三江源区生物质资源沼气化利用潜力评价

崔卫芳^{1,2}, 谭春荐^{2,3}, 周继洲^{2,3}, 杨改河^{2,3}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 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;

3. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 分析和评价三江源区生物质能资源潜力, 是建设庭院生态经济模式的基础。通过构建模型的方法, 对三江源区的养殖业生产和牧区居民生活过程产生的畜禽粪便和人类粪尿等生物质能源潜力进行了估算, 分析结果表明, 仅2011年, 江河源区产生的牲畜粪便总量为5 819.31万t, 人的粪便总量为135.92万t, 合计5 955.23万t, 如果进行沼气化利用, 可产生沼气11.23~18.84亿m³, 相当于7.97~13.38亿kg的标准煤, 对三江源生态移民点和灾后恢复重建重点发展能源型庭院生态经济模式具有重要作用。

关键词: 三江源区; 生物质资源; 潜力评价

中图分类号: S210.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0156-05

The evaluation of the renewable resource potential in the source region of Yangtse river, Yellow river and Lantsang river

CUI Wei-fang^{1,2}, TAN Chun-jian^{2,3}, ZHOU Ji-zhou^{2,3}, YANG Gai-he^{2,3}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Shaanxi Province Circulating Agricultural Engineering Technology Research Center, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: It's the resource basis of building mode of courtyard economy to analyze and evaluate the biomass energy resource of the three-river fountainhead. The article estimate the biomass energy potential, such as livestock and poultry manure, human excreta and so on, which produced by the breeding production and the pastoral resident life process of the three-river fountainhead, it shows that just in 2011, the total livestock and poultry manure produced by the three-river fountainhead is $5\,819.31 \times 10^4$ t, the total human excreta is 135.92×10^4 t, add up to $5\,955.23 \times 10^4$ t. If carry on biogas utilization, it can produce $1.123 \times 10^8 \sim 1.884 \times 10^8$ m³ of biogas, which is equivalent to a standard of $7.97 \times 10^8 \sim 13.38 \times 10^8$ kg. It plays an important role in ecological settlements and area of post-disaster reconstruction of the three-river fountainhead developing mode of energy courtyard economy.

Keywords: the three-river fountainhead; the biomass energy resource; potential evaluation

全球气候变化是当前人类社会经济发展中面临的主要挑战, 其中化石能源在燃烧过程中产生的温室气体是导致全球气候变化的主要因素, 这已经达成了共识^[1-4]。应对全球气候变化是人类实现可持续发展的重要选择^[5]。国际社会通过巴西里约环境与发展大会、东京议定书、哥本哈根会议、多哈等一系列的会议与协议, 全面展开了政府间通过减少化石能源的燃烧和落实清洁能源政策合作, 以达到减排目标^[6-7]。中国作为世界上最大的发展中国家, 在应对全球气候变化的过程中承担着重要的责

任^[8-9], 大力发展太阳能、风能、生物质能等可再生能源成为中国在这一领域节能减排的最佳途径^[10-11]。沼气是中国在农户层面应对全球气候变化采取的主要措施, 也是推广范围最大、最成熟的生物质能模式^[12-13]。

区域沼气发展的潜力与该区域人口、生产方式等有直接的关系, 户用沼气是适宜于中国农村居民生活、生产采用的一种沼气发展模式, 也是消解农村居民生活和生产过程中产生废弃物的主要技术途径。客观分析和评价区域农业生产和生活过程中废

收稿日期: 2013-06-05

基金项目: 十一五科技支撑计划项目“三江源移民安置区可持续发展关键技术研究及示范”(2009BAC61B04)

作者简介: 崔卫芳(1974—), 女, 山西阳城人, 博士生, 主要从事生态农业方面的研究。E-mail: cuiwf@nwsuaf.edu.cn。

通信作者: 杨改河(1957—), 陕西耀县人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源与环境生态研究。E-mail: ygh@nwsuaf.edu.cn。

