

基于熵权TOPSIS的林木生物质能源区域发展潜力的评价研究

于丹, 张兰, 张彩虹

(北京林业大学经济管理学院)

摘要: 林木生物质能源区域发展潜力的评价是林木生物质能源合理、有效开发和利用的基础及前提, 影响着其未来的发展规模、发展战略以及发展可持续性。基于2013年中国31个省区相关数据, 引用PSR理论模型构建林木生物质能源区域发展潜力的综合评价指标体系, 结合熵权法和TOPSIS法对各省市的林木生物质能源发展潜力进行评价, 将各省市林木生物质能源的发展潜力分为优秀、良好、一般和较差4个等级, 指明阻碍其发展的主要原因, 并提出相应的对策建议, 为产业发展和相关政策制定提供参考依据。

随着能源紧缺和环境问题的日益凸显, 寻找新型可再生能源来替代传统化石能源已成为亟待解决的问题。林木生物质能源的可再生性、高效清洁性、环境友好性带给其巨大的发展潜力。当前林木生物质能源产品主要包括林木生物质液体燃料、林木生物质气体燃料、林木生物质固体燃料以及林木生物质发电[1]。根据国家发展与改革委员会发布的《中国资源综合利用年度报告(2014)》显示, 2013年, 我国生物质发电装机规模达到850万kW, 截止到2012年, 生物质成型燃料年利用量约800万t, 折合标准煤约400万t, 生物燃料乙醇产量24.96亿t, 生物柴油产量约9.29亿t[2]。目前, 我国正处于林木生物质能源的初步发展阶段, 林木生物质能源发展潜力的评价是林木生物质能源合理、有效开发和利用的基础及前提, 影响着其未来的发展规模、发展战略以及发展可持续性, 然而各地区的发展阶段和外部环境差异较大, 不能同一而论, 因此, 将林木生物质能源的发展潜力以行政区划的省、自治区、直辖市来进行划分, 针对每个省市不同的特点, 对林木生物质能源进行区域发展潜力评价具有重要意义。

发展潜力的评价多基于《21世纪议程》[3]中提出的可持续发展指标体系, 从人口、环境、自然资源、社会基础、经济状态、产业发展和科技创新等方面进行评价, 众多学者已将其应用在旅游、生态、食品等研究领域[4-7]。目前, 国内外对林木生物质能源发展潜力的评价研究多集中于几个方面: 一是对全球林木生物质能源资源总量的估算[8-9]和将来资源供给能力的预测[10-11]; 二是对我国林木生物质能源的资源总量及可获取量的估算[12-14]; 三是对于我国林木生物质能源产业发展潜力的评价分析[15-17]。而对于我国林木生物质能源发展潜力按省市划分进行估算和评价的研究较为少见, 且缺乏定量化评价分析。因此, 本文在以往研究基础上, 引入PSR理论模型, 即“压力-状态-响应”(Pressure-State-Response, 简称为PSR)模型, 构建林木生物质能源区域发展潜力的综合评价指标体系, 并利用客观赋权的熵权法和多元决策分析的TOPSIS法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, 简称为TOPSIS)对中国31个省(市、区)进行实证分析, 以期为其未来产业发展定位和政策制定提供参考。

一、林木生物质能源区域发展潜力评价指标体系

PSR模型主要是用压力-状态-响应的逻辑思维选取指标, 主要回答发生了什么、为什么发生以及将怎样做3个问题。PSR模型是评估资源利用和可持续发展的模型之一。其中压力指标用以表示造成发展不可持续的人类活动, 状态指标用以表示可持续发展过程中的系统状态, 响应指标用以表示人类为促进可持续发展进程所采取的对策。

本研究利用传统的PSR概念模型的思路, 将模型中可持续发展的对象设为林木生物质能源发展潜力, 从林木生物质能源和发展潜力的内涵出发, 以科学性、系统性和层次性为指标设计原则, 将林木生物质能源发展潜力评价指标体系分为压力指标、状态指标和响应指标3个准则层。文中的压力指标主要回答了造成林木生物质能源不能持续发展或不发展的原因, 状态指标主要回答了林木生物质能源得以发展的原因, 响应指标主要回答了发展林木生物质能源需要采取的措施。

