

我国林木生物质能源潜力动态演变及影响因素分析

马思雨, 宋华春, 关亦如, 郝立丽

(作者单位: 东北林业大学经济管理学院)

摘要: 碳中和背景下, 清洁能源开发尤为重要, 林木生物质能源是优质的清洁能源, 不仅能够缓解资源短缺的问题, 而且对我国的能源发展以及生态环境保护具有十分重要的作用。本文首先利用自下而上的估算模型对林木生物质能源潜力进行测算; 然后利用GM(1,1)对其进行预测, 通过预测结果可知, 我国林木生物质能源潜力呈现出持续上升趋势, 发展态势良好; 最后利用面板数据模型分析其影响因素, 得出活立木蓄积量、森林面积和森林覆盖率对林木生物质能源潜力有正向影响, 而林业投资额和地区生产总值对其有负向影响。最后, 针对分析结果提出提升林木生物质能源潜力的建议。

一、引言

随着经济的持续发展, 人类面临着资源和环境的巨大压力, 清洁能源的开发已经成为了“双碳”背景下的重要话题。林木生物质能源是优质的清洁能源, 相较于化石燃料, 它在提供相同能量下, 对环境产生的污染更小。因此, 大力发展利用林木生物质能源是我国缓解资源环境压力的有效举措。从发展资源来看, 我国森林蓄积已达到175.6亿立方米, 这为我国开发林木生物质能源奠定了坚实的基础; 从发展技术来看, 我国的林木生物质能源的开发技术和利用技术均在逐步提高[1]; 从消费角度来看, 我国的市场和政策环境完全有利于发展林木生物质能源[2]。因此, 对我国林木生物质能源潜力的预测为未来清洁能源的开发以及“双碳”目标的实现有着重大意义。

在国家“双碳”政策、经济发展以及环境保护等多方面需求的共同推动下, 越来越多的学者开展有关研究。通过查阅相关文献发现, 大多数学者对于林木生物质能源的研究主要集中于定性分析, 对其潜力进行估算, 有部分学者进行时间维度的分析, 但仅限于浅层预测, 未进一步探究其潜力发展影响因素, 且多集中在个别省份[3], 对整体发展指导意义较小。基于此, 本文利用1993—2018年的各省有关数据, 采用灰色预测模型对全国林木生物质能源的发展潜力进行预测, 使用面板数据模型对发展潜力的影响因素进行了实证分析, 分析结果具有一定现实意义。

二、我国林木生物质能源潜力测度及分析

(一) 指标选取及数据来源

林木生物质能源是指所有来自林木的生物质资源总量, 主要包括林木生长剩余物、林业生产剩余物、能源林采伐物三部分。林木生长剩余物指在非保护区域内生长的且尚未列入工业用材采伐的林木所产生的剩余物资源, 用灌木林地面积、经济林面积、四旁树株数三个指标代表; 林业生产剩余物指森林经营和生产过程中所产生的林木剩余物, 用苗木产量、中幼龄林抚育面积、年森林采伐限额、商品材产量、竹材产量五个指标代表; 能源林采伐物指在保持森林生态功能和可持续发展的前提条件下, 以生产林木, 生物质能源为主要目的的林木, 经过采伐后所产生的林木生物质能源, 用薪炭林面积代表[4]。利用上述指标对林木生物质能源总蕴藏量进行测算, 进一步计算林木生物质能源潜力。

文中九个指标数据来自于《中国林业统计年鉴》、《全国森林资源清查结果报告》和《森林采伐限额汇总表》。由于部分数据统计周期, 本文只研究1993年、1998年、2003年、2008年、2013年和2018年六个年份的林木生物质能源情况, 并选取中国31个省(市、自治区)作为研究对象。

(二) 研究方法

林木生物质能源资源量在测度时通常包括: 林木生物质能源实物总蕴藏量、可获得量、可利用量和潜力总量。故本文利用自下而上的估算模型, 首先对以上四个部分分别进行测算, 然后对我国1993—2018年林木生物质能源资源量进行测算。

林木生物质资源实物总蕴藏量指理论上森林资源所拥有的可再生能源资源量。通过以下公式得出:

$$L_a = \sum_{i=1}^n FR_i \times u_i + \sum_{j=1}^n TC_j \times V_j + EF \times w \quad (1)$$