弃物的资源量及其转化沼气的潜力,对科学规划该区域沼气发展规模具有重要的实践意义。畜牧业是三江源区的主要生产方式和主要的人类活动,这一地区传统的生活能源为风干的牛粪,近年来通过定居才发展太阳能,牛粪直接燃烧仍然是该区域主要的生活能源方式,牛粪燃烧具有燃烧值较低、不卫生、容易传播疾病等缺点。本研究通过定量估算该区域生物质能的资源潜力,以期为该区域通过引进沼气发酵技术,为牧民提供清洁能源提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 试验地点及其基本情况

三江源区地处青藏高原腹地,是长江、黄河及澜沧江发源地^[14-15],是中国面积最大、海拔最高的天然湿地和生物多样性分布区以及生物物种形成、演化的中心之一,也是全球生态系统最脆弱的地区之一,对全球气候的变化最为敏感。20世纪80年代以来,由于自然和人类活动的双重作用,该区域草场和湿地生态系统的鼠害和沙化非常严重,成为全球生态学领域关注的焦点区域之一。2000年5月,在青海省政府和国家林业局等部门的努力下,建立了三江源省级自然保护区。2003年1月,国务院正式批准三江源自然保护区晋升为国家级自然保护区,成为我国面积最大,海拔最高的国家级自然保护区,并给予75亿元的生态建设资金的支持。生态移民作为该区域生态保护的重要措施,纳入到这一计划之中,并按照《青海三江源国家自然保护区生态保护

与建设的总体规划》实施方案开始实施^[16]。2010年4月14日,三江源核心区玉树州发生地震,加速了灾后恢复重建和生态移民工程点建设进度。

生态移民和灾后恢复重建工程的建设,改变了该区域以游牧为主传统经济模式,游牧变为定居,对牧民的生产技能、移民点经济模式和基础设施的建设提出了更高的要求,如何根据高原草地资源、太阳能资源和畜牧业发展特点,结合藏族的传统生产方式,发展移民搬迁点的经济,是当前移民工程能否成功的关键^[17]。

1.2 生物能源资源潜力评价方法

1.2.1 畜牧业畜禽粪便排放量估算模型 畜牧业生产中,畜禽粪便包括粪便和尿液两部分,根据观察和研究结果,某一特定地区畜禽年粪便、尿液排量^[18]可用下式计算:

$$Q_m = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_d + F_d \times l_j) \times 365 \quad (1)$$

式中, Q_m 为 m 地区畜牧业生产的年粪便排量(t); A_i 为第 i 类畜禽的数量(只、头、个); P_d 为第 i 类畜禽日排粪便量(kg),通过观测和统计可以得到, F_d 为第 i 种畜禽的日尿排放量(kg),通过观测和统计可以得到; l_j 为第 i 种畜禽尿的粪便转换系数,实验室分析可确定转换系数。

在长期的观测和统计中,基本得出了牛、羊等畜种某种体重标准的粪便排放参数^[19],见表1。尿液的粪便折算系数 $l_j = 0.2$ 。

表1 各类主要畜禽年粪便、尿排泄参数

Table 1 Parameters of the urine and feces discharged by all kinds of main livestock and poultry

畜禽种类 Livestock and poultry	体重 Weight /kg	日排粪量 Amount of feces excreted per day /(kg·d ⁻¹)	日排尿量 Amount of urine excreted per day /(kg·d ⁻¹)	年排粪量 Amount of feces excepted per year /(kg·a ⁻¹)	年排尿量 The amount of urine excepted per year /(kg·a ⁻¹)
牛 Cattle	500	30	30	10950	10950
马 Horse	500	10	15	3650	5475
猪 Pig	50	2	10	730	3650
羊 Sheep	15	1.5	2	547.5	730
鸡 Chicken	1.5	0.15	—	54.75	—

注:尿液的粪便转换系数 $l_j = 0.2$ 。

Note: the conversion coefficient between dung and urine is 0.2.

