

江苏省能源农业发展的资源现状与发展潜力

张亚平, 左玉辉, 柏益尧

(污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 江苏 南京 210093)

摘要:在讨论江苏省农村生物质类型和资源总量的基础上, 利用已有统计资料和数据, 对江苏省能源农业发展的资源基础现状进行定量的估算, 并通过对发展能源农业的种质和可利用土地、江苏省农业和畜牧业发展态势的分析研究, 对江苏省能源农业的发展潜力进行了预测。研究表明, 2006 年江苏省农村生物质能总蕴藏量和可利用量折合标准煤分别达到 14238.06 万 t 和 2311.54 万 t。到 2010 年和 2015 年, 江苏省农村生物质能资源量折合标准煤将分别达到 5390 万 t 和 6109 万 t。

关键词:江苏省; 能源农业; 生物质能; 潜力分析

文章编号: 1000-0933(2008)08-3948-10 中图分类号: P964; P966 文献标识码: A

Resource status and potential development of energy agriculture in Jiangsu Province

ZHANG Ya-Ping, ZUO Yu-Hui, BAI Yi-Yao

State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3948 ~ 3957.

Abstract: The development of energy agriculture is based on the rural biomass resources. After the investigation of the rural biomass energy sources, the biomass resource in the rural places of Jiangsu Province in 2006 is analyzed and evaluated, using the existed statistics data. It is concluded that the total quantity of rural biomass energy resource in Jiangsu was 14238.06×10^4 t (tons of coal equivalent) and 2311.54×10^4 t, which could be potentially used for energy production. The rural biomass energy production potentials in Jiangsu Province is also estimated by analyzing the development trend of agriculture and animal husbandry and the species as well as land resource available for developing the energy-oriented forestry and fostering energy plants. The available biomass energy in the rural places of Jiangsu will equate 5390×10^4 t and 6109×10^4 t respectively by 2010 and 2015, if some measures are taken, such as forest fostering and logging, energy forest developing and energy plants growing on a large scale

Key Words: Jiangsu Province; energy agriculture; biomass energy; potential use

在经济持续发展过程中人类正面临着人口、资源和环境的巨大压力, 能源短缺和环境污染问题已经成为制约人类社会发展的主要瓶颈。生物质能以其可再生、资源丰富、生态环境友好而逐渐成为一种重要的替代能源, 目前已经成为世界各国替代能源战略关注的重点^[1]。据预测, 到 2015 年, 支撑全球经济规模的总能耗

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2002AA601012-10)

收稿日期: 2008-02-28; 修订日期: 2008-06-25

作者简介: 张亚平(1979 ~), 女, 河南人, 博士生, 主要从事区域环境规划与管理研究. E-mail: carol_ahkevin@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: amflora@126.com

Foundation item: The project was financially supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2002AA601012-10)

Received date: 2008-02-28; **Accepted date:** 2008-06-25

Biography: ZHANG Ya-Ping, Ph. D. candidate, mainly engaged in the regional environmental planning and management. E-mail: carol_ahkevin@sina.com

中将约有 40% 来自生物质能源,生物质能源将成为未来能源的重要部分^[2]。全球每年经植物的光合作用产生的生物质约 1700 亿 t,其能量相当于世界主要燃料消耗的 10 倍。目前作为生物质能源的利用量还不到其总量的 10%。农作物中的生物质能蕴藏量巨大。研究表明,到 2050 年,利用农、林剩余物以及种植和利用能源作物等生物质能源,有可能提供世界 60% 的电力和 40% 的燃料^[3]。生物质资源种类繁多,其中农作物秸秆和农业加工剩余物、禽畜粪便、薪柴和林木加工废弃物、能源植物等是其主要的资源来源,而这些资源都来自于广大的农村,开发利用生物质能源必将带动能源农业的发展。能源农业就是有目的地生产生物质能含量高、利用价值高的农作物,并通过现代技术手段将凝结在农作物以及农业副产品、剩余物、废弃物等中的生物质能开发出来,将其转化为可供经济社会发展直接利用的能源^[3]。

1 江苏省能源资源供需现状和预测

1.1 江苏省能源资源供需现状

江苏省是能源资源小省,煤炭可采储量占全国的 1.2%,已探明石油地质储量占全国的 0.2%,可开发利用的水能资源仅占全国水电可开发量的 0.034%,地下热水资源占全国的 1.1%。太阳能、潮汐能等可再生能源也不甚理想^[4]。若按年产 2500 万 t 产量的水平,全省煤炭可采储量仅供开采 51a。江苏石油资源更不容乐观,预测总资源量为 2.9~6.65 亿 t。到 2003 年底,探明地质储量 1.96 亿 t,可采储量 1.4 亿 t,原油产量维持在 100 多万 t 的水平,核实生产能力 159 万 t^[5]。

江苏省又是典型的能源消费大省,能源消费量的增长远快于生产量的增长,致使能源自给率逐年下降(图 1~图 3)。2005 年江苏省能源消费总量达到为 16895.39 万 t(标准煤,tons of coal equivalent),占到全国能源消费总量的 7.6%,而一次能源生产量仅为 2267.63 万 t,能源自给率仅为 13.42%,需要从省外大量调进能源,以满足国民经济和居民生活的需求。“十五”期间,全省从省外净调入能源量(含进口量)由 2000 年的 6466.09 万 t 增至 2005 年的 14291.42 万 t,净调入率由 75.1% 升至 84.6%。2005 年全省原煤消费量 15814.25 万 t,其 86.6% 需从省外和国外调进。2005 年全省原油加工量 2264.76 万 t,其 93.3% 来源于省外与国外,其中进口原油 1410.3 万 t,比上年增长 45.8%,进口依存度为 62.3%,远高于全国平均水平。对石油进口的依赖程度,使得国际油价涨跌幅度对江苏省国民经济的影响越来越大,尤其是涨价对江苏省的能源安全带来很大的隐患。

