

# 中国生物质原料资源

石元春

(中国农业大学,北京 100193)

[摘要] 对我国的有机废弃物(包括作物秸秆、林业剩余物、畜禽粪便、林业采伐及加工剩余物、育林剩余物、工业有机废弃物和城市有机垃圾)及可用于生物质原料植物生产的边际性土地(包括宜垦和宜林的荒地、现有的能源林地与农地)的相关资料进行了系统收集、整理与分析,分别提出了它们的资源量及可经济收集量。按2007年生物质产出现状与潜力,中国生物质资源的年产能为9.32亿tce,其中有机废弃物和边际性土地分别占41.1%和58.9%;预测2030年生物质原料资源的年产能为11.71亿tce,其中有机废弃物与边际性土地分别占48.3%和51.7%。

[关键词] 中国;生物质;原料资源

[中图分类号] TK6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)02-0016-08

## 1 前言

原料是生物质产业之本,一则生物质原料主要依靠本土,再则产品依原料而定和原料因地域而异。凡生物质皆为资源,而原料资源是指其中可以经济收集与利用的部分。生物质原料资源研究是个新领域,概念和边界不尽清晰,研究方法也不成熟,文章是一次研究尝试。

## 2 研究进展与方法

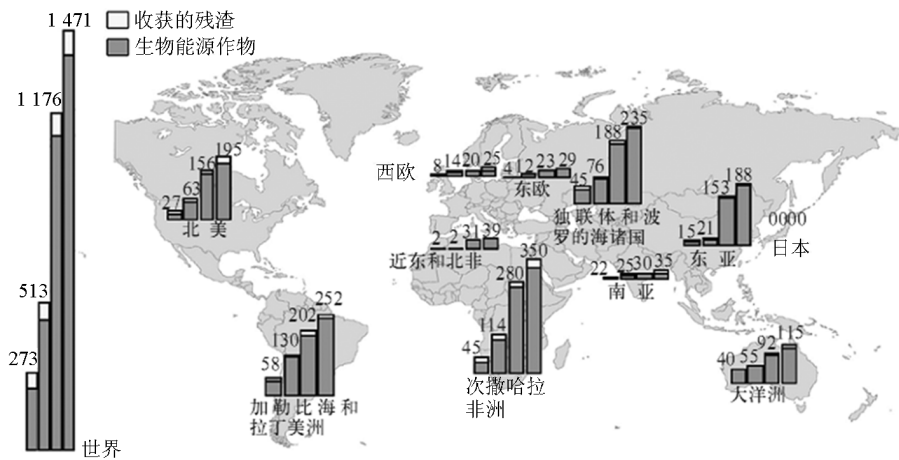
过去的一些研究比较零星,且多侧重于某一国家或地区的退化土地和多余农田的生物质原料的产出潜力分析,估算结果相当悬殊。2004年荷兰乌德勒支大学 Edward Smeets 等对2050年全球生物质原料资源的预测是一项全球性和系统性的专门研究<sup>[1]</sup>。其选择的原料对象是专用能源作物、农业废弃物、农林加工剩余物、畜禽粪便及城市有机废弃物等,使用的是 Image 模型。研究设计中根据不同土

地利用类型和生产模式,并考虑到水分供应(雨养/灌溉)、技术水平、饲料转换效率等多种生产条件和要素,从低产出到高产出了设计了4种情景,即ms(勉强适宜土地)、MS(一般适宜土地)、S(适宜土地)、VS(最适宜土地)。全球2050年4种情景的生物质原料年产出潜力(按标煤计)分别为93.26亿t、175.26亿t、401.76亿t和502.54亿t,是2005年世界石油消费量(38.37亿t)的1.7~9.1倍,各大洲和地区的产能潜力如图1所示。

2005年美国能源部与农业部向美国国会提交了一份题为“作为生物能源和生物基产品行业原料的生物质:年供应10亿t的技术可行性研究”的报告<sup>[2]</sup>。报告是为实现2030年以生物质燃料替代目前石油消费总量30%的目标,美国本土能否年提供10亿t生物质原料的一次论证。研究结果显示,美国本土具有13.7亿t生物质原料的年产出潜力,其结构以农林等有机废弃物及多年生纤维素能源植物为主,七成来自农业,三成来自林业(见图2)。