1.2.2 人粪尿的排放量估算模型 人粪尿的估算原理基本等同于前面畜牧业畜禽粪便的排放估算,即:

$$Q_h = \sum_{i=1}^n P_i \times (P_d + F_d \times l_j) \times 365 \quad (2)$$

式中, Q_h 为 h 地区年总人粪尿排放量(t); P_i 为第 i

地区人口数量; P_d 为第 i 类地区人日排粪便量(kg); F_d 为第 i 地区人日尿排放量(kg); l_j 为尿液与粪便转换系数。

经过长期的观测和统计,平均一个人每天排泄粪0.63 kg、尿1.27 kg,即每年每人排粪量229.95 kg、尿量463.55 kg。人尿TS(含固率)以0.4%计,即

转换系数为 0.4。

1.2.3 数据来源 青海省人口数量及牲畜结构的数据来自于青海省统计年鉴。

2 结果与分析

2.1 三江源区的人畜粪便资源量

2.1.1 2011 年三江源区畜牧业畜禽粪便排放量

以青海省 2011 年统计资料为依据,整理出了江河源区的黄南州、海南州、果洛州和玉树州的 21 县的 2011 年的牲畜数量(见表 2),可以计算出区域牲畜总头(只)数为 1 151.04 万,其中大牲畜占 31.56%,羊占 68.12%,猪占 0.32%。大家畜中的牛占 30.51%,马占 1.04%。即在江河源区的总家畜中,牛占 30.51%,马占 1.04%,羊占 68.12%(绵羊占

59.00%,山羊占 9.12%),猪占 0.32%。由此可以看出,青海省的牲畜结构是以牛羊为主的格局,其他牲畜的数量极少,牛羊之比近似 3:7。

表 2 江河源区 2011 年牲畜数量结构状况/(万头/匹/只)

Table 2 The composition of various livestock in TRSR in 2011

地区 Area	牛 Cattle	马 Horse	羊 Sheep	猪 Pig
黄南州 Huangnan	57.78	3.19	156.48	0.45
海南州 Hainan	68.69	3.54	433.31	3.23
果洛州 Guoluo	91.91	2.63	69.94	0.00
玉树州 Yushu	132.82	2.70	124.32	0.05
合计 Sum	351.20	12.06	784.05	3.73

根据公式(1),可以估算出 2011 年畜禽粪便的排放量,具体数值见表 3。

表 3 2011 年畜禽粪便年产量

Table 3 The amount of livestock's manure in 2011

地区 Area	牲畜种类 Category	头数 Amount /10 ⁴ 头	年排粪便量 Annual amount of feces/10 ⁴ t	年排尿 Annual amount of urine/10 ⁴ t	粪尿经折算后的粪便量 Annual amount sum of converted feces/10 ⁴ t	合计 Sum/10 ⁴ t
黄南州 Huangnan	牛 Cattle	57.78	632.69	632.69	759.23	1003.14
	马 Horse	3.19	11.64	17.47	15.14	
	羊 Sheep	156.48	114.23	571.15	228.46	
	猪 Pig	0.45	0.25	0.33	0.31	
海南州 Hainan	牛 Cattle	68.69	752.16	752.16	902.59	1554.26
	马 Horse	3.54	12.92	19.38	16.80	
	羊 Sheep	433.31	316.32	1581.58	632.63	
	猪 Pig	3.23	1.77	2.36	2.24	
果洛州 Guoluo	牛 Cattle	91.91	1006.41	1006.41	1207.70	1322.29
	马 Horse	2.63	9.60	14.40	12.48	
	羊 Sheep	69.94	51.06	255.28	102.11	
	猪 Pig	0.00	0.00	0.00	0.00	
玉树州 Yushu	牛 Cattle	132.82	1454.38	1454.38	1745.25	1939.62
	马 Horse	2.70	9.86	14.78	12.81	
	羊 Sheep	124.32	90.75	453.77	181.51	
	猪 Pig	0.05	0.03	0.04	0.03	

