

农村户用沼气发展的资源分析

陈 豫^{1,2}, 杨改河^{1,2}, 冯永忠^{1,2}, 任广鑫^{1,2}

(1 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**农村户用沼气是缓解农村能源不足、治理生态环境恶化的较佳选择。研究分析农村户用沼气发展的资源问题, 可为实现沼气池的合理布局、提高沼气效率提供依据。**【方法】**在系统分析气候资源、生物质资源、劳动力资源与农村户用沼气生产关系的基础上, 利用我国各地 1.6 m 平均地温、年日照时数、年太阳辐射总量、秸秆和畜禽粪便生物量、劳动力受教育程度等数据, 分析了各地发展沼气的气候、生物质和劳动力资源状况。**【结果】**1.6 m 平均地温有 7~12 个月在 10 ℃ 以上的区域是沼气发展气候适宜区; 1.6 m 平均地温只有 6 个月在 10 ℃ 以上且太阳能资源丰富(太阳辐射总量在 5 000 MJ/(m² · 年)以上, 年日照时数在 3 000 h 以上)的区域是沼气加温适宜区; 1.6 m 平均地温少于 6 个月且太阳能资源贫乏(太阳辐射总量小于 4 200 MJ/(m² · 年), 年日照时数小于 2 200 h)的区域为沼气发展气候不适宜区。河南、四川、山东、河北、湖南五省畜禽粪便资源丰富, 北京、上海、天津和海南为畜禽粪便资源贫乏地区。北京、天津、上海、山东等经济较发达区域人口受教育程度较高, 而西藏、青海、云南、内蒙古、四川、重庆、贵州、宁夏等少数民族较多的地区人口受教育程度较低。**【结论】**气候条件是农村户用沼气发展的制约因素; 生物质资源不足的地区发展农村户用沼气, 可以通过调整农业产业结构、加大畜牧业在农业中的比重来提高沼气发酵原料产量; 劳动力受教育程度低的地区发展农村户用沼气, 可以加大农民沼气使用技术培训的力度, 提高沼气用户使用、管理沼气池的能力。

【关键词】 户用沼气; 资源分析; 气候资源; 生物质资源; 劳动力资源

【中图分类号】 F323.214

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)03-0200-08

Analysis of resources of biogas in rural area

CHEN Yu^{1,2}, YANG Gai-he^{1,2}, FENG Yong-zhong^{1,2}, REN Guang-xin^{1,2}

(1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shannxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**To develop biogas in rural area is an optimal selection in relieving rural energy shortage and controlling eco-environment deterioration in present rural regions. The development of rural household biogas is closely related to rural natural and social factors. Biogas development in rural area has obvious regional characteristics. **【Method】**This paper analysed the relationship of the production of biogas in rural area and the resources of climate, biomass and labor force. The resources situation of climate, biomass and labor force in different areas of China were analyzed through ground temperature of average 1.6 m, annual sunshine hours, annual total solar radiation, the biomass of straw and animal fecal and the education degree of labor force. It was expected to provide essential guidance for biogas in rural area. **【Result】**The region where the month of average 1.6 m ground temperature is over 10 ℃ 7—12 is suitable for biogas development; The region over 10 ℃ for 6 months is rich in solar energy resources (annual total solar radiation over 5 000 MJ/(m² · a), annual sunshine hours over 3 000 h) which is suitable for biogas development;

* [收稿日期] 2008-05-04

[基金项目] 国家农业结构调整项目(06-07-05B); 陕西省重大科技专项计划项目(2006KZ09-G5); 陕西省科技攻关项目(2005K01-G17-03); 国家自然科学基金项目(30700482)

[作者简介] 陈 豫(1983—), 女, 新疆博乐人, 在读博士, 主要从事农业生态研究。E-mail: chenyu-2006@163.com

[通信作者] 杨改河(1957—), 男, 陕西耀县人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源与生态环境研究。

The region over $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ less than 6 months is poor in solar energy resources(annual total solar radiation less than $4\ 200\ \text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, annual sunshine hours less than $2\ 200\ \text{h}$) and unsuitable for biogas development. Livestock Manure resources are rich in Henan, Sichuan, Shandong, Hebei and Hunan provinces, but poor in Beijing, Shanghai, Tianjin and Hainan provinces. The people of Beijing, Tianjin, Shanghai, Shandong provinces are better educated than the people of Tibet, Qinghai, Yunnan, Inner Mongolia, Sichuan, Chongqing, Guizhou, Ningxia, and other ethnic minority areas. 【Conclusion】 Climate condition is a restriction factor for biogas in rural area. The region shortage of biomass resources can be mended by adjusting the agriculture structure and increasing the percentage of animal husbandry to get more biogas fermentation raw materials. The region where the educational level is low can increase peasant's biogas technical training to improve the using and management ability of farmer.