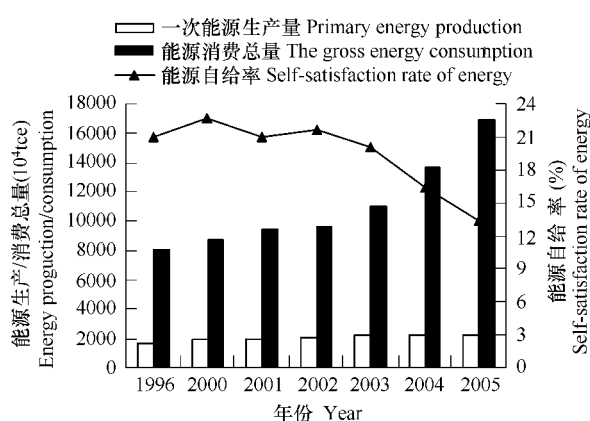


图 1 江苏省一次能源生产、能源消费总量和能源自给率(1996~2005 年)

Fig.1 Production of primary energy, the gross energy consumption and self-satisfaction rate of energy in Jiangsu(1996 to 2005)

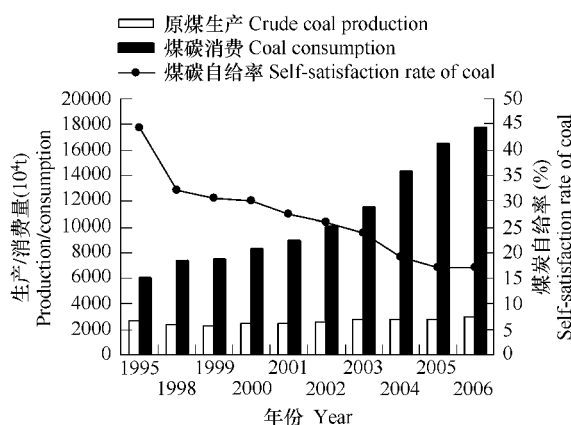


图 2 江苏省煤炭生产、消费与煤炭自给率状况(1995~2006 年)

Fig.2 Production, consumption and self-satisfaction rate of coal from 1995 to 2006 in Jiangsu

江苏省煤炭消费中 95% 以上是原煤,大量燃煤对大气环境造成了严重的破坏,酸雨带已呈沿江东西轴线分布趋势,酸雨发生率从 2001 年 25.4% 上升到 2006 年的 38.6%。此外,大气污染还来自石油的消耗。石化

企业排放的废气和机动车尾气对人体的危害正日益加深,燃油污染不断增长,煤消费与汽车尾气排放成为江苏省空气环境污染的主要来源,经济发展与环境之间矛盾问题越来越突出。

1.2 江苏省未来能源需求情景分析

经济增长与能源发展密切相关,经济增长与能源消费之间的关系可以用类似柯布-道格拉斯生产函数^[6]表示,公式如下:

$$E = kG^b \quad (1)$$

式中, E 为当年社会能源消费总量; G 为当年国内生产总值 GDP, k 为待定系数, b 为能源消费弹性系数。

能源消费弹性系数宏观地反映了一个国家或地区能源消费与国民经济发展的统计规律。根据历史统计数据,进行回归分析,找出能源消费的弹性系数,然后可以这个值来预测今后年份的能源消费需求。本文数据来源于《江苏省统计年鉴》的 2000~2005 年的江苏省能源消费量和国内生产总值(GDP),见表 1。

表 1 江苏省历年经济统计数据与能源消费

Table 1 Economic and energy consumption statistics of Jiangsu from 2000 to 2005

年份 Year	地区生产总值 Gross general product (10^9 元,以 2000 年不变价)	地区生产总值年增长率 Annual growth of Gross general product (%)	能源消费总量 Gross energy consumption (10^4 t)	能源消费年增长率 Annual growth of gross energy consumption (%)
2000	8553.63	10.57	8612.43	—
2001	9421.95	10.15	8881.4	3.12
2002	10520.95	11.66	9608.6	8.19
2003	11954.21	13.62	11060.7	15.11
2004	13717.51	14.75	13651.7	23.43
2005	15703.83	14.48	16895.4	23.76

根据模型(1),对表 1 中数据进行处理,对 2000~2005 年的江苏省能源消费量和 GDP 的关系建立如下模型:

$$E = 2.079G^{0.914} \quad (2)$$

由模型(2)可知,从 2000 年到 2005 年江苏省的能源消费弹性系数平均为 0.914 (R^2 为 0.9814)。根据江苏省“十一五”规划目标,即“全省人均生产总值 2010 年比 2000 年增加 2 倍左右,到 2010 年左右总体上全面建成小康社会,到 2020 年左右全省基本实现现代化”,江苏省能源领域再次面临“以能源翻一番确保经济产值翻两番”的严峻任务,即 2001~2020 年能源消费弹性系数将维持在 0.9 左右,据此,在考虑江苏省长期发展战略的时候,可以设想到 2020 年以前,能源弹性系数为 0.914,即可用模型(2)来预测未来能源需求的情况。

