 所有类型生物燃料 | 政策法规 |
| 北欧生态标签 | NEF | 北欧国家 | 2008 | 北欧国家 | 所有类型 | 所有类型生物燃料 | 认证标准 |
| 可再生能源指令 | RED | 欧盟 | 2009 | 欧盟(包括进口) | 所有类型 | 交通用生物燃料和其他生物液体燃料 | 政策法规 |
| 可再生燃料标准 II | RFSII | 美国环境保护署 | 2010 | 美国(包括进口) | 所有类型 | 所有类型生物燃料 | 政策法规 |
| 可持续生物质圆桌倡议组织全球/欧盟 RED 认证标准 | RSB Global / RSB EU RED | RSB | 2010 | 全球/欧盟 | 所有类型 | 生物液体燃料 | 认证标准 |
| 可持续棕榈油生产原则和标准 | RSPO-PCSPOP | RSPO | 2007 | 全球 | 棕榈油 | 生物柴油 | 认证标准 |
| 英国可再生运输燃料义务法 | RTFO | 英国可再生燃料署 | 2008 | 英国 | 所有类型 | 所有类型生物燃料 | 政策法规 |
| 负责任大豆圆桌协会原则和标准 | RTRS-PC | RTRS | 2010 | 全球 | 大豆 | 生物柴油 | 认证标准 |
| 乙醇可持续验证倡议 | SEKAB-VSEI | SEKAB (一家瑞士企业) | 2008 | 巴西圣保罗地区(生产)/瑞典(分销) | 甘蔗 | 燃料乙醇 | 认证标准 |
| 社会燃料标识 | SFS | 巴西土地发展部 | 2009 | 巴西 | 所有类型 | 生物柴油 | 政策法规 |

3) 自愿标准。全球生物能源伙伴关系(global bioenergy partnership, GBEP)是包括八国首脑峰会成员国等 23 个国家和 14 个国际组织的国际组织,它制定了一套可持续生物质能指标,用于帮助各成员国政府和国际机构建立对生物质能可持续性的共识,这些指标并不设定门槛或限制,也不对全球生物能源伙伴关系成员构

成法律约束^[16]。ISO 在 2015 年发布了《生物质能可持续性标准》(ISO sustainability criteria for bioenergy, ISO-SCB),旨在为利益相关者提供一个可以共同解读“可持续性”的框架结构^[17]。该标准也不设定指标阈值,仅对各国的生物质能可持续生产、使用和贸易提供参考性的标准建议。

2 生物质能可持续准则和指标

2.1 准则和指标体系

可持续发展是满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要之能力的发展^[18]。2005 年全球社会发展高峰会将经济、社会和环境定义为可持续发展的三大支柱 (three pillars)，这也成为生物质能可持续研究的主要维度^[19-20]。不同可持续生物质能政策和标准对实现经济、社会和环境可持续均衡发展的核心理念是基本一致的，但由于出发点和目标不同，侧重点会有所不同。例如，BLCAO、RSFII 和 LCFS 更着重考虑生物质能的环境影响，并未考虑粮食安全等社会经济方面影响。国际

粮农组织则更关心生物质能对粮食安全的影响，启动了生物质能和粮食安全项目 (Bioenergy and Food Security)，开发了一系列的标准、指标、最优实践和政策选择支持各国生物质能可持续发展^[21]，并在 GBEP 生物质能可持续指标中牵头负责社会维度的指标构建。在 Bonsucro 等以生物质原料为主的认证标准中，经济和社会维度的内容相对较多 (表 2)。当然，每项政策或标准对同一维度的覆盖深度也不尽相同。FAO 将粮食安全定义为粮食供给性、粮食可获取性、粮食利用性和粮食稳定性四方面^[21]，ISCC 认证的指标涉及 3 个方面，而 Bonsucro、RTFO 等仅涵盖其中的一个方面。

表 2 可持续生物质能政策和标准覆盖的主要内容^[15-17]

Table 2 Sustainability aspects covered by initiatives

| 名称 Initiatives | 环境 Environment | | | | | | 社会与经济 Society & economic | | |
|-----------------------|--------------------------------|---|--|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|---|--------------|
| | 生态系统保护 Ecosystem protection | 水资源节约和保护 Water conservation & protection | 土壤质量和生产力保护 Soil quality and productivity protection | 空气质量保护 Air quality protection | 温室气体排放 GHG emissions | 废弃物管理 Waste management | 粮食安全 Food security | 农村和社会发展 Rural and social development | 其他 Others |
| BLCAO | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | | |
| Bonsucro | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| CRBS(DC) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| FSC-PCFS | √ | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ |
| GBEP-SIB | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| ISCC | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| ISO-SCB | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| LCFS | | | | √ | √ | | | | √ |
| NEF | √ | | | √ | √ | | √ | √ | √ |
| RED | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ |
| RFSII | √ | | √ | √ | √ | √ | | | |
| RTFO | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| RSB Global/RSB EU RED | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| RSPO-PCSPOP | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| RTRS-PC | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| SEKAB-VSEI | √ | √ | √ | | √ | | | √ | √ |
| SFS | | | √ | | | | √ | √ | |

注：其他包括就业、性别平等、居民健康等方面。

Notes: Others include employment, gender equality, and health, etc.

