

农林碳中和工程

石元春

中国农业大学土地科学与技术学院, 生物质工程中心, 北京 100193

摘要 作为第一产业的农林业是唯一的碳汇产业, 具有碳减排与碳吸存双重功能, 在实现国家碳中和目标中处于重要位置。农林碳中和工程是指在农田、森林和不宜农林但能生长抗逆性强的能源灌草的待开发边际性土地等3片土地上, 通过科学的管理与经营, 以大幅度增加碳减排与碳吸存力度的综合性工程。面积分别是1.35亿 hm^2 、1.86亿 hm^2 和1.44亿 hm^2 的3片农林碳中和场具有年增汇37.4亿t二氧化碳, 年增12.1亿t标煤生物质能的潜力。农林碳中和工程是集保护环境、能源换代、做强农业-乡村振兴-惠及农民于一役的国家工程, 乃国之重器。

关键词 农业碳汇; 碳中和场; 边际土地; 能源灌草

2020年9月, 习近平主席在第75届联合国大会上提出, 中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和”, 这是时代强音、伟大承诺和艰巨的国家使命。“碳中和”是通过全方位的碳减排与碳吸存, 达到碳零增长的终极目标; 是政府主导、企事业单位和全民参与的伟大动员。作为第一产业的农业(含林、牧、渔业)在实现国家碳中和目标中处于重要位置。

1 碳交换的前世今生

地球大气圈的组成主要是氮和氧, 二氧化碳很少。4亿年前, 地球陆地出现生物, 特别是出现光合作用强的高等植物, 利用太阳辐射能, 吸收大气二氧

化碳与土壤中的水分, 合成碳水化合物, 构成生物体, 使碳和化学态能量得以保存和积累。生命与生物质的出现, 是地球发展史上的一座伟大里程碑。

导致地球上碳与化学态能量不断加积的载体是生物质, 在长期地质过程和地质作用下, 生物质的碳水化合物持续脱氧, 转化为碳氢化合物, 始有今日之煤炭、石油与天然气, 故称之“化石能源”。生物体将地球大气圈的二氧化碳吸收富集并转移封存到了岩石圈。

18世纪工业革命至今的200多年里, 人类打开了“潘多拉魔盒”, 将深埋地下的煤炭、石油和天然气大量开采使用, 将亿万年前封存地下的碳又放回大气中, 其温室效应导致全球气候变暖和人类生存环境恶化。这些温室气体的80%来自于化石能

收稿日期: 2021-09-17; 修回日期: 2021-11-14

作者简介: 石元春, 教授, 中国科学院院士、中国工程院院士, 研究方向为土壤地理和盐渍土发生与改良、农林生物质工程战略等, 电子信箱: shiy@cnu.edu.cn

引用格式: 石元春. 农林碳中和工程[J]. 科技导报, 2022, 40(7): 36-43; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.07.004

源。20世纪后半叶,人类社会开始觉醒,提出“可持续发展”的概念,于1992年签署《联合国气候变化框架公约》,并于2015年通过《巴黎协定》,急切要求替代化石能源,减少二氧化碳排放,放慢全球变暖步伐。

中国正在大规模进行工业化建设,能源消费剧增,2018年二氧化碳排放量约为100.2亿t,要在2060年实现碳中和,目标非常艰巨。中国的第二、三产业是化石能源的主要消费者,主要碳排放者,是碳源;唯有从事生物性生产的第一产业是吸多排少的碳汇,是为二、三产业持续提供替代能源的重要基地。

地质时期的生物质吸碳聚能,当代的生物质不仅能吸碳聚能,还可通过现代技术转化为可再生清洁能源,替代化石能源以减排二氧化碳。生物质还可以实现负碳排放,防治大气污染与农业面源污染,生产绿色材料与有机化工产品,做强农业与振兴乡村经济等。农林生态系统像个万花筒与百宝箱,需要人们去了解、探寻和开启它丰富的碳中和潜能。

解铃尚须系铃人,且观今日之生物质将何为!