[收稿日期] 2010-12-14

[作者简介] 石元春(1931—),男,湖北武汉市人,中国科学院院士,中国工程院院士,中国农业大学教授,主要研究方向为土壤学;  
E-mail: shiyu@cau.edu.cn



注: 每组条形图从左至右依次为情景 1 至情景 4 土地情况, 即依次为 ms, MS, S, VS

图 1 2005 年全球十大区域生物质能源生产潜力预测<sup>[1]</sup> (单位: EJ·a<sup>-1</sup>)

Fig. 1 Productivity potential forecast of biomass energy in global 10 regions in 2005<sup>[1]</sup> (unit: EJ·a<sup>-1</sup>)

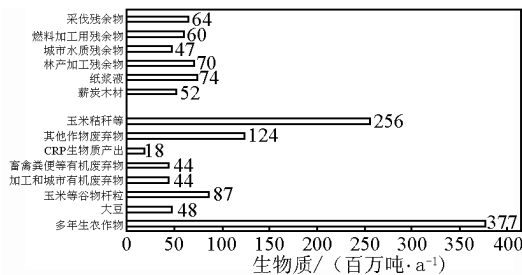


图 2 美国年产出 13.7 亿 t 生物质原料的构成<sup>[2]</sup>

Fig. 2 Composition of biomass feedstock of annual output about 1.37 billion tons in the U.S.<sup>[2]</sup>

笔者于 2006 年主持中国工程院可再生能源重大咨询项目中的生物质能源专项的战略研究<sup>[3]</sup>, 最近出版了《决胜生物质》<sup>[4]</sup>一书, 文章是在此基础上撰写而成。采取的研究方法是先选择原料, 后确定其资源量和可经济收集量, 再作资源整合及汇总。选择的原料资源一是有有机废弃物, 包括作物秸秆、林业剩余物、畜禽粪便、林业采伐及加工剩余物、育林剩余物、工业有机废弃物以及城市有机垃圾等 6 类; 二是可能利用的边际性土地, 包括宜垦和宜林的荒地、现有的能源林地与农地。边际性土地产能潜力

估算是在不同类型土地与其相适应的原料植物整合后得出的。

研究中虽尽力收集整理了已有资料, 但资料出处、年代、统计方法不尽相同, 完整性也不够。此研究结果是初步的, 但从中能够看出中国生物质原料资源的基本面貌。

### 3 有机废弃物的原料资源量

#### 3.1 作物秸秆

用“谷草比”估算作物秸秆资源量可以做到相当准确。根据 2007 年全国九大作物产量得出的秸秆总量是 7.04 亿 t, 总产能是 3.55 亿 tce (见表 1)。排在前三位的是玉米、小麦和稻谷, 分别为 3.05 亿 t、1.49 亿 t 和 1.16 亿 t; 其热值 (标煤) 分别约为 1.61 亿 t、0.75 亿 t 和 0.50 亿 t。作物秸秆的集中产区与主要粮食产区一致, 按省份的前五名排序是河南 > 山东 > 黑龙江 > 河北 > 吉林。作物秸秆的现去向有还田、饲料、工业原料、薪柴和露地焚烧 5 项, 所占份额的有关专项研究结果见表 2。文章所用的秸秆资源的能源利用系数是 0.6。

表 1 2007 年九大作物的秸秆产量及产热量

Table 1 Straw yield and the equivalent energy amount of 9 crops in 2007

农作物	产量/ 万 t	谷草比	秸秆量		折标煤 系数	折标煤	
			单位/万 t	单位/%		单位/万 t	单位/%
稻谷	18 603	1:0.623	11 590	16.5	0.429	4 972.0	14.0
小麦	10 929.8	1:1.366	14 930	21.2	0.5	7 465.1	21.0
玉米	15 230	1:2.0	30 460	43.3	0.529	16 113.3	45.4
杂粮	869.1	1:1	869	1.2	0.50	434.6	1.2
豆类	1 720.1	1:1.5	2 580	3.7	0.543	1 401.0	3.9