可以假设江苏省 GDP 年平均增长速度为:2007~2010 年平均为 12%,2010~2020 年平均为 10%。按模型(2)预测 2007~2020 年的能源需求量,具体数据如表 2 所示。

可以看出,2020 年江苏省能源需求将达到 5.84 亿 t,未来江苏省经济社会的发展对能源需求压力巨大,江苏省的能源生产供应能否满足日益增长的能源消费需求,怎样保证能源需求,支撑经济持续、快速、健康增长是需要研究的重大战略问题。为解决能源短缺问题,江苏省欲走“绿色能源”之路,打造“绿色能源”之都。生物质能作为一种绿色无污染的可更新能源必将成为江苏省“绿色能源”战略的重要组成部分,这为发展能源农业提供了良好的政策环境,江苏省能源农业的发展正面临着前所未有的契机。

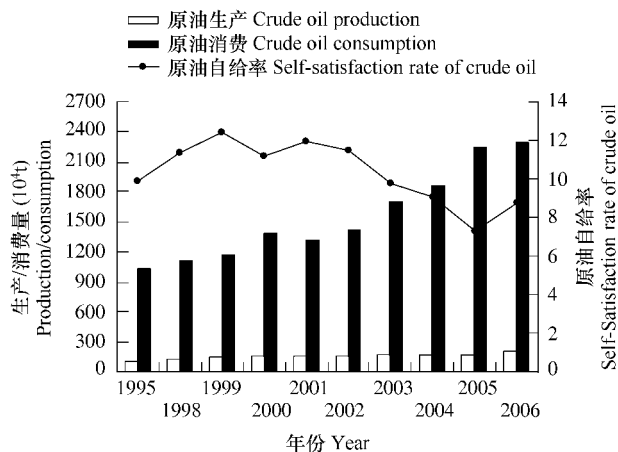


图 3 1995~2006 年间江苏省原油生产、消费和自给率

Fig. 3 Production, consumption and self-satisfaction rate of crude oil in Jiangsu (1999~2005)

2 江苏省能源农业发展的资源基础现状

江苏省地处美丽富饶的长江三角洲,境内地势平坦,平原辽阔,全省平原面积 7.06 万 km², 占总面积的 69%。江苏省地处江、淮、沂、沭、泗五大河流下游,长江横穿本省南部,境内河渠纵横,水网稠密。江苏省气候具有明显的季风特征,处于亚热带向暖温带过渡地带,气候温和,雨量适中,四季分明。湿润的气候、丰富的水资源、肥沃的土地使得江苏自古便具有“鱼米之乡”的美称,农业生产条件得天独厚,农作物、林木、畜禽种类繁多,粮食、棉花、油料等农作物几乎遍布全省,农村生物质资源非常丰富,为江苏省能源农业的发展打下了坚实的资源基础。

2.1 秸秆和农业加工剩余物

稻谷、麦子、玉米、豆类、块茎作物、棉花和甘蔗等农作物生产过程中形成了大量的农作物秸秆、稻谷壳、玉米芯等农业废弃物,这成为生物质资源的重要来源之一。2006 年江苏省农作物播种面积 760.88 万 hm², 全年秸秆和农业加工剩余物生物质资源理论蕴藏量为 4222.20 万 t,折合成标准煤 1988.39 万 t(表 3)。目前,江苏省每年有 30% 左右的秸秆被废弃或在田间直接焚烧掉,24% 用于禽畜饲料,2.3% 用于造纸,剩余的被用作农户的生活燃料^[7]。因此,至少 50% 的秸秆可以作为生物质能的原材料,即 2111.10 万 t,可取代 994.19 万 t。

表 3 2006 年江苏省秸秆和农业加工剩余物生物质资源量

Table 3 Biomass quantity of crop residues in Jiangsu in 2006

项目 Items	产量 ^[1] Yield(t)	草谷比 ^[8~12] Assumed ratio yield:residue	实物蕴藏量 Biomass resource quantity(10 ⁴ t)	折标能源系数 Ratio Biomass to coal equivalent (t/t) ^[8~12]	折标能源 Biomass resource quantity of coal equivalent(10 ⁴ t)
农作物 Crop					
小麦 Wheat	8178151	1.37	1120.41	0.50	560.21
大麦 Barley	895057	1.37	122.62	0.50	61.31
蚕豆 Horsebean	293640	1.50	44.05	0.53	23.35
水稻 Rice	17927174	1.00	1792.72	0.43	770.87
薯类 Tuber	533639	1.00	53.36	0.43	22.94
玉米 Maize	1972034	2.00	394.41	0.50	197.21
高粱 Sorghum	246	1.00	0.02	0.53	0.01
黍 Millet	86	1.00	0.01	0.53	0.01
其他 Others	52927	1.00	5.23	0.47	2.46
大豆 Soybean	536924	1.50	80.54	0.53	42.69
花生 Peanut	668179	2.00	133.64	0.50	66.82
油菜籽 Oilseed rape	1494039	2.00	298.81	0.50	149.41
芝麻 Sesame	18165	2.00	3.63	0.50	1.82
棉花 Cotton	381375	3.00	114.41	0.53	60.64
大麻 Hemp	4498	1.70	0.76	0.50	0.38
甜菜 Beet	200	0.10	0.00	0.50	0.00
甘蔗 Sugar cane	206033	0.10	2.06	0.50	1.03
蔗杆 Sugar beet	200	0.10	0.00	0.50	0.00
烟叶 Tobacco leaf	1424	0.20	0.03	0.50	0.02
农业加工剩余物 Milling residues					
玉米芯 Corn cobs	1747903	0.19	33.21	0.50	16.61
花生壳 Peanut shells	554562	0.20	11.09	0.50	5.55
豆荚 Soybean hulls	486771	0.23	11.19	0.50	5.60
合计 Total			4222.20		1988.39