据国际政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告(2013)披露,“生物质能和碳捕获/封存(BECCS)是极少有的,能将近几百年来被大气吸收积存的二氧化碳吸出与移走的技术”。

2 绿色供暖与发电

煤碳是第一碳源,替煤的担子最重。替煤者多,然效果大相径庭。

2013年雾霾大爆发,国务院紧急发布的《大气污染防治行动计划》提出的重要举措是“煤改气”。本已“气荒”多时的国内天然气骤然吃紧,四方告急。气不够,“煤改电”行不行?不行,太贵,且多来自于煤。风能太阳能行不行?不行!杯水车薪,远水不解近渴。此时,原料充足、制作简便、灵活机动、改烧容易,且热值接近于煤却比煤干净,排放标准接近天然气却价格便宜一半的生物质颗粒燃料脱颖而出,临危受命。当时每年有上亿吨秸秆被露

地焚烧,污染大气,肆意排碳,如以秸秆制成成型燃料替煤,岂非一举两得,双重环保?

克霾减排,用煤大户可以清洁燃烧,然而年耗煤约5亿t,高度分散的60多万个中小燃煤锅炉是最大难题。生物质成型燃料无疑是最佳选项。《大气污染防治行动计划》发布后的一年多时间里,国务院与国家能源局连发8次“紧急通知”,要求以成型燃料供热缓解“煤改气”。2015—2019年的4年间,生物质成型燃料年生产能力由900万t增长到1500万t,已发展成为一个覆盖酒店、学校、医院、居民小区、商业办公区、工业园区,涉及食品、医药、机械、化工等众多领域的绿色供热产业。

同此,生物质发电也是替煤减排的简便有效办法,特别是对遍布中小城市的中小火电厂。到2020年底,生物质发电累计投产项目1353个,装机容量2952万kW,年发电量1326亿kW·h^[1],可比肩于一座三峡电站。

生物质发电的年均小时数在7000h以上,而风电仅2000多h,光伏发电1600多h;据测算,每投资1亿元人民币,可生物质发电7.49亿kW·h,风电仅2.48亿kW·h,光伏发电1.68亿kW·h^[2]。且生物质发电稳定,原料贴近消费市场,不需远程传输,又有利于振兴农村经济,优势突出,何乐不为。

然而,“十三五”期间政府大量投资风电与光伏发电,装机容量分别是生物质发电的8.86倍和8.65倍,且“十四五”仍然如此,建议在实现碳中和目标中,将“绿色供热发电”作为重点之一。就全球而言,商业生物质能源中的“绿色供热发电”占到7成,以欧洲最发达。

3 石油替代与减排

石油,碳中和中的另一重要碳源和替代减排重点。液体燃料是运输工具的主要动力,现代社会的“血液”。然而,石油基液体燃料不仅排放二氧化碳和一氧化碳,还有碳氢化合物、氮氧化合物等有害物质,汽车尾气与轮船劣质柴油严重污染大气与水体。

20世纪70年代的世界石油危机,催生了生物

乙醇等生物基燃料对石油的替代。美国自 2005 年颁布新能源法到 2015 年的 10 年间,玉米乙醇减排二氧化碳 5.9 亿 t 和减少石油进口 19 亿桶。2018 年以 38% 的玉米总生产了 4830 万 t 玉米乙醇,占全国石油消费量的 10.3%,减少石油消费 5.4 亿桶。2018 年欧盟的可再生运输中 90% 是生物燃料。在巴西,甘蔗乙醇已成为国家支柱性产业,是全国汽油消费量的 1.5 倍。

但是,以粮食为原料生产燃料,诟病不断。于是人们将目光从生物质组分中的淀粉移向了占组分 2/3 的纤维素、半纤维素与木质素,并称之二代生物基原料。美国还提出温室气体排放比化石燃料低 50% 以上者方为“先进生物燃料”,于是,纤维素乙醇成为各国研发热点,只可惜久攻而不克。

