

中国秸秆生物质发电区域适宜度分异评价

侯刚^{1,4}, 李铁冰^{2,4*}, 席建超³, 杨改河^{2,4}, 罗诗峰⁵

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 陕西省循环农业工程技术中心, 陕西 杨凌 712100;
5. 河南省农村能源环境保护总站, 河南 郑州 450002)

摘 要: 秸秆发电是我国发展生物质能产业的重要组成部分, 区域适宜度评价是决定其合理布局的关键。在综合分析秸秆发电产业发展影响因素的基础上, 运用层次分析法和多目标线性加权函数法从耕地资源潜力、秸秆原料供应、市场需求状况和产业发展成本四个层面共选取了耕地资源总量、耕地资源量波动水平、秸秆资源总量、秸秆产量波动水平、用电量、用电量增长率、秸秆资源密度和人均 GDP 等 8 个指标建立了中国秸秆发电区域适宜度评价指标体系和评价模型, 结果显示, 我国各省区秸秆发电适宜度存在较大差异, 综合适宜度较高的是河南、山东、安徽、江苏、河北、黑龙江、吉林等我国中部和东北粮食主产区; 综合适宜度较低的是北京、上海、天津、浙江等东部经济发达区和青海、宁夏、甘肃、陕西等西北农牧区; 其余区域秸秆生物质发电的适宜程度一般。

关键词: 生物质能; 秸秆发电; 区域适宜度

中图分类号: S210.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0189-08

生物质能在解决目前世界经济面临的能源紧缺和环境危机两大主要问题中占有重要地位。2006 年全球可再生能源利用总量的一半以上为生物质能, 占一次能源总量的 14%^[1], 我国在可再生能源中长期发展规划中也提出了可再生能源占总能源消费量在 2010 年达到 10%, 2020 年达到 15% 左右的目标, 其中生物质能发电在 2020 年要达到 3 000 万 kW^[2]。秸秆作为农业生产的副产品, 产量大、分布广, 含碳量达 45%, 是一种重要的生物质资源, 每 2 t 秸秆的热值就相当于 1 t 标准煤, 同时秸秆也具有 CO₂ 零排放的特征, 市场前景非常广阔^[3]。我国是一个农业大国, 秸秆生物质资源十分丰富, 其有效地开发利用直接影响到我国可再生能源产业的发展。由于秸秆生物质发电在我国未来能源体系中的重要地位, 其研究倍受关注。综合来看, 当前国内相关研究多集中在秸秆总量计算和分布特征论述^[3~7], 以及秸秆发电技术、经济性分析与相关政策法规等方面^[8~14], 而较少考虑到产业发展过程中必然存在的区域适宜性问题。因此, 在综合分析秸秆生物质发电产业发展的影响因素的基础上, 构建评价模型对其进行区域适宜度分异评价, 必将对科学制定我国秸秆生物质发电的区域空间布局和宏观产业政策, 保障农作物秸秆资源合理利用具有重大的科学参考价值。

1 秸秆发电产业发展影响因素分析

区域适宜度评价是为了衡量某项自然或人为活动在特定区域条件下发生发展的适宜程度而做出的结论性评价, 首先要对评价对象的影响因素做出科学的判定和分析。目前国内相关研究开展较少, 本研究认为秸秆发电产业发展的影响因素主要集中在耕地资源潜力、秸秆原料供应、市场需求状况、产业发展成本、制度和技术保障等几个方面, 其中制度和保障因素对全国来说是均质的, 在此不予考虑。

1.1 耕地资源潜力

耕地是农作物生长和秸秆产生的最先决条件, 耕地的数量和质量直接影响到区域农业生产水平, 进而决定了秸秆资源的产量。受气候、生物、土壤、地形和水文等因素的影响, 我国耕地资源分布区域差异较大, 大致可分为东南部湿润区、半湿润季风区、西北部干旱区、干旱内陆区和青藏高原区, 而各个区域之间耕地资源的生产力水平也存在较大差异, 其中中东部地区耕地资源条件较好, 西北干旱区和黄土高原等地生产条件较差^[15]。但是随着人口的不断增长、社会经济的高速发展和城镇化水平的迅速提高, 中东部地区有限耕地资源的减少和建设用地扩展之间的矛盾日益尖锐, 尤其在沿海经济发达地区, 耕地面积的迅速减少直接影响到区域的粮

收稿日期: 2009-06-04
基金项目: 国家自然科学基金(30700482); 科技部“十一五”科技支撑课题“综合能源与综合水资源保障风险防范关键技术示范”(2006BAD20B06)
作者简介: 侯刚(1981—), 男, 河南禹州人, 在读博士, 研究方向为可再生能源的开发利用。E-mail: hougang0405@yahoo.com.cn
通讯作者: 李铁冰(1977—), 女, 河南鹤壁人, 讲师, 博士!主要从事生态农业与循环农业技术研究。
(C)1994-2011 China Academic Electronic Journal Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

