

热烈祝贺第四届清洁供热产业峰会 (CHIC) 召开!

为什么说：生物质平凡而不简单？

周建斌 教授/博导/院士 (俄罗斯工程院、自然科学院)

生物质气化多联产国家创新联盟 理事长

国家林草局生物质多联产工程技术研究中心 主任

江苏省生物质气化多联产工程技术研究中心 主任

生物质热解气化多联产全国林草创新团队 负责人

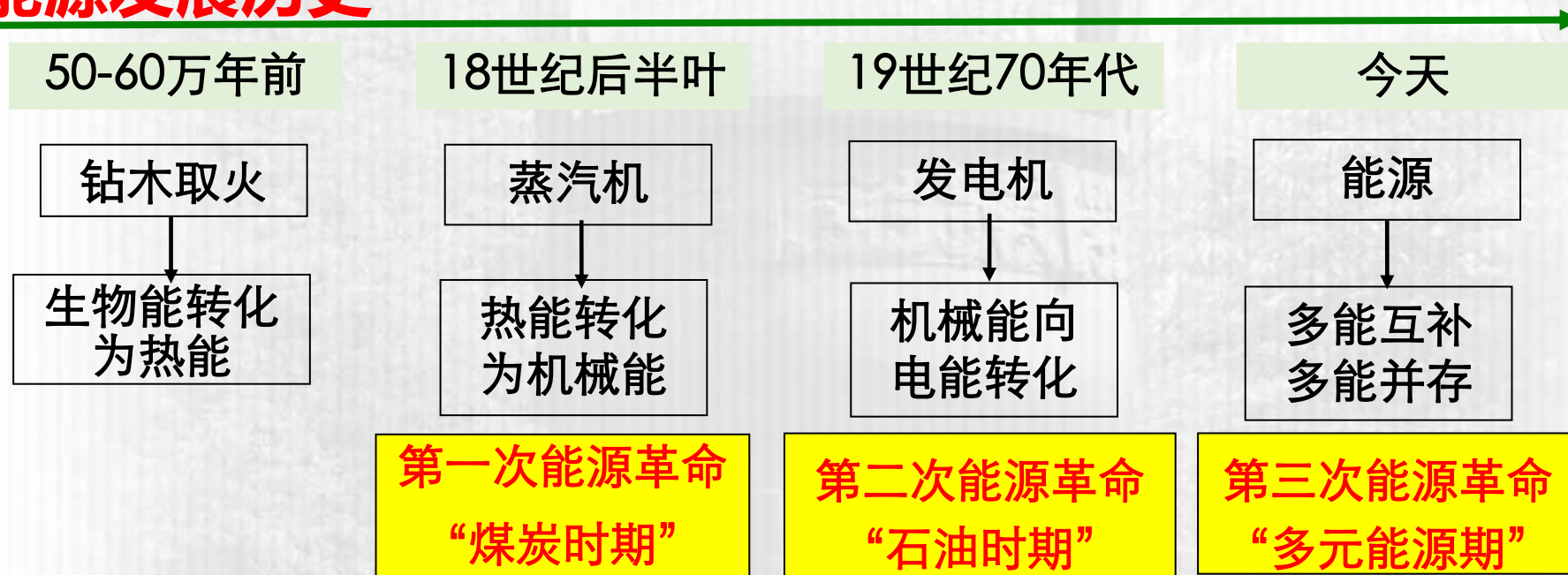
2023年5月9日 北京

主要内容

- 一、当前的能源与双碳背景**
- 二、正确认识农林生物质**
- 三、农林生物质在能源与碳中和的地位**
- 四、生物质固碳气化多联产技术创新与产业化**
- 五、生物质固碳气化多联产技术前景**
- 六、生物质固碳气化多联产团队**

一、当前的能源与双碳背景

1. 能源发展历史



人类发展重要的前两次工业革命的实质，不仅是能源与技术革命，更是人类社会发展的标志。我们错过了第一次、第二次的能源革命，**再不能错过第三次**。当前中国提出“双碳”目标，实质是工业发展由化石能源彻底向清洁可能源转换的又一次能源革命，这次，我们不仅不容错过，而且还要引领潮流。所以“双碳”战略从来不仅仅是环境问题，已经上升到国际政治、经济、科学和发展问题，是中国在国际抢占制高点、争夺话语权、构建竞争力关键时期，成为我国弯道超车新赛道。双碳战略既是我国大国担当，也是我国构建全球竞争力的“国运之战”。

生物质能源在人类能源发展历程中一直没有缺位！

2、生物质能源化利用势在必行

①我国能源问题：

一是我国化石能源**严重依赖进口**，**卡脖子问题！**石油进口（对外依存度）超73%，天然气近50%，煤炭超3亿吨；

二是我国能源**需求总量大**（53亿吨标准煤），全球最大，约占30%！

三是我国能源**结构不合理（煤炭占60%）**，煤炭的开采和用量全球第一（约一半）排放CO₂也是最多的国家，约占30%。

② 生物质生生不息：赖以生存的农业、林业等废弃物**逐年增加**。



③ **生物质如不利用后果严重**：腐烂发酵产生甲烷，其温室效应是CO₂ **20多倍**。

并引发森林大火，造成人员伤亡、环境污染、财产损失。

2021年9月《自然》发表文章：枯木每年释放400亿吨CO₂，相当于化石燃料1.15倍。



美国加州森林大火每年肆虐数月



澳州森林大火造成5亿动物死亡



2020年中国森林火灾1153起

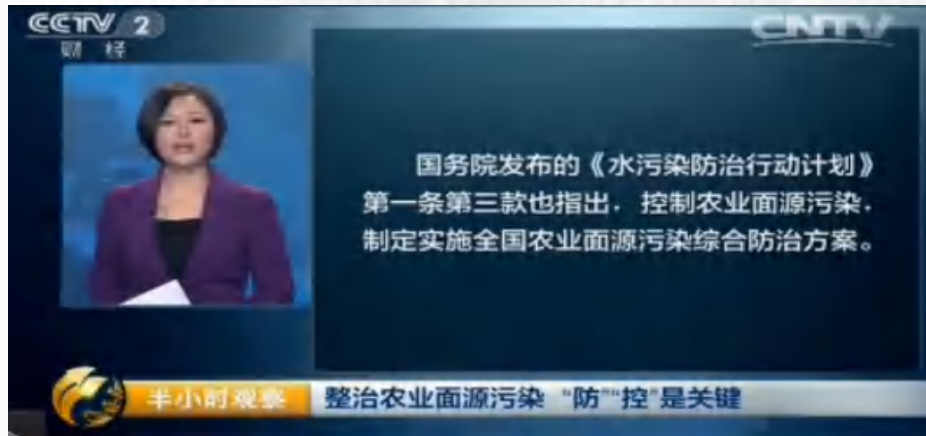
3、环境问题

森林火灾的原因很多。我认为最重要的是以美国及西方国家为主的生态、环保理论出了问题，即把所有的生物质（枯枝落叶、林下植物、甚至木材）都原封不动的留在山上就是生态和环保！（中国照搬成封山育林）。

为什么？ 因为生物质长年累月都留在山上腐烂、发酵后形成了大量的腐殖层，实际上就是形成了**非常易燃、易爆的甲烷气体**（**每吨腐烂形成 300m^3** ），在森林中无法收集。一旦温度达到或者一个闪电或**石头滚落砸击**就会引起森林大火。其原理是：农林生物质在一定温度（ 230°C 以上）条件下产生热解气化反应，放出大量热量并产生大量可燃气体（包括 H_2 、 CH_4 、 CO ）（每吨生物质产生达的可燃气体 2000m^3 ），所以一旦有森林着火，我们可以看到火的热浪一浪高过一浪，所以森林灭火困难。导致像美国加州或者澳大利亚，当然包括中国，每年森林大火造成财产损失和环境污染，甚至造成消防队员伤亡！

4、农业环境问题

2015年06月07 《经济半小时》 生态文明建设前沿报告-水污染治理进行时（三）



---来自农业部的最新统计，**农业已经超越工业成为我国最大面积的污染产业**，农业面源污染已经成为我国农业生产和农业可持续发展的严峻挑战！



2015年3月6日，在十二届全国人大三次会议上，农业部表示将在**全国迅速启动**实施化肥、农药使用的零增长行动，力争到2020年农药、化肥利用率均**达到40%以上**，实现**常规化肥、农药使用量零增长**。加上我国相继发布了**水十条（2015年4月2日）**和**土十条（2016年5月28日）**。

5、实现双碳目标的路径

《碳中和必经路径》



生物质和生物质新能源位于碳中和的必经路径

二、正确认识农林生物质

1、关于农林生物质

农林生物质主要是指农林业生产过程中的秸秆、稻壳、农林加工下脚料、林业三剩物等，名称多样：生物质，剩余物、**废弃物、垃圾**。

农林生物质资源可再生、来源广、储量大、取之不尽、用之不竭，可转换成固体、液体、气体燃料，是国际公认的零碳能源。

是唯一能够替代化石能源的可再生**含碳、稳定能源**，是最具有产业化前景。

2、农林生物质数量巨大

地球上生物能总量达1600~1800亿吨/年，**相当于世界总能耗的5倍**。

中国有18亿亩耕地（10亿吨秸秆），35亿亩林地（不包括城市、道路、小区绿化），40亿亩草地（**林草百亿吨**）。

还有被遗忘的农林生物质（**城市木废料**）主要包括：建筑废木材、废家具、园林绿化枝桠材等，南京市3000吨/天。

■ 中国农林生物质数量

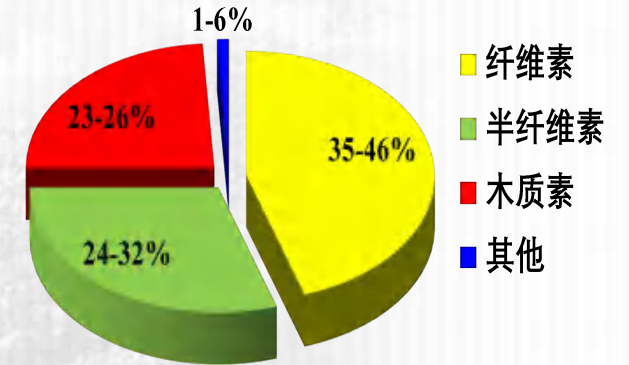
农林草生物质	亿吨/年
城市木废料	2
木质人造板及家具	10
枝叶材、树根等废弃物	30
森林抚育材、杂材	20
竹林	5
造纸行业	4.2
果木枝条	5
芦苇	2
秸秆 (稻壳)	10 (0.5)
道路 (2022年全国公路总达 528万km, 每公里有10吨产量)	0.5
合计	89.2

农林生物质种类多，总量巨大



3、农林生物质成分与性质

农林生物质的化学组成主要有纤维素(Cellulose)、半纤维素(Hemicellulose)、木质素(Lignin)以及其他灰分物质，不是能源领域所谓的“挥发分”为主的组分。



生物质原料的元素分析：

	C	H	O	S	N	热值 (kcal/kg)
生物质	48.5	7.8	43.0	0.04	0.07	4000
煤	60.0-98.0	3.5	8.0	5.14	1.5	5500

其中，煤的S含量是生物质的128倍，N含量是其21倍，燃烧释放相同热量时，煤排放的SO₂是生物质的181倍，NO_x是其40倍。

三、农林生物质在能源与碳中和的地位

1、农林生物质是可再生能源中**唯一**的化学态能、**唯一**可作为燃料态能、**唯一**可全面取代化石能源



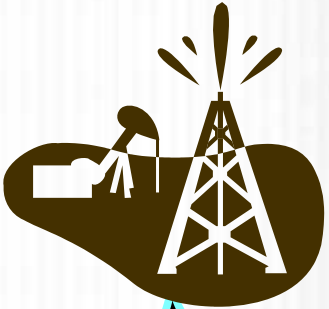
煤

碳 Carbon
50-98%

作为最年轻的煤，与化石能源具有很好的兼容性。



太阳能



石油

碳 Carbon
83-87%



生物质

碳 35-50%



风能

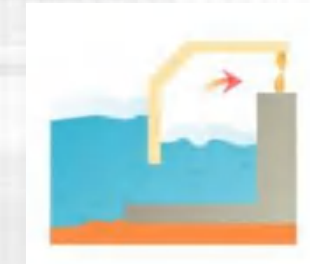


天然气

碳 Carbon
75%

固、液、气态燃料

生物基产品



海洋能

2、国际“碳中和”时间表

国家/地区	碳中和时间	承诺形式
芬兰	2035年	执政党联盟
奥地利	2040年	政策宣示
冰岛	2040年	政策承诺
加拿大	2050年	政策承诺
韩国	2050年	政策承诺
法国	2050年	立法规定
德国	2050年	立法规定
日本	2050年	政策承诺
欧盟	2050年	绿色协议
丹麦	2050年	政策承诺
智利	2050年	政策宣示
美国加利福尼亚州	2045年	立法规定
瑞典	2045年	立法规定

