水土流失区农户燃料选择及效益

毕安平[1], 朱鹤健[1], 王德光[1], 岳 辉[2], 马天华[3]
(1. 福建师范大学 自然资源研究中心, 福建 福州 350007;
2. 福建省长汀县水土保持局, 福建 长汀 360063; 3. 福建省长汀县国家调查队, 福建 长汀 360063)

摘 要: 采集薪柴是导致植被破坏引发水土流失的主要因素之一。从实证和理论两个方面分析了长汀县农户燃料的选择行为,发现 1960s—2000s,长汀县农户商品燃料无论是实物消耗量比重还是有效热值比重都显著上升,且有效热值比重较实物消耗量比重上升更快。燃料替代措施对政府而言是低成本的水土流失治理措施,农户则因劳动力机会成本上升出现燃料替代的净收益。调查的 3 种燃料组合对薪柴替代的经济效益依次为"沼气+电">"蜂窝煤+电">"液化气+电"。从理论上分析了采集薪柴的综合成本、农户燃料选择及典型替代过程,强调了人为调控因子对燃料替代及水土流失治理的作用。

关键词: 农户燃料替代; 机会成本; 水土流失区; 长汀县
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2011)03-0149-06 中图分类号: F323.214

Farmers' Fuel Choices and Economics in a Soil and Water Loss Region

BI An-ping[1], ZHU He-jian[1], WANG De-guang[1], YUE Hui[2], MA Tian-hua[3]
(1. *Natural Resources Research Center, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian* 350007, *China*; 2. *Soil and Water Conservation Bureau of Changting County, Changting, Fujian* 366300, *China*; 3. *National Investigation Brigade of Changting County, Changting, Fujian* 366300, *China*)

Abstract: Firewood collection, which reduces vegetation cover, is one of the primary reasons causing soil erosion. We studied farmers' fuel selection behavior based on field surveys as well as theoretical analyses, and found that the proportion of farmers' commercial fuel consumption has increased significantly both in terms of fuel materials and total thermal values in Changting County from 1960s to 2000s, with the latter increased faster than the former. Fuel substitution is not only a low-cost soil erosion controlling measure for government, but also a source of net income for rural households due to increases in labor opportunity cost(e.g., farmers can make more money working in a manufactory than collecting firewood). The profit margins of using three surveyed fuel substitution schemes over the firewood decreased from "biogas & electricity" to "honeycomb briquette & electricity" to "liquefied petroleum gas(LPG) & electricity". Further theoretical analysis of comprehensive cost of firewood collection, farmers' fuel choice, and typical fuel substitution process shows that government intervention is an important factor in moving forward the fuel substitution and controlling soil erosion.

Keywords: farmers' fuel substitution; opportunity cost; benefit; soil and water loss region; Changting County

人类燃料利用经历了薪柴→煤炭→石油→天然气这样的演替过程[1]。不同的经济发展阶段和发展水平,主要的生产生活燃料是不一样的。工业革命以来,化石燃料逐步占据了人类能源消费的主体,但世界上仍有一半的人口靠生物质来炊事、取暖和照明,其中绝大部分居住在发展中国家[2]。过快的人口增长导致生物质需求超过了生态生产能力,引发燃料短缺问题。在经济落后,商品能源难以获取的情况下,滥采薪柴成为不得已的选择[3]。薪柴采伐使植被破坏速度快于自然恢复速度导致资源枯竭、土壤肥力减退、水土流失加剧[4-5]。研究证明产沙量、产沙模数与人均购买商品燃料(主要是化石燃料)支出负相关[6],

收稿日期: 2010-10-18 修回日期: 2010-12-01
资助项目: 国家自然科学基金"基于尺度理论的典型红壤侵蚀区生态恢复与重建机理研究"(40871141)
作者简介: 毕安平(1974—),男(汉族),四川省宣汉县人,博士研究生,主要从事自然资源开发与利用、水土保持研究。E-mail: bianping3396@126.com。
通信作者: 朱鹤健(1931—),男(汉族),福建省福州市人,教授,博士生导师,主要从事土壤与土地资源研究。E-mail: hjzhu6@163.com。