可持续政策和标准一般由原则 (principles) - 准则 (criteria, sub-criteria) - 指标 (indicators) 3 个层级构成^[22]。ISO 的《可持续生物质能标准》中对原则、准则和指标进行了解释：原则体现的是理想目标，而准则和指标负责对可持续性的内涵进行具体化以及提供需要的信息。由于可持续性本身的内涵非常丰富，开发适当的准则和指标就成为将可持续要求落实到行动层面的关键^[23]。GBEP 可持续生物质能工作组围绕环境、社会和经济 3 个维度提出了 24 项可持续指标，RSB 提出了 12 项原则和 37 项准则。一些学术研究机构，如美国橡树岭国家实验室等也对可持续生物质能适用的指标进行了探讨，如文献[23]着重就环境维度提出了 19 项指标，文献[24]着重就社会和经济维度提出了 16 项指标。表 3 对这些准则和相应的指标进行了系统梳理和分类。值得强调的是，环境、社会和经济这 3 个维度内涵本身并不是完全泾渭分明，存

在大量交叉融合的地方。例如，能源安全既具有经济属性，也具有社会属性。文献[25]曾对 3 个维度间的关系专门进行过研究，并定义环境与经济交叉部分为环境效率 (eco-efficiency)，主要涵盖土地利用、能源和污染物管理，社会与经济的交叉部分为社会经济 (socio-economic)，主要涵盖就业和能源安全等，社会与环境的交叉部分为社会环境 (socio-environment)，主要涵盖环保的社会效应以及法制方面。

2.2 GHG 排放指标

植物在生长过程中会吸收空气中的二氧化碳，具有固碳效应，可以抵消生物质能在使用阶段的排放，因而生物质能 GHG 排放通常可按照碳中和 (carbon neutral) 来核算^[26]。但是，越来越多的研究发现，从可持续性视角来看，生物质能的 GHG 排放应从全生命周期的角度去衡量，因而也具有较强的异质性，可以在多大程度上抵

消其使用阶段的排放取决于它全生命周期整个链条的各个环节^[5,27-28]。采用秸秆等农林业剩余物作为原料生产生物燃料大都可降低 GHG 排放^[29]，但是如果以牺牲天然林的方式来进行生物质能生产将会带来不可持续后果。因此，全生命周期 GHG 排放是生物质能可持续评价的重要指标。GBEP 提出的 24 项可持续指标中，GHG 排放被列为第 1 项；RSB 的生物燃料可持续生产原则中 GHG 排

放为第 3 项。文献[30]对 35 项可持续指标的重要性进行了排序，结果显示 GHG 排放的重要性排在首位。文献[31]对欧洲 25 个欧盟成员国和 9 个非欧盟成员国利益相关者的问卷调查显示，可持续认证应有最低 GHG 排放要求这一指标。文献[32]对东亚地区生物质可持续利用的可持续评估指标进行为期 6 a 研究后显示，环境维度最重要的指标为全生命周期 GHG 排放。

表 3 生物质能主要可持续准则和指标^[16,23-24]
Table 3 Main criteria and indicators of bioenergy sustainability

| 维度 Pillar | 准则 Criteria | 指标示例 Examples of Indicators |
|-------------------|--------------------------------|---|
| 环境 Environment | GHG 平衡 | GHG 排放 |
| | 土壤保护 | 总有机碳；总氮量；可溶磷；土壤容重 |
| | 水资源管理 | i.水质：硝酸盐浓度；总磷浓度；悬浮沉积物浓度；除草剂浓度 ii.水资源利用效率：实际总的可再生水资源的百分比；年度总取水量的百分比；单位生物质能产量耗水量 |
| | 空气 | i.污染物排放：生物质能生产全生命周期的大气污染物（SO ₂ 、NO _x 等）排放量 ii.空气质量：对流层臭氧浓度；一氧化碳浓度；PM _{2.5} 浓度；PM ₁₀ 浓度 |
| | 生物多样性 | 国家认定的高生物多样性或关键生态系统转化为生物能源生产的面积和比例；国家认定的入侵物种（按风险类别）种植土地用于生物能源生产的面积和比例；国家认定的用于生物能源生产的且使用保护方法的土地面积和比例 |
| | 生产力 | 地上净初级生产力 |
| | 土地利用变化 | 用于生物能生产的土地总面积占全国总面积的比例；用于生物能生产的土地总面积占农业土地和森林管理区域面积的比例；生物质能从产量增加、剩余物、废弃物、降解或污染土地获得的百分比；由生物质能生产直接导致的土地利用年净转换率 |
| 社会 Society | 社会参与和接受程度 符合法规 ^a | 公众舆论好评率；绩效评价透明度；有效的利益相关者参与度；灾难性事件发生的概率 符合本国相关的法律条款与政策文件；符合国际相关的法律规范及政府间协议 |
| | 粮食安全 | 食物、饲料和纤维等的需求变化；食品进口和出口的变化；由于天气条件引起的农业生产变化；由石油和其他能源价格导致的农业成本变化；粮食价格波动 |
| | 尊重人权和劳动权 | 苦役数量 |
| | 改善生活水平 | 生物质能生产相比其他部门的工资；销售、交换、自用生物质能产品的净收入；增加的使用现代生物质能的商业和家庭的总量和比例；由传统生物质能使用到现代生物质能使用所节省的妇女和儿童用于生物质收集的平均时间 |
| 经济 Economy | 健康影响 | 室内烟雾导致的发病率和死亡率 |
| | 盈利性 | 项目层面的投资回报率和净利润；生物质能获利对当地经济的贡献率 |
| | 能源安全 | 燃料价格波动；生物质能基础设施与物流的数量和产能；生物质能产能利用率及产能利用灵活性；生物质能利用带来的一次能源供应变化 |
| | 就业 | 生物质能生产带来的净增就业量 |
| | 贸易 | 进出口总量和比例 |

注：“a” 尚无可量化指标。

Notes: “a” No quantifiable indicators founded yet.

