

农业生物质能资源分析与评价

田宜水, 赵立欣, 孙丽英, 孟海波

(农业部规划设计研究院, 北京 100125)

[摘要] 综合分析和评价中国农业生物质能资源总量、用途及分布, 结果表明中国具有丰富的农业生物质能资源, 主要包括农作物秸秆、畜禽粪便等, 发展潜力巨大, 是今后发展的重点。如果利用后备土地资源, 采取替代种植和提高单产等措施, 燃料乙醇的发展潜力为 2 000 万 tce。这为我国制定生物质能政策、规划提供一定的参考。

[关键词] 农业生物质能; 资源; 分析; 评价

[中图分类号] TK6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)02-0024-05

1 前言

能源是人类赖以生存的物质基础, 是国民经济的基本支撑。中国是能源消费大国, 能源供应主要依靠煤炭、石油、天然气等化石能源。化石能源资源的有限性及其开发利用过程对环境生态造成的巨大压力, 严重制约着经济社会的可持续发展, 开发利用清洁的可再生能源已成为中国能源领域的一个紧迫课题。

生物质^[1]是指通过光合作用而形成的各种有机体。生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物质中的能量形式, 它以生物质为载体, 直接或间接地来源于绿色植物的光合作用, 可转化为常规的固态、液态和气态燃料, 替代煤炭、石油和天然气等化石燃料, 具有环境友好和可再生双重属性。近年来, 随着全球气候变化和石油价格不断上升等问题的出现, 我国政府高度重视生物质能的开发利用, 政策措施逐渐完善, 产业化步伐明显加快, 成效日益显著。

资源调查是制定能源目标、规划战略布局的基础。但由于生物质能不属于商品能源范畴, 中国能源统计和农业统计中不包括生物质能的相关数据。

虽然有些专家开展一些工作, 但较为零散, 不成系统, 且没有全面评价。笔者等综合分析和评价中国农业生物质能资源总量、用途和分布, 这有利于国家研究制定农业生物质能开发利用的有关规划, 实现生物质能的合理有序开发。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究对象和方法

农业生物质能资源主要包括农作物秸秆、农产品加工业副产品、畜禽粪便、能源作物等。

2.1.1 农作物秸秆

农作物秸秆是指在农业生产过程中, 收获了稻谷、小麦、玉米等农作物以后, 残留的不能食用的茎、叶等副产品。农作物秸秆资源量与农作物产量、农业生产条件和自然条件等因素有着密切关系。一般说来, 农作物秸秆资源分布得比较分散, 直接计算其资源量比较困难。通常根据农作物产量和各种农作物的草谷比, 大致估算出各种农作物秸秆的产量^[2~4], 即:

$$P = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot P_i$$

[收稿日期] 2010-11-26

[基金项目] 农业部引进国际先进农业科学技术项目(2008G2); 农业部 2009 年农村能源综合建设项目——全国主要农作物秸秆资源分省调查及能源利用潜力分析

[作者简介] 田宜水(1972—), 男, 辽宁阜新市人, 高级工程师, 主要从事农村能源、可再生能源技术和设备的研究、开发与推广及能源政策的研究等工作; E-mail: yishuit@yahoo.com

式中, P 为某一地区秸秆的理论资源量, 万 t; P_i 为某一地区某种农作物的年产量, 万 t; i 为农作物的编号, $i = 1, 2, \dots, n$; λ_i 为某一地区第 i 种农作物秸秆的草谷比。

2.1.2 农产加工剩余物

农产品在初加工过程产生的副产品来源于粮食加工厂、食品加工厂、制糖厂和酿酒厂等, 主要包括稻壳、玉米芯、甘蔗渣等, 数量巨大、产地相对集中, 易于收集处理。可根据占农产品经济产量的比重来计算。其中, 稻壳是稻谷加工的主要剩余物之一, 占稻谷重量的 20%。玉米芯是玉米穗脱粒后的穗轴, 占穗重量的 20%。甘蔗渣是蔗糖加工业的主要副产品, 蔗糖与蔗渣各占 50%^[1]。