食生产,进而对区域农作物秸秆资源的可利用性产生影响。

1.2 秸秆原料供应

作为发电原料,秸秆资源供应不足或者不稳定均会对产业的发展产生一定的风险,进而影响到产业发展的区域适宜程度。秸秆是农业活动的副产品,我国主要的农作物种类有稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、棉花和甘蔗等,不同作物生产秸秆的能力差异很大,各省区农作物种植结构也差异显著,河南、山东、黑龙江、吉林和四川等农业大省秸秆资源充足^[5],东部沿海等乡镇企业发达地区和西北农牧区由于缺少充足的原料,秸秆发电就会受到一定的原料供应限制。另外,秸秆资源的供应也必将受到由自然气候条件变化和人类社会经济发展所造成的粮食产量波动的影响^[16],比如自然灾害造成的粮食减产,以及部分地区城市化速度加快和产业结构调整带来的农作物种植面积的减小等,最终造成各省区之间秸秆资源的产出、供给和利用之间的显著差异,长远来看必将对区域秸秆资源的规模化利用造成一定的原料供应风险。

1.3 市场需求状况

市场需求状况决定了产业发展的必要性和紧迫程度。近年来,随着社会经济的持续快速发展,我国大部分地区都出现了电力供应紧张的现象,尤其是东部沿海经济发达区,这就给秸秆发电产业创造了极大的市场空间^[10]。另外,随着煤炭等石化能源的逐渐枯竭,生物质发电等可再生能源必然成为今后的能源发展方向,截至 2007 年底,国家和各省发改委已经核准生物质发电项目 87 个,总装机容量 220 万 kW,全国已建成投产项目 15 个,在建项目 30 多个,发展市场前景广阔。然而我国各省区社会经济发展水平差异较大,对电力供应的要求也不尽相同,因此可以用电力消耗总量和电力消耗增长率两个指标来衡量区域秸秆发电的市场需求,电力消耗总量越大,增长率越大,说明区域电力资源需求程度越高,越有利于秸秆发电产业的发展。

1.4 产业发展成本

虽然国家对秸秆发电实行优惠电价政策,上网电价高出燃煤发电 0.25 元/(kW·h),并且还可以享受税收减免等一系列政策,但是已投产运营的秸秆发电企业仍然面临较高的成本风险。由于秸秆资源空间分布上的分散性和时间分布上的集中性,其收集、运输和储存普遍存在较大难度,收集半径越大,收集运输成本也就越大^[10,11,17]。因此,引入资源密度的概念,用单位国土面积秸秆产量来表示,资源密

度越大,收集和运输成本就越小,越有利于区域秸秆资源的规模化利用。另外,企业的运营管理成本也是影响产业发展适宜度的成本因素之一,主要表现为区域劳动力价格水平,可用区域人均 GDP 来表示,人均 GDP 越高,表明区域社会经济发展状况越好,劳动力成本相应的也就越大。

2 我国秸秆发电区域适宜度评价

2.1 评价指标体系

秸秆发电区域适宜度影响因素来源多样,其评价模型和指标体系的好坏直接关系到评价结果的准确性和科学性。在综合考虑上述各个影响因素的基础上,遵循显著性、主导性、易获取性和可操作性等原则构建了中国秸秆发电区域适宜度评价指标体系(图 1),具体指标解释如下。

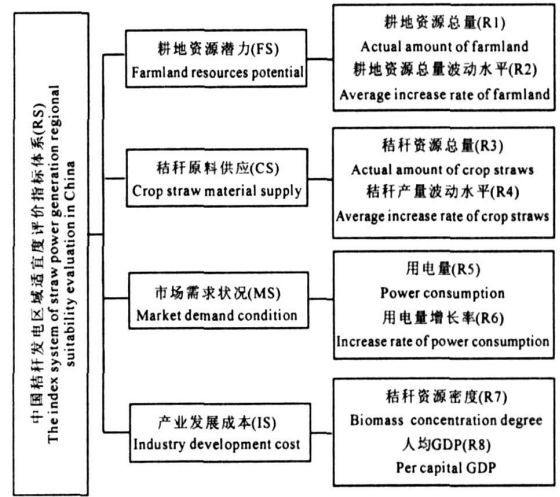


图 1 中国秸秆发电区域适宜度评价指标体系

Fig.1 The index system of straw power generation regional suitability evaluation in China

(1) 耕地资源潜力因素,选择了区域耕地资源总量和耕地资源波动水平两个指标,其中总量取近 3 a 的平均值,波动水平取近 10 a 的平均值。耕地资源总量越大、耕地资源减少趋势越小,越有利于区域农业生产的发展,间接对秸秆发电产业的发展起到较好的推动作用。

