

DOI: 10.5846/stxb201608201707

林惠花, 徐凌星, 陈志强, 陈志彪, 李东晔. 福建欠发达山区沼气运营特征及生态效应. 生态学报, 2017, 37(1): 305-312.

Lin H H, Xu L X, Chen Z Q, Chen Z B, Li D Y. Biogas operation characteristics and its ecological effects in different typical modes of the underdeveloped mountainous area in Fujian Province. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(1): 305-312.

福建欠发达山区沼气运营特征及生态效应

林惠花^{1,2,*}, 徐凌星¹, 陈志强^{1,2}, 陈志彪^{1,2}, 李东晔¹

1 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007

2 福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007

摘要:在问卷调查获取福建欠发达山区 6 种典型沼气运营模式基础上, 分别应用能值分析法、温室气体减排量计算及成本效益分析法, 比较 6 种模式沼气运营系统的能值投入与产出结构、系统功能和生态效应差异。结果显示: (1) 在系统结构上, 集中供气型主要利用不可再生购买能值的大量投入, 取得高效的生产效率和经济效益, 而自建自用型则以可再生购买能值的大量投入, 对自然资源利用率高, 环境负荷小; 在系统性能上, 因净能值产出率和能值交换率高, 集中供气型比自建自用型的系统可持续发展性能更佳, 其中销售型尤其突出。 (2) 在生态效益上, 以养殖为主的集中供气型和纯养殖型的温室气体减排效应非常突出, 而传统种养型、特色种植型和半工半农型的减排作用不明显。 (3) 在政府补贴下的财务特征上, 集中供气型及纯养殖型虽有高效的生态效益但不符合农户财务投资标准; 相反, 特色种植型与半工半农型则因系统的低生态效益而不能满足政府补贴的社会经济预期, 经济预期, 仅传统种养型农户完全满足社会经济角度与农户角度的投资标准。针对养殖规模化发展趋势和欠发达山区能源利用现状, 对沼气工程正确运营模式的选择提出相应的建议。

关键词:沼气运营; 生态效应; 生计模式; 欠发达山区; 福建省

Biogas operation characteristics and its ecological effects in different typical modes of the underdeveloped mountainous area in Fujian Province

LIN Huihua^{1,2,*}, XU Lingxing¹, CHEN Zhiqiang^{1,2}, CHENG Zhibiao^{1,2}, LI Dongye¹

1 College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 State Key Laboratory of Subtropical Mountain Ecology (Founded by Ministry of Science and Technology and Fujian Province), Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: Biogas is an important renewable energy in underdeveloped mountainous areas. Through questionnaire surveys of biogas users in the underdeveloped mountainous areas in Fujian Province, six typical modes of the biogas operation system were determined, namely, the biogas welfare-supply mode, commodity-producer mode, characteristic-planting mode, working and farming combination mode, traditional farming and breeding mode, and professional-breeding mode. Among these, the first two belong to the supply type, whereas the later four are the self-sufficient type. In this study, based on the energy theory, we used the energy indexes analysis system. The six typical modes were first studied to determine differences in their input and output composition, system performance, and system sustainable development ability. Next, by calculating the emission reduction of greenhouse gases, the emission reduction benefits of the six modes were estimated. Finally, differences in the financial investment in government subsidies for the six typical modes were determined by cost-benefit analysis. The study results showed that (1) regarding energy input-output, supply-type biogas invested large amounts of purchased non-renewable energy and realized high efficiency and high yields for production. Conversely, self-

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (2016J01183)

收稿日期: 2016-08-20; 修订日期: 2016-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhh613@163.com