3、芬兰生物质能产业发展情况

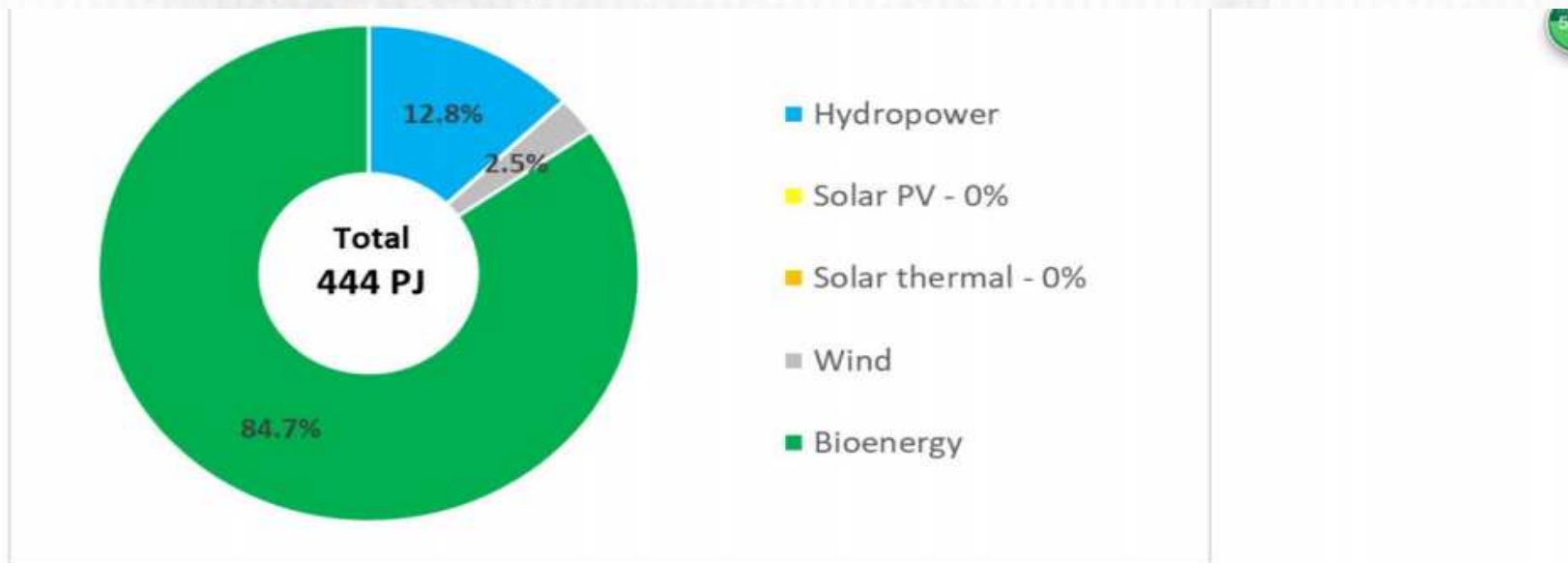
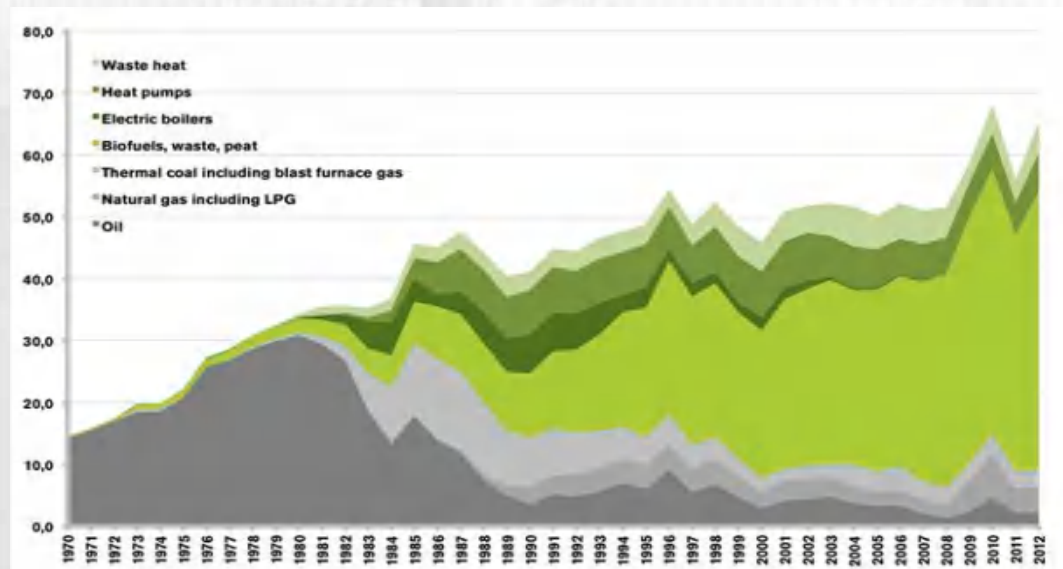
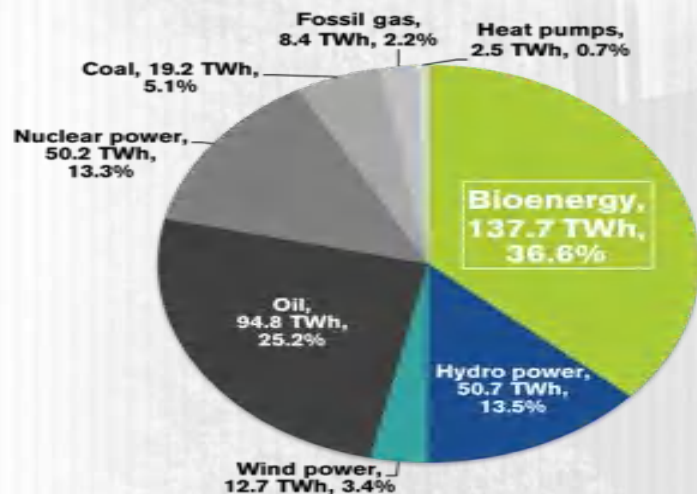


Figure 2: Total primary energy supply of Renewable Energy Sources in Finland in 2016 (Source: World Energy Balances © OECD/IEA 2018)

芬兰**2016**年可再生能源总一次能源供应，绿色为生物质能，数据来源：国际能源署**2018**年统计报告

生物质能在可再生能源中占比高达85%，在全国的能源消耗中占比达到37%。生物质供热占比达到57%。化石燃料征收碳税（62欧元/吨）。

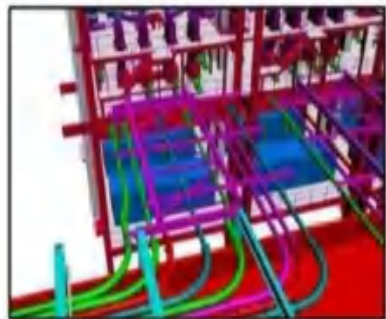
4、瑞典生物质能产业发展情况



生物质能在在全国的能源消耗中占比达到**38.9%（世界第一）**，生物质供热占比接近40%。森林资源丰富（覆盖率64%），碳税（120 欧元/吨），生物质电力售价可以补贴或提价50%~100%。

5、全球规模最大燃煤电厂改生物质 成功运行

英国最大燃煤电厂Drax电厂 6*660MW改成生物质燃料



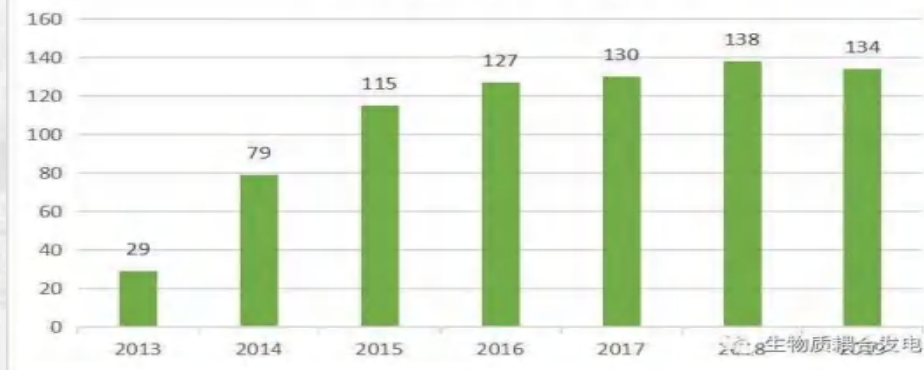
- 2011年, Unit1, 1*40%-60%-100% 生物质耦合发电测试。



- 2012-2018年, Unit1-4, 4*100% 生物质转换。生物质装机容量达到2600MW。
- 生物质燃料消耗: 700+万吨/年



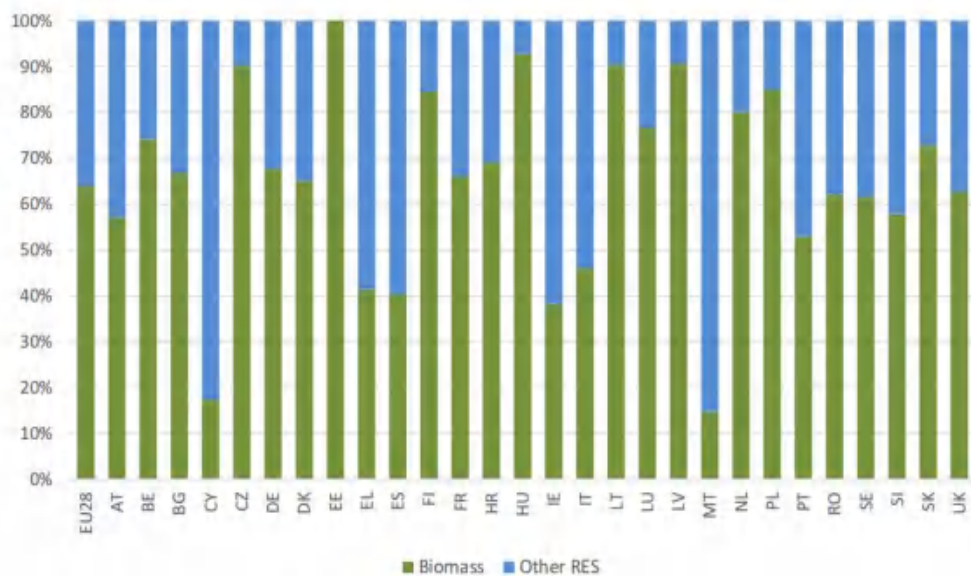
Drax电厂生物质燃料供电量



- 大型燃煤电厂生物质耦合燃烧
- 一种高效率、低成本的生物质发电模式
- 英国及全球最大的生物质燃料电厂
- 连续5年生物质供电量超过100亿度
- 2020年3月: 零煤电厂
- 碳排放: 2019年为124g/kwh
- 2030 BECCS: 有望实现负碳排放电厂

6、生物质能是欧盟实现碳减排的主要途径

Figure 2.3 Contribution of biomass to the total primary renewable energy production in 2016 in EU28 Member States (%)



Source: Eurostat, Bioenergy Europe calculations

图1：欧盟国家生物质能在可再生能源中的占比及生产情况

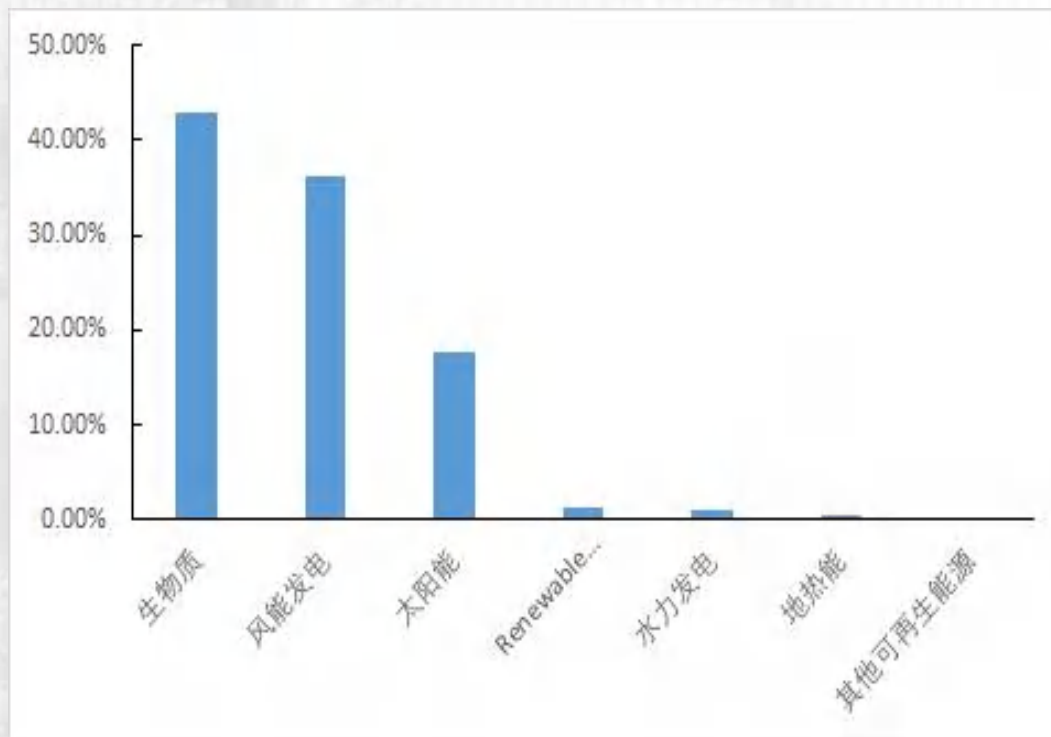


图2：欧盟国家生物质碳减排在可再生能源碳减排中的占比

7、我国农林生物质能**存在的问题**

我国生物质能有一定发展，但发电量仅占全国电量不足2%。主要原因：

(1) **对生物质的认识不足**，许多专家、学者认为生物质数量不足，难以担当能源的重任；一些部门、地方甚至把生物质**当作污染性甚至高污染性燃料**；没有正确认识到生物质能源的**稳定性**并兼具**三农性、环保性**！

