

秸秆生物质能利用对节能减排的贡献潜力研究

任继勤

(北京化工大学经济管理学院, 北京100029)

摘要：在分析国内外秸秆资源现状的基础上，将我国的省份按照工业化水平分为七组，利用集成经验模态分解技术与神经网络相结合的方法，对我国秸秆生物质能利用问题进行研究。以2015年为基线情景，进行2020年的两种情景假设，分析秸秆利用对节能减排的贡献潜力。结果显示：如果秸秆转化为生物质能利用率提高到16%，那么可以节约6100万吨煤，减少9.65亿吨污染物的排放。但是提高到21%，在现有条件下的经济分析是不可行的。因此，地方政府应细化财政扶持政策，支持研发新技术，建立收储运体系，并鼓励相关企业参与碳排放交易市场。意义在于既能提高秸秆生物质能利用率，又能降低秸秆利用率提高带来的成本。

一、引言

我国粮食作物产量位居世界首位，每年大约产生6

—8亿吨秸秆^[1]

。如果对秸秆综合利用不全面，如农民为了不影响下一年耕种，露天焚烧秸秆，则会导致秸秆综合利用率低，也会带来严重的空气污染。据报道，东北地区

的雾霾天气与大规模焚烧秸秆同时发生^[2]

。2015年11月，全国范围内卫星共监测到1507个疑似秸秆焚烧着火点，火点数量是上年同期的1.8倍^[3]。

面对如此严峻的空气污染问题，国内外学者从秸秆的利用情况、技术成果、利用可行性、露天焚烧的危害等多个角度进行研究。结果表明：虽然秸秆综合利用技术已相对成熟，但是，各国秸秆综合利用率存在较大的差异。提高秸秆利用率在许多方面还需改进，如技术水平、教育水平、政策扶持等。根治秸秆露天焚烧，提高秸秆转化为生物质能利用率迫在眉睫。

二、国内外研究现状及政策分析

(一) 国外研究现状

国外学者主要从秸秆利用现状、利用技术、利用可行性和露天焚烧的危害四方面进行研究。发达国家的秸秆利用水平已达到工业化生产阶段，如美国、意大利、德国、瑞士

等^[4-5]

。发展中国家的

秸秆利用率普遍较低，如泰国、

印度、菲律宾的秸秆利用率分别为：52%、50%、5%^[6]

。目前，秸秆利用技术已相

对成熟，如从秸秆的纤维素中提取酒精燃料、秸秆分解

菌技术^[7]

、麦秸定向刨花板技术、秸秆制固体成型燃料技术等^[5]。秸秆综合利用需要考虑其可行性，一些学者认为政策支持和收—储—运成本显著影响秸秆利用率^[8-9]

。焚烧秸秆会引起严重的空气污染，Gadde等^[6]

总结了露天焚烧秸秆会产生12种污染物，包括CO₂、CH₄、N₂O、CO、NMHC、NO_x、SO₂

、TPM、PM_{2.5}、PM₁₀、PAHs、PCDD/F。Weiser等^[10]

估算，如果德国的秸秆资源化利用达到800~1300万吨，将减少73.3%~92.3%温室气体排放量。

(二) 国内研究现状

国内学者也做了大量的研究，吴彤等^[11]

认为我国农作物秸秆的综合利用率约为80%，但资源化利用率仅占11%，秸秆转化为生物质能源未达到工业化水平。

张崇尚等^[12]

利用GLO—PEM模型估算

了我国秸秆资源量，评估了秸秆在各省布局的适宜性

。檀勤良等^[13]

认为，政策支持对秸秆发电供应链的影响显著。王飞等^[14]

研究了秸秆“五料化”的技术特点和处理技术模式。彭

立群等^[15]

采用排放因子法估算了28个省露天焚烧

秸秆产生的10种污染物总量。陈龙高等^[16]