因此, 农户燃料使用是影响水土流失的重要因素。目前很多地区在水土流失治理实践中多实施“以煤代柴”、“以电代柴”、“以沼气代柴”等措施以消除薪柴采集诱因。作为发展中国家最为重要的经济组织之一[7], 农户是理性的, 收益最大化是其基本的行为准则。因此, 农户燃料替代策略必须以经济利益作为内在驱动力。水土流失治理中的燃料替代激励措施可以有效降低农户成本, 增加收益, 促进农户采取商品燃料代替薪柴。

1 长汀县农户燃料替代实证

1.1 长汀县农户燃料替代过程

长汀县地处福建省西部, 武夷山南段, 汀江上游, 南邻广东、西接江西, 为闽、粤、赣 3 省边陲要冲, 地理坐标 116°00′45″—116°39′20″E, 25°18′40″—26°02′05″N。总土地面积 3 099.5 km^2, 东西宽 66 km, 南北长 80 km。地形以丘陵为主, 中山、低山、丘陵和河谷平原分别占 21.3%, 51.9%, 24.1% 和 2.7%。属于中亚热带季风气候, 年均温 17.5~ 18.8 ℃, 多年平均降水量 1 737.1 mm, 无霜期 260 d。

长汀县早在 1940s 就是全国仅有的 3 个设置水土保持试验站的县份之一, 因其土壤侵蚀的严重性、典型性和治理的长期性, 学术界已把长汀县作为研究福建乃至中国南方亚热带红壤丘陵水土流失治理的典型区, 进行了大量相关研究[8-10]。该县处于中亚热带气候条件, 森林破坏之后, 经封育完全能够自然恢复。历史上几次大规模的森林破坏, 只是一个恶性触发因素, 更主要的是后续的由于经济落后和政策不稳定所引起的持续性破坏[8, 11]。考察长汀的流失历史发现, 持续的长期的植被破坏行为可以概括成“三要”: 向山要“粮”, 向山要“柴”和向山要“肥”。1980s 前“三要”并存时期, 农业劳动生产率低, 人口急速增加, “以粮为纲”的政策导向, 开荒(主要是山坡地) 成风, 化肥稀缺, 农家肥不足, 农民烧草木灰、铲草皮积肥[8]; 人口多, 没有商品燃料供应, 灶具热效率低, 农户薪柴消耗量巨大。1980s 后, “要柴”独存时期, 社会经济发展、农业效率提高、化肥广泛使用、水土流失治理, 开荒、积肥现象逐步消失, 薪柴采集虽然还广泛存在, 但商品燃料使用逐步增加, 薪柴用户数和消耗量均成减少趋势。

本研究利用典型农户监测数据计算了长汀县 1960s(1963—1965 年 3 a 的均值), 1980s(1984, 1985, 1988 年 3 a 的均值) 和 2000s(2003, 2005, 2007, 2009 年 4 a 的均值) 3 个时期的农户生活燃料构成及其有效热值构成(见图 1)。

由图 1 可见, 调查农户燃料构成中非商品燃料(主要是薪柴) 消耗量比重从 1960s 的 100% 下降到 2000s 的 80% 以下, 有效热值下降到 60% 以下。虽然农户薪柴消耗量还占相当大的比例, 但有效热值已经有超过 40% 来源于商品燃料。燃料有效热值替代速度快于实物消耗量替代速度, 薪柴实物消耗量每 20 a 替代约 10%; 而有效热值前 20 a 替代了 15%, 后 20 a 替代了 25%, 呈加速替代趋势。这主要是由于商品燃料热值高, 灶具热效率高, 对非商品燃料替代比高。