农作物	产量/ 万 t	谷草比	秸秆量		折标煤 系数	折标煤	
			单位/万 t	单位/%		单位/万 t	单位/%
薯类	2 807.8	1:0.5	1 404	2.0	0.486	682.3	1.9
油料	2 568.7	1:2.0	5 137	7.3	0.529	2 717.7	7.6
棉花	762.4	1:3.0	2 287	3.2	0.543	1 241.9	3.5
甘蔗	11 295.1	1:0.1	1 130	1.6	0.441	498.1	1.4
合计	—	—	70 387	100.0	—	35 526	100.0

注:作物产量引自文献[5];甘蔗秸秆仅为叶部;折标煤系数引自文献[6]

表2 关于农作物秸秆去处的资料汇集

Table 2 Collected date for utilization of crop residues

出处	总量/亿 t	年份	还田/%	饲料/%	工业原料/%	薪柴/%	废弃与露地焚烧/%	可能源用途/%
农业部与美国能源部	7.2	—	15.1	15.7	3.9	—	—	65.3
王峰 <sup>[7]</sup>	—	—	15	24	2.3	40	18.7	58.7
石油规划院 <sup>[8]</sup>	7.21	2004	15	20.1	2.2	47.1	15.6	62.7
石元春 <sup>[4]</sup>	7.04*	2007	15	20	4	45	16	60
农业部 <sup>[9]</sup>	8.2	2009	15	31	4	19	31	50

注:标\*的数字为存栏量

### 3.2 林业剩余物

林业剩余物包括森林采伐剩余物、木材加工剩余物及清林育林剪枝剩余物。据第六次森林资源清查报告等资料,全国木材采伐和加工剩余物资源量实物量为7 760万 t,折标煤4 423万 t。薪炭林、用材林、防护林等的育林剩余物年产出为4 813万 t,折标煤为2 743万 t。二者合计12 573万 t和折标煤7 166万 t。此数值稍低于文献[10]的数据(薪材年合理采伐量约1.58亿 t,折9 006万 tce)和国家林业局2008年提出的数据(采伐造林剩余物1.1亿 t,木材加工剩余物3 000万 t,废旧木材6 000万 t,“三剩物”总量约2亿 t)<sup>[11]</sup>。文章采用的是笔者综合整理的,也是数值最低的年产出(12 514万 t和折标煤7 166万 t)。

### 3.3 畜禽粪便

畜禽粪便原料资源的来源主要是牛、猪和鸡,整理步骤是:饲养周期—每头排粪量—年出栏量—粪便资源量—可收集资源量—折标煤量,所得结果见表3。2007年畜禽粪便实物量为12.47亿 t,可开发量为8.84亿 t,其中牛、猪、鸡分别为4.64亿 t、3.39亿 t和0.80亿 t,折算的年产能(标煤)分别为3 934万 t、2 909万 t和4 139万 t,合计为1.0983亿 tce。畜禽粪便资源量最丰富的6个省份的排序是河南>山东>河北>四川>湖南>云南。畜禽粪便的收集和利用方式对资源的可收集程度关系很

大,猪多为家庭圈养,无效资源可忽略不计,牛与鸡的可收集率与规模化饲养程度关系较大。

表3 2007年牛、猪、鸡排粪量及可开发资源量

Table 3 Feces amount and available resource amount of excretion of cattle, swine and chicken in 2007

项目	牛	猪	肉鸡	蛋鸡
体重/kg	500	50	1.5	1.5
饲养(出栏)周期/d	365	150	60	365
一昼夜排粪量/(kg·头 <sup>-1</sup> )	20	4	0.1	0.1
一年排粪量/(t·头 <sup>-1</sup> )	7.3	0.6	0.006	0.036 5
年饲养数量/(万头·年 <sup>-1</sup> )	10 595*	56 508	726 438	248 046*
粪便资源量/(万 t·年 <sup>-1</sup> )	77 343	33 905	4 359	9 054
粪便收集系数	0.60	1.00	0.60	0.60
粪便可开发量/万 t	46 406	33 905	2 615	5 432
a. 干物质含量/%	18	20	80	80
b. 标煤折算系数	0.471	0.429	0.643	0.643
c. 标准量(标煤)/万 t	3 934.2	2 909.0	1 345.3	2 794.2
标准量合计(标煤)/万 t	10 982.7			

