

户用沼气产气量估算及能源经济效益

汤云川¹, 张卫峰^{1*}, 马林², 张福锁¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001)

摘要:该文利用能值潜力估算动物数据库 (ABEPE) 的模型理念, 并结合实地调查数据, 探索了 2007 年中国农村户用沼气池产气量的估算方法, 在此基础上对比分析了沼气池建设前后, 农户家庭能源消费结构、能源经济支出和生态环境的差异。结果显示: 2007 年中国农村户用沼气的年均产气量达到 450 m³, 年均正常产气时间仅为 9 个月; 生猪的饲养规模与产气量呈极显著的正相关关系; 沼气农户与无沼气农户人均能耗差异显著, 沼气在家庭生活能源消费的比例达到 18%, 提供了 40% 的人均有效热, 替代了 15% 左右的商品能源; 使用沼气后, 人均能耗折合标煤 419.56 kg, 比使用前下降了 16% 左右, 节省能源开支 2%; 通过使用沼气, 农户可创造 559~938 元的经济价值, 节约林地 0.314 hm²。由此可见, 发展沼气具有显著的能源、经济、生态效益。

关键词: 沼气, 能源利用, 产气量, 经济分析

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.03.048

中图分类号: S216.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-03-0281-08

汤云川, 张卫峰, 马林, 等. 户用沼气产气量估算及能源经济效益[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 281-288.

Tang Yunchuan, Zhang Weifeng, Ma Lin, et al. Estimation of biogas production and effect of biogas construction on energy economy[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 281-288. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国是世界第二大能源生产国和消费国, 拥有众多的农村人口, 农村家庭能源消费占国家一次能源消费的六分之一以上^[1]。现阶段中国农村仍以秸秆和薪柴等传统生物质能为主要燃料, 2005 年占生活用能总量的 53.94%^[2]。面对人口、资源、环境的挑战, 寻求一条可持续发展的能源发展之路, 解决农村能源问题并把农村地区的能源需求纳入整个国家能源整体规划是非常必要的^[3]。中国农业部近年来采用政府补贴的方式在广大农村地区推行实施生态家园富民计划, 其重要内容是建设以农村户用沼气池为纽带的各类能源生态模式^[4]。沼气作为一种可再生能源, 对补充农村地区生活用能, 调整家庭能源结构和消费水平, 解决中国农村能源匮乏问题具有重要意义。据测算, 1 m³ 的沼气燃烧产生的热量约为 20 930~25 120 kJ^[5], 但实际生产中能产生和利用多少, 以及产生什么影响值得研究。因此确定农户的沼气产量成为衡量沼气能值的关键。本文以 2007 年调查数据为基础, 以能量守恒为原则, 探索中国户用沼气池沼气产生量的估算方法, 以此确定农户的沼气产量, 在此基础上分析 2007

年沼气在家庭能源消费结构、能源经济支出和生态环境方面的实际效果, 为农村沼气工程的建设提供参考。

1 研究背景

1.1 数据获取

2008 年 1-3 月在全国不同气候带和五大沼气发展区域, 选择 13 个县进行了沼气专题调研, 调查地点均为沼气建设国债项目县, 地跨 12 个省 (自治区)。调研地点分别为: 西南地区 (A. 四川西昌、B. 广西百色); 西北地区 (C. 陕西合阳、D. 陕西泾阳、E. 新疆哈密、F. 甘肃临泽); 东南丘陵区 (G. 湖南龙山、H. 江西吉安); 黄淮海地区 (I. 河北冀州、J. 河南项城); 东部地区 (K. 山东临沂、L. 江苏射阳、M. 浙江海宁), 以 NB 代表无沼气农户, B 代表沼气农户。每一个地点选择 15 个沼气农户, 并在同村或邻村选择 15 个种植结构、养殖规模、家庭结构类似的非沼气农户作为对照, 总共回收有效样本: 沼气农户 176 户, 非沼气农户 174 户。此次调研的地点很好地代表了中国主要沼气发展区域的现状。各调查地区的基本情况如下 (表 1)。

1.2 户均产气量的估算方法

确定户用沼气池产气量的高低是衡量沼气效益的关键, 国外对产气量的核算方法展开了大量研究, 获得了多种农业废弃物产气量的基础参数^[6-10], 而中国未见有此类核算的报道, 户均沼气产量多来自统计年鉴, 这给评判中国户用沼气的效益带来了困难。能值潜力估算动物数据库 (animals data base for energy potential estimation, ABEPE) 模型为农户沼气产量的测算提供了依据, 得到了多国研究人员的认可^[11]。希腊研究人员 F.A. Batzias 等人于 2003 年提出了 ABEPE 模型, 用以计算希腊全境表 1

收稿日期: 2009-06-27 修订日期: 2009-11-26

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助 (2009CB118608); 公益性行业科研专题 (200803030); 中国农业大学科研启动基金 (2008010); 创新群体基金 (No. 30821003)

作者简介: 汤云川 (1984-), 男, 四川西昌人, 主要从事新能源高效利用研究。北京 中国农业大学资源与环境学院植物营养系, 100193。

Email: tindric@163.com

*通信作者: 张卫峰 (1978-), 男, 甘肃正宁人, 博士, 副教授, 主要从事化肥产业相关竞争力、资源、环境效益研究。北京 中国农业大学资源与环境学院植物营养系, 100193。Email: wfzhang@126.com

2007年调查地区家庭基本情况

Table 1 The basic situation of family in different areas in 2007

调查地区	户年均收入/元	户均劳动力	户均秸秆收获量/t	户猪的饲养量	户牛的饲养量*	人均耕地/nm ²
四川西昌	16 000	2.1	2.2	4	—	0.11
广西百色	6 667	2.5	13.1	1*	1	0.08
陕西合阳	18 100	2.5	3.3	1	—	0.19
陕西泾阳	10 370	2.5	4.4	—	1	0.17
新疆哈密	29 500	2.4	4.8	1	1	0.78
甘肃临泽	25 600	2.4	7.6	—	5	0.31
湖南龙山	34 500	3.4	2.8	4	—	0.07
江西吉安	11 366	2.6	4.9	4	—	0.24
河北冀州	19 333	2.4	14.4	2	1	0.29
河南项城	25 214	3.5	4.4	8	—	0.13
山东临沂	25 470	2.4	3.6	5	—	0.19
江苏射阳	28 800	2.8	6.6	—	4	0.26
浙江海宁	37 867	3.2	1.6	16	—	0.06
平均	22 214	2.7	9.0	4	1	0.22