式中， L_a 表示林木生物质资源实物总蕴藏量； FR_i 、 TC_j 、 EF 分别表示林地生长过程中第 i 种林木的林地生长剩余物、林业生产过程中的林业生产剩余物以及能源林采伐。 u_i 、 u_j 和 w 表示不同种类林木生物质资源量的折算系数，参考文献^[5]可得其具体数值。

并利用以下公式计算出林木生物质能源可获得量 L_b 、可利用量 L_c 及潜力总量 L_d 。

$$L_b = \sum_{i=1}^n L_{ai} \times \beta_i \quad (2)$$

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_{bi} \cdot f_i \quad (3)$$

$$L_d = 0.571 \times \sum_{i=1}^n L_{ci} \quad (4)$$

（三）估算结果

利用收集数据及公式（1）—（4）的计算结果，分析全国林木生物质能源潜力的时间变化如图1所示。

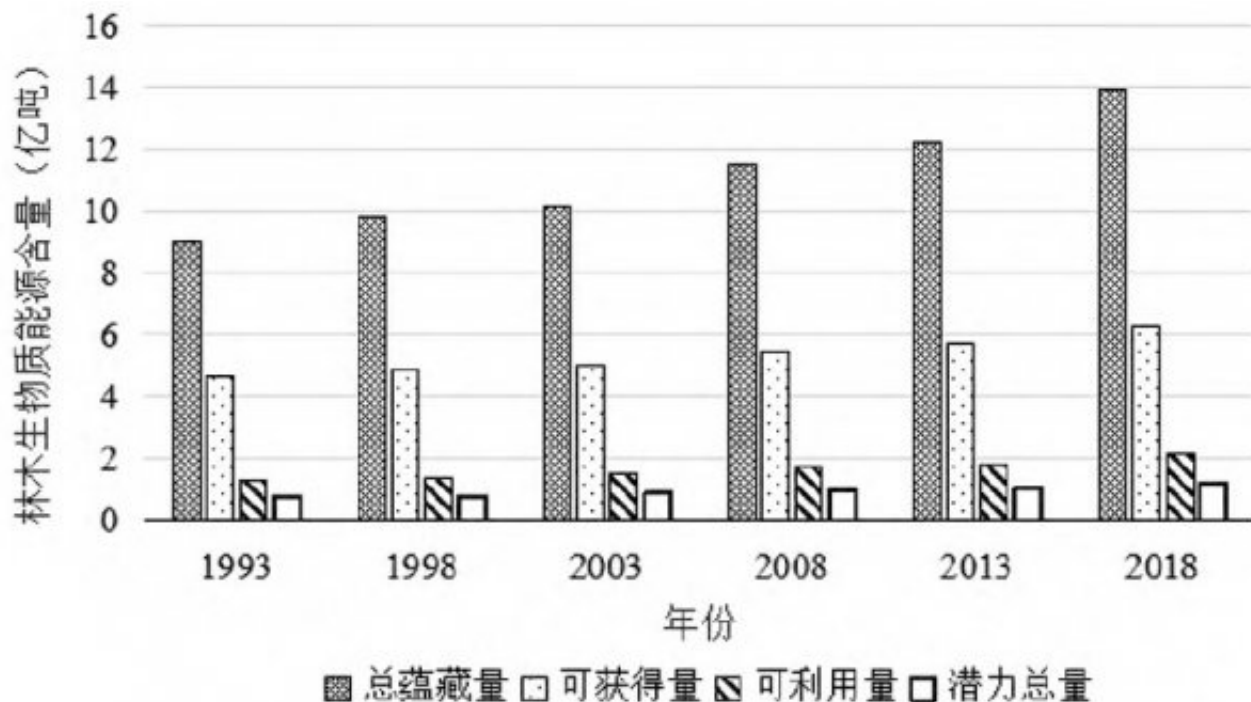


图 1 林木生物质能源含量变化图

具体来看，1993—2018年中国林木生物质资源实物总蕴藏量呈现持续上升趋势；林木生物质资源可获得量与前者变化趋势相同，也持续上升；与前两者的变化状态相同，林木生物质资源可利用量从1993年的1.31亿吨增长到2018年的2.14亿吨；同时，中国林木生物质能源潜力总量也从1993年的0.75亿吨标准煤增长到1.22亿吨标准煤，25年间增长了62.67%，增长速度平稳缓慢。