注:标\*的数字为存栏量;标煤折算系数根据《中国能源统计年鉴》中的《各种能源折标准煤参考系数》

### 3.4 工业及城市有机废弃物

食品/农产品加工业的有机废水废渣和城市污水是重要的有机物污染源,也是生物质原料资源。轻工业中的谷类磨品、植物油加工、制糖、屠宰、水产加工、菜果加工、食品加工、淀粉、酒精、食用酒、造纸等11种行业2007年的工业产值为2.97万亿元,占同年轻工业产值的39%。有资料估计,中国农产品加工产生的有机废弃物可生产500亿m<sup>3</sup>沼气,相当于3500万tce的产能<sup>[12]</sup>。全国生活垃圾清运量1.52亿t(约含有机垃圾30%),设可用率为10%,可用资源量为0.16亿t,折标煤250万t。据资料统计,2000年城市垃圾填埋量1.2亿t,可产填埋气约90亿m<sup>3</sup>。2007年我国工业和城市污水每年排放总

量557亿t,所含COD(化学需氧量,chemical oxygen demand)总量接近2000万t,可产沼气110亿m<sup>3</sup>。

### 3.5 有机废弃物原料资源总汇

表4为2007年我国主要有机废弃物的年产生量、可用量及按标煤折能的数据。全国有机废弃物的年实物产出量是18.66亿t,可用实物量是11.65亿t,折标煤3.83亿t,相当于2007年全国一次性能源消费总量的1/7。有机废弃物中75.7%源自农业,16.1%来自林业,工业加工和城市的产出占8.2%。按年产能多少的排序是:作物秸秆>畜禽粪便>采伐及加工剩余物>工业有机废弃物>育林剩余物>城市有机垃圾。

表4 2007年中国主要有机废弃物的年产生量、可用量及按标煤折能

Table 4 Annual productions, available quantity and equivalent energy of major organic wastes of China in 2007

种类	年产生量/亿 t		可用率/%	年可用量/亿 t		
	实物量	折标煤		实物量	折标煤	百分比/%
作物秸秆	7.04	3.55	60	4.22	2.13	55.6
畜禽粪便	8.84	1.10	70	6.19	0.77	20.1
林业采伐及加工剩余物	0.78	0.44	90	0.70	0.40	10.4
育林剩余物	0.48	0.27	80	0.38	0.22	5.7
工业有机废弃物	—	0.35	80	—	0.28	7.3
城市有机垃圾	1.52	0.27	10	0.16	0.03	0.9
累计	18.66	5.98	—	11.65	3.83	100.0

## 4 可能源用的边际性土地资源

“边际性土地”原是经济学概念,在此是指不能用于粮食生产而可以种植抗逆性强的能源植物的荒地和低质农田。

### 4.1 荒地中的宜垦地

据国土资源部报告,“中国未被利用的土地为24509万hm<sup>2</sup>,其中可利用而尚未利用的面积占24.6%,其余为难利用的土地”<sup>[13]</sup>。其后又给出了可利用而尚未利用的土地面积是8874万hm<sup>2</sup>和“8874万hm<sup>2</sup>的可利用后备土地中,自然条件相对较好的宜农后备土地面积为734.4万hm<sup>2</sup>”<sup>[14]</sup>。2009年农业部针对可用于发展液体燃料的宜垦荒地资源进行了一次以县级为单位的专项调查<sup>[15]</sup>,其总面积为2680万hm<sup>2</sup>,比较集中和可列为重点开发对象的地区有8片(见图3),文章采用的是最新数据2680万hm<sup>2</sup>。

### 4.2 荒地中的宜林地

据国家林业局的报告,宜林地是指坡度在25°以下的“荒山荒坡”和沙荒地,面积为5704万hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>。区域分布上,西南区、蒙新区和黄土高

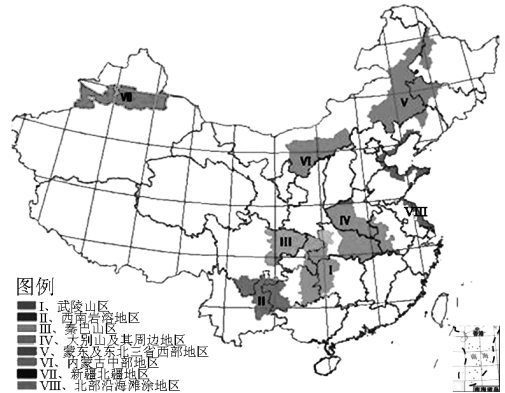


图3 中国宜垦荒地的8个重点开发区<sup>[14]</sup>

Fig. 3 Eight focused areas of wasted land for tapping bioenergy in China<sup>[14]</sup>

