



◀ 石元春,中国科学院院士、中国工程院院士、中国农业大学教授。

试论全生物质农业

石元春

中国农业大学,北京 100083

摘要 农业发展历史表明,几千年来的农业是以生物质的作物果实和畜禽肉蛋奶为生产对象的,而占生物量60%的作物秸秆和畜禽粪便只是“农业废弃物”。现代生物质转化技术则可以将这些“农业废弃物”以及所有可利用的生物质转化为种类繁多的生物质能源和生物基产品并再获大幅增值。这是对农业新资源的开发和资源的循环利用,是在污染物的无害化和资源化利用中保护环境,并生产种类繁多的绿色产品。因此,农业在从事种植和养殖的同时,应将“非粮生物质”纳入农业生产系统,由“半生物质农业”或“部分生物质农业”发展到“全生物质农业”或“全生物质利用农业”。

关键词 农业;全生物质;生物质能源

2016年中共中央1号文件提出“用发展新理念破解‘三农’新难题”。本文试以“全生物质农业”就教于方家。

1 农业正孕育一次重大变革

1991年,联合国粮农组织(FAO)发表的“登博斯宣言”中提出“可持续农业和农村发展(SARD)”概念;1992年,联合国“世界环境与发展首脑峰会”发表的《里约宣言》提出“可持续发展”概念和在《联合国气候变化框架公约》提出导致全球气候变暖的主要原因是化石能源消费中排放的温室气体,并制订了减排目标与任务。以后的大量资料提出,以生物质能源为主导的可再生能源是替代化石能源的主体。据国际能

源组织IEA对2000—2011年全球一次能源供应的统计,总量的年均增速2.96%,其中生物质能源是2.46%和占比10%,是全球一次能源中的第四大能源,占可再生能源总量的75%。这与1999年比尔·克林顿的“发展和促进生物基产品和生物能源”总统令有关。该总统令^[1]指出:“目前生物基产品和生物能源技术有潜力将可再生农林业资源转换成能满足人类需求的电能、燃料、化学物质、药物及其他物质的主要来源。这些领域的技术进步能在美国乡村给农民、林业者、牧场主和商人带来大量新的、鼓舞人心的商业和雇佣机会;为农林业废弃物建立新的市场;给未被充分利用的土地带来经济机会;以

及减少中国对进口石油的依赖和温室气体的排放,改善空气和水的质量。”自此,掀起了发展生物质产业的世界热潮,这是一件具有里程碑意义的事件。

2000年2月1日出版的《今日美国》发文指出:“石油的‘能源之王’地位也许不久就会遭到废黜。如今,农田作物有可能逐渐取代石油成为获得从燃料到塑料的所有物质的来源。‘黑金’也许会被‘绿金’所取代。”美国科学院研究报告称:“最迟到2020年,至少由生物基产品行业可以提供25%的有机化工原料和10%的液体燃料,最终将满足90%以上的有机化学品的消耗量。”^[2]美国农业部就生物质产业发布的研究报告标题是“一个更具活力的美国农村”^[3]。

收稿日期:2016-05-04

引用格式:石元春. 试论全生物质农业[J]. 科技导报, 2016, 34(13): 11-14; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.13.001

早期人类以渔猎采集为生,用12000年驯化野生动植物,栽培作物与饲养畜禽的传统农业也有5000年以上历史,而今,农业正孕育一次深刻变革。

2 发现农业新资源

太阳辐射是地球可获取的唯一外来能量来源,有光能与热能、次生的风能与水能,属难于储存与转化的物理态能量。植物之神奇在于它能够通过自身光合作用将太阳辐射的光能转化为化学态能量,并构成有生命的躯体,是地球上唯一能捕捉、转化、储存和再转化太阳辐射能的“植物工厂”,是动物和人类获得营养物与能量的主要来源。作为生物物质载体的生物物质,易储运和可转化为固、液、气态以及电与热的各种能源产品,以及种类繁多的绿色材料和化工产品。亿万年前积存于地下的生物物质,地质过程中转化为煤炭、石油和天然气供人类享用。生物物质是上天赐给人类的珍贵礼物,是唯一的,不可替代的,永续造福于人类的珍贵礼物。