sufficient biogas was characterized by a high utilization rate of natural resources and low environmental load rates, with a large investment of purchased renewable energy. In terms of system performance, the high net energy yield ratio and energy exchange ratio for supply-type biogas was better than that of the self-sufficient type because the later exhibited insufficient output. With the highest net energy yield ratio and energy exchange ratio, the commodity-producer mode had the best system performance among the six modes. (2) Regarding ecological benefits, modes including welfare mode, commodity-producer mode, and professional livestock-raising mode were prominent in the reduction of emission effects of greenhouse gases because their main income was from breeding. The modes including characteristic-planting mode, working and farming-combination mode, and traditional farming and breeding mode were not obvious in the reduction of the emission of greenhouse gases because their main development was planting. (3) From the perspective of government subsidies, the financial investment feasibility of the six modes was demonstrated at two angles, which were the farmer household financial angle and social economic angle. For the farmer household financial angle, welfare mode, commodity-producer mode, and professional-breeding mode could not satisfy the standard of farmer household financial investment. However, because of high ecological benefits from emission reduction of greenhouse gases, they conformed to the financial feasibility standard of the social economic point of view. On the other hand, the characteristic-planting mode and working and farming combination mode could not meet the financial feasibility standard of the social economic point of view, but satisfied the farmer household financial standard. Only traditional farming and breeding mode fully met the needs of social economic perspectives and the perspective of the farmer household financial standard. Based on the above research results, according to the breeding scale developmental trend and the present situation regarding energy utilizing in the underdeveloped mountainous area, some suggestions were proposed for choosing the appropriate development mode of biogas plant construction in the study area.

Key Words: biogas operation; ecological effect; energy analysis; cost-benefit analysis; underdeveloped mountainous area

在全球变暖与气候异常日趋显现的当下,作为能源生产和消费大国,为应对能源危机与环境危机,我国正加大力度推广沼气等可再生清洁能源^[1]。应对传统薪柴采伐破坏生态环境及山地土壤贫瘠,发挥沼气的能源替代与沼液沼渣的土壤改良作用,是上个世纪以来我国在欠发达山区优先推广沼气的出发点。由此,学术界对沼气利用的经济效益与生态作用、沼气工程技术等展开了深入的研究^[2-8]。但近年来笔者在福建欠发达山区走访中发现:政府补贴建造的沼气池被废弃的比例剧增,建池户随意排放沼液沼渣造成环境污染的问题日趋突出。相关研究虽对此有所关注^[9-10],但大多从农户能源消费构成、习惯和生计资本等进行分析^[9-15],比较不同沼气运营模式的研究少见,而笔者认为客观评价不同沼气运营模式的系统特征和性能差异,才能实现沼气的合理建设和发挥政府财政补贴效应。因此本文以福建欠发达山区为例,实地调研获取典型沼气运营模式,通过研究典型模式的运营特征和生态效应,比较不同模式沼气运营系统在结构、功能及生态效益上的差异,为深化研究区沼气建设和发挥政策优势提供科学依据。

研究区现有养殖场建池供气和农户自用沼气两种,首先根据养殖场供气收费与否分为馈赠型、销售型两种模式;考虑生计特征影响家庭能源消费^[11-13],而且生计模式不同沼气运营特征也存在明显差异,因此本文按研究区主要建池农户生计类型,将农户自建自用沼气区分为特色种植型、半工半农型、传统种养型和纯养殖型等四类,与馈赠供气型、销售供气型构成本文研究的6种典型沼气运营模式。

1 研究对象与研究数据

1.1 研究对象

根据2013年对福建欠发达山区的长汀县、屏南县实地调研数据,确定长汀县涂坊镇罗屋岗村的生猪养殖大户张寿生作为销售供气型研究对象,屏南县棠口乡安溪村康盛农牧公司作为馈赠供气型研究对象,并在对长汀县策武镇南坑村、屏南县屏城乡里坊溪村户用型沼气户140个样本的调查基础上,选择4户典型户分别

代表特色种植型、半工半农型、传统种养型和纯养殖型四种户用沼气运营模式。

张寿生实施的是“草-牧-沼-果-渔-集中供气”的运营模式,草用于养鱼和喂猪,果因栽种时间短未产出,截止 2013 年底该村 240 户中已有 120 户使用其供气,每户每日缴气费 1.5 元。棠口乡安溪村的康盛农牧公司实施的是“生猪养殖-固废分离-沼气工程-沼液利用-集中供气”的运营模式,沼气免费供应村中的 100 户农户。户用型中,传统种养型、半工半农型、特色种植型和纯养殖型分别以“养殖-沼气-种植”、“沼气-种植-务工”、“沼气-种植”和“养殖-沼气-草”为运营模式。