2.2 林木生物质

林木生物质能源是指可用于薪材的森林及其他木质资源,主要来源于薪炭林、林业生产和森林更新过程中产生的剩余物(采伐剩余物、造材剩余物和加工剩余物)、灌木林平茬复壮、经济林修剪和林业经营抚育间伐过程产生的枝条和小径木^[12]。综合已有的研究并根据各大林区采伐数据和样地试验数据,采伐剩余物包括梢头、枝、叶等,约占林木生物量的 40%;木材加工剩余物为原木的 34.4%,包括板条、板皮、刨花、锯末等;林抚育间伐平均出材量 $6.0\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (20% 间伐强度)。薪炭林主要是为提供薪材而培育经营的林种,而且薪炭林大部分是人工林或天然次生林,采集和运输条件较好,可以完全利用^[12,13]。经济林、竹林的修剪枝叶量和木材加工剩余物可以全部作为能源。灌木林平茬可以完全利用,根据灌木林树种的生产周期,一般 3~5a 平茬 1 次^[12,13]。根据 2005 年江苏省森林资源调查结果,江苏省林木生物质资源总实物蕴藏量为 521.32 万 t,总可利用量为 436.69 万 t,折合标准煤 248.80 万 t(见表 4)。

表 4 2006 年江苏省薪柴和林木生物质资源量

Table 4 Fuelwood biomass of Jiangsu in 2006

薪柴*	用材林	薪炭林	灌木林	疏林 t	经济林	防护林	四旁树	合计
产柴系数 ^[14~16] (kg/hm ² ·株)	1500	7500	750	1200	750	750	30	
造林面积 (10 ⁴ hm ² ·10 ⁴ 株)	59.56	0.94	22.33	0.60	27.56	22.04	757.07	
实物蕴藏量 (10 ⁴ t)	89.34	7.05	16.7	0.72	20.67	16.53	22.712	173.76
可取薪柴系数	0.5	1.0	0.4	0.5	0.2	0.2	1.0	
可利用量 (10 ⁴ t)	44.67	7.05	6.70	0.36	4.13	3.31	22.71	88.93
林木加工剩余物	木材采伐量 (10 ⁴ m ³)			竹材采伐量 (10 ⁴ 根)		抚育面积		
资源量	89.69			613.00		50.84		
抚育间伐量 (t/hm ²)						5.4		
采伐剩余物 (t/m ³)	0.47							
木材加工剩余物 (t/m ³)	0.31							
竹林加工剩余物 kg/株				5.00				
实物蕴藏量 (10 ⁴ t)	69.96			3.07		274.536		
总实物蕴藏量 (薪柴 + 剩余物) (10 ⁴ t)						347.56		
总可利用量 (薪柴 + 剩余物) (10 ⁴ t)						521.32		
折标能源总量 (薪柴 + 剩余物) (10 ⁴ t)						436.49		
折标能源总量 (薪柴 + 剩余物) (10 ⁴ t)						248.80		

* 薪柴 Fuelwood; 用材林 Timber production forest; 薪炭林 Fuel forest; 灌木林 Shrubbery; 疏林 Sparse forest; 经济林 Economic Forest; 防护林 Shelter-forest; 四旁树 Trees; 合计 Total; 产柴系数 (kg/hm²·株) Ratio resource : biomass (kg/hm²·stub); 造林面积 (10⁴hm²·10⁴株) Forested land (10⁴hm²·10⁴ stub); 实物蕴藏量 Biomass resource quantity; 可取薪柴系数 Fuelwood availability index; 可利用量 Biomass energy quantity available; 林木加工剩余物 Harvest residuals; 资源量 Resource; 抚育间伐量 Biomass from forest fostering; 采伐剩余物 Deforestation residues; 木材加工剩余物 Wood-processing residuals; 竹林加工剩余物 (kg/株) Bamboo-processing residuals (kg/stub); 实物蕴藏量 Biomass resource quantity; 总实物蕴藏量 (薪柴 + 剩余物) Total Biomass resource quantity (fuelwood + residues); 总可利用量 (薪柴 + 剩余物) Total Biomass energy quantity available (fuelwood + residues); 折标能源总量 (薪柴 + 剩余物) Total Biomass resource quantity of coal equivalent (fuelwood + residues); 木材采伐量 Lumber; 竹材采伐量 (10⁴根) Bamboo (10⁴); 抚育面积 Forest fostering