原区分别占24%、23%和18%。宜林后备土地多为土质丘陵和中低山地,面积大、分布广、开发潜力大,特别是在水热条件良好的西南、华北和黄土高原。在宜林后备土地中,将“宜林沙荒地”单独提出,是因为它不仅可以在发展旱生灌木林,还可以与防风治沙的生态治理工程相结合。我国科尔沁沙地、毛乌素沙地、浑善达克沙地和呼伦贝尔沙地这四大

沙地的面积为 10.3 万 km<sup>2</sup><sup>[17]</sup>。国家林业局 1994—1998 年“全国森林资源调查”报告中提出的宜林沙荒地面积为 700.3 万 hm<sup>2</sup>, 其中内蒙古 377.4 万 hm<sup>2</sup>, 甘肃 119.6 万 hm<sup>2</sup>, 陕西 75.2 万 hm<sup>2</sup> 和宁夏 44.9 万 hm<sup>2</sup>。

### 4.3 现林地中的能源林地

现林地中的能源林地主要是指薪炭林、木本油料林和灌木林。据 2009 年第七次全国森林资源清查报告, 天然薪炭林面积 145.33 万 hm<sup>2</sup>, 人工薪炭林面积 29.40 万 hm<sup>2</sup>, 合计 175 万 hm<sup>2</sup><sup>[17]</sup>。油料林面积 343 万 hm<sup>2</sup>, 灌木林面积 5 365 万 hm<sup>2</sup><sup>[18]</sup>。根据国家林业局 2009 年资料, 至 2020 年全国能源林培育总规模可发展到 1 300 万 hm<sup>2</sup>, 木质能源林 890 万 hm<sup>2</sup>, 其中新造 450 万 hm<sup>2</sup>, 改造 440 万 hm<sup>2</sup>; 油料能源林 410 万 hm<sup>2</sup>, 其中新造 350 万 hm<sup>2</sup>, 改造 60 万 hm<sup>2</sup>。每年可提供 5 400 万 t 干物质, 相当于 3 000 万 tce 和年产出 670 万 t 生物柴油。

### 4.4 现农地中的可能源用地

除粮棉油糖烟茶等主要农作物用地外的低质低产农田可作为发展能源作物的潜在边际性土地资源。国土资源部的较早资料是:“截至 1996 年 10 月, 中国 13 004 万 hm<sup>2</sup> 耕地中有低产田 5 024 万 hm<sup>2</sup>, 占耕地面积的 41%。”<sup>[13]</sup> 国土资源部 2009 年发布的资料中, 将全国耕地分为 15 等, 排在末三等即 13~15 等非粮地的面积为 2 091 万 hm<sup>2</sup>。文章采用的是 2009 年数据并简化为 200 万 hm<sup>2</sup>。导致这些农田低产的原因, 一是自然条件和土质差, 如沙地、粘土地、盐碱地、瘠薄地、旱地、渍涝地等; 二是因为产量低而不稳, 农民不愿意投肥投工, 管理粗放。薯类、高粱、菊芋等能源作物具有很强的抗逆性, 新的能源用途可以大大提高其经济性和农民投工投肥的积极性。

### 4.5 现边际性土地资源总汇

表 5 为中国可供生物质原料生产的边际性土地资源情况, 即可能源用的边际性土地面积为 16 374 万 hm<sup>2</sup>, 其中荒地型边际性土地面积 8 491 万 hm<sup>2</sup>, 占 51.9%, 现有型边际性土地面积 7 883 万 hm<sup>2</sup>, 占 48.1%。其中宜农的边际性土地与宜林的边际性土地分别占 29.2% 和 70.8%。区域分布上北部和西部多, 东部和南部少。图 4 形象地给出了全国农田、林地和荒地资源的总貌及可能源用边际性土地在其中的位置与比重。

表 5 中国可供生物质原料生产的边际性土地资源(单位:万 hm<sup>2</sup>)

Table 5 Marginal land resource suited for producing biomass feedstock in China (unit: 10 thousand hectare)