将 GHG 排放作为一项重要的指标纳入具有法律约束力的政策框架，有 2 个关键点，包括 GHG 排放核算方法的确定和 GHG 减排要求的确定。目前，大多数已有的节能环保相关政策并未涵盖生物质能全生命周期 GHG 排放方面的内容^[33]，因此，生物质能可持续政策和标准都要对 GHG 排放核算方法加以明确。例如，RED 在附录中给出了 GHG 排放核算的一般方法，也认可符合该一般方法的获批认证机构自行开发的方法，如 ISCC 和 RSB；加州 LCFS 以美国阿岗国家实验室在 GREET (greenhouse gases, regulated emissions, and energy use in transportation) 模型基础上开发的 CA-GREET 作为支持；RSB 专门开发了 GHG 全生命周期计算器。表 4 总结了目前主要政策和标准中对 GHG 排放的相关要求。

值得注意的是，由于涉及的链条太长，全生命周期 GHG 排放核算对研究边界的界定和关键参数选取存在差异，这也导致核算结果具有较大差异。以美国玉米乙醇的全生命周期排放为例。美国康奈尔大学 David Pimentel 教授于 1991 年、2001 年和 2005 年发表系列研究论文，提出

美国生产玉米乙醇的净能量值为负的结论^[34-36]，在全球曾颇具反响。加州大学伯克利分校的研究团队随后在《Science》发表论文，对美国玉米乙醇全生命周期 GHG 排放进行了详细的 Meta 对比分析，他们认为，Pimentel 教授的研究对乙醇生产技术的判断稍显滞后，且并未考虑共生产品的碳排放分摊问题，因此，玉米乙醇实质上将有助于美国实现 GHG 减排^[37]。2 a 后，普林斯顿大学发表在《Science》上的另一份研究指出，需要对生物质能利用中土地利用变化的影响进行科学处理，如果考虑这一影响，燃料乙醇的使用将增加美国的 GHG 排放^[38]。学术研究领域这些关于生物质能核算结果不确定性的争议，对可持续生物质能政策和标准提出了较高的要求。当把 GHG 排放作为一项重要的指标纳入具有法律约束力的政策框架下后，需要对其不确定性造成的可能影响加以考虑。因此，特别要对影响 GHG 排放核算的关键因素，如副产品分摊方法，土地利用变化所导致的 GHG 排放影响加以明确，并进行动态调整。例如，对于间接土地利用变化问题，欧盟就在 2015 年通过的修订指令中开始将其纳入考虑范围。

表 4 可持续生物质能政策和标准中 GHG 的相关内容^[13,15]

Table 4 GHG requirement in bioenergy sustainability initiatives and criteria

| 政策/标准 Initiatives | GHG 排放核算方法 GHG emission calculation method | 副产品分摊方法 Co-product treatment | 是否考虑直接土 地利用变化 Land use change considered | 直接土地利用 变化的基期 Baseline for LUC | 是否考虑间接土 地利用变化 Indirect land use change considered | 土地利用排放均 摊年限 Annualized land use emissions | 最低 GHG 减排要求 GHG reduction requirement |
|----------------------|--|------------------------------------|---|--|--|--|---|
| LCFS | CA-GREET 模型 | 替代法 | 是 | - | 是 | 30 a | 10% (到 2020 年平均交通燃料碳 强度降低 10%) |
| ISCC | ISCC 全生命周期排放方法 | 能量分摊法 | 是 | 2008-01-01 | 否 | 20 a | 与 RED 相同 |
| RED | 在附录中给出 GHG 排放核 算的一般方法 | 能量分摊法 | 是 | 2008-01 | 是 | 20 a | 35% (2017 年以前); 50% (2017 年 1 月以后); 60% (2018 年 1 月后新建项目) |
| RFSII | 土地利用变化用森林和农业 部门优化模型和粮食与农业 政策研究所的模型系统 | 替代法 | 是 | 2007 | 是 | 100 a (2%折扣) 30 a (无折扣) | 20% (常规可再生燃料); 50% (生物柴油); 50% (先进燃料); 60% (纤维素燃料) |
| RSB | GHG 全生命周期计算器 | 替代法 | 是 | 2009-01-01 | 否 | 20 a | RSB Global: 50%; RSB EU RED Certification: 与 RED 相同 |
| RTFO | 与 RED 相同 | 替代法 | 是 | 2005-11-30 | 否 | 10 a (碳回收期) | 与 RED 相同 |

在 GHG 减排要求的确定上,多数政策和标准采用的方法是设置一个 GHG 的最低减排要求。最低减排要求的形式可以是对所有生物质能设置同一个最低减排要求,也可对生物质能进行分类,按照不同的类别设置不同的最低减排要求。各地在最低减排要求的设置上,都综合考虑了本区域或国家的实际情况以及减排目标。学者对中国生物质能全生命周期排放的核算开展了大量研究,为提出适用于中国的生物质能 GHG 排放核算方法及 GHG 减排要求奠定了良好基础。例如,文献[39-47]对木薯燃料乙醇、甜高粱燃料乙醇、小桐子生物柴油等生物液体燃料技术开展了全生命周期评价;文献[48-51]对秸秆气化发电、秸秆直燃发电等生物质发电技术开展了全生命周期评价;文献[52-57]对户用沼气、沼气集中供气工程、车用沼气和生物质气炭多联产等生物质供热技术开展了全生命周期评价。