总体而言，中国林木生物质资源总蕴藏量、可获得量和可利用量及其潜力总量均呈现出持续上升趋势，且变化较为稳定，未出现较大幅度的波动。

三、基于灰色GM的林木生物质能源潜力预测

（一）灰色预测方法选取

灰色预测模型以“既有部分已知信息，又有部分未知信息”的信息不完全系统作为研究对象，利用历史数据进行建模与预测，探究事物的潜在发展规律[3]。该模型能利用较少数据得到较为精确地预测结果。因此，本文利用灰色预测模型挖掘中国林木生物质能源潜力的变化规律，进而更可靠地预测中国林木生物质能源潜力总量。

（二）灰色预测模型的建立

基于预测时期与历史的一致性，以及灰色系统“小样本”和“新息优先”的建模思想，选用1993，1998，2003，2008，2013，2018共6个年份的我国林木生物质能源潜力总量数据作为原始数据。

为弱化原始数列的随机性,本文以累加方式生成序列。一次累加生成序列 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n))$, 其中:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) = x^{(1)}(k-1) + x^{(0)}(k) \quad (5)$$

其中, $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$, $k=2,3, \dots, n$ 。

紧邻均值生成序列

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)], k=1,2,3, \dots, n \quad (6)$$

灰色微分方程:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, k=2,3, \dots, n \quad (7)$$

待估参数向量 $\hat{a}=[a, b]^T$, 利用最小二乘法求得 a, b :

$$\hat{a}=[a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (8)$$

其中,

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2)1 \\ -z^{(1)}(3)1 \\ \vdots \\ -z^{(1)}(n)1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), \dots, x^{(0)}(n)]^T \quad (10)$$

方程 (3) 的白化方程及其求解为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (11)$$

$$x^{(1)}(t) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a} = (x^{(1)}(1) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (12)$$

白化方程的还原序列和解时间响应函数为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} = (x^{(1)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (13)$$

$k=0,1,2,3, \dots, n-1$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), k=1,2,3, \dots, n \quad (14)$$

时间响应式预测序列为:

$$\hat{X}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \hat{x}^{(0)}(3), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)) \quad (15)$$

（三）灰色预测模型的误差检验

灰色系统模型GM(1,1)建立完成后，还需进行以下检验来确定模型可靠性。

1. 残差检验

绝对误差序列：

$$\Delta^{(0)} = (\Delta^{(0)}(1), \Delta^{(0)}(2), \dots, \Delta^{(0)}(n)) \quad (16)$$

相对误差序列：

$$\phi(k) = \frac{\Delta(k)}{x^{(0)}(k)} * 100\%, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (17)$$

由图 2 可知，最大误差是 4.32%，平均相对误差

是 1.50%，预测精度 $\eta = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \phi(k) = 98.50\%$ ，远大于

95%, 检验通过。

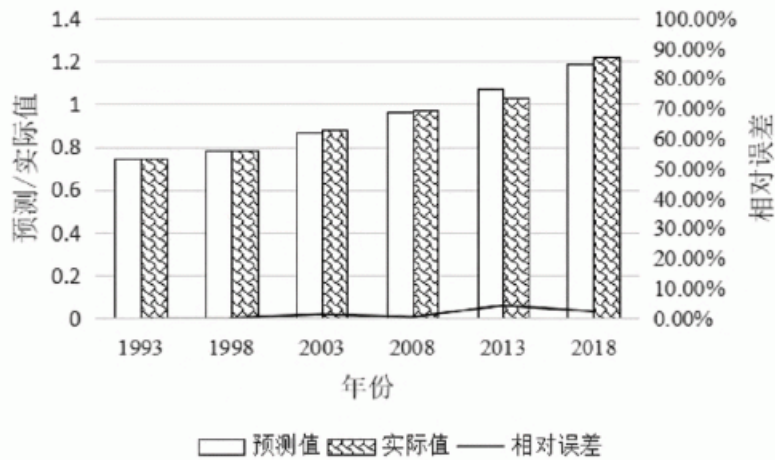


图2 1993—2018 年中国生物质能源灰色预测模型误差

2. 关联度检验

$\rho=0.5$ 时, 灰色关联系数

$$\eta(k) = \frac{\min \min |\hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)| + \rho \max \max |\hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)|}{|\hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)| + \rho \max \max |\hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)|}$$