地球生物圈,每年可新产生生物物质2000亿吨,其能量相当于全球人类全年能源消费总量的10倍,可惜人类利用的还不到7%。即使在高度集约的农田里,生物量产出中也只利用了约40%的果实和肉蛋奶部分,而作物秸秆和畜禽粪便则是“农业废弃物”,林产中也有20%~30%的“剩余物”。此外,地球上还有远大于耕地面积不能生产农作物,但能生长抗逆性强植物的边际性土地也未被利用。而今现代生物物质转化技术正在激活这些“沉睡的”资源。

据中国工程院资料,中国不含太阳能的清洁能源的年可开采资源量为21.48亿吨标煤,其中生物物质占54.5%,是水电的2倍或风电的3.5倍^[4]。8类农林等有机废弃物的可收集作能源用的资源量为4.25亿吨标煤/年,6类边际性土地种植能源植物的产能为4.95亿吨标煤/年,合计近10亿吨标煤/年^[5]。又据2014年国土资源部基于县级的土地调查资料,中国有宜林宜草的边际性土地面积为16553万 hm^2 ,比全国总耕地面积还要大^[6]。

正是现代生物物质转化技术在农田里发现了占生物量50%以上的新资源,在农田外发现了比农田面积还大的、可种植生物物质原料的边际性土地。

可见技术创新发现新资源。

3 农业的多联产经营

继进口大豆、棉花和食糖占据中国市场之后,国产玉米吨价2000元而进口玉米到岸价1500元,出现玉米产量、进口量、库存量“三齐增”的奇怪现象,导致农户减收,国家受压。除设法降低农产品生产成本和提高竞争力外,多联产和降低系统成本也是可采取方法之一。

梨树县是吉林省以产玉米为主和养殖业发达的农业大县。据调查资料,作物秸秆与畜禽粪便2项即可年产12亿 m^3 生物天然气,产值60亿元,接近于2014年种植业产值(66亿元)或养殖业产值(87亿元)。因生产生物天然气的原料成本低而净收入高,可相当于种植业(6亿元)与养殖业(13亿元)之和,可年新增农民人均收入3300元和减排75万吨 CO_2 。

国内最大生物物质发电企业——武汉阳光凯迪新能源集团董事长陈义龙在《人民日报》发表文章指出:“我国现已投产运营的200多家生物物质电厂,每年消费约5000万吨农林业废弃物,在减少季节性秸秆焚烧造成的环境污染的同时,带动超过百万的农村劳动力就业,每年支付给农民的燃料收购款约150亿元,帮助了约20万户农民家庭脱贫致富。”^[7]“我国是农林业大国,每年约产生12.5亿吨农林业废弃物,将其作为生物物质原料生产可再生能源商品,可替代约7亿吨标准煤,减排 CO_2 14亿吨,带动3000多万农村劳动力就业。若对我国现有林地、宜林地及耕地等进行科学、高效经营管护,每年产生的总生物量约相当于55亿吨标准煤,将其全部应用于生物物质能源产业则可带动8000多万农村劳动力就业。”^[7]

开发非粮生物物质新资源适应了国家创新发展需要;其“深绿”功能适应了国家绿色发展和实现经济转型的需要;

其“三农”背景适应了推进农业适度规模经营,农村一、二、三产融合发展,增加农民收入的需要;其小与散适应了吸引民间资本和发展中小企业,大众创业,万众创新的需要;其可提供大量工作岗位适应了农村和新型城镇化劳动力就业的需要。

可见,发展非粮生物物质农业是顺应国情农情的需要。

4 农业-环保产业

中国煤炭消费占比居高不下,汽车尾气排放与时俱增,露地焚烧秸秆屡禁不止,高COD废水偷排不断,畜禽粪便剧增横溢,石化塑料任其泛滥,以至雾霾肆虐于蓝天,污染毒害于江河,塑料垃圾漂浮于大海。所有这些当今难题,皆可通过生物物质替代以及无害化和资源化转化过程一一得到缓解。

生物物质燃料具有低灰低硫和低排放特性,“与常规火电相比,生物物质直燃发电技术在环境性上的改善是极为显著的。”^[8]现全球生物物质发电装机容量50 GW,可替代约9000万吨标煤。到2013年年底,中国28个省区的生物物质发电累计核准容量1.2万MW,上网电量356亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ^[9],减少约5000万吨作物秸秆的露地焚烧,替代约1000万吨煤炭和相应减排了2300万吨 CO_2 。