	类型	面积	百分比	
荒地型边际性土地	合计	8 491	51.9	
	宜农地	累计	2 787	17
		宜垦地	2 680	16.4
		滩涂地	107	0.6
	宜林地	累计	5 704	34.9
		荒山荒坡	5 004	30.6
沙荒地		700	4.3	
现有型边际性土地	合计	7 883	48.1	
	边际性农地		2 000	12.2
		边际性林地	累计	5 883
	薪炭林		175	1
	油料林		343	2.1
	灌木林		5 365	32.8

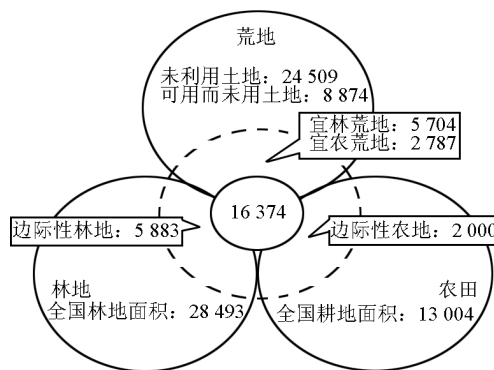


图 4 可供生物质原料生产的边际性荒地、林地和农地资源(单位:万 hm<sup>2</sup>)

Fig. 4 Sizes of wasted land, woodland and arable land available for producing biomass feedstock (unit: 10 thousand hectare)

### 4.6 可能源用土地资源的产能潜力

不同类型土地适合发展不同原料植物, 可粗略地提出 4 种组合: 宜农边际性土地—甜高粱/薯类组合、宜林荒山荒坡—能源林组合、宜林沙荒地—能源灌木林组合, 以及现能源林地—薪炭林/灌木林/油料林组合。中国主要能源植物的分布及单位产出见表 6, 经整合后的资源潜力是: 在 16 374 万 hm<sup>2</sup> 边际性土地上种植相应能源植物的产能潜力为 54 974 万 tce, 其中农业边际性土地产能 22 140 万 tce, 占 40.3%, 林业边际性土地产能 32 834 万 tce, 占 59.7% (见表 7)。

表 6 主要能源植物的分布及单位产出

Table 6 Distribution and the unit output of major biomass plants

原料植物	主要分布区	原料产出/ (t·hm <sup>-2</sup> )	主产品 产出/t	产能/(tce· hm <sup>-2</sup> )
甜高粱	北方 及全国	60~80(茎秆) 3~5(籽粒)	4~6 (乙醇)	4~6
甘薯	全国	15~20(一般)	2~3 (乙醇)	2~3
木薯	西南、华南	20~30(一般) 45~75(高产)	4~6(乙醇) 10(乙醇)	4~6 10
甘蔗	西南、华南	60~70	4~6 (乙醇)	4~6
木本油料	全国	4.0(籽粒)	1.5(油脂)	1.8
能源林	全国	6.5	6.5 (成型燃料)	3.3
灌木林	西北及全国	4.0	4.0 (成型燃料)	2.6

注:按燃料乙醇的低位发热量为 29 734 kJ/kg 计,1 t 乙醇的发热量相当于 1 tce

## 5 生物质原料资源总汇

将以上 6 类有机废弃物资源与经整合后的 6 类边际性土地的产能总汇于表 8,可从中看到中国生物质原料资源的全貌。即按 2007 年生物质产出现状与潜力,生物质资源的年产能潜力为 9.32 亿 tce,其中有机废弃物 3.83 亿 tce,边际性土地 5.49 亿 tce,分别占 41.1%和 58.9%。排在前 5 位的产能潜力大户依次是:宜农荒地(2.21 亿 tce,占 23.7%)、作物秸秆(2.13 亿 tce,占 22.9%)、宜林荒地(1.75 亿 tce,占 18.8%)、现灌木林(1.40 亿 tce,占 15.0%)和畜禽粪便(0.77 亿 tce,占 8.3%),5 项合占产能潜力总量的 88.7%。9.32 亿 t 产能中其中 61.2%来自农业,38.8%来自林业;有机废弃物产能的 83.8%来自农业,边际性土地产能中 60%来自林地。

