

# 黄土台塬区农村生活用能结构的可持续性分析

侯红蕊<sup>1,2</sup>, 吴文恒<sup>1</sup>, 段志勇<sup>3</sup>, 刘焱序<sup>3</sup>

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 内蒙古城市规划市政设计研究院, 内蒙古 呼和浩特 010070; 3. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 关注农村生活用能的社会经济与生态成本对实现农村可持续发展具有重要意义。采用问卷调查方式获取黄土台塬区农村生活能源利用相关数据, 建立核算模型估算了不同能源消费结构情景下的经济成本、生态成本和废料量。结果显示, 现状户均消费 2 018.16 kg 标煤, 人均 731.41 kg 标煤, 总体用能水平较低; 农户能源消费选择的主要依据是能源的现金支出和可获得性, 生态成本很少考虑; 与现状相比, 9 种能源结构类型下的经济成本和生态成本以及废料量差异较大。研究表明, 利用沼气和太阳能的社会经济与生态综合成本较低, 应是今后农村能源结构转换的发展方向。其中沼气可以成为替代薪柴的最有效资源, 是该区农村实现能源利用与生态建设良性循环的主要用能方式。

**关键词:** 农村生活能源; 经济成本; 生态成本; 黄土台塬区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0070-07

中图分类号: S210.3

## Socio-economic and Ecological Sustainability in Rural Household Energy Consumption in Loess Tableland Area

HOU Hong-rui<sup>1,2</sup>, WU Wen-heng<sup>1</sup>, DUAN Zhi-yong<sup>3</sup>, LIU Yan-xu<sup>3</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China; 2. Inner Mongolia Urban Planning and Municipal Engineering Design Research Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China; 3. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Close attention to the socio-economic and ecological cost of the rural energy use is of great significance to the rural sustainable development. With the questionnaire about the rural household energy consumption in the loess tableland area, an accounting model was established to estimate the economic cost, ecological cost and scrap quantity in various energy consumption structure. The result showed that presently the overall energy consumption level was low with average consumption of 2 018.16 kg of standard coal equivalent per household and 731.41 kg per person; the household energy consumption was mainly depended on the cash and energy availability with little consideration into the ecological cost; compared with the present situation, there are big differences in the economic cost, ecological cost and waste quantity among 9 kinds of energy consumption types. It is indicated that the use of biogas and solar power is the direction of rural energy consumption structure adjustment in the future because of its overall low socio-economic and ecological cost. Biogas could be the most effective substitution for firewood and would be the main way of energy consumption for the area to form a virtuous cycle of energy utilization and ecological construction.

**Keywords:** rural household energy consumption; economic cost; ecological cost; the loess tableland area

我国是能源消费大国, 用能结构的研究对实现国家可持续发展有重要的现实意义。农村生活用能是能源消费的重要组成部分, 其结构组份与农村生产和农民生活密切相关。目前, 农村生活用能结构已引起

地理学与经济学界部分学者的关注。李国柱等<sup>[1]</sup>研究了陇中黄土丘陵地区农村生活能源消费的环境成本, 发现经济贫困, 环境脆弱, 生活能源短缺, 生物质过量消费是该地生态环境退化的重要驱动因素。梁

收稿日期: 2012-08-27

修回日期: 2012-10-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“多元化利用方式下的农村生活能源消费行为与区域模式研究”(41101555); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2010JQ5006); 陕西省教育厅科研计划项目(09JK778)

作者简介: 侯红蕊(1988—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 硕士研究生, 主要从事城市与区域发展方面的研究。E-mail: 146houhongrui@163.com.

通信作者: 吴文恒(1977—), 男(汉族), 江苏省邳州市人, 博士, 副教授, 从事区域发展与区域规划研究。E-mail: wuw@nwu.edu.cn.

育填等<sup>[2]</sup>分析了西南山区农村生活能源消费结构的影响因素,发现地形特征、人均收入、家庭人均教育程度对能源消费结构影响显著。吴燕红等<sup>[3]</sup>对滇西北农村生活能源及生物质能源开发和利用的研究发现,滇西北少数民族地区农村生活能源主要以薪柴为主,从而产生地区生态功能退化等环境问题。杨振<sup>[4]</sup>以江汉平原为例研究了农户收入差异对生活用能及生态环境的影响。郭燕锋等<sup>[5]</sup>对华南山丘区农村新能源应用现状进行了调查分析,结果表明安装太阳能热水器能明显降低农户对商品能源的消费比例,农户建造沼气池产生的沼气对柴草和煤气有更好的替代作用。牛叔文等<sup>[6]</sup>对陇中黄土丘陵地区农村生活能源资源潜力估算和利用结构分析的研究表明,农村生活能源的短缺严重影响了生态环境的改善。张海鹏等<sup>[7]</sup>对林区农村家庭生活能源消费需求的实证发现,林区农村家庭生活能源消费正处于向商品化转换的过程中,表现出能源组合多元化特征及边际倾向递减的规律,未来消费的重点将主要集中在液化气和电力方面。