注：*表示广西百色地区以饲养马为主，该统计数为马的饲养量。

沼气产量，该模型以各类农业废弃资源（秸秆、粪尿资源）的干物质质量与产气因子为出发点，估算相应物质的产气量，最终将各类物质的产气量相加就得到希腊全国的沼气产量。经过近几年的发展，该模型理念已经成熟。本研究基于该模型的计算方法，对中国农户2007年的户均沼气产量进行了估算。

公式如下

$$DM_i = R_i \times P_i \times DM_{if} \quad (1)$$

式中： DM_i ——农户家庭每年投入沼气池的第*i*种物质的干物质质量，kg； R_i ——第*i*种物质每年的产生质量，kg或t； P_i ——第*i*种物质投入沼气池的比例； DM_{if} ——单位质量的第*i*种物质中的干物质质量分数系数，无量纲。

$$B_i = DM_i \times Fac_i \quad (2)$$

式中： B_i ——第*i*种物质的理论产气量，m³； Fac_i ——第*i*种物质单位质量的干物质的产气因子（在35℃的条件下测定），m³/kg。

最终可得到 B_o ，

$$B_o = \sum_i B_i \quad (3)$$

式中 B_o ——农户家庭每年的理论产气量（35℃条件下），m³/a。

据报道，沼气发酵存在2个高峰期：1个温度介于30~40℃；另1个介于50~60℃^[12]。农村家用沼气池多采用低温发酵（也叫常温发酵或自然发酵），温度一般为8~25℃^[13]。沼气发酵温度的高低，对产气速率影响也很大。如果在35℃时产气速率为1，则在25℃时下降为0.89，20℃时下降为0.80，15℃仅有0.63左右^[14]。沼气池内温度与地温接近，池深不同略有差异，埋藏2.0m左右深度的沼气池，池内温度与1.6m地温接近^[15]。因此本研究选用各地1.6m处平均地温来代表沼气池内的温度（该地温数据来自各地气象部门，按研究需要，将各地1.6m地温归为35℃、25℃、20℃、15℃4个档次），在此基础上对

ABEPE模型进行了修正。修正后的产气量计算如下：

$$B_u = B_o \times T_{in} \times L \quad (4)$$

式中： B_u ——修正后的产气量，m³/a； T_{in} ——1.6m地温为*T*℃下的相对产气速率因子，无量纲^[16]； L ——每年沼气池正常产气时间，0~1a（由农户随机调查协助完成）。 B_i 的各类计算参数如表2所示。

表2 理论产气量(B_i)的计算参数Table 2 Calculation parameters for theoretical gas production (B_i)

原料种类	每头牲畜粪尿排泄量/(t·a ⁻¹)	干物质质量分数系数 DM_{if}	入池率 P_i %	产气因子 Fac_i /(m ³ ·kg ⁻¹)
猪粪尿	1.0500	0.15	98	0.42 ^[21]
奶牛粪尿	19.4000	0.10	65	0.19 ^[21]
役用牛粪尿	10.1000	0.16	20	0.30 ^[22]
肉牛粪尿	7.7000	0.16	36	0.30 ^[9]
绵羊粪尿	0.8700	0.37	20	0.04 ^[23-27]
山羊粪尿	0.8700	0.37	5	0.04 ^[23-27]
马粪尿	5.9000	0.27	82	0.02 ^[23-27]
驴粪尿	5.0000	0.22	16	0.35 ^[23-27]
骡粪尿	5.0000	0.27	70	0.35 ^[23-27]
蛋鸡粪尿	0.0530	0.48	38	0.50 ^[22]
肉鸡粪尿	0.0055	0.65	38	0.12 ^[23-27]
鸭粪尿	0.0390	0.50	80	0.12 ^[23-27]
鹅粪尿	0.0390	0.38	30	0.12 ^[23-27]
人粪尿	0.6900	0.10	100	0.43 ^[22]
水稻秸秆	根据籽粒收获量	0.36	2.13	0.40 ^[22]
小麦秸秆	与相应经济系数	0.56	1.35	0.45 ^[22]
玉米秸秆	计算所得	0.31	2.59	0.50 ^[22]

注：粪尿排泄量数据来源于文献[17-19]；干物质质量分数系数数据来源于文献[20]。

1.3 家庭能源消费结构的特征指标

通过对农户沼气池年产气量的估算，为确定沼气的能源价值提供了科学的评判依据。本研究在此基础上，评估了沼气建设对能源消费结构的影响和经济效益的变化。在总结前人研究的基础上，本文认为将家庭能源消费终端细分为炊事、照明、热水、取暖等项目没有现实意义，并且实施准确调查的可能性不大，因此采用人均能耗、人均有效热、人均电力、有效热中商品能比例组成家庭能源消费的特征评判指标^[28]。人均能耗系人均消费各种能源折合千克标准煤的总和，能较好地反映能源消费水平区域总体特征；人均有效热系人均使用各种能源所获有效能总和，它反映了家庭炊事、热水、饲养及冬季取暖所获有效热消费水平（秸秆、薪柴灶的热转换效率为19%，煤炭为25%，液化气、沼气为60%）；人均电力是反映生活水平的指标；有效热中商品能比例可以反映消费需求的质量方面的变化。

人均能耗的计算方法

$$NC = \sum_i (C_i \times CP_i \times FS_i) / N \quad (5)$$

式中： NC ——农户家庭人均能耗（折标准煤），kg； C_i ——家庭第*i*种物质的实物质量，kg； CP_i ——第*i*种物质做生活燃料的比例，%； FS_i ——第*i*种物质的折标准煤系数； N ——家庭人口数。