减排克霾的难点之一是全国50余万台20吨位以下的中小燃煤锅炉。它们难以清洁燃烧,高度分散而体积小,年耗煤2.7亿吨,排放烟尘60万吨、 SO_2 226万吨和 NO_x 100万吨。“煤改气”虽好,但气缺价高,环保部和国家能源局已在全国大力推进生物物质成型燃料供热,以替代燃煤。其烟尘、 SO_2 和 NO_x 排放浓度基本等同于天然气排放标准,价格是天然气供热的60%^[10]。按2013年全国消费成型燃料683万吨计,相当于减少约1000万吨秸秆的露地焚烧,替代约500万吨煤炭,以及减排大量温室气体与粉尘,减少对大气的污染。

畜禽粪便和加工业排放的有机废水废渣,既是污染源,又是生产沼气的原料。将含甲烷60%的沼气提纯到含95%,可获品质同于普通天然气的生物

天然气(BNG)。如用于驱车动力,每 m^3 比1 L汽油可多驱动汽车行驶15%的里程,是汽油价格的85%~90%,且尾气中有害气体排放量仅为汽油的10%~50%。德国1999—2013年,沼气-生物天然气工厂由850个增加到7874个,装机容量由49 MW发展到3364 MW,超过了水电。2012年,欧洲有13800个沼气工厂,产沼气140亿 m^3 ,其中有约15%提纯为并网生物天然气,其余的用于热电联产。

2014年全球产燃料乙醇7200万吨,减排温室气体1.06亿吨。添加10%生物乙醇的汽油汽车,可减排 CO_2 30%以上和 NO_x 10%以上;添加20%生物柴油的柴油汽车的颗粒物、 CO_2 和 NO_x 大量减少,致癌物可减少75%~90%。当此2项产品受原料所累而难以大规模发展时,用热化学法生产先进生物燃油的第二代技术取得了突破^[1]。

为防治“白色污染”,20世纪90年代多国组织可降解塑料的技术攻关,从裂解塑料到生物基全生物降解塑料。基于淀粉发酵的聚乳酸技术路线是当今主流,但成本较高和市场竞争不佳。如正在研发的由木质纤维类转化乙酰丙酸、进而合成全生物降解塑料技术路线取得成功,这将是由淀粉到木质纤维素的一场原料革命^[1]。

以污染源为原料生产减排克霾和防治白色污染的绿色产品,是“点石成金”的“深绿”技术,是资源节约和绿色发展中的冉冉升起的一颗新星。

5 农业生产新要素

传统农业是低产出的封闭式物质循环和能量多级利用,科技革命和工业革命送来新的品种、化肥、电力和机械,使近现代农业成为高产出的开放式物质循环和能量多级利用。在经营方式上,19世纪末德国经济学家李斯特提出农业发展的3阶段论;20世纪30年代苏联卡西亚诺夫提出农业的纵向一体化;20世纪50年代美国戴维斯提出农业企业化(Agribusiness);21世纪初荷兰Jaap Post提出:“只有将农业综合体内部各种活动的总和考虑进去,才能构

成一幅农业的完整图画”。诺贝尔经济学奖得主西奥多·W·舒尔茨在1964年出版的《改造传统农业》一书中总结性地提出,“改造传统农业的关键是要引进新的现代农业生产要素。”

百余年来,以作物果实和畜禽肉蛋奶为生产对象的常规现代化农业取得了辉煌成就,但它只是利用了近50%产出的“半生物质农业”。如果将作物秸秆、畜禽粪便等有机废弃物,以及边际性土地上生长的林、灌、草生物质都纳入生产对象与新兴生物质工业的原料范畴,将“半生物质农业”进化为“全生物质农业”,也就是将农田生物质产出的全部都利用起来,人们将会豁然开朗地发现,一片能够力挽当今资源紧缺和环境恶化狂澜的绿色天地就在眼前。这是一项意义重大的、具有里程碑意义的“新的现代农业生产要素”的引入。

随着工农业发展相应的流通和服务等其他产业也得到快速发展之时,经济学家罗纳·费希尔于1935年提出“第三产业”概念;在多媒体技术兴起而信息网络尚不畅通的情况下,阿尔·戈于1993年提出“信息高速公路”概念;当生物质转化技术发展一定程度,比尔·克林顿于1999年提出“生物质产业”概念;当互联网和物流业在中国发展到一定程度,于扬于2012年提出“互联网+”概念和诞生了“阿里巴巴”。每当一个对社会发展有重要推动作用的事物发展到一定程度,或早或晚地会出现一个这样的“概念助推器”。理念创新是战略层面上的创新,一个科学理念的发现就是一处宝藏的发现。