3 生物质能可持续政策和标准对生物质能产业政策的支持

国际上主要国家和地区在其可再生能源规划或生物质能规划框架下都会设计可持续生物质能准则或指标,建立认证体系,用以对生物质能开发利用的可持续性进行规范和管理^[58]。确保规划实现的可持续性。欧盟 RED 的目标是实现生物燃料在交通部门能源消费中的比例达 10%。为了保证预期减排效果的实现,只有符合可持续性要求的生物液体燃料才可计入 RED 目标量。同时,对于一些以废弃物或剩余物为原料生产的生物燃料,欧盟还允许按双倍能源量计算。美国 RFSII 设立了 2022 年实现 1.36 亿 m³ 可再生燃料使用量的目标,对可再生燃料进行了分类,并且对每种类型可再生燃料的利用量和最低 GHG 排放都提出了目标和要求。对于 GHG 减排效果较好的燃料,可以用于满足更多类型的目标。如纤维素燃料(最低温室气体减排要求为 60%)的利用量,既可以统计入纤维素燃料目标量中,也可以统计入先进生物燃料以及可再生燃料的目标中。

除了生物质能规划,生物质能其他相关的产业政策

也与可持续政策和标准挂钩。欧盟委员会要求各成员国出台财税政策来扶持本国生物燃料的发展,包括价格扶持、消费税减免、进口关税减免、贷款优惠等,虽然各成员国实施的政策不一,但基本理念和整体思路一致,只有满足可持续发展要求的生物燃料才可以获得优惠^[10]。

在生物质能贸易方面,为了不与世界贸易组织的要求相抵触,欧盟并没有禁止不符合可持续标准的生物燃料的流通,但特别强调欧盟委员会必须审视生物燃料生产与原料供应国是否采取任何更广泛的措施来遵守并维护可持续原则^[59],只有通过认证的生物燃料量才能获得政策扶持和被计入规划指标^[10]。美国可再生燃料进口商须按照环保部关于可再生燃料身份码的指导,所有生产燃料的原料须符合政策要求^[9]。越来越多的研究者建议将可持续生物质能标准与认证与联合国层面达成的气候变化协议以及世界贸易组织的谈判联系起来^[60]。

此外,欧盟正在探索将可持续生物质能标准与碳排放交易体系加以衔接。欧盟委员会 2012 年发布《监测和报告温室气体排放量指南》的系列文件中有一个专门用于生物质能的指南文件^[61]。该文件建议,只有符合 RED 可持续准则的生物质能才算实际意义上的生物质能,符合可持续生物质能标准的,在碳排放交易中按照生物质能碳排放因子为零来进行核算;不符合可持续生物质能标准的,生物质能碳排放因子要按照化石燃料来进行计算。

4 对中国的启示和建议

4.1 在《可再生能源法》和《生物质能发展规划》中明确提出可持续性要求

切实将可持续性要求落实到生物质能产业发展中,需要强有力的政策支持。欧盟和美国都以政策法规的形式对生物质能可持续性提出具有可操作性的要求。中国生物质能发展一直秉承“不与人争粮,不与粮争地”等可持续原则,但是缺乏用以支撑这些原则的法律法规,以及将原则落实到可操作层面的具体准则和指标,对技术研发和产业发展缺乏明确的指引和规范。因此,中国应尽快在《可再生能源法》和《生物质能发展规划》等

政策法规中明确提出包含具体准则和指标的可持续性要求, 强调只有符合可持续准则和指标的生物质能利用量才可计入生物质能的规划目标量。

4.2 生物质能可持续性准则和指标的选取应兼具科学性和可操作性

“可持续”的内涵十分丰富, 相应的可持续准则和指标也种类繁多。中国生物质能可持续准则和指标的选取, 应兼具科学性和可操作性, 要以拟解决的问题和拟实现的目标为导向, 适当权衡准则和指标的一般性和特殊性, 尽量将准则和指标的数量控制到一个可管理的水平。准则和指标的选取应立足国情、明确目标, 突出重点, 同时进行动态调整, 分阶段分步骤实施。前期首先以全生命周期 GHG 排放作为核心指标加以规定, 然后再逐渐扩展到其他环境、社会和经济领域。

4.3 明确 GHG 排放核算方法学, 并对减排要求的设置进行充分论证

GHG 排放核算以及减排要求的设置是制定可持续性政策和标准的难点。GHG 排放核算方法学的提出, 要兼具科学性和可操作性。既要符合 GHG 全生命周期排放核算方法的科学框架, 同时也要考虑产业适用性。生物质能对比化石能源的 GHG 减排量需进行全生命周期核算, 应包括原料种植、原料运输、能源生产、能源储运以及能源利用等多个环节, 同时应明确 GHG 排放核算中副产品分摊、土地利用变化等多种不确定因素的具体处理方法。在关键参数的选取上要体现中国的实际情况, 在副产品分摊方法上, 要就不同燃料路线选择共识度较高的不同的副产品分摊方法^[62]。

在 GHG 减排要求的确定上, 是否采用最低减排要求的形式? 对所有生物质能设置同一个最低减排要求? 还是对生物质能分类设置最低减排要求? 对这些问题的回答要充分考虑中国国情, 并且广泛征求利益相关方的意见。在具体数值的确定上, 可采取适度宽松、动态收紧的方式, 前期设置一个相对适中的基准值, 然后逐步提高要求。同时需要基于产业规模与技术最新发展水平进行动态论证, 进行合理设置与调整。

4.4 优先在航空生物燃料等领域构建生物质能可持续标准

中国生物质能可持续标准的建立要考虑如何综合考虑国内情况以及保持与国际已有标准的衔接, 建议优先在以下 3 个领域开展工作:

1) 航空生物燃料。航空生物燃料的使用是民航部门的一项重要减排措施^[63-65], 构建航空生物燃料可持续标准具有重要现实意义。中国将于 2017 年启动全国碳排放交易市场, 航空业将作为交通部门的唯一行业首批纳入全国碳排放交易体系。同时, 国际民航组织也推出了基于市场的减排措施——全球民航碳抵消与减少计划 (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), 旨在实现 2020 年后全球国际航空的碳中和增长。航空业将是唯一一个既面临国内碳交易市场, 又面临国际碳市场的行业。所以, 航空生物燃料的可持续