2.3 人畜粪便

人畜粪便是沼气的主要原料。根据粪便产沼率和粪便资源总量可以计算出人畜粪便生物质能源总量。由于从统计年鉴中收集到的畜禽养殖头数一般包括出栏和存栏两部分,且各类畜禽生长期不一样,参考国外资料 and 实际调查,认为存栏头数的饲养期按全年 365d 计算,出栏的肉猪一般为 300d,肉兔与肉禽大致相同,为 55d。一般认为出栏的牛、猪、禽、兔分别为肉牛、肉猪、肉禽、肉兔,而对于生长期较长且当年出栏少的羊、马、驴、骡等则按照全年饲养计算^[16]。根据 2007 年江苏省统计年鉴和江苏省畜牧业统计资料,2006 年江苏省全年人畜粪便产生量为 9090.8 万 t,理论上可产生沼气 259.89 亿 m³,折合标准煤 1855.63 万 t,实际总可利用量为 1054.25 万 t(见表 5)。

表 5 2006 年江苏省农村人畜粪便生物质资源实物蕴藏量和可开发量

Table 5 Biomass quantity of manure from human and livestock in Jiangsu in 2006

	人	肉猪	存栏猪	羊	存栏牛	肉牛	马	驴和骡	蛋禽	肉禽	肉兔	存栏兔	合计
年粪便排泄量* (kg/(人·a)或 kg/ (头(只)·a))	30.00	1046.00	1050.00	632.00	8703.00	8200.00	5237.00	3092.00	55.00	4.50	8.25	55.00	
数量(万人、 头、只)	5014.97	1826.96	2977.32	2154.92	29.20	64.30	0.64	96.48	7147.97	4562.77	2108.19	1310.99	
实物蕴藏量(10 ⁴ t)	150.45	1911.00	3126.19	1361.91	254.13	527.26	3.35	298.32	943.14	425.53	17.39	72.10	9090.77
产沼率(m ³ /kg)	0.20	0.30	0.30	0.24	0.20	0.20	0.20	0.20	0.36	0.36	0.24	0.24	
沼气产量(10 ⁸ m ³)	3.01	57.33	93.79	32.69	5.08	10.55	0.07	5.97	33.95	15.32	0.42	1.73	259.89
折标实物蕴藏量 (10 ⁴ t)	21.48	409.34	669.63	233.38	36.29	75.29	0.48	42.60	242.42	109.38	2.98	12.36	1855.63
收集系数	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	
可利用系数	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	
可利用量(10 ⁴ t)	13.32	253.79	415.17	86.82	13.50	28.01	0.18	15.85	150.30	67.81	1.85	7.66	1054.25

* 年粪便(kg/人·年或 kg/头(只)·年) Feces(kg/a); 数量(万人、头、只) Quantity (10⁴); 实物蕴藏量 Biomass resource quantity; 产沼率 Biogas production rate; 折标实物蕴藏量 Biomass resource quantity of coal equivalent; 收集系数 Collection index; 可利用系数 availability index; 可利用量 Biomass energy quantity available; 人 Human; 肉猪 Pig slaughtered; 存栏猪 Pig alive; 羊 Sheep; 存栏牛 Cow alive; 肉牛 Cow slaughtered; 马 Horse; 驴和骡 Donkey and mule; 蛋禽 Egg poultry; 肉禽 Meat poultry; 肉兔 Hair slaughtered; 存栏兔 Hair alive; 合计 Total

2.4 能源植物

能源植物通常是指那些具有合成较高还原性烃的能力,可产生接近石油成分和可替代石油使用的产品的植物,以及富含油脂、糖类、淀粉和纤维素的植物^[17,18]。目前,江苏省广泛种植的能源植物主要包括富含油脂的能源作物(如大豆、油菜、花生、芝麻)和高糖、高淀粉的能源作物(如甘蔗、甜菜、玉米等)以及速生薪柴树(如杨树、柳树)。油料作物和高糖、高淀粉作物在现阶段主要用于满足人们的饮食需要,而且种植规模也比较小。江苏省是林业小省,速生薪柴树如杨树主要用于木材加工需要,并且仍然呈现供不应求的趋势,而柳树主要作为景观用树,因此,目前可以用于有用能的能源植物生物质资源量近似为零。

2006 年江苏省农村生物质资源总实物蕴藏量 14057.70 万 t,其中,可利用作为能源的生物量折合为标准煤为 2311.54 万 t。可利用量中,秸秆和农业加工剩余物、林木质和人畜粪便分别占 43.28%、10.83%、45.89%,如表 6 示。

表 6 2006 年江苏省能源农业发展的资源基础汇总

Table 6 Summarization of rural biomass energy in Jiangsu in 2006

类型 Type	实物蕴藏量 Biomass resource quantity (10 ⁴ t)	总蕴藏潜在量 Biomass energy quantity (10 ⁴ t)	可利用量 Biomass energy quantity available (10 ⁴ t)	所占比例 Proportion (%)
秸秆和农业加工剩余物 Crop residues	4222.20	1988.39	994.19	43.28
林木质生物质能 Forest biomass resource	521.32	297.16	248.80	10.83
人畜粪便 Manure from human and livestock	9090.80	1855.63	1054.25	45.89
合计 Total	13834.32	4141.18	2297.24	100

3 江苏省能源农业发展的资源潜力分析

江苏省是一个农业和人口大省,发达的农业和畜牧业所产生的大量农作物秸秆和禽畜粪便为能源农业的迅速发展提供了充足而稳定增长的生物质资源。众多的人口不仅产生了大量的粪便资源,而且也发展能源农业提供了足够的劳动力。尽管是一个林业小省,江苏省近年来造林的速度逐渐加快,人工造林面积迅速增多,林木生物质资源迅速增长,每年新增枝丫生物量也相当可观。