(2) 秸秆原料供应因素,选择了秸秆资源总量和秸秆产量波动水平两个指标,分别反映区域当前的原料供应能力和原料供应对秸秆发电产业发展的长期效应,其中秸秆总量取近 3 a 的平均值,波动水平取近 10 a 的平均值。秸秆资源总量和秸秆产量增长率越大越有利于区域秸秆发电产业的发展。由于秸秆产量未列入国家有关部门的统计范围,通常依据主要农作物的产量来计算。计算公式如下:

$$T=\sum_{i=1}^nQ_{ci}r_i\tag{1}$$

式中, T 为农作物秸秆产量; Q_{ci} 为第 i 类农作物的产量; r_i 为第 i 类农作物的草谷比系数 (residue to product ratio, RPR), RPR 也叫产量系数或者经济系数, 是农作物秸秆产量估算的关键因素, 通常是一个可以通过田间试验和观测得到的常数, 不同地区、不

同品种的农作物略有差异。不同学者在估算中国秸秆资源量时采用的 RPR 也各不相同^[4, 14, 18~20]。本文选取的 RPR 见表 1。

(3) 市场需求状况, 选择了最能影响秸秆发电市场需求的人均用电量和电力消耗增长率作为评价指标。人均用电量和电力消耗增长率越大, 秸秆发电产业发展的市场空间越大。

表 1 主要农作物草谷比系数

Table 1 Residue to product ratio(RPR) of various crops

农作物 Crop	稻谷 Rice	小麦 Wheat	玉米 Corn	豆类 Bean	薯类 Yam	油料 Oil crop	棉花 Cotton	麻类 Fibre	糖类 Sugar
草谷比 RPR	1.0	1.2	2.0	1.5	0.5	2.2	3.0	1.0	0.1

(4) 产业发展成本, 选择了区域秸秆资源密度和人均 GDP 两个指标, 分别反映秸秆发电的运输收集成本和劳动力成本。秸秆资源密度越大, 运输收集成本就越小, 人均 GDP 越高说明区域劳动力成本越大。

2.2 评价方法

评价指标体系中每一单项指标均是从不同侧面来反映区域适宜程度的, 因而必须进行综合评价。

本论文拟采用多目标线性加权函数法和层次分析法对中国秸秆发电的区域适宜度进行评价^[21~23], 其基本原理是将要识别的复杂问题分解成若干层次, 由专家和决策者对所列指标通过两两比较重要程度而逐层进行判断评分, 利用计算判断矩阵的特征向量确定下层指标对上层指标的贡献程度, 从而得到基层指标对总目标而言的重要程度(表 2)。

表 2 指标权重值

Table 2 The value of index system

目标层 Target level	权重 Proportion	准则层 Guideline level	权重 Proportion	指标层 Index level	权重 Proportion
RS	1	FS	0.227	R1	0.5
				R2	0.5
		CS	0.424	R3	0.667
				R4	0.333
		MS	0.122	R5	0.5
				R6	0.5
		IS	0.227	R7	0.75
				R8	0.25

由于各个指标的量纲不同, 其评价的标准也不同, 为了将各个指标合成综合评价结果, 必须将每个指标进行无量纲化处理(即将指标值与其标准值相比较)。各个基本指标按照适宜程度可划分为 100 分、80 分、60 分、40 分、20 分、0 分六个基本评分档次, 0 分为完全不适宜, 20 分为基本不适宜, 40 分为一般适宜, 60 分为比较适宜, 80 分为很适宜, 100 分为绝对适宜。参考相关产业发展规律, 结合各个省区的实际情况, 将中国秸秆发电区域适宜度评价指标体系中各个基本指标的评分标准确定如下(表 3)。

2.3 评价结果分析

我国各省区农作物秸秆品种结构和类型组成差异巨大, 但是稻谷秆、玉米秆、小麦秆等主要粮食作物秸秆和油料作物秸秆才是最主要类型, 其产量远远大于其他种类的农作物秸秆产量。因此, 主要农作物选取稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、棉花、麻类和糖类作物, 农作物产量、耕地面积、人口、GDP 数据来自 1999~2008 年《中国统计年鉴》; 国土面积数据来自《2006 年中华人民共和国行政区划简册》; 电力消耗数据来自 1999~2008 年《中国能源统计年鉴》。经过初级运算得到中国秸秆发电区域适宜度评价指标值(表 4)。