利用GIS技术结合大气污染清单估算方法分析了连云港的S

O₂和PM₁₀排放量，结果表明，耕地焚烧秸秆是PM₁₀的重要排放源。

（三）我国政策环境分析

目前，我国秸秆的资源化、商品化程度仍相对落后。原因不仅是秸秆综合利用技术不完善，还在于相关政策和措施没有完全落实，导致秸秆市场的运作力不足。自2000年开始，国务院出台了一系列秸秆综合利用和秸秆禁烧的政策和措施作为行动的指南。2000年修订的《大气污染防治法》明确规定，如发现露天焚烧秸秆，处罚涉事者500~2000元，并追究相关责任人的刑事责任。财政扶持政策，具有激励和引导的作用。《国家先进污染治理技术示范名录》介绍了秸秆制作成型燃料、燃烧发电、气化工程，以及制作建筑材料的技术指标、适用范围和解决的技术难题。当有特别需要的时候，还会以临时通知的形式，督促地方政府做好秸秆利用和禁烧的工作。地方政府也加强了对秸秆综合利用的补贴，2013年，江苏省发布的《江苏省秸秆机械化还田实施办法》，规定以10元/亩的标准对示范县进行资金补贴，要求补贴对象必须为农机服务站或农机户。

综合分析，秸秆生物质能的利用主要面临以下问题：秸秆综合利用技术已相对成熟，但发展中国家的秸秆资源化利用率普遍较低；提高秸秆综合利用水平离不开政府的支持，如发放补贴资金、激励农民和企业清洁生产等；秸秆露天焚烧造成严重的空气污染，严重影响了人们的生活和国家经济的发展。如何提高我国秸秆综合利用水平，关键在于提高秸秆综合利用对节能减排的贡献。因此，本文通过对1986—2015年秸秆资源走势分析，利用EEMD和BPNN模型预测我国2016—2020年秸秆资源产量，积极探究秸秆综合利用对节能减排的贡献潜力。

三、我国秸秆资源现状及政策环境分析

为客观的探究秸秆综合利用对节能减排的贡献潜力，首先分析1986—2015年我国秸秆资源情况，分析秸秆产量资源走势，选取可靠数据预测2016—2020年产量。

（一）数据来源及处理

依据国家统计年鉴，用1986—2015年全国五种主要粮食作物产量，作为主要研究对象（见表1）^[1]。

这五种粮食作物的产量占全国农作物总产量的90%以上^[17]

，基于二八原理，采用这五种粮食作物作为研究对象是合理的。因此，本文选用草谷比法来计算全国粮食秸秆产量。

粮食作物秸秆产量计算见公式：

$$S_n = \sum A_i \times Y_i \quad (1)$$

式中， S_n 为 n 省份粮食作物秸秆产量， A_i 为第 i 种粮食作物的草谷比， Y_i 为第 i 种粮食作物产量。

表 1 五种粮食作物及其草谷比^[18]

粮食作物	稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类
草谷比	0.9	1.2	1.1	1.6	0.8

由于我国省市众多，而不同的省市处于工业化的不同阶段，其技术和经济等方面的发展水平差异较大，进而影响未来秸秆的利用能力。而处于相同工业化阶段的省市的农作物生产状况具有相似性。依据我国工业化蓝皮书，本文将全国30个省市按工业化阶段划分成7个组（见表2）^[19]。

表2 7个工业化阶段省市的分组

组	工业化阶段	省市
1	后工业化	北京,上海
2	工业化后期的后半阶段	广东,天津
3	工业化后期的前半阶段	浙江,江苏,山东
4	工业化中期的后半阶段	辽宁,福建
5	工业化中期的前半阶段	山西,内蒙古,吉林,河北,湖北,黑龙江,河南,重庆,宁夏
6	工业化初期的后半阶段	陕西,新疆,青海,广西,云南,甘肃,湖南,四川,安徽,江西
7	工业化初期的前半阶段	贵州,西藏

(二) 我国1986—2015年秸秆资源走势分析

根据7个工业化阶段省市的分组，分别绘制1986—2015年7个组省市的秸秆产量。由于每组的数据点过多，不利于清晰地展现秸秆产量的走势变化，因此绘制了各组省市每五年的秸秆产量（如图1所示）。数据统计显示，3、4、5、6组的秸秆产量占总产量的95%，其中，3组的秸秆产量保持在每年1亿吨左右，4、5、6组秸秆的产量整体呈上升趋势，5组的增长率高于4、6组。