本文将压力指标划分为人口压力、环境压力和资源压力。人口压力反映的是我国的林木生物质能源发展还处于初级阶段, 林木生物质能源当前的产能无法满足由于人口扩张而导致的需求增加, 对林木生物质能源的发展潜力起到负向作用。对于环境压力, 由于林木生物质能源具有环境友好性, 现今不断恶化的环境问题必将促进林木生物质能源的发展, 但本文将环境放入压力指标中, 因此将环境压力取为倒数, 将环境压力变为阻碍林木生物质能源发展的指标。资源压力反映的是由于传统的化石能源价格低廉, 在能源市场占有较高的份额, 使得林木生物质能源缺乏市场竞争性, 直接对林木生物质能源的发展潜力产生负向影响。

状态指标划分为资源状态、经济状态和产业状态。林业资源的储备是林木生物质能源得以发展的先决条件, 只有具备了丰富的森林资源, 才能保障生物质能源的更好发展, 本文中资源状态主要反映生产林木生物质能源所需要的森林资源储量, 与林木生物质能源的发展潜力有正向关系。经济状态是能够反映国家整体经济情况的指标, 国家总体的经

济状态可以反映发展林木生物质能源的经济实力，对林木生物质能源的发展潜力起到正向作用。产业状态代表了林木生物质能源现今的发展程度，以及其他能源产业的发展程度对林木生物质能源产生的竞争。其中，林木生物质能源产业状态对林木生物质能源的发展潜力起到正向作用，而其他能源的产业状态则对林木生物质能源的发展潜力起到负向作用。

响应指标划分为社会响应和科技响应。推进林木生物质能源发展离不开社会基础设施建设、财政投入、科技发展及政策的推进。文中社会响应体现了社会基础设施的建设和国家对于节能环保产业的财政支持力度，科技响应体现了地区整体的科技发展水平，每个指标对林木生物质能源的发展潜力都起到正向作用。本文在林木生物质能源区域发展潜力评价指标体系中选取的具体指标内容如表1所示。

表1 林木生物质能源区域发展潜力评价指标体系及权重

目标层	准则层	准则权重	要素层	要素权重	指标层	单位	指标权重
中国林木生物质能源发展潜力评价(A)	压力指标(B1)	0.135	人口压力(C1)	0.027	人口增长率(D1) -	%	0.014
					年末人口数(D2) -	万人	0.013
			环境压力(C2)	0.083	人均CO ₂ 排放量(D3) -	1/万人	0.024
					人均SO ₂ 排放量(D4) -	1/万人	0.030
					烟尘排放量(D5) -	t	0.029
			资源压力(C3)	0.025	地区可供消费原油量(D6) -	万t	0.009
					地区可供消费原煤量(D7) -	万t	0.005
					地区可供消费天然气量(D8) -	亿m ³	0.011
	状态指标(B2)	0.627	资源状态(C4)	0.379	经济林面积(D9) +	hm ²	0.084
					中、幼龄林抚育面积(D10) +	hm ²	0.047
					四旁(零星)植树(D11) +	万株	0.045
					苗木产量(D12) +	万株	0.039
					木本油料(D13) +	t	0.164
					人均GDP(D14) +	元/人	0.037
			经济状态(C5)	0.089	居民消费水平(D15) +	元	0.026
					电力消费量(D16) +	亿kW·h	0.026
					火力发电量(D17) -	亿kW·h	0.011
			产业状态(C6)	0.160	地区发电量(D18) +	亿kW·h	0.024
					焦炭生产量(D19) -	万t	0.006
					天然气生产量(D20) -	亿m ³	0.006
					生物质发电并网容量(D21) +	万kW	0.062
					地区林业产值(D22) +	万元	0.051
					劳动力数量(D23) +	万人	0.026
	响应指标(B3)	0.238	社会响应(C7)	0.073	公路里程数(D24) +	万km	0.023
					节能环保财政支出(D25) +	亿元	0.024
					R&D经费占GDP比重(D26) +	%	0.020
			科技响应(C8)	0.164	R&D人员数量(D27) +	人	0.068
					专利申请数量(D28) +	件	0.076