1.2 研究数据

分别于 2013 年 11 月和 2014 年 7、8 两月对上述 6 种模式进行入户问卷调查,问卷内容主要是 2013 年家庭基本情况、生计类型、各项农资投入与产出,生活用能及“三沼”的使用情况等。文中研究数据包括入户调查数据和《2014 年长汀县统计年鉴》、《2014 年屏南县统计年鉴》、长汀县及屏南县气象局地面观测资料等统计数据。

2 研究方法

2.1 沼气的能值分析

美国著名生态学家 H. T. Odum 创立的能值理论,通过将生态经济系统内不同类别的物质和能量,利用太阳能值转化率、能值货币比等转换为相同基准的能值,从而实现对自然环境生产和人类经济活动共同作用的生态经济系统结构、功能和效益的统一定量评价。沼气运营系统是个复合生态系统,系统内有自然资源和人力、物资等社会资源的使用和流动,为客观比较 6 种模式沼气运营系统的结构和功能,本文参照 Odum、蓝盛芳等的计算方法^[16-17],对各系统的投入产出进行能值转换。进而借鉴陆宏芳等在珠江三角洲三水市 3 种基塘农业生态工程模式可持续性能比较的研究经验^[18],以能值投资率(EIR)、净能值产出率(EYR)、能值负载率(ELR)、能值交换率(EER)等指标为基础,构建系统可持续发展性能指数(SDI),对 6 种模式的系统资源利用率、经济效益和可持续性能进行比较。相关能值指标计算式分别如下:

(1)能值投资率(EIR),购买能值与环境资源能值(包括可再生资源能 RR 和不可再生资源能 NR)的比率,其中购买能值包括不可更新工业辅助能(NP)和可更新有机能(RP)。表达式为:

$$EIR = (NP + RP) \div (RR + NR) \quad (1)$$

(2)净能值产出率(EYR),系统能值净产出(由系统能值总产出 Y 减去废弃物 W)与购买能值之比。表达式为:

$$EYR = (Y - W) \div (NP + RP) \quad (2)$$

(3)能值负载率(ELR),不可更新能值投入(不可更新工业辅助能值和不可再生资源能)与可更新能值投入(可更新有机能值+环境资源能值)的比率。表达式为:

$$ELR = (NP + NR) \div (RP + RR) \quad (3)$$

(4)能值交换率(EER),是系统产品能值(NY)与购买该产品支付货币的相当能值之比(购买产品支付的能值等于产品市场价格除以能值货币比率)。表达式为:

$$EER = NY \times Emr \div p \quad (4)$$

式中, Emr 为能值货币比率,本文的 $Emr = 3.39 \times 10^{11} \text{ sej/Yuan}$, P 为产品市场价格;

(5)系统可持续发展性能指数(SDI),是指系统能值产出率与能值交换率的积和环境负载率的比。表达式为:

$$SDI = EYR \times EER \div ELR \quad (5)$$

2.2 沼气运营系统的生态效应

2.2.1 沼气工程的温室气体减排效益计算

沼气利用在温室气体减排量、清洁环境、改良土壤质地、提升农作物品质等方面产生的生态效应已被广泛

研究。本文借鉴已有研究和计算方法^[19-23],进行6个沼气运行系统的温室气体(CO₂)减排计算,把没有工程时畜禽粪便直接排放释放的温室气体量及沼气所替代的薪柴燃烧排放的温室气体量之和作为基准线,温室气体量减排总量则是基准线减去沼气替代燃烧时的CO₂排放量,乘以2013年中国碳汇交易价格50元/t,即为当年碳减排效益。因本文沼气工程的原料为猪粪,依据IPCC推荐的算法,取每猪甲烷排放因子为4kg/a,根据猪年出栏量,求算猪粪直排对应的年甲烷排放量换算成相应CO₂的当量;计算沼气工程替代薪柴使用减少的CO₂排放量时,所用薪材含碳系数、氧化率等相关系数取自王革华等人关于CO₂排放量的研究^[24]。