表 7 中国边际性土地及相应原料植物产能

Table 7 Potential energy output of biomass plants of China's marginal land

边际性土地类型	面积/ 万 hm <sup>2</sup>	适种的原料植 物及面积比例	单位产能 标煤/(t·hm <sup>-2</sup> )	产能潜力		主产品
				单位/万 tce	单位/%	
宜农后备地	2 787	甜高粱 35 % 甘薯 15 % (北) 木薯 35 % (南) 甘蔗 15 % (南)	甘薯:2~3 其他:4~6	22 140	40.3	燃料乙醇 (不含生物柴油)
现边际性农地	2 000	能源林 60 %	3.3	9 908	18.0	成型燃料
宜林后备地	荒山荒坡	油料林 20 %	1.8	1 801	3.3	生物柴油
		能源作物 20 %	3~5	4 003	7.3	燃料乙醇
	沙地	早生灌木	2.6	1 820	3.3	成型燃料
现边际 性林地	薪炭林	薪炭林	4.2	735	1.3	成型燃料
	油料林	油料林	1.8	617	1.1	生物柴油
	灌木林	灌木林	2.6	13 950	25.4	成型燃料
合计	16 374	—	—	54 974	100.0	—

注:适种能源植物中的比例分配是估计数;单位产出参数引自表 6;产能潜力取中间值

表 8 中国生物质原料资源总汇(按 2007 年产出量)

Table 8 Overall amount of various biomass feedstock in China (based on output in 2007)

有机废弃物种类	产能/(万 t·a <sup>-1</sup> )			边际性 土地类型	面积/ 万 hm <sup>2</sup>	产能/(亿 t·a <sup>-1</sup> )	
	实物量	折标煤	百分比			折标煤	百分比
作物秸秆	4.22	2.13	22.9	宜农荒地	2 787	2.21	23.7
畜禽粪便	6.19	0.77	8.3	现边际农地	2 000		
林业剩余物	0.70	0.40	4.3	宜林荒地	5 704	1.75	18.8
采集育林薪柴	0.38	0.22	2.4	现薪炭林	175	0.07	0.8
工业废弃物	—	0.28	3.0	现油料林	343	0.06	0.6
城市有机垃圾	0.16	0.03	0.3	现灌木林	5 365	1.40	15.0
合计	11.65	3.83	41.2	合计	16 374	5.49	58.9

笔者用国家权威部门对中国农林业发展的需求和产量预测指标(2030年)<sup>[19,20]</sup>反推了作物秸秆、畜禽粪便和能源作物产量三项的增长量,三者分别新增产能1.37亿tce、0.45亿tce和0.57亿tce,共计2.39亿tce。即由2007年的年产能潜力9.32亿tce提高到11.71亿tce。图5是2007年中国生物质原料资源的状况与2030年增量情况。

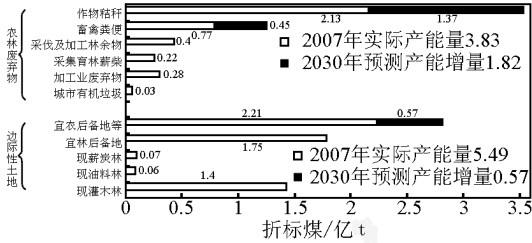


图5 中国2007年生物质原料资源的状况与2030年增量

Fig. 5 Situation of biomass resources in 2007 and the increment amount in 2030

不同生物质原料适合转化加工为不同产品。经原料与产品间的搭配与组合,11.71亿tce中的39.2%,即具有4.59亿tce产能的生物质原料宜用于生产液体燃料以替代石油;47.7%即具有5.59亿tce产能的生物质原料宜用于转化固体燃料供热发电以替代燃煤;13.1%即具有1.53亿tce产能的生物质原料宜用于生产气体燃料以替代天然气。其中稍作处理的是将作物秸秆的一半用于转化纤维素乙醇,另一半用于固体燃料(见图6)。

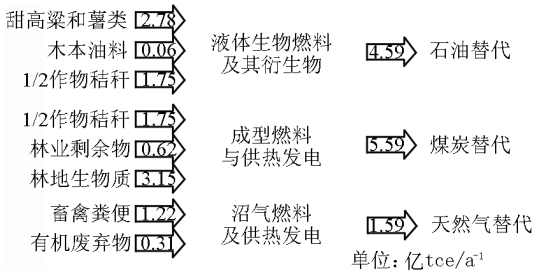


图6 中国生物质原料资源与相应产品整合后对化石能源的替代能力

Fig. 6 Overall situation of China's biomass resources and the capability of replacing fossil fuels once they are integrated to relevant energy products