农村生活能源是一个涉及生态、经济和社会诸多方面的复杂问题,农户在进行能源组合中往往更加注重经济与社会效用,即获取便利程度和成本低廉程度。这也致使薪柴与秸秆使用量虽然在电能和煤炭的普及下有所降低,但依然是农村生活供能的主要方式。在生态、经济和社会实现协调可持续发展的要求下,学界对用能过程中形成的生态成本也进行了一些分析。然而,由于我国地域辽阔,不同地理特征下农村家庭生活习惯迥异,很难在农村用能方式上建立统一的发展模式。用能结构的形成往往依托于当地农民特有的生产生活环境,确定山区、农区、牧区的最优用能方式必须结合某种能源在相应地理条件下的社会经济与生态效应。黄土台塬区是我国西北地区主要的人口集聚区之一,但尚未有针对黄土台塬农村特殊的用能结构进行的具体量化分析。因此,本研究以陕西黄土台塬地区农村为对象,针对特定地理环境下具体用能结构进行成本核算,从而根据该区农村用能可持续发展的实际问题提出具体建议。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

陕西省黄土台塬地区主要位于关中渭河冲积平原和陕北黄土高原之间,台塬表面比较平坦、完整,坡度一般在 $5^{\circ}$ 以下,很少超过 $10^{\circ}$ 。各台塬大体处于460~1 000 m。气候属大陆性季风气候区,是典型的暖温带半湿润、半干旱气候带。土壤以褐土、黑坊土、

黑绵土等为主,肥力较高,易于耕作,农业较发达。塬面上主要种植粮食作物(玉米、小麦等)、油料作物(花生、向日葵等)、经济作物(蔬菜、棉花等)、林地树种等,沟坡上自然生长荒草。其中,果业自改革开放以来得到了长足发展,目前已经成为苹果、猕猴桃、梨及红枣4大主栽产品基地。鉴于该区域人口相对稠密,旱作农业特征明显,有一定的经济发展区位优势但生态环境承载力有限,因此有必要高度关注该区域内农村生活用能的社会经济与生态协调发展情况。

研究采用问卷调查形式,问卷发放区域选在陕西省渭南市临渭区中部的丰原镇(该镇地处作为典型黄土塬的崇凝塬北端)内,属陕西省节水灌溉示范区,有效灌溉面积万余亩,主产小麦、玉米、油料及豆、薯类等农作物。因临近渭南市市区,近年来受城市化影响,农村家庭生活条件逐渐改善。同时,塬上水资源供应成本较高,种植作物密集而自然植被相对较少,其生态环境状况劣于黄土塬下的乡镇。针对当地农村的实际情况,项目团队于2012年6月间走访了近150多家农户,全面了解与当地农村生活能源消费相关的各种情况,获得有效问卷120份。对农户一次能源用能的数量进行了称重测试(例如做一次饭所用的薪柴或秸秆),还对其他能源的使用量进行逐一测算。分析样本资料的代表性,剔除了个别明显有问题的问卷以保证调查资料的可靠性。

### 1.2 经济购买成本核算

经济购买成本核算用以衡量在当地社会基础上农户用能所耗费的经济价值。其可以分为两种情况,所用公式相同。一种是购买用能材料所需要付出的价格,可由农户现金支出表示,该价格在不同地区各不相同,由问卷统计获得。另一种是替代用能材料所需要付出的价格,即影子价格或材料的价值,可以由标煤价格进行替代换算。设某一地区有 $n$ 种能源资源, $x_i$ 为一定时间内第 $i$ 种能源的使用量,则能源消费总量 $T_e$ 为:

$$T_e = \sum_i^n x_i \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (1)$$

农村生活能源消费的经济、生态成本不仅与能源消费的数量有关,也与能源利用结构相关。消费不同种类的能源时其成本存在较大差异,使用的便利性也不同。设 $c_i$ 为第 $i$ 种能源的市场单价,即经济成本系数,则本地区生活能源消费的总经济成本 $T_c$ 为:

$$T_c = \sum_i^n x_i c_i \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (2)$$