3.1 潜力分析

3.1.1 农作物秸秆和禽畜粪便生物质资源潜力

依据江苏省“十一五”农业和农村经济发展规划提出的主要农产品发展目标测算,预计到2010年,江苏省农作物秸秆和农业加工剩余物产量将稳定在4200万t左右,其中约2100万t可作为农业生物质能的原料。以“十一五”期间的发展速度测算,预计到2015年,江苏省农作物秸秆和农业加工剩余物产量将达到4500万t左右,其中约一半可作为农业生物质能的原料(表7)。

根据江苏省畜牧业发展第十一个五年规划提出的畜牧业发展目标测算,预计到2010年和2015年,江苏省畜禽粪便资源产量将分别达到10180万t和11250万t,约可产出沼气285亿 m^3 和313亿 m^3 ,分别相当于替代标准煤2035万t和2235万t(表7)。

3.1.2 林木生物质发展潜力

江苏省普遍栽植的杨树、柳树等乔木树种,生物量大,生长迅速,适应性强,热值高,具备能源林所需的全部特性。江苏杨树产业全国第一,初步形成了以“意杨”为核心的现代产业化格局。江苏省普遍栽种的“苏柳”系列良种人工林的产量很大,乔木柳年均22.5 m^3/hm^2 ,灌木柳年均达到30 t/hm^2 ;在集约经营的条件下,乔木柳年均超过30 m^3/hm^2 ,灌木柳鲜重年均超过45 t/hm^2 。柳树生物质具有较高的燃烧值,相当于标准煤的65%~69%^[21]。江苏省拥有399.8万 hm^2 的低湿滩地,还有广大的四旁闲地,都可以用来发展灌木柳和乔木柳(或杨)能源林。“十一五”期间假设10%的低湿滩地发展为灌木能源林,按照30 t/hm^2 的年生长量计算,每年可新增林木生物质1199.4万t。广大的四旁闲地也可以用来发展能源林。若按照当前农户数1495.5万户、每户种植5棵速生丰产乔木柳树或杨树、每棵树年平均产柴5kg计算,每年可将新增林木生物质37.38万t。

江苏省现有荒地6.89万 hm^2 ,废弃地7.94万 hm^2 。根据江苏省土地利用总体规划,5.43万 hm^2 的荒地和废弃地将建设成为耕地,则剩余9.4万 hm^2 可以用来发展能源林。若在这些地区营造种植抗逆性强的灌木林和建立林木生物质能发电厂,就能大大调动地方和农民的造林积极性,促进造林治理速度,提供可观的生物质能资源。假若利用这些土地的50%营造能源林4.9万 hm^2 ,按照25 t/hm^2 的年生长量计算,每年又可新增林木生物质122.5万t。

根据以上预测,“十一五”期间,江苏省林木生物质总计将新增1359.28万t,达到1880.28万t,相当于1072万t。按照“十一五”的发展速度,预计到2015年,江苏省林木生物质资源将达到2500万t,折合标准煤1425万t(表7)。

3.1.3 能源植物生物质发展潜力

江苏省广袤的平原和气候特别适合种植能源植物,其中油菜、海滨锦葵、红薯等能源植物既不会与粮食争地,而且又与气候相适应,具备较大的发展潜力。油菜的化学组成与柴油很相近,是生物柴油的理想原料,被称为能源油菜。江苏省种植的油菜属于冬油菜,不存在与粮食“争地”的问题,不会威胁到粮食安全,而且种植粮食也可以培育土地。目前,江苏省有13.3万 hm^2 左右的冬季闲置耕地,可以用来种植油菜。若按当前江苏省油菜籽产量2.46 t/hm^2 、含油率40%计算,每年通过能源油菜种植可为生产13.12万t生物柴油提供原料。

江苏省拥有广袤的滩涂资源,沿海滩涂总面积65.3万 hm^2 ,占全国的1/4。就开发规模来看,潮上带中未围面积和围而未用的面积达7.3万 hm^2 ,而且潮上带每年还以1300 hm^2 的速度不断淤长;潮间带未开发利用的面积达18万 hm^2 ,占70%;近13万 hm^2 的岸外辐射沙洲目前尚未利用。可以利用盐碱滩涂种植海滨锦葵,一方面解决了这些边际性土地的闲置,一方面又解决了油料作物的高成本劣势。海滨锦葵属多年生耐盐经济植物,其种子含油率在18%左右,其中80%以上为不饱和脂肪酸,非常适于作为制取生物柴油的原料。而且海滨锦葵不需要每年播种,只需要一次投入就可以每年都生长,在生长过程中也不必介入,低成本投入造就了这种原料的低价格前景。假设“十一五”期间将上述荒废滩涂的30%种植海滨锦葵,按照当前亩产1500 kg/hm^2

计算,每年可获得海滨锦葵 17.24 万 t,可生产生物柴油约 3 万 t。

根据以上预测,“十一五”期间,通过种植能源油菜和海滨锦葵将新增生物柴油原料 50 万 t,可生产生物柴油 16.12 万 t,折合成标准煤 23 万 t。照此发展速度,到 2015 年,江苏省能源植物生物质资源将达到 50 万 t (见表 7)。