(2) **前些年煤炭价格低**，生物质能的经济性未能体现，加上对煤炭限制性政策没有落实到位；

(3) **传统生物质能技术投入产出低**，但现有利用技术（直燃、气化、沼气、生物柴油等）单一转化，经济效益差，许多部门及投资人失去信心；

(4) 风、光电发展迅速，多数是大型国企、央企和上市公司投资，而生物质能源行业以小型个体企业为主；

(5) 政府与社会各界没有形成合理促进生物质能源大规模发展的协同机制。

开发利用好生物质能是降低化石能源占比、推进能源转型的重要且不可替代的保障，应该说**生物质能远未达到应有的效果！说明机会巨大！**

8、生物质能将是中国乃至世界实现碳中和的主要途径



要牢固树立绿水青山就是金山银山的理念，加强生态保护和修复，扩大城乡绿色空间，为人民群众植树造林，努力打造青山常在、绿水长流、空气常新的美丽中国。

◆ 2022年3月30日习近平总书记在植树活动中强调：**森林是水库、钱库、粮库、碳库**。这是对“绿水青山就是金山银山”的进一步诠释，形象概括了森林的多元功能与多重价值，为重构林业价值体系、实现林业高质量发展开阔了思路，指明了方向。

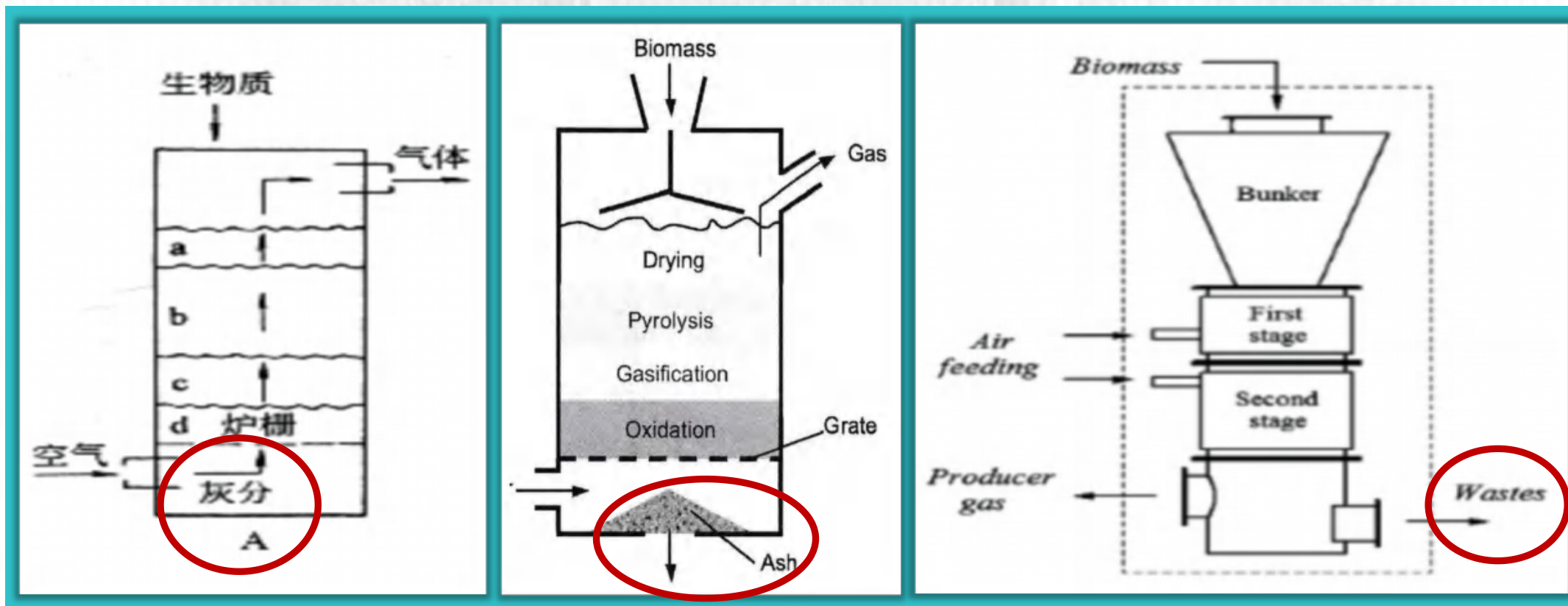
◆ **林业作物的面积、生长时间和生物量是农业的数倍**，每年可再生的林业生物质数量可达**百亿吨**之多。**如果国家把林业当做农业来重视**（包括管理、施肥、浇水等及基础设施建设如道路，便于机械化操作及运输），**林业生物质数量会数倍增加**。

9、科学养林对林业、能源、生态、环境具有重要意义，国家若将部分煤矿工人转变成林业能源工人，将山上的林业三剩物收集下来，有以下五方面显著效果：

- (1)、可以有效起到森林防火作用；大量减少CH₄、CO₂的排放。**
- (2)、可以促进农林生物质生长，大量吸收CO₂，并提供足够的生物质原料。**
- (3)、采用生物质能源技术，解决了森林病虫害（在高温条件下燃烧，病虫害都会灭亡）。**
- (4)、增加就业与收入，100亿吨农林生物质可以大量增加就业与收入（平均每人1000吨，每吨350元），增加就业人员1000万人，增加就业人员收入3.5万亿，平均每人增加收入35万元。**
- (5)、改善城市、乡村和道路环境，变成美丽乡村、美丽城市和景观道路等，助力国家乡村振兴！**

四、生物质固碳气化多联产技术创新与产业化

1、传统的生物质气化技术

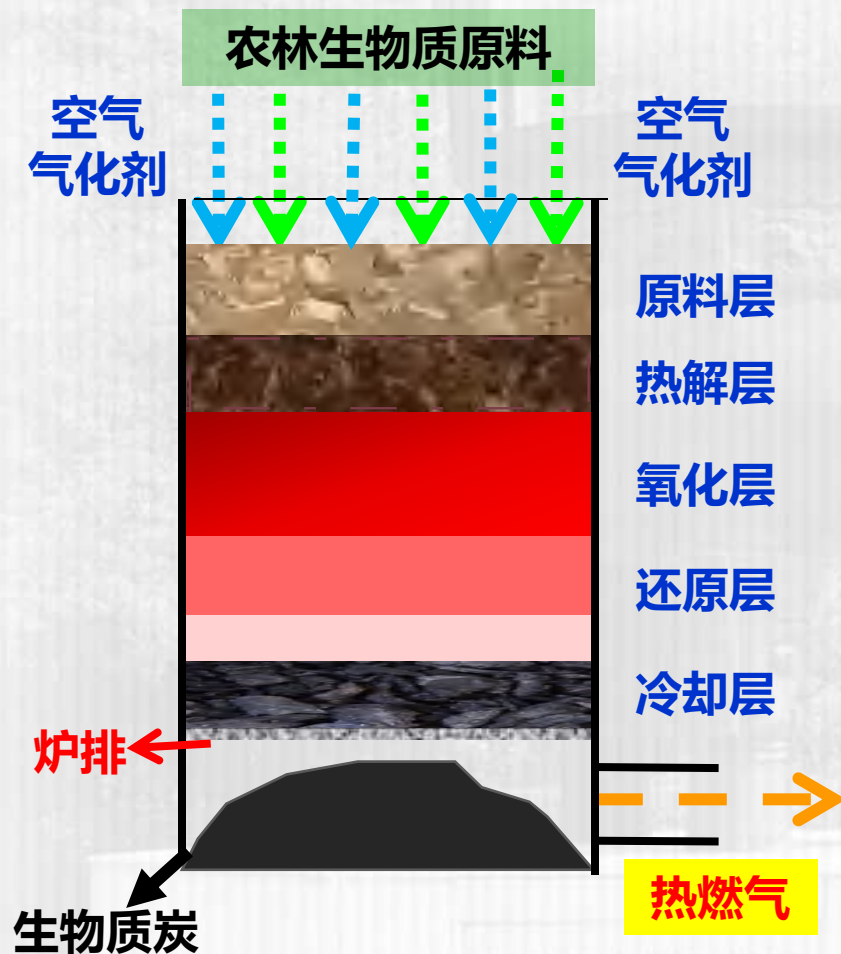


国内外生物质气化方面的教科书、专著、文章及专利都是
灰分和废水污染

2、生物质固碳气化多联产技术（热、电、气、炭、肥）创新

(1)、生物质固碳气化多联产技术原理

生物质固碳气化多联产技术原理



干燥区: 20-200 °C,

原料中自由水和结合水的蒸发。

热解区: 200-600 °C,

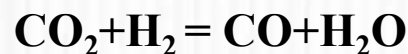
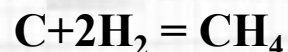
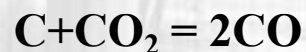
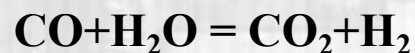
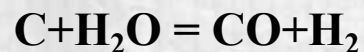
原料在缺氧的条件下裂解产生大量可燃气 (CO, H₂, CH₄等)、炭、生物质提取液。

氧化区: 600-800 °C,

生物质炭与气化剂反应。



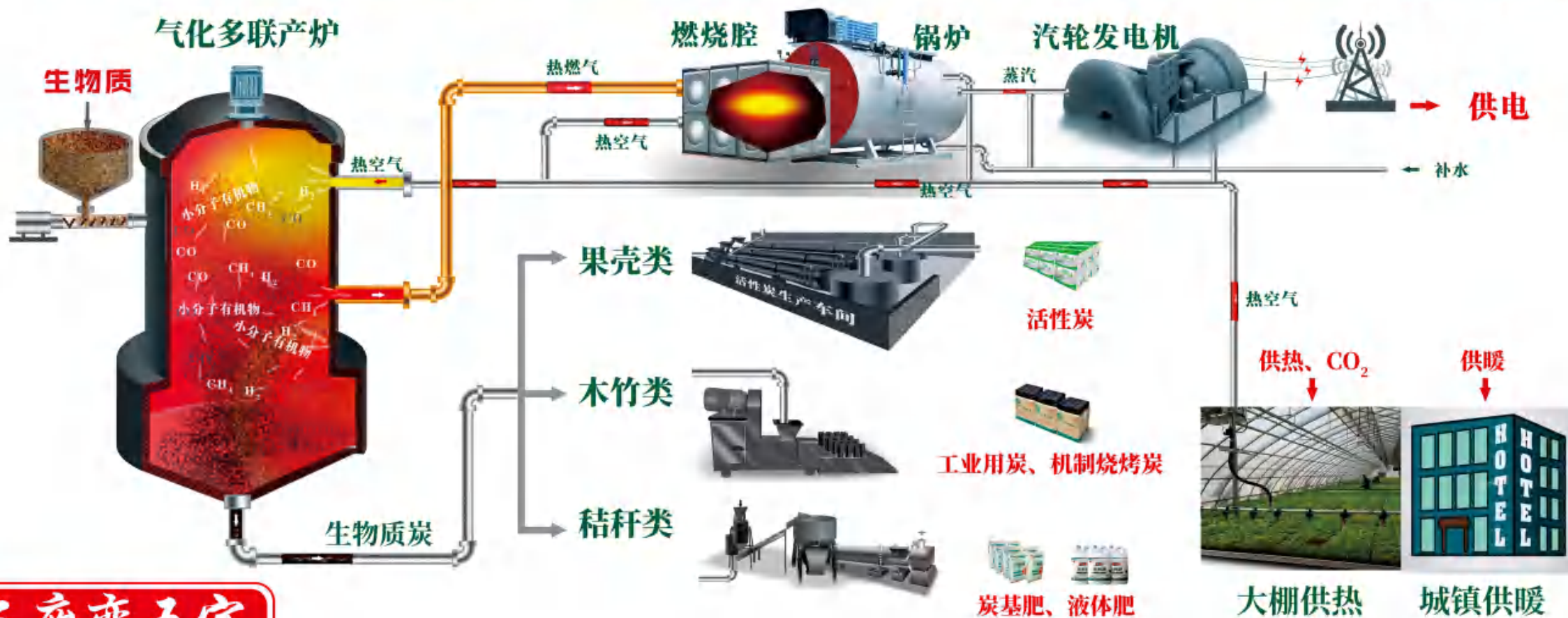
还原区: 800-600 °C, 还原反应。



绿色化学主要研究的问题是由P.T.Anastas和J.C.Waner提出的12条原则

(2)、农林生物质三废变五宝

世界首创 农林生物质“热电气炭肥”多联产技术流程图 行业领跑



三废变五宝

(3)、生物质固碳气化多联产技术创新--国内外技术对比

	主要技术	效益	市场竞争力
本项目技术	实现了农林生物质气化发电联产炭、热、肥技术并产业化生产。	以3MW项目为例，年利用原料3.5万吨，发电2100万度，生产活性炭6000吨，热水20万吨，肥料7440吨，总产值约9979万元。经济和环境效益很好。	1MW建设费用700万人民币。具有极强的市场竞争力。
国内同类技术	产品单一（仅有生物质可燃气），产生废水、废渣。	以政府补贴为主，经济效益不佳。	基于气化技术单一产出的模式，效益不佳，市场竞争力弱。
国外同类技术	2015年美国加州大学联合加尼福尼亚能源委员会和美国农业部开始研究1MW生物质气化发电联产炭基肥、活性炭技术。	中试阶段，尚未产生经济效益。	1MW建设费用高达4000万人民币。实验阶段。

2015-11-27 先进生物能源资新能源网报道：

美国科学家2015年开始研究南京林业大学生物质气化多联产项目技术

题目：生物质气化项目有利于环境、经济发展
工程学院教授Gerardo Diaz，通过两补
助获得近90万美元：一个来自于加利福尼亚能
源委员会的，分析与优化北福克（North Fork
）1兆瓦的生物质气化厂，另一个来自美国农
业部的，研究气化产品在农业、空气和水过滤
中的应用。Diaz和一批行业专家正在研究在北
福克（North Fork）新的气化装置，这是一个
500万美元的项目。