注：指标层中的“+”表示正向作用，“-”表示负向作用。

二、熵权TOPSIS法

TOPSIS法是多目标决策分析中一种常用的有效方法，又称为优劣解距离法。其基本原理是通过计算得出各指标的最优解和最劣解，确定各指标与最优解、最劣解的加权欧式距离，找到一个与最优解距离最近、与最劣解距离最远的最优方案，作为评价方案优劣的标准。TOPSIS方法可以客观真实地反映各方案之间的差距，具有原理直观、计算简便、数学意义明确等特点，而且对样本资料无特殊要求[18]。本文将其与客观赋权的熵权法相结合，使得计算结果更

为有效、客观,具体工作原理和步骤如下。

1) 构建标准化决策评估矩阵。构建多目标决策问题的初始指标评价矩阵,该矩阵有 m 个地区,有 n 个评价指标:

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对正向指标进行归一化处理,

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

对逆向指标进行归一化处理,

$$X'_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

式中: $i = 1, 2, \cdots, m$; $j = 1, 2, \cdots, n$ 。

2) 计算各指标权重。设 x_{ij} 为第 i 个地区中的第 j 项指标的观测数据,用熵权法确定各指标权重,具

体结果见表1。首先计算各指标的熵值。计算第 i 个地区的第 j 项指标的特征比重:

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}}; k = -\frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

然后可求出第 j 项指标的熵值:

$$e_j = k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

最后求出第 j 项指标的熵权:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

3) 构建加权的决策评估矩阵。设 y_{ki} 为第 k 个指标下的第 i 个指标标准化数据的加权值, x_{ki} 为第 k 个指标下的第 i 个指标规范化处理后的值, w_k 为第 k 个指标对目标层的熵权, 则

$$y_{ki} = x_{ki} w_k \quad (7)$$

4) 确定最优解和最劣解。令 y_{ki}^+ 为第 k 个指标观测数据的最大值, y_{ki}^- 为第 k 个指标观测数据的最小值, 其中 $k = 1, 2, \dots, 28$ 。则有

$$y_{ki}^+ = \max_{1 \leq i \leq m} (y_{ki}) \quad (8)$$

$$y_{ki}^- = \min_{1 \leq i \leq m} (y_{ki}) \quad (9)$$

根据上两式得到评价方案的最优解为 $y^+ = (y_1^+, y_2^+, \dots, y_m^+)$, 最劣解为 $y^- = (y_1^-, y_2^-, \dots, y_m^-)$ 。

5) 计算评价对象与最优解的欧氏距离。设 d_k^+ 是第 i 个指标与最优解的欧式距离, d_k^- 为第 i 个指标与最劣解的欧式距离。则

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{k=1}^m (y_k^+ - y_{ki})^2} \quad (10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{k=1}^m (y_{ki} - y_k^-)^2} \quad (11)$$

6) 计算相对贴近度评价结果。设 c_i^j 是第 i 个省市第 j 项准则下的指标与最优解的相对贴近度。则

$$c_i^j = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

根据相对贴近度 c_i^j 确定被评价对象的绩效状况, 相对贴近度 c_i^j 越大表示该省市与最优解越接近, 发展林木生物质能源的潜力越高, 相对贴近度 c_i^j 越小表示该省市与最劣解越接近, 发展林木生物质能源的潜力越低。相对贴近度的大小顺序即为被评价对象各个省市的林木生物质能源发展潜力评价的优劣排序。

三、我国林木生物质能源区域发展潜力评价实证结果及分析

本文选择2013年指标数据作为基础数据，数据来源于《中国统计年鉴》《中国林业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及《2015年可再生能源数据手册》。其中，人均CO₂排放量是根据IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change，联合国政府间气候变化专门委员会，简称为IPCC)公布的CO₂排放系数计算而得。