由图1可知，1986—1999年期间，1组的秸秆产量保持在2300万吨/年左右，2组的秸秆产量保持在500万吨/年左右。7组的秸秆产量近30年整体保持增长趋势。1999—2003年期间，1、2、3、5、6组的秸秆产量有明显下降趋势。究其原因，是由于从1999年开始，国家开始实施退耕还林工程，加上城市化进程的快速发展占用了大量的耕地，导致的粮食产量大幅下滑，进而导致秸秆产量下降。1986—1999年期间，北京市的耕地面积约825万亩，而2000—2003年期间，北京市退耕还林了46万亩耕地。到2015年底，北京市的耕地面积降至不足300万亩。

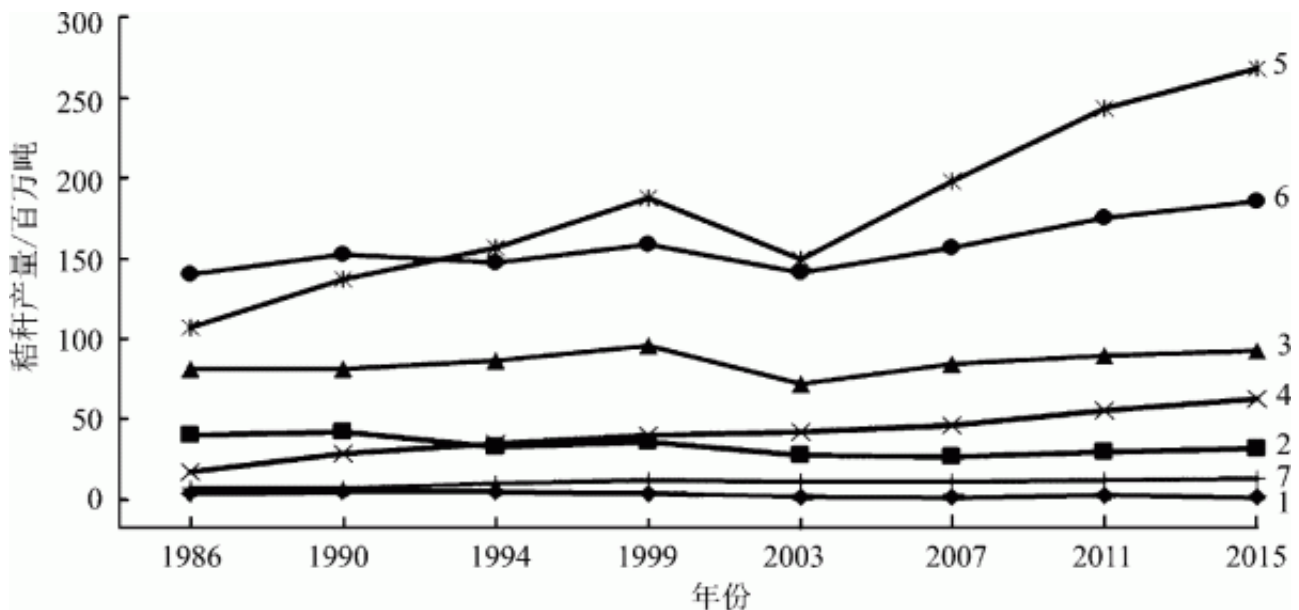


图1 1986—2015年七组的秸秆产量

由上分析可知，1999—2003年期间，由于政策的调整，1、2、3、5、6组的粮食走势波动较大，粮食产量发生结构性变化。2004—2015年期间，粮食增长走势趋于平稳。

(三) 数据分析

为了准确分析未来秸秆资源的走势，基于最小二乘法对30年粮食产量数据进行CHOW检验^[20]。CHOW检验的基本原理公式：

$$F = \frac{\frac{SSE - SSE_1 - SSE_2}{m+1}}{\frac{SSE_1 - SSE_2}{N_1 + N_2 - 2m - 2}} \sim F(m+1, N_1 + N_2 - 2m - 2) \quad (2)$$

式中， SSE 为残差平方和， m 为解释变量个数， $N_1 + N_2$ 为样本容量。

采用SPSS软件，基于CHOW检验的基本原理，判断粮食产量数据是否存在结构性变化的断点。对第5组数据进行检验，结果显示，F检验、Wald检验、对数似然比三类统计量对应的概率值（ p ）应远小于10%（见表3）。同理对所有组进行检验。