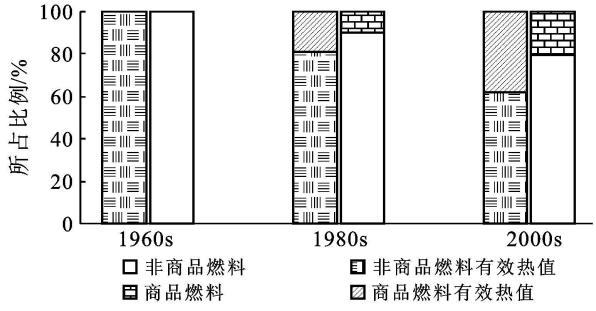


图 1 长汀县 1960s, 1980s 和 2000s 农户燃料消耗量和有效热值构成

注: 资料来源于福建省农民家计调查资料(1954—1965 年); 长汀县国家调查队农户调查资料(1980—1989 年, 2000—2009 年)。

1.2 长汀县燃料替代的农户成本收益

长汀县年平均气温 17.5~ 18.8 ℃, 沼气池可以全年使用, 但考虑维护和沼渣清理, 冬季产气率下降等因素, 综合已有研究[12-13] 及农户使用情况, 按每年正常产气 330 d, 池容产气 0.15 $m^3/(m^3 \cdot d)$ 计, 则 8 m^3 沼气池正常使用产气 396 m^3/a, 沼气池造价3 600 元, 使用寿命 20 a, 年维护费用 120 元。

根据 2010 年 1, 7 月 2 次对长汀县河田镇朱溪河流域典型农户调查得, 4 口之家用电做饭(不含做菜、烧水等) 耗电 20(kW·h)/月, 另外还需要蜂窝煤 120 个/月或液化气 20 kg/月。标准蜂窝煤重 1.25 kg/个, 原煤含量 70%。2009 年标准蜂窝煤价格0.65 元/个(即 0.75 元/kg), 电 0.56 元/(kW·h), 液化气全年均价 5.20 元/kg, 全年农村雇工平均工资水平 50 元/d。薪柴采集效率 75 kg/d[14]。计算得表 1。

从表 1 可见, 仅考虑劳动力机会成本一项, 则 3 种替代燃料组合的收益为: “沼气+ 电”>“蜂窝煤+ 电”>“液化气+ 电”>“薪柴”, 表现出了明显的对薪柴替代的净收益, 采集薪柴的机会成本超过商品燃料价格, 因此农户倾向于用商品燃料替代薪柴[15]。

1.3 长汀县燃料替代的政府投入成本

长汀县在水土流失治理中的燃料替代措施主要有发放煤炭补贴和资助修建沼气池 2 种形式。据对

水土保持项目资助的沼气池使用情况调查数据显示, 沼气池正常使用、故障使用(产气减半, 取 198 m^3/a)和停用的比例分别为 88%, 1.2% 和 10.8%, 则所有沼气池平均产气为 350.84 m^3/a。

表 **1**　农户燃料替代年均收益

燃料组合	燃料Ⅰ		燃料Ⅱ		获取成本/元	替代薪柴收益/元
	用量(kg, m^3)	价格/(元·kg^{-1})	用量/kWh	价格/(元·kW^{-1}·h^{-1})		
沼气+ 电	396	0.76	550	0.56	608.96	2 391.04
蜂窝煤+ 电	1 260	0.75	240	0.56	1 079.40	1 920.60
液化气+ 电	240	5.20	240	0.56	1 382.40	1 617.60
薪 柴	4 500	0.67	0	0.00	3 015.00	0.00

注: 用量为农户调查数据; 沼气成本不考虑贴现率以现值计, 沼气池寿命以 240 个月计; 薪柴成本指薪柴采集劳动力机会成本而非市场价格; 各种燃料组合中,"+"前为燃料Ⅰ,"+"后(电)为燃料Ⅱ;"液化气+ 电"组合的灶具规范, 燃料热值稳定, 起火和灭火过程中热量损失小, 所以本文中农户人均有效热值需求由"液化气+ 电"燃料组合计算求得; 沼气价格单位为元/m^3。

