

Evaluation on Economic Benefits of Biowaste Conversion Pathways to Energy in China

Yixuan Zhang^{1,2*}, Tongcheng Fu^{1,2}, Fangyuan Zhou^{1,2}, Meng Li^{1,2}, Shengkun Zhou^{2,3#}, Guanghui Xie^{1,2}

¹College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing

²National Energy R&D Center for Biomass, Beijing

³College of Humanities and Development Studies, China Agricultural University, Beijing

Email: #shengkun@cau.edu.cn

Received: Mar. 30th, 2020; accepted: Apr. 17th, 2020; published: Apr. 24th, 2020

Abstract

Based on data from the Chinese literature for 2010~2018 on the economic benefit of bio-waste conversions to energy, the cost, income, and profit for the 10 pathways of bio-waste conversions to energy were analysed. 6 out of the 10 pathways are profitable. The pathway of crop residue conversion to pellet fuel exhibits the highest profit-to-cost ratio (46.59%), followed by the conversions of animal manure digestion for biogas, crop residue direct combustion for electricity and crop residue gasification for electricity, with the ratios of 41.88%, 40.85% and 38.89%, respectively. The ratios for the pathways of pellet fuel production from forestry residue and conversion of waste oil to biodiesel are 17.84% and 6.01%. The other 4 pathways incur a deficit. The conversion from crop residue, restaurant waste and sewage sludge to biogas all display a heavy economic loss, with the ratios of -41.50%, -39.63%, and -35.90%, and the conversion of crop residue to ethanol has a slightly better ratio of -18.17%. Based on the findings, it is suggested to strengthen further technical know-how research and innovations, and optimize policy interventions, in order to promote a healthy development of the bio-waste conversions to energy industries.

Keywords

Animal Manure, Restaurant Residues, Sewage Sludge, Ethanol Fuel, Biodiesel, Pellet, Biogas

中国废弃生物质资源化利用经济效益评价

张祎旋^{1,2*}, 傅童成^{1,2}, 周方圆^{1,2}, 李蒙^{1,2}, 周圣坤^{2,3#}, 谢光辉^{1,2}

*第一作者。

#通讯作者。

¹中国农业大学农学院, 北京

²国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京

³中国农业大学人文与发展学院, 北京

Email: #shengkun@cau.edu.cn

收稿日期: 2020年3月30日; 录用日期: 2020年4月17日; 发布日期: 2020年4月24日

摘要

本文主要采集了2010~2018年发表的中国废弃生物质能源化利用经济效益文献数据, 分析了10种能源转化途径的成本、收入和利润。其中, 6种废弃生物质能源转化途径表现盈利。作物秸秆生产固体成型燃料的成本利润率最高, 达46.59%; 其次为畜禽粪便生产沼气、秸秆直燃发电以及作物秸秆气化发电, 成本利润率分别为41.88%、40.85%和38.89%; 第三为林业剩余物生产固体成型燃料, 成本利润率为17.84%; 最后为废弃油脂制生物柴油略微盈利, 成本利润率是6.01%。另外4种途径则亏损, 作物秸秆、餐饮垃圾和污水污泥生产沼气亏损最严重, 成本利润率分别为-41.50%、-39.63%和-35.90%; 作物秸秆生产燃料乙醇亏损较少, 成本利润率为-18.17%。综上, 建议优化国家配套政策, 加强废弃生物质能源化技术研发和创新, 促进生物质能源行业健康发展。

关键词

畜禽粪便, 餐饮垃圾, 污水污泥, 燃料乙醇, 生物柴油, 成型燃料, 沼气

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

废弃生物质种类多、资源丰富[1], 其能源化利用不仅可以促进石化资源替代, 还能减轻环境污染、有效降低碳排放, 符合循环经济的发展理念[2] [3]。很大部分废弃生物质被废弃或者处理方式不当[4], 引起很大的环境污染问题, 能源化循环利用途径持续受到国家重视[5]。经济效益是废弃生物质能源化工程可持续发展的重要因素, 虽然对废弃生物质经济效益分析文献较多, 但是, 都是对单一废弃物种类和单一能源化途径的分析, 未见对不同废弃生物质种类的不同能源化利用途径经济效益系统梳理。本研究将根据对作物秸秆、林业剩余物、畜禽粪便等主要废弃生物质能源化利用途径进行经济效益评价分析和横向比较, 为中国生物质能源产业发展和政策制订提供基础信息和决策依据。