2.2.2 沼气工程的成本效益分析

成本效益分析法是通过比较项目的全部成本和效益来评估项目投资价值的一种方法。本文为了度量不同模式沼气工程政府补贴与其生态效益的匹配程度,借鉴相关研究经验^[7-8,25],在界定政府补贴作为一种转移性支付,从农户财务角度是沼气外部性效益的替代收入,从社会经济角度则是公共财政资源向社会成员的转移,不能计入社会经济角度的收入,但沼气的正外部性效益是社会经济角度的收益等的基础上,从农户财务和社会经济两个角度,统计6种模式沼气工程建设总成本与其在沼气、沼肥、碳排放等方面的收益,利用模型计算财务动态流表,即可分析政府补贴下农户财务角度沼气工程投资可行性,和考虑沼气正外部性收益时,社会经济角度沼气工程投资可行性。具体计算模型如下:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

$$NPV_{\text{social}} = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t + G_t)}{(1+r)^t} \quad (7)$$

式中, NPV 为农户角度的财务净现值, NPV_{social} 为社会角度的经济净现值, T 为计算周期, 取沼气工程的使用寿命 20 年, B_t 为第 t 年的收益, C_t 为第 t 年的成本, G_t 为沼气工程所带来的正外部效益, 由于沼气的正外部效应包涵了温室气体减排量、清洁环境、改良土壤质地、提升农作物品质等, 而评价这些项目的效益需要许多复杂的环境经济价值评估方法, 且不少效应产生的时长超过本文研究周期, 故文中仅选用沼气工程所减排二氧化碳(CO₂)的环境经济价值作为 G_t 值。基准折现率 r 取 5%, 内部收益率 IRR 等于上述两式净现值方程式为零时的折现率。当 NPV > 0 且 IRR ≥ r 时农户角度沼气工程投资可行, 当 NPV_{IRR} > 0 且 IRR ≥ r 时社会角度沼气工程投资可行。

3 结果与分析

3.1 基于能值理论的 6 种模式沼气运营系统特征比较

根据研究区的调查数据, 利用相关能值转换率和能值货币比, 获得研究区 6 种模式的沼气运营系统能值投入与产出情况, 并根据公式(1)~(5)计算得出相应的能值指标值, 具体如表 1、表 2 所示。

从表 1 可见, 6 个模式的系统能值投入主要来自购买能值, 但比重却明显不同, 馈赠型与销售型因以养殖为主, 不可更新工业辅助能投入量分别占总能值的 89.65% 和 75.72%, 用于购买养殖设施、沼气池建设、养殖饲料、养殖用药等, 经济投入量大。户用型的特色种植型、半工半农型、传统种养型的系统主要投入为可更新有机能, 分别占总投入的 79.62%、92.13% 和 90.05%, 主要是人工成本; 纯养殖型的不可更新工业辅助能与可更新有机能分别占总投入的 38.5% 和 39.76%, 对资金和人力资本的双重依赖; 6 个系统均有反馈能, 主要是沼液和沼气在系统中循环利用, 替代了部分系统外不可更新工业能的投入, 比重较大的是纯养殖型和销售型, 分别为 21.70%、14.95%。一般系统内反馈能越多, 投入社会购买能值越少, 生产成本节约得越多, 系统的自组织能力就越强。因此可以认为沼气工程对提高农户农业生态系统的自组织力有积极意义。

6 种模式的系统产出差异明显, 首先主产出充分体现农户生计特征。馈赠型、销售型与养殖型主要产出是养殖收入, 特色种植型以种植收入为主, 半工半农型以务工收入为主、种植收入为辅, 传统种养型以种植收入为主、养殖收入为辅; 其次在沼气的产出中, 馈赠型、销售型比户用型的多了沼气、沼肥、和有机肥。

沼气产品多样化且有相应的经济效益,值得注意的是,馈赠型因没有种植业,沼渣成为废弃物,特色种植型、半工半农型和传统种养型也存在把沼液或沼渣作为废弃物排放出系统的现象。