要求将成为各方关注热点, 中国应及早准备。

2) 以生物质废弃物为原料的生物质能。一般而言, 生物质废弃物及不当处理方式会带来负面环境影响。例如, 屡禁不止的秸秆焚烧是中国很多地区秋季气溶胶颗粒物的重要来源^[66-68]; 畜禽粪便所产生的氨排放是大气中氨的主要来源^[69-70], 而氨排在二次颗粒物形成中的作用也日益受到重视。因此, 中国生物质废弃物资源的能源化利用具有迫切的现实需求。而且, 相对于原料为能源植物的生物质能, 原料为农林业剩余物和废弃物的生物质能在生物多样性和间接土地利用变化等方面的争议较小, 比较容易达成具有共识的可持续标准, 因此建议对以生物质废弃物为原料的生物质能优先开展可持续标准的构建工作。

3) 其他交通用生物燃料。目前全球生物质能可持续标准和认证, 多以交通用生物燃料为认证对象, 有大量经验可以借鉴。中国也有相关研究经验的积累, 如中国标准化研究院已于 2010 年提交《交通燃料使用前各生命周期阶段温室气体排放的评价原则和要求 (报批稿)》。

4.5 生物质能产业政策和研发政策要与可持续性要求挂钩

可持续性既是最低要求, 也是激励方向, 对产业的可持续性提出要求, 其核心理念是引导生产要素进行重新配置。全面认识并具体分析生物质能产业可持续发展的约束条件, 对于引导该产业的长远发展以及制定有针对性的对策是必要的^[71]。中国生物质能产业政策存在体系不健全和可操作性差等情况^[72-73], 其核心问题是对生物质能在经济、社会和环境维度的外部效益缺乏全面、清晰的认识。将可持续性要求与生物质能产业政策加以挂钩, 才能更好的体现可持续性要求对产业发展的激励和约束。产业政策包括补贴和税收优惠等激励政策、生物质能市场准入机制和生物质能贸易政策等。对生物质能产业的补贴和税收优惠等激励政策的实施, 要与生物质能可持续要求挂钩。符合可持续政策和标准要求的生物质能技术可以获得补贴和税收优惠。同时, 可以考虑对生物质能按照其可持续绩效(如全生命周期 GHG 减排量)进行分类管理, 将补贴与税收优惠的额度与可持续绩效相挂钩。生物质能市场准入机制、生物质能进出口政策和生物质能技术研发政策也要以可持续生物质能标准为依据, 与可持续性要求相挂钩。

5 结论

本文综述了国际生物质能可持续政策和标准, 对具体的准则和指标进行了梳理, 特别是对其中的温室气体 (greenhouse gas, GHG) 排放指标进行了详细分析。就生物质能可持续政策和标准对生物质能产业政策的支持作用进行了探讨, 同时提出了中国构建生物质能可持续政策和标准体系的建议。建议中国在《可再生能源法》和《生物质能发展规划》中明确提出可持续性要求, 并在航空生物燃料和以生物质废弃物为原料的生物质能等领域优先出台生物质能可持续政策和标准。同时, 生物质能产业政策和研发政策要与可持续性要求挂钩。

[参 考 文 献]