表 3 指标评分标准

Table 3 The assessment standard of index system

指标 Index	单位 Unit	评分标准 Assessment standard					
		100	80	60	40	20	0
R1	10 ³ hm ²	≥10000	8000	6000	4000	2000	0
R2	%	≥6	4	2	0	−2	≤−4
R3	10 ⁴ t	≥5000	4000	3000	2000	1000	0
R4	%	≥6	4	2	0	−2	≤−4
R5	10 ⁸ kW·h	≥2500	2000	1500	1000	500	≤0
R6	%	≥30	25	20	15	10	5
R7	t/km ²	≥250	200	150	100	50	0
R8	10 ⁴ Yuan	≤1	2	3	4	5	≥6

表 4 中国秸秆生物质发电区域适宜度评价指标值

Table 4 Index value of regional suitability evaluation of crop straw power generation in China

指标 Index	R1 (10 ³ hm ²)	R2 (%)	R3 (10 ⁴ t)	R4 (%)	R5 (10 ⁸ kW·h)	R6 (%)	R7 (t/km ²)	R8 (10 ⁴ Yuan)
北京 Beijing	232.2	−8.01	120.0	−2.68	611.5	9.21	72.4	6.77
天津 Tianjin	443.7	0.44	203.8	1.52	433.6	13.93	175.5	5.05
河北 Hebei	6315.1	−0.36	3664.9	2.79	1734.8	18.61	195.0	2.03
山西 Shanxi	4053.4	1.11	1268.4	2.06	1097.7	21.15	80.8	1.74
内蒙古 Inner Mongolia	7146.3	2.57	2082.3	7.46	884.9	44.59	17.4	2.56
辽宁 Liaoning	4085.2	1.89	1979.6	4.35	1228.2	10.21	134.1	2.60
吉林 Jilin	5535.0	3.17	3150.4	5.46	412.4	7.37	165.6	1.94
黑龙江 Heilongjiang	11838.4	2.67	3728.2	5.23	597.1	5.28	85.4	1.92
上海 Shanghai	259.6	−1.30	119.9	−2.58	990.1	11.48	188.2	7.28
江苏 Jiangsu	4763.8	0.74	3630.0	0.13	2569.7	25.50	374.0	3.46
浙江 Zhejiang	1917.5	1.74	920.2	−2.57	1909.2	24.57	88.8	4.02
安徽 Anhui	5728.2	2.79	3664.4	1.61	662.2	15.93	264.1	1.23
福建 Fujian	1333.1	1.08	692.3	−0.12	866.8	18.67	56.0	2.66
江西 Jiangxi	2826.7	2.04	1854.5	0.91	446.2	18.21	111.2	1.33
山东 Shandong	7507.1	1.20	5767.2	1.56	2272.1	19.95	367.0	2.85
河南 Henan	7926.0	1.57	6769.2	3.56	1523.5	18.97	405.9	1.62
湖北 Hubei	4663.4	3.11	2779.8	0.86	876.7	12.07	149.7	1.53
湖南 Hunan	3789.0	2.58	2928.7	0.82	768.7	14.90	138.2	1.43
广东 Guangdong	2847.7	2.07	1438.9	−0.77	3004.0	19.30	80.8	3.60
广西 Guangxi	4214.7	4.21	1568.2	1.90	579.5	14.60	66.1	1.33
海南 Hainan	727.5	4.56	174.7	−0.05	97.8	24.67	51.2	1.55
重庆 Chongqing	2239.1	−1.44	1101.5	0.35	405.2	5.78	133.7	1.33
四川 Sichuan	5950.1	−0.44	3535.7	−0.31	1059.4	15.73	72.0	1.26
贵州 Guizhou	4487.5	6.56	1316.1	3.96	584.9	16.63	74.7	0.78
云南 Yunnan	6072.4	5.85	1590.1	2.97	645.6	21.61	40.4	1.11
陕西 Shaanxi	4049.0	1.80	1375.0	1.16	580.7	15.45	66.9	1.52
甘肃 Gansu	4659.8	2.81	938.8	2.83	536.3	13.51	21.5	1.05
青海 Qinghai	542.2	−0.95	146.4	2.42	244.4	20.18	2.1	1.51
宁夏 Ningxia	1106.3	3.01	351.8	3.25	377.8	27.84	53.0	1.58
新疆 Xinjiang	4114.2	2.66	1775.5	5.07	356.2	15.86	10.8	1.83