微生物法生产第二代生物燃料受阻,热化学法兴起,即通过中温或高温将生物质气化,再合成精炼为系列高品位生物燃油。2013 年美国 KIOR 公司以黄松枝条为原料,年产生生物燃油 3.6 万 t,温室气体排放比化石燃料减少 60%。同年,美国 INEOS BIO 公司基于热化学先气化秸秆,再合成乙醇。2015 年,芬兰 GFN 公司以林业剩余物与作物秸秆为原料生产了生物燃油。Enerkem 公司将垃圾气化合成乙醇后再转化为航空煤油,已在英航使用。德国科林公司、加拿大 Enerkem 公司、瑞典 Chemrec 公司等亦多有建树。

2015 年联合国巴黎气候峰会后,大多数签约国在上报的承诺计划书中,都把开发生物燃料作为减排温室气体的重要手段,特别是基于热化学法生产车用液体燃料,以及生物天然气成为新宠。

在这场全球性的,以二代技术开发二代原料的竞技场上,出现了一支中国奇兵。武汉阳光凯迪集团对生物质气化-费托合成燃油技术攻关 8 年,一座 1 万 t 级生产线于 2013 年 1 月正式投产,进入同类技术的国际领先行列。2015 年 8 月,中国科学院向中央呈文称,“我国有望破解当前生物质能发展困局”,建议国家“加强对生物质合成燃油产业的政策支持”^[1]。遗憾的是,2018 年,凯迪集团内部发生问题退市,这个即将大放异彩的国际领先项目不幸搁浅。

此外,内蒙古俏东方集团自行开发的“碳酸二烷酯型生物柴油”,品质与环保性能显著优于常规柴油;中国科学院广州能源研究所研发的秸秆制生物航空煤油,清华大学的甜高粱秆乙醇重整制氢等在技术上都处在国际前列,都有冲锋陷阵的潜质。

生物乙醇在中国出现最早,却 20 年乏善可陈,但不等于液体燃料替代不重要。恰恰相反,中国石油的对外依存度接近 70%。为了国家能源安全与保护环境,为了实现碳中和目标,石油替代减排十分重要,大有可为,大有作为。

4 负碳排放,潜力巨大

生物体吸碳排碳,理论上是零碳排放,怎么会有“负碳排放”?

畜禽粪便在自然条件下发酵释放出的甲烷,其温室效应是二氧化碳的 25 倍,如以其生产沼气与生物天然气去替代化石能源,即是“以污治污”,再加上饲料生长期间的吸碳,其全生命周期为负碳排放。据瑞典 Lund 大学研究,按每获得 1 kW·h 做功,煤、天然气、风能、沼气与生物天然气的二氧化碳排放量分别是 508~897 g、398 g、61 g、-414 g^[4]。即沼气的碳减排能力是风能和太阳能的 4.6~18 倍。又据德国能源署资料,每行驶公里排放的二氧化碳当量,汽柴油、天然气、生物天然气分别为 156~164 g、124 g、5 g。即生物天然气的碳排放只是化石天然气的 1/25。在欧洲,重型柴油车改用生物天然气后,颗粒物(PM)和 NO_x 排放量分别减少了 97% 和 86%^[5]。

国际能源组织(IEA)报告称,以生物天然气替代常规天然气是最有希望的减排技术。德国有沼气-天然气生产厂 1 万余家,全国生物发电产能的 68%(7.1 GW)来自沼气-生物天然气^[6]。

生物天然气还有一个可贵禀赋,即物质循环优质。生物质在高温燃烧条件下,植物营养元素挥发固结殆尽,不能继续参与物质循环。而常温条件下的厌氧发酵,生物质的植物营养元素全部保留于沼渣沼液和以优质有机肥回归土壤。