## 6 结语

1) 中国生物质原料资源十分丰富,其产能相当于现全国能源消费总量的30%左右。

2) 按产能计,中国生物质原料的48.3%来自农林废弃物(5.65亿tce),51.7%来自边际性土地上的能源植物(6.06亿tce),或66.7%来自农业,33.3%来自林业。

3) 农林废弃物是资源的循环和再利用,边际性土地是土地资源利用的延伸,二者都是新开发的资源,产品是新开发的产品,不存在与传统产业争夺原料与市场。

4) 根据不同生物质原料适合加工不同产品的原则,中国生物质原料可替代4.59亿tce的石油、5.59亿tce的煤炭和1.53亿tce的天然气,可年减排CO<sub>2</sub>约20亿t。

5) 中国幅员辽阔,自然条件复杂,生物质原料种类繁多和分散,宜形成以地域和原料为基础和导向的,原料多元化和产品多元化的发展战略;建议采取液体、固体和气体燃料并举,生物燃料与生物基产品并举的方针,在全国形成以中小型加工厂为主、分布式的生物质产业布局和网络。

## 参考文献

- [1] Edward Smeets, Andre Faaij, Iris Lewandowski. A quickscan of global bio-energy potentials to 2050[Z]. 2004
- [2] U. S. Department of Energy, U. S. Department of Agriculture. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply[Z]. 2005.
- [3] 中国工程院. 中国可再生能源发展战略研究丛书(生物质能卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [4] 石元春. 决胜生物质[M]. 北京:中国农业大学出版社,2010.
- [5] 中国农业年鉴编辑部. 中国农业年鉴2008[M]. 北京:中国农业出版社,2008.
- [6] 李京京,白金明, Ralph Overend. 中国生物质资源可获得性评价[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [7] 王峰. 秸秆热电厂的发展前景[J]. 控制工程,2008,15(S1):82-84.
- [8] 朱成章. 秸秆是能源资源吗?[J]. 大众用电,2009(1):16-17.
- [9] 寇建平,赵立欣,郝先荣,等. 我国2007年农村可再生能源发展现状与趋势[J]. 可再生能源,2008,26(3):1-6.
- [10] 袁振宏,吴创之,马隆龙,等. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [11] 国家林业局. 林业生物质能源发展战略报告[Z]. 2008
- [12] 刘英. 沼气发展的现状、潜力与建议[R]. 北京:香山会议,2005.

- [13] 李元. 中国土地资源[M]. 北京:中国大地出版社,2000.
- [14] 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.
- [15] 寇建平,毕于运,赵立欣,等. 中国宜能荒地资源调查与评价[J]. 可再生能源,2008,26(6):3-9.
- [16] 国家林业局. 森林资源调查报告[Z].2006.
- [17] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2003.
- [18] 国家林业局. 中国森林资源报告——第七次全国森林资源清查[Z].2009.
- [19] 刘江. 农产品供求总量平衡研究[M]//刘江. 21世纪初中国农业发展战略. 北京:中国农业出版社,2000:41-60.
- [20] 吕飞杰. 农产品中长期发展展望:预测模型与政策分析[M]//刘江. 21世纪初中国农业发展战略. 北京:中国农业出版社,2000:555-577.

## China's resources of biomass feedstock

Shi Yuanchun

(China Agricultural University, Beijing 100193, China)

[Abstract] The data of organic wastes (including residues of crops and forests, animal excretion, agricultural and forestry processing, industrial wastes and municipal organic wastes) and marginal land (including suitable forestland, reclaimable wasteland, existed woodland and arable land) that suited to produce plants were systematically collected, sorted out and analyzed. The corresponding resource volume and available volume for economical harvesting were also put forward. According to the situation and potentiality of biomass products in 2007, it was concluded that the total productivity of China's biomass feedstock in a year equals to 932 million tce, with organic wastes and marginal land accounting for 41.1% and 58.9%, respectively. It was projected that to 2030, the annual potentials of biomass feedstock will be increased to 1 171 million tce, and the share of organic wastes and marginal land will be 48.3% and 51.7%, respectively.

[Key words] China; biogas; material resources