Key words: household biogas; analysis of resource; climatic resource; biomass resource; labor resource

农村沼气就是将人畜粪便、秸秆、污水等各种有机物,置于密闭的沼气池内,在一定的温度、水分、酸碱度和厌氧条件下,经过产甲烷细菌厌氧发酵作用而产生的一种可燃气体。面对当今世界能源紧缺、油价不断上调、电力供应紧张和生态环境日益恶化等一系列问题,沼气作为农民生产生活中节能降耗的重要资源,已经受到广泛关注。20世纪90年代以来,在发酵原料充足、用能分散的中国农村地区,户用沼气建设发展迅猛。1996~2004年,我国户用沼气拥有量以年增长率超过2%的速率持续上升,截至2004年,已发展到1 541万户^[1]。国家根据目前的发展基础和生态环境建设要求,规划到2010年,全国沼气池总量将达到5 000万户以上,平均每年新增沼气池数量约600万口^[2]。但农村户用沼气的发展在取得良好的经济、生态和社会效益的同时,也存在技工数量不足、队伍不稳定、沼气发酵原料供给不平衡、后继管理和服务体系薄弱等问题^[3],造成了国家资金的浪费。

我国农村户用沼气的发展除了与池型结构、发酵工艺、建造与管理水平等因素有关外,还受到不同区域气候资源及农村社会经济水平等因素的影响和制约,因此各地发展农村户用沼气具有明显的区域特性。研究分析农村户用沼气发展的资源问题,对于实现沼气池的合理布局、提高沼气产气率、合理使用国家巨额资金,无疑都具有十分重要的意义。为此,本研究系统分析了气候资源、生物质资源、劳动力资源与农村户用沼气生产的关系,并利用我国各地1.6 m平均地温、年日照时数、年太阳辐射总量、秸秆和畜禽粪便生物量、劳动力受教育程度等数据,分析评价了我国各地发展沼气的气候、生物质和劳动力资源状况,以期为我国农村户用沼气的发展提供依据。

1 气候资源

1.1 热量资源

1.1.1 发酵温度与沼气的关系 沼气发酵除要求一定的酸碱度、密闭嫌气条件外,池内发酵液温度对产气速度和产气效率的影响也很大。沼气的发酵温度为 $8\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,在此范围内,沼气产量随着温度的升高而增加。沼气发酵温度可分为高温、中温和低温3类。一般认为, $45\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为高温发酵, $30\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为中温发酵, $8\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为低温发酵(也叫常温发酵或自然发酵),而农村家用沼气池多采用低温发酵^[4]。沼气发酵温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,每千克干物质产气量 $0.45\ \text{m}^3$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 产气量 $0.61\ \text{m}^3$, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时产气量达 $0.76\ \text{m}^3$ 。可见,不同温度下原料的产气效率变化很大^[5]。同样,沼气发酵温度的高低,对产气速度影响也很大。池温在 $29\sim 31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,产气量为 $0.55\ \text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $16\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时产气量下降为 $0.10\ \text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $12\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时产气量已很少, $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时已基本不产气^[6]。在常温情况下,通常认为池温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是沼气生产的下限温度,池温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上则产气较快。

1.1.2 我国地温资源的分析与评价 在我国农村,绝大多数沼气池位于地下,开口于地上,池内温度受到地温和气温两者的影响。沼气池内温度与气温相差较大,如杭州1月平均气温为 $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,沼气池内温度为 $11\sim 13\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温比池温低 $7\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$;7月平均气温为 $28.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,池温 $21\sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温比池温高 $5\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[6]。但沼气池内温度与地温接近,只是池深不同略有差异,2 m左右深度的沼气池,池内温度与1.6 m地温接近^[7]。所以,1.6 m地温是影响沼气池产气量和沼气池利用时间的主要温度因子。

鉴于我国沼气池大多建于地下,产气量和沼气

池的利用时间受地温影响最大,而池温 10℃是产气的下限温度,20℃以上产气较快,因此,本研究利用各地 1.6 m 平均地温大于 10℃、20℃的时间(月),来分析我国各区域影响沼气发展的热量资源。

表 1 为我国主要地区 1.6 m 平均地温大于 10℃和 20℃的时间^[7]。从表 1 可以看出,I 区 1.6 m 平均地温全年在 10℃以上,有 7~12 个月大于 20℃,说明沼气池全年产气,且有 7~12 个月产气速度快,产气效率高。Ⅱ区 1.6 m 平均地温全年在 10℃以上,有 4~6 个月大于 20℃,沼气池可全年产气,

并有 4~6 个月产气速度快,产气效率高。因此 I 区和Ⅱ区具有发展沼气的最适宜温度条件。Ⅲ区 1.6 m 平均地温有 7~12 个月在 10℃以上,有 1~3 个月大于 20℃,沼气池的利用时间在半年以上,但产气速度快、原料产气效率高的时间只有 1~3 个月,为沼气池季节利用、短时间高产地区,具有发展沼气的适宜温度条件。Ⅳ区 1.6 m 平均地温只有 6 个月在 10℃以上,无大于 20℃的时间,沼气池利用时间短,产气速度慢,产气效率低,因此在自然条件下,Ⅳ区不具有发展沼气的温度条件。