通过计算得出各省区不同层面适宜度评价结果 度各个影响要素在我国都表现出巨大的区域差异。 并进行正向排序(图 2~5),可以看出秸秆发电适宜

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

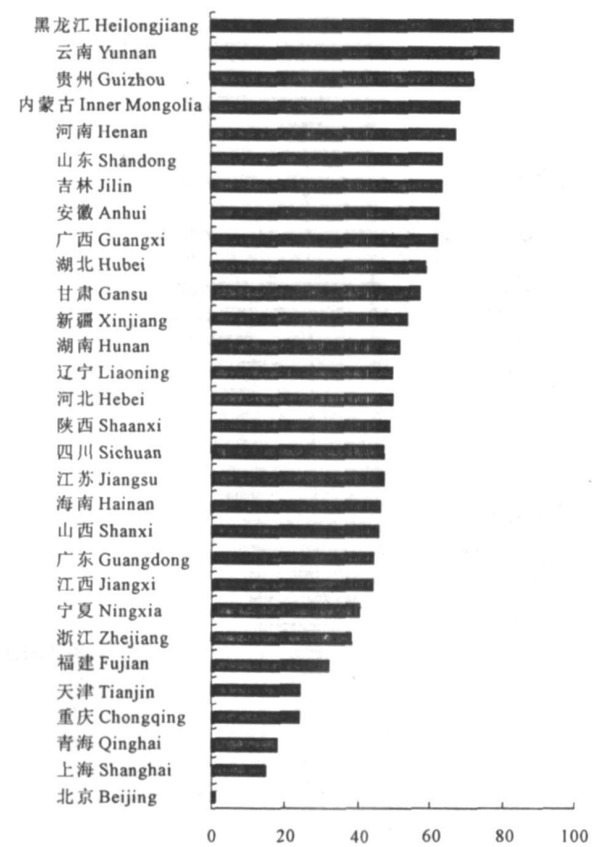


图 2 耕地资源潜力适宜度

Fig. 2 Suitability of farmland resource potential

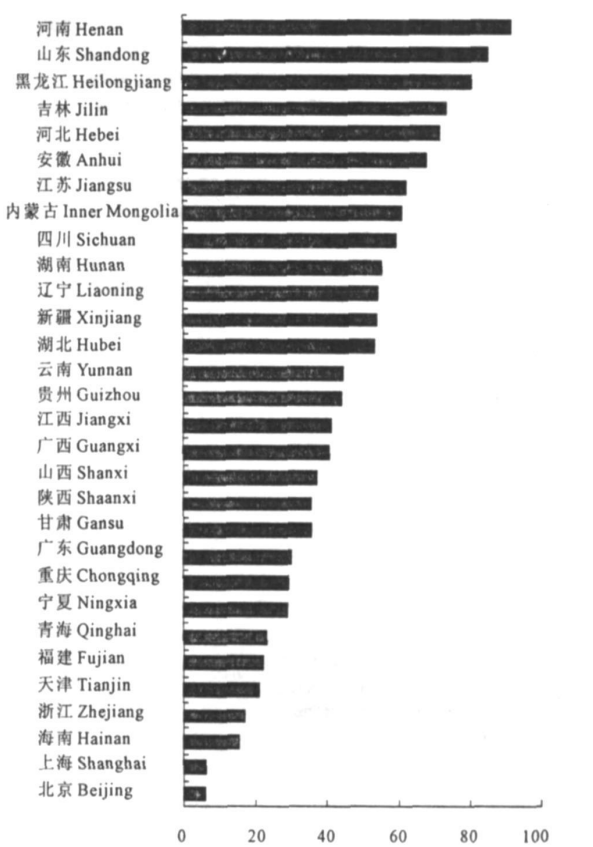


图 3 秸秆原料供应适宜度

Fig. 3 Suitability of crop straw supply

耕地资源潜力适宜度层面(FS),我国耕地面积较大的是黑龙江、河南、山东、内蒙古、河北、云南、四川等农业大省,最小的则是北京、上海、天津、青海、海南和宁夏等国土面积较小的区域;从耕地面积波动水平上看,贵州、云南、海南、广西、吉林等省增长较快,北京、重庆、上海、青海、四川和河北六省区呈负增长,河南、山东等因为缺乏后备耕地资源,耕地面积基本保持不变。综合来看,耕地资源潜力适宜度较高的是黑龙江、云南、贵州、内蒙古和河南等,较低的则是北京、上海、青海、重庆和天津等。

秸秆原料供应适宜度层面(CS),秸秆产量较大的是河南、山东、黑龙江、河北、安徽等,较小的是上海、北京、青海、海南和天津等,与耕地面积排名并不一致,因为秸秆产量是农作物种植结构、种植面积和耕地质量共同作用的结果;秸秆产量增长较大的是内蒙古、吉林、黑龙江、新疆、辽宁等具备后备耕地资源且耕地生产力有较大提高空间的区域,北京、上海、浙江、广东等经济发达区域秸秆产量呈负增长,均为建设用地大量占用耕地资源所致;整体来看,原料供应适宜度较高的区域主要集中在中部和东北农业发达区,较小的区域主要是西北农牧区和东部沿海