这样庞大的粪便产量,一方面,其处理需要投入大量的人力和资金,另一方面,由于粪便处理不及时,造成的环境污染问题越来越突出,尤其是农村和一些养殖厂处理的基础设施不倒位,建设滞后,畜禽粪便处理不当造成的水资源污染事件时有发生,导致其发展环境不断恶化,极大地影响了其生产、生活环境。同时,这些废弃物如果处理不当,不仅污染了环境,还是 SARS、禽流感等人、畜共患疾病传染的重要渠道。

2.1.2 三江源区人粪尿的排放量 江河源区是少

数民族聚集的地方,少数民族人口数量占总人口的 85%,其中以藏族为主,占了总人口的 62%左右。根据人口变动抽样调查资料推算,2011 年末,全省总人口 568.17 万人^[20]。江河源区的人粪尿资源估算为:人粪 130.65 万 t,人尿 263.38 万 t,人尿 TS 以 0.4%计,把 263.38 万 t 人尿折算为 TS 为 20%的人粪,即为 5.27 万 t 粪。江河源区每年的人排泄物总量为 135.92 万 t(TS = 20%)。

2.2 三江源区人畜粪便的沼气潜力分析

有关科研工作者在 80 年代初期,经过反复对猪

粪、牛粪、马粪、人粪等农村有机废弃物在 35℃ 条件下的产气特性的测定,确定了各种农业废弃物的沼气转换参数,详见表 4。

表 4 人畜粪便转换沼气参数/($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 4 The parameters of converting various manure into biogas

温度 Temperature	羊粪 Sheep manure	牛粪 Cattle manure	马粪 Horse manure	猪粪 Pig manure	鸡粪 Chicken manure	人粪 Human manure
35℃	0.36	0.30	0.34	0.42	0.49	0.49
20℃	0.214	0.18	0.20	0.25	0.29	0.26

2.2.1 畜禽粪便沼气资源潜力 根据表 3 和表 4 的参数,可计算出 2011 年江河源区畜禽粪便的沼气潜力(表 5)。其中牛粪在 35℃ 条件下的沼气潜力为 13.84 亿 m^3 ,在 20℃ 条件下的沼气潜力为 8.31 亿 m^3 ,在整个畜禽粪便沼气潜力中所占的比例最大;羊粪次之;猪粪的沼气潜力最小。从江河源区的羊群数量来看,羊应该是畜禽粪便的主要来源之一,但是其沼气潜力并不是很大,大约为 4 亿 m^3 。由于江河源区特殊的畜种结构,猪的养殖数量有限,因此沼气潜力也有限,仅为 0.01 亿 m^3 。

表 5 2011 年不同牲畜粪便的沼气潜力(亿 m^3)

Table 5 The biogas potential of manure for various livestock in 2011

牲畜粪便种类 Manure types	35℃ 沼气潜力 Biogas potential under 35℃	20℃ 沼气潜力 Biogas potential under 20℃
牛粪 Cattle manure	13.84	8.31
马粪 Horse manure	0.19	0.11
羊粪 Sheep manure	4.12	2.45
猪粪 Pig manure	0.01	0.01
合计 Sum	18.17	10.88

同时,由于青海省的牲畜养殖存在着地区差异,导致沼气资源潜力也出现了地区差异,具体见表 6。从表中我们可以看出,玉树州的沼气资源潜力最大,海南州次之,黄南州的沼气资源潜力最小。

表 6 江河源不同地区的沼气潜力(亿 m^3)

Table 6 Biogas potential in different cities in TRSR

地区 Area	35℃ 沼气潜力 Biogas potential under 35℃	20℃ 沼气潜力 Biogas potential under 20℃
黄南州 Huangnan	3.15	1.89
海南州 Hainan	5.05	3.02
果洛州 Guoluo	4.03	2.42
玉树州 Yushu	5.93	3.56