表 3 CHOW 检验的结果

统计量	统计值	概率值（ p ）
F— statistic	10.78036	0.0004
Log likelihood ratio	18.11732	0.0001
Wald Statistic	21.56073	0.0000

结果显示：在2003年，7组数据均有结构性变化的断点，进而将数据分为1986—2003年和2003—2015年两段。为了避免断点对预测值可靠性的干扰，本文利用2003—2015年的粮食产量数据来预测2016—2020年粮食产量。

四、我国秸秆综合利用对节能减排的贡献潜力

基于2015年全国秸秆总产量的估算结果（680百万吨），如果按照现行的转化率，将秸秆转化为生物质能源，相当于38百万吨标准煤；如果将秸秆全部焚烧，将排放约10亿吨污染物。可见，秸秆综合利用不仅减少了污染物的排放，还可以增加能源的供给。因此，预测2016—2020年全国秸秆资源走势，并重点分析2020年秸秆综合利用对节能减排的贡献潜力。

（一）基于EEMD和BPNN的全国秸秆资源走势预测

为提高预测结果的准确性，本文将集成经验模态分解技术（Ensemble Empirical Mode Decomposition，以下简称EEMD）与神经网络（Back Propagation Neural Network，以下简称BPNN）相结合，进行全国粮食产量的预测，同时采用回归分析，找出全国秸秆资源走势。

1.EEMD的基本原理

EMD是在经验模态分解的基础上进行改进的一种分解方法。EEMD是通过加入白噪声帮助提取分离不同的信号模式，来解决EMD模态混合的问题。其中，添加的白噪声序列如公式（3）所示^[21]。白噪声标准差公式：

$$\epsilon_n = \frac{\epsilon}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

式中， N 是集成数量， ϵ 是添加的白噪声振幅， ϵ_n 是白噪声标准差。在实验过程中，参数 N 设为 100， ϵ_n 设为 0.2。原始序列通过 EMD 分解之后得到的子序列与原始序列的关系公式^[21]：

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t) \quad (4)$$

式中， n 为分解分量的个数， $r_n(t)$ 为序列 $x(t)$ 的最终残差， $c_j(t)$ 为分解分量。

2.BPNN的基本原理

神经网络的基本结构为输入层、隐含层和输出层；计算过程包括：正向输出结果和反向调节权重两部分。本次实验的神经网络结构设置如下：输入层节点为7，隐含层个数为15，输出层节点为1。BPNN的权重调节机制如下^[22]：

$$f(x) = a_0 + \sum_{j=1}^q w_j \varphi(a_j + \sum_{i=1}^p w_{i,j} x_i) \quad (5)$$

式中, x_i 为输入变量, $f(x)$ 为输出结果, a_j 为节点 j 的偏差, $w_{i,j}$ 为节点 i 和 j 之间的连接权重, p 为输入节点个数, q 为隐藏层节点个数, φ 为隐藏层的转换函数, w_j 为两个节点之间的连接权重。

3.结果分析

首先, 利用EEMD将原序列分解成 n 个子序列; 其次, 利用BPNN得到每一个子序列的单预测结果; 最后, 对每一个子序列的单预测结果进行加和, 集成为最终的预测结果。基于上述原理, 采用MAT-LAB2013a软件, 最终得到3个分解分量。利用神经网络模型分别对这3个分解分量进行预测、集成, 最终预测出2016—2020年间, 全国和7个组的粮食产量预测, 结果见表4。

表4 2016—2020年全国和7个组的粮食产量预测结果(单位:百万吨)

年份	组							粮食总产量
	1	2	3	4	5	6	7	
2016	2	30	89	65	281	189	12	668
2017	2	31	94	64	285	192	15	683
2018	2	32	95	70	294	194	16	704
2019	3	33	95	75	297	197	15	713
2020	3	33	95	78	305	201	16	731