各物质的热值见表3所示。

表3 各种物质的能源参数

Table 3 Calculation parameters for various energy substances

物质种类	作生活燃料(沼气农户)%	作生活燃料(无沼气农户)%	热值/(kJ·kg ⁻¹)	折标煤系数/(kg·kg ⁻¹)
水稻秸秆	5.93	47.31	12 564	0.429
小麦秸秆	13.56	13.18	14 766	0.504
玉米秸秆	4.22	12.54	15 494	0.529
棉花秸秆	17.67	11.24	14 979	0.543
花生秸秆	7.20	—	15 033	0.513
红薯秸秆	4.34	—	14 753	0.504
谷子秸秆	10.50	19.09	14 858	0.507
甘蔗秸	0	0.00	14 645	0.500
油菜秸秆	65.45	100	14 245	0.486
大豆秸秆	61.43	63.86	15 904	0.543
蚕豆秸秆	33.33	90.00	13 983	0.480
大麦秸秆	22.96	—	14 224	0.486
煤炭	100	100	20 908	0.7143
电力	100	100	9 782 kJ/kW·h ^a	0.334 kW·h ⁻¹
液化气	100	100	50 179	1.7143
薪柴	100	100	16 726	0.571
沼气	100	—	20 921	0.7143

数据来源：文献[29]、[30]；电力按2007年等价值计算，1 kW·h=0.334 kg^[31]。

2 结果与分析

2.1 户均产气量的估算

通过上文介绍的方法，本研究对中国户用沼气产气量做出了估算。结果如表4所示：各地的户均理论产气量 B_0 达到690 m³/a，在考虑当地1.6 m地温和周年持续产气时间的情况下，对理论产气量进行了修正，整体样本中沼气农户修正产气量户均达到了450 m³/a，周年正常产气时间仅为9个月左右。其中属于南方地区的调查地修正产气量平均为571 m³/a，属于北方地区的调查地修正产气量平均为354 m³/a。

从表4可以看出，粪尿产气量占总产气量的体积分数达到95%，而秸秆只占5%左右，这说明粪尿资源是中国农村最为重要的沼气发酵原料。从某种意义上讲，养殖规模的大小决定了农户沼气产气量的高低。产气量最高的浙江海宁与产气量最低的广西百色就是最好的例证：浙江海宁户均猪的饲养量达到16头，粪尿入池率高达98%；而广西百色户均养猪1头，养马1匹，牲畜粪尿产生量偏少，尽管发酵温度高，但可供发酵的粪尿资源量受到限制，难以维持高水平的产气量。

表4 2007年沼气农户户均沼气产量

Table 4 Average biogas yields of biogas family in 2007

地区	粪便产气量/(m ³ ·a ⁻¹)	秸秆产气量/(m ³ ·a ⁻¹)	理论产气量 B_0 /(m ³ ·a ⁻¹)	1.6 m处地温/℃	相对产气速率因子 T_{in}	正常产气时间 L/a	修正产气量 B_a /(m ³ ·a ⁻¹)
四川西昌	753	—	753	25	0.89	0.84	560
广西百色	197	—	197	35	1	0.95	186
陕西合阳	480	—	480	20	0.8	0.59	228
陕西泾阳	485	134	619	20	0.8	0.67	330
新疆哈密	448	—	448	15	0.63	0.46	130
甘肃临泽	364	—	364	15	0.63	0.59	136
湖南龙山	905	—	905	25	0.89	0.92	744
江西吉安	480	124	605	25	0.89	0.81	436
河北冀州	731	168	899	20	0.8	0.78	562
河南项城	602	—	602	20	0.8	0.71	341
山东临沂	1 102	—	1 102	20	0.8	0.85	752
江苏射阳	359	—	359	25	0.89	0.52	165
浙江海宁	1 500	—	1 500	25	0.89	1.00	1 335
平均(体积分数/%)	657 (95%)	33 (5%)	690 (100%)	22	0.84	0.75	450

近年来有相关文献报道农户养殖规模的大小和牲畜种类的差异，在很大程度上决定了可供发酵的原料量，进而决定了产气量的大小^[32]。混合养殖是中国养殖的基本特征，即在一个农民家庭内既养牛，又养猪，还养鸡鸭。如果结合粪尿的入池率，每年单位数量的猪、牛、人类粪尿的产气量可以用图1表示。可以看出一头奶牛1 a产生的粪尿在考虑入池率的情况下产气量最高，达到239.59 m³，肉牛和役用牛次之，猪和人粪尿分别可产气64.83 m³和29.67 m³（其余的动物粪尿如蛋鸡、肉鸡、鸭、鹅的产气量较少，在此不作分析）。因此，农户沼气池年产气量在很大程度上是由牛、猪的饲养规模，以及家庭人口数量决定的。

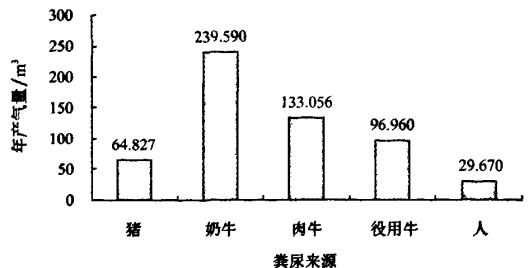


图1 各类粪尿的年产气量

Fig.1 Annual biogas yields of various excretions

本文以家庭修正产气量为因变量，猪、牛的饲养规

模、家庭人口数量为自变量,用 SPSS12.0 进行了相关性分析。如表 5 所示:农户家庭沼气的年产气量与猪的饲养数量呈极显著的正相关性 ($P=0.00 < 0.01$),与牛的饲养数量呈显著的负相关性 ($0.01 < P=0.045 < 0.05$),而与家庭人口数的相关性不显著 ($P=0.188$)。这说明猪的养殖规模决定了家庭沼气池的年产气量。

表 5 沼气产量影响因素的相关性分析

Table 5 Interrelationship coefficients of influent factors for biogas yields

	猪的饲养数	牛的饲养数	人口数	样本量
沼气产量 (Person 相关系数)	0.952**	-0.152*	1.000	174
两尾检验概率 (P)	0.000	0.045	0.188	

注:在 5% 的显著水平下检验。

2.2 沼气池建设对家庭能源消费的影响

通过上文的方法,表 6 给出了 2007 年两类农户人均能源消费情况:样本总量中,除河北冀州、新疆哈密、浙江海宁外,其余地区沼气农户人均能耗均低于当地无沼气农户。通过对样本总体进行加权平均后,沼气农户的家庭人均能源消费折合标煤 419.56 kg,低于无沼气农户 501.18kg 标煤的消费量。