负碳排放的微生物沼气发酵与提纯为生物天

然气兼具去污、减排、保土、增收的效果,一石四鸟。

“十二五”期间,中国农业面源污染上升为第一污染源,主要是养殖场每年产生的大量畜禽粪便不经处理排向水体以及上亿吨秸秆的露地焚烧。如果以畜禽粪便与作物秸秆为原料生产沼气和生物天然气,全国有机物污染的化学需氧量(COD)总排放量则可减少一半。

2016年12月,习近平总书记在中央财经领导小组第十四次会议上指出:“加快推进畜禽养殖废弃物处理和资源化,关系6亿多农村居民生产生活环境,关系农村能源革命,关系能不能不断改善土壤地力。治理好农业面源污染,是一件利国利民利

长远的大好事,要坚持政府支持、企业主体、市场化运作的方针,以沼气和生物天然气为主要处理方向,以就地就近用于农村能源和农用有机肥为主要使用方向。”习近平总书记将沼气-生物天然气与农业废弃物处理和资源化、防治农业面源污染、能源革命、改善农民生产生活环境、提高土壤肥力联成一体。

中国有241个畜牧大县,图1仅含40%,即有年800亿 m^3 生物天然气的产量。中国是农业大国,生物天然气的资源非常丰富,具有年生产生物天然气2000亿 m^3 和减排4.2亿t二氧化碳的潜力^[7]。负碳排放,潜力巨大,是实现碳中和目标的强大武器。

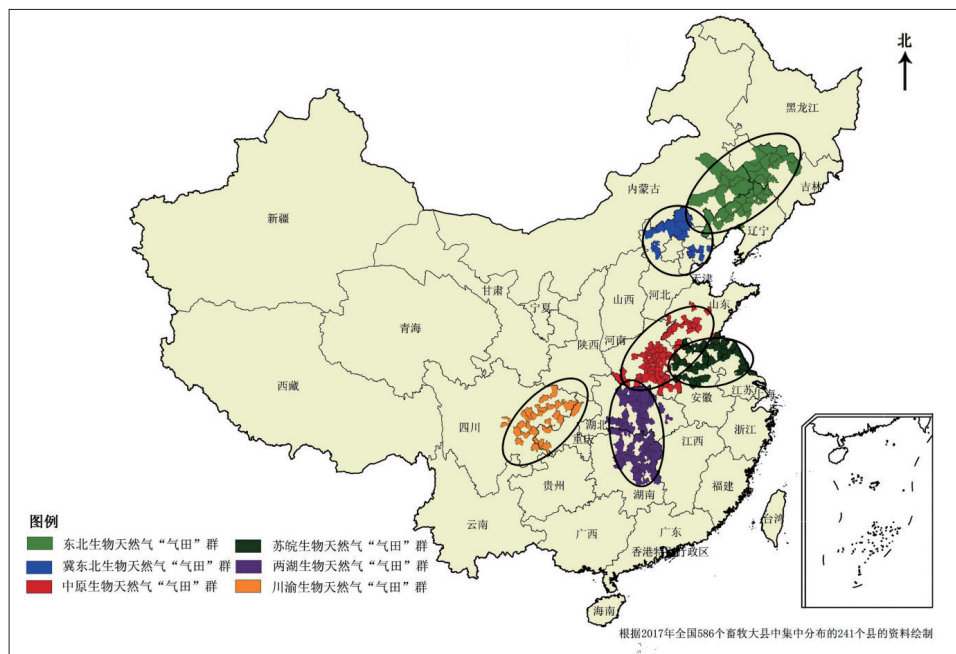


图1 中国生物天然气“气田”区域分布

5 防治白色污染,两全其美

石油基塑料的大分子与复杂结构使它在自然条件下几百年也不能降解,塑料垃圾导致的“白色污染”已严重威胁人类社会的可持续发展。中国是年消费过亿吨的世界最大塑料消费国,更令人担忧的是,也是农用地膜使用量最大的国家。覆膜的增产效果明显,然残存在土壤的塑料碎片越积越多,影响作物根系发展和吸收水分养分,导致土壤结构