在比尔·克林顿提出的“生物质产业”基础上,现在是该提出“全生物质农业”概念的时候了。如果用通俗语,“农业+”即是“粮果农业”加上“非粮”生物基产品和生物能源的农业。进而与“互联网+”相通,将前途无量。

6 农业系统的结构与功能提升

2004年,笔者参加“国家中长期科学和技术发展规划”的研究制定工作,代表农业战略研究组向温家宝总理汇报时提出了“生物质经济已经浮出水

面”;2005年,笔者在《科技日报》发表题为“发展生物质产业”的文章中提出了“种出一个绿色‘大庆’”,2006年在《求是》杂志发表的“农业的三个战场”文章中提出了“基础农业战场、加工农业战场和能源农业战场”和“现在需要的是,从概念到国家政策上能够到位,将农业的3个战场联成一体,构建一个由第一、第二和第三农业组成的,新型的农业结构,需要有一次观念的革命和解放生产力的革命。”

10年过去了,生物质能源及其环保功能开始为社会所了解与认同,由国家能源局和环保部主管,而农业部涉足甚少。作为一个统一的产业系统而言,这是远远不够的。生物能源与生物基产品是以作物秸秆、畜禽粪便、林业剩余物、加工业和城市的有机废水废渣,以及利用边际性土地种植能源植物为原料的“非粮生物质”生产转化系统。系统的本质特征是同于农业的,有生命物质生产,而生物能源与生物基产品是系统的功能体现。

“非粮生物质”生产转化系统是农业生产大系统中的一个子系统。“粮果生物质”生产系统、“粮果加工”系统以及“非粮生物质”生产转化系统3者相互依存、相互作用和相互制约地存在于农业大系统之中。20世纪90年代,盛产甘蔗与蔗糖的巴西开始大规模生产甘蔗乙醇,随着国际市场的糖价和醇价而调整糖与醇的加工量。德国在扩大沼气生产规模中,将部分未完全成熟的玉米全株“青贮”,用作沼气生产原料;中国农业大学培育了一种采收玉米籽粒时仍保持“青秆”的粮、能兼用的玉米品种;意大利科学家培育的“富能烟草”种子含油率高达40%,公顷产油量是油菜和向日葵的2倍,并拟用于生产航空煤油,其原料生产与转化是同一系统中密切关联的二个要素。

将生物能源与生物基产品纳入农业生产系统是“认祖归宗”,名正而言顺。有利于系统内各要素的协调,提升系统生产能力;有利于经营管理上的协调与组织,降低系统成本;有利于发展农工联合企业和一二三产融合,推动新

型城镇化与新农村建设;有利于转变农业发展方式和转型升级;有利于推进农业现代化和破解“三农”新难题。

7 全生物质农业

全生物质农业是指以农田种养过程中的全部生物质产出以及可利用的边际性林地和草地生物质产出为生产对象,进行果实和纤维、生物质能源和生物基产品的全产业链生产的新型农业。进行果实和纤维生产的为“第一农业”,进行生物质能源和生物基产品生产的为“第二农业”。全生物质农业要以“全生物质原料”概念替代过时的“农林废弃物”概念;要以“农业多联产”概念替代过时的“单一农产品”概念;要以“全产业链生产”概念替代过时的“初级农产品生产”概念;要以“一二三产融合”概念替代过时的“单一农业”概念。

根据国内外进展和中国国情,全生

物质农业的“非粮”侧可商业化的产业链条和生长点是:

1) 生物质直燃发电技术成熟,对秸秆露地焚烧有立竿见影效果,宜向热电多联产方向升级发展。当前盈利状况不好,需加大政策扶持力度。

2) 以作物秸秆和林业“剩余物”为原料的生物质成型燃料供热技术成熟,对替代中小锅炉燃煤和治理大气污染有立竿见影效果。目前从原料收集到供热间的产业-商业链条尚未建成,市场化程度还不高。