2. 研究方法和数据来源

2.1. 研究范围和有关定义

本研究针对作物秸秆、林业剩余物、畜禽粪便、餐饮垃圾、废弃油脂和污水污泥等废弃生物质, 分析了10种能源化利用途径的经济效益, 包括秸秆生产燃料乙醇、生产成型燃料、直燃发电、气化发电、生产沼气, 以及林业剩余物加工成型燃料、畜禽粪便生产沼气、餐饮垃圾生产沼气和生物柴油、污水污泥生产沼气。经济效益参考技术经济学定义, 成本包括原料成本和生产运营成本。原料成本为生产中购

买废弃生物质原料及收储运成本, 生产运营成本为能源转化过程中的生产费用和期间费用。期间费用是指与生产直接相关的固定资产折旧、管理费用、财务费用和销售费用[6], 未考虑税收和贷款利息等。收入按照产品市场价格不含副产品收益, 利润为收入和成本的差值, 成本利润率为能源产品利润占成本的百分比。

2.2. 数据来源

本文通过文献查阅获得中国企业实例或模拟研究报告, 主要从 2010~2018 年间发表和出版的原创性研究报告中采集原料成本、运营成本、收入和利润数据。为了保证数据的准确性和科学性, 按以下规则筛选文献: 1) 所报道的废弃生物质资源化利用研究范围符合本文的研究范围; 2) 所用的技术经济学定义符合本文所述定义; 3) 废弃生物质原料可收集性较好, 能源产品已规模化或有规模化生产潜力, 生产工艺有代表性; 4) 经济分析数据完整且合理。

3. 结果与分析

3.1. 秸秆生产燃料乙醇的经济效益

目前, 国内纤维素乙醇尚处于产业化前期研究阶段[7] [8], 较为成熟的技术是以玉米秸秆为原料应用稀酸预处理加酶解法, 但是经济效益表现差异较大(见表 1)。朱青等[9] [10]以模拟法, 分析了生产规模为 3.5~7.5 万 t/年的项目, 亏损达 1303~5767 元/t。姜芹等[8]和任天宝[11]采用模拟方法, 研究生产规模包括 50,000 t/年的商业化生产线和 300 t/年的中试项目, 利润范围为-161~251 元/t。这两组报道利润表现差异如此大的原因, 一是原料成本相差较大, 秸秆产出乙醇的比例在两组分别为 7:1 和 5~6:1; 二是运营成本不同, 前者[9] [10] (5236~8100 元/t)比后者[8] [11] (4825~5835 元/t)平均高出 23.3%。同时, 利润为 251 元/t 的案例中燃料乙醇价格比其它高近 1500~2000 元/t, 取值远高于市场价。总的来看, 利用秸秆纤维素生产燃料乙醇在当前技术工艺下亏损严重。考虑生产运营的复杂多样性, 将这两组研究结果取平均数, 即亏损 1603 元。原料价格是重要影响因素[8], 所需原料多导致收集半径大, 将收集半径控制在合理范围内能降低原料成本[12]。同时, 纤维素酶成本较高, 随着工艺的发展可以大幅降低[11] [13]。

Table 1. Economic benefits of producing fuel ethanol from corn stover by enzymatic hydrolysis (based on per ton of fuel ethanol)

表 1. 玉米秸秆以酶解法生产燃料乙醇的经济效益(基于每 t 燃料乙醇)

工艺和研究方法	生产规模(t/年)	原料成本(元/t)	运营成本(元/t)	总成本(元/t)	收入(元/t)	利润(元/t)	数据来源
稀酸 - 模拟	35,000	4400	8100	12,500	6733	-5767	[10]
稀酸 - 模拟	75,000	2800	5236	8036	6733	-1303	[9]
稀酸 - 模拟	37,000	2800	6734	9534	6733	-2801	[9]
稀酸 - 模拟	50,000	3600	4825	8425	8676	251	[8]
稀酸 - 中试模拟	300	1550	5835	7385	7224	-161	[11]
汽爆 - 中试模拟	300	1445	5620	7065	7224	159	[11]
平均		2765.83	6058.33	8824.17	7220.50	-1603.67	

3.2. 秸秆生产成型燃料的经济效益

共查到具有数据的相关文献 7 篇(见表 2)。对于年产 2 万 t 成型燃料来说, 其年利润为 194 万元, 约 3 年收回投资[14]。对于京郊 5 万 t 规模的企业来说, 约 8.2 年能够收回投资[15]。对于小型生产规模企业

来说, 利润也较高, 约 2 年就能收回全部投资[16]。所有案例中, 运营成本及成型燃料产品收入值均相差不大, 但有些原料成本显然设定太低(如 59 元/t), 导致利润相差较大, 为 74.9~346 元/t。但是, 各案例利润表现大体一致性, 平均为 155.73 元/t。其它研究[17] [18] [19]结果一致表明, 利用秸秆生产成型燃料具有较好的经济可行性。