同时, 利用回归分析, 找到秸秆资源与粮食产量之间的关系。进而通过2016—2020年的粮食产量, 来预测2016—2020年的秸秆产量。采用SPSS软件, 结合近30年全国粮食总产量和秸秆总产量数据, 得出秸秆和粮食产量的关系 ($R^2=0.99$, $F=12435.689$, P 值为0.000), 见公式(6)。秸秆和粮食产量的关系式:

$$S_i = 1.04 \times Y_i - 0.02 \quad (6)$$

式中, S_i 为秸秆产量, Y_i 为粮食产量。

将2016—2020年的粮食产量代入式(6), 得到2016—2020年间, 全国和7个组秸秆产量, 见表5。其中, 3、4、5、6组的秸秆产量仍占总产量的95%。

表5 2016—2020年全国和7个组的秸秆产量(单位:百万吨)

年份	组							秸秆总产量
	1	2	3	4	5	6	7	
2016	2	31	93	68	292	197	12	695
2017	2	32	97	67	296	200	16	710
2018	2	33	99	73	306	202	17	732
2019	3	34	99	78	307	205	16	742
2020	3	34	99	81	317	209	17	760

(二) 秸秆对节能减排的贡献分析

1.情景假设

基于《秸秆综合利用技术目录(2014)》, 本文将秸秆综合利用分为: 秸秆的直接利用和转化为生物质能源。前者包括: 做饲料、制建筑材料、培养食用菌及还田沤肥等; 后者包括: 液化、气化、固化发电和制生物质炭等, 秸秆的综合利用率是秸秆的直接利用率和转化为生物质能源利用率之和。

依据秸秆露天焚烧的污染物排放清单，污染物包括： CO_2 ， $\text{PM}_{2.5}$ ， BC ， OC ， CO ， NH_3 ， SO_2 ， NO_x ， CH_4 ， NMVOC ，秸秆露天焚烧的排放系数分别为：1.43，0.01，0.0006，0.003，0.034，0.0007，0.0009，0.003，0.003，0.006^[23]。

基线情景，2015年，我国秸秆直接利用率是69%，秸秆转化为生物质能源的利用率是11%，则秸秆综合利用率为80%。2015年的秸秆总产量为680百万吨，生物质能源利用率为11%，则将有75百万吨秸秆转化为生物质能源，相当于38百万吨标准煤（折标煤系数为0.5^[24]），约占2015年全国煤消耗量的2%。

生物质能源属于清洁能源，在使用过程中几乎不排放污染物。

两种利用方式均避免了秸秆露天焚烧。依据秸秆露天焚烧的污染物排放清单和露天焚烧的排放系数，2015年利用秸秆数量是544百万吨。减少了811百万吨污染物的排放（其中 CO_2 占污染物排放总量的96%）。

情景（1）在2020年，假设我国秸秆的直接利用率保持在2015年的基础上不变，秸秆转化为生物质能利用率提高5%，提高到16%，那么秸秆综合利用率为85%。则2020年的我国秸秆总产量为760百万吨，将节约61百万吨煤，约占2015年全国煤消耗量的3%，同时减少965百万吨污染物的排放。

情景（2）在2020年，假设我国秸秆的直接利用率保持在2015年的基础上不变，秸秆转化为生物质能利用率提高10%，提高到21%，那么秸秆综合利用率为90%。则2020年的我国秸秆总产量为760百万吨，将节约80百万吨煤，约占2015年全国煤消耗量的4%，同时减少1021百万吨污染物的排放。

具体见表6。

表 6 我国秸秆综合利用对节能减排贡献的情景假设（单位：百万吨）

情景	基线情景		情景 1		情景 2	
秸秆综合利用率	直接利用率	生物质能源利用率	直接利用率	生物质能源利用率	直接利用率	生物质能源利用率
	69%	11%	69%	16%	69%	21%
秸秆转化为生物质能源	0	75	0	122	0	160
转化为标准煤	0	38	0	61	0	80
减少污染物排放量	811		965		1 021	

同理，对我国7个组的秸秆对节能减排的贡献进行情景假设，以2015年为基线情景，秸秆的直接利用率是69%，情景1，秸秆转化为生物质能利用率提高到16%；情景2，秸秆转化为生物质能利用率提高到21%；分析结果见表7。由于组1的秸秆产量较少，为了后期计算组1的经济可行性，组1的计算结果保留了小数点后两位。