煤炭、蜂窝煤、电能和液化气是商品能源,根据当地的市场现价核算:煤炭700元/t(含税)、蜂窝煤0.67元/块,电能0.50元/(kW·h)、液化气7.2

元/kg。秸秆、薪柴和玉米芯为自产的生物质能,作为燃料使用时可以用能量替代法折为标准煤计算,分别为 0.49,0.56,0.54 元/kg。

沼气由生物质能转换而来,原料有秸秆、树叶、畜粪和人粪。沤制沼气后的沼渣、沼液为优质有机肥料。沼气发酵不仅没有损失生物燃料中的营养成分,还使作物更容易吸收。因此沼气不计原料成本,只计算建造成本。根据市场行情,建造一个 8 m<sup>3</sup> 的沼气池建造成本为 2 000 元,使用年限按 20 a 计,每年成本为 100 元,每年产气 300 m<sup>3</sup>,平均 0.33 元/m<sup>3</sup>,但实际上建造 8 m<sup>3</sup> 的沼气池国家补贴 1 500 元,农户实际支出成本只要 500 元,则每年实际成本为 25 元,每年产气 300 m<sup>3</sup>,平均 0.08 元/m<sup>3</sup>。研究区域内利用太阳能的设备为太阳能热水器和太阳灶。一个 1.5 m<sup>2</sup> 太阳灶价格为 180 元,使用年限按 10 a 计算,每年 18 元;一个 16 支管的普通太阳能热水器价格为 2 100 元,使用年限按 15 a 计算,每年 140 元;二者按比例换算每年总计造价为 42.4 元,其它太阳能光伏照明、太阳能暖房等尚无利用。

### 1.3 废气排放生态成本核算

生态成本是指用能过程中对生态环境造成不同程度的破坏,将这部分破坏用价值损失来衡量。由于每种能源资源都具有本身的经济成本和生态成本,根据某一静态时段上不同能源利用情况,就能得出最优的能源利用成本。在黄土台塬地区农村生活能源消费的生态成本主要来自 CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 等气体的排放。将生态成本货币化单价用  $s_i$  表示,生态总成本  $T_s$  可用公式(3)计算:

$$T_s = \sum_i^n s_i x_i \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (3)$$

太阳能、电能的消费不产生负面的生态环境影响,其生态成本系数  $s_i$  为 0。生物质能、煤炭、液化气

及沼气的燃烧排放 CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 等气体,其排放因子参照相关文献确定<sup>[8-12]</sup>。根据中国气候变化国别研究组的估算<sup>[13]</sup>,森林的固碳成本为 100 元/t,李新宇等以 20 美元/t 的价格计算生物固碳的成本<sup>[14]</sup>。本研究以 120 元/t 的价格核算 CO<sub>2</sub> 排放成本。SO<sub>2</sub> 减排的成本按电厂脱硫成本 0.945 元/kg 计算<sup>[15]</sup>。

### 1.4 废料产生量核算

农村生活能源利用中,既要考虑经济和生态成本的大小,还要考虑能源利用过程中产生的废料量对整个生态环境的负面影响。与将质量全部转化为热量的标准煤对比,释放相同热量的薪柴、玉米芯质量更大,这主要由不同化合物的含碳量决定。多出的这部分质量并未转化为热量,而成为炉渣、烟尘或其他气体,并未被有效利用,成为废料。因此仅从释放 CO<sub>2</sub> 角度考虑是不足的。由于此类废料类型多样,难以确定其具体成本,因此暂以重量表示。设某一地区有  $n$  种能源资源,  $x_i$  为一定时间内第  $i$  种能源的使用量(折为标准煤),  $y_i$  为第  $i$  种能源的实物使用量,则该地区所有能源利用产生的废料总量  $S_w$  为:

$$S_w = \sum_i^n (y_i - x_i) \quad (i=1,2,3,\dots) \quad (4)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 农村生活能源利用的结构现状

目前,黄土台塬区农村生活用能资源类型主要是薪柴、作物秸秆、蜂窝煤、煤炭、电能、太阳能、液化气、玉米芯以及由生物燃料转化而来的沼气。调查所得研究区农户生活能源实物消费情况详见表 1。可见农户家庭对薪柴的使用量最大。这是由于塬面果树资源较丰富,每年剪枝所得薪柴可供全年使用。由于单位不一,为便于能源利用结构分析,将实物重量换算为标准煤进行计量(表 2)。