表 **2**　长汀县 **2000– 2009** 年沼气池产气情况

年 份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	总 计
沼气池数量/口	2 013	552	795	851	1 003	704	422	0	363	194	6 897
产气年数/a	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	—
产气总量/$10^4 m^3$	706.2	174.3	223.1	209.0	211.1	123.5	59.2	0.0	25.5	6.8	1 738.8

注: 长汀县水土保持局总结材料, 2010.3; 沼气池修建在春季进行, 当年即可产气。

人均有效能量法能较准确地预测农村家庭燃料需求[16], 本研究利用各种燃料的热值和农户使用中的燃料热效率换算成有效热量, 然后依据有效热值计算各种燃料之间的替代情况。1980s 年长汀县推广节柴灶达 56 467 户, 占农户总数的 96.5%[14], 因此薪柴热效率以 1970s 热效率[17]的 150% 计, 取 15%。蜂窝煤热效率 30%[18], 电的热效率取 70%, 沼气热效率 60%。由表 2 知由长汀县水土保持项目所资助的沼气池 10 a 共生产沼气 1.74×10^7 m^3, 总有效热值 2.18×10^8 MJ, 薪柴当量 8.69×10^7 kg, 相当于 11 193.8 hm^2 林地 1 a 的生产量〔薪柴生产量 7 767 kg/(hm^2·a)[14]〕。2000—2009 年长汀县煤炭补贴受益人口 191 880 人次, 人均有效热值需求 1 957.5 MJ/a, 总有效热值需求 3.76×10^8 MJ/a。2000s 长汀农户有效热值的 40.9% 来自商品燃料(见图 1), 则煤炭补贴农户(100% 使用商品燃料) 有 59.1% 的商品燃料有效热值, 即 2.22×10^8 MJ 应该归功于煤炭补贴措施的激励, 其薪柴当量 8.85×10^7 kg, 等于 11 391.5 hm^2 林地 1 a 的生长量。因此, 长汀县通过资助修建沼气池和发放煤炭补贴间接保护的林地面积 10 a 合计分别为 11 193.8 hm^2 和 11 391.5 hm^2, 两者合计 22 585.3 hm^2, 相当于 2000—2009 年长汀县封禁、低效林改造、生态林草、种果等直接措施治理面积(74 559.4 hm^2)的 30.3%。

直接的水土流失治理措施恢复、保护的是"潜在资源", 是对林地生产潜力的保护与恢复, 还不是现实生产能力; 燃料替代可以通过改变农户燃料结构、减少薪柴消耗而实现对林地"存量资源"和"生产潜力"的双重保护, 从源头上消除植被破坏的薪柴采集诱因。因此, 各种水土流失治理措施最终会直接、间接地保护一定面积的林地免遭破坏或者恢复生产能力, 某项措施(崩岗治理、道路修建等不宜用面积测度的措施除外) 的投入资金除以所保护的林地面积即为该措施的水土流失治理成本。根据长汀县 2000—2009 年几种主要治理措施资金投入及其治理面积计算得出 10 a 间各种措施的平均治理成本(见图 2)。

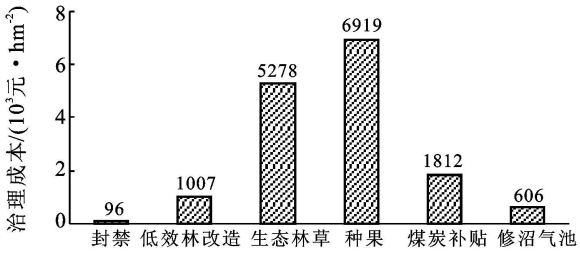


图 **2**　长汀县 **2000– 2009** 年部分治理措施平均成本

由图 2 可见, 直接治理措施中, 生态林草、种果措施成本高昂, 只适合在流失严重、难以自然恢复或有较高经济回报的区域小范围实施; 封禁、低效林改造和燃料替代(修沼气池和煤炭补贴) 措施的治理成本低, 适合大面积实施。但不能忽视的是, 燃料替代措施的低成本是因为政府投资产生了"杠杆效应", 很大一部分投资由农户承担了。如果考虑政府和农户的