从左到右： YangQuan Chen教授、 Gerardo Diaz教授、凤凰能源CEO Gregory Stangl、凤凰能源厂经理 Todd Machado，美国加州大学默塞德分校教授两个重叠的研究项目可能对本区域的经济和可再生能源、水和森林火灾产生重大影响的效果。

(4)、生物质固碳气化多联产技术的产业创新点

- (1) 颠覆创新了世界传统生物质气化技术(近200年), 存在废渣和废水污染。
本技术不仅有生物质能源, 还同时生产生物质炭、肥料!**
 - (2) 颠覆创新了世界传统活性炭生产的技术(100多年, 传统活性炭生产需要烧煤
2t/t活性炭)
本技术不仅不需外加能源, 在生产活性炭过程中还同时发电、供热、产肥料!**
 - (3) 颠覆创新了世界3000年的世界烧炭技术(传统烧炭, 冒烟污染环境、效率低
、劳动强度大)
本技术在生产炭的同时还可以发电、生产肥料!**
 - (4) 创新了肥料的技术(使用炭基肥料和提取液肥料,可以直接减少肥料用量10%-
30%), 并且具有一定的药效, 同时修复退化、板结、酸化、污染的土壤) !**
-

3、生物质气化多联产技术产品及应用

(1) 生物质可燃气

生物质可燃气的成分：甲烷、一氧化碳、氢气；

不可燃成分：氮气、二氧化碳及少量氧气等。

热值：800~1300kcal/m³



内燃机发电



汽轮机发电



锅炉供热



集中供气



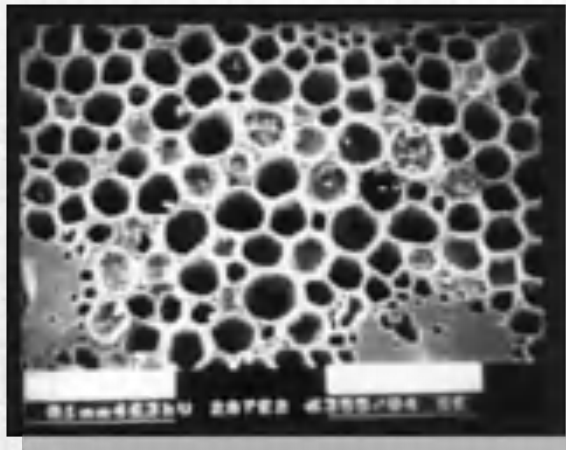
实现对天然气、煤炭的清洁稳定替代

(2) 生物质炭的性能与作用

生物质炭性能：生物质炭根据原料来源不同，可以分为木炭、竹炭、椰壳炭、杏壳炭、稻壳炭、秸秆炭等。（低成本永久固碳封存）

生物质炭	工业分析				元素分析/%				
	挥发分 /%	固定碳 /%	灰分 /%	热值 /(kJ·kg ⁻¹)	C /%	H /%	O /%	N /%	S /%
松木炭	9.76	86.80	3.44	30296	87.63	2.12	9.70	0.42	0.13
桑树枝炭	12.26	80.82	6.92	30214	82.17	1.69	15.13	0.94	0.07
竹炭	7.56	89.64	2.80	30254	90.52	1.58	6.90	0.88	0.12
杏壳炭	6.96	89.87	2.17	29445	90.49	1.31	7.90	0.24	0.06
油茶壳炭	10.61	79.69	9.70	30161	81.58	1.29	16.36	0.63	0.14
橄榄果渣炭	12.35	73.32	14.33	26348	72.06	1.42	25.03	1.40	0.09
麦秸秆炭	12.54	65.76	21.70	22154	68.61	1.54	29.31	0.47	0.07
玉米秸秆炭	8.03	58.20	33.77	21046	60.49	1.30	37.02	0.92	0.27
烟草秸秆炭	11.46	62.23	26.31	22013	63.35	1.21	22.80	0.97	0.67
棉秸秆炭	12.15	70.55	17.30	28411	71.57	1.25	24.61	1.21	1.36
稻壳炭	5.21	49.44	45.35	18497	50.94	1.85	46.29	0.81	0.11

生物质炭制备活性炭 (空气净化、环境保护等)



活性炭用途广泛 (航空航天—水下潜艇、化工—环保、食品—药品、工业—农业), 凡是**脱色、净化、去味**都需要使用活性炭, **在环境保护和工农业生产中起着重要且不可替代的作用。**

- **应用历史第一件大事 (气相)** :在20世纪第一次世界大战中活性炭在防毒面具中的应用。
- **应用历史第二件大事 (液相)** :1927年美国芝加哥自来水厂苯酚和氯生成异臭, 活性炭解决
- 2005年11月, **吉林石化硝基苯装置爆炸**, 引发了重大水污染事件;
- 2007年5月, **太湖蓝藻爆发**, 造成太湖区域大面积停水, 都是用活性炭解决。

1kg活性炭可以固定CO₂约3kg, 而且是永久固碳!

生物质炭制备工业用炭 (替代煤炭)



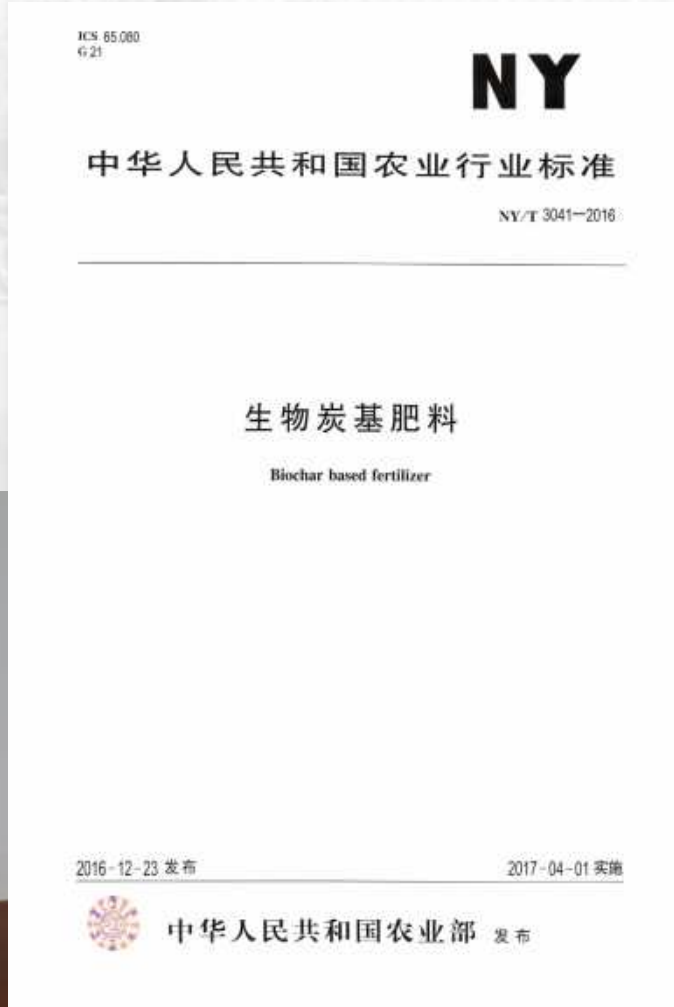
生物质炭制备炭基复合肥 (土壤改良、肥药减施、固碳封存)



复合肥



秸秆炭复合肥



稻草炭



玉米秆炭



棉秆炭

生物质炭基肥在湖南、黑龙江等地应用



生物质炭基肥在河北等地应用



生物质炭基肥在江苏等地应用



秸秆炭生产



秸秆炭与羊粪堆肥混施



促进微生物活动加快有机肥分解



秸秆炭用于栽培基质



江苏句容有机草莓应用现场



10%以上增产效果

生物质炭在农业上的应用效果

- 生物质炭（**孔径发达、比表面积大、吸附力强**）对肥料和农药有很好缓释作用，是良好的缓释肥和控释肥，**大幅度的提高肥料利用率，减少肥料的用量**；
- 生物质炭还田，增加土壤孔隙度，降低土壤容重、改善土壤通气、透水状况，提高土壤最大持水量，**可以缓解土壤板结的难题**；
- 生物质炭还田，抑制土壤对磷的吸附，有利于磷的解吸，改善作物对磷的吸收；
- 生物质炭还田，具有修复土壤重金属污染的作用；
- 生物质炭还田，具有提高土壤的保水作用；
- 生物质炭还田，具有稳定土壤的pH值作用；
- 生物质炭还田，**实现低成本永久固碳封存！**

生物质炭对人类和环境是有百利而无一害

国际权威刊物《Nature》刊发系列文章指出生物质炭的重要作用

- [Marris E. Putting the carbon back: black is the new green. Nature, 2006, 442\(7103\):624-6 . \(环境\)](#)
- [Hayes MH. Biochar and biofuels for a brighter future. Nature, 2006, 443\(7108\):144. \(能源应用\)](#)
- [Woods W I, Falcão N P S,. Biochar trials aim to enrich soil for smallholders. Nature, 2006, 443\(7108\):144. \(土壤\)](#)
- [Lehmann J. A handful of carbon. Nature, 2007, 447\(7141\): 143-144. \(环境\)](#)
- [Otterpohl R. Boosting compost with biochar and bacteria. Nature, 2012\(7402\):187-188. \(肥料\)](#)
- [Cernansky, Rachel. Agriculture: State-of-the-art soil. Nature, 2015, 517\(7534\):258-60. \(土壤\)](#)
- [Breulmann M, Van A M, Fühner C. Biochar: Bring on the sewage. Nature, 2015, 518\(7540\):483. \(水处理\)](#)
- [Yang H, Huang X, Thompson J R. Biochar: Pros must outweigh cons.. Nature, 2015, 518\(7540\):483-483. \(农业、环境\)](#)
- [Cameron H, The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. Nature ,2019, 575:87–97. \(碳封存\)](#)
- [Newnham, R.M. Black carbon attribution. Nature,2022,612:18–19 . \(生态环境\)](#)
- **发表关于“生物质炭 (biochar)”的文章超10万篇!**

(3) 生物质提取液的基本性能与应用

- ❖ **生物质提取液**是生物质热解气化时产生的液体成分，经冷凝、分离、回收及提纯得到，其中含有**酸类、醇类、酯类、醛类、酮类、酚类**等多种化学成分的。
- ❖ **生物质提取液**可用于家畜饲养的消毒、杀菌液、除臭剂或用于农药、助剂、促进作物生长的叶面肥和液体肥，试验表明生物质提取液在有机作物中效果明显。



粗秸秆提取液



精馏秸秆提取液



提取液装车

■ 生物质活性液体肥-智能售肥技术



智能自助售肥机



分装流量泵



■ 不同浓度提取液处理对李子产量的影响



2009年宁夏林科所李子对比效果

在李子结果后，先后共喷洒2次活性有机液体肥。果实成熟可提前3~5天，果实增大、外形发亮、无斑点、口味好。经测定，产量可增加约15%，维生素、糖份含量可增加3~5%；

■ 不同浓度提取液处理苹果着色对比



提取液在果树上的喷洒效果（宁夏）

各浓度提取液浓度处理对苹果果实着色均有作用，其中以100-200倍提取液着色最好，而且口感好、产量高。

■ 生物质提取液在有机水稻育秧上的应用

多年来**赵亚夫**先生在江苏句容有机农业合作社,6000多亩有机水稻育秧全部采用生物质提取液(稀释50倍)浸种,秧田基本未见恶苗病、苗稻瘟及干尖线虫病发生,秧苗长势好。大田也没有发生过恶苗病、稻瘟及干尖线虫病危害。



生物质提取液浸水稻种子



■ 生物质有机液体肥**对其他多种作物均有良好的**应用效果



■ 生物质提取液在全国推广应用



张齐生院士、周建斌教授在黑龙江推广生物活性有机液体肥



张齐生院士、周建斌教授在山东推广生物活性有机液体肥

生物质提取液在农业上的应用效果

20多年来课题组分别在江苏、山东、宁夏、江西、河北、辽宁等省市的推广和应用，广泛应用于各种大田作物、经济作物、蔬菜、水果等农林作物。生物质提取液肥的使用效果可归纳为：

- ① 促进农林作物的生长，促根壮苗、健壮植株，增加作物的抗逆、抗旱、抗寒；
- ② 抑菌、杀菌、忌避害虫，提高抗病、防病能力，显著减少病虫害的发生；
- ③ 促进有益微生物和有益菌群的繁殖；
- ④ 改善农林产品的内在质量和外观品质，显著提高农产品产量和质量安全性。

生物质提取液是一种成分复杂而作用特殊的天然有机物产品，应该用中医的观念去理解、研究和应用它。由于植物源液来自于作物、吸收迅速、抗病增产，因此生物质提取液既有肥效又有药效，达到了天然药肥一体化效果，是西医理论无法达到的效果。

4、生物质固碳气化多联产技术产业化典型案例

目前已有100多个项目在运行或在建中，具有代表意义有：

- ◆河北平泉3MW杏壳气化发电联产活性炭、热、肥项目 (扩大)
 - ◆安徽颍上3MW生物质气化发电联产炭项目
 - ◆湖南宁乡2.5MW稻壳气化发电联产炭基复合肥项目 (扩大)
 - ◆河北承德生物质气化清洁供暖600万m²联产活性炭项目 (扩大)
 - ◆江西奉新5MW生物质气化发电联产生物质炭项目 (在建)
 - ◆江西上高2MW生物质气化发电联产炭项目 (扩大)
 - ◆安徽合肥生物质气化供热联产炭项目
 - ◆云南西双版纳木片气化供4吨锅炉联产炭项目 (扩大)
 - ◆江西吉安生物质气化供热联产化学法活性炭项目 (到目前还是世界唯一的)
- ...