通过上述计算方法，得出各地区林木生物质能源发展潜力整体指标与最优解的贴近度，以及其他指标与最优解的贴近度，具体结果如表2和表3所示。

**表 2 总体评价结果和准则层各指标与最优解的
相对贴近度及排序**

地区	压力指标 (B1)		状态指标 (B2)		响应指标 (B3)		综合评价	
	贴近度	排名	贴近度	排名	贴近度	排名	贴近度	排名
北京	0.277	30	0.166	24	0.203	14	0.179	24
天津	0.369	13	0.165	25	0.222	13	0.188	22
河北	0.542	4	0.216	14	0.242	11	0.244	12
山西	0.661	2	0.209	16	0.157	20	0.230	16
内蒙古	0.771	1	0.235	11	0.149	22	0.256	9
辽宁	0.484	6	0.190	18	0.199	15	0.209	18
吉林	0.398	11	0.137	26	0.121	26	0.156	27
黑龙江	0.442	7	0.189	19	0.161	19	0.200	19
上海	0.313	22	0.174	22	0.269	10	0.199	20
江苏	0.336	18	0.312	6	0.865	2	0.409	3
浙江	0.304	23	0.301	7	0.660	3	0.368	5
安徽	0.316	21	0.225	12	0.329	5	0.251	11
福建	0.303	24	0.225	13	0.242	12	0.232	14
江西	0.330	19	0.412	2	0.157	21	0.366	6
山东	0.380	12	0.358	3	0.528	4	0.384	4
河南	0.353	16	0.250	8	0.321	6	0.268	8
湖北	0.320	20	0.248	9	0.272	9	0.256	10
湖南	0.302	26	0.598	1	0.277	8	0.538	1
广东	0.227	31	0.312	5	0.933	1	0.429	2
广西	0.303	25	0.246	10	0.134	24	0.230	15
海南	0.277	29	0.070	30	0.028	31	0.090	30
重庆	0.347	17	0.126	27	0.176	17	0.153	28
四川	0.283	28	0.215	15	0.292	7	0.234	13
贵州	0.422	9	0.179	21	0.137	23	0.188	23
云南	0.356	15	0.323	4	0.174	18	0.303	7
西藏	0.286	27	0.059	31	0.040	30	0.089	31
陕西	0.424	8	0.182	20	0.177	16	0.195	21
甘肃	0.366	14	0.171	23	0.115	27	0.174	25
青海	0.408	10	0.071	29	0.062	28	0.110	29
宁夏	0.613	3	0.116	28	0.055	29	0.174	26
新疆	0.511	5	0.204	17	0.121	25	0.210	17

表3 要素层各指标与最优解的相对贴近度

地区	人口 压力 (C1)	环境 压力 (C2)	资源 压力 (C3)	资源 状态 (C4)	经济 状态 (C5)	产业 状态 (C6)	社会 响应 (C7)	科技 响应 (C8)
北京	0.691	0.085	0.575	0.015	0.648	0.145	0.243	0.195
天津	0.830	0.224	0.760	0.010	0.623	0.147	0.092	0.237
河北	0.382	0.550	0.704	0.174	0.337	0.369	0.596	0.140
山西	0.592	0.676	0.641	0.206	0.225	0.219	0.345	0.107
内蒙古	0.734	0.783	0.707	0.215	0.484	0.245	0.374	0.067
辽宁	0.756	0.432	0.465	0.156	0.459	0.238	0.354	0.165
吉林	0.843	0.244	0.847	0.073	0.254	0.299	0.298	0.061
黑龙江	0.772	0.355	0.739	0.136	0.187	0.394	0.393	0.086
上海	0.759	0.167	0.588	0.004	0.686	0.175	0.144	0.287
江苏	0.526	0.289	0.365	0.143	0.694	0.769	0.656	0.946
浙江	0.542	0.206	0.628	0.160	0.610	0.726	0.392	0.715
安徽	0.409	0.222	0.838	0.178	0.187	0.439	0.480	0.301
福建	0.540	0.175	0.747	0.144	0.397	0.429	0.272	0.237
江西	0.474	0.211	0.920	0.451	0.149	0.263	0.370	0.088
山东	0.359	0.385	0.377	0.224	0.505	0.888	0.794	0.485
河南	0.342	0.323	0.616	0.214	0.296	0.422	0.647	0.231
湖北	0.510	0.209	0.808	0.188	0.269	0.468	0.523	0.210
湖南	0.392	0.196	0.864	0.646	0.214	0.362	0.580	0.198
广东	0.290	0.184	0.427	0.150	0.591	0.712	0.831	0.990
广西	0.422	0.173	0.883	0.232	0.161	0.325	0.328	0.067
海南	0.534	0.078	0.774	0.021	0.141	0.151	0.044	0.024
重庆	0.702	0.218	0.684	0.105	0.241	0.174	0.320	0.144
四川	0.498	0.179	0.469	0.198	0.226	0.309	0.703	0.158
贵州	0.565	0.339	0.925	0.185	0.116	0.161	0.351	0.050
云南	0.501	0.240	0.956	0.337	0.157	0.255	0.477	0.042
西藏	0.499	0.000	0.999	0.002	0.029	0.141	0.103	0.000
陕西	0.655	0.369	0.555	0.184	0.240	0.145	0.390	0.117
甘肃	0.591	0.260	0.819	0.177	0.114	0.148	0.277	0.061
青海	0.565	0.323	0.806	0.023	0.167	0.139	0.141	0.035
宁夏	0.542	0.611	0.869	0.104	0.203	0.138	0.047	0.057
新疆	0.430	0.548	0.406	0.210	0.215	0.156	0.314	0.036