表 1 我国部分省区 1.6 m 平均地温大于各级温度的时间

Table 1 Months that average ground temperature of 1.6 m is more than temperature of all levels of various regions in China

地区分类 District classification	1.6 m 平均地温/℃ Average ground temperature of 1.6 m		包括的地区 Region included
	10	20	
I	12	7~12	台湾、福建、广东、广西南部、云南元江以下河谷和西双版纳等地及福建、广东、广西北部、江西、湖南南部、贵州、云南南部少数地区 Taiwan, Fujian, Guangdong, southern Guangxi, under Yuanjiang River Valley and Xishuangbanna Yunnan in Yunnan Province, Northern Fujian, Guangdong, Guangxi, Jiangxi, southern Hunan, Guizhou, minority areas in southern Yunnan Province
Ⅱ	12	4~6	浙江、安徽、湖北、江苏、江西和湖南的北部、河南南部、陕西南部少数地区、四川中东部、云南和贵州的部分地区 Zhejiang, Anhui, Hubei, Jiangsu, northern Jiangxi and Hubei, southern area of Henan province, minority areas in southern Shannxi province, Mid-east of Sichuan province, some regions in Yunnan and Guizhou province
Ⅲ	7~12	1~3	天津、北京、河北、山东大部、河南中北部、陕西中南部、山西南部少数地区、新疆塔里木盆地 Tianjin, Beijing, Hebei, most part of Shandong, central north of Henan province, central south of Shaanxi, minority areas in southern Shanxi province, Tarim basin of Xinjiang
Ⅳ	6	0	辽宁中南部、河北北部、山西中南部、陕西中北部、宁夏大部、甘肃东部、河西走廊玉门以东地区 Central south parts of Liaoning, northern Hebei, central south area of Shanxi, central north of Shaanxi, most part of Ningxia, east areas of Gansu, east area of Gansu corridor and Yuman

1.2 太阳能资源

1.2.1 太阳能资源与沼气的关系 在自然条件下,不具有沼气发酵温度条件的地区,若采取一些增温保温措施,提高沼气池内的温度,仍可发展沼气生产。随着沼气产业的发展,我国有关专家依据生态学原理,以太阳能为动力,将畜禽暖圈和日光温室与沼气发酵系统有机结合起来,发展了“三位一体”、“四位一体”和“五位一体”能源生态模式,利用太阳能提高了沼气池的发酵温度。可见,各地的太阳能资源也是影响沼气池产气量和沼气池利用时间的主要因子。

1.2.2 我国太阳能资源的分析与评价 温室的采光设计、采暖设计,都要考虑当地太阳辐射状况。衡量不同地区太阳能资源状况,包括光照强弱(太阳辐

射能量大小)和日照时间长短等^[8]。

从表 2 可以看出,I 和Ⅱ区年太阳辐射总量在 5 400 MJ/(m²·年)以上,全年日照时数 2 800~3 300 h,是太阳能丰富区域,具有发展“三位一体”、“四位一体”和“五位一体”能源生态模式的优越条件;Ⅲ区太阳辐射总量 4 200~5 400 MJ/(m²·年),全年日照时数 2 200~3 000 h,是太阳能可利用区域,具有发展“三位一体”、“四位一体”和“五位一体”能源生态模式的一般条件;Ⅳ区太阳辐射总量在 4 200 MJ/(m²·年)以下,全年日照时数 1 400~2 200 h,是太阳能贫乏区域,不具有发展“三位一体”、“四位一体”和“五位一体”能源生态模式的太阳能条件。

表 2 我国部分省区太阳能资源的分布^[9]

Table 2 Distribution of solar energy resource of various regions in China

地区分类 District classificati-on	年日照时数/h Annual sunshine hours	年太阳辐射总量/ (MJ·m ⁻² ·a ⁻¹) Annual total solar radiation	包括的地区 Region included
I	2 800~3 300	≥6 700	宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部、西藏西部 Northern Ningxia, northern Gansu, southeastern Xinjiang, western Qinghai, western Tibet
II	3 000~3 200	5 400~6 700	河北北部、山西北部、内蒙古和宁夏南部、甘肃中部、新疆南部、青海东部、西藏东南部 Northern Hebei, northern Shanxi, southern Inner Mongolia and Ningxia, central Gansu, southern Xinjiang, eastern Qinghai, south-east Tibet
III	2 200~3 000	4 200~5 400	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、福建南部、江苏和安徽的北部、北京 Shandong, Henan, southeast Hebei, southern Shanxi, northern Xin-jiang, Jilin, Liaoning, Yunnan, northern Shannxi, southeast Gansu, southern Fujian, northern Jiangsu and Anhui, Beijing
IV	1 400~2 200	<4 200	湖北、湖南、江西、浙江、广西、黑龙江、广东北部、陕西、江西和安徽三省南部 Hubei, Hunan, Jiangxi, Zhejiang, Guanxi, Heilongjiang, northern Guangdong; Southern Shaanxi, Jiangxi and Anhui