江西2MW（稻壳）气化发电联产炭项目

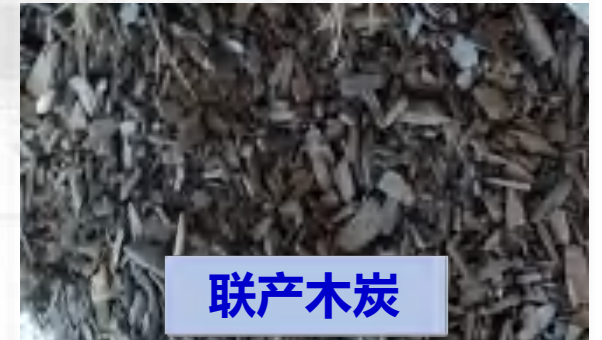
安徽3MW生物质气化发电联产炭项目



采用**锅炉-汽轮机发电工艺**，通过稻壳等生物质气化，可燃气直接送入燃气锅炉燃烧产生蒸汽驱动汽轮发电机组发电，同时产生稻壳炭等产品，单机3MW。

河北50万m²生物质气化供暖联产活性炭项目





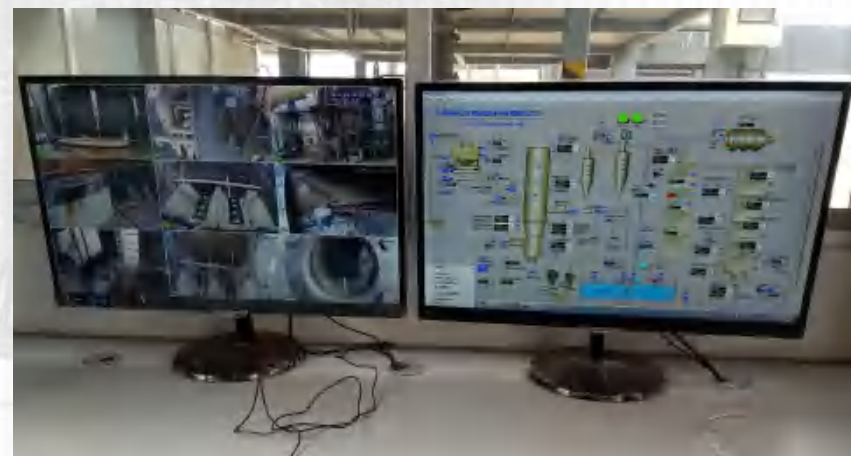
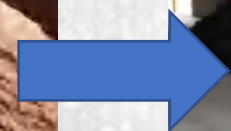
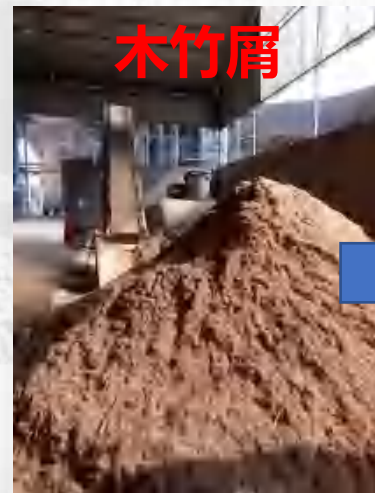
云南西双版纳4t/h木块固定床气化供热联产炭

浙江4t/h生物质气化发电联产炭项目



“生物质燃气供4t蒸汽锅炉”联产炭工程现场

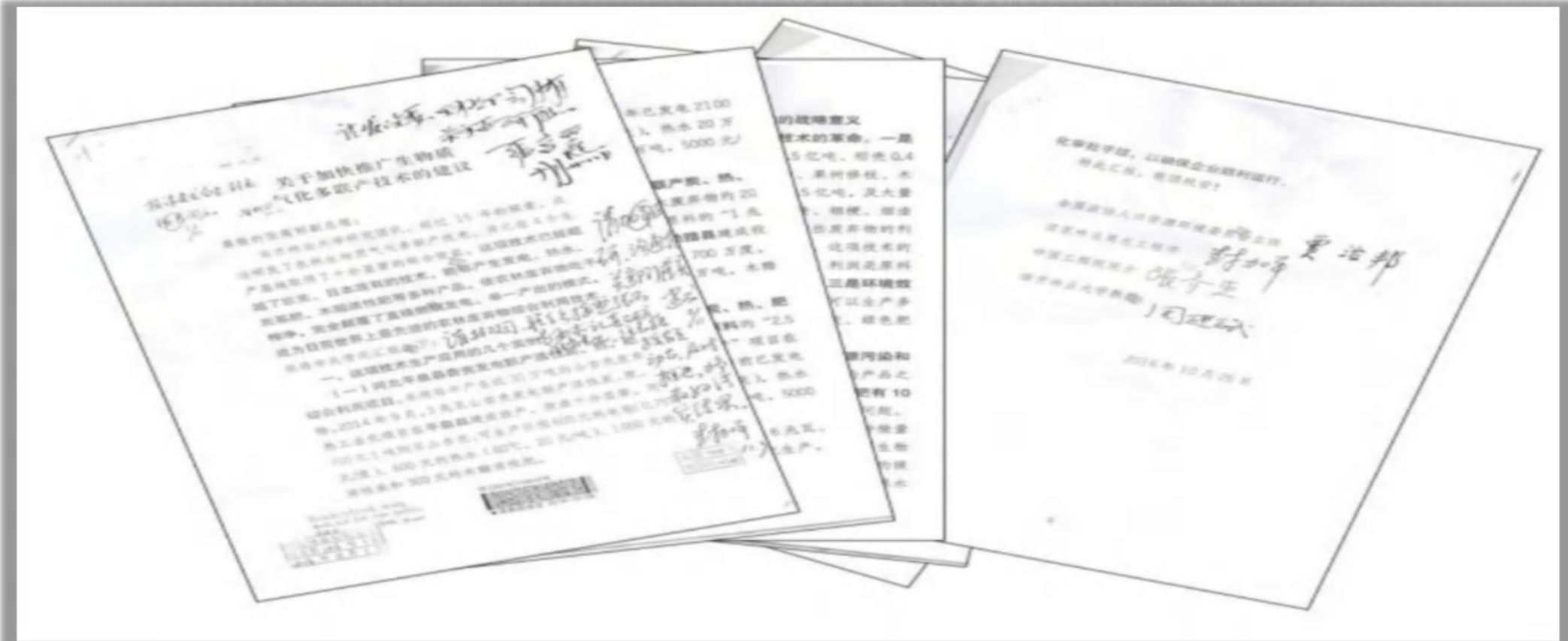
该项目集成中心研发“**内滤式木废料气化供热成套设备**”，**2015年5月通过国家林业局科技司成果鉴定**，**气化供热成套设备的研究思路新颖、有原创性**，**鉴定专家组一致认为该项目整体技术处于国际先进水平。**



浙江10t/h竹屑气化供热联产炭项目

5、生物质固碳气化多联产技术政策鼓励

1、2016年10月28日时任中共中央常委、国务院副总理张高丽对南京林业大学的生物质气化多联产技术作出批示，同时国家林业局张建龙局长和总工封加平同志作出批示。



3、2017年5月23日国家发改委、农业部、江苏省发改委、中国循环经济学会等到南京林业大学调研生物质气化多联产技术与产业化情况。



5、2017年开始几乎每年发文推广南京林业大学生物质炭基肥技术。

农业部办公厅文件

农办科[2017]24号 2017年4月28日

农业部办公厅关于推介发布秸秆 农用十大模式的通知

秸-炭-肥还田改土模式主要包括以下环节：生物质热裂解，生产炭基肥，炭基肥料通过机械化耕作方式返回农田，模式流程图如下：

```

    graph LR
      A[农作物秸秆] --> B[热解气化]
      A --> C[生物质可燃气]
      B --> D[生物炭]
      B --> E[热解气]
      C --> E
      E --> F[发电、供热、供气]
      D --> G[水炭活性炭]
      D --> H[工业用炭]
      D --> I[肥料基肥]
      D --> J[肥料缓释剂]
      D --> K[农家复合肥]
      E --> L[热水]
      L --> M[供热]
      E --> N[生物炭提取液]
      N --> O[拌面肥]
      O --> P[农田施用]
      P --> Q[农田施肥]
  
```

2020年7月23日农业 农村部2020年十大引 领性技术发布



图1 秸秆炭基肥料利用增效技术流程理念示意图

农业农村部办公厅 文件 国家发展改革委办公厅

农办科[2021]28号

农业农村部办公厅 国家发展改革委办公厅 关于印发《秸秆综合利用技术目录(2021)》的通知

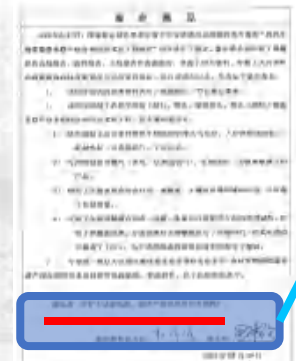
序号	技术名称	技术来源与归属单位	技术简介	技术所属主要领域	推广应用	实施案例或主要技术推广成效
1	秸秆还田技术	农业农村部	...	...	...	...
2	秸秆饲料化利用技术	农业农村部	...	...	...	...
3	秸秆肥料化利用技术	农业农村部	...	...	...	...
4	秸秆能源化利用技术	农业农村部	...	...	...	...
5	秸秆基料化利用技术	农业农村部	...	...	...	...
6	秸秆炭基肥料技术	南京林业大学	...	...	...	...

6、专家领导认可



鉴定委员会名单

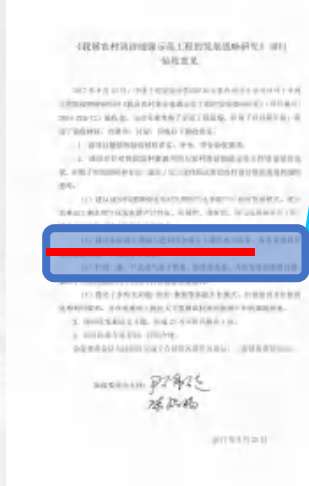
序号	姓名/职务	姓名	工作单位	所学专业	从事专业	职称/职务	本人鉴定
1	主任委员	张齐生	中国工程院	物理学	航天电子技术	院士/副院长	张齐生
2	副主任委员	宋湛谦	北京林业大学	林学	森林培育	院士/教授	宋湛谦
3	委员	沈国舫	北京林业大学	林学	森林培育	院士/教授	沈国舫
4	委员	康绍忠	北京林业大学	林学	森林培育	院士/教授	康绍忠
5	委员	杜祥琬	中国工程院	物理学	航天电子技术	院士/副院长	杜祥琬
6	委员	尹伟伦	北京林业大学	林学	森林培育	院士/教授	尹伟伦
7	委员	陈温福	北京林业大学	林学	森林培育	院士/教授	陈温福



研发思路新颖，有原创性，处于国际领先水平

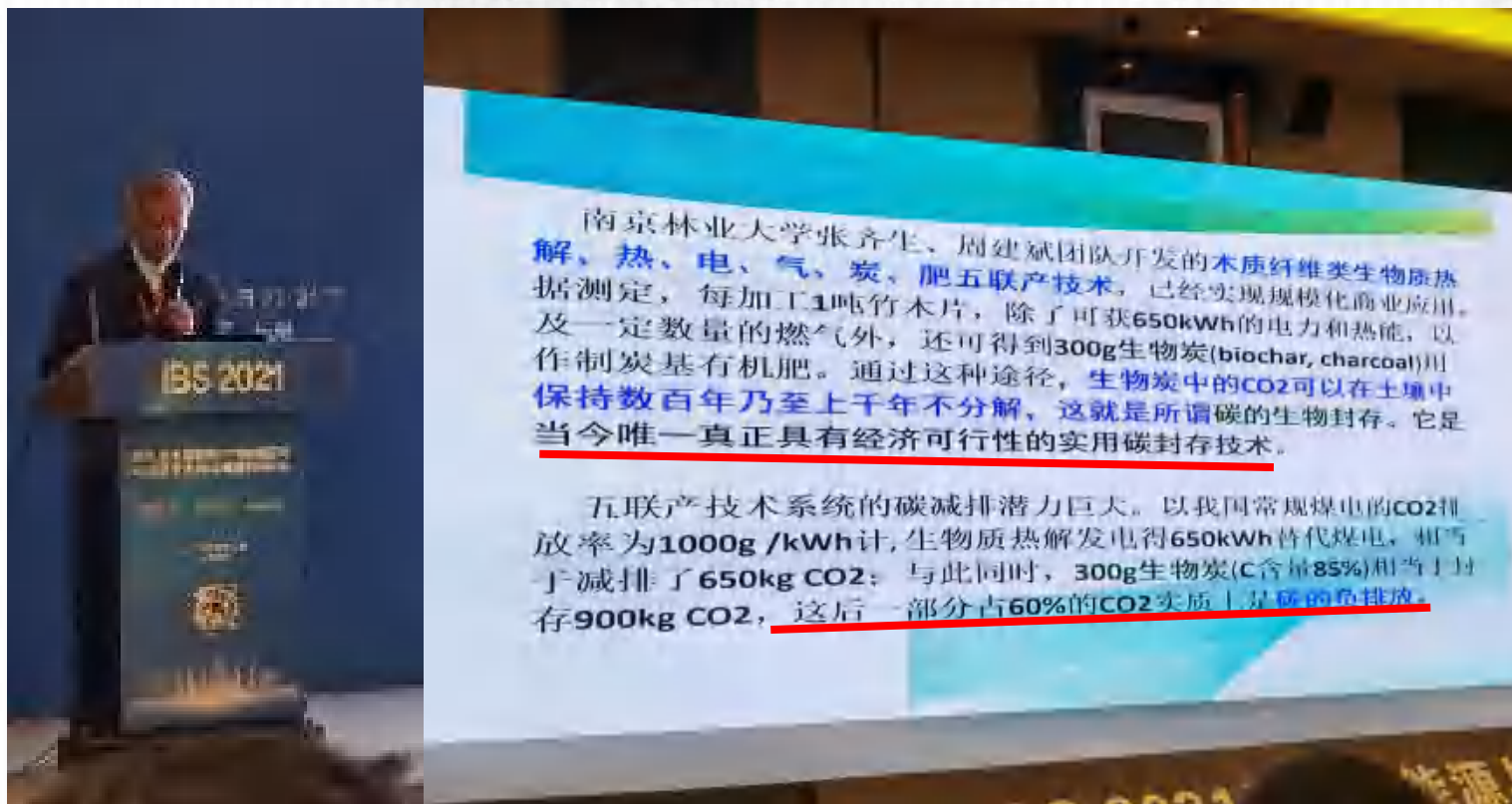
建议逐步构建规模化生物质气化多联产产业链

得到中国工程院张齐生、宋湛谦、沈国舫、康绍忠、杜祥琬5位院士高度评价



教育部副部长翁铁慧考察时对技术和炭产品高度肯定

尹伟伦院士、陈温福院士在项目验收时给予高度评价



生物质气化多联产技术系统的减排潜力巨大。生物质热解发电得650kWh替代煤电，相当于减排了650kgCO₂；于此同时，300g生物质炭相当于封存900gCO₂，这后一部分占60%的CO₂实质上是碳的负排放。