根据上述计算结果可将中国31个省(市、区)的林木生物质能源发展潜力分为4个等级，如图1所示。通过上述计算结果可以发现，各省的总体评价结果与二级指标的评价结果及排序并不完全一致。

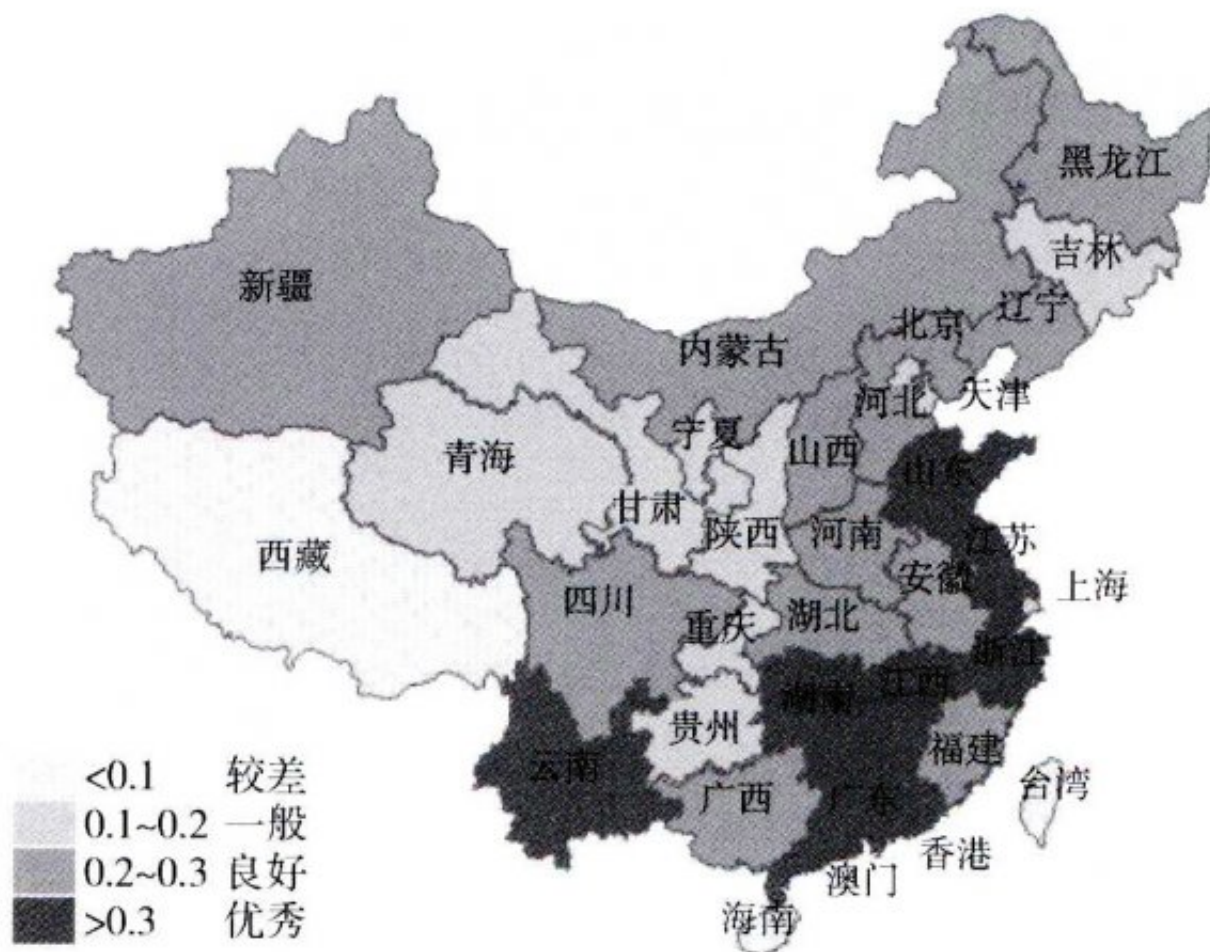


图1 中国林木生物质能源区域发展潜力划分

林木生物质能源发展潜力优秀的省市有湖南、广东、江苏、山东、浙江、江西和云南，总体评价与最优解的贴近度均在0.3以上。其中，湖南是林业大省，森林资源储备较高，且具有较好的经济和产业发展，使得林木生物质能源发展潜力位列全国首位。广东省的力指标最小，同时其基础设施建设、科技资金投入创新能力远远领先于其他省份，因此广东省的林木生物质能源发展潜力位列全国第二。同样，江苏、山东和浙江面临发展林木生物质能源的压力较小，且状态指标和响应指标均排存全国前列。江西和云南虽然林木生物质资源较为丰富，具有较高的经济和产业水平，但是还应该加大对科技的财政投入力度，扩充高科技人才，提高整体的科技创新能力。

林木生物质能源发展潜力良好的省市有河南、内蒙古、湖北、安徽、河北、四川、福建、广西、山西、新疆、辽宁和黑龙江。这一等级的地区分布较为分散，从分析结果可以看出，这省市大致分为3种情况。其中，河南、湖北、福建发展林木生物质能源所面临的压力较小，且其他发展较为均衡，处于全国较好水平。内蒙古、河北、山西、新疆、辽宁和黑龙江面临的发展林木生物质能源的压力极大，但支撑林木生物质能源发展的条件较好，例如，山西省是煤矿大省，其发展林木生物质能源所面临的阻碍非常大，但是其发展林木生物质能源所需要的资源基础、经济产业和科技发展都处于较好水平，因此，单从林木生物质能源的发育潜力角度来讲，山西省处于较好水平。