- [1] Senauer B. Food market effects of a global resource shift toward bioenergy[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2008, 90(5): 1226—1232.
- [2] Ajanovic A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices[J]. *Energy*, 2011, 36(4): 2070—2076.
- [3] Gao Y, Skutsch M, Drigo R, et al. Assessing deforestation from biofuels: Methodological challenges[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(2): 508—518.
- [4] Nepstad D C, Stickler C M, Soares-Filho B, et al. Interactions among Amazon land use, forests and climate: Prospects for a near-term forest tipping point [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2008, 363(1498): 1737—1746
- [5] Searchinger T D, Hamburg S P, Melillo J, et al. Fixing a critical climate accounting error[J]. *Science*, 2009, 326(5952): 527—528.
- [6] Melillo J M, Gurgel A C, Kicklighter D W, et al. Unintended environmental consequences of a global biofuels program[R]. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2009, <http://www.calepa.ca.gov/cepc/2010/AsltonBird/AppAEx13.pdf>.
- [7] Chang S, Zhao L, Timilsina G R, et al. Biofuels development in China: Technology options and policies needed to meet the 2020 target[J]. *Energy Policy*, 2012, 51: 64—79.
- [8] 常世彦, 赵丽丽, 张婷, 等. 生物液体燃料[C]// 清华大学中国车用能源研究中心著. 中国车用能源展望. 北京: 科学出版社, 2012: 178—219.
- [9] 康利平, Robert Earley, 安锋, 等. 美国可再生燃料标准实施机制与市场跟踪[J]. *生物工程学报*, 2013(3): 265—273. Kang Liping, Robert Earley, An Feng, et al. U.S. renewable fuel standard implementation mechanism and market tracking[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2013, 29(3): 265-273. (in Chinese with English abstract)
- [10] 能源与交通创新中心. 欧盟生物燃料可持续发展机制及其对中国的启示[R]. [2017-06-20]. <http://www.icet.org.cn/PDF/欧盟生物燃料可持续发展机制及其对中国的启示.pdf>.
- [11] 能源与交通创新中心. 国际生物燃料可持续标准与政策背景报告[R]. [2017-06-20]. <http://www.icet.org.cn/admin/upload/2016091458029109.pdf>
- [12] 孟海波, 赵立欣, 高新星, 等. 生物液体燃料可持续发展评价系统[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 218—223. Meng Haibo, Zhao Lixin, Gao Xinxing, et al. Bio-liquid fuel sustainable assessment system in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(12): 218—223. (in Chinese with English abstract)
- [13] Scarlat N, Dallemand J O. Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: A global overview[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(3): 1630—1646.
- [14] van Dam J, Junginger M, Faaij A P C. From the global efforts on certification of bioenergy towards an integrated approach based on sustainable land use planning[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(9): 2445—2472. (in Chinese with English abstract)
- [15] Ismail M, Rossi A, Geiger N. A Compilation of Bioenergy Sustainability Initiatives: Update[R]. [2017-06-20]. Food and Agriculture Organization of the UN (FAO): Rome. <http://www.fao.org/bioenergy/31594-044649dd008dd73d7fa09345453123875.pdf>
- [16] GBEP. The global bioenergy partnership sustainability indicators for bioenergy[R]. [2017-06-20]. http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/Indicators/The_GBEP_Sustainability_Indicators_for_Bioenergy_FINAL.pdf.
- [17] ISO. Sustainability criteria for bioenergy[S]. [2017-06-20]. <https://www.iso.org/standard/52528.html>.
- [18] World Commission on Environment and Development. Our Common Future[R]. [2017-06-20]. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>.
- [19] UN. Sustainable bioenergy: A framework for decision makers[R]. [2017-06-20]. <http://www.fao.org/docrep/010/a1094e/a1094e00.htm>.
- [20] Jin E, Sutherland J W. A proposed integrated sustainability model for a bioenergy system [J]. *Procedia CIRP*, 2016, 48: 358—363.
- [21] FAO. A compilation of tools and methodologies to assess the sustainability of modern bioenergy[R]. [2017-06-20]. <http://www.globalbioenergy.org/bioenergyinfo/sort-by-date/detail/pt/c/143612/>.
- [22] Rimpipi H, Uusitalo V, Vaisanen S, et al. Sustainability criteria and indicators of bioenergy systems from steering, research and Finnish bioenergy business operators' perspectives[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 66: 357—368.
- [23] McBride A C, Dale V H, Baskaran L M, et al. Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems[J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11(5): 1277—1289.
- [24] Dale V H, Efroymsen R A, Kline K L, et al. Indicators for assessing socioeconomic sustainability of bioenergy systems: A short list of practical measures[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 26: 87—102.
- [25] Chong Y T, Teo K M, Tang L C. A lifecycle-based sustainability indicator framework for waste-to-energy systems and a proposed metric of sustainability[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 56: 797—809.
- [26] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[EB/OL]. [2017-06-20]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [27] Fargione J, Hill D, Tilman, et al. Land clearing and the biofuel carbon debt[J]. *Science*, 2008, 319(5867): 1235—1238.
- [28] Johnson E. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009, 29(3): 165—168.
- [29] Borrion A L, McManus M C, Hammond G P. Environmental life cycle assessment of lignocellulosic conversion to ethanol: A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(7): 4638—4650.
- [30] Buchholz T, Luzadis V A, Volk T A. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17 Supplement 1: S86—S98.
- [31] van Dam J, Junginger M. Striving to further harmonization of sustainability criteria for bioenergy in Europe:

- Recommendations from a stakeholder questionnaire[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(7): 4051—4066.
- [32] Kudoh Y, Sagisaka M, Chen S S, et al. Region-specific indicators for assessing the sustainability of biomass utilization in East Asia[J]. *Sustainability*, 2015, 7: 16237—16259.
- [33] van Dam J, Junginger M, Faaij A, et al. Overview of recent developments in sustainable biomass certification[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32(8): 749—780.
- [34] Pimentel D, Patzek T W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower [J]. *Natural Resources Research*, 2005, 14(1): 65—76.
- [35] Pimentel D. Ethanol fuels- Energy security, economics and the environment [J]. *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 1991, 4(1): 1—13.
- [36] Pimente D. Ethanol fuels energy balance economics and environmental impacts are negative [J]. *Natural Resources Research*, 2003, 12(2): 127—134.
- [37] Farrell A E, Plevin R J, Turner B T, et al. Ethanol can contribute to energy and environmental goals[J]. *Science*, 2006, 311(5760): 506—508.
- [38] Searchinger T, Heimlich R, Houghton R A, et al. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change[J]. *Science*, 2008, 319(5867): 1238—1240.
- [39] 张阿玲, 申威, 韩维建, 等. 车用替代燃料生命周期分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [40] Ou X, Zhang X, Chang S, et al. Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People's Republic of China[J]. *Applied Energy*, 2009, 86(Suppl.1): S197—S208.
- [41] 田望, 廖翠萍, 李莉, 等. 玉米秸秆纤维素乙醇生命周期能耗与温室气体排放分析[J]. *生物工程学报*, 2011, 27(3): 516—525.
Tian Wang, Liao Cuiping, Li Li, et al. Life cycle assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions of cellulosic ethanol from corn stover[J]. *Chinese journal of biotechnology*, 2011, 27(3): 516—525. (in Chinese with English abstract)
- [42] 胡志远, 谭丕强, 楼狄明, 等. 不同原料制备生物柴油生命周期能耗和排放评价[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(11): 141—146.
Hu Zhiyuan, Tan Piqiang, Lou Diming, et al. Assessment of life cycle energy consumption and emissions for several kinds of feedstock based biodiesel [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(11): 141—146. (in Chinese with English abstract)
- [43] 赵立欣, 高新星, 张艳丽, 等. 我国生物燃料乙醇示范工程生命周期分析[C]//黄季焜, 仇焕广. 我国生物燃料乙醇发展的社会经济影响及发展战略与对策研究. 北京: 科学出版社, 2010.
- [44] 欧训民, 张希良. 中国车用能源技术路线全生命周期分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [45] 李小平, 计军平, 马晓明, 等. 基于 EIO-LCA 的燃料乙醇生命周期温室气体排放研究[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(6): 1081—1088.
Li Xiaohuan, Ji Junping, Ma Xiaoming, et al. Life cycle greenhouse gas emission assessment of fuel ethanol based on EIO-LCA[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(6): 1081—1088. (in Chinese with English abstract)
- [46] 高慧, 胡山鹰, 李有润, 等. 甜高粱乙醇全生命周期温室气体排放[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(1): 178—183.
Gao Hui, Hu Shanying, Li Yourun, et al. Greenhouse gas emission of sweet sorghum ethanol in life-cycle[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(1): 178—183. (in Chinese with English abstract)
- [47] 董丹丹, 赵黛青, 廖翠萍, 等. 木薯燃料乙醇生产的技术提升及全生命周期能耗分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 28(7): 160—164.
Dong Dandan, Zhao Daiqing, Liao Cuiping, et al. Energy consumption analysis in life cycle of cassava fuel ethanol production and the advantages of the new technology in energy consumption[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(7): 160—164. (in Chinese with English abstract)
- [48] 何珍, 吴创之, 赵增立. 1MW 循环流化床生物质气化发电系统的碳循环[J]. *太阳能学报*, 2006, 27(3): 230—236.
He Zhen, Wu Chuangzhi, Zhao Zengli. Carbon cycle analysis of 1MW circulating fluidized bed for biomass gasification and power generation system[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2006, 27(3): 230—236. (in Chinese with English abstract)
- [49] 何珍, 吴创之, 阴秀丽. 秸秆生物质发电系统的碳循环分析[J]. *太阳能学报*, 2008, 29(6): 705—710.
He Zhen, Wu Chuangzhi, Yin Xiuli. Carbon cycle analysis of biomass power generation system[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2008, 29(6): 705—710. (in Chinese with English abstract)
- [50] 贾友见, 余志, 吴创之. 4MW_e 生物质气化联合循环发电系统的寿命周期评价[J]. *太阳能学报*, 2004, 25(1): 56—62.
Jia Youjian, Yu Zhi, Wu Chuangzhi. Life cycle assessment of a 4MW_e biomass integrated gasification gas engines-steam turbine combined cycles power plant[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2004, 25(1): 56—62. (in Chinese with English abstract)
- [51] 林琳, 赵黛青, 李莉. 基于生命周期评价的生物质发电系统环境影响分析[J]. *太阳能学报*, 2008, 29(5): 618—623.
Lin Lin, Zhao Daiqing, Li Li. Environmental impact analysis of biomass power generation system based on life cycle assessment[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2008, 29(5): 618—623. (in Chinese with English abstract)
- [52] 陈豫, 胡伟, 杨改河, 等. 户用沼气池生命周期环境影响及经济效益评价[J]. *农机化研究*, 2012(9): 227—232.
Chen Yu, Hu Wei, Yang Gaihe, et al. Environmental effect and economic benefit evaluation of life cycle for household biogas digester[J]. *Journal of Agricultural Mechanization*