表 7 我国 7 个组秸秆综合利用对节能减排贡献的情景假设 (单位:百万吨)

情景		基线情景		情景 1		情景 2	
组	秸秆综合利用率	直接利用率	生物质能源利用率	直接利用率	生物质能源利用率	直接利用率	生物质能源利用率
		69%	11%	69%	16%	69%	21%
1		0	0.19	0	0.28	0	0.37
2		0	2	0	5	0	7
3		0	12	0	16	0	21
4	秸秆转化为生物质能源	0	7	0	13	0	17
5		0	33	0	51	0	67
6		0	21	0	33	0	44
7		0	1	0	3	0	4
1		0	0.09	0	0.14	0	0.19
2		0	1	0	3	0	4
3		0	6	0	8	0	10
4	转化为标准煤	0	3	0	7	0	9
5		0	16	0	25	0	33
6		0	10	0	17	0	22
7		0	1	0	1	0	2
1		2.05		3.80		4.03	
2		24		43		46	
3		124		126		133	
4	养活污染物排放量	70		103		109	
5		356		402		425	
6		222		265		281	
7		14		22		23	

2.经济可行性分析

(1) 情景1与基线情景相比, 情景1的秸秆转化为生物质能源的利用率提高到16%, 假设其均用于生物质发电。电厂的总成本将增加442亿元[收储运成本增加160亿元 (收储运成本为340元/吨)], 发电成本增加282亿元 (1吨秸秆可发电1MW·h, 发电成本为600元/MW·h^[25])。

同时, 电厂发电总

收入增加了453亿元[供电收入增加353亿元 (上

网电价为750元/MW·h^[25]

)]; 碳交易收入100亿元 (减排成交均价为50元/tCO₂e^[26])。

电厂利用秸秆发电引起的CO₂减排量, 减少了

约200百万吨CO₂的排放 (CO₂排放系数为1.43^[24])。收入大于成本, 因此, 情景1具有经济可行性。

(2) 情景2与基线情景相比, 情景2的秸秆转化为生物质能源利用率提高到21%, 那么, 电厂的总成本将增加799亿元 (假设提高的10%均用于生物质发电, 收储运成本增加289亿元, 发电成本增加510亿元)。电厂的收入增加753亿元 (供电收入638亿元, 碳交易收入115亿元 (具体分析同情景1))。收入小于成本。因此, 情景2中, 电厂存在亏损风险, 不具有经济可行性。只有降低单位成本, 使成本小于收入时, 才具有经济可行性。电厂需要多处理85百万吨秸秆转化为生物质能源, 当收入增加753亿元时, 单位成本应小于886元/吨, 电厂才会盈利。

(3) 对我国7个组的秸秆产量进行经济性分析情景1组1、2、3、4、5、6、7增加的总成本分别为0.96亿元、26亿元、39亿元、55亿元、179亿元、123亿元、19亿元。同时, 收入分别增加0.99亿元、27亿元、45亿元、56亿元、180亿元、124亿元、20亿元。7个组的收入均大于成本, 具有经济可行性。

情景2收入与成本比小于1, 经济上不可行。情景2组1、2、3、4、5、6、7增加的总成本分别为2亿元、47亿元、87亿元、96亿元、320亿元、218亿元、29亿元。同时, 收入分别增加1.62亿元、43亿元、83亿元、88亿元、304亿元、205亿

元、28亿元。7个组的收入均小于成本，不具有经济可行性。

3.结果分析

以2015年为基线情景，对我国2020年的秸秆产量进行两个情景分析，结果如下：

实现情景（1），秸秆转化为生物质能利用率提高到16%，经济性可行。但提高其秸秆综合利用率是关键。因此，各级政府在制定财政扶持方案时，应加强对秸秆转化为生物质能源方面的支持力度。

同理，对我国7个组的秸秆产量进行分析，由1986—2015年秸秆实际产量及2016—2020年秸秆预测产量可知。3、4、5、6组的秸秆产量占总量的95%，为实现情景1，提高其秸秆综合利用率是关键。拥有成熟的秸秆利用技术并建立完善的收储运系统，是提高产粮大省秸秆利用率的关键路径。然而，5、6组的工业化水平较低，不具备开发和投资的能力。因此，中央政府仍需加强对5、6组的财政扶持力度。省、县、乡级政府应细化秸秆收储运补贴分配方案，并建立收储运系统，形成省级秸秆收储运网络。