表 7 江苏省农村生物质资源预测

Table 7 Potential production of rural biomass energy in Jiangsu Province

类型 Types	2006			2010			2015		
	实物量 ($10^4\text{t}/10^8\text{m}^3$)	折标煤 (10^4t)	可利用量 (10^4t)	实物量 ($10^4\text{t}/10^8\text{m}^3$)	折标煤 (10^4t)	可利用量 (10^4t)	实物量 ($10^4\text{t}/10^8\text{m}^3$)	折标煤 (10^4t)	可利用量 (10^4t)
秸秆和农业 加工剩余物	4222	1988	994.19	4500	2250	1125	4800	2400	1200
林木质生物质能	521	297	248.80	1880	1072	963.59	2500	1425	1016.99
人畜粪便(沼气)	259	1856	1054.25	285	2035	1155.93	313	2235	1269.53
能源植物 (生物柴油)	0	0	0	16	23	23	25	37	37
合计		4149	2297.24		5390			6109	

类型 Type; 秸秆和农业加工剩余物 Crop residues; 林木质生物质能 Forest biomass resource; 人畜粪便 Manure from human and livestock; 能源植物(生物柴油) Energy plant (biodiesel) 合计 Total; 实物量 Biomass resource quantity; 折标煤 Biomass resource quantity of coal equivalent; 可利用量 Bioenergy quantity available

3.2 生物质能供需预测

根据国家发改委发布的《可再生能源发展“十一五”规划》和《可再生能源中长期发展规划》,我国可再生能源发展的总目标是“到 2010 年,可再生能源在能源消费中的比重达到 10%,2020 年达到 15%”。根据规划中生物质能在可再生能源中的比例,设定江苏省生物质能替代比例,即 2010 年为 1%,2015 年为 1.2%。基于前述对于江苏省未来能源需求预测,预测未来江苏省生物质能需求,见图 4。可以看出未来江苏省农村生物质能源实物蕴藏量略大于需求量,但可利用量在 2015 年略小于需求量。

4 结论和讨论

江苏省农村生物质能蕴藏丰富。2006 年江苏省农村生物质能总蕴藏量和可利用量分别达 14238.06 万 t 和 2311.54 万 t,这为江苏省能源农业的发展奠定了充足的资源基础。农作物秸秆和人畜粪便的资源量较大,分别占总可利用量的 43.01% 和 45.61%。林木质资源量相对较小,能源植物基本没有作为能源而进行有效的开发利用,但是却蕴藏着较大的发展潜力。

江苏省能源农业具有较大的发展潜力。得天独厚的自然资源、发达的农业和畜牧业、众多的人口使得江苏省农作物秸秆和人畜粪便生物质资源量保持稳定增长,而丰富的物种资源、广袤的滩涂和湿地则为能源植物的抚育开发和能源林业的发展提供了物种和土地保障,林木质和能源植物生物质资源量增长迅速。据预测,到 2010 年和 2015 年,江苏省农村生物质能资源量将分别达到 5390 万 t 和 6109 万 t。

目前,我国生物质能开发利用主要集中在生物质发电、沼气工程、生物燃料等方面。我国生物质气化发电机组主要有 3 种规格,即 60kW、160 kW、200kW。按照 200Kw 的发电规模、年耗 0.12 万 t 生物质、年发电量 360 万 kW·h 计算,假设利用秸秆和林木生物质资源可利用量的 2/3 进行发电,则 2010 年发电量将达到

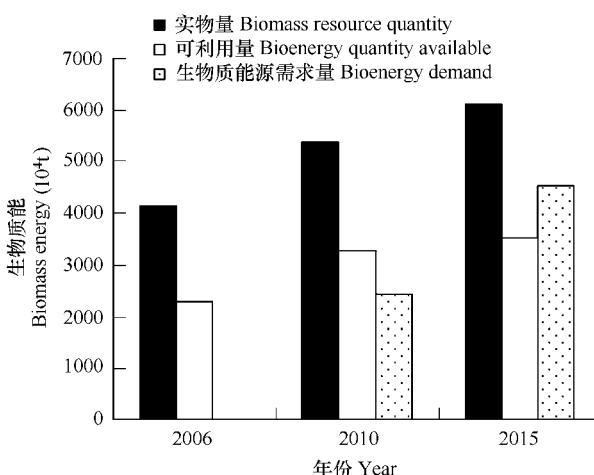


图 4 生物质能供需预测

Fig. 4 Prediction on supply and demand of biomass energy in Jiangsu

484.97 亿 kW·h,2015 年达到 836.84 亿 kW·h,分别可节约用煤^①2327.88 万 t 和 4016.83 万 t。人畜粪便可用来生产沼气,沼气可以用于农村生活燃料,既实现了废弃物的资源化利用、清洁了农村环境,同时也节约了大量的煤炭和石油。2010 年和 2015 年江苏省沼气产生潜力分别为 1155.93 万 t 和 1269.53 万 t,相当于替代原煤 1618.3 和 1777.3 万 t。通过生物质发电和人畜粪便生产沼气共可替代煤炭,2010 年为 3946.18 万 t,2015 年为 5794.13 万 t。江苏省能源植物的物种资源主要是油料作物,可用于生产生物柴油,从而部分的替代石化柴油。目前江苏省能源植物的大规模种植尚处空白,然而却存在着较大的发展潜力,2010 年生物柴油的产量将达到 16 万 t,2015 年达到 25 万 t。