表 1 研究区农村生活能源户均实物消费量

能源	秸秆/kg	薪柴/kg	玉米芯/kg	蜂窝煤/块	煤炭/kg	电能/(kW·h)	沼气/m <sup>3</sup>	液化气/kg	太阳能/台
户均值	352.56	2171.79	174.79	186.79	42.31	1238.56	238.90	9.73	0.33

注:利用太阳能主要是太阳灶或太阳能热水器烧水,其它用能途径尚未开发利用。

表 2 研究区农村生活能源户均消费结构

kg(标煤)

能源	秸秆	薪柴	玉米芯	蜂窝煤	煤炭	电能	沼气	液化气	太阳能	合计
户均值	176.28	1 241.03	97.10	127.02	30.22	151.97	170.65	16.78	7.11	2 018.16

表 2 中的数据表明,黄土台塬区农村户均年消费生活能源 2 018.16 kg 标煤,人均 731.41 kg 标煤,只能满足农户的基本用能需求。在较低的生活用能水平下,农户间用能的差距却很大。问卷显示,人均用能

量最少的仅为 364.70 kg 标煤,最高的达到 1 528.58 kg 标煤,后者是前者的 4.19 倍,其与家庭人均收入关系较大。可以推测,随着社会经济进一步发展,该区域农村用能能量有较大的上升潜力。

在农村生活能源的自然属性方面<sup>[16]</sup>,黄土台塬区能源有传统生物质能(秸秆、薪柴、玉米芯)、化石能源(煤炭、蜂窝煤、液化气)、新能源(沼气、太阳能)、电能,所占比例分别为 75.04%, 8.62%, 8.81% 和 7.53%。传统生物质能在日常使用中占有绝对优势。由于家用电器使用频率逐渐增大,电能的使用量必将进一步提升,而化石能源的市场价格和新能源的政策扶持机制则决定了其他能源类型间的相互替代。在农村生活能源的经济属性方面,现有能源可分为商品能源和自产能源,其中生物质能、沼气和太阳能为自产能源,占总能源的 83.85%。煤炭、蜂窝煤、电能和液化气为商品能源,由区域外输入,占 16.15%,这一使用比例与黄土丘陵地区的农村能源利用结构有显著的不同<sup>[1]</sup>。相比黄土丘陵地区生物质能主要源于秸秆和上山拾薪,黄土台塬地区农业资源优势较明显,每户平均耕地面积较大,显然收集生物质能的便利程度要更高,于是出现台塬区比丘陵区交通更便利,但运输来的化石能源的使用比例却更低的特殊现象。说明若便利程度相差较大,农户可能愿意支付更

多现金成本;但若便利程度相差不大,农户会为节约成本而选择低质能源。在能源消费的生态环境影响方面,现有能源可分为清洁能源(太阳能、电力)、准清洁能源(沼气、液化气)和非清洁能源(传统生物质能、煤炭、蜂窝煤),清洁能源仅占 7.88%,准清洁能源占 9.29%,而非清洁能源占据高达 82.83%的比例。事实上,农户在具体能源选择中基本不考虑环境影响,在节约经济成本的生活目标导向下,这一比例的改变很难完全通过加强农户自身环保意识而实现。从农村九种生活能源的用户比例(表 3)中可知,除电能外,农户生活能源利用中使用薪柴和玉米芯的用户比例最高,这跟当地大力发展水果产业与种植业密切相关,电能的使用比例达 100%,说明电网在该地区已普及,太阳能和沼气(当地政府鼓励)等新能源的用户比例达 33.33%,正处在发展阶段,而煤炭和液化气的用户比例都较低。

整体来看,清洁能源用户比例低,非清洁能源用户比例高,商品能源使用用户比例居中。说明农户的生活能源结构正处于转变过程中。

表 3 研究区九种农村生活能源的用户比例

%

能源	秸秆	薪柴	玉米芯	蜂窝煤	煤炭	电能	沼气	液化气	太阳能
用户比例	17.95	89.74	89.74	51.28	15.38	100.00	33.33	25.64	33.33

## 2.2 经济与生态成本核算结果

表 4 所示为各种能源的经济成本系数,将表 1、表 4 中的数据代入公式(2),计算出农户户均生活能源消费的经济总成本为 2 420.27 元/a。其中商品能源(蜂窝煤、煤炭、电能、液化气)的现金支出为 844.10 元/a,占能源利用经济总成本 34.88%。值得注意的是,秸秆、薪柴和玉米芯折现价格是使用标准煤价格