2.1.3 畜禽粪便

畜禽粪便是畜禽排泄物的总称, 是其他形态生物质(主要是粮食、农作物秸秆和牧草等)的转化形式, 包括畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。笔者等将猪、家禽、奶牛和肉牛的存栏量看作当年中一个相对稳定的饲养量, 在未考虑饲养周期的前提下, 计算方法为: 畜禽粪尿总量 = 存栏量 × 排放系数 × 365 天^[5-7], 不同畜禽的日排放系数见表 1。

表 1 畜禽的日排放系数

Table 1 Daily emission factor of livestock and poultry

类别	粪便/ (kg·头 ⁻¹)	尿/ (kg·头 ⁻¹)	粪尿总量/ (kg·头 ⁻¹)
商品猪	1.38	2.12	3.5
奶牛	25~30	30	55~60
肉牛	20	25	45
肉鸡	—	—	0.05~0.1
蛋鸡	—	—	0.11

2.1.4 能源作物

能源作物是指经专门种植, 用以提供能源原料的草本和木本植物。利用山地、荒地等未利用土地, 选择适合当地生长条件的品种进行培育和繁殖, 可获得高产能作物, 并大规模地转化为燃料乙醇和生物柴油等液体燃料。

中国幅员辽阔, 跨越多个气候带, 气候、地形、土壤、作物品种十分复杂, 人多地少又是中国的基本国情, 决定了耕作制度的集约性与复杂性。依据中国耕作制度区划和各地经济发展水平的不同, 并保持省界完整性, 可将中国分为八大区域(不包含香港、澳门和中国台湾, 见表 2)^[8]。笔者等根据能源作物的生物特性、对环境条件的要求以及发展现状等因素, 根据各区域的耕作制度、自然地理条件等, 提出

各区域适宜发展的能源作物品种, 由此测算能源作物的生产潜力。

表 2 中国能源作物区划

Table 2 Regionalization of China's energy crops

分区	区域范围
东北区	黑龙江、吉林、辽宁
华北区	北京、天津、河北、河南、山东
黄土高原区	山西、陕西、甘肃
长江中下游区	上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南
西南区	重庆、四川、贵州、云南
华南区	福建、广东、广西、海南
蒙新区	内蒙古、宁夏、新疆
青藏区	青海、西藏

2.2 数据来源

文章农产品的数据来源于《中国农业统计年鉴》^[9]。畜禽养殖业的数据来源于《中国畜牧年鉴》^[10]。适用于能源作物种植的未利用土地资源数据采用 2000—2003 年国土资源部进行的全国耕地后备资源调查评价^[11]。

3 计算结果与分析

3.1 农作物秸秆

根据全国秸秆资源调查与评价的结果, 2009 年我国农作物秸秆理论资源量为 8.20 亿 t。其中, 稻草约为 2.05 亿 t、麦秸 1.50 亿 t、玉米秸 2.65 亿 t、棉秆 2 584 万 t, 分别占理论资源量的 25%、18.3%、32.3% 和 3.2%。华北区和长江中下游区的资源最为丰富, 理论资源量分别为 2.33 亿 t 和 1.93 亿 t, 占总量的 28.45% 和 23.58%; 其次为东北区、西南区和蒙新区, 分别为 1.41 亿 t、8 994 万 t 和 5 873 万 t, 占总量的 17.2%、10.97% 和 7.16%; 华南区和黄土高原区的资源量较低, 分别为 5 490 万 t 和 4 404 万 t, 占总量的 6.7% 和 5.37%; 青藏区最低, 仅 468 万 t, 占总量的 0.57%。

通过对我国各地农作物机械收获和人工收获的留茬高度进行调查, 扣除收集以及运输过程中的损失, 2009 年全国农作物秸秆可收集资源量为 6.87 亿 t, 占理论资源量的 83.8%。

秸秆作为农作物的副产品, 除了能源利用外, 同时也是工、农业的重要生产资源, 可用作燃料、肥料、饲料以及造纸、建材、编织和养殖食用菌等工副业的生产原料, 用途广泛。2008 年, 秸秆作为肥料的约 1.02 亿 t, 占可收集资源量的 14.78%; 作饲料用的约 2.11 亿 t, 占 30.69%; 作燃料(含秸秆新型能源化利用)用的约 1.29 亿 t, 占 18.72%; 作食用菌基