双重投入,则燃料替代措施成本会显著上升。燃料替代措施需要农户投入较多,但能产生迅速、直接的经济效益,因此农户乐于接受。然而这种迅速直接的经济效益是有前提的,即必须有较高的农村劳动力机会成本,提高劳动力机会成本的基本途径是提高收入和增加就业机会。因此发展区域经济,拓宽农村劳动力就业渠道,减少农村富余劳动力,提高农户收入,提升农户生活水平,改变农村生产生活方式,减少薪柴消耗,才是治理水土流失,恢复植被,重建区域生态—经济系统平衡的根本出路。

因此,无论是从农户还是从政府的角度来看,水土流失治理中燃料替代措施都是经济的,适合推广。以上研究对薪柴采集的成本收益分析局限在农户劳动力机会成本要素和政府直接投入成本两个方面,其实农户薪柴采集的成本收益分析还应该有更丰富的内容。

2 农户燃料替代理论探讨

2.1 农户采集薪柴的成本收益

成本就是为达到某一特定目的而耗用或放弃的资源[19]。农户采集薪柴的直接成本(direct cost, DC)指农户为采集薪柴而付出的现金、劳动等。薪柴主要取自林地或农业副产品,一般不需要支付生产成本,因此其直接成本主要是采集薪柴而付出的劳动。劳动的价值可以用劳动时间和劳动力价格来度量。采集单位薪柴所耗费的劳动时间取决于薪柴采集效率(efficiency)。因此薪柴采集的成本(firewood collection cost, FCC)由薪柴采集效率和劳动力价格(labor price, LP)2 个因素决定,见式(1):

$$FCC = \frac{Q_f}{E} \cdot L_P \quad (1)$$

式中: FCC——薪柴采集成本; Q_f——薪柴采集数量; E——薪柴采集效率; L_P——劳动力价格。下同。

农户采集薪柴具有非市场化的自我服务性质,很难通过市场来定价劳动力,一般用劳动力的机会成本(labor opportunity cost, LC)来代替,即 LC= FCC。农户采集薪柴的劳动力机会成本是指农户采集薪柴时放弃从事其它工作机会可能带来的收益。农户从事其它市场性劳动有相应的劳动力价格 P_l,于是通过劳动力机会成本代替,难以定价的自我服务劳动可以用劳动力市场价格来度量,即 $P_l = L_P$。于是式(1)转换为公式(2):

$$LC = \frac{Q_f}{E} \cdot P_l \quad (2)$$

式中: LC——采集薪柴劳动力机会成本; P_l——劳动力市场价格。

改革开放以前,社会经济不发达,就业机会较少,劳动力流动限制严格,农村富余劳动力从事其它工作以获取收入的机会微乎其微,因此采集薪柴的劳动力机会成本非常低(耕地劳动投入"过密化"[20]反映的也是这一问题),农户当然首选"无成本"的薪柴燃料[15]。随着社会经济发展,本地就业岗位增加,人口流动限制减少,外出劳动力增加,农村富余劳动力减少,工资水平上涨,农村劳动力机会成本上升,薪柴采集成本也随之上升。

资源具有多用途性,使用时存在许多相互排斥的方案。选择一种方案也就放弃了其它用途的方案,也就失去了获取另外一种收益的机会,此即为资源利用的机会成本[5]。除了作为燃料,薪柴还可以用作建材、肥料、饲料、工业原料、生态保护等,利益最大化用途与薪柴获益差值即为薪柴机会成本(firewood opportunity cost, FC)。