2 生物质资源

2.1 生物质资源与沼气的关系

沼气发酵除与适宜的温度有关外,还与发酵原料的种类和数量有关。沼气发酵需要充足的有机废弃物作为原料,在农村主要来源于人畜粪便、其他有机废水(如屠宰场废水、豆制品作坊废水)及部分农作物秸秆。这就要求与农业主导产业相配套,构建和形成能源—经济—生态良性循环系统,才能增强系统自身的可持续发展能力^[10]。因此,不以种植或猪、牛养殖业为主的农村地区,缺少沼气发酵原料,不宜作为沼气发展区域,如乡镇企业发展迅速的农村地区、以渔业和农产品流通经营为主要行业的农村地区及牧区等。

沼气发酵原料是沼气微生物赖以生存的物质基础,也是沼气微生物进行生命活动和产生沼气的营养物质。其按营养成分分为富氮原料和富碳原料。富氮原料通常指人、畜和家禽粪便^[11],不必预处理,容易厌氧分解,产气很快,发酵期较短。富碳原料通常指秸秆和秕壳等农作物的残余物^[11],这类原料富含纤维素、半纤维素、果胶以及难降解的木质素和植物蜡质,干物质含量较富氮粪便高,且质地疏松,比重小,进沼气池后容易飘浮形成发酵死区,发酵前需要预处理。富碳原料厌氧分解较富氮原料慢,产气周期较长。发酵原料的碳氮比不同,其发酵产气情况差异也很大。从营养学和代谢作用角度看,沼气发酵细菌消耗碳的速度较消耗氮的速度要快 25~

30 倍^[12]。因此,在其他条件都具备的情况下,碳氮比为(25~30):1,可以使沼气发酵在合适的速度下进行^[12]。因此,制取沼气不仅要有充足的原料,还应注意各种发酵原料碳氮比的合理搭配。

2.2 我国农村生物质资源的分析与评价

农村发酵沼气的生物质资源主要包括农作物秸秆和人畜粪便,以人畜粪便为主。

2.2.1 农作物秸秆 农作物秸秆资源量决定于农作物的产量及其品种结构;农作物秸秆资源量是按农作物产量进行推算的。

表 3 为 1999 年我国各地农作物秸秆资源的种类和产量^[13]。由表 3 可以看出,我国农作物秸秆资源主要集中在内地的粮食产区。山东、河南、河北、吉林和黑龙江年生物质总产量在 4 000 万 t 以上,是我国秸秆资源丰富的地区,可为沼气生产提供充足的富碳原料;江苏、四川、内蒙古、湖北、辽宁和安徽年生物质总产量 2 000 万~4 000 万 t,是我国秸秆资源较丰富地区,可为沼气生产提供较充足的富碳原料;广东、云南、甘肃、新疆、湖南、山西、江西、广西、陕西年生物质总产量 1 000 万~2 000 万 t,是我国秸秆资源可利用地区,可为沼气生产提供部分富碳发酵原料;浙江、北京、福建、海南、天津、宁夏、上海年生物质总产量在 1 000 万 t 以下,是我国秸秆资源贫乏地区,可为沼气生产提供少部分的富碳原料。

2.2.2 人畜粪便 人畜粪便资源量,是以人口数、禽畜存栏数、年平均排泄量为基础进行估算的。

表 3 1999 年我国部分地区主要农作物的生物质产量^[13]