恶化和肥力下降,中国农田每6亩就有1亩覆膜。

世界上越来越多的国家发布了“限塑令”和“禁塑令”。2019年9月,习近平总书记在中央深化改革委员会第十次会议上强调:“应积极应对塑料污染,牢固树立新发展理念,有序禁止、限制部分塑料制品的生产、销售和使用,积极推广可循环易回收可降解替代产品,增加绿色产品供给。”

寻求对石油基塑料的替代,已有半个世纪。一种是与10%左右的淀粉或碳酸钙共混并加入光热

催化剂,可以让废弃塑料破碎成微粒,但90%的石油基成分仍不能降解。这肯定不是解决问题的办法,但却流行于市。另一种是生物基的聚乳酸PLA生产的全生物降解塑料,可以在自然条件下全部降解,且生产过程的二氧化碳排放量只相当于石油基塑料的20%,这才是真正解决问题的办法。目前世界上只有美国与荷兰两国可以规模化生产,因价格高而市场有限。

2018年全球生产塑料近3.6亿t,而生物基塑料占比不到1%。可见对全生物降解塑料需求之急与市场潜力之大。《科学美国人》与世界经济论坛联合发布的2019年全球十大新兴技术中,全生物降解塑料排位第一。

令人高兴的是,中国安徽丰原集团攻关20年,自主研发的年产10万t聚乳酸项目首期工程于2020年8月成功投产,包括塑料与化纤产品。由于采用了非淀粉的甜高粱秆和纤维素原料,成本比用玉米生产聚乳酸低20%,技术、产品质量与成本都在世界前列。中国有望在“白色污染”防治上,像“高铁”一样为世界做出贡献。

1998年美国国家科学院给总统的咨询报告中说:“生物基产品行业最终可以满足美国90%以上的有机化学产品和50%液体燃料的需求。”^[8]1999年克林顿发布的“开发和推进生物基产品和生物能源”总统令^[9]也是将生物基产品居前。以全生物降解塑料为突破口,可开启中国石油基产品向生物基绿色低碳产品升级之门。“全生物降解塑料”,又一治污与替代减排双馨的,农林碳中和工程中的得力战将。

6 碳吸存中的“三擦边球”

农业稻麦棉,林业乔木树,五千年如是。这里提的思路是,在既不能种庄稼又不能长乔木的边际性土地上种植抗逆性强,生命力旺盛的能源灌草,此三板打出了3个擦边球。

一民营企业在河北康保县沙地上种植了约5

万hm²灌木柠条,既防风固沙,又用每3~4年平茬下来的枝条发电。该电厂替代了10万t标煤,输出了2.5亿kW·h绿色电力,年减排二氧化碳17万t,还为千余农民就业,千余农户脱贫作了贡献^[10]。

又一民营企业在内蒙古毛乌素沙地种植约4万hm²灌木沙柳,防风固沙与平茬枝条发电并举,年发电2.1亿kW·h,还将电厂排放的二氧化碳收集起来养殖螺旋藻,叫“三碳经济”。经联合国认证,该项目每年减排碳25.6万t,移存二氧化碳15万t,加上沙柳下部的固碳量,每年可实现50~60万t二氧化碳的吸存与减排,并为社会提供8000多个就业岗位,人均收入1.2万元。该项目获联合国环境与发展大会2012年度颁发的“20年防沙治沙特别贡献奖”^[11]。

有资料称,新疆克拉玛依地区的灌木紫穗槐和柠条的年公顷生物量产出分别为16.162t和10.541t;年固碳量分别为7.866t和5.185t。另有一种能在黄土高原和东北地区能安全越冬的芒草,年公顷生物量产出30t,此二地有约1亿公顷边际性土地可种此芒草,其生物量产出与固碳量之大可想而知。

中国有多少不能种农作物和树木,但可种能源灌草的边际性土地?