本研究对两类农户家庭人均能耗做了独立样本 T 检验,见表 7 和表 8。经过独立样本 T 检验, $F=0.22$, 方差相等概率为 0.882, 因为 $P>0.05$, 因此选择方差相等的一行结果来进行分析。在方差相等一行内, 双尾概率 $P=0.042 < 0.05$, 因此可以认为沼气农户和无沼气农户家庭人均能源消费是有统计学意义的, 即两类农户家庭人均能耗具有显著差异, 建有沼气池的家庭人均能源消费折合标煤比没有建沼气池的家庭大约低 81.62 kg, 人均能耗比值为 0.837 (419.56/501.18), 这说明建设沼气池后,

在满足有效能需求的情况下,节约了更多的低热值燃料,沼气农户人均只消耗了无沼气农户人均 84%左右的能源。

表 6 2007 年各调查地区两类农户人均能源消费(折合标煤)

Table 6 Per capita rural household energy consumption between two types of family in investigated regions in 2007

地区	无沼气农户			沼气农户				kg
	传统生物质能	商品能源	总计	传统生物质能	商品能源	沼气	总计	
四川西昌	76.66	281.37	358.04	11.47	62.70	70.16	144.34	
广西百色	328.80	57.45	386.25	166.48	30.96	30.27	227.71	
陕西合阳	25.18	311.12	336.31	5.18	209.82	37.80	252.79	
陕西泾阳	220.91	223.57	444.48	85.99	130.16	52.17	268.32	
新疆哈密	53.65	509.23	562.88	184.62	553.29	26.03	763.94	
甘肃临泽	43.91	442.32	486.22	38.41	348.19	27.22	413.83	
湖南龙山	102.85	446.38	549.23	41.48	250.51	119.00	410.99	
江西吉安	555.02	602.81	1157.83	0	140.12	87.00	227.12	
河北冀州	849.02	371.70	1220.73	917.35	245.22	82.40	1244.98	
河南项城	168.03	326.13	494.16	35.70	59.47	55.17	150.33	
山东临沂	103.86	370.28	474.14	71.75	110.47	159.82	342.04	
江苏射阳	26.45	392.27	418.72	40.59	295.13	27.29	363.01	
浙江海宁	82.76	108.93	191.69	42.56	87.78	219.56	349.91	
样本总体 加权平均	178.14	323.03	501.18	137.88	204.55	77.12	419.56	

表 7 独立样本 T 检验计算所得统计量Table 7 Group statistics of T -test

农户类型	平均值	标准差	标准误差	样本量	
人均 能耗	沼气农户	419.56	383.92	28.94	176
	无沼气农户	501.18	365.24	27.69	174

表 8 独立样本 T 检验计算结果Table 8 Results of T -test for Independent samples

		方差相等的 Levene 检验				均数相等检验				
		F	方差相等概率	t	自由度	双尾检验概率	均数之差	均数差标准误	95%置信区间	
									下限	上限
人均能耗	方差相等	0.22	0.882	-2.037	348	0.042	-81.62	40.06	-160.42	-2.83
	方差不等			-2.038	347	0.042	-81.62	40.05	-160.40	-2.84

注:在 5% 的显著水平下检验。

在家庭能源消费结构中(图 2),调查地区 2007 年沼气农户人均薪柴和秸秆消费量折合标煤分别是 14.89 kg 和 122.99 kg, 占人均总能耗的 4%和 29%;无沼气农户人均薪柴和秸秆消费量折合标煤分别是 28.34 kg 和 149.80 kg, 占人均总能耗的 6%和 30%。煤炭消费比例在两类农户家庭中均最高,但消费数量差异显著。2007 年沼气农户人均煤炭消费量折合标煤 162.03 kg, 而无沼气农户高达 265.62 kg, 分别占到人均总能耗的 39%和 53%。沼气的人均消费量折合标煤达到 77.12 kg, 占沼气农户人均总能耗的 18%, 显示出了较高的能源价值。

综上所述,2007 年沼气农户与无沼气农户家庭能源

消费结构存在着显著差异。沼气农户传统生物质能与商品能的消费比例分别是 33%和 49%, 而无沼气农户分别是 36%和 64%。可见两类农户在传统生物质能的利用上有一定的差异,但生物质能并没有完全被替代,这是由于沼气使用的特点,受温度、原料、管理措施的影响,在换料期间和冬季产气量不足的季节,沼气农户需要用部分薪柴和秸秆作为补充,因此没有对传统生物质能起到明显的替代作用。这也和近年来能源品种正逐步向商品化、优质化方向发展,煤炭在家庭能源消费中的比例呈逐年上升的趋势有关。但无沼气农户的煤炭消费量明显高于沼气农户,而沼气的消费量达到了 18%左右,这

说明沼气更大程度上替代了商品能, 其中主要是煤炭, 由此使得沼气农户商品能的消费比例下降了 15%左右, 家庭人均能耗下降了近 16%。

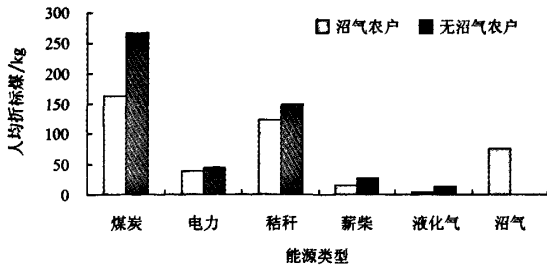


图 2 2007 年两类农户人均能源消费构成 (折合标煤)
Fig.2 Rural household energy consumption per capita in 2007

表 9 给出了 2007 年两类农户人均有效热的消费结构 (折合标煤), 结果反映出两类农户的人均有效热没有显著差异, 沼气农户为 114.8 kg, 无沼气农户为 107.7 kg, 沼气提供了 46.3 kg 的有效热, 占人均有效热总量的 40% 左右。两类农户煤炭提供的人均有效热却有明显不同, 因此在满足基本有效热的情况下, 沼气燃烧提供的有效热替代了大量煤炭所提供的有效热, 使得沼气农户的有效热维持在一定水平。建设沼气池以后, 使得沼气农户有效热中的商品能比例明显下降, 节省了能源开支; 其他能源提供的有效热在沼气池建设以后基本保持不变。这说明沼气是一种效率很高的能源, 可以降低人均能耗总量, 但不下降人均有效热和能源品质。

表 9 2007 年两类农户人均有效热消费品种构成 (折合标煤)
Table 9 Household effective energy consumption per capita by energies between two types of family in 2007

燃料类型	沼气户	无沼气户
秸秆	23.4(20%)	28.5(26%)
薪柴	2.8(3%)	5.4(5%)
沼气	46.3(40%)	—
液化气	1.8(2%)	7.5(7%)
煤炭	40.5(35%)	66.4(62%)
总计	114.8(100%)	107.7(100%)