料用的约 1 500 万 t,占 2.14 %;作造纸等工业原料用的约 1 600 万 t,占 2.37 %;废弃及焚烧的约 2.15 亿 t,占 31.31 %。我国主要农作物秸秆可能资源化利用资源量约为 3.44 亿 t,折标煤约 1.72 亿 t。

3.2 农产品加工业副产品

2008 年中国稻壳产量约为 5 181 万 t,主产于东北地区和湖南、四川、江苏、湖北等省;玉米芯产量约为 4 148 万 t,主产于辽宁、吉林、黑龙江、河北、河南、山东、四川等省;甘蔗渣产量约为 2 483 万 t,主产于广东、广西、福建、云南、四川等省(自治区)。2000—2008 年中国农产品加工剩余物变化趋势见图 1。

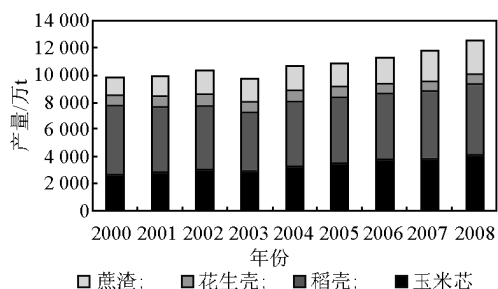


图 1 2000—2008 年中国农产品加工剩余物变化趋势图

Fig. 1 Changing current of China's agro-product processing waste from 2000 to 2008

3.3 畜禽粪便

到 2008 年底,全国生猪、家禽、奶牛和肉牛的养殖存栏量分别为 46 291.5 万头、528 197.5 万只、1 233.3 万头和 5 253.2 万头。可以推算中国猪、牛、家禽年粪便排放量为 19.17 亿 t,理论上可生产沼气约 1 018.88 亿 m³,见表 3。

表 3 2008 年全国猪牛鸡的粪便排放情况

Table 3 Manure emission of pig, cattle and chook in 2008

项目	存栏量 /万	粪便量/亿 t		产气量 /亿 m ³
		总粪便量	其中,固体粪便量	
猪	46 291.5	5.91	2.33	354.82
肉牛	5 253.2	8.63	3.83	388.28
奶牛	1 233.3	2.70	1.35	121.54
家禽	528 197.5	1.93	1.93	154.23
总计	—	19.17	9.44	1 018.88

3.3.1 家庭散养

我国生猪分散养殖户 1.07 亿户,奶牛、肉牛 0.18 亿户,蛋肉鸡 1.17 亿户,羊 0.28 亿户,役畜 0.22 万户,考虑混合养殖、气候和社会经济等因素,

约有 1.46 亿农户适宜发展沼气^[12]。

3.3.2 规模化养殖

2008 年,全国生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡和肉鸡规模化饲养水平分别达到 56 %、36.1 %、38 %、76.9 % 和 81.6 %。畜禽粪便资源的实物量为 9.11 亿 t,理论上可生产 513.5 亿 m³ 的沼气。随着畜禽疫病的增加,尤其是农村地区人畜共患病的发生和控制的难度增加,市场对畜产品质量方面的追求将不断提高。畜禽养殖已从农户散养为主进入散养与规模化饲养并重的阶段,规模化饲养将逐步占据主导地位。

3.4 能源作物

目前,我国具有发展前景的能源作物主要有甜高粱、木薯、甘薯和甘蔗等^[8],通过发酵法,利用微生物的发酵作用将糖分或淀粉转化为乙醇,一般按照一定比例与汽油混合使用(称为车用乙醇汽油),乙醇的体积混合量一般为 10.0 %。

3.4.1 甜高粱——替代种植

甜高粱是禾本科高粱属粒用高粱的一个变种,具有光合效率高、生物产量高和抗逆性强、适应性广等特点。甜高粱茎秆富含糖分,汁液为 15 % ~ 21 %,茎秆产量一般为 60 t/hm² 左右,籽粒产量为 2 250 ~ 6 000 kg/hm²。甜高粱适宜栽培的区域广泛,10 °C 以上积温 2 600 ~ 4 500 °C 的地区(从海南岛至黑龙江)均可栽培。甜高粱在中国各地均有种植,但种植规模还不小,相对比较分散,以北方为主,大部分为零星种植。