根据国土资源部2015年更新的资料,基于全国1km栅格25个地类的土地利用数据,综合考虑了人口、交通和生态保护等因素,选出了灌木林、疏林地、低覆盖度草地、沙地、盐碱地等11类,面积1.44亿hm²,比现有耕地面积还大。每年可生产生物质14.4亿t,能源潜力为7.2亿t标煤。据此绘制了自然条件下全国可能能源用边际性土地的能源潜力分布图(图2)。

绿地、生物量产出,以及8.2t标煤的绿色替代能源全部都是新增。

边际性土地实现能源灌草种植后,祖国大地将出现一道新的风景线,亿万公顷荒地秃岭将被灌林草丛所染,生态环境改观,绿色油田片片,美丽的座座“金山银山”。

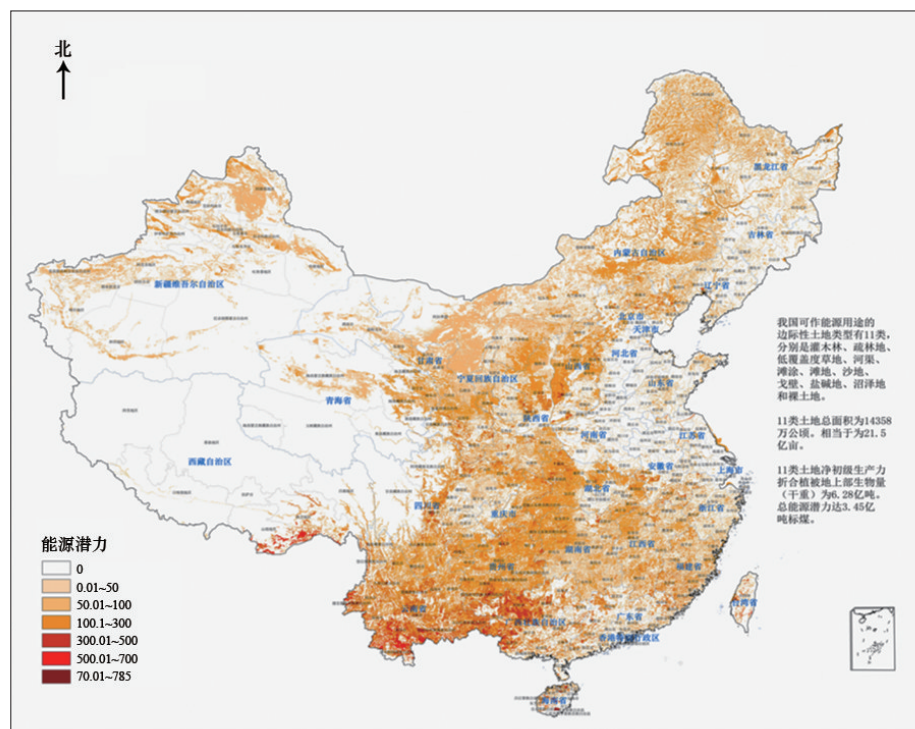


图2 自然条件下全国可能源用边际性土地的能量潜力分布

7 三片农林碳中和场

中国有3片农林碳中和场,农田、能源灌草与乔木林,它们的面积分别为1.35亿、1.44亿、1.86亿 hm^2 ,合计4.65亿 hm^2 。3个碳中和场的碳状况的主要计算参数是:1 t生物质年吸存0.5 t二氧化碳和产能0.5 t标煤;1 t标煤排放2.6 t二氧化碳;1 t生物质能的排放量是煤碳排放量的40%。

农田碳中和场的碳交换最频繁。据2015年资料,中国农田生物量产出15亿t,可吸存二氧化碳7.5亿t;另可供能源用农林有机废弃物产出量折标煤4.92亿t,转化替代能源可减排二氧化碳9.3亿t(含负碳减排);农林牧渔共消费化石能源8232万t标煤,排放二氧化碳2亿t(均仅为全国总量的2%)。农田碳中和场汇多源少,合计年增汇潜力为14.8亿t二氧化碳。