2.3 户用沼气池的效益分析

1) 经济效益

沼气使用带来的经济效益分为直接经济效益和间接经济效益: 直接经济效益主要是沼气的燃料效益, 可采用替代等量燃料的价值进行计算; 而沼气的间接经济效益往往难以计算^[33]。本文只针对沼气池建设的直接经济效益做出评估。表 10 展示了 2007 年两类农户家庭能源现金支出的情况。

可以看出 2007 年沼气农户家庭能源支出、人均能耗支出水平明显低于无沼气户, 家庭能源支出占家庭收入的比例沼气户为 2.8%, 低于无沼气户的 5.1%。在液化气价格高昂的情况下, 无沼气农户大多转而选择价格低廉的煤炭作为生活用能, 这也是沼气主要替代煤炭的重要

原因。

表 10 2007 年两类农户家庭能源支出情况
Table 10 State of energy spending of two types of families in 2007

农户类型	人均能耗支出/元	家庭能源支出/元	能源支出占家庭收入比例/%
沼气农户	165.2	688.5	2.8
无沼气农户	290.6	1099.1	5.1

按照上文沼气农户年均产气量为 450 m³ 的计算结果, 根据调查数据, 用沼气替代等量有效热的液化气计算 (液化气价格为 5.0 元/kg), 沼气农户年产沼气的经济价值为 938 元; 如果使用沼气获得等量有效热的煤炭替代计算 (煤炭价格为 0.5 元/kg), 沼气农户年产沼气的经济价值为 559 元。

2) 生态效益

8 m³ 的沼气池年产沼气 450 m³, 如果用这些沼气全部代替薪柴燃烧, 则可以替代 1.78 t 薪柴 (考虑了热效率)。中国实材堆积体积质量为 1.57 t/m³^[34], 近年来中国有林地的林木平均年生长率为 3.61 m³/hm², 则一口沼气池的年产气量替代薪柴燃烧, 相当于节约林地 0.314 hm², 具有巨大的生态效益。

3 讨论

1) 户均产气量的计算方法

本研究运用 ABEPE 模型理念, 结合国外农业废弃物产气量的试验基础参数, 并参考国内沼气生产的技术规范, 初步确定了中国户用沼气理论产气量的计算方法。该计算方法的主要参数由干物质质量分数系数和单位质量干物质的产气因子构成。干物质质量分数系数主要参照了《中国有机肥料养分数据集》, 因此符合中国国情; 而单位质量干物质的产气因子多采用国外试验参数, 在某些细节、微观方面可能与中国实际情况有所不同, 因此, 这给参数带来一定程度的不确定性。

2) 理论产气量与修正产气量的差异及其影响因素

各地的理论产气量均大于修正产气量, 这是因为理论产气量的干物质产气因子是在 35℃ 的试验条件下测出, 属于中温发酵, 产气量处于较理想的状态。而中国农村沼气池大多为常温发酵, 周年平均池温均低于 35℃, 因此在计算时引入了调查地区当地 1.6 m 地温的相对产气速率因子的概念, 产气量自然达不到实验条件的理想数量; 而且农户沼气池普遍没有采取加温措施, 沼气池很难在低温条件下连续产气, 周年平均连续产气时间累计只有 9~10 月左右, 因此经过修正, 实际产气量低于理论产气量。郝先荣报道中国南方产气量可达到 500 m³ 以上, 北方只能达到 300 m³ 左右^[35]。本文的结果与该报道基本符合。

影响沼气产气量的因素很多, 如温度、C/N、pH 值、氧气含量、接种物类型、发酵液浓度等^[36], 但其中对产气量最大的限制因素是温度和农户养殖规模^[37], 农户养殖规模的大小和牲畜种类的差异在很大程度上决定了可

用于发酵的原料量^[38]。本文研究结果显示猪的饲养规模决定了沼气的产气量,因此与上述报道相符合。

3) 沼气的能源替代作用

以往相关文献中都提到建设沼气池后,主要替代的是常规能源品种,如秸秆、薪柴等^[39-40]。但在现阶段,通过本次调查,沼气主要替代的是商品能源,特别是煤炭。建设沼气池后,在满足人均有效热的前提下,显著降低了商品能的消费比例,有关报道中也证实建设沼气池后商品能的消费比例下降了20%左右^[41]。因此与本文的研究结果类似。

4 结论与建议

本文在实地调查的基础上,利用 ABEPE 模型的理念估算了 2007 年中国农村户用沼气产气量,并在此基础上对比研究了沼气农户与无沼气农户在家庭能源消费、能源支出等方面的差异。通过修正,中国户用沼气的年均产气量可达 450 m³;在各类原料中,家庭粪尿资源是最主要的沼气发酵原料,家庭牲畜的养殖规模在很大程度上决定了沼气池的年产气量,其中生猪的饲养数量与产气量呈极显著的正相关关系。温度也是产气量的重要限制因素,调查地区的平均池温为 22℃,相对产气速率因子为 0.84,平均持续产气时间仅为 9 个月左右,在一定程度上限制了产气量的大小。

调查结果显示,沼气农户与无沼气农户在家庭人均能耗方面存在显著差异,使用沼气后人均能耗下降了 16%。在人均能耗消费结构中,无沼气农户的商品能比重达到 64%,而沼气农户仅为 49%;传统能源的消费数量和比例没有明显不同。沼气主要替代的是煤炭,并且提供了 18%的生活用能和 40%的人均有效热。在稳定人均有效热的同时,沼气的的应用使得沼气农户人均有效热中的商品能耗比例明显下降,节省了家庭能源开支。按照等量有效热的计算方式,户均年产沼气 450 m³,如果全部用于替代液化气和煤炭,分别可创造经济价值 938 和 559 元。

综上所述,沼气建设具有显著的能源替代作用,但中国农村户用沼气在现有的技术条件下,周年产气时间较短;一些地区养殖规模小,难以维持正常的产气量。为巩固和保持沼气的能源效益,本文建议:

第一,保证一定的养殖规模,确保有充足的发酵原料。

第二,对沼气池采取增温措施,延长正常产气时间。如在沼气池周围开设切断地温传导的防寒沟,在沼气池顶部用抗冻材料(秸秆、石棉等)设置防寒层以提高发酵温度。在有条件的地方修建大棚沼气,如四位一体模式,并利用低温沼气发酵菌提高沼气池产气率。