封山育林等禁止性政策颁行后,农户采集薪柴还要面临法律法规的约束和惩罚(illegal cost, IC);随着农户水土保持环境观念的树立,薪柴采集还会承受自我心理压力和社会舆论压力(physiological cost, PC);用薪柴做饭需要更多的时间[21](cooking time cost, CC);使用薪柴的厨房 TSP 等污染更为严重[22](wealth costs, WC)等,这些都要计入薪柴使用的成本之中。农户采集薪柴的总成本(total cost, TC)见公式(3):

$$TC = \frac{Q_f}{E} \cdot P_l + FC + IC + PC + CC + WC \quad (3)$$

式中: TC——采集薪柴总成本; FC——薪柴机会成本; PC——心理成本; IC——违法成本; CC——时间成本; WC——健康成本。

薪柴的就地取材、自我服务性质使得薪柴市场是不完备的甚至是缺失的,很难对薪柴进行市场定价。但农户使用商品燃料和使用薪柴所获取的效用是等价的,因此可以用购买商品燃料的费用来替代农户采集薪柴的收益,综合式(3)则农户采集薪柴的净收益(net income, NI)表示为式(4):

$$NI = Q_s \cdot P_s - \frac{Q_f}{E} \cdot P_l - (FC + IC + PC + CC + WC) \quad (4)$$

式中: NI——采集薪柴净收益; Q_s——替代燃料用量; P_s——替代燃料价格。

由式(4)可以看出,采集薪柴的净收益 NI 值的大小是农户最终燃料选择的决定性因素。替代燃料的价格 P_s 越低、劳动力价格 P_l 越高、采集薪柴的效率 E 越低,则农户的采集薪柴相对成本越高;薪柴机会

成本、采集薪柴的心理成本、违法成本和使用薪柴时的时间成本、健康成本越高, 农户采集薪柴的净收益越小, 则农户越倾向于使用替代燃料。反之则反。式(4)中促进农户燃料替代的人为可控因子主要有 P_s, Pl, FC, PC 和 IC, 具体措施包括: 发放燃料补贴降低替代燃料价格, 制定政策法规限制农户薪柴采集、增大农户采集薪柴的违法成本和心理成本, 开发环保、高附加值的薪柴资源用途(如生态旅游)以增大薪柴机会成本, 发展区域经济, 增加就业, 提高农户收入增大薪柴采集的劳动力机会成本。

2.2　农户燃料替代选择

农户是理性经济人, 做燃料选择时会理性地考虑薪柴和替代燃料之间的成本差异。不同时期、不同农户的燃料组合差异很大, 但农户家庭的有效热值需求弹性很小。为简化问题, 本研究假设不同时期的有效热值需求是无差别的, 则可以做出一条无差异有效热值需求曲线 L_1(见图 3), L_1 上的任意一点的燃料组合都能满足农户的有效热值需求。同时, 农户的燃料开支要受到其预算约束线 L_2 或者 L_3 的限制, 因此农户在综合了预算支出和燃料需求之后选择最优燃料组合 P_1 或者 P_2。显然, 当替代燃料价格下降的时候, 农户的燃料组合就会从 P_1 点向 P_2 点方向移动, 此时将薪柴消费量从 Q_2 减少到 Q_1, 而替代燃料消费量则从 Q_a 增加到 Q_b; 反之则由 P_2 点向 P_1 点方向移动, 减少替代燃料消费, 增加薪柴消费。