能源灌草碳中和场,建成后按年公顷地上及地下部生物量产出10 t计,年生物量产出14.4亿t,吸存二氧化碳7.2亿t,转化为替代能源折标煤7.2亿t,减排二氧化碳4.4亿t,合计年增汇潜力11.6亿t二氧化碳。

乔木林碳中和场是长时段碳吸存,现总生物量155亿t和年吸存二氧化碳11亿t(《中国森林资源报告2019》),林业三剩物的替代减排已计算在农田碳中和场。

以上3片农林碳中和场的二氧化碳年增汇量合计37.4亿t。这是现量,如果考虑到2060年的40年间的增量,农林碳中和工程的贡献将在年增汇50亿t二氧化碳以上,约当于现年排放量的一半。同时具有生产12.1亿t标煤生物质能源的潜力,相当于全国现年能源消费总量的30%。

8 与“第二农业”共进同辉

从事生物质生产的农业,五千年只认淀粉性籽实和二性产品肉蛋奶,而生物量产出的另一半——纤维素与木质素,被视为废弃物。随着科技进步,人们发现不仅淀粉,纤维素、半纤维素与木质素也可生产出绿色能源、材料与有机化工产品。21世纪初,世界对生物质能与生物基产品开发进入高潮,生物乙醇也成为中国“十五”计划的10项重点建设工程之一。

2016年,笔者提出了“第二农业”概念,即对非粮农林生物质及有机废弃物的资源化利用,生产能源、材料和有机化工等绿色产品。“第二农业”根本性地改变了五千年的农业观与产业结构,根本性地改变了工农与城乡关系,是乡村振兴与农业农村现代化的得力抓手与引擎。正如诺贝尔奖得主舒尔茨所言,“改造传统农业的关键是要引进新的现代农业生产要素”。“第二农业”,正是引进的一个全新和极强力的“农业生产要素”。

引进“第二农业”要素也遇到一个实质性难题。即与石化原料相比,生物质组分中的非能源性氧含量接近一半,所以现有技术产品,在质量与经济性上均不具竞争力。因此在战略设计上应将生物基的目标产品定位在高含氧生物材料及高含氢生物能源上。如现代生物肥料、生物饲料、生物农药以及生物可降解地膜等农用生产资料;又如生物天然气、生物氢燃料、生物氨燃料、生物碳电池燃料等绿色能源;又如高含氧量可降解塑料与工程塑料、生物基超微粉膜材/建材等生物基产品。这种全新理念与战略将构建强大的第二农业绿色产业体系。

新木集团攻关15年,在现代生物质经济产业技术体系上迈出了可喜一步,技术、产品质量与成本多处于国际领先水平,可做借鉴。

以后的中国田园,不只是“鹅湖山下稻粱肥,豚栅鸡埘半掩扉”,还有绿色能源、材料与有机化工工厂星罗棋布。农民或在农田,或在车间;或在山庄,或在市镇,过着现代桃花源式生活。

全生物质生产才是完整的农业,缺失“第二农业”不是现代农业。实现国家碳中和目标与发展“第二农业”相辅相成,共进同辉。

9 农林碳中和工程,国之重器

农林生态系统和3片碳中和场具有碳吸存与替代减排双重功能,是实现国家碳中和目标的主要阵地,又是生物质资源库与生物质能田。

农林碳中和工程由2个部分组成,第一部分是改善3片碳中和场的农作物、能源灌草及乔木林的群体结构与管理,增加碳吸存与生物量产出;第二

部分是非粮农林生物质与有机废弃物的资源化利用,发展生物质能、材料和化工产品等绿色产业,增加替代减排力度。

农林碳中和工程具有年增汇37.4亿t二氧化碳和年增12.1亿t标煤生物质能的潜力。

农林碳中和工程的核心与重点是在3个碳中和场加强植物体培育和生物量产出基础上,全面、科学部署绿色供热与发电、液体生物燃料、沼气-生物天然气和全生物降解塑料4大支柱产业体系,以实现国家碳中和目标,改善全国能源消费结构,推进“第二农业”发展。4大支柱产业的一代技术与商业化在中国已经成熟,热化学合成生物燃油与全生物降解塑料的二代技术已处世界前列,正蓄势待发,报效国家。