替代而成,是其本身固有价值衡量。但该成本已在农户对果树、玉米等种植活动中予以支付,在农户具体生活使用中,秸秆、薪柴和玉米芯能源不需要农户进行购买,现金支出为零。

因此,此类折现价格可被当作“沉没成本”对待,这也是研究区农户往往大量选用实际支出较低的薪柴、秸秆等能源的原因。

表 4 研究区农村生活用能的经济成本系数  $c_i$

元

能源	秸秆	薪柴	玉米芯	蜂窝煤	煤炭	电能	沼气	液化气	太阳能
实物单位	kg	kg	kg	块	kg	kW·h	m <sup>3</sup>	kg	台
折现价格	0.49	0.56	0.54	0.67	0.70	0.50	0.33	7.20	42.40

表 5 所示为各种能源的生态成本系数,将表 1 和表 5 的数据代入式(3),计算出每户生活能源的生态成本为 531.16 元/a。其中排放 CO<sub>2</sub> 的生态成本高达 98.12%,排放 SO<sub>2</sub> 的生态成本只占 1.88%,主要原因在于当地农户对煤炭等含硫量高的化石能源的利用率低,能源利用主要集中在生物质能上,这与当地积极发展果业与种植业密切相关。也说明相对平原地区和城镇而言,生活用能废气对生态环境的破坏相对较少。

农村生活能源利用过程中会产生一些造成生态成本上升的气体产物,同时不能忽视一些生物质能和化石能源燃烧后会产生大量的废料,对生态环境也造成一定程度的破坏。其中太阳能、沼气以及液化气在利用过程中不会产生废料,根据表 1—2 以及公式(4),计算部分能源利用后产生的废料量(表 6)。

由表 6 可看出,农村生活用能户均产生的废料以生物质能居多,达到总量的 90.9%,化石能源燃烧产生的固体产物占 9.1%,这与当地以生物质能为主的能源

结构紧密相关,但对农村生态环境保护会产生一定的负面影响。薪柴产生废料量最大,主要是因为塬面果树众多,薪柴在获取上比较便利;且薪柴一般均用于燃

烧,不像秸秆有一部分还可以用于还田。因此研究区薪柴能源的使用量远大于其他用能类型,其产生废料最多的情况很难在未来一段时间内得到根本性改变。

表 5 研究区农村生活用能的生态成本系数  $s_i$ 

元

能源	秸秆/ kg	薪柴/ kg	玉米芯/ kg	蜂窝煤/ 块	煤炭/ kg	电能/ (kW·h)	沼气/ m <sup>3</sup>	液化气/ kg	太阳能/ 台
排放因子 CO <sub>2</sub>	1.247 <sup>[8]</sup>	1.436 <sup>[8]</sup>	1.247 <sup>[8]</sup>	1.416 <sup>[9]</sup>	1.487 <sup>[8]</sup>	0	1.172 5 <sup>[8]</sup>	0.548 6 <sup>[10]</sup>	0
排放因子 SO <sub>2</sub>	0.000 45 <sup>[11]</sup>	0.000 63 <sup>[12]</sup>	0.000 52 <sup>[12]</sup>	0.012 76 <sup>[9]</sup>	0.013 4 <sup>[8]</sup>	0	0.000 63 <sup>[10]</sup>	0.000 296 <sup>[10]</sup>	0
折现价格/元	0.150	0.173	0.150	0.182	0.191	0	0.141	0.066	0

表 6 研究区农村生活用能户均产生废料量

kg

能源	秸秆	薪柴	玉米芯	蜂窝煤	煤炭	电能	沼气	液化气	太阳能	合计
废料户均值	176.28	930.77	77.69	106.47	12.09	0	0	0	0	1 303.30

### 2.3 社会经济与生态可持续性分析

针对以上分析的黄土台塬区农村能源利用结构现状,以户均使用能源折标煤表示。同时假设在研究区域内采用秸秆、薪柴、玉米芯、蜂窝煤、煤炭、电能、沼气、液化气、太阳能中的某种单一能源时,测算出各