表 1 不同模式沼气系统能值投入产出结构/sej

Table 1 The input-output emery structure of different modes of biogas eco-system

项目 Item	模式 I	模式 II	模式 III	模式 IV	模式 V	模式 VI	
	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV	Mode V	Mode VI	
投入 Input	可更新环境资源(RR)	4.13×10^{16}	2.60×10^{15}	6.41×10^{15}	1.65×10^{15}	2.17×10^{15}	3.44×10^{14}
	不可更新环境资源(NR)	1.92×10^{14}	6.86×10^{13}	2.94×10^{13}	7.70×10^{11}	1.00×10^{13}	3.72×10^{13}
	不可更新工业能(NP)	4.59×10^{18}	4.21×10^{17}	2.72×10^{15}	2.38×10^{15}	1.10×10^{15}	7.95×10^{16}
	可更新有机能(RP)	3.08×10^{17}	4.90×10^{16}	3.75×10^{16}	5.27×10^{16}	3.53×10^{16}	8.19×10^{16}
	反馈能(B)	1.81×10^{17}	8.31×10^{16}	4.51×10^{14}	4.51×10^{14}	6.06×10^{14}	4.47×10^{16}
	总计(U)	5.12×10^{18}	5.56×10^{17}	4.71×10^{16}	5.72×10^{16}	3.92×10^{16}	2.06×10^{17}
产出 Output	沼气	6.75×10^{17}	2.73×10^{17}	0	0	0	0
	沼液	0	0	9.99×10^{12}	2.81×10^{13}	5.30×10^{13}	0
	沼渣	3.96×10^{16}	1.07×10^{16}	4.68×10^{13}	4.68×10^{13}	6.29×10^{13}	0
	沼肥	1.05×10^{17}	4.78×10^{14}	0	0	0	0
	有机肥	2.71×10^{15}	2.43×10^{15}	0	0	0	0
	养殖收入	5.10×10^{19}	1.12×10^{19}	0	0	5.09×10^{13}	1.33×10^{17}
	种植收入	0	0	2.27×10^{16}	8.48×10^{15}	3.39×10^{15}	0
	务工收入	0	0	0	1.02×10^{16}	0	0
	废弃物(W)	3.96×10^{16}	0	5.68×10^{13}	7.48×10^{13}	1.16×10^{14}	0
	合计(Y)	5.18×10^{19}	1.15×10^{19}	2.28×10^{16}	1.87×10^{16}	3.56×10^{15}	1.33×10^{17}
	净产出(NY)	5.18×10^{19}	1.15×10^{19}	2.27×10^{16}	1.87×10^{16}	3.44×10^{15}	1.33×10^{17}

* 馈赠型(模式 I)、销售型(模式 II)、特色种植型(模式 III)、半工半农型(模式 IV)、传统种养型(模式 V)、纯养殖型(模式 VI),为减少篇幅,下文表格均采用此标识

表 2 6 种模式沼气生态系统能值指标

Table 2 Emery indexes of six biogas operating modes

指标 Index	模式 I	模式 II	模式 III	模式 IV	模式 V	模式 VI
	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV	Mode V	Mode VI
能值投资率 Energy investment ratio(EIR)	118.05	176.12	6.25	33.37	16.70	423.40
净能值产出率 Net emery yield ratio(EYR)	10.5677	24.4681	0.5657	0.3387	0.0961	0.8240
环境负载率 Environmental loading ratio(ELR)	13.1411	8.1602	0.0626	0.0438	0.0296	0.9671
能值交换率 Emery exchange ratio(EER)	20.53	20.86	1.00	1.00	0.98	0.49
可持续发展指数 Sustainable development index(SDI)	16.51	62.54	9.01	7.73	3.18	0.42

从公式(1)一(5)可知,能值投资率是单位能值环境资源的经济能值投入量,高投资率是高工业能投入的表现,说明系统经济发展程度高;而净能值产出率则是系统单位经济能值投入量的经济产出,高净能值产出率说明生产效率高,如果系统的能值投资率和净能值产出率都高,说明其生产效率高,经济发达,如果投资率高而产出率低则说明生产效率低,经济转化能力差。环境负载率是单位能值可再生资源的不可再生资源能值投入量,是环境承载负荷的表现,其值越大,对环境压力越大,一般不可再生资源投入量越小,系统对环境的压力越小。能值交换率则强调系统产出能值与购买该产品所花的货币值在当时经济条件下转换为能值后的比率,一般产品的能值都是高于市场货币体现的能值,尤其是农产品,所以能值交换率也被称为能值受益率,越大说明系统的经济贡献越大。系统可持续发展性能指数构建以社会经济发展和生态环境持续为系统可持续发展宗旨,利用净能值产出率和能值交换率的乘积(代表系统产出是给人类带来利益的)与环境负载率(代表环境负荷)的比,来衡量系统的可持续性能。其值反映了单位环境压力下的社会经济效益,值越大系统的可持续性能越好。从表 2 可见,集中供气型相较于户用型,仅负向指标环境负载率比户用型差,其他指标都好于户用型,这是因为集中供气型是高经济投入量、大规模养殖产出高能值的养殖产品的缘故,其生产效率均比户用型