**2021年中国农业大学程序教授（石元春院士团队）
在生物质能源会议上给予评价**

生物质气化多联产技术是当今唯一真正具有经济可行性的实用碳封存技术！

国家创新发展战略

2022年 | 第4期

总第5期

- 李君如 开辟马克思主义中国化时代化新境界以增强历史主动
- 陆小华 创造人类文明新形态的中国式现代化
- 迟福林 坚持深化改革开放的中国与世界
- 卓泽渊 坚持全面依法治国的新境界
- 于洪君 统筹发展与安全必须与时俱进
- 杨洁勉 在党的二十大精神指引下开创中国特色大国外交新局面
- 周弘 世界需要一个“缓和时代”
- 李成 值得关注的中国智库
- 管涛等 美联储紧缩下半场对中国经济的溢出影响分析

CIIDS
季刊

大变局 大考验 大合作

· 聚焦国内国际战略 ·

服务中央决策咨询

助力国家创新发展

传播和平崛起理念

总 编 阅：郑必坚

编辑委员会（姓氏笔画为序）

于洪君 王洪章 王博永 叶小文 白春礼 冯 伟 朱 民 郑书林

吕本富 李君如 李树深 吴 峰 杨洁勉 陈 奇 陈小工 陆小华

周文地 周文重 周 弘 崔凤凯 徐伟新 黄奇帆 黄仁伟 葛振坤

主 编：王博永

执行主编：陆小华

副 主 编：冯 伟

编辑部主任：史小令

栏目主编（姓氏笔画为序）

于 泳 刘兴华 肖 妍 周长青 徐庆超 谢茂松

主办单位：中国国家创新与发展战略研究会

单位地址：北京市西城区新兴东巷13号院京益融园

编辑部电话：+86(10)84370200

编辑部邮箱：cids_bjb@cids.cn

说明：本刊所发文章仅代表作者个人观点，仅供内部参考。

内部刊物 请勿转载



微信公众号

CONTENTS

目录

本刊特辑·解读二十大精神

- 开辟马克思主义中国化时代化新境界以增强历史主动.....李君如 001
- 创造人类文明新形态的中国式现代化.....陆小华 005
- 坚持深化改革开放的中国与世界.....迟福林 013
- 坚持全面依法治国的新境界.....卓泽渊 019
- 统筹发展与安全必须与时俱进.....于洪君 025
- 在党的二十大精神指引下开创中国特色大国外交新局面.....杨洁勉 034

国际战略

- 世界需要一个“缓和时代”.....周 弘 040

- 值得关注的中国智库.....李 成 045
- 世界能源变局下中日能源竞合展望.....段锋军 048

经济与金融

- 美联储紧缩下半场对中国经济的溢出影响分析.....管 涛 付万丛 053
- 建设全国统一大市场需要破解的难题.....肖金成 060

数字经济

- 金融数据安全新形势、新挑战及监管建议.....钟 红 066
- 做大做优数据产品供给 促进数据要素市场健康发展.....
.....中国移动研究院数据要素课题组 072

碳达峰 碳中和

- 服务双碳目标的农林生物质固碳气化多联产.....周建斌 077
- 能源危机背景下欧盟绿色转型进展与前景.....董一凡 083

创新驱动

- 立足健康中国和人才强国战略,落实中小学“生命安全与健康”重大主题教育
——推动教育高质量发展的战略思考与应对策略.....王一虹 089

服务双碳目标的 农林生物质固碳气化多联产

周建斌

摘要:在碳达峰、碳中和目标下,能源转型、固碳减排成为国家的重大需求。探索并打造经济可行的负碳能源模式,降低化石能源消费占比,建设绿色低碳能源体系成为国内外研究与产业的热点。生物质能是天然的碳中性能源,其在固碳减排过程中具有重要且不可替代的作用。然而,在认识上,对农林生物质资源尤其是林业生物质资源量及重要性认识不足;在技术上,单一能源化技术利用模式经济效益差;在环保上,传统直燃和气化技术存在废渣、废水污染等;在政策上,生物质是否属于清洁能源,存在较大争议,一些政策文件存在矛盾,有些部门和专家把生物质当做高污染性燃料来看待,因此现阶段生物质能的利用远未达到预期效果。目前,国内已突破农林生物质气化定向调控“电、炭、肥、热”多联产关键技术,在制备可燃气(用于发电或供热)的同时,分类定向联产活性炭、机制炭、炭基肥、液体肥等高值化产品。该技术同时将生物质原料中的大部分碳、硫和氮元素保留在炭产品中,每利用1t生物质,得到0.2~0.25t生物质炭(含碳量65~85%),固定CO₂ 0.48~0.78 t。该技术在经济效益和环境效益方面具有显著的优势,可助力国家早日实现“双碳”目标。

关键词:双碳;农林生物质;固碳;气化;多联产

减少温室气体尤其是CO₂的排放,减缓气候变化,已成全球共识^[1]。当前,我国能源需求总量大、能源短缺,能源结构以煤炭为主。

2020年,我国化石能源消费占比达84%,CO₂排放总量为98.94亿t,CO₂减排难度巨大^[2]。开发利用好生物质能是降低化石能源占比、推

【作者简介】周建斌(1965-),男,南京林业大学教授,博士生导师,中国能源学会专家委副主任委员,从事生物质热解与炭材料研究。

[1]梁朝阳,李国园,魏星,高翔. IPCC第六次评估报告第三工作组报告主要结论解读及对策建议[J]. 环境保护, 2022, 50(13): 72-76.

[2]俞舟,王静. 正确认识和把握碳达峰碳中和[J]. 红旗文稿, 2022(13): 45-48.

进能源转型的重要且不可替代的保障。

1 正确认识农林生物质

地球上生物质能总量达1600~1800亿t/a,相当于世界总能耗的8倍^[3]。生物质具有资源量巨大、可再生、碳中和等优点,已成为国内外学术界、产业界研究和产业的热点。若农林废弃物不合理利用,任其腐烂发酵产生CH₄,其温室效应将是CO₂的20多倍^[4]。2021年9月,《Nature》发表文章表明全球枯木每年释放超过399亿吨CO₂,相当于化石燃料排放量的1.15倍^[5]。这些生物质若不合理利用对生态环境造成巨大危害,甚至引发森林火灾。事实上,生物质能够有效替代化石能源,是具有安全性、稳定性的碳能源,也是最具产业化前景的清洁能源^[6]。符合国家乡村振兴发展战略,是保障国家能源安全,助力国家实现“双碳战略”目标的重要且不可替代的可再生能源。

近些年,生物质能有了一定的发展,但远没有达到预期效果。影响生物质能发展的主要原因:(1)对生物质的认识不足。许多专家、学者认为生物质数量不足,难以担当能源的重任。主要是因为多年来仅重点考虑了农业秸秆资源,而忽视了资源量数倍于农业秸秆的林业生物质。我国有18亿

亩耕地(10亿t秸秆,0.5亿t稻壳),43亿亩林地(过去十年已造林10亿亩,“十四五”期间计划造林5亿亩),39亿亩草地^[6]。每年有大量的林业资源未得到有效高价值利用,其中森林抚育材约30亿t,木材加工剩余物约5亿t,造纸剩余物约2亿t,果木枝条约2亿t,芦苇约2亿t等。(2)传统技术经济效益差。现阶段生物质能源推广利用技术(直燃,气化,沼气,生物柴油,生物酒精,成型燃料等),以单一产品转化为主,有的技术需要外加能源或添加化学药品,有的技术还依靠补贴为主,有的存在废渣、废水污染等,经济效益普遍偏低,许多部门及投资人失去信心。(3)生物质能源领域投资不足。国家虽然在可再生能源领域投入了大量的资金,但主要集中在风、光、水电领域。生物质能源以小型个体民营企业投资为主,而风、光、水电领域大部分由大型国企、央企和上市公司投资为主,享受超过80%的国家可再生能源补贴。(4)生物质能源是具有与煤炭能源一样的稳定性(不存在间歇性)、连续性的能源。基于对生物质能源的认识、技术、政策和投资导向等因素,生物质能的利用规模、经济效益、固碳减排远未达到应有的效果。

[1] 梁朝阳,李国园,魏星,高翔. IPCC第六次评估报告第三工作组报告主要结论解读及对策建议[J]. 西北农林科技大学, 2006.

[2] Balat, B. Global status of biomass energy use. Energy Sources, Part A: Utilization, and Environmental Effects, 2009, 31, 1169-1173.

[3] Khattab, G. J., Chantou, J. F. Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission offsets carbon sequestration. Tellus series B: chemical and physical meteorology, 2001, 33, 323-328.

[4] Seinfeld, S., Jimenez, K., Hodson, L., et al. The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. Nature, 2021, 597, 77-81.

[5] Ma, X. Q., Chen, D. Y., Gu, J., Bao, B. F., Dong, Q. B. Determination of pyrolysis by-product (tar and char) of palm kernel shell using TG-FTIR and multi-peak integral methods. Energy Conversion and Management, 2016, 106, 233-258.

[6] 中华人民共和国自然资源部.第三次全国国土调查主要数据公报. http://www.gov.cn/dt/cwhb/2021/08/15/20210820_2878349.html

表1 生物质能源相关国家政策

日期	政策文件名	文件内容	发文单位
2016年12月	关于印发能源发展“十三五”规划的通知	有序发展生物质直燃发电、生物质耦合发电,因地制宜发展生物质热电联产	国家发展改革委 国家能源局
2017年4月27日	《关于推介发布秸秆农用十大模式的通知》(农科办[2017]24号文件)	秸-炭-肥还田改土模式	农业农村部
2017年6月6日	《林业产业发展“十三五”规划》	专栏8 生物质能源多联产发展工程	国家林草局,国家发展改革委,科技部,工业和信息化部,财政部,中国人民银行等11个部委
2017年11月27日	《关于开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知》(国能发电力[2017]75号)	鼓励试点项目联产炭基肥料与活性炭	国家能源局,环境保护部
2017年12月28日	《关于开展秸秆气化清洁能源利用工程建设的指导意见》(发改办环资[2017]2143号)	实施秸秆气化清洁能源利用工程,配套生物质炭、焦油、木醋液等副产物资源化利用系统	国家发展和改革委员会,农业部办公厅,国家能源局综合司
2018年6月21日	《关于燃煤耦合生物质发电技改试点项目建设的通知》(国能发电力[2018]53号)	鼓励技改试点项目联产生物质炭	国家能源局,生态环境部
2021年10月19日	关于印发《秸秆综合利用技术目录(2021)》的通知	秸秆炭基肥生产技术	农业农村部办公厅 国家发展改革委办公厅
2021年11月19日	农业农村减排固碳十大技术模式	秸秆能源化利用技术、热解炭气肥联产等	农业农村部

2 生物质固碳气化多联产技术

生物质利用技术成为国内外研究与产业的热点,发展途径多样,如制备生物质液体燃料、化学品、石墨烯等,但在技术可行性、经济性和环保性等方面尚需要突破。生物质固碳气化多联产技术已获得国家发改委、农业部、环保部、能源局、林草局等部委重视和政策支持(表1),是目前公认的、成熟的、可产业化的碳

技术之一^[1]。

该技术是在不需要外加能源,也不需要添加任何化学药品、助剂、添加剂等条件下,发生热分解反应,将生物质中的纤维素、半纤维素、木质素大分子分解成小分子的可燃气、生物质炭和生物质液的过程,进而转化为“热、电、气、炭、肥”等多种高值产品(图1)。生物质炭是国际公认的最具经济可行性的碳

封存手段。然而,国内外关于传统生物质气化技术的著作、论文、教材中,气化技术仅有可燃气,剩下的都是灰渣和废水。生物质固碳气化多联产技术实现能源利用的同时产出生物质炭和生物质液(肥料),兼具良好的经济、社会和生态效益。

国内研究单位根据生物质组成、流动性等不同,将生物质分为秸秆类、果壳类、木片(竹)类三大类,研究揭示了生物质固碳气化特性与反应机制,攻克了生物质脱氧富碳、气化定向调控等关键技术瓶颈,创制了连续化智能化规模化气化多联产系列成套装备,开发了电炭肥热系列产品,解决了行业长期存在的资源利用效率低、产品单一、废水废渣污染、规模化生产连续稳定性差、经济效益不佳等突出共性问题^[2]。