$= (1, 0.8981, 0.6388, 0.8024, 0.3333, 0.4324)$, 灰色关联

度 $\gamma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k) = 0.6842 > 0.6$, 检验通过, 预测效果较好。

3. 后残差检验

原始序列方差为:

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)})^2} = 1732.9576$$

绝对差值序列的均值和标准差分别为

$$\bar{\Delta}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta^{(0)}(k) = 156.6803$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (\Delta^{(0)}(k) - \bar{\Delta}^{(0)})^2} = 175.317$$

标准误比值 $C = \frac{S_2}{S_1} = 0.1012 < 0.35$, $|\Delta^{(0)}(k) - \bar{\Delta}^{(0)}| < 0.6745 S_1 = 1168.8799$ 的概率为 1, 检验通过, 模型精度为一级, 预测效果好。

（四）灰色预测模型预测结果与分析

依据灰色预测模型对2018年以后的中国林木生物质能源潜力总量进行10次预测，预测结果如下：

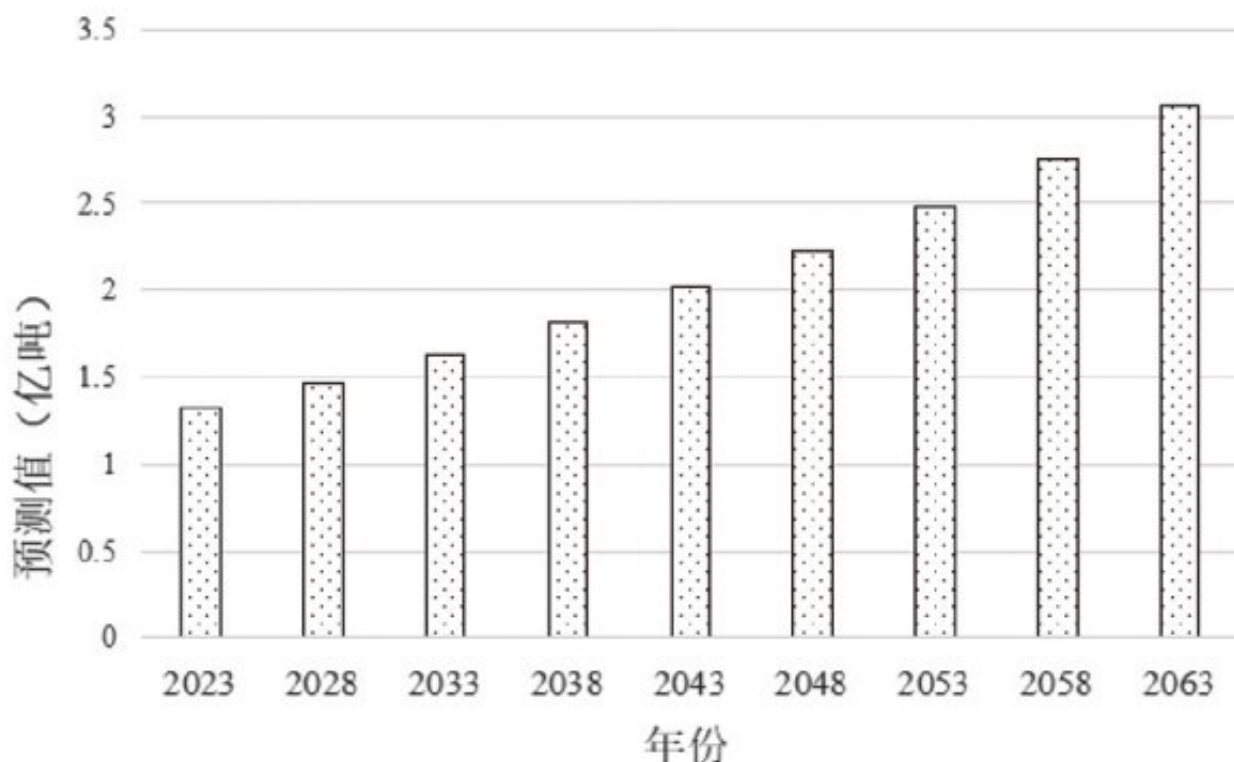


图3 2023—2063年中国林木生物质能源预测结果

由图3可知，2023—2063年中国林木生物质能源潜力呈现递增发展趋势，2063年可达到30564.24万吨。随着我国林业的蓬勃发展以及碳中和政策的深入推进，我国林木数量逐渐增多，直接增加我国生物质能源原材料数量，进而增加生物质能源。