安徽和四川的经济发展相对同水平的其他省市较弱，应大力促进经济的发展才能保障林木生物质能源的推进。而广西省虽然面临的压力较小，且资源丰富，经济和产业发展也较好，但是其科技响应较差，应该进一步提升科技创新能力，培养高新技术人才。

林木生物质能源发展潜力一般的省市有上海、陕西、天津、贵州、北京、甘肃、宁夏、吉林、重庆和青海。在北京、天津、上海3个直辖市中，天津的人口压力较大，虽然3个直辖市在经济、科技和基础设施发面都具有明显的优势，但是由于特殊的行政区域划分，自然资源面积非常小，因此发展林木生物质能源的潜力一般。其他省份除了要克服发

展林木生物质能源所面临的阻碍的同时，还要提高全省总体的经济实力和科技创新能力，例如提高居民消费能力，促进产业发展带动经济增长，加大节能环保财政支出。

林木生物质能源发展潜力较差的省市有海南和西藏。这两个地区虽然面临的发展压力很小，但其他条件均位于全国末位，发展林木生物质能源较为困难。

四、结论与启示

本文将中国31个省(市、区)的林木生物质能源发展潜力作为研究对象，根据林木生物质能源发展现状及影响因素选取41个初始指标，通过相关性分析最终确定28个指标，并以PSR模型为理论模型构建林木生物质能源区域发展潜力的评价指标体系，结合熵权TOPSIS法对各省市发展林木生物质能源的潜力进行了排序，将其分为优秀、良好、一般和较差4个等级。