Table 2. Economic benefits of crop residues conversion to briquette fuel (based on per ton of briquette fuel)
表 2. 秸秆生产成型燃料的经济效益(基于每 t 成型燃料)

原料	研究方法	生产规模(t/年)	原料成本(元/t)	运营成本(元/t)	总成本(元/t)	收入(元/t)	利润(元/t)	数据来源
玉米秸秆	模拟	2500	59	95	154	500	346	[16]
秸秆	模拟	50,000	136	154	290	400	110	[15]
秸秆	模拟	20,000	155	148	303	400	97	[14]
秸秆	模拟	1015	111	143	254	n/a	n/a	[20]
玉米秸秆	模拟	10,000	100	223	323	480	157	[17]
玉米秸秆	模拟	10,000	135	215.5	350.5	500	149.5	[18]
秸秆	实例 + 模拟	9000	325	260.1	585.1	660	74.9	[19]
平均			151.67	182.60	334.27	490.00	155.73	

n/a: 原文献中未见该数据, 计算利润平均值未考虑该文献数据。

3.3. 秸秆直燃发电的经济效益

秸秆直燃发电的利润范围为 0.07~0.36 元/kW·h, 平均利润为 0.19 元/kW·h (见表 3)。其中, 马秋颖[21]研究实例显示, 玉米秸秆价格约为 220 元/t, 运输和储存成本为 70 元/t, 发电量为 6.5×10^7 kW·h, 按国家补贴后的标杆上网电价 0.75 元/kW·h 计算, 每年实现利润约 427 万元。宋艳苹[22]的研究中, 设置秸秆收购价格为 200 元/t, 按当地一般上网电价 0.35 元/kW·h 有所亏本, 但若按现在补贴上网电价 0.75 元/kW·h 计算, 则有较好的经济效益。郝德海[4]研究中原料秸秆价格分别为 156 元/t 和 170 元/t, 模拟按电价 0.5 元/kW·h (当时尚没有国家补贴电价)来计算, 仍有较高利润, 两种发电系统投资回收期分别估算为 8~10 年。2017 年国家进一步推进秸秆发电并网运行和全额保障性收购, 落实可再生能源电价政策[23]。在获得国家上网电价补贴情况下, 秸秆直燃发电可以盈利, 平均成本和利润分别为 0.47 元/kW·h 和 0.19 元/kW·h。

Table 3. Economic benefits of generating electricity by crop residues combustion (based on per kW·h)
表 3. 秸秆直燃发电的经济效益(基于每单位发电量 kW·h)

原料	研究方法	装机容量 (MW)	原料成本 (元/kW·h)	运营成本 (元/kW·h)	总成本 (元/kW·h)	收入 (元/kW·h)	利润 (元/kW·h)	数据来源
玉米秸秆	实例	30	0.38	0.30	0.68	0.75	0.07	[21]
混合秸秆	模拟	24	0.27	0.21	0.48	0.75	0.27	[22]
秸秆	模拟	6	0.24	0.12	0.36	0.50	0.14	[4]
秸秆	模拟	24	0.20	0.12	0.32	0.50	0.18	[4]
秸秆	模拟	30	0.29	0.10	0.39	0.75	0.36	[24]
秸秆	模拟	30	0.37	0.24	0.61	0.75	0.14	[25]
平均			0.29	0.18	0.47	0.67	0.19	

3.4. 秸秆气化发电的经济效益

生物质气化发电企业规模以中小型为主,装机容量为0.6~6 MW的7例秸秆气化发电利润为0.11~0.26元/kW·h,平均利润为0.16元/kW·h(见表4)。李蓓蓓等[26]实例研究,原料单价为250元/t,按国家政策补贴上网电价0.75元/kW·h计算实现了盈利,2 MW系统投资回收期为7.8年,6 MW为5.6年。郝德海[4]以原料价格为125元/t进行模拟分析,随着生产规模扩大,原料和运营成本降低,利润增加。

Table 4. Economic benefits of crop residues gasification conversion to power generation (based on per kW·h)

表 4. 秸秆气化发电的经济效益(基于每单位发电量 kW·h)