Table 3 Biomass yield of main crops of various regions in China in 1999							万 t
地区 Region	水稻秆 Paddy	大豆秆 Soybean stalk	小麦秆 Wheat stem	油菜秆 Rapeseed	玉米芯 Corncob	棉花秆 Cotton stem	生物质总量 Bio-quality
北京 Beijing	8.3	3.8	132.1		245.2	0.5	389.9
河北 Hebei	61.8	114.0	1 712.4	8.3	2 374.4	81.1	4 352.0
内蒙古 Inner Mongolia	37.6	140.6	386.2	28.1	1 679.6	0.7	2 272.8
黑龙江 Helongjiang	576.8	666.9	389.6	6.4	2 399.4		4 039.1
上海 Shanghai	101.6	3.3	42.5	12.9	9.8	1.4	171.5
浙江 Zhejiang	752.5	33.9	83.6	64.3	29.8	19.5	983.6
福建 Fujian	454.0	30.9	21.0	3.8	19.8	0.1	529.6
山东 Shandong	86.5	205.2	2 765.5	7.2	3 107.2	123.8	6 295.4
湖北 Hubei	1 017.5	61.1	559.1	309.5	373.4	97.5	2 418.1
广东 Guangdong	1 005.6	26.1	7.0	2.0	119.6		1 160.3
海南 Hainan	101.2	2.2		225.2	10.4		339.0
云南 Yunnan	334.9	19.5	206.7	23.9	836.2	0.2	1 421.4
甘肃 Gansu	3.6	16.5	563.6	43.1	516.0	18.3	1 161.1
新疆 Xinjiang	35.1	16.4	623.7	24.6	549.6	420.0	1 669.4
天津 Tianjin	28.2	8.0	104.0		151.0	1.9	293.1
山西 Shanxi	2.5	52.5	438.4	2.6	952.2	16.8	1 465.0
辽宁 Liaoning	236.0	73.6	83.8	0.1	2 241.8	5.4	2 640.7
吉林 Jilin	240.2	110.7	14.5		3 849.4		4 214.8
江苏 Jiangsu	1 301.6	97.0	1 037.8	128.5	572.4	138.6	3 275.9
安徽 Anhui	866.1	133.6	818.4	164.8	453.0	87.0	2 522.9
江西 Jiangxi	888.2	43.8	12.6	95.6	17.4	22.8	1 080.4
河南 Henan	230.3	168.2	2 832.4	67.7	2 192.6	218.5	5 709.7
湖南 Hunan	1 460.9	56.2	35.1	189.2	164.2	57.7	1 963.3
广西 Guangxi	804.2	48.4	4.8	22.6	312.4	0.3	1 192.7
四川 Sichuan	1 024.0	38.0	821.1	109.5	1 246.2	30.5	3 269.3
陕西 Shaanxi	63.1	61.6	39.8	35.2	962.2	6.9	1 168.8
宁夏 Ningxia	39.2	5.7	128.1		199.9		372.9

由文献[14]数据做图 1。

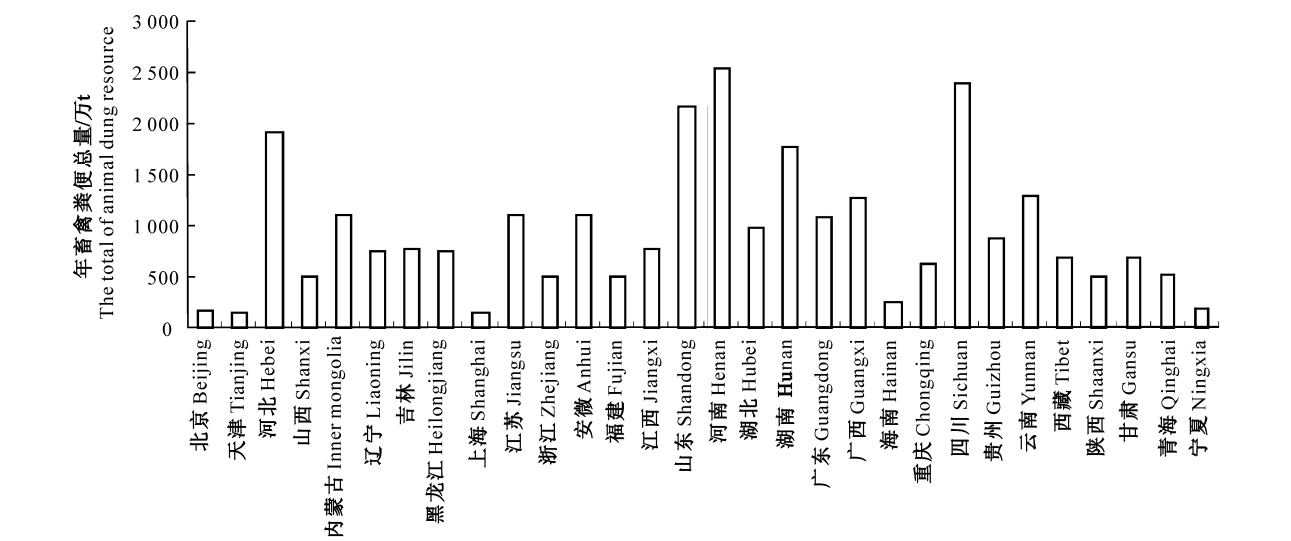


图 1 2001 年我国部分省市禽畜粪便资源分布

Fig. 1 Distribution of animal dung resources of various regions in China in 2001

从图 1 可以看出,河北、山东、河南、四川和湖南 5 省,是我国禽畜粪便资源量较大的省份,年禽畜粪便产量在 1 800 万 t 以上,其中河南省达到 2 500 万 t 以上,可为沼气生产提供充足的富氮发酵原料;山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、广东、广西、重庆、贵州、云南、西

藏、陕西、甘肃和青海等省年禽畜粪便产量 490 万～1 300 万 t,是我国禽畜粪便可利用地区,可为沼气生产提供较充足的富氮发酵原料;北京、天津、上海、海南和宁夏年禽畜粪便产量在 250 万 t 以下,除宁夏(区域面积小,人口少)外,其余 4 个地区是我国禽畜粪便贫乏区,不能为沼气生产提供充足的富氮发酵原料。若要在禽畜粪便贫乏地区发展沼气生产,就必须加大畜牧业的发展力度。