高出 10 倍以上,但因为规模大,对环境资源的压力也比户用型高出很多。但同样以养殖为主,户用型的纯养殖型与集中供气型相反,其能值投资率最高,是销售型的 2.4 倍,但净能值产出率却仅为销售型的 3.36%,能值交换率和系统可持续发展指数是所有系统中最小的,究其原因主要是:养殖规模小(年猪出栏量 600 头,而销售型为 2000 头),经济投入水平低(不可更新工业能的投入比重仅为销售型的一半,人力投入量却与销售型相同,说明系统发展依赖劳动力而没有经济竞争力),无法实现规模经济效益,所以系统性能差,而这也就是近年来研究区类似纯养殖型的农户数量锐减的原因。由于养殖风险大,纯养殖型农户在没有规模效益而经济投入能力有限的情况下,极有可能在市场竞争中被淘汰,生计发生变迁从而导致沼气池废弃,相应的政府建池补贴也就白白浪费了。

对比集中供气的馈赠型与销售型能值指标可知,销售型的各项指标均优于馈赠型,分析其原因主要是销售型主动将沼气工程作为系统的增益环节,充分利用多样化的沼气产品,实现无废物排放,而馈赠型却是迫于排污罚款压力建造沼气工程,沼气输出对自身无利益,维护和提供供气设施加重了生产成本,把沼液沼渣当废弃物直接排放出于降低处置成本,这显然不利于系统良性发展。

除了养殖型,在其他 3 种户用型中,特色种植型的工业购买能值投入比其他类型低,而对环境可更新资源利用量却是最大,所以能值投资率最低,因农产品的高能值特征则使其净能值产出率比其余两种高,在三者的能值交换率区别不大的情况下,特色种植型成为户用型中可持续发展指数最高的类型。

3.2 不同模式沼气运营系统的生态效应对比

3.2.1 温室气体减排效益对比

根据前述温室气体减排算法,本文对 6 种模式沼气工程温室气体减排差异测算结果如表 3 所示。

表 3 不同模式沼气运营系统温室气体减排效益
Table 3 Emission reduction benefits of greenhouse gas of different biogas operating modes

模式 Model	模式 I Mode I	模式 II Mode II	模式 III Mode III	模式 IV Mode IV	模式 V Mode V	模式 VI Mode VI
CO ₂ 减排总量/t Total reduction of CO ₂ emissions	672457.62	184996.30	3.25	0.73	148.68	29431.23
CO ₂ 减排经济效益/万元 Emission reduction benefits of CO ₂	3362.2881	924.9815	0.01625	0.00365	0.7434	147.15615

温室气体减排是通过处置养殖排泄物实现的,减排效益与养殖规模成正比。表 3 中,集中供气型和户用型中的纯养殖型减排效益突出,其中馈赠型高达 3362 万元以上,该效益如能通过碳交易实现,扣除沼气工程初期建设成本 182 万元,沼气工程减排净利润可达 3000 万元以上。传统种养结合型、特色种植型和半工半农型因养殖比重小或无养殖环节,减排量效果不明显。针对养殖型农户沼气工程巨大的温室气体减排效益,作为南方肉猪的传统养殖区,研究区如能将沼气工程发展为清洁发展机制(CDM)项目,那既解决了资金困难又能推动区域沼气产业化。

3.2.2 基于成本效益法的沼气运营系统的生态效应分析

根据公式(6)、(7),6 种模式沼气工程的财务净现值和内部收益率计算结果如表 4 所示。

表 4 6 种模式沼气运营系统不同角度的财务特征值
Table 4 Financial value of six biogas operating modes from different angles