原料	工艺和研究方法	装机容量 (MW)	原料成本 (元/kW·h)	运营成本 (元/kW·h)	总成本 (元/kW·h)	收入 (元/kW·h)	利润 (元/kW·h)	数据来源
农林生物质	简单气化 - 内燃机 - 实例	2	0.38	0.20	0.58	0.75	0.17	[26]
农林生物质	内燃机 - 蒸汽轮机 联合循环系统 - 实例	6	0.31	0.18	0.49	0.75	0.26	[26]
秸秆	联合循环系统 - 模拟	0.6	0.23	0.16	0.39	0.50	0.11	[4]
秸秆	联合循环系统 - 模拟	1	0.23	0.15	0.38	0.50	0.12	[4]
秸秆	联合循环系统 - 模拟	2	0.21	0.14	0.35	0.50	0.15	[4]
秸秆	联合循环系统 - 模拟	3	0.21	0.12	0.33	0.50	0.17	[4]
平均			0.26	0.16	0.42	0.58	0.16	

3.5. 秸秆生产沼气的经济效益

查得的7个实例研究显示利用秸秆生产沼气的利润全部为负值,即亏损0.05~2.36元/m³,平均亏损0.96元/m³(见表5)。朱利群等[27]的研究中秸秆收储运价格230元/t,结果显示成本略高于沼气售价收入。王红彦等[28]研究了5个村级秸秆沼气工程,原料玉米秸秆或稻草价格为200~300元/t,年产气量达到10~18万m³,供应户数达280~560,沼气收入只达到年度成本(包括基础设施和设备折旧)约一半。闵师界等[29]分析了一个年生产沼气5万m³的村级示范工程,秸秆成本是500元/t,生产成本合计为3.86元/m³,是沼气收入的2.6倍,严重亏损的主要原因在于原料成本价格过高,是其他研究案例[27][28]两倍左右。

Table 5. Economic benefits of producing biogas from crop residues (based on per m³ of biogas)

表 5. 秸秆生产沼气的经济效益(基于每 m³ 沼气)

原料	工艺和研究方法	生产规模 (万 m ³ /年)	原料成本 (元/m ³)	运营成本 (元/m ³)	总成本 (元/m ³)	收入 (元/m ³)	利润 (元/m ³)	数据来源
混合秸秆	混合发酵 - 实例	n/a	0.92	0.63	1.55	1.50	-0.05	[27]
玉米秸秆	混合发酵 - 实例	10.20	0.60	1.40	2.00	1.50	-0.50	[28]
玉米秸秆	混合发酵 - 实例	18.40	0.60	1.50	2.10	1.50	-0.60	[28]
玉米秸秆	干发酵 - 实例	13.14	0.60	1.58	2.18	1.00	-1.18	[28]
玉米秸秆	横向推流 - 实例	10.95	1.00	0.84	1.84	1.00	-0.84	[28]
水稻秸秆	混合发酵 - 实例	15.33	0.75	1.96	2.71	1.50	-1.21	[28]
混合秸秆	竖向推流 - 实例	5.00	2.20	1.66	3.86	1.50	-2.36	[29]
平均			0.95	1.37	2.32	1.36	-0.96	

n/a: 原文献中未见数据。

3.6. 林业剩余物生产成型燃料的经济效益

研究林业剩余物生产成型燃料经济效益的文献只包括 2 篇硕士论文, 其生产规模差异较大, 但成本构成和收入相似, 利润也相似, 平均为 138.89 元/t(见表 6)。其中, 吕林[30]模拟了一个年产 30 万 t 林木成型燃料企业, 其建设期 3 年, 生产经营期 15 年。周媛[31]模拟设计了一座年产 2.75 万 t 的林木生物质成型燃料加工厂, 建设期 1 年, 运营期 10 年。模拟分析表明, 利用林业剩余物生产成型燃料具有较好的经济效益。但对于林业剩余物生产成型燃料, 目前最大的难点是林业剩余物可收集性较差[31]。

Table 6. Economic benefits of forestry residues conversion to briquette fuel (based on per t of briquette fuel)

表 6. 林业剩余物生产成型燃料的经济效益分析(基于每 t 成型燃料)

原料	研究方法	生产规模 (t/年)	原料成本 (元/t)	运营成本 (元/t)	总成本 (元/t)	收入 (元/t)	利润 (元/t)	数据来源
锯末	模拟	300,000	550.00	215.95	765.95	900.00	134.05	[30]
林业剩余物	模拟	27,500	571.42	219.85	791.27	935.00	143.73	[31]
平均			560.71	217.90	778.61	917.50	138.89	