江苏省农村生物质能源实物蕴藏量丰富,但是基于目前生物质能利用和收集技术的生物质能源可利用量却不能跟上生物质能源需求快速上涨的步伐,可以通过提高生物质能源转化技术、能源作物育种和提高收集效率等方式提高可利用比例,从而满足生物质能源需求。

References:

- [1] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables: Global Status Report. Washington. D. C. : World watch Institute, 2005.
- [2] Wang Q, Xiang Y. Use of rural biomass energy and model construction of solar economic development in China. *Issues in Agricultural Economy*, 2007, (6): 97—100.
- [3] Li L. Developing the energy agriculture is the important measure to boost the construction of modern agriculture. *Chinese Countryside Well-off Technology*, 2007(6): 17—20.
- [4] Sun W X, Zhao Y. The enforcement of two-way energy strategy for energy sustainable development of Jiangsu Province. *Jiangsu Commercial Comments*, 2005, (2): 115.
- [5] Zhang T, Nie R. The current situation of supply and demand and development strategy of energy in Jiangsu. *Coal Economic Research*, 2008, (1): 33—36.
- [6] Fu Y C. *Western economy*. Beijing: Economic Science Press, 1995.
- [7] MOA/DOE Project Expert Team. *Assessment of biomass resource availability in China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1998.
- [8] Zhong H P, Yue Y Z, Fang J W. Characteristics of crop straw resources in China and its utilization. *Resource Science*, 2003, 25(4): 62.
- [9] Weng W, Yang J T, Zhao Q L, *et al.* Current Situation and Developing Direction of Straw Utilization Technology in China. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2004, (7): 19—22.
- [10] Liao C P, Yang Y J, Wu C Z, *et al.* Study on the distribution and quantity of biomass residues resource in China. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 27(2): 111—117.
- [11] Fan S Y, Bill F, Gao J X. Potential Environmental Benefits from Increased Use of Bioenergy in China. *Environ Manage*, 2007, 40: 504—515.
- [12] The research team on the potential development of Chinese fuelwood bioenergy, *Topics of Chinese forest bioenergy development potential report*, Chinese Forestry Industry, 2006, (1): 5—12.
- [13] Li N Y, Zhi L, Wang G S, *et al.* Status and industrialization development of wood biomass energy in Three North regions. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(4): 70—74.
- [14] Song J X, Hu W, Liu R Z. The Distribution and utilization of rural biomass energy in Bazhou. *Xinjiang Social Science*, 2006, (6): 40—43.
- [15] Cao Y J. The current use of Biomass energy and development trend in Jiangsu Province. *Energy Research and Utilization*, 1999, (3): 23—27.
- [16] Liu G, Shen L. Quantitive appraisal of biomass energy and its geographic distribution in China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 9—19.
- [17] Fei S M, Zhang X D, Yang G Y. On domestic and international situation of energy plant resources and their exploitation. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2005, 26(3): 20—26.
- [18] Chen Y M, Xiao B, Chang J. Development and Application on Resources of Energy Plant. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2005, 27(4): 1—5

① 按照火力发电标准能耗计算,2005 年为 0.343 kg 标准煤/kWh;1kg 标准煤=1.4 kg 原煤

- [19] Shi S Z. A study on the bioenergy industry with the willow as the raw material. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2007, 34(2): 46—51.

参考文献:

- [2] 王奇,向筱.我国农村生物质能的利用与阳光经济发展模式的构建. *农业经济问题*, 2007, (6): 97~100.
- [3] 李琳.发展能源农业是加快现代农业建设的重大举措. *中国农村小康科技*, 2007(6): 17~20.
- [4] 赵媛.江苏省能源可持续发展的构想. *能源研究与利用*, 2001, (4): 3~6.
- [5] 张涛,聂锐.江苏省能源供需状况及对策研究. *煤炭经济研究*, 2008, (1): 33~36.
- [6] 傅殷才. *西方经济学*. 北京: 经济科学出版社, 1995.
- [8] 钟华平,岳燕珍,樊江文.中国作物秸秆资源及其利用. *资源科学*, 2003, 25(4): 62~67.
- [9] 翁伟,杨继涛,赵青玲,等.我国秸秆资源化技术现状及其发展方向. *中国资源综合利用*, 2004, (7): 19~22.
- [12] 中国林木生物质发展潜力研究组.中国林木生物质发展潜力研究报告. *中国林业产业*, 2006, (1): 5~12.
- [13] 李怒云,支玲,王国胜,等.“三北”地区林木生物质能资源现状及产业发展研究. *中国水土保持科学*, 2007, 5(4): 70~74.
- [14] 宋建新,胡卫,刘润藻.巴州农村生物质能分布及其利用评价. *新疆社会科学*, 2006, (6): 40~43.
- [15] 曹友军.江苏生物质能利用现状及发展趋势. *能源研究与利用*, 1999, (3): 23~27.
- [16] 刘刚,沈镞.中国生物质能源的定量评价及其地理分布. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 9~19.
- [17] 费世民,张旭东,杨灌英.国内外能源植物资源及其开发利用现状. *四川林业科技*, 2005, 26(3): 20~26.
- [18] 陈英明,肖波,常杰.能源植物的资源开发与应用. *氨基酸和生物资源*, 2005, 27(4): 1~5.
- [19] 施士争.以柳树为原料的生物质能源产业链探讨. *江苏林业科技*, 2007, 34(2): 46~52.