实施农林碳中和工程的建议是:(1)作为重大专项列为国家长期计划;(2)成立有相关业务部门参加的“农林碳中和工程”办公室,建议办公室设在农业与农村工作部;(3)成立基于5G的“农林碳中和工程”研究设计院,为工程实施提供技术支撑与指导;(4)设置“第二农业”学科、专业与学院,培养人才;(5)选择300~600个县(市)进行不同类型农林碳中和工程项目先行示范,争取在2030年碳排放达峰前为中国乃至世界找到碳中和绿色方案。

农林碳中和工程是集保护环境、能源换代、做强农业-乡村振兴-惠及农民于一役的国家工程,乃国之重器。

致谢:中国农业大学教授程序为本文提供建议、资料与帮助。

参考文献(References)

- [1] 中国生物质发电产业发展报告[R]. 北京: 中国产业发展促进会生物质能产业分会, 2021.
- [2] 潘学富. 新能源项目投资特性比较及策略研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [3] 程序. 对我国液体生物能源产业化的反思[J]. 中外能源, 2016, 21(8): 23-31.
- [4] 石元春, 程序, 朱万斌. 当前中国生物质能研发的若干战略思考[J]. 科技导报, 2019, 37(20): 6-11.
- [5] Navigant Consulting. The optimal role for gas in a net-zero

- ro emissions energy system[EB/OL]. [2020-10-11]. https://www.gasforclimate2050.eu/files/files/Navigant_Gas_for_Climate_The_optimal_role_for_gas_in_a_net_zero_emissions_energy_system_March_2019.pdf.
- [6] IEA. Renewables 2018, market analysis and forecast from 2018 to 2013 on renewable energy and technologies, 2018 [EB/OL]. [2020-10-15]. <http://www.iea.org/renewables2018>.
- [7] 发展“第二农业”，改善民生环境战略研究报告[R]. 北京：中国科学院中国工程院资深院士工作委员会“民生前沿”课题组，2019.
- [8] 石元春. 生物质能源主导论[N]. 科学时报，2010-12-09(1).
- [9] Developing and promoting biobased products and bioenergy[A]. New York: The White House Office of the Press Secretary, 1999.
- [10] 河北张家口善能康保生物质热电联产项目实现并网发电[N]. 潇湘晨报，2020-04-24(1).
- [11] 苏宗海. “三碳经济”产业治沙效益分析——毛乌素生物质发电厂实践探索[J]. 林业经济，2017(7): 26-28.

Agro-Forestry engineering for carbon neutralit

SHI Yuanchun

College of Land Science and Technology, Center of Biomass Engineering, China Agriculture University, Beijing 100193, China

Abstract To be a unique carbon sink, agriculture as the first industry has double performance to reduce carbon emission and to absorb as well as resolve carbon. It thus exists as an important pillar for realizing national target of carbon neutrality. The so-called agro-forestry engineering for carbon neutrality refers to a comprehensive engineering that considerably increases the capacity of carbon emission reduction and carbon reservation through science-guided plantation on three kinds of land, i.e., arable land, forest land, and marginal land which is not suitable for crop cultivation but can be planted with dedicated energy bushes and grasses for their strong resilience. The size of such three carbon neutral grounds totals 465 million hectares, or 135 million, 186 million and 144 million hectares, respectively. The potential capability for adding carbon sink and biomass-converted energy are respectively 3.74 billion tons and 1.21 billion tce annually. The agro-forestry engineering simultaneously comprises environment protection, energy upgrading, agriculture fortification, countryside revitalization and benefiting peasants, thus it is regarded as a national treasure.

Keywords agro-carbon sink; carbon neutral grounds; marginal land; energy bushes and grasses ●



(责任编辑 徐丽娇)