图1 生物质“热电气炭肥”多联产技术流程图

2.1 生物质固碳气化多联产技术模式

(1) 气化多联产供热模式: 规模可大可小(单台设备可供4~30 t·h⁻¹锅炉)。

(2) 内燃机发电模式: 生物质经过热解气化产生可燃气经净化后进入燃气内燃机燃烧发电,同时产生生物质炭和生物质液,单机0.5~3 MW。

(3) 锅炉汽轮机发电模式: 生物质经过热

解气化产生可燃气,热燃气不经冷凝直接进入锅炉燃烧产生蒸汽推动汽轮机发电,同时产生生物质炭,单机达6 MW。

(4) 气化耦合燃煤发电模式: 生物质气化产生的热燃气与燃煤锅炉耦合发电,可减少化石燃料消耗,同时产生生物质炭,单机达10 MW。

2.2 生物质固碳气化多联产工程效益分析

以6 MW生物质发电多联产项目为例,年利用原料8万t,发电4200万kW·h,为4~5 t·h⁻¹锅炉供热,得到生物质炭1.6~2.0万t(产率20~25%),节约标煤约1.68万t,减排CO₂约4万t,减排NO_x约123 t,减排SO₂约400 t。

生物质气化多联产的减排效益显著。1 t生物质(其中碳元素含量约50%)需要从环境中吸收1.83 t CO₂(光合作用),1 t生物质气化后,0.88 t的CO₂(含碳0.24 t)将被固定在生物质炭产品中^[3]。因此,该技术减排效果显著,实现了CO₂负排放。

2.3 生物质固碳气化多联产的产品性能与作用

(1) 生物质可燃气: 热值为900~1300 kcal/Nm³,可燃成分有CH₄、CO、H₂等,不可燃成分有N₂、CO₂等。可燃气经净化后可用于内燃机发电或集中供气,热燃气可以直接送入锅炉燃烧供热或蒸汽轮机发电。

(2) 生物质炭: 生物质炭根据原料不同,分为木(竹)炭、果壳炭、秸壳炭、秸秆炭等。木竹及果壳原料可制备活性炭(气化得到的生物质炭活化制备活性炭所需活化时间更短,得率更高)、机制烧炭、工业用炭,秸秆

[1] Leng K.H., Zhang, J., Ma, Z.Q., Chen, D.Y., Zhou, J.B., Ma, H.H. Investigation of the relevance between biomass pyrolysis polygeneration and washing pretreatment under different severities: Water, dilute acid solution and aqueous phase bio-oil. *Bioresour. Technology* 2019, 278: 26-33.

[1] 周建斌, 周建斌, 马晓光, 张清波. 生物质气化多联产性能测试与优化[J]. 农业工程学报, 2019, 1(002): 1-8.
[2] Zhou, J.B., Yang, L.C., Zhang, P.Y., Chen, Y., Zhang, L.J., Ma, H.H., Zhang, T.M., Chen, D.Y. Features and commercial performance of a system of biomass gasification for simultaneous clean heating and activated carbon production. *ACS Omega* 2020, 5: 28118-28117.

类的炭由于其灰分含量高,适合做炭基复合肥(生物质炭含量10~30%),有如下效果:每千克的秸秆炭中含K 53 g, N 4.3 g, P 2.6 g, Mg 3.52 g, 微量元素 Cu 0.015 g, Fe 0.58 g, Zn 0.11 g, 所以生物质炭还田可以解决肥料的中微量元素不足问题,平衡施肥,同时生物质炭来自作物,由于其同源性,各种元素更有利于作物吸收,有利于提高农作物的产量和品质。生物质炭具有良好的缓释效果,稳定土壤的pH值,改善土壤的微生物环境,修复板结、退化、酸化及污染的上壤等功效,已在皖、苏、湘、赣、黑、云等多省市推广应用^[1]。

(3) 生物质提取液: 生物质提取液是生物质热解气化时产生的液体成分,经冷凝、分离、收集得到,含有酸类、醇类、酯类、醛类、酮类、酚类等多种化学成分。生物质提取液可生产促进作物生长的液体肥,由于植物源液来自于作物,吸收迅速、抗病增产,因此生物质提取液既有肥效又有药效,达到了天然的药肥一体化效果,是西医理论无法达到的效果^[2]。近20多年来,生物质提取液肥已在宁、鲁、赣、皖、湘、黑、云等多省市推广并大量应用于各种大田作物、经济作物、蔬菜、水果等农林作物。

根据全生命周期计算,肥料生产设备和生产过程产生的碳排放使作物产生的温室气体碳足迹高,我国化肥过量施用导致的碳排放甚至占农业碳排放的60%以上^[3]。生物质炭基肥和液体肥的使用实现了传统化肥和农药的

减量,如将10~30%的生物质炭和生物液添加到肥料中,按照我国每年肥料用量7000万吨计,每年可减少肥料用量1400万吨,这将大力促进农业转向低碳、绿色、循环及可持续发展。

3 生物质固碳气化多联产技术产业化案例

(1) 河北承德地区是全国杏壳集散地,也是果壳活性炭产业中心。传统活性炭技术生产1t需烧2t煤,成本高、污染大、能耗高。承德地区属于三省交界地,气温低,供暖时间长,需求大,宾馆浴室小煤炉多。采用生物质固碳气化多联产技术,建成了“杏壳生物质气化发电联产活性炭、肥、热”项目,淘汰了市区宾馆浴室小煤炉。该项目每年发电2100万度(0.75元/度),价值1575万元,生产活性炭6000 t(9000元/t),价值5400万元,热水(80℃)20万t(20元/t),价值400万元,提取液2600 t生产液体肥约4970 t,5000元/t,价值2485万元。总产值约9860万元。经济和环境效应最佳,是传统生产活性炭产值的3倍,利润是原来的4倍^[4]。另外节约标煤约8400 t,减排CO₂约2.1万t,6000 t活性炭固定CO₂约1.8亿吨,总减排固碳达3.9亿吨^[5]。

(2) 河北滦平果木废料多,冬季供暖时间长,供暖成本高,采用生物质固碳气化多联产技术,建成了“果木废料分布式清洁供暖联产活性炭”项目。该项目于2018年建成了16.4万m³的供暖生产线,2019年扩建至21万m³的供暖生产线,2020年扩建至60万m³,已稳定运行4个供暖季,主要用于学校、医院等冬季

供暖。该项目在生物质固碳气化-热燃气燃烧供暖的同时,得到具有广阔应用价值的活性炭产品,淘汰了燃煤锅炉,达到CO₂减排作用,产生了良好的经济与环境效益。近三年,替代燃煤3.6万t,减排CO₂9.6万t,新增产值10530万元,新增利税6863万元。

(3) 吉林秸秆资源丰富,资源利用率低,焚烧污染大,冬季供暖时间长,清洁能源需求大。在吉林市高新区建成“秸秆生物质分布式清洁供暖”项目。该项目于2017年建成了65.2万m³用于吉林市高新区职业教育产业园清洁供暖,2020年全部达产后利用秸秆清洁供暖120万m³,稳定运行近5个供暖季。近三年,该项目新增产值5628万元,新增利税1407万元。该项目年消耗2.5万t秸秆,替代1.02万t标准煤,减排CO₂2.66万t,SO₂246 t,NO_x72 t,经济、社会、环保等综合效益十分显著。

(4) 安徽省颍上县大米加工企业多,稻壳资源量大,采用生物质固碳气化多联产技术,建成了“3 MW 稻壳气化发电联产炭、肥”项目。该项目年发电2100万度(0.75元/度),价值1575万元,生产稻壳炭10000 t(2000元/t),价值2000万元,生产炭基肥18500 t(3000元/t),价值5550万元。总产值约9125万元,节约标煤约8400 t,减排CO₂2.7万t,1万t稻壳炭固定CO₂约2万t,总减排固碳CO₂约4.7万t。

(5) 在山东省临沂市建成以生物质提取液为原料的生物质液体肥料生产线,同时建成以秸秆炭为原料的炭基肥生产线。针对不同地域和作物的差异化需求,复配一定量的N、P、K及其它中微量元素,有良好的增产增质效果。液体肥年产2000 t,炭基肥年产2万t,在苏、鲁、宁、赣、冀、辽等多省市应用,2013年企业获得2个肥料登记证并通过环保生态

肥料认证,形成了生物质基肥产品,市场占有率90%以上。

4 展望

(1) 林业的面积、生长时间和生物量是农业的数倍。如果国家把林业当做农业来重视(包括管理、施肥、浇水、基础设施建设可便于机械化操作及运输的道路等),林业生物质数量还会数倍增加,达到百亿吨以上,实现习近平总书记在今年参加首都义务植树活动时指出的,森林是水库、钱库、粮库和碳库(即能源库)的多元功能与多重价值^[6],也是“绿水青山就是金山银山”的具体体现。习近平总书记关于林业工作的重要论述,为重构林业价值体系,实现林业高质量发展开阔了思路,指明了方向。

(2) 国家若将部分煤矿工人转变成林业能源工人,将山上的林业三剩物和城市、乡村、道路(520万公里)修剪的枝条收集,有以下五方面显著效果:一是可以有效起到森林防火作用;二是减少CH₄、CO₂等温室气体大量排放;三是为先进的生物质固碳气化多联产技术提供丰富的原料,并解决森林病虫害(在800℃左右条件下气化,病虫害都会死亡);四是大量增加居民就业与收入;五是改善城市、乡村和道路环境,变成美丽乡村、美丽城市和景观道路等。

(3) 我国如将100亿t农林生物质用于固碳气化多联产技术与产业,可发电约6万亿kW·h(我国目前年用电约8万亿kW·h),减排CO₂约40亿t,同时生产生物质炭20亿t,固定CO₂约60亿t,总减排CO₂约100亿t,相当于我国全年CO₂排放总量,这对我国甚至世界清洁能源、减排、绿色发展具有重要意义。

(责任编辑:肖 昕)

[1] 曹建德,马忠文,曹一明. 秸秆制备生物炭肥料及产业化进展[J]. 生物加工过程,2021,19(04):345-357.

[2] 曹建德,马忠文,曹一明. 稻壳制备活性炭与生物炭基肥[J]. 林产工业与工业,2011,31(02):63-68.

[3] Patel, M., Zhang, Y., Kumar, A. "Techno-economic and life cycle assessment on thermochemical biomass conversion technologies: A review". Renewable & Sustainable Energy Reviews 2016, 23: 1485-1499.

[4] 曹宁,曹建德. 基于生物质固碳气化发电减排温室气体生产实践[J]. 中国环境科学,2018,38(02):784-791.

[5] 曹建德. 秸秆炭基肥与液体肥[M]. 2017,化学工业出版社,北京.

[6] 国家林业和草原局. 国家林业和草原局公告, 2020, 1, 116.

[1] 水森,曹建德,曹建德,曹建德. 生物质发电与生物质炭基肥料[J]. 绿色农业,2022(06):2-11.

五、生物质固碳气化多联产技术前景

1、生物质固碳气化多联产技术减排固碳效果



利用农林生物质气化多联产，从三方面减排CO₂：

1、生物质生长（光合作用）吸收CO₂的1.72t；

2、可燃气替代0.5吨煤炭，减排CO₂1.3t！

3、得到0.2-0.3吨生物质炭，固定CO₂的0.6-1t。

因此，每利用1吨生物质，总减排固碳CO₂达3.5-3.7t。

本技术减排效果显著，实现CO₂负排放。

■ 2、生物质固碳气化多联产技术创新(零成本)

生物质气化多联产系统中**生物质炭**的经济效益

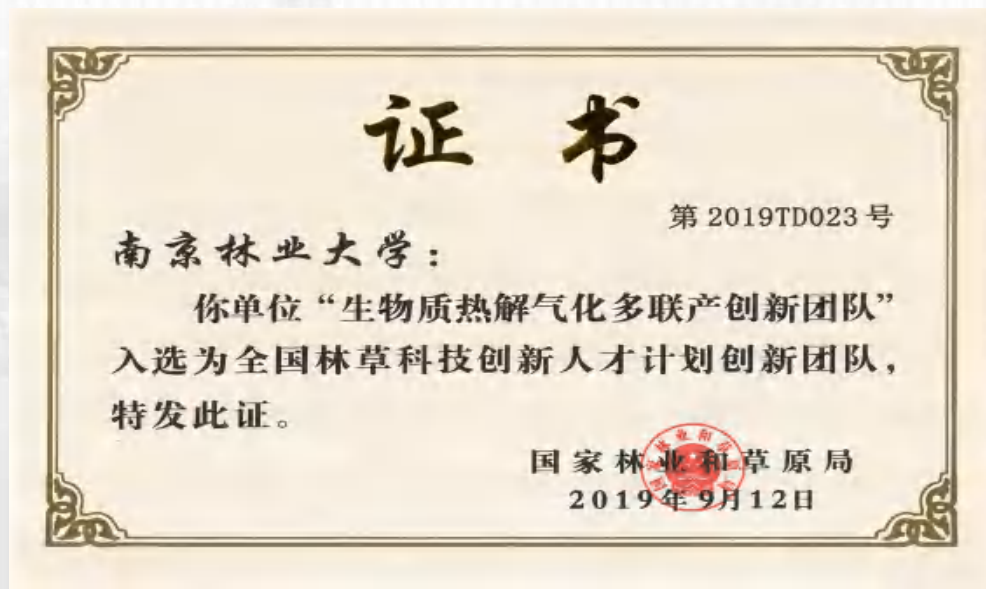
原料	价格	炭得率	炭价格	炭价值
稻壳	500元/吨	30%	2000元/吨	600元
杏壳	800元/吨	30%	3200元/吨	960元
椰壳	1000元/吨	30%	3600元/吨	1080元
废木块	600元/吨	25%	2800元/吨	700元
废竹块	600元/吨	25%	2800元/吨	700元
秸秆	300元/吨	20%	1500元/吨	300元