四、林木生物质能源潜力影响因素的实证分析

（一）变量选取

本文因变量为林木生物质能源潜力总量，同时，已有研究结果表明林木生物质能源潜力受自然环境条件、社会经济和林业营林特征等多方面因素影响[6]。因此，本文林木生物质能源潜力的影响因素设定如下：

自然环境条件部分，利用活立木蓄积量（LW）、森林面积（FA）、森林覆盖率（FC）、森林蓄积量（FS）刻画。林木生物质能源主要来源于森林资源，森林资源规模对其潜力有直接影响，利用活立木蓄积量和森林蓄积量代表森林资源规模。林木生物质能源发展与林木生长直接相关，而林木生长需要良好的土地状态，选择森林覆盖率和森林面积代表各省份土地状态。社会经济部分利用人均地区生产总值（GDP）刻画。林木生物质能源发展潜力与经济发展水平密切相关，一般而言，经济发展水平负向影响林木生长和森林资源，进而对林木生物质能源潜力有负向影响。选取人均地区生产总值代表地区经济发展水平。林业营林特征部分利用林业投资总额（FIC）和林业总产值（FO）刻画。林业投资对林业产业发展有促进作用，林业生产总值则是在开发林木资源的基础上产生的，因此，利用林业投资总额和林业总产值代表。

（二）数据预处理

本文以五年为间隔，选择1993—2018年相关数据，组成31个省份的面板数据。对所选指标进行HT检验，验证数据的平稳性，由表1结果可知，需对数据进行对数差分处理，再次检验，结果显示各指标检验均拒绝原假设，数据平稳。

表 1 HT 检验结果

变量	原序列		对数差分后序列	
	统计量	P 值	统计量	P 值
LW	1.1325	1.0000	-0.1392	0.0000
FC	0.6272	1.0000	-0.3927	0.0000
FA	1.2806	0.0122	-0.1749	0.0000
FO	0.0336	0.0000	-0.4824	0.0000
FS	1.0257	1.0000	-0.2284	0.0000
FIC	0.9533	1.0000	-0.1919	0.0000
GDP	1.2925	1.0000	-0.3034	0.0000

（三）模型选择

面板数据模型包括固定效应和随机效应两种，利用F检验和Hausman检验确定最合适的面板模型。F检验和Hausman检验对应P值均为0.000，小于0.05，拒绝原假设，应选取固定效应模型分析。

建立模型如下：

$$FB = \mu + \mu_{(i)} + \beta_1 \ln LW_{t-1} + \beta_2 \ln FC_{t-1} + \beta_3 \ln FA_{t-1} + \beta_4 \ln FO_{t-1} + \beta_5 \ln FS_{t-1} + \beta_6 \ln FIC_{t-1} + \beta_7 \ln GDP_{t-1} + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

其中 FB 表示林木生物质能源潜力总量，LW 表示活立木蓄积量，FC 表示森林覆盖率，FA 表示森林面积，FO 表示地区林业总产值，FS 表示森林蓄积，FIC 表示林业投资完成额，GDP 表示人均地区生产总值， β_j 表示各指标对应的系数， $j=1, \dots, 6$ ， ε_{it} 表示模型误差。

（四）模型估计结果及分析

为了减少截面数据造成的异方差性，我们采用GLS估计模型。固定效应的变截距模型估计结果如下[7]：

活立木蓄积量、森林覆盖率和森林面积分别在10%和1%的显著水平下对林木生物质能源潜力有显著正向影响。活立木蓄积量和森林面积越大代表森林规模越大，进而正向影响林木生物质能源潜力。森林覆盖率越大，林木生长的环境