3) 以规模化养殖场的畜禽粪便及周边作物秸秆等有机物为原料生产沼气和进而纯化为生物天然气的技术成熟,它是唯一的负碳排放和植物营养元素可最大程度回归土壤的生物质转化技术,宜大力提倡。中国有年产 1000 亿 m³ 以上的生物天然气生产潜力,相当于 2018 年开始由俄罗斯进口天然气

量的 3 倍^[6]。目前产业-商业链条尚未建成,标准化和市场准入尚未实现。

4) 在众多的生物基产品中,全生物降解塑料的社会需求与市场最大,特别是中国急需的可控全生物降解地膜,以保护农田因地膜覆盖而导致的土壤退化。在应用乳酸发酵技术路线的同时,由中国企业研发的,以木质纤维素为原料的乙酰丙酸基塑料技术路线也有望取得成功。

5) 以热化学方法转化合成先进生物燃油的二代技术已趋成熟和开始商业化生产^[11]。这项由淀粉原料变为木质纤维素原料的颠覆性技术创新,开启了中国亿万 hm² 边际性土地利用之门,这是一片实现国家绿色发展梦想的家园。国家应为此珍贵“处女地”的开发早作谋划。

致谢 中国农业大学程序教授为本文提供宝贵意见。

参考文献

- [1] The White House, Office of the Press Secretary. Executive order of developing and promoting biobased products and bioenergy[EB/OL]. 2016-03-30. <http://www.mindfully.org/Energy/Biobased-Products-Bioenergy-Order.htm>.
- [2] US National Academy of Sciences. Promising resources technologies, processes and product line[R]. 1999.
- [3] USDA. A more vibrant rural america. technology for agricultural research service bioenergy system: A strategic plan for agricultural research service bioenergy research[R]. ARS National Program 307 Bioenergy and Energy Alternatives, 2002.
- [4] 中国工程院. 中国可再生能源发展战略研究报告[R]. 北京: 中国工程院, 2008.
- [5] 中国工程院. 我国交通运输用生物燃料产业关键技术开发、示范与应用研究报告[R]. 北京: 中国工程院, 2014.
- [6] 石元春, 程序, 陆诗雷, 等. 2014 关于“十三五”我国生物质能源发展建议书(2015—2020)[R]. 2014.
- [7] 陈义龙. 大力发展生物质能源 实现绿色产业精准扶贫[N]. 人民日报, 2016-03-10(22).
- [8] 林琳, 赵黛青, 魏国平, 等. 生物质直燃发电系统的全生命周期评价[J]. 水利电力机械, 2006, 28(12): 18-23.
- [9] 水电水利规划设计总院和国家可再生能源信息中心. 2013 中国生物质发电建设统计报告[R]. 北京: 水电水利规划设计总院和国家可再生能源信息中心, 2014.
- [10] 国家能源局. 生物质固体成型燃料锅炉供热[R]. 北京: 国家能源局, 2014.
- [11] 程序. 国内外生物合成燃油和生物乙醇产业发展现状及趋势[J]. 中外能源, 2015, 20(9): 23-33.

On the whole biomass agriculture

SHI Yuanchun

China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract Based on the viewpoint of agricultural history, the author proposed a concept of "Whole Biomass Agriculture" that is contrary to the traditional agriculture whose biomass harvest only used by about half in forms of seeds, fruits, meats, eggs and milk, in the past thousands of years. In traditional agriculture, the residues and excretion of livestock are mere agro-wastes, on the contrary, modern bio-conversion technologies could convert them and all available biomass into bioenergy and bio-based materials, and receives much value-add benefits. Such model of agriculture can tap new resources from wastes even pollutants through recycling process, and realize "win-win" results of substances reutilization and environmental protection. Bioenergy and bio-based materials are made from crop straw, livestock excretion, forestry residues, organic wastes of processing industry, MSW, as well as energy plants grown on marginal land. Such a "non-food" biomass system is of same nature of life process as common agriculture, with biological production and bioproducts as its system functions. It is then suggested that "non-food" biomass should be involved in modern agricultural production system, and promotes "Half Biomass Agriculture" or "Part Biomass Agriculture" into "Whole Biomass Agriculture" or "Biomass All-Used Agriculture". Five 'non-food' biomass industry chains and growth points that could be commercialization were also proposed in the paper.

Keywords agriculture; whole biomass; bioenergy

(责任编辑 王媛媛)