模式 mode		模式 I Mode I	模式 II Mode II	模式 III Mode III	模式 IV Mode IV	模式 V Mode V	模式 VI Mode VI
农户财务 Famer household finance	NPV/元	-1531309.06	560913.63	680.64	313.78	1606.41	460363.71
	IRR/%	—	2.56	28.81	14.36	64.26	—
社会经济 Socio-economic	NPV/元	202914661.40	55082019.58	-1145.90	-2266.48	43276.48	9217539.66
	IRR/%	874.06	136.51	-4.84	—	113.12	5125.92

“—”表示对该类沼气运营系统进行动态财务测算后,不存在内部收益率

从表 4 可见,馈赠型、销售型和纯养殖型在农户角度不可行,社会经济角度可行,项目生态效益溢出、补贴额度不足;半工半农、特色种植型沼气在农户角度可行,社会经济角度不可行,属于补贴对农户建池有意义、但所得生态效益不足,仅种养型农户角度和社会经济角度均可行,属于农户与生态效益双赢。分析各个系统的财务动态测算流表结合表 4 可知,在农户角度,集中供气的馈赠型、销售型都是大型沼气工程,初期投入巨大,20a 使用周期里,馈赠型完全亏损(亏损量达 15313 万元),不存在内部收益率;而销售型先亏损至第 15 年才收益(收益净现值 56.09 万元),但内部收益率仅为 2.56%,小于折现率 r ;纯养殖型虽然有相当的财务净现值,但内部收益率不存在,投资无效;特色种植型、半工半农型与传统种养型因户用沼气池小,政府补贴下,农户投建成本低于选择其他用能成本,分别在第 4 年、第 6 年和第 2 年实行盈利,内部收益率都大于 5%,传统种养型可达 64.26%。在社会经济角度,馈赠型、销售型和纯养殖型的财务净现值分别高达 20291.47 万元、5508.20 万元和 921.75 万元,投资当年即实现高额收益,内部收益率极高,这与其把沼气减排效益作为收入密不可分,说明大型养殖建设沼气工程是一项非常高回报的社会投资,值得政府扶持投资的;特色种植型、半工半农型因除了沼气产量自用外,沼液沼渣基本没利用,生态效益不明显,社会经济角度投资年年亏损;传统种养型能充分利用自身系统废弃物制沼,沼气和沼肥产出与投资匹配,每年都有盈利,而且社会角度净现值比农家角度高出 41670.06 元,是 6 种模式中唯一满足农户角度和社会经济角度双重投资可行的模式。

4 结论与讨论

4.1 结论

通过对 6 种模式沼气工程系统的运营特征、系统性能及生态效应比较,得出以下结论:

(1)能值结构分析显示,6 种模式都以沼气、沼液作为反馈能投入,其中纯养殖型和销售型的比重比其他四种大;集中供气型因规模优势和经济实力,有沼气、沼肥和有机肥产出,有利于发挥沼气工程的综合效益,户用型仅有沼液和沼渣产出;馈赠型、特色种植型、半工半农型和传统种养型都存在把沼液、沼渣当废弃物输出现象。

(2)能值指标分析显示,与户用型相比,集中供气型生产效率高经济效益好,可持续发展性能指数高,尤其是销售型;而户用型则具有自然资源利用率高;环境负荷小的优点。

(3)生态效益上集中供气型与养殖型比传统种养型、特色种植型和半工半农型的温室气体减排效应显著,具有高效的社会经济角度的投资回报率,但不具农户角度的投资可行性;而特色种植型与半工半农型相反,传统种养型符合社会经济角度和农户财务角度投资。

4.2 讨论

(1)集中供气型优于户用型的事实说明,沼气工程也具有规模效益,今后应以发展集中供气为沼气的主要运营方式;而销售型优于馈赠型的经验则强调了随着养殖规模化,为发挥沼气的综合效益,应根据养殖规模,配置适量种植业来消纳沼渣、沼液,提高了沼气产品的综合利用率,同时走供气市场化,提高养殖户经济收益。

(2)户用型沼气户因对环境友好,虽从成本效益分析看,社会投资是不经济性的,但在欠发达山区,城市化进程较缓慢,在农户较分散且有制沼原料的情形下,适度补贴沼气工程仍有意义。而在聚落较发达区域则应尽量推广集中供气。

(3)成本效益分析再次凸显了规模养殖户建池的不经济性和沼气工程正外部性无法合理内化的矛盾,政府的排污罚款与建池补贴策略虽有一定成效,但不利于沼气产业化发展。可引导养殖大户借鉴我国中西部建设清洁生产机制(CDM)的思路,应用生态补偿机制,从国际、国内层面拓宽资金来源,实现经济效益与生态效益共赢的发展模式。

参考文献(References):

- [1] 李景明,薛梅.中国沼气产业发展的回顾与展望.可再生能源,2010,28(3):1-5.