越好，林木生物质能源潜力越大。同时，森林覆盖率对林木生物质能源潜力的影响程度最大，说明良好的生长环境对林木生物质能源的发展意义重大。

林业投资额和人均地区生产总值分别在5%和1%的显著水平下对林木生物质能源潜力有显著负向影响。经济发展带来的环境污染对林木生长有较大的影响，进而负向影响林木生物质能源潜力。其中，林业投资完成额对林木生物质能源潜力影响程度最小，在林业投资进行后，由于林木生长周期较长林木生物质能源潜力的变化效果并不十分显著。

表 2 模型估计结果

变量	估计系数	标准差	T 检验值	P 值
dlnLW	0.473★	0.283	1.68	0.096
dlnFC	1.177***	0.178	6.63	0.000
dlnFA	0.961	0.113	0.85	0.396
dlnFO	0.476	0.044	1.07	0.286
dlnFS	0.644***	0.243	2.66	0.009
dlnFIC	-0.0841**	0.037	-2.26	0.026
dlnGDP	-0.393***	0.137	-2.87	0.005

五、结论和建议

随着我国碳中和的战略目标的提出，发展林木生物质能源成为了刻不容缓的任务。通过上文分析可得出：林木生物质能源发展趋势整体良好，其潜力逐年上升。活立木蓄积量、森林面积和森林覆盖率对其潜力有显著正向影响，经济发展水平和林业投资完成额对其潜力有负向影响。

根据分析结果，提出以下几点建议：

1.加强政策支持

政策支持是发展林木生物质能源的重要保障。建议政府加大对林木生物质能源的政策支持力度，包括制定相关法律法规，鼓励企业和农民参与林木生物质能源的生产和利用，提供财政和税收支持，加大对林木生物质能源技术研发和推广的投入。

2.加强林木管理

林木生物质能源的质量和产量与林木的管理密切相关。建议加强林木管理，包括加强林木保护，防止病虫害和森林火灾等自然灾害的发生；加强林木抚育，提高林木的生长速度和木材质量；加强林木采伐管理，合理控制林木采伐量，保护森林生态环境。

3.推广林木生物质能源技术

林木生物质能源技术是林木生物质能源的核心。建议加大对林木生物质能源技术的研发和推广力度，包括提高林木生物质能源的利用效率，降低生产成本，提高生产效益；探索新的林木生物质能源生产技术，如生物质热化学转化技术、生物质气化技术、生物质液化技术等。

4.加强林木种植

林木生物质能源的发展需要大量的林木资源，加强林木种植是发展林木生物质能源的关键。建议政府加大资金投入，鼓励农民和企业参与林木种植，提高林木种植的效益。同时，要注重林木品种的选择，因地制宜的选择合适的树木品种，选择适合当地生态环境的树种。

5.发展经济兼顾森林保护

在发展经济的同时，一定要兼顾森林保护，加大对滥砍滥伐、过度采伐等不良行为的整治力度，进一步明确相关政策，为林木生物质能源的发展提供支持。

总之，发展林木生物质能源是实现我国碳中和战略目标的重要手段。我们需要加强林木种植和管理，推广林木生物质能源技术，加强政策支持，共同推动我国林木生物质能源的发展。

参考文献：

[1]俞国胜,袁湘月,李美华等.第三章中国林木生物质能源开发利用技术设备研究[J].中国林业产业,2006(01):22-34.

[2]何继新,刘莹.林木生物质能源消费市场性分析[J].吉林广播电视大学学报,2010,No.101(05):82-84.

[3]宓春秀,苏世伟.江苏省生物质能源潜力的灰色系统模型预测[J].中外能源,2017,22(07):91-98.

[4]张卫东,张兰,张彩虹,于丹.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(02):52-55.DOI:10.13931/j.cnki.bjfu.2015.02.010.

[5]臧良震,张彩虹.中国林木生物质能源潜力测算及变化趋势[J].世界林业研究,2019,32(01):75-79.DOI:10.13348/j.cnki.sjlyj.2018.0100.y.

[6]于丹.林木生物质能源资源供给能力评价及影响因素分析[D].北京林业大学,2016.

[7]胡佐,胡琨.影响我国房地产上市公司资本结构的宏观因素分析[J].统计与咨询,2009(02):30-32.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/200076.html>