【参 考 文 献】

[1] 王效华,冯祯民.中国农村家庭能源消费研究:消费水平与影响因素[J].农业工程学报,2001,17(5):88-91.
Wang Xiaohua, Feng Zhenmin. Study on rural household

energy consumption in China: Consumption level and affecting factors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 88-91. (in Chinese with English abstract)

- [2] 田宜水.社会主义新农村建设过程中的能源供应问题[J].农业工程学报,2006,22(1):25-27.
Tian Yishui. Preliminary study on the utilization of renewable energy in the construction of new socialist countryside in China[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 25-27. (in Chinese with English abstract)
- [3] 王效华,冯祯民.中国农村家庭能源消费的回顾与展望[J].农业机械学报,2002,33(3):125-128.
Wang Xiaohua, Feng Zhenmin. Retrospection and expectation on energy consumptions of rural households in China[J]. Transactions of the CSAM, 2002, 33(3): 125-128. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王飞,王革华.“四位一体”户用沼气工程建设对农民种植行为影响的计量经济学分析[J].农业工程学报,2006,22(3):116-120.
Wang Fei, Wang Gehua. Econometric analysis of the impacts of “Four in one” household biogas construction on farmers’ planting behaviors[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(3): 116-120. (in Chinese with English abstract)
- [5] 宋洪川.农村沼气实用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [6] Alastair J W, Phil J H, Peter J H, et al. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 7928-7940.
- [7] Prasad K, Lars E, Irimi A. Optimisation of biogas production from manure through serial digestion Lab-scale and pilot-scale studies[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(2): 701-709.
- [8] Rene A, Gunnar L. Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production[J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(3): 527-533.
- [9] Hashimoto A G, Varel V H, Chen Y R. Ultimate methane yield from beef cattle manure: effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age[J]. Agricultural Wastes, 1981, 3(4): 241-256.
- [10] Thomas A, Barbara A, Vitaliy Kryvoruchko, et al. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(17): 3204-3212.
- [11] Batzias F A, Sidiras D K, Spyrou E k. Evaluating livestock manures for biogas production: A GIS based method[J]. Renewable Energy, 2005, 30(8): 1161-1176.
- [12] 白莉,石岩,乔子姝.我国北方农村沼气冬季使用技术研究[J].中国沼气,2008,26(1):37-41.
Bai Li, Shi yan, Qiao Zishu. Digester heating and insulation technology for biogas utilization in winter of North China[J]. China Biogas, 2008, 26(1): 37-41. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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 Hongru. The main technical points of stable gas-producing for household biogas digester [J]. *Renewable Energy*, 2003, 108(2): 29—30. (in Chinese with English abstract)
- [14] 周孟津, 张榕林. 沼气实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [15] 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.
- [16] 中国气象局. 中国地面累年值数据集(1991-2000年)[DB/OL]. http://cdc.cma.gov.cn/shuju/index3.jsp?dsid=SUR_F_CLI_CHN_MUL_MYER_19912000&pageid=3.
- [17] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 1—80.
- [18] ASAE Standards 2000; D384.1 FEB03, Manure production and characteristics[S].
- [19] Barker J C, Hodges S C, Walls F R. Livestock manure production rates and nutrient content[C]//College of Agriculture and Life Sciences North Carolina State University. North Carolina agricultural chemicals manual—Chapter X: fertilizer use. Raleigh: NC State University Press, 2002.
- [20] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分数据集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999: 1—156.
- [21] Møller H B, Sommer S G, Ahring B K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 26(5): 485—495.
- [22] GB 9958-1988, 农村家用沼气发酵工艺规程[S].
- [23] Information and Advisory Service on Appropriate Technology. Biogas digest[M]. Eschborn: German agency for technical cooperation Press, 2000.
- [24] Kaygusuz K, Turker M F. Biomass energy potential in Turkey[J]. *Renewable Energy*, 2002, 26(4): 661—678.
- [25] Klass D L. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals[M]. San Diego: Academic Press, 1998.
- [26] Chongrak P. Organic waste recycling (2nd edition.)[M]. New York: Wiley Press, 1996.
- [27] Ramachandra T V, Joshi N V, Subramanian D K. Present and prospective role of bioenergy in regional energy system[J]. *Renewable Sustainable Energy Rev*, 2000, 4(4): 375—430.
- [28] 王效华, 王正宽, 冯桢民. 中国小康农村家庭能源消费基本特征及其评价指标体系研究[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(2): 97—100.
Wang Xiaohua, Wang Zhengkuan, Feng Zhenmin. General features and its appraised index system on comparatively well-off rural household energy consumption in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2000, 16(2): 97—100. (in Chinese with English abstract)
- [29] 牛若峰, 刘天福. 农业技术经济手册(修订本)[M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [30] 王庆一. 能源词典[M]. 北京: 中国石化出版社, 2005.
- [31] 中国经济网. 快讯: 2007年全国发电标准煤耗334克/千瓦时[EB/OL]. http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/200804/22/t20080422_15234256.shtml, 2008-04-22.
- [32] FAO. Livestock's Long Shadow—Environmental Issues and Options[R]. Italy Rome: Food and Agriculture Organization Press, 2006.
- [33] 王效华. 中国农村家庭能源消费现状与发展[J]. *南京农业大学学报*, 1994, 17(3): 134—141.
Wang Xiaohua. Situation and development of rural household energy consumption in China[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1994, 17(3): 134—141. (in Chinese with English abstract)
- [34] 毕于运. 我国农村户用沼气建设适宜性远景分析及“十一五”建设规划[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [35] 郝先荣, 沈丰菊. 户用沼气池综合效益评价方法[J]. *可再生能源*, 2006, (2): 4—6.
Hao Xianrong, Shen Fengju. Evaluation on the composite benefit of household biogas digesters[J]. *Renewable Energy*, 2006, 2: 4—6. (in Chinese with English abstract)
- [36] 张全国. 沼气技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [37] 北京土木建筑学会, 北京科智成市政设计咨询有限公司. 新农村建设生物质能利用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [38] Chambers B J, Smith K A, Pain B F. Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures[J]. *Soil Use and Management*, 2000, 16(Suppl): 157—161.
- [39] 王效华, 张希成, 刘连滩, 等. 户用沼气池对农村家庭能源消费的影响: 以江苏省涟水县为例[J]. *太阳能学报*, 2005, 26(3): 419—422.
Wang Xiaohua, Zhang Xicheng, Liu Lianwei, et al. Infection on rural household energy consumption by household biogas digesters: A case on Lianshui county in China[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2005, 26(3): 419—422. (in Chinese with English abstract)
- [40] 王效华, 狄崇兰, 胡晓燕, 等. 户用沼气池对农村家庭能源消费及其经济效益的影响: 江苏涟水与安徽贵池对比研究[J]. *中国沼气*, 2006, 24(4): 46—49.
Wang Xiaohua, Di Chonglan, Hu Xiaoyan, et al. Effect on rural household energy consumption and its economic benefit by household biogas digesters: comparing between Lianshui County and Guichi County in China[J]. *China Biogas*, 2006, 24(4): 46—49. (in Chinese with English abstract)
- [41] 陆慧, 刘浩华. 有沼气池农户与无沼气池农户家庭能源消费结构比较与发展趋势研究[J]. *中国沼气*, 2006, 2(3): 91—96.
Lu Hui, Liu Haohua. Energy consumption structure of rural family with and without biogas digester and developing tendency[J]. *China Biogas*, 2006, 2(3): 91—96. (in Chinese with English abstract)