经济发达区,可见农业生产的规模度和发达度是原料供应适宜度的决定性因素。

市场需求适宜度层面(MS),用电量排名靠前的是广东、江苏、山东、浙江等人口较多且社会经济发达的区域,排名靠后的是海南、青海、新疆、宁夏等区域,但是内蒙古、宁夏等经济落后区域的电力消费增长率比江苏、浙江等区域要高,说明这些区域社会经济的快速发展必然要求更高的电力供应保障。综合来看,秸秆发电市场空间较大的仍然是江苏、广东、浙江、山东等电力供应缺口较大的区域,较小的则是东北、西南、西北地区,与我国经济格局基本一致。

产业发展成本适宜度层面(IS),秸秆资源密度较大的区域是河南、江苏、山东、安徽和河北等农业大省,秸秆收集运输成本较小,资源密度较小的则集中在西部农牧区,秸秆收集成本较大;劳动力成本方面,较高的当然是北京、上海、广东、浙江等东部经济发达区,较低的是西北、西南经济落后区,中部农业区劳动力成本一般。综合来看,产业发展成本适宜度较高的仍然是中部农业区,较低的是西北农牧区和东部经济发达区。

Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

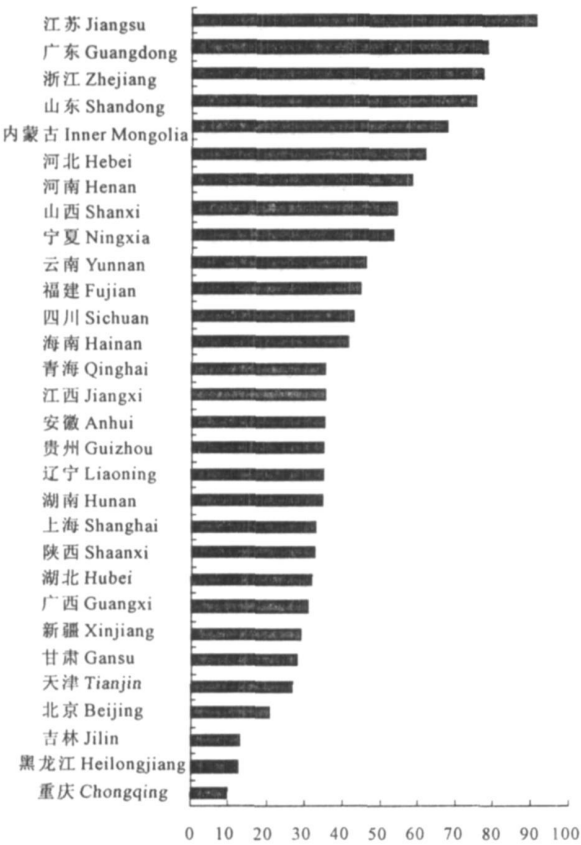


图 4 市场需求适宜度

Fig.4 Suitability of market demand

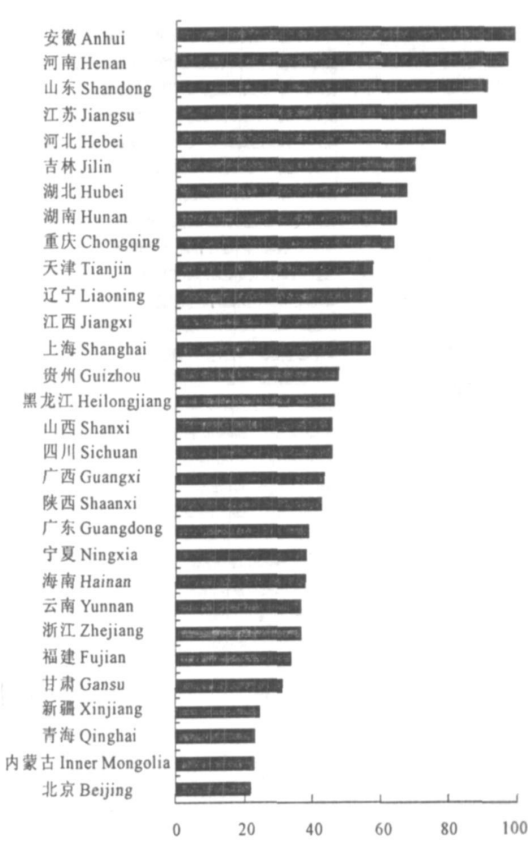


图 5 产业发展成本适宜度

Fig.5 Suitability of industry development cost

区域综合适宜度(RR)方面,按照评分在 80 以上为极适宜区,60~80 之间为适宜区,40~60 为一般适宜,40 以下为不适宜区的分级标准进行适宜度分区后可以看出(表 5),秸秆发电综合适宜度较高的是河南、山东、安徽、江苏、河北、黑龙江、吉林等中