种能源利用的经济和生态成本以及能源利用后产生的废料量,从而综合分析得出研究区域内可持续的能源利用结构。

9 种能源类型的经济、生态成本及废料量的计算结果详见表 7。

表 7 农户采用不同能源类型的经济、生态成本和废料户均值

能源	秸秆	薪柴	玉米芯	蜂窝煤	煤炭	电能	沼气	液化气	太阳能	能源现状
废料量	2 018.16	1 513.62	1 614.53	1 691.70	807.26	0	0	0	0	1 303.30
经济成本	1 977.80	1 977.80	1 961.65	1 988.48	1 977.80	8 224.02	932.39	8 427.85	411.39	2 420.27
生态成本	605.45	610.99	544.90	540.16	539.66	0	398.39	77.26	0	531.23
农户现金支出	0	0	0	1 988.48	1 977.80	8 224.02	226.03	8 427.85	411.39	877.21
总成本	2 583.25	2 588.80	2 506.56	2 528.64	2 517.46	8 224.02	1330.78	8 505.11	411.39	2 951.50

注:废料量单位为 kg/(户·a);成本项单位均为元/(户·a)。

由表 7 可见,农户采用某种单一能源时,经济和生态成本以及废料量差异较大,同时与能源消费现状有明显的不同。秸秆、薪柴、玉米芯所需要的现金支出为 0,但由其价值决定的价格并不低。从单一能源利用上看,经济成本最高的是液化气为 8 427.85 元/(户·a),其次是电能为 8 224.02 元/(户·a),比能源消费现状的经济总成本 2 420.27 元/(户·a)高出很多,然而太阳能的经济成本最低为 411.39 元/(户·a)。从实际的调研中发现,当地太阳能的利用主要用在烧水上,因此,目前太阳能替代其他能源的利用能力较弱,应开发太阳能光伏照明和太阳能暖房等的利用;电能可以取代其他各种生活能源,但是经济成本较高,不适宜农村用能。在能源利用的生态成本方面,太阳能和电能的生态成本为 0,是最环保的能源,秸秆、薪柴、玉米芯、蜂窝煤和煤炭的生态成本都较高,对生态环境影响较大,农户用能过程中应该逐渐减少对这些能源的利用;沼气和液化气的生态成本相对居中,尤其是沼气发展受到当地政府的大力扶

持。同时,电能的生态成本有其特殊性。研究区电能一般由火力发电厂所提供,对环境的影响虽然不发生在当地农村,但是会转嫁至电厂周围地区。在农户现金支出方面,生物质能无需现金支出,其次使用沼气的现金支出仅为 226.03 元/(户·a),另外太阳能的现金支出也较低,使用化石能源和电能的现金支出都较高。尤其是电能和液化气,如生活用能全部使用二者替代,一般农户家庭不愿支出其相对较高的费用。

在能源利用产生的废料量方面,秸秆产生的废料最高达到 2 018.16 kg/(户·a),是能源消费现状产生的废物量(1 303.30 kg/(户·a))的 1.55 倍,其次蜂窝煤产生的废料也较高,但电能、沼气、液化气、太阳能在使用过程中不产生废料(沼气制造过程产生的沼渣可以循环利用,认为不产生废料),因此,从废料量角度看,电能、沼气、液化气、太阳能是未来能源利用的发展方向,应减少生物质能的使用。

在能源利用的总成本方面,电能和液化气最高,沼气和太阳能的费用最低,其他能源的费用居于中间

位置,接近于现状能源使用费用。黄土台塬地区地势平坦,土壤肥沃,是关中一带传统农耕区域,秸秆资源丰富。调研区域丰原镇是渭南市沼气池建设的示范区域,政府给予较高补贴,农民也有良好的接受意愿,该模式有条件在整个黄土台塬区域推广。因此,结合当地农村的收入、农业资源与光温潜力、生态环境状况,沼气和太阳能是最适宜当地农村经济与生态协调发展的能源。

黄土台塬区农村生活用能的现状结构是以生物质能为主,其他能源为辅的模式,这种结构模式从农户本身角度看是一种社会经济可持续的模式,能源的来源主要源自农业自产,但这种能源利用方式将对生态环境产生负面影响,户均生态成本高达 531.23 元/(户·a),户均废料量达 1 303.30 kg;同时这种能源利用对土地资源也产生巨大的压力。针对以上分析,在整个黄土台塬区继续推广沼气和太阳能的利用,增大沼气池建设的扶持力度,加快太阳能暖房和太阳能光伏照明的使用,适当的采用电能和液化气等能源,减少生物质能的使用,减少煤炭和蜂窝煤等化石能源的利用,有助于在保障生活质量的前提下实现生态良性循环。可以作为能源利用的社会经济与生态可持续性的模式。