通过分析可知，林木生物质能源发展潜力优秀的有湖南、广东、江苏、山东、浙江、江西和云南7个省市，这些省市不仅在人口、环境等方面发展阻碍小，而且具备丰富的森林资源储备，在社会经济、能源产业、交通运输、财政投入以及创新技术方面的发展都处在全国高水平行列。

而对于林木生物质能源发展潜力相对较差的省市，主要存在这样几个问题：①地域限制。由于特定的地理环境，导致很多省市地区具有的发展林木生物质能源的森林资源储备较少，因此不能很好地发展林木生物质能源。②市场竞争力缺乏。由于一些省市盛产煤炭、石油和天然气等化石能源，而化石能源的价格要远远低于林木生物质能源产品，使得林木生物质能源没有良好的市场竞争力，制约其发展。③科技水平低。林木生物质能源在生产和消费过程中，都离不开科技的进步和发展，而一些省市提高科技创新能力的力度较弱，从而导致了林木生物质能源产业发展缓慢。④地区经济和产业发展落后，财政投入力度不足。发展林木生物质能源，地区经济和产业支持力度是基础，只有具备充足的资金和强劲的市场需求才能促进其良好发展。因此，各省市需因地制宜，有针对性地制定区域发展策略，合理开发和利用资源，推进林木生物质能源的健康发展。

参考文献:

- [1] 张彩虹,张兰. 低碳经济与林木生物质能源发展[M]. 北京: 中国林业出版社,2015.
- [2] 中国资源综合利用年度报告(2014)[J]. 再生资源与循环经济,2014(10):3-8.
- [3] ROBINSON N A. Agenda 21: earth's action plan[M]. New York: Oceana Publications; 2003.
- [4] 周会敏,帅传敏,程欣. 中国食品产业集群可持续发展潜力的综合评价[J]. 统计与决策,2015(7):48-51.
- [5] 易银飞. 区域旅游业发展潜力评价研究[D]. 长沙:湖南大学,2007.
- [6] 杨敏. 青海旅游产业的发展潜力评估[J]. 统计与决策,2006(14):102-104.
- [7] 何方永. 中国西部省域生态旅游发展潜力评价[J]. 干旱区资源与环境, 2015(4): 189-194.
- [8] HOOGWIJK M, FAAIJ A, VAN D B R, et al. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy[J]. Biomass Bioenergy, 2003, 25(2):119-133.
- [9] FANG J, WANG Z M. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass [J]. Ecological Research, 2001(16):587-592.
- [10] EDWARD M W, ANDRÉ P C. Bioenergy potentials from forestry in 2050: an assessment of the drivers that determine the potentials[J]. Climatic Change, 2007(81):353-390.
- [11] JOHN M, DAVID C, MARK B. The potential supply of biomass for energy from Hardwood plantations in the Sunshine Coast Council Region of South-East Queensland, Australia[J]. Small-scale Forestry, 2014(13):461-481.
- [12] 张卫东,张兰,张彩虹,等. 我国林木生物质能源资源分类及总量估算[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2015,14(2): 52-55.
- [13] WEI S Z. Development of monitoring and assessment of forest biomass and carbon storage in China[J]. Forest Ecosystems, 2014(1):20.
- [14] 潘小苏. 林木生物质能源资源潜力评估研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
- [15] 蔡飞,张兰,张彩虹. 我国林木生物质能源资源潜力与可利用性探析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2012,11(4): 103-107.
- [16] 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究[J]. 中国能源,2005(11):25-30.
- [17] 冯健,董健,曲艺,等. 辽宁发展林木生物质能源的潜力[J]. 辽宁林业科技,2010(2):39-42.
- [18] HWANG C L, YOON K. Multiple attribute decision making: methods and application [M]. New York: Springer-Verlag, 1981.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/191676.html>