实现情景（2），秸秆转化为生物质能利用率提高到21%，经济性不可行。

可以通过提高收储运补贴、减免过路费等方式，降低收储运成本。由于秸秆转化为生物质能的前期投入成本较高，而中小型生物质能源企业的投资能力不足。因此，可以通过优惠贷款、减免所得税等方式来调动相关企业的积极性。当收入大于成本之时，即单位成本小于886元/吨，才具有经济可行性。

为实现情景2，政府需要增加收储运补贴来帮助企业降低成本。特别是5、6、7组的经济、技术水平较落后，中央政府应加强对5、6、7组的财政和技术扶持。

此外，1、2、3、4组省市的工业化水平高，具备一定的经济、技术优势，这类省市可以重点研发并推广先进的秸秆综合利用技术。

五、结论与对策建议

（一）结论

1.虽然发达国家秸秆综合利用技术已相对成熟，但我国秸秆资源化利用率普遍较低，秸秆露天焚烧造成严重的空气污染，严重影响了人们的生活和国家经济的发展，需要政府的大力支持以提高我国秸秆综合利用，加强建设生态农业，促进农村资源和经济的可持续发展。

2.如果将秸秆生物质能源利用率提高到16%~21%，那么可以代替6100~8000万吨煤燃烧，约占全国煤消耗总量的3%~4%。我国秸秆资源集中在3、4、5、6组，而5、6组的经济和技术水平相对落后。秸秆利用率提高到一定程度，必然伴随着成本的增加。为支持5、6组的秸秆利用技术研发以及现有技术的应用，应提高我国生物质能源利用率。

3.将我国秸秆转化为生物质能利用率提高到21%，在目前的社会经济发展阶段是不经济的，单位成本小于886元/吨，电厂才会盈利，才具有经济可行性。

（二）对策建议

1.细化财政扶持政策

地方政府应细化财政扶持政策，严格控制补贴的资金流向并建立反馈机制，确保补贴发给农民和企业，进一步细化补贴对象和标准[27]。如给予秸秆生物质炉灶厂成本补贴，农民以成本价购买秸秆生物质炉灶。提倡非强制性禁烧手段，政府与农民签订环境自愿清洁协议，提倡农民互相监督[28]。

2.支持研发新技术，建立收储运体系为了减少秸秆利用率提高带来的成本增加，应研发适用于我国市场的新技术，并且建立高效、运行通畅的秸秆收集、储存、运输、利用的产业链，建立稳定的收购和销售渠道。

3.开发碳减排项目建议鼓励相关企业参与碳排放交易，推进秸秆商品化，提倡秸秆制生物质能源项目，鼓励秸秆进入自愿减排碳交易市场中进行交易。相关企业使用秸秆制生物质能源，减少的温室气体排放量，企业可以获得碳交易