3.7. 畜禽粪便生产沼气的经济效益

实例或模拟研究畜禽粪便生产沼气经济效益的报道共 3 例, 其利润范围是 0.25~0.61 元/m³, 平均利润为 0.45 元/m³(见表 7)。其中两例原料成本为零, 另一例为 0.60 元/m³。由于很多工程配套建设在养殖场内, 利用畜禽粪便生产沼气, 因此多数情况不需支付原料成本[32], 或仅支付原料运输成本[33]; 运营成本为 0.43~1.18 元/m³。研究案例中沼气主要供应农户用气或发电, 根据所在地区不同, 出厂价格为 0.68~2.20 元/m³, 这与秸秆生产的沼气价格大体相似, 结果显示利用畜禽粪便生产沼气具有较好的经济效益。

Table 7. Economic benefits of biogas production from livestock excrement by anaerobic fermentation (based on per m³ of biogas)

表 7. 畜禽粪便厌氧发酵生产沼气的经济效益(基于每 m³ 沼气)

原料	研究方法	生产规模 (万 m ³ /年)	原料成本 (元/m ³)	运营成本 (元/m ³)	总成本 (元/m ³)	收入 (元/m ³)	利润 (元/m ³)	数据来源
畜禽粪便	模拟	912	0.60	0.89	1.59	2.20	0.61	[33]
畜禽粪便	模拟	25	0.00	1.18	1.18	1.66	0.48	[34]
猪粪便	实例	24.64	0.00	0.43	0.43	0.68	0.25	[35]
平均			0.20	0.83	1.07	1.51	0.45	

3.8. 废弃油脂生产生物柴油的经济效益

废弃油脂生产生物柴油的经济效益案例中, 由于时间不同, 3 个案例的原料成本差异较大(见表 8), 而运营成本差异不大, 利润范围从-150 元/t 到 700 元/t, 平均盈利 345.67 元/t。这 3 个案例盈利的差异是技术和经营水平不同引起的。技术水平低和经营不善导致亏损的企业不少, 但是, 行业专家认为亏损不是行业普遍现象, 废弃油脂生产生物柴油产业总体是盈利的。有的企业每吨生物柴油亏损 500~800 元/t [36], 主要原因是原料价格占成本比重过大, 已经投产一些企业达不到预期产能, 不少项目已暂停生产[37]。

Table 8. Economic benefits of biodiesel production from waste oil (based on per ton of biodiesel)
表 8. 废弃油脂生产生物柴油的经济效益(基于每 t 生物柴油)

工艺和研究方法	生产规模 (万 t/年)	原料成本 (元/t)	运营成本 (元/t)	总成本 (元/t)	收入 (元/t)	利润 (元/t)	数据来源
超/近临界甲醇醇解 - 模拟	6	4704.00	1446.00	6150.00	6000.00	-150.00	[38]
预酯化和酯交换 - 模拟	0.9	3555.00	1458.00	5013.00	5500.00	487.00	[39]
2019 年先进工艺实例总结		4900.00	1200.00	6100.00	6800.00	700.00	行业专家 ^a
平均		4386.33	1368.00	5754.33	6100.00	345.67	

^a 由于该类研究报道较少, 本研究咨询了全国生物柴油行业协会专家委员会常务副主任宁守俭高级工程师。

3.9. 餐饮垃圾生产沼气的经济效益

关于餐饮垃圾制沼气的经济分析研究较少, 仅查得沈超青等[40]估算了其成本为 2.70 元/m³, 其中原料运输成本为 1.29 元/m³, 生产运营成本为 1.41 元/m³。沼气市场价格 1.63 元/m³, 利润为-1.07 元/m³。张淑玲等[41]对餐饮垃圾制沼气工程研究得出处理成本为 0.56 元/m³。餐饮垃圾由市政环境部门负责收集, 原料成本仅需支付运输费用, 因此建立合理的收储运物流体系可以保证原料供应[42], 然而, 即使如此, 以餐饮垃圾生产沼气仍不能盈利。

3.10. 污水污泥生产沼气的经济效益

经查阅获得 2 个污水污泥资源化生产沼气实例。污水污泥属于污水处理厂的废料, 其原料成本可忽略不计[43] [44], 沼气价格参照天然气 2.28 元/m³, 考虑到沼气市场价格为 1~1.5 元/m³, 本研究取最高值 1.5 元/m³。但是, 沼气收入依然小于成本, 亏损分别达到 0.40 元/m³ 和 1.28 元/m³, 平均亏损为 0.84 元/m³ (见表 9)。这两个项目工程设计日产气量分别为 30,000 m³ 和 25,200 m³, 但由于设施和技术等问题致使实际日产气量最多只是设计产能一半, 推高了运营成本。

Table 9. Economic benefits of biogas production from sewage sludge (based on per m³ of biogas)
表 9. 污水污泥生产沼气的经济效益(基于每 m³ 沼气)