甜高粱籽粒单产与普通高粱产量基本相当,在现有种植高粱土地上种植甜高粱对粮食生产不会产生太大的影响,可以充分利用现有已种植高粱的土地替代种植甜高粱。2006 年中国高粱种植面积为 57 万 hm²,总产量为 254.6 万 t,主产区为辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古、山西和河北等省(自治区)。如果按 50 % 的替代率计算,则甜高粱种植面积为 28.5 万 hm²,年产甜高粱茎秆 1 710 万 t,可新增甜高粱茎秆乙醇产能为 112 万 t。

3.4.2 木薯——提高单产

木薯属于大戟科木薯属植物,耐旱、耐瘠、病害少、易栽培,广泛适宜栽培于热带亚热带地区。据联合国粮农组织(FAO)统计,2006 年中国木薯的收获面积为 26.58 万 hm²,总产量约 431.8 万 t,平均单产为 1.6 t/hm²。主要分布于广西、广东、海南、云南和福建的部分地区,其中约 90 % 集中在广西和广东

两省(自治区)。木薯总产的90%用于淀粉生产。已培育出华南5号、华南8号、南植199等多个木薯新品种,平均单产可达30~45 t/hm²,集约栽培可达90 t/hm²。但是,中国木薯产业发展仍然存在诸多问题,主要表现在品种老化单一、良种覆盖率低、单产偏低,多年来平均单产在19.5 t/hm²左右,淀粉含量则为25%~27%。

如果引进推广优良新品种以及配套的栽培管理技术,单产可达30~45 t/hm²,并且提高了淀粉含量。以广西为例,如果单产达到45 t/hm²,每年可新增燃料乙醇产能222万t。此外,木薯种植后一般需要8至9个月才能收获,生长前期木薯苗较为幼小,株行间距较宽,可利用行间套种、间种西瓜、春大豆等短期作物,有利于提高土地的产出和效益。

3.4.3 甘薯——提高单产

甘薯是旋花科甘薯属的一个栽培种,具有生物产量高、抗逆性强、适应性广等特点,一般鲜薯产量19.5~37.5 t/hm²,高产田可达60 t/hm²以上,淀粉含量20%左右,约9 t甘薯可生产1 t燃料乙醇。甘薯耐旱性极强,在其他作物难于生长的地方,甘薯仍能有一定的产量,是理想的开荒先锋作物。中国是世界最大的甘薯生产国。据FAO统计,2006年中国甘薯收获面积为470.9万hm²,总产量1.0亿t,平均单产为21.3 t/hm²,主要分布在四川盆地、黄淮海、长江流域和东南沿海各省。

甘薯生物产量高,淀粉产量高,是生产燃料乙醇的理想原料,作为新型能源植物已经引起注意。根据中国甘薯发展历史,甘薯的发展空间至少还有200万hm²的种植面积,利用甘薯生产燃料乙醇将成为甘薯的主要用途。目前,中国甘薯单产仅在22.5 t/hm²左右。通过培育推广高淀粉含量新品种以及配套的栽培管理技术,单产可达45~75 t/hm²。

3.4.4 利用未利用的土地资源

中国有集中连片、具有一定规模的耕地后备资源734.4万hm²,其中可开垦土地701.7万hm²,占耕地后备资源的95.54%,可复垦土地^①132.7万hm²,只占4.46%。其中,沼泽地和苇地是一种重要的湿地资源,文章在计算时扣除了可开垦沼泽地和苇地。

根据能源作物的生物特性、对环境条件的要求以及发展现状等因素和各区域的耕作制度、自然地理条件等,东北区适宜发展甜高粱,华北区适宜发展甘薯、甜高粱、菊芋等,黄土高原区适宜发展甜高粱,长江中下游区适宜发展甘薯、菊芋,西南区适宜发展甘薯,华南区适宜发展甘蔗、木薯,蒙新区适宜发展甜高粱、甜菜,青藏区则暂不宜发展。

考虑到生态环境保护、耕地动态平衡、城镇化、垦殖系数以及能源作物的适应性和增产等因素,采取分步骤实施的开发策略,设定最大开发50%,则中国非粮能源作物燃料乙醇生产能力约1425万t(见表4)。