- Research, 2012(9): 227—232. (in Chinese with English abstract)
- [53] 王红彦. 基于生命周期评价的秸秆沼气集中供气工程能值分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
Wang Hongyan. Energy Analysis of Straw Biogas Project for Central Gas Supply based on Life Cycle Assessment[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [54] 张艳丽, 任昌山, 王爱华, 等. 基于 LCA 原理的国内典型沼气工程能效和经济评价[J]. 可再生能源, 2011(2): 119—124.
Zhang Yanli, Ren Changshan, Wang Aihua, et al. Energy efficiency and economic assessment based on life-cycle methodology for China's large-medium biogas project[J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(2): 119—124. (in Chinese with English abstract)
- [55] 黄伟, 张欣, 胡准庆. 车用沼气燃料生命周期的评价[J]. 内燃机学报, 2015, 33(6): 549—554.
Huang Wei, Zhang Xin, Hu Zhunqing. Life cycle assessment of vehicle biogas[J]. Transactions of CSICE, 2015, 33(6): 549—554. (in Chinese with English abstract)
- [56] 黄伟, 张欣. 城市客车燃用沼气的生命周期分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(2): 44—48.
Huang Wei, Zhang Xin. Life cycle analysis of vehicle biogas for city bus[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(2): 44—48. (in Chinese with English abstract)
- [57] 霍丽丽, 赵立欣, 孟海波, 等. 秸秆类生物质气炭联产全生命周期评价[J]. 农业工程学报, 2016, 26(增刊 1): 261—266.
Huo Lili, Zhao Lixin, Meng Haibo, et al. Life cycle assessment analysis for cogeneration of fuel gas and biochar[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(Supp.1): 261—266. (in Chinese with English abstract)
- [58] 王晓涛, 刘昭, 邓云峰, 等. 国际生物质能可持续标准、认证与政策发展[C]//苏树辉, 袁国林, 李玉嵩, 等. 国际清洁能源发展报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2014: 381—399.
- [59] 曾仁辉. 欧盟生物燃料政策: 可持续性要求与挑战[J]. 化工管理, 2010(3): 45—48.
- [60] Johnson E. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, 29(3): 165—168.
- [61] E U, Guidance document No.3 Biomass issues in the EU ETS[R]. 2012. http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/docs/gd3_biomass_issues_en.pdf.
- [62] Wang M, Huo H, Arora S. Methods of dealing with co-products of biofuels in life-cycle analysis and consequent results within the U.S. context[J]. Energy Policy, 2011, 39: 5726—5736.
- [63] 齐泮仑, 何皓, 胡徐腾, 等. 航空生物燃料特性与规格概述[J]. 化工进展, 2013, 32(1): 91—96.
Qi Panlun, He Hao, Hu Xuteng, et al. An overview of aviation biofuel characteristics and standard[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2013, 32(1): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [64] 孙晓英, 刘祥, 赵雪冰, 等. 航空生物燃料制备技术及其应用研究进展[J]. 生物工程学报, 2013, 29(3): 285—298.
Sun Xiaoying, Liu Xiang, Zhao Xuebing, et al. Progress in synthesis technologies and application of aviation biofuels. Chinese Journal of Biotechnology, 2013, 29(3): 285—298. (in Chinese with English abstract)
- [65] 李宇萍, 章青, 王铁军, 等. 第二代生物航空燃油的关键技术分析和进展动态[J]. 林产化学与工业, 2014, 34(5): 162—168.
Li Yuping, Zhang Qing, Wang Tiejun, et al. Progress in synthesis technologies and development activities of 2th Generation biojet fuel[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2014, 34(5): 162—168. (in Chinese with English abstract)
- [66] Cheng Y, Engling G, He K B, et al. Biomass burning contribution to Beijing aerosol[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013, 13: 7765—7781.
- [67] 郑晓燕, 刘咸德, 赵峰华, 等. 北京市大气颗粒物中生物质燃烧排放贡献的季节特征[J]. 中国科学: B 辑化学, 2005(4): 346—352.
- [68] 陆晓波, 喻义勇, 傅寅, 等. 秸秆焚烧对空气质量影响特征及判别方法的研究[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(4): 17—21.
Lu Xiaobo, Yu Yiyong, Fu Yin, et al. Characterization and identification method of ambient air quality influenced by straw burning[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2014, 26(4): 17—21. (in Chinese with English abstract)
- [69] 潘涛, 薛念涛, 孙长虹, 等. 北京市畜禽养殖业氨排放的分布特征[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3): 159—162.
Pan Tao, Xue Niantao, Sun Changhong, Liu Guizhong, et al. Distribution characteristics of ammonia emission from livestock farming industry in Beijing[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(3): 159—162. (in Chinese with English abstract)
- [70] Clarisse L, Clerbaux C, Dentener F, et al. Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations[J]. Nature Geoscience, 2009, 2: 479—483.
- [71] 林琳. 中国生物质能产业可持续发展经济学分析[J]. 鄱阳湖学刊, 2010(6): 62—68.
Lin Lin. Analysis on sustainable development economics of biomass energy industries in China[J]. Journal of Poyang Lake, 2010(6): 62—68. (in Chinese with English abstract)
- [72] 孙钟超. 我国生物质能发展中的法律问题研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
Sun Zhongchao. Research on Legal Issues of Biomass Energy Development in China[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [73] 赵传刚. 我国生物质能立法研究论纲[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
Zhao Chuangang. The Outline research on the Legislation of Biomass Energy[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2011. (in Chinese with English abstract)

Global bioenergy sustainability initiatives and implications for policy making in China

Chang Shiyan^{1,2}, Kang Liping³

(1. Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Laboratory of Low Carbon Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Innovation Center for Energy and Transportation, Beijing 100020, China)

Abstract: With the rapid development of bioenergy, the sustainability issue of bioenergy has aroused more and more attention globally. China is also highly concerned about the sustainable development of bioenergy. But, there are only sustainable principles emphasized by government with no specific criteria and indicators, e.g., avoiding bioenergy competition for food crops and land. Therefore, it is necessary to establish systematic criteria and indicators to provide clear and executable guidelines for the sustainable development of bioenergy in China. Several regions in the world have promulgated regulation framework or certification standard to assure the sustainable production and utilization of bioenergy. Also some international institutions, such as Global Bioenergy Partnership (GBEP) and International Organization for Standardization (ISO), have published voluntary sustainable standard for decision makers. Therefore, to learn the global experience is a good option to promote the establishment of sustainable requirements in China. The typical sustainable bioenergy initiatives in the world are introduced in the paper, including regulation frameworks, certification standards and voluntary standards without threshold. The key criteria and indicators are reviewed. It is found that although the principles of sustainable development are the same for diverse initiatives, their focuses on environmental, social or economic aspects are different due to their different starting points and goals. The importance of involving greenhouse gas (GHG) emission as a key indicator is analyzed, and the challenges on how to quantify GHG emission are also discussed, such as, the allocation of byproduct's emission and the impact of direct land use change & indirect land use change. The requirements on GHG emission reduction of bioenergy compared to fossil fuel are also reviewed. The supporting role of bioenergy sustainability initiatives for the bioenergy industrial policies is elaborated based on the practices of the EU (European Union) and the United States. And finally, related policy suggestions in China are proposed. The suggestions include: 1) Sustainability requirement (criteria or indicators) of bioenergy should be proposed in *Renewable Energy Law and Bioenergy Development Planning in China* to guide the direction of industrial development; 2) the criteria and indicators of sustainable bioenergy should be both scientific and implementable with clear goals and focus, and should be selected based on domestic situation; 3) GHG emissions counting methodology of different kinds of bioenergy should be provided by government to facilitate industries to meet the sustainability requirement, and the threshold of life cycle GHG emission reduction of bioenergy needs to be fully discussed with stakeholders and strengthened gradually; 4) priority should be given to aviation biofuels, bioenergy derived from residues and wastes, and systematic sustainability criteria and indicators should be established for other biofuels for transportation use in the near term; and, 5) the industrial policies and research and development funding of bioenergy should be linked with the sustainability requirements, and the policy support should be inclined to the sustainable production and utilization of bioenergy which can meet the requirements.

Keywords: biomass; fuels; sustainability; criteria; indicators