部和东北传统农业区;综合适宜度较低的是北京、上海、天津、浙江等东部经济发达区和青海、宁夏、甘肃、陕西等西北农牧区;其余区域秸秆生物质发电的适宜程度一般。

表 5 中国秸秆生物质发电适宜度分区

Table 5 Suitability division of crop straw power generation in China

分区名称 Division name	分区标准 Division standard	区域 Region
极适宜区 Optimum region	≥80	河南、山东 Henan, Shandong
适宜区 Suitable region	60~80	安徽、江苏、河北、黑龙江、吉林 Anhui, Jiangsu, Hebei, Jilin
次适宜区 Sub-suitable region	40~60	湖北、内蒙古、湖南、辽宁、四川、云南、贵州、广西、江西、新疆、山西、广东 Hubei, Inner Mongolia, Hunan, Liaoning, Sichuan, Yunnan, Guizhou, Guangxi, Jiangxi, Xinjiang, Shanxi, Guangdong
不适宜区 Unsuitable region	≤40	陕西、甘肃、宁夏、浙江、重庆、天津、海南、福建、青海、上海、北京 Shaanxi, Gansu, Ningxia, Zhejiang, Chongqing, Tianjian, Hainan, Fujian, Qinghai, Shanghai, Beijing
非研究区 Non-research region		台湾、西藏 Taiwan, Tibet

3 主要适宜区秸秆发电企业布点规模评价

由于秸秆发电技术水平和资源收集成本限制,目前国内秸秆发电企业规模一般以不超过 30 MW 为宜,以 25 MW 的秸秆发电厂为例,每年需要消耗秸秆约 30 万 t^[10],结合秸秆资源可利用率,可以对区域秸秆发电企业布点规模做出评价。

$$D = T \cdot a / 30 \tag{2}$$

式中, D 表示秸秆发电企业布点规模; T 表示区域秸秆资源总量; a 表示秸秆资源可利用率。以河南、山东、安徽、江苏、河北、黑龙江、吉林等主要秸秆发电适宜区为研究对象,可得到其秸秆发电企业布点规模评价结果如下。

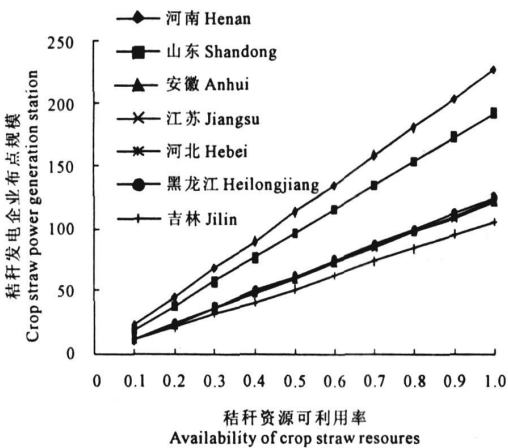


图 6 主要适宜区秸秆发电企业布点规模评价结果

Fig.6 Distribution evaluation result of crop straw power generation station in suitable regions

由图中可以看出,随着秸秆资源可利用率的增加,秸秆发电企业的数量也呈显著上升趋势,各区域秸秆发电企业的布点规模从利用率为 10% 时的 20 个左右分别增加到 100% 时的 100 个以上,尤其是河南、山东两省,分别达到了 226 个和 192 个。当然秸秆资源的可利用率不可能达到 100%,除了田间损耗外,秸秆资源还普遍被用来作为燃料、饲料和工业原料,当前秸秆实际可用来发电的比例不到 40%^[4],即使如此,发电前景也十分可观。以河南省为例,在当前 40% 的利用率下,可建成秸秆发电企业 90 个,按年运行 7 000 h 计算,年发电量可高达 $15.75 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 占全省 2007 年用电总量的 10% 左右,如果能够进一步提高秸秆资源的利用率,这一比例将会更高。所以仅就资源来说,我国秸秆发电产业是大有可为的,然而目前我国秸秆发电主要依

靠丹麦等国家的进口技术和设备,一个发电锅炉就占了发电厂成本的 30% 左右^[22],使得建站基本费用和以后的运行维修成本较大,因此必须通过开展秸秆发电关键技术自主开发和相关设备自主研制来降低设备投资及建设成本,因地制宜建立健全完善的秸秆收储运体系以保障秸秆发电持续稳定的运行,形成从秸秆收、储、运到发电一整套产业链,促进秸秆发电的产业化发展。

4 结论与讨论

本文从耕地资源潜力、秸秆原料供应、市场需求状况和产业发展成本四个层面共选取了耕地资源总量、耕地资源波动水平、秸秆资源总量、秸秆产量波动水平、用电量、用电量增长率、秸秆资源密度和劳动力成本等 8 个指标建立了中国秸秆发电区域适宜度评价指标体系和评价模型,结果显示我国各省区秸秆发电适宜度存在较大差异,综合适宜度较高的是河南、山东、安徽、江苏、河北、黑龙江、吉林等中部和东北传统农业区;综合适宜度较低的是北京、上海、天津、浙江等东部经济发达区和青海、宁夏、甘肃、陕西等西北农牧区;其余区域秸秆生物质发电的适宜程度一般。通过分析资源可获取性和收集半径等经济影响因素对我国主要秸秆发电适宜区的发电企业布点规模进行了评价,以期对相关决策部门提供理论参考依据。