通过本技术，每利用1吨生物质，其产生的生物质炭价值等于或高于原料的价格，因此发电或供热实现 **零成本!**

如果将100亿t农林生物质用于气化多联产技术与产业，可发电约8万亿度（我国目前年用电约8万亿度），减排CO₂约60亿t，同时生产生物质炭20亿t，固定CO₂约60亿t，总减排CO₂约120亿t，相当于我国全年CO₂排放总量，这对我国甚至世界清洁能源、节能减排、绿色发展具有重要意义。

生物质炭具有发达的孔隙结构，较大的比表面积，特异的表面官能团，同时将土壤中紧缺的氮、磷、钾、铜、铁、钼等元素返回到土壤中。炭基肥有利于提高农作物的产量和品质，减少化肥用量30%以上，生物质炭基肥和液体肥的使用实现了传统化肥和农药的减量，如将10-30%的生物质炭和生物液添加到肥料中，按照我国每年肥料用量7000万t计，每年可减少肥料用量1400万t，将大力促进农业的绿色、循环及可持续发展。

六、生物质固碳气化多联产团队



南京林业大学生物质热解气化多联产创新团队

团队简介：现有研究人员13人，其中教授5人、副教授2人，讲师/博士4人，培养硕博士生50人，团队成员入选国务院特殊津贴、江苏省特聘教授、江苏省333工程、江西省双千计划人才、山东省泰山领军人才、国家林草青年拔尖人才等，2019年获批全国林草科技创新团队。

代表性知识产权情况

1、发明专利：

- 1、一种适应多种原料的农林生物质气化炉 (ZL 201210078963.4)
- 2、农林生物质二次过程反应气化炉及其应用 (ZL201110259407.2)
- 3、用于农林生物质气化气体的干式净化系统 (ZL201210078964.9)
- 4、一种利用生物质气化固、液产物制备有机肥料及制备方法 (ZL201110155814.9)
- 5、一种利用生物质气化固、液产物制备有机基质及制备方法 (ZL201110154612.2)
- 6、一种含生物质活性提取成分的研究液体肥及其制备方法 (ZL201010106874.7)
- 7、用于农林生物质材料热解气体的气液分离净化系统 (ZL200910032957.3)
- 8、用农作物秸秆制取秸秆炭和秸秆醋液的方法 (ZL200410014451.7)
- 9、一种生物质可燃气焦油冷凝分离装置 (ZL201410662263.9)
- 10、一种高含水率生物气化联产炭的装置 (ZL201620963854.4)
- 11、一种生物质循环流化床气化炉 (ZL201620854679.5)
- 12、一种复合活化剂生产高比表面活性炭的生产方法 (ZL201310729572.9)
- 13、一种自干燥、喷动式生物质多联产气化装置 (ZL201510851127.9)
- 14、一种秸秆类流化床气化发电联产电、炭、热的工艺 (ZL 201510851128.3)
- 15、块状生物质上吸式固定床气化发电联产电、炭、热的工艺 (ZL 201510850886.3)
- 16、一种果壳类下吸式固定床气化发电联产活性炭、热的工艺 (ZL 201510852072.3)
- 17、生物质气化可燃气的稳定环保燃烧方法及环保型燃烧腔 (ZL 201710576972.9)
- 18、生物质气化提取液冷却装置 (ZL 201710439146.X)

2、鉴定成果：

- 1、农林生物质能源多联产综合利用技术及工程研究 (林科鉴字〔2009〕第07号)
- 2、内滤式木废料气化供热成套设备 (国家林业局林科鉴字〔2015〕第09号)
- 3、生物质活性有机液体肥料的研究 (国家林业局林科鉴字〔2010〕第09号)
- 4、农林剩余物气化关键技术创新及产业化应用 ([中国林学会 (评价) 字2018第14号])
- 5、生物质城镇清洁供暖关键技术创新与应用 ([中国林学会 (评价) 字2020第96号])

授权美国发明专利2项



发表学术论文

团队近年发表论文350篇，入选“ESI高被引论文”5篇，入选“ESI热点论文”2篇，获奖论文7篇。

[1] Jianbin Zhou, Liangcai Wang, Pengyuan Zhang, et al. Features and Commercial Performance of a System of Biomass Gasification for Simultaneous Clean Heating and Activated Carbon Production[J].ACS Omega 2020.

[2] Dengyu Chen, Kehui Cen, Jianbin Zhou*, et al. Are the typical organic components in biomass pyrolyzed bio-oil available for leaching of alkali and alkaline earth metallic species (AAEMs) from biomass.[J]. Fuel. 2020

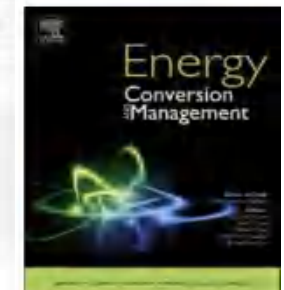
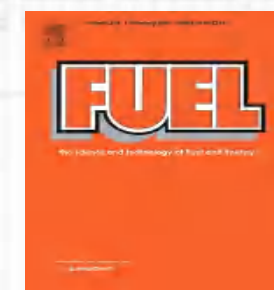
[3] Dengyu Chen, Fan Chen, Jianbin Zhou*, et al. Upgrading rice husk via oxidative torrefaction: Characterization of solid, liquid, gaseous products and a comparison with non-oxidative torrefaction[J]. Fuel. 2020

[4] Kehui Cen, Xiaobing Cao, Dengyu Chen*, et al. Leaching of alkali and alkaline earth metallic species (AAEMs) with phenolic substances in bio-oil and its effect on pyrolysis characteristics of moso bamboo[J]. Fuel Processing Technology. 2020

[5] Dengyu Chen*, Kehui Cen, Xiaobing Cao, et al. Upgrading of bio-oil via solar pyrolysis of the biomass pretreated with aqueous phase bio-oil washing, solar drying, and solar torrefaction[J]. Bioresource Technology. 2020

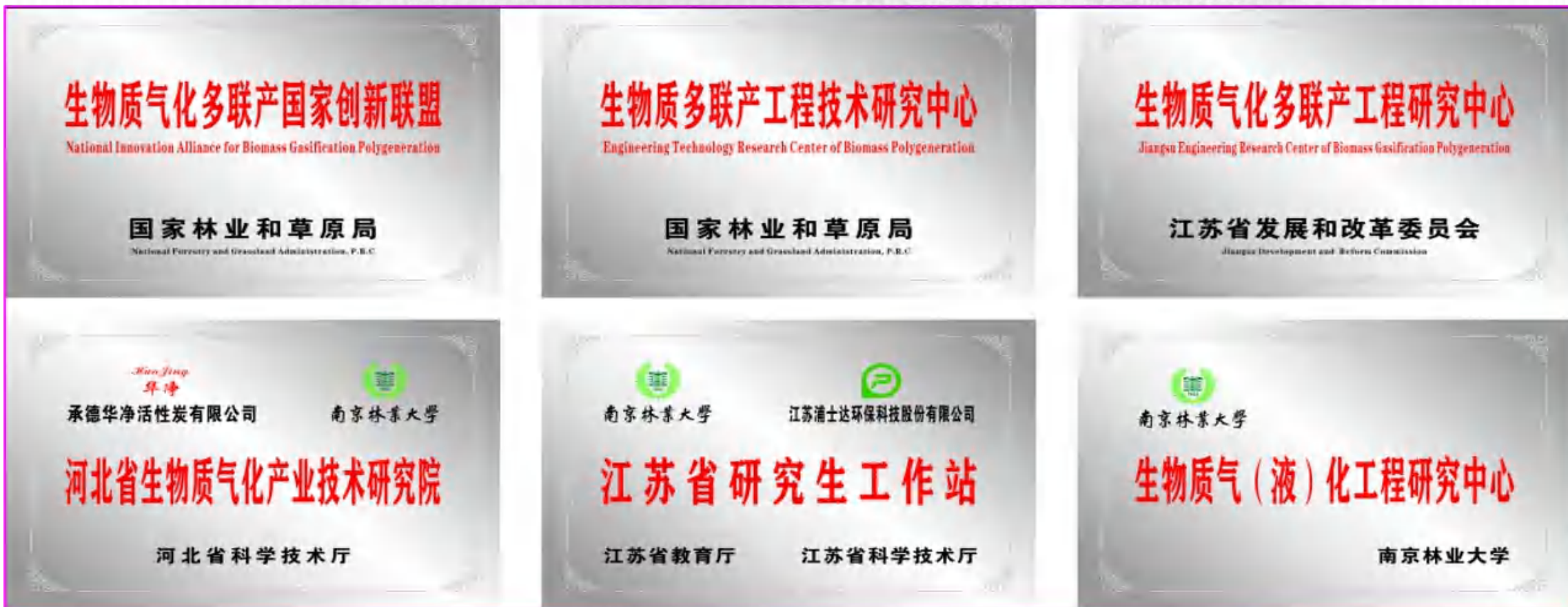
[6] Yong Huang, Shasha Liu, Muhammad Asif Akhtar, et al. Volatile–char interactions during biomass pyrolysis: Understanding the potential origin of char activity[J]. Bioresource Technology. 2020, 316, 123938.

.....



国家及省部级平台

生物质气化多联产国家创新联盟、江苏省生物质气化多联产工程研究中心、国家林业和草原局生物质多联产工程技术研究中心、江苏省企业研究生工作站、河北省生物质气化产业研究院**挂靠单位**，是生物质气化发电装备与产业技术创新联盟、中国林产工业协会活性炭分会、中国林产工业协会生物质能源与材料专业委员会、林业生物质能源国家创新联盟**副理事长单位**。



2、主要业绩成果

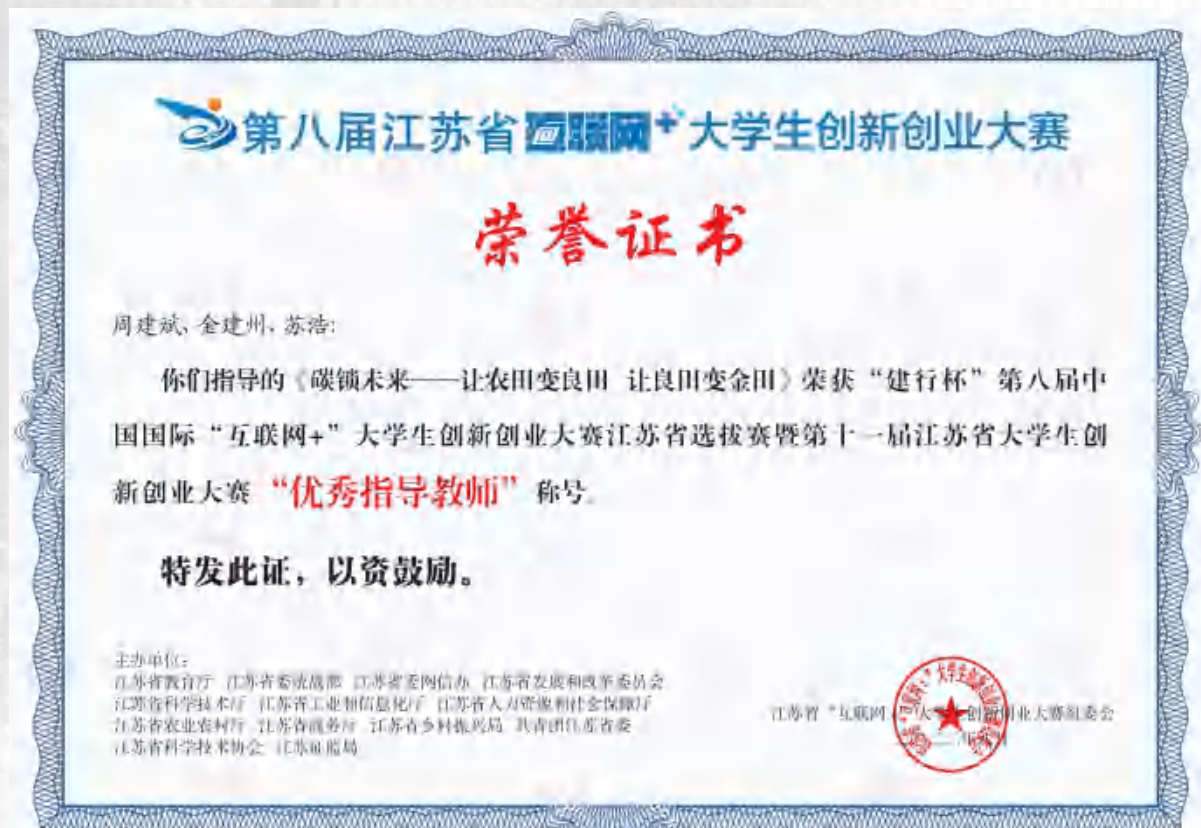
- 国家及省部级奖励：**11项**（**国家科技进步一等奖1项，二等奖1项，浙江省和江苏省科学技术一等奖各1项，国家林草局科学技术一等奖1项，中国林业产业创新奖1项，科技部全国颠覆性技术创新大赛优胜奖1项等**）



2021年10月15日，时任**国务院副总理孙春兰**出席的**中国国际互联网+创新创业大赛**，“生生不息-生物质碳封存新能源装备技术领跑者”获**全国金奖**



2022年团队再获中国国际互联网+青年红色筑梦之旅赛道，“厚土金田-双炭新模式助力土壤提质增效”获江苏省一等奖，全国金奖。





**谢谢大家！
敬请批评指正！**

周建斌 南京林业大学

手机：13705178820

邮箱：13705178820@163.com

地址：江苏省南京市玄武区龙蟠路159号