- [2] 钟珍梅, 翁伯琦, 黄勤楼, 黄秀声, 陈钟佃, 冯德庆. 基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例. 生态学报, 2012, 32(18): 5755-5762.
- [3] 刘叶志. 农村户用沼气综合利用的经济效益评价. 中国农学通报, 2009, 25(1): 264-267.
- [4] 李宝玉, 毕于运, 高春雨, 聂华. 我国农业大中型沼气工程发展现状、存在问题与对策措施. 中国农业资源与区划, 2010, 31(2): 57-61.
- [5] 闵师界, 黄叙, 邱坤, 李忠, 仇新卫, 鲁婷, 邓良伟. 养殖场沼气工程补贴政策的经济学解析. 中国沼气, 2013, 31(1): 33-37.
- [6] 张全国. 沼气技术及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 汪晓文, 衣婧. 甘肃省发展大中型沼气的综合效益评价. 甘肃联合大学学报: 社会科学版, 2010, 26(3): 58-62.
- [8] 彭新宇. 基于补贴视角的农村户用沼气池成本效益评价——以湘潭市新月村为例. 环境科学与管理, 2009, 34(11): 154-157.
- [9] 毕安平, 朱鹤健, 王德光, 岳辉, 马天华. 水土流失区农户燃料选择及效益. 水土保持通报, 2011, 31(3): 149-154.
- [10] 王成超. 生态脆弱区农户炊事能源升级的森林保护效应. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 2013, (4): 134-137.
- [11] 梁育填, 樊杰, 孙威, 韩晓旭, 盛科荣, 马海龙, 徐勇, 王传胜. 西南山区农村生活能源消费结构的影响因素分析——以云南省昭通市为例. 地理学报, 2012, 67(2): 221-229.
- [12] 赵雪雁. 生计方式对农户生活能源消费模式的影响——以甘南高原为例. 生态学报, 2015, 35(5): 1610-1619.
- [13] 何威风, 阎建忠, 花晓波. 不同类型农户家庭能源消费差异及其影响因素——以重庆市“两翼”地区为例. 地理研究, 2014, 33(11): 2043-2055.
- [14] 宋莎, 刘庆博, 温亚利. 基于效用视角的自然保护区周边农户薪柴消费影响因素分析——以秦岭太白山自然保护区为例. 林业经济问题, 2015, 35(5): 412-417.
- [15] 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. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(4): 35-39.
- [16] Odum H T. Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making. New York: John Wiley and Sons, 1996: 1-370.
- [17] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [18] 陆宏芳, 彭少麟, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 基塘农业生态工程模式的能值评估. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1622-1626.
- [19] 段茂盛, 王革华. 畜禽养殖场沼气工程的温室气体减排效益及利用清洁发展机制(CDM)的影响分析. 太阳能学报, 2003, 24(3): 386-389.
- [20] 刘尚余, 骆志刚, 赵黛青. 农村沼气工程温室气体减排分析. 太阳能学报, 2006, 27(7): 652-655.
- [21] 《农业技术经济手册》编委会. 农业技术经济手册. 北京: 中国农业出版社, 1983: 1029-1062.
- [22] 骆世明. 农业生态学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 168-169.
- [23] 汤云川, 张卫峰, 马林, 张福锁. 户用沼气产气量估算及能源经济效益. 农业工程学报, 2010, 26(3): 281-288.
- [24] 王革华. 农村能源建设对减排 SO₂ 和 CO₂ 贡献分析方法. 农业工程学报, 1999, 15(1): 169-172.
- [25] 朱建华, 王正宽, 王效华. 农户沼气池建设成本效益评价方法的讨论. 中国沼气, 1998, 16(3): 45-47.