研究方法	生产规模 (m ³ /d)	成本 (元/m ³)	收入 (元/m ³)	利润 (元/m ³)	文献
实例	15,000	1.90	1.50	-0.40	[43]
实例	6240	2.78	1.50	-1.28	[44]
平均		2.34	1.50	-0.84	

4. 总结及讨论

4.1. 经济效益分析总结

从各类废弃生物质资源化利用的经济效益分析结果汇总来看, 基于当前国家产业政策, 秸秆生产成型燃料、秸秆直燃发电、秸秆气化发电、林业剩余物生产成型燃料、畜禽粪便生产沼气以及废弃油脂制生物柴油共 6 种资源化利用途径实现了盈利(见表 10)。秸秆生产成型燃料的平均成本利润率最高, 达 46.59%; 其次为畜禽粪便生产沼气、秸秆直燃发电和秸秆气化发电, 成本利润率均为分别为 41.88%、40.85% 和 38.89%; 林业剩余物生产成型燃料, 利润率为 17.84%; 废弃油脂生产生物柴油途径略有盈利, 利润率为 6.01%。另外 4 种废弃生物质资源化利用途径全都亏损, 其中, 秸秆、餐饮垃圾和污水污泥生产沼气亏损最多, 平均成本利润率分别为-41.50%、-39.63% 和-35.90%; 秸秆生产燃料乙醇亏损较少, 利润率为-18.17%。

Table 10. Summary of economic benefits of waste biomass conversions to energy (Based on per unit of energy product, without deducting state subsidies)**表 10.** 废弃生物质能源化利用经济效益汇总(基于单位能源化产品, 未扣除国家补贴)

原料类型	能源化产品	平均成本	平均收入	利润		平均成本利润率(%)
				范围	平均	
作物秸秆	燃料乙醇(元/t)	8824.17	7220.50	-5767.00~251.00	-1603.67	-18.17
	成型燃料(元/t)	334.27	490.00	74.90~346.00	155.73	46.59
	直燃发电(元/kW·h)	0.47	0.67	0.07~0.36	0.19	40.85
	气化发电(元/kW·h)	0.42	0.58	0.11~0.26	0.16	38.89
	沼气(元/m ³)	2.32	1.36	-2.36~-0.05	-0.96	-41.50
林业剩余物	成型燃料(元/t)	778.61	917.50	134.05~143.73	138.89	17.84
畜禽粪便	沼气(元/m ³)	1.07	1.51	0.25~0.61	0.45	41.88
废弃油脂	生物柴油(元/t)	5754.33	6100.00	-150.00~700.00	345.67	6.01
餐饮垃圾	沼气(元/m ³)	2.70	1.63	-1.07	-1.07	-39.63
污水污泥	沼气(元/m ³)	2.34	1.50	-1.28~-0.40	-0.84	-35.90

4.2. 国家财税补贴政策对实现盈利的作用

在可盈利的能源化利用的 6 条途径中, 废弃油脂生产生物柴油、秸秆和林业剩余物生产成型燃料这 3 条途径获得国家财税补贴政策支持最少或者几乎没有, 依靠市场发展已成了相对完整的体系。但是, 因此存在扩大规模难、亏损风险大的问题, 处理废弃物的量有限, 给国家可再生能源贡献比例很小, 远没有实现应有的潜力。另外 3 条途径依靠国家补贴才能盈利。在畜禽粪便生产沼气项目上, 国家对工程建设进行了补贴, 在秸秆直燃发电和秸秆气化发电工程上, 国家统一执行标杆上网电价(0.75 元/kW·h)。如果执行当地电价 0.318 元/kW·h, 华北地区装机容量 1~3 MW 生物质气化发电项目与火电相比没有竞争力[45]。

秸秆、餐饮垃圾和污水污泥生产沼气、秸秆生产燃料乙醇共 4 种途径均表现不同程度的亏损。餐饮垃圾和污水污泥生产沼气能源化途径已有研究很少, 产业化发展还需要很多探索。秸秆生产燃料乙醇产业途径一是受制于原料收储运费用高, 二是生产所需降解酶的价格高, 使得盈利性很差。秸秆制沼气技术工艺还处于起步阶段, 产气率较低, 导致盈利较低[46]。