3 劳动力资源

3.1 劳动力资源与沼气的关系

劳动力资源,是指一个国家或地区中拥有劳动能力、可以从事社会劳动的人口的总和^[15]。它具有数量和素质两个方面的规定性。所以,判断某个区

域劳动力资源量的大小,不应只考虑其数量,还应考虑劳动力资源的平均素质。我国农村沼气的发展与农村劳动力素质有紧密关系,主要体现在以下 2 个方面:(1)民众文化水平偏低,对有一定科技含量的沼气利用及其管理技术接受能力有限,导致沼气池及其配件短期运行后即闲置,从而影响了沼气系统的持续使用;(2)沼气池的后期管理不仅仅是简单的维修,还要掌握沼气池综合利用技术等管理知识。

3.2 我国农村劳动力资源的分析与评价

农村沼气的发展与农村劳动力素质的关系密切,主要体现在劳动力的文化素质方面,因此,以我国各地 6 岁及以上人口受教育程度来评价我国农村劳动力素质。

表 4 2005 年我国部分省市 6 岁及以上人口受教育的程度^[16]

Table 4 Education degree of population aged 6 and over of China in 2005

地区 Region	6 岁及以上总 人口数 Population aged 6 and over	文盲半文盲/% Illterate	小学/% Primary	初中/% Junior school	高中/% Senior school	大专以上/% Collegeand high level
北京 Beijing	196 019	3.93	14.30	32.15	25.13	24.49
天津 Tianjin	132 069	5.00	21.87	37.94	21.11	14.08
河北 Hebei	846 198	6.90	30.06	46.27	12.04	4.73
山西 Shanxi	416 531	5.19	29.89	46.30	13.05	5.57
内蒙古 Inner mongolia	298 416	10.57	27.97	38.22	15.31	7.93
辽宁 Liaoning	532 275	4.80	27.28	45.87	13.72	8.34
吉林 Jilin	341 975	5.93	30.47	41.93	14.98	6.68
黑龙江 Heilongjiang	481 167	6.24	28.86	43.88	14.60	6.42
上海 Shanghai	227 240	5.50	15.86	35.87	24.92	17.84
江苏 Jiangsu	939 782	10.23	28.78	39.45	14.74	6.80
浙江 Zhejiang	610 761	1.17	35.84	34.84	12.14	5.42
安徽 Anhui	754 241	16.63	33.68	36.63	9.22	3.85
福建 Fujian	439 048	1.12	36.42	34.45	12.17	5.00
江西 Jiangxi	517 669	9.43	40.47	35.43	10.82	3.85
山东 Shandong	1 146 600	3.50	28.90	41.85	12.59	4.44
河南 Henan	1 148 451	8.86	28.50	47.00	11.41	4.22
湖北 Hubei	715 022	10.90	31.79	38.68	13.52	5.08
湖南 Hunan	777 739	8.10	33.78	39.68	13.97	4.49
广东 Guangdong	1 144 620	5.87	32.51	40.41	15.40	5.81
广西 Guangxi	564 039	8.10	39.80	38.19	9.95	4.00
海南 Hainan	101 346	8.63	30.90	40.66	14.37	5.45
重庆 Chongqing	348 166	10.77	42.30	32.80	10.21	4.63
四川 Sichuan	1 013 364	14.88	43.32	30.56	7.75	3.48
贵州 Guizhou	448 406	18.60	44.68	26.72	6.67	3.32
云南 Yunnan	537 098	17.98	47.63	24.71	6.30	3.37
西藏 Tibet	32 972	45.54	42.96	8.49	2.12	0.89
陕西 Shaanxi	465 541	9.52	31.21	38.98	14.12	6.17
甘肃 Gansu	320 059	18.48	37.05	28.99	11.21	4.26
青海 Qinghai	65 843	22.64	34.29	25.09	10.88	7.11
宁夏 Ningxia	71 782	16.17	33.46	31.67	11.89	6.82
新疆 Xinjiang	243 918	8.08	34.94	36.03	12.20	8.75

从表 4 可以看出,北京、天津、山西、辽宁、黑龙江、上海、山东等经济较发达省市,具有初中及以上

文化程度的人口占 6 岁及以上总人口的比例大于 65%，此区人口具有较好的受教育程度，可为发展农村沼气提供具有较高文化水平的劳动力资源；河北、吉林、浙江、福建、江西、河南、湖南、广东、广西、海南、陕西、新疆等地区，具有初中及以上文化程度的人口占 6 岁及以上总人口的比例在 50%~65%，此区人口的受教育程度比经济较发达地区略低，但仍能满足沼气发展所需的劳动力资源素质；西藏、青海、云南、内蒙古、江苏、安徽、湖北、重庆、四川、贵州、甘肃、宁夏等少数民族人口较多的地区，文盲半文盲人口占 6 岁及以上总人口的比例大于 10%，其中西藏高达 45.54%，青海次之，为 22.64%，此区人口受教育程度较低，高素质的劳动力资源较少。在进行沼气技术培训时，应根据不同区域农民的受教育程度，采取不同的培训方式和培训力度。