资金。

六、结语

本研究为我国秸秆生物质能利用提供了一定的决策依据,为应对气候变化提出新的办法。研究秸秆的综合利用对节能减排的贡献潜力。未来研究可尝试采用新技术和新的管理措施,以获得相应的节约能源和减少排放的实际数据,同时进行相关的经济性分析,从而提高研究结论的可靠性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2016 国家统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2016.
- [2] 齐少群,张菲菲,万鲁河,等. 哈尔滨秋季雾霾期秸秆焚烧区域识别提取研究[J]. 自然灾害学报,2016,25(4):152—158.
- [3] 中华人民共和国环境保护部. 2015 年 11 月份环境卫星秸秆焚烧火点核定月报[EB/OL]. (2015-12-10)http://hj.mep.gov.cn/jgjs/201512/P020151214373345402630.pdf.
- [4] BANOWETZ G M, BOATENG A, STEINER J J. Assessment of Straw Biomass Feedstock Resources in the Pacific Northwest[J]. Biomass and Bioenergy, 2008, (32):629—634.
- [5] European Biofuels Technology Platform. Cellulosic Ethanol (CE)[EB/OL]. (2016-09-10)[2017-10-05]http://www.biofuelstp.eu/cellulosic-ethanol.html.
- [6] GADDE B, MENKE C, WASSMANN R. Rice Straw as a Renewable Energy Source in India, Thailand, and the Philippines: Overall Potential and Limitations for Energy Contribution and Greenhouse Gas Mitigation[J]. Biomass and Bioenergy, 2009, (33): 1532—1546.
- [7] 孙宁,王飞,孙仁华,等. 国外农作物秸秆主要利用方式与经验借鉴[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(S1):469—474.
- [8] LITTLEWOOD J, MURPHY R, WANG L. Importance of Policy Support and Feedstock Prices on Economic Feasibility of Bioethanol Production from Wheat Straw in the UK[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 17(17):291—300.
- [9] SONG G B, SONG J, ZHANG S. Modelling the Policies of Optimal Straw Use for Maximum Mitigation of Climate Change in China from A System Perspective[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016,(55):789—810.
- [10] WEISER C, ZELLER V, REINICKE F, et al. Integrated Assessment of Sustainable Cereal Straw Potential and Different Straw-Based Energy Applications in Germany[J]. Applied Energy, 2014, (114): 749—762.
- [11] 吴彤. 我国主要农作物秸秆综合利用率超过 80%[N]. 中国建材报,2016-05-30(001).
- [12] 张崇尚,刘乐,陆歧楠,等. 中国秸秆能源化利用潜力与秸秆能源企业区域布局研究[J]. 资源科学,2017,39(3):473—481.
- [13] 檀勤良,王瑞武,潘昕昕,等. 模糊供给下生物质发电燃料供应链模式研究[J]. 中国软科学,2017,(2):123—131.
- [14] 王飞,石祖梁,李想,等. 区域秸秆全量处理利用的概念、思路与模式探讨[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(5):8

- [15] 彭立群,张强,贺克斌. 基于调查的中国秸秆露天焚烧污染物排放清单[J]. 环境科学研究,2016,(8):1109-1118.
- [16] 陈龙高,夏米诺,杨小艳,等. 土地利用大气多源污染排放清单估算研究[J]. 中国矿业大学学报,2016,45(6):1271-1277.
- [17] 韦茂贵,王晓玉,谢光辉. 中国各省大田作物田间秸秆资源量及其时间分布[J]. 中国农业大学学报,2012,17(6):32-44.
- [18] 毕于运,高春雨,王亚静,等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报,2009,25(12):211-217.
- [19] 陈佳贵,黄群慧,钟宏武,等. 中国工业化进程报告:1995—2005 年中国省域工业化水平评价与研究[M]. 北京:中国社会科学出版社,2007.
- [20] 杨海文,王丹华. 线性回归模型参数稳定性的 Quandt-Andrews 检验法[J]. 数理统计与管理,2013,32(5):823-829.
- [21] WU Z H, HUANG N E. Ensemble Empirical Mode Decomposition; A Noise Assisted Data Analysis Method[J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2011,1(1):1-41.
- [22] 李蓬勃,闫晓冉,徐东瑞. BP 神经网络和多元线性回归在粮食产量空间分布预测中的比较[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(9):74-79.
- [23] 彭立群,张强,贺克斌. 基于调查的中国秸秆露天焚烧污染物排放清单[J]. 环境科学研究,2016,(8):1109-1118.
- [24] 郭利磊,王晓玉,陶光灿,等. 中国各省大田作物加工副产物资源量评估[J]. 中国农业大学学报,2012,(6):45-55.
- [25] 乐俊,马庆,秦帆. 秸秆发电项目投资财务评价研究[J]. 能源与环境,2015,(3):106-107,110.
- [26] 王扬雷,杜莉. 我国碳金融交易市场的有效性研究—基于北京碳交易市场的分形理论分析[J]. 管理世界,2015,(12):174-175.
- [27] 任继勤,汪亚运,王得印. 国外生物质能源政策措施及其效果分析[J]. 世界林业研究,2014,27(2):89-92.
- [28] 何可,张俊飏,张露,等. 人际信任、制度信任与农民环境治理参与意愿—以农业废弃物资源化为例[J]. 管理世界,2015,(5):75-88.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/155252.html>