4.3. 技术创新和优化原料收集对提升经济效益有重要作用

当前多数废弃生物质能源化途径技术成熟度不高, 相比较看, 秸秆直燃发电技术成熟度较好, 是当前我国大规模利用秸秆的理想选择。但是, 秸秆直燃发电技术工艺还面临一定的问题, 如锅炉容易形成结焦等。与直燃发电相比, 气化发电的工艺流程方案还很不成熟, 燃气净化流程复杂, 尤其是脱除烟气中焦油等杂质成分的成本高, 尚缺乏工程经验, 因而其大规模工业应用仍需时日[47]。另一方面, 原料成本是非常重要的影响因素, 在很大程度上直接影响经济效益, 几乎所有相关研究都强调合理规划秸秆收集半径, 以保证原料供应充足。需要强调的是, 在当前国家政策支持下, 技术和运营管理水平对废弃生物质能源化是否盈利有重要作用。例如, 废弃油脂生产生物柴油几乎没有国家财政补贴, 不少企业通过提高技术创新和管理水平能够实现盈利; 虽然多数畜禽粪便生产沼气在国家补贴下才能盈利, 但是, 有实例分析表明, 一个存栏 1260 头的养牛场建立的畜禽粪便沼气工程, 沼气用来发电, 沼液和沼渣作为肥料使用, 即使不计国家补贴, 内部收益率仍达 7.92% [48], 高于火电行业的基准内部收益率 6% [45]。

4.4. 建议

首先, 能源化利用是废弃生物质循环处理最有效的途径, 国家相关政策制订顶层设计要立足于发挥废弃生物质能源化产业巨大的环境效益潜力。第二, 建立长久稳定的财税扶持政策, 抵消一部分本应由财政支付的环境治理成本, 生物质能源产业在市场上才有平等的经济竞争力, 才能实现其环境效益。第三, 生物质能作为一种新兴绿色产业, 亟待加强科学研究及技术创新, 形成大批有自主知识产权的关键技术。虽然原料资源量大, 但是很分散, 政府和行业协会应该组织研究, 形成完善的生物质原料收储运体系。第四, 制订全国废弃生物质区划, 结合各区域的农业发展, 建立“生态能源农业示范区”, 形成完整循环产业链。

致 谢

全国生物柴油行业协作组专家委员会常务副主任宁守俭高级工程师对废弃油脂生产生物柴油经济效益的文献分析提出了宝贵建议, 并提供了当前产业经济效益现状的重要资料, 特致谢忱。

基金项目

国家发展与改革委员会气候司中国清洁发展机制基金赠款项目(2014083)。

参考文献

- [1] 谢光辉, 方艳茹, 李嵩博, 等. 废弃生物质的定义、分类及资源量研究述评[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(8): 1-9.
- [2] 石元春. 发展生物质产业[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(1): 1-5.
- [3] 罗钰翔. 中国主要生物质废物环境影响与污染治理策略研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [4] 郝德海. 生物质发电技术产业化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2006: 39-42.
- [5] 张庆分, 任东明. 十二五期间生物质能产业发展回顾[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/gdzt/xyqqd/201712/t20171221_1197829.html, 2017-12-21 发布, 2019-11-7 浏览.
- [6] 夏恩君. 技术经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2016.
- [7] 朱开伟, 刘贞, 贺良萍, 等. 中国主要农作物秸秆可新型能源化生态经济总量分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3769-3785.
- [8] 姜芹, 孙亚琴, 滕虎, 等. 纤维素燃料乙醇技术经济分析[J]. 过程工程学报, 2012, 12(1): 97-104.
- [9] 朱青. 我国液体生物燃料的经济性研究[J]. 当代石油石化, 2017, 25(12): 5-10.
- [10] 朱青, 王庆申, 赵书阳, 等. 我国纤维素燃料乙醇工艺概况和经济性分析[J]. 石油石化绿色低碳, 2018, 3(3): 1-5.
- [11] 任天宝. 秸秆纤维乙醇技术工程化及技术经济研究[D]: [博士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2010: 64-67.
- [12] 霍丽丽, 赵立欣, 姚宗路, 等. 秸秆能源化利用的供应模式研究[J]. 可再生能源, 2016, 34(7): 1072-1078.
- [13] 李科, 靳艳玲, 甘明哲, 等. 木质纤维素生产燃料乙醇的关键技术研究现状[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(6): 877-884.
- [14] 王志伟, 雷廷宙, 岳峰, 等. 秸秆成型燃料系统经济性分析[J]. 农机化研究, 2012, 5(34): 209-212.
- [15] 蔡飞. 京郊农村地区生物质固体燃料开发潜力与项目推广模式研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2013: 62-68.
- [16] 王明俊. 关于我市秸秆压块燃料化利用的可行性分析[J]. 农民致富之友, 2017(23): 248.
- [17] 李在峰, 杨树华, 王志伟, 等. 秸秆成型燃料生产设备系统及经济性分析[J]. 可再生能源, 2013, 31(5): 120-123.
- [18] 李世密, 寇巍, 张晓健. 生物质成型燃料生产应用技术及经济效益分析[J]. 环境保护与循环经济, 2009(7): 47-49.
- [19] 韩树明. 秸秆固化成型技术及能源化利用的研究[J]. 农机化研究, 2012(12): 201-205.
- [20] 田宜水, 赵立欣, 孟海波, 等. 中国农村生物质能利用技术和经济评价[J]. 农业工程学报, 2011(1): 459-463.
- [21] 马秋颖. 东北地区玉米秸秆主要利用方式成本效益分析研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2017: 29-31.