4 结论与讨论

影响我国农村户用沼气发展的资源主要包括气候资源(1.6 m 平均地温、年太阳辐射总量和年日照时数)、生物质资源(种类和数量)和劳动力资源(受教育程度)。其中气候资源是衡量是否满足沼气发酵温度的因素；生物质资源包括农作物秸秆资源和人畜粪便资源，且以人畜粪便资源为主，生物质资源的种类是满足发酵原料碳氮比合理搭配的因素，生物质资源的数量是衡量是否具有充足沼气发酵原料的因素；劳动力受教育程度是衡量沼气管理者是否具有高效使用、管理沼气池能力的因素，是影响沼气池能否安全、持续使用的关键。

经过对我国各地气候、生物质和劳动力资源的分析得出：(1)1.6 m 平均地温有 7~12 个月在 10℃以上的区域，是沼气发展气候适宜区；1.6 m 平均地温只有 6 个月在 10℃以上、且太阳能资源丰富(太阳能辐射总量在 5 000 MJ/(m²·年)以上，年日照时数在 2 800 h 以上)的区域，是沼气加温适宜区；1.6 m 平均地温少于 6 个月、且太阳能资源贫乏(太阳能辐射总量小于 4 200 MJ/(m²·年)，年日照时数小于 2 200 h)的区域，为沼气发展气候不适宜区。(2)河南、四川、山东、河北、湖南 5 省畜禽粪便资源丰富，北京、上海、天津和海南为畜禽粪便资源贫乏地区。(3)北京、天津、山西、辽宁、黑龙江、上海、山东等经济较发达区域的人口具有较高的受教育程度，西藏、青海、云南、内蒙古、江苏、安徽、湖北、四川、重庆、贵州、甘肃、宁夏等少数民族较多地区的人口受教育程度较低。

生物质资源不足的地区发展农村户用沼气，可以通过调整农业产业结构、加大畜牧业在农业中的比重，来满足对沼气发酵原料的需求；劳动力受教育程度低的地区发展农村户用沼气，可以通过加大对农民沼气技术培训的力度，来提高沼气用户使用、管理沼气池的能力。综合各因素认为，气候条件是农村户用沼气发展的制约因素。在气候资源适宜区，若生物质资源丰富、劳动力受教育程度高，则为沼气发展适宜区；在气候资源不适宜区即使生物质资源丰富、劳动力受教育程度高，仍为沼气发展不适宜区。

由于数据有限，本文对影响我国农村沼气发展的资源分析与评价较为粗略。影响我国农村沼气发展的气候、生物质和劳动力资源状况，还有待于进一步调查研究。

[参考文献]

[1] 张天柱. 中国清洁生产政策的研究与制定 [J]. 化工与环保, 2000, 20(4): 43-47.
Zhang T Z. Study and establish the policy of clean production in China [J]. Chemical Industry and Environmental Protection, 2000, 20(4): 43-47. (in Chinese)

[2] 中华人民共和国农业部. 中国农村能源年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
Compiled by National Ministry of Agriculture of China. China rural energy yearbook [M]. Beijing: China Agriculture press, 1998. (in Chinese)

[3] 盛 凯, 张衍林. 我国农村户用沼气建设可持续发展思考 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2007, 70(4): 50-52.
Sheng K, Zhang Y L. On sustainable development of the rural marsh gas construction in China [J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2007, 70(4): 50-52. (in Chinese)

[4] 马洪儒. 家用沼气池稳定产气的技术要点 [J]. 可再生能源, 2003, 108(2): 29-30.
Ma H R. Main technical points for household methane pool gas production [J]. Renewable Energy, 2003, 108(2): 29-30. (in Chinese)

[5] 钟贤烈. 农村沼气 [M]. 北京: 农业出版社, 1983.
Zhong X L. Rural biogas [M]. Beijing: Agriculture publishing-house, 1983. (in Chinese)

[6] 徐曾符. 沼气工艺学 [M]. 北京: 农业出版社, 1981.
Xu Z F. Biogas technology [M]. Beijing: Agriculture Publishinghouse, 1981. (in Chinese)

[7] 侯光良, 李继由, 张谊光. 中国农业气候资源 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1993: 188-189.
Hou G L, Li J Y, Zhang Y G. Agricultural climate resources in China [M]. Beijing: University of People's of China Press, 1993: 188-189. (in Chinese)

[8] 陈端生. 建温室必须考虑区域气候条件 [J]. 中国花卉园艺, 2001,13;8-9.

Chen D S. Regional climate conditions necessary for building greenhouse [J]. Chinese Flower Gardening, 2001, 13; 8-9. (in Chinese)

[9] 王荣光, 沈天行. 可再生能源利用与建筑节能 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004:42-43.