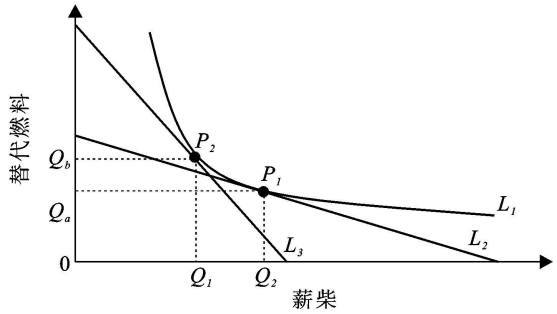


图 **3**　农户燃料替代策略

从长期来看, 人类社会遵循着由生物质燃料向化石燃料演替的规律[1], 因此农户的燃料选择策略总是从 P_1 点向 P_2 点方向移动。农户燃料结构呈现出阶梯状演变规律(见图 4)。从完全依赖生物质燃料的 A 点向完全依赖化石燃料的 E 点方向逐级上升。不同地理区域, 不同资源禀赋和社会经济发展水平, 农户燃料组合处于从 A 到 E 的不同演化阶段。一般而言, 越是社会经济欠发达地区, 其燃料组合越靠近 A 点, 越是社会经济发达的区域, 农户的燃料组合越接近 E 点。

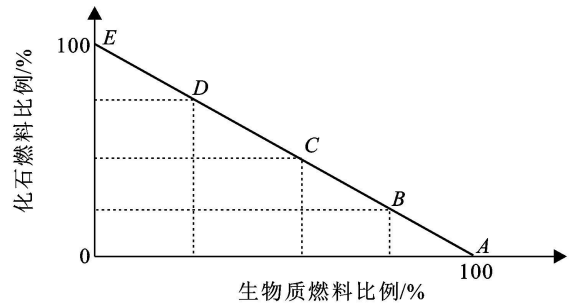


图 **4**　农户燃料替代阶梯

3　结 论

1960s—2000s, 长汀县农户商品燃料的实物消耗量和有效热值构成比例均显著上升, 且有效热值比例上升更快。到 2000s, 商品燃料在农户的燃料实物消耗量中占到了 20.8%, 有效热值占到 40.9%, 但薪柴仍然是农户家庭的主要燃料, 农户燃料构成还处于以非商品燃料为主向以商品燃料为主的过渡阶段。影响农户燃料替代的因素包括替代燃料价格、劳动力价格、采集薪柴的效率、薪柴用途、心理压力和违法成本等, 其中决定性因素则是受就业机会和劳动力价格影响的农村劳动力机会成本。

长汀县 4 口之家使用"液化气+ 电"、"煤炭+ 电"、"沼气+ 电" 3 种燃料组合对薪柴的替代的年均经济效益分别为 1 617.60, 1 920.6 和 2 391.04 元。农户采用燃料替代策略的收益均为正值, 这是农户燃料替代的内在推动力。从政府投入来看, 农户燃料替代措施保护林地的成本较低, 可以通过较少的投入激励农户采用替代燃料策略, 是农户燃料替代的重要外部推动力。基于机会成本计算的农户燃料替代净收益还需要稳定并强化农村劳动力高机会成本前提, 加大对促进区域经济社会发展项目的投入, 增加农村劳动力就业机会, 促进农民增收, 提高生活水平, 推进城市化, 加大农户采集薪柴的机会成本, 促进农户燃料结构升级, 利用市场经济法则解决水土流失治理成果维护的难题。

[参 考 文 献]

[1]　倪维斗. 从生物质能的利用谈起[M]// 张坤民, 潘家华, 崔大鹏. 低碳经济论. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 271.

[2]　Ludwig J, Marufu L T, Huber B, et al. Domestic combustion of biomass fuels in developing countries: a major source of atmospheric pollutants[J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2003, 44: 23-37.

[3]　王效华, 冯祯民. 中国农村家庭能源消费阶段划分研究[J]. 中国沼气, 2001, 19(1): 46-49.