- [22] 宋艳苹. 生物质发电技术经济分析[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2010: 33-34.
- [23] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见[N]. 经济日报, 2017-10-01.
- [24] 张铁柱, 李曙秋. 生物质发电项目技术经济分析[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2013, 9(1): 11-13.
- [25] 赵贵玉, 齐艳玲, 吕洋. 农作物秸秆发电经济效益分析[J]. 农学学报, 2017, 7(3): 86-90.
- [26] 李蓓蓓, 施威, 朱涛. 山东省生物质资源及利用技术的系统评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 374-377.
- [27] 朱利群, 漆军, 郭盼盼. 基于成本收益的秸秆资源不同利用方式的经济学分析[J]. 江西农业学报, 2016, 28(2): 106-111.
- [28] 王红彦, 毕于运, 王道龙, 等. 秸秆沼气集中供气工程经济可行性实证与模拟分析[J]. 中国沼气, 2014, 32(1): 75-78.
- [29] 闵师界, 邱坤, 吴进, 等. 新津县秸秆沼气工程经济效益分析[J]. 中国沼气, 2012, 30(6): 40-42.
- [30] 吕林. 某生物质固体成型燃料加工基地项目经济评价研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2017: 25-30.
- [31] 周媛. 基于采伐剩余物的生物质固体燃料利用评价[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2016: 30-32.
- [32] 孔祥才. 基于成本收益视角的生猪养殖粪便处理方式选择分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(16): 59-62.
- [33] 王火根, 李娜. 沼气工程企业效益分析及政策建议[J]. 可再生能源, 2018, 36(6): 811-819.
- [34] 马立新, 刘卫华, 荆和平, 等. 利用畜禽粪便生产沼气的技术装备研究与效益分析[J]. 江苏农机化, 2013(1): 32-34.
- [35] 孙淼. 江苏省规模化养殖场沼气工程效益实证分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2011: 41-50.
- [36] 梁光源. 地沟油“变废为宝”的道路还有多远[J]. 环境, 2017(7): 22-24.
- [37] 胡化凯, 王乐天. 生物质能源利用经济分析——基于安徽省企业调研数据[J]. 科技管理研究, 2014(19): 212-216.
- [38] 乔凯. 生物柴油的综合利用与前景分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2016: 42-44.
- [39] 张扬健, 向威达, 雷家骥. 我国生物柴油经济效益和发展前景分析[J]. 中国科技信息, 2009 (22): 18-21.
- [40] 沈超青, 马晓茜. 广州市餐厨垃圾不同处置方式的经济与环境效益比较[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(11): 103-106.
- [41] 张淑玲, 岳峥, 马东兵. 沼气利用技术在餐厨垃圾处理项目中的应用[J]. 环境卫生工程, 2014, 22(3): 64-66.
- [42] 陈天安. 餐饮厨余垃圾堆肥特性及其农业高效利用对策[J]. 污染防治技术, 2014, 27(2): 33-35.
- [43] 张利军, 谢继荣, 马文瑾, 等. 污泥厌氧消化沼气优化利用成本分析[J]. 给水排水, 2014, 50(S1): 145-148.
- [44] 韩春荣, 谢继荣, 宋晓雅, 等. 污水处理厂沼气利用的经济和能源性分析[J]. 给水排水, 2012, 48(12): 54-57.
- [45] 樊京春, 王永刚, 高虎. 生物质气化发电的经济效益分析[J]. 能源工程, 2004(3): 20-23.
- [46] 冯忻, 李玲, 解玉红. 天津市农业固体废弃物秸秆能源化利用形式的比较与讨论[J]. 黑龙江科学, 2016, 7(1): 150-153.
- [47] 汤东明. 直燃发电是当前我国秸秆规模化利用的理想方式[J]. 能源工程, 2012(6): 40-44.
- [48] 李生. 规模化养殖场大中型沼气工程效益分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西师范大学, 2018: 39-47.