表4 利用后备耕地资源的燃料乙醇发展潜力^[13]

Table 4 The developing potential of fuel ethanol by using reserve land resources^[13]

地区	东北区	华北区	黄土高原区	蒙新区	长江中下游区	华南区	西南区	合计
后备耕地资源/万hm ²	45.3	57.1	87.9	369.6	69.7	12.4	32.1	674.1
适宜能源作物品种	甜高粱	甜高粱、甘薯	甜高粱	甜菜、甜高粱	甘薯	木薯	甘薯	—
单位面积乙醇产量/(t·hm ⁻²)	3.92	3.92	3.92	3.92	5.64	6.62	5.64	—
利用比例/%	50	50	50	50	50	50	50	—
发展潜力/万t	89	112	172	724	196	41	90	1425

注:各区域单位面积乙醇产量按各适宜能源作物最低平均产量计算

综上所述,如果采取替代种植和提高单产,利用未利用土地资源等措施,中国燃料乙醇的发展潜力为2200万t。

4 结语

中国农业生物质资源丰富,大约为2.985亿tce,发展潜力巨大。其中,农作物秸秆可能源化资源量为3.44亿t,折合1.72亿tce,占总量的57.6%;农产品加工剩余物为0.63亿t,折合0.315

亿tce,占总量的10.6%;畜禽粪便排放量为19.17亿t,理论上可生产沼气约1018.88亿m³,折合0.73万tce,占总量的24.5%。如果采取替代种植和提高单产,利用未利用土地资源等措施,中国燃料乙醇的发展潜力为2200万t,折合0.2亿tce,占总

① 可复垦耕地后备资源指因各种人为因素和自然灾害而造成破坏废弃的土地,通过采取工程或生物措施,可恢复耕种并达到较好效益的土地,包括可复垦废弃压占破坏地、可复垦塌陷地、可复垦自然灾害损毁地

量的7.4%。中国农业生物质资源主要为农作物秸秆和畜禽粪便等,是今后发展的重点。建议重点发展秸秆固化、沼气、纤维素乙醇及养殖场沼气工程等技术。

参考文献

- [1] 姚向君,田宜水. 生物质能资源清洁转化利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 农业部农作物秸秆资源调查与评价技术规范[S]. NY/T 1701-2009.
- [3] 田宜水. 解读《农作物秸秆资源调查与评价技术规范》[J]. 农业工程技术·新能源产业,2009(6):7-13.
- [4] 崔明,赵立欣,田宜水,等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报,2008,24(12):291-296.
- [5] 刘忠,段增强. 中国主要农区畜禽粪尿资源分布及其环境负荷[J]. 资源科学,2010,32(5):946-950.
- [6] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [7] 王方浩,马文奇,窦争霞,等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学,2006,26(5):614-617.
- [8] 中国能源作物可持续发展战略研究[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [9] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴2009[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [10] 中国畜牧业年鉴编委会. 中国畜牧业年鉴2008[M]. 北京:中国农业出版社,2008.
- [11] 温明炬,唐程杰. 中国耕地后备资源[M]. 北京:中国大地出版社,2005.
- [12] 农业部. 农业生物质能产业发展规划(2007—2015年)[EB/OL]. http://202.127.45.113/govpublic/FZJHS/201006/t20100606_1533134.htm
- [13] Tian Yishui,Zhao Lixin,Meng Haibo, et al. Estimation of unused land potential for biofuels development in (the) People's Republic of China[J]. Applied Energy, 2009,86(1):77-85.

Analysis and evaluation on agricultural biomass resources

Tian Yishui,Zhao Lixin,Sun Liying, Meng Haibo
(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China)

[Abstract] Through comprehensive analysis and evaluation on resource gross, utilization and distributing of China's agricultural biomass in this paper, it is showed that China has abundant agricultural biomass resources which mainly include crop straw and manure, and it will be the future developing emphases with a great developing potential. If using reserve land resources, applying alternative planting and improving unit area yield, the developing potential of fuel ethanol is 20 million ton. All of these could provide reference for establishing biomass policies and plans.

[Key words] agricultural biomass; resource; analysis; evaluation