2.2.2 2011 年人粪尿的沼气化利用资源潜力 2011 年末,青海省全省总人口 568.17 万人。江河源

即粪便经 60 d 发酵,测定各种废弃物的产气量,表中 20℃ 的值是依据 35℃ 时的原料产气量的 60% 折算的。

区的人粪便资源估算为:人粪 130.65 万 t,人尿 263.38 万 t,人尿 TS 以 0.4% 计,把 263.38 万 t 人尿折算为 TS 为 20% 的人粪,即为 5.27t 粪。江河源区每年的人排泄物总量为 135.92 万 t(TS = 20%),在 35℃ 条件下的沼气潜力为 0.67 亿 m^3 ,在 20℃ 条件下的沼气潜力为 0.35 亿 m^3 。

2.2.3 人畜粪便沼气化利用潜力分析 根据燃烧测算,每立方米的沼气的燃烧值相当于 0.71 kg 的标准煤。在 35℃ 条件下,2011 年江河源区畜禽粪便的沼气潜力为 18.17 亿 m^3 ,相当于 12.90 亿 kg 的标准煤;人粪尿沼气化资源潜力为 0.67 亿 m^3 ,相当于 0.48 亿 kg 的标准煤;合计为 18.84 亿 m^3 ,相当于 13.38 亿 kg 的标准煤。在 20℃ 条件下,江河源区畜禽粪便的沼气潜力为 10.88 亿 m^3 ,相当于 7.72 亿 kg 的标准煤;人粪尿沼气化资源潜力为 0.35 亿 m^3 ,相当于 0.25 亿 kg 的标准煤;合计为 11.23 亿 m^3 ,相当于 7.97 亿 kg 的标准煤。

3 结论与讨论

3.1 结论

该区域具有丰富的可再生资源,根据模型计算可知,仅 2011 年一年,三江源区产生的牲畜粪便总量为 5 819.31 万 t,其沼气潜力为 10.88 ~ 18.17 亿 m^3 ;人的粪便总量为 135.92 万 t,可产生沼气 0.35 ~ 0.67 亿 m^3 。根据燃烧测算,每立方米的沼气的燃烧值相当于 0.71 kg 的标准煤,2011 年江河源区人畜粪便的沼气潜力为 11.23 ~ 18.84 亿 m^3 ,相当于 7.97 ~ 13.38 亿 kg 的标准煤^[21]。通过本研究可以得出,三江源区拥有丰富的农业、生活废弃物资源,其沼气化潜力十分巨大,但是充分考虑到三江源地区的自然、气候、社会、经济、人文、习惯等条件,如何发挥这些废弃物资源的潜力还面临着很多问题。

3.2 讨论

1) 三江源地区沼气高效厌氧发酵的技术问题 三江源区平均气温介于 -5.4℃ ~ 4.1℃ 之间,是青藏

高原气温最低的地区之一,而沼气厌氧最佳发酵温度在 25℃~50℃之间,从温度上来看,这一区域属于不适宜发展区。如何通过技术途径解决这一问题,实现该区域沼气高效厌氧发酵,对高寒地区沼气发酵技术提出了挑战。目前已有项目针对低温发酵开展了对低温菌的筛选研究^[22],但是大部分温度仍然在 10℃~20℃之间,适应区域也以中国北方地区为主。而且,为了保证这一技术在冬春季温度较低的时间也能够正运行,基本上采用增温措施,主要的增温措施为太阳能暖棚,采用该措施在冬季 0~15℃也能够正常产气。这些研究为寻求生物质能源最佳利用方法和工艺铺垫了基础,有利于三江源区废弃物沼气化利用过程中高效厌氧发酵关键技术问题的解决。目前,结合太阳能暖棚进行沼气厌氧发酵是该地区最有效的技术手段之一,研发更加先进的太阳能暖棚并且有机地与沼气发酵结合是该地区发展生物质能沼气化利用新工艺的可行之路。