### 3 结果讨论

薪柴利用量占农户用能结构的比例大是问卷调查结果的重要特征。居民冬季取暖和薪柴消费是农户在日常生活中对植被破坏的主要方式,当薪柴消费水平大于植被再生时,则会对生态系统物质循环产生严重影响,尤其是对野生植被,薪柴的获取影响尤甚<sup>[17]</sup>。从经济、社会与生态三方面的耦合而言,薪柴的使用具有经济成本节约性和社会使用便捷性,但其前提是并未纳入生态影响。从生态成本角度考虑,薪柴燃烧一方面排出废气,影响空气质量;另一方面采薪对地表植被的生长有负面影响,弱化了地表植被固碳释氧、保持水土、涵养水源等功能,影响区域生态安全。对黄土台塬地区而言,若采薪取自人工植被,则相对易于控制,若取自塬边野生树丛灌草,则易于导致水土流失。在经济发展过程中,随着农民收入增加,可能会采用煤炭等化石能源或沼气等清洁能源作为薪柴的替代。然而出于便捷的考虑,即使农户经济实力上升,只要居住地周围有较多植被覆盖,这种薪柴的获取模式也不易改变。政府低价或无价提供免费清洁能源可能是改变这一获取方式,降低区域生态风险的最有效途径。

临渭区作为渭南市的中心城区所在地,该市范围

内的自然资源向区内的流程度高,获取比较便捷。渭南市矿产资源丰富,尤其是北部县市处于“渭北黑腰带”中,原煤储量丰富,因而煤炭资源常作为较富裕农户对优质能源的第一选择。然而,渭南市同时具有丰富的农业与林草资源,因此又使农户的用能结构趋于多样化。从时间角度考虑,在计划经济时代,由于煤电供应相对紧张,生物质能显然占农村用能结构的绝大部分比例;随着市场经济的快速发展,能源供应问题缓解,农户用能结构中的化石能源比例持续增加,生活条件快速改善。而随着经济的进一步发展,则可能会呈现两种发展趋势:一种是由于煤炭获取方便而使能源经济持续发展,化石能源比例进一步上升;另一种是通过政府引导,提高清洁能源在用能结构中的比例。显然,后一种模式符合可持续发展的要求,但使清洁能源成为农村用能结构中的主要选择还需要相对更长的时间。而从空间角度考虑,对于临渭区南部的秦岭山区农户而言,薪柴获取极为便利,沼气、太阳能等清洁质能相对成本较高,推广难度较大。对于位于临渭区中部与北部平原的农村而言,农民与外界交往相对频繁,物资运输便利,则更易选择可以充分燃烧、使用效果好的煤炭和液化气;若农户经济收入较高,则即使放弃薪柴或秸秆等生物质能的选用,也不一定会选择沼气,更愿意将秸秆还田,因而推广也有一定难度。相对而言,台塬地区既没有林区获取生物质能的相对优势,又没有平原地区的交通通达优势,因而在清洁能源的开发上反而有较大的相对优势。因此,将以丰原镇为代表的黄土台塬作为清洁能源的试点是合理而可行的。

通过实地调查和计量分析推算,丰原镇已建成的 2 700 口沼气池每年可创造生态经济效益 16 094.41 元,其中生态效益 5 525.01 元,经济效益 10 569.40 元。若整个黄土台塬区的农户全部用上沼气和太阳灶,经济和生态效益将十分可观,尤其是目前农户在养殖业中的平均收入高于种植业,经调查使用沼气的农户 60% 以上养猪,猪粪倒入沼气池,沼液沼渣用作农地肥料,部分粮食用于养猪,由此形成的循环经济模式可为整个台塬地区所借鉴。尽管沼气的使用一直被倡导,但其并不具有不同区域的普适性。我国南方有些地区也出现过由于秸秆被农户用于还田导致沼气站没有充足原料供应而关停的现象。黄土台塬区既不同于北部渭河平原交通便利容易低价获取煤炭,又不像南部秦岭山地林草茂密可以就地拾薪,因此针对黄土台塬区农业资源充足的优势,只有大力进行沼气池和沼气站的建设才能在不降低生活质量的前提下完成节能环保的目标。丰原镇本身是临渭区