本研究只是秸秆发电区域适宜性研究的前期探索,在很多方面还很不完善,未来可望在以下两个方面继续深入:其一,要充分考虑到影响因素的多样性和重合性,进一步细化评价指标体系;其二,在研究空间尺度上,由于不同层面影响因素均存在较显著的区域间差异,以分县统计口径对我国秸秆发电的区域适宜度进行估算并通过 GIS 计算进行相关空间界定和表达,将会具有更好的指导性和更高的参考价值。

参考文献:

[1] 肖 波,周英彪,李建芬.生物质能循环经济技术[M].北京:化学工业出版社,2006:13—16.
[2] 中国国家发展和改革委员会.中国可再生能源中长期规划[Z].2007.
[3] 丁文斌,王雅鹏,徐 勇.生物质能源材料——主要农作物秸秆产量潜力分析[J].中国人口资源与环境,2007,17(5):84—89.
[4] 曹国良,张小曳,郑方成,等.中国大陆秸秆露天焚烧量的估算[J].资源科学,2006,28(1):9—13.
[5] 刘 刚,沈 镭.中国生物质能源的定量评价及其地理分区[J].自然资源学报,2007,22(1):9—19.

[6] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国农作物秸秆资源及其利用[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 62—67.

[7] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87—91.

[8] 管小冬. 农作物秸秆资源利用浅析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 104—106.

[9] 李俊峰, 时璟丽. 国内外可再生能源政策综述与进一步促进我国可再生能源发展的建议[J]. 可再生能源, 2006, (1): 1—6.

[10] 傅友红, 樊峰鸣, 傅玉清. 我国秸秆发电的影响因素及对策[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2007, 3(3): 206—210.

[11] 王志伟, 白 炜, 师新广, 等. 农作物秸秆气化发电系统经济性分析[J]. 可再生能源, 2007, 25(6): 25—28.

[12] 姚向君, 田宜水. 生物质能资源清洁转化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 134—165.

[13] 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 46—57.

[14] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 234—258.

[15] 中央气象局. 中华人民共和国气候图集[M]. 北京: 地图出版社, 1979.

[16] 傅泽强, 蔡运龙, 杨有孝, 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 313—319.

[17] 李在峰, 杨树华, 何晓峰, 等. 秸秆颗粒燃料应用于小型火力发电厂的经济性分析[J]. 可再生能源, 2008, 26(3): 88—90.

[18] 王 华. 我国农村作物资源化调查研究[J]. 农村生态环境, 1994, 10(4): 67—71.

[19] Yuan Zhenhong, Wu Chuangzhi, Huang Hong, et al. Research and development on biomass energy in China[J]. International Journal of Energy Technology and Policy, 2002, (1): 108—144.

[20] MOA/DOE Project Expert Team. Assessment of Biomass Resource Availability in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 142—145.

[21] Seaty T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. University of Pittsburgh, 1998: 76—89.

[22] 许树柏. 实用决策方法—层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1986: 6—22.

[23] 马立平. 层次分析法[J]. 北京统计, 2000, (7): 38—39.

Differentiation evaluation on regional suitability of crop straw resources utilization in China

HOU Gang^{1,4}, LI Yi-bing^{2,4*}, XI Jian-chao³, YANG Gai-he^{2,4}, LUO Shi-feng⁵

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

4. Research Center for Recycling Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China;

5. Henan General Station of Rural Energy and Environmental Protection, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

Abstract: As the main composition of biomass energy industry, the research on suitability of crop straws power generation has great importance in the development of renewable energy industry in China. Based on the analysis of influence factors, 8 indexes including farmland amount, farmland amount change, crop straw quantity, crop straw quantity change, power consumption, power consumption increase rate, crop straw density and labor cost were selected to evaluate the regional suitability of crop straw power generation in China according to the data of China Statistical Yearbook from 1989~2008. The final results indicated that there existed great difference in the suitability of crop straw power generation in China, the most suitable regions of crop straw power generation was middle and northeast China, including Henan, Shandong, Anhui, Jiangsu, Hebei, Heilongjiang and Jilin, both of which were traditional agriculture regions; The suitability of east and northwest China were much lower due to the lack of enough crop straw materials. By dividing China into five regions named highly suitable region, suitable region, normal region, subsuitable region and unsuitable region, the suitability of crop straw power generation in China was clearly illustrated.

Keywords: biomass energy; straw power generation; regional suitability