Estimation of biogas production and effect of biogas construction on energy economy

Tang Yunchuan¹, Zhang Weifeng^{1*}, Ma Lin², Zhang Fusuo¹

(1. *College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;*

2. *College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China*)

Abstract: Animals data base for energy potential estimation (ABEPE) model and farmer survey data were used in this study to investigate the estimation of Chinese rural household biogas production. On this basis, the biogas yield, family energy consumption, economic profit, and environment profit were compared between biogas household and non biogas household. The results showed that the average biogas yield of Chinese rural household was 450 m³, under 9 months normal working period annually. There was a very significantly positive correlation between size of pigs and biogas yield. Energy consumption per capita was significantly different between biogas farmers and no-biogas farmers. Biogas contributed 18% to household energy consumption, but provided 40% effective heat per capita. The employed biogas digester substituted 15% of the commercial energy used in rural household, especially coal. With biogas facility, energy consumption per capita was only 419.56 kg of standard coal equivalent, which was 16% lower than non-biogas family, and could decrease the total energy payment by 2%. 559-938 yuan would be created from biogas facility annually, and 0.314 hm² woodland could be protected after biogas used. So, great profit can be got from energy saving and less commercial energy consumption when biogas facility is used.

Key words: biogas, energy utilization, gas yield, economy analysis

户用沼气产气量估算及能源经济效益

作者: [汤云川](#), [张卫峰](#), [马林](#), [张福锁](#), [Tang Yunchuan](#), [Zhang Weifeng](#), [Ma Lin](#),
[Zhang Fusuo](#)

作者单位: [汤云川, 张卫峰, 张福锁, Tang Yunchuan, Zhang Weifeng, Zhang Fusuo\(中国农业大学资源与环境学院, 北京, 100193\)](#), [马林, Ma Lin\(河北农业大学资源与环境学院, 保定, 071001\)](#)

刊名: [农业工程学报](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING](#)

年, 卷(期): 2010, 26(3)

被引用次数: 10次

参考文献(41条)

1. [王效华;冯祯民](#) [中国农村家庭能源消费研究:消费水平与影响因素](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2001(05)
2. [田宣水](#) [社会主义新农村建设过程中的能源供应问题](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2006(01)
3. [王效华;冯祯民](#) [中国农村家庭能源消费的回顾与展望](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2002(03)
4. [王飞;王革华](#) [“四位一体”户用沼气工程建设对农民种植行为影响的计量经济学分析](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2006(03)
5. [宋洪川](#) [农村沼气实用技术](#) 2007
6. [Alastair J W;Phil J H;Peter J H](#) [Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources](#) [外文期刊] 2008(17)
7. [Prasad K;Lars E;Irin A](#) [Optimisation of biogas production from manure through serial digestion Lab-scale and pilot-scale studies](#)[外文期刊] 2009(02)
8. [Rene A;Gunnar L](#) [Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure for improved methane production](#) 2009(03)
9. [Hashimoto A G;Varel V H;Chen Y R](#) [Ultimate methane yield from beef cattle manure:effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age](#) 1981(04)
10. [Thomas A;Barbara A;Vitaliy Kryvoruchko](#) [Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations](#)[外文期刊] 2007(17)
11. [Batziar F A;Sidiras D K;Spyrou E k](#) [Evaluating livestock manures for biogas production:A GIS based method](#)[外文期刊] 2005(08)
12. [白莉;石岩;乔子姝](#) [我国北方农村沼气冬季使用技术研究](#)[期刊论文]-[中国沼气](#) 2008(01)
13. [马洪儒](#) [家用沼气池稳定产气的技术要点](#)[期刊论文]-[可再生能源](#) 2003(02)
14. [周孟津;张榕林](#) [沼气实用技术](#) 2004
15. [侯光良;李继由;张谊光](#) [中国农业气候资源](#) 1993
16. [中国气象局](#) [中国地面累年年值数据集\(1991-2000年\)](#)
17. [全国农业技术推广服务中心](#) [中国有机肥料养分志](#) 1999
18. [ASAE Standards 2000; D384.1 FEB03](#), [Manure production and characteristics](#)
19. [Barker J C;Hodges S C;Walls F R](#) [Livestock manure production rates and nutrient content](#) 2002
20. [全国农业技术推广服务中心](#) [中国有机肥料养分数据集](#) 1999
21. [M\(Φ\)ller H B;Sommer S G;Ahring B K](#) [Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure](#)[外文期刊] 2004(05)
22. [GB 9958-1988](#), [农村家用沼气发酵工艺规程](#) 1988