2) 高寒地区生物质厌氧发酵和太阳能辅助技术模式 青藏高原是中国太阳能最丰富的地区之一^[23],主要利用模式为太阳能小型光伏发电、太阳能热水、太阳灶等,以满足牧民一家一户游牧生活方式为主,在移民点定居之后,可以考虑将中国北方的太阳能取暖-沼气-温室大棚(菜)-厕所等庭院经济模式有机结合起来,可以有效解决这一地区农户的家庭用能、家庭卫生问题,发展庭院养殖和种植,实现高寒地区生态庭院经济目标。

参 考 文 献:

- [1] Aaheim A, Amundsen H, Dokken T, et al. Impacts and adaptation to climate change in European economies [J]. *Global Environmental Change*, 2012,22(4):959-968.
- [2] Hewitt C, Mason S, Walland D. The global framework for climate services [J]. *Nature Climate Change*, 2012,2(12):831-832.
- [3] Chu S, Majumdar A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future [J]. *Nature*, 2012,488:294-303.
- [4] Feng Y, Guo Y, Yang G, Qin X, et al. Household biogas development in rural China: On policy support and other macro sustainable conditions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012,16:5617-5624.
- [5] De Leo G A, Rizzi L, Caizzi A, et al. Carbon emissions: The economic benefits of the Kyoto Protocol [J]. *Nature*, 2001,413:478-479.
- [6] Joeri Rogelj David L, McCollum Brian C, O'Neill, et al. Emissions levels required to limit warming to below 2°C [J]. *Nature Climate Change*, 2013,3(3):405-412.
- [7] York R. Asymmetric effects of economic growth and decline on CO₂ Emissions [J]. *Nature Climate Change*, 2012,2(11):762-764.
- [8] Gurney K R. China at the carbon crossroads [J]. *Nature*, 2012,458:977-979.
- [9] Marland G. Emissions accounting: China's uncertain CO₂ emissions [J]. *Nature Climate Change*, 2012,2(9):645-646.
- [10] Yan X Y, Oliver R, David A. Biofuels and synthetic fuels in the US and China: A review of Well-to-Wheel energy use and greenhouse gas emissions with the impact of land-use change [J]. *Energy & Environmental Science*, 2010,3(2):190-197.
- [11] Yuan J, Hou Y, Xu M. China's 2020 carbon intensity target: Consistency, implementations, and policy implications [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012,16:4970-4981.
- [12] Chen Y, Yang G H, Sweeney S, et al. Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010,14:545-549.
- [13] Feng Y Z, Guo Y, Yang G H, et al. Household biogas development in rural China: On policy support and other macro sustainable conditions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012,16:5617-5624.
- [14] 冯永忠,杨改河,杨世琦,等. 江河源区地域界定研究 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004,(1):14-17.
- [15] 冯永忠,朱芬萌,王得祥,等. 江河源区生态地理区划 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004,(2):4-7.
- [16] 青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划 [EB/OL]. 工程咨询网; www.cnaec.com.cn/default.aspx.
- [17] 冯永忠,杨世琦,任广鑫,等. 双重背景下发展沼气产业的机遇和挑战 [J]. *中国沼气*, 2005,(3):33-34,43.
- [18] 张海成,张婷婷,郭燕,等. 中国农业废弃物沼气化资源潜力评价 [J]. *干旱地区农业研究*, 2012,30(6):194-199.
- [19] 张无敌,刘士清,周斌,等. 我国农村有机废弃物资源及沼气潜力 [J]. *自然资源*, 1997,(1):67-80.
- [20] 青海省统计局. 2012 青海统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [21] Zeng M, Li C, Zhou L. Progress and prospective on the police system of renewable energy in China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013,20:36-44.
- [22] 樊丽,徐龙君,王辉. 微量元素对牛粪低温厌氧发酵的影响 [J]. *环境工程学报*, 2012,6(8):2809-2812.
- [23] Fang Y, Wei Y. Climate change adaptation on the Qinghai Tibetan Plateau: The importance of solar energy utilization for rural household [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013,18:508-518.