重点扶持的沼气推广示范点,修建沼气池的政府经济补贴也相对较高,该模式形成的黄土台塬地区农户生活能源结构转换势必对农民生活质量的改善和生态环境保护起促进作用。

## 4 结论

(1) 目前,黄土台塬地区农村生活能源户均消费 2 018.16 kg 标煤,人均 731.41 kg 标煤,用能量相对较少,只能满足农户炊事、取暖的基本需求,娱乐、卫生等改善生活质量的用能很少。清洁能源比例低,非清洁能源比例高,传统生物质能占用能总量的 75.04%,商品能源的使用仅占用能总量的 16.15%,太阳能和沼气的使用促进了农村生活能源结构的转变。

(2) 在现有的耗能水平上,对 9 种能源结构类型下各自的经济和生态成本以及废料量的分析表明,电能清洁方便,但成本太高,农户不愿支付;若采用生物质能为能源主体,其生态成本较高,同时产生大量废料,农户的现金支出低是以牺牲生态效益为代价的;以煤炭、蜂窝煤、液化气等化石能源为主体能源,生态成本居中,但农民的经济负担较重;利用沼气和太阳能等新能源成本较低,应是今后农村能源结构转换的方向。

(3) 现阶段农户能源消费选择的主要依据是能源的现金支出和可获得性,使用的便利性和清洁性次之,生态环境成本很少考虑。其原因是农户消费了全部生物质能后仍存缺口,通过利用太阳能和购买煤炭、液化气来满足基本需求。电能和化石能源需要较多的现金支出,农户使用量不大。由于黄土台塬区农业资源区位优势突出,生物质能在未来一段时间内依然会在用能结构中占有较大比例,而沼气和太阳能的推广会在客观上提升其农村用能的社会经济与生态可持续性。

(4) 黄土台塬区是我国西北人口密度较高的传统农区,定量分析其农村生活用能可持续性,对实现该地经济繁荣、社会稳定、生态安全有现实意义。本文分析了黄土台塬区农村生活用能问题,从地理特征方面补充完善了之前林区、平原区、黄土丘陵区等方面研究的空缺。同时,在参考前人经济与生态两项指标的基础上,新增了废料产生量指标。随着近年来农村社会结构的快速变化,在未来研究中,对农村空心化、老龄化与用能结构的相互关系值得继续探索。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李国柱,牛叔文,杨振,等. 陇中黄土丘陵地区农村生活能源消费的环境经济成本分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 15-24.
- [2] 梁育填,樊杰,孙威,等. 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[J]. 地理学报, 2012, 67(2): 221-229.
- [3] 吴燕红,曹斌,高芳,等. 滇西北农村生活能源使用现状及生物质能源开发利用研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 781-798.
- [4] 杨振. 农户收入差异对生活用能及生态环境的影响:以江汉平原为例[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 239-246.
- [5] 郭燕锋,孔晓英,孙永明,等. 华南山丘区农村新能源应用现状调查分析[J]. 可再生能源, 2011, 29(4): 153-155.
- [6] 牛叔文,王志锋,李国柱,等. 陇中黄土丘陵地区农村生活能源资源潜力的估算和利用结构分析:以通渭县李店乡祁咀村为例[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 105-109.
- [7] 张海鹏,牟俊霖,尹航. 林区农村家庭生活能源消费需求实证分析:基于双扩展的线性支出系统模型[J]. 中国农村经济, 2010, (7): 64-74.
- [8] 王革华. 农村能源建设对减排 SO<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 贡献分析方法[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 169-172.
- [9] Lenzen M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: An input-output analysis[J]. Energy Policy, 1998, 26(6): 495-511.
- [10] 方品贤,江欣,奚元福. 环境统计手册[M]. 重庆:四川科学技术出版社, 1985: 12.
- [11] Turn S Q, Jenkins B M, Chow J C. Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: Wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(3): 3683-3699.
- [12] Streets D G, Waldhoff S T. Biofuel use in Asia and acidifying emissions[J]. Energy, 1998, 23(12): 1029-1042.
- [13] 中国气候变化国别研究组. 中国气候变化国别研究[M]. 北京:清华大学出版社.
- [14] 李新宇,唐海萍. 陆地植被的固碳功能与适用于碳贸易的生物固碳方式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 200-209.
- [15] 阎世辉. 我国燃煤电厂二氧化硫减排技术经济分析[J]. 环境保护, 2003(4): 46-48.
- [16] 王志锋. 陇中黄土丘陵地区农村生活能源潜力估算及消费结构分析[D]. 甘肃 兰州:兰州大学, 2007.
- [17] 谢丽. 民国时期和田地区薪柴消费与人工植被再生补偿研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 105-109.