23. [Information and Advisory Service on Appropriate Technology. Biogas digest](#) 2000
24. [Kaygusuz K;Turker M F Biomass energy potential in Turkey](#)[外文期刊] 2002(04)
25. [Klass D L Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals](#) 1998
26. [Chongrak P Organic waste recycling](#) 1996
27. [Ramachandra T V;Joshi N V;Subramanian D K Present and prospective role of bioenergy in regional energy system](#)[外文期刊] 2000(04)
28. [王效华;王正宽;冯祯民 中国小康农村家庭能源消费基本特征及其评价指标体系研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2000(02)
29. [牛若峰;刘天福 农业技术经济手册\(修订本\)](#) 1984
30. [王庆一 能源词典](#) 2005
31. [中国经济网 快讯:2007年全国发电标准煤耗334克/千瓦时](#) 2008
32. [FAO Livestock's Long Shadow-Environmental Issues and Options](#) 2006
33. [王效华 中国农村家庭能源消费现状与发展](#) 1994(03)
34. [毕于运 我国农村户用沼气建设适宜性远景分析及“十一五”建设规划](#) 2005
35. [郝先荣;沈丰菊 户用沼气池综合效益评价方法](#)[期刊论文]-[可再生能源](#) 2006(02)
36. [张全国 沼气技术及其应用](#) 2005
37. [北京土木建筑学会;北京科智成市政设计咨询有限公司 新农村建设生物质能利用](#) 2008
38. [Chambers B J;Smith K A;Pain B F Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures](#) 2000(zk)
39. [王效华;张希成;刘涟潍 户用沼气池对农村家庭能源消费的影响:以江苏省涟水县为例](#)[期刊论文]-[太阳能学报](#) 2005(03)
40. [王效华;狄崇兰;胡晓燕 户用沼气池对农村家庭能源消费及其经济效益的影响:江苏涟水与安徽贵池对比研究](#)[期刊论文]-[中国沼气](#) 2006(04)
41. [陆慧;刘浩华 有沼气池农户与无沼气池农户家庭能源消费结构比较与发展趋势研究](#)[期刊论文]-[中国沼气](#) 2006(03)

本文读者也读过(10条)

1. [汤云川. 张卫峰. 张福锁. 马文奇. Tang Yunchuan. Zhang Weifeng. Zhang Fusuo. Ma Wenqi 户用沼气工程发展对农田养分流动的影响](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2009, 25(8)
2. [程序. 梁近光. 郑恒受. 朱万斌. Cheng Xu. Liang Jinguan. Zheng Hengshou. Zhu Wanbing 中国“产业沼气”的开发及其应用前景](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2010, 26(5)
3. [何荣玉. 袁月祥. 闫志英. 刘晓风. 廖银章. 李旭东. 常影. He Rongyu. Yuan Yuexiang. Yan Zhiying. Liu Xiaofeng. Liao Yinzhang. Li Xudong. Chang Ying 提高沼气产量的外源添加物筛选研究](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008, 24(10)
4. [蒲小东. 邓良伟. 尹勇. 宋立. 王智勇. Pu Xiaodong. Deng Liangwei. Yin Yong. Song Li. Wang Zhiyong 大中型沼气工程不同加热方式的经济效益分析](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2010, 26(7)
5. [陈豫. 杨改河. 冯永忠. 任广鑫. 李轶冰. Chen Yu. Yang Gaihe. Feng Yongzhong. Ren Guangxin. Li Yibing 沼气生态农业模式综合评价](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#)2010, 26(2)
6. [白洁瑞. 李轶冰. 郭欧燕. 杨改河. 任广鑫. 冯永忠. 李勇. Bai Jierui. Li Yibing. Guo Ouyan. Yang Gaihe. Ren Guangxin. Feng Yongzhong. Li Yong 不同温度条件粪料结构配比及尿素、纤维素酶对沼气产量的影响](#)[期刊论文]-

7. 张培栋, 王刚, Zhang Peidong, Wang Gang 中国农村户用沼气工程建设对减排CO₂、SO₂的贡献—分析与预测[期刊论文]-农业工程学报2005, 21(12)
8. 陈豫, 杨改河, 冯永忠, 任广鑫, Chen Yu, Yang Gaihe, Feng Yongzhong, Ren Guangxin “三位一体”沼气生态模式区域适宜性评价指标体系[期刊论文]-农业工程学报2009, 25(3)
9. 陈小华, 朱洪光, Chen Xiaohua, Zhu Hongguang 农作物秸秆产沼气研究进展与展望[期刊论文]-农业工程学报2007, 23(3)
10. 贾晓菁, 贾仁安, 王翠霞, JIA Xiao-jing, JIA Ren-an, WANG Cui-xia 自然人造复合系统的开发原理与途径——以区域大中型沼气能源工程系统开发为例[期刊论文]-系统工程理论与实践2010, 30(2)

引证文献(11条)

1. 刘戈, 尤涛 我国农村户用沼气的区域适宜性评价[期刊论文]-安徽农业科学 2012(28)
2. 刘学银, 苗晓杰 京山县农村沼气建设现状、问题及对策建议[期刊论文]-安徽农学通报 2014(18)
3. 何沙, 陈东升, 杨乾, 徐国良, 宋利贞, 范娜娜, 何松阳 户用沼气服务体系优化建设研究[期刊论文]-可再生能源 2011(2)
4. 李鹏, 彭舜磊 “四位一体”沼气的生态经济效益分析研究——以河南平顶山市沼气工程为例[期刊论文]-江西农业学报 2013(2)
5. 张明泉, 杨乾, 徐国良, 宋书贵, 陈东升 服务体系对农村户用沼气综合效益的影响度论证[期刊论文]-中国沼气 2011(4)
6. 黄秀东, 徐秀丽 低碳能源项目在实施中的农户行为逻辑[期刊论文]-安徽农业科学 2011(22)
7. 黄建伟, 陈良正 云南省农村人畜粪便资源沼气产气量及其效益评估[期刊论文]-西南农业学报 2012(5)
8. 朱立志, 赵鱼 沼气的减排效果和农户采纳行为影响因素分析[期刊论文]-中国人口·资源与环境 2012(4)
9. 裴海林, 邢向欣 农业有机废弃物对农村环境的影响及沼气化的作用[期刊论文]-农业与技术 2012(5)
10. 陈豫, 胡伟, 杨改河, 张培栋 农村户用沼气发酵原料产气潜力及区划研究[期刊论文]-水土保持研究 2012(5)
11. 王飞, 蔡亚庆, 仇焕广 中国沼气发展的现状、驱动及制约因素分析[期刊论文]-农业工程学报 2012(1)

引用本文格式: 汤云川, 张卫峰, 马林, 张福锁, Tang Yunchuan, Zhang Weifeng, Ma Lin, Zhang Fusuo 户用沼气产气量估算及能源经济效益[期刊论文]-农业工程学报 2010(3)