[4] 何成新, 黄玉清, 吕仕洪, 等. 石漠化地区农村能源结构调整及其生态经济效应分析: 以广西平果县龙何屯为例[J]. 广西植物, 2007, 27(6): 855-860.
[5] 封志明. 资源科学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 90, 240-241.
[6] 许炯心. 农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 385-394.
[7] 张林秀. 农户经济学基本理论概述[J]. 农业技术经济, 1996(3): 24-30.
[8] 曾从盛, 郑达贤. 福建典型区生态环境研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 1-27.
[9] 陈志彪, 朱鹤健. 不同水土流失治理模式下的土壤理化特征[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2006, 22(4): 5-9.
[10] Cao S X, Zhong B L, Yue H, et al. Development and testing of a sustainable environmental restoration policy on eradicating the poverty trap in China's Changting County[J]. PNAS, 2009, 106(26): 10712-10716.
[11] 何承耕. 多时空尺度视野下的生态补偿理论与应用研究[D]. 福建 福州: 福建师范大学, 2007.
[12] 黄勤楼, 黄惠珠, 陈金波. 不同池型沼气池产气性能及运行效果比较[J]. 福建农业科技, 2003(6): 49-51.
[13] 黎镐鸿. 沼气建设"一池三改"项目的实施概况及效益分析[J]. 福建农业科技, 2006(4): 55-56.
[14] 黎镐鸿. 长汀县农村能源节约利用现状分析及发展思路[J]. 福建能源开发与节约, 1996(4): 42-43.
[15] 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.
[16] 王效华, 吴争鸣. 农村家庭生活用能需求预测方法的讨论[J]. 农村能源, 1999(4): 1-3.
[17] 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.
[18] 邓可蕴, 贺亮. 农村可持续发展能源战略对策与建议[J]. 中国工程科学, 2000, 2(8): 43-54.
[19] 查尔斯·T·亨瑞格, 斯坎特·M·达塔, 乔治·福斯特, 等. 成本与管理会计[M]. 11 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2004: 33
[20] 陈勇勤. 论中国小农经济的劳动投入问题[J]. 求索, 2006(9): 1-5.
[21] Feng T T, Cheng S K, Min Q W, et al. Productive use of bioenergy for rural household in ecological fragile area, Panam County, Tibet in China: The case of the residential biogas model[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13: 2070-2078.
[22] 虞江萍, 崔萍, 王五一. 我国农村生活能源中 SO_2, NO_X 及 TSP 的排放量估算[J]. 地理研究, 2008, 27(3): 547-555.

(上接第 98 页)

[7] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2025-2029.
[8] 赵勇钢, 赵世伟, 曹丽花, 等. 典型草原区退耕及封育草地土壤水分物理性质研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 41-44, 115.
[9] 刘娜娜, 赵世伟, 杨永辉, 等. 云雾山封育草原对表土持水性的影响[J]. 草地学报, 2006, 14(4): 338-342.
[10] 安韶山, 张扬, 郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 66-70.
[11] 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 封育对沙质草甸土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 159-161, 181.
[12] 苏永中, 赵哈林, 文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 5-8.
[13] 谢锦升, 杨玉胜, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 702-709.
[14] 苏静, 赵世伟, 马继东, 等. 宁南黄土丘陵区不同人工植被对土壤碳库的影响[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 50-52, 179.
[15] 赵世伟, 苏静, 杨永辉, 等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量变化[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 114-117.
[16] 李凯, 窦森, 韩晓增, 等. 长期施肥对黑土团聚体中腐殖物质组成的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 579-583.
[17] 邹厚远, 刘国彬, 王晗生. 子午岭林区北部近 50 年植被的变化发展[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 1-8.
[18] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 77-88.
[19] 赵世伟, 卢璐, 刘娜娜. 子午岭林区生态系统转换对土壤有机碳特征的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 1030-1035.
[20] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 不同施肥处理对黑垆土中有机碳含量分布的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 931-938.
[21] 安韶山, 张玄, 张扬, 等. 黄土丘陵区植被恢复中不同粒级土壤团聚体有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 109-113.