Wang R G, Sheng T X. The utilization of renewable energy and building energy saving [M]. Beijing: China Machine Press, 2004:42-43. (in Chinese)

[10] 邱 凌, 杨改河, 毕于运. 中国西部发展农村沼气的条件与对策研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2005,23(3):200-204.

Qiu L, Yang G H, Bi Y Y. Discussion on the conditions and countermeasures of developing marsh gas in rural areas of west China [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005,23(3):200-204. (in Chinese)

[11] 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, 2005:40-41.

Yao X J, Tian Y S. Biomass energy clean conversion and utilization technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:40-41. (in Chinese)

[12] 邱 凌. 人工制取沼气的条件 [J]. 农友, 2002(7):1-2.

Qiu L. The condition of producing artificial biogas [J]. Non-gyou, 2002(7):1-2. (in Chinese)

[13] 赵 军, 王述洋. 我国农业生物质资源与利用 [J]. 现代化农业, 2007,330(1):30-31.

Zhao J, Wang S Y. Agriculture biomass resources and utilization of China [J]. Modernizing Agriculture, 2007,330(1):30-31. (in Chinese)

[14] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙. 生物质能利用原理与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005:16-17.

Yuan Z H, Wu C Z, Ma L L. Biomass energy utilization principle and technologies [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:16-17. (in Chinese)

[15] 费胜章. 青海省农村劳动力资源质量分析 [J]. 社科纵横, 2007,22(4):1-2.

Fei S Z. Analysis on quality of rural labor force resources in Qinghai Province [J]. Social Sciences Review, 2007,22(4):1-2. (in Chinese)

[16] 中华人民共和国国家统计局. 2006 年中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006:106-107.

Compiled by National Bureau of Statistics of China. China statistical 2006 yearbook [M]. Beijing: China Statistical Press, 2006:106-107. (in Chinese)

(上接第 199 页)

[3] Anderson R T, Vronis H A, Ortiz-Bemad L, et al. Stimulating the *in situ* activity of *Geobacter* species to remove uranium from the groundwater of a uranium-contaminated aquifer [J]. Appl Environ Microbiol, 2003, 69:5884-5891.

[4] Finneran K T, Johnsen C V, Lovley D R. *Rhodoferrax ferrireducens* gen. nov., sp. nov., a psychrotolerant, facultatively anaerobic bacterium that oxidizes acetate with the reduction of Fe(Ⅲ) [J]. Int J Syst Evol Microbiol, 2003, 53:669-673.

[5] Kashefi K, Lovley D R. Extending the upper temperature limit for life [J]. Science, 2003, 301:934.

[6] Slobodkin A I, Reysenbach A L, Strutz N, et al. *Thermoterrabacterium ferrireducens* gen. nov., sp. Nov., a thermophilic anaerobic, dissimilatory Fe(Ⅲ)-reducing bacterium from a continental Hot Spring [J]. Int J Syst Bacteriol, 1997, 47: 541-547.

[7] Kieft T L, Fredrickson J K, Onstott T C, et al. Dissimilatory reduction of Fe(Ⅲ) and other electron acceptors by a *Thermus* Isolate [J]. Appl Environ Microbiol, 1999, 65:1214-1221.

[8] Roh Y, Liu S V, Li G, et al. Isolation and characterization of metal-reducing *Thermoanaerobacter* strains from deep subsurface environments of the Piceance Basin, Colorado [J]. Appl Environ Microbiol, 2002, 68:6013-6020.

[9] 孙丽蓉, 曲 东. 电子穿梭物质对异化 Fe(Ⅲ)还原过程的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4):192-198.

Sun L R, Qu D. Effects of electron shuttle on dissimilatory iron reduction in paddy soils [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2007, 35(4):192-198. (in Chinese)

[10] Schwertmann U, Cornll R M. Iron oxides in the laboratory, peroration [M]. Weinheir: Wiley-VCH Press, 1991.

[11] Schnell S, Ratering S. Simultaneous determination of iron(Ⅲ), iron(Ⅱ) and Manganese(Ⅱ) in environmental samples by ion chromatography [J]. Envir Sci Technol, 1998, 32:1530-1537.

[12] 曲 东, 王保莉. 邻氮二萘分光光度法同时测定水稻土中的 Fe(Ⅱ)和 Fe(Ⅲ) [J]. 西北农业大学学报, 1991, 19(1):85-88.

Qu D, Wang B L. Simultaneous determination of Fe(Ⅱ) and Fe(Ⅲ) by spectrophotometry with 1, 10-Phenanthroline in paddy soil [J]. Acta Universitatis Agriculturae Boreali Occidentalis, 1991, 19(1):85-88. (in Chinese)

[13] Abdollahi H, Nedwell D B. Seasonal temperature as a factor influencing bacterial sulfate reduction in a salt marsh sediment [J]. Microb Ecol, 1979, 5:73-79.

[14] Westermann P, Ahring B K. Dynamics of methane production, sulfate reduction, and denitrification in a permanently waterlogged alder swamp [J]. Appl Environ Microbiol, 1987, 53:2554-2559.