

# 中国农村家庭能源消费结构：基于 Meta 方法的研究

魏 楚, 韩 晓

**摘 要：**农村家庭能源转型事关农村居民的生活水平与生活质量，是能源消费革命的重要组成部分。此前文献研究中对我国能源消费结构存在不同的判断，一种观点认为目前仍以生物质能源为主，另一种观点认为农村家庭能源消费已经过渡到以煤炭为主。为了判断现有的农村能源消费结构，本文基于已有的可得文献，采用 Meta 分析方法提取了 35 篇文献中的 73 组效应值进行定量分析。结果表明：已有文献在研究对象、样本特征、模型方法、解释变量等维度上存在显著的异质性，由此导致了文献之间结论不一致。本文在控制住这些因素后发现，我国农村家庭能源消费结构已经发生根本性转变，家庭收入是驱动能源消费转型的主要因素。伴随着收入的持续增长，劣质能源（生物质能）显著减少，电力等高品质商品能源显著增加，而煤炭、沼气等低品质能源消费量逐步趋于稳定。不同的稳健性检验也支持这一结论。

**关键词：**农村家庭；能源消费结构；能源消费转型；Meta 分析方法

**中图分类号：**F323.24 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2018)06-0023-13

**DOI:**10.16493/j.cnki.42-1627/c.2018.06.003

2017 年，我国农村地区常住人口仍有 5.77 亿，占总人口的 41.5%。尽管各级政府在推动农村能源普及上付出了大量努力，但是根据《第三次全国农业普查数据公报》，我国仍有 45%（1.03 亿户）的农村家庭以薪柴、秸秆、沼气等生物质作为主要的炊事燃料。推动农村家庭能源结构转型升级，不仅事关农村居民的室内空气质量和健康水平，也是农村能源基础设施建设、农村居民生活水平改善的重要监测指标，更是习近平总书记提出的“能源生产与消费革命”的重要组成部分。在此背景下，了解我国农村家庭能源消费的内在结构具有重要的现实意义。

学术界对农村家庭能源消费转型存在两种不同的判断：一种观点认为我国农村家庭仍然主要以薪柴等传统生物质能源为主，代表性的调查报告有中国人民大学的家庭能源消费调查<sup>[1]</sup>，其他采用入户调查的研究也得到了相似结论<sup>[2][3][4][5]</sup>；另一种观点认为农村家庭能源消费以煤炭为主，代表性研究有农业部田宜水的研究报告<sup>[6]</sup>以及其他学者的实地调查研究<sup>[7][8][9][10]</sup>。因此，仅通过现有的研究结果很难判断我国农村家庭能源消费所处的阶段，也无法识别出是否已实现由传统非商品能源向商品能源的根本转变。缺乏对农村家庭能源消费结构现状的判断，将极大地影响相关公共政策的制定，譬如是否加大对农村能源基础设施投资、是否推动旨在消除农村能源贫困的政策、是否加大农村能源转型升级力度等。

本文试图回答我国农村家庭能源消费结构是否已经发生根本性转变，即是否已经由主要依赖非商品能源过渡到以商品能源为主这一问题。鉴于实地调查研究所得数据的局限，本文尝试采用一种

**基金项目：**国家自然科学基金项目“居民能源需求管理”（71622014）、“城镇化与居民能源需求”（41771564）；教育部人文社科基金项目“城镇化对家庭能源消费的影响”（16YJA790049）

**作者简介：**魏楚，中国人民大学经济学院教授、博士生导师（北京 100872）；韩晓，中国人民大学经济学院博士研究生

新的方法，从已有实证计量文献出发，通过定量综合前人研究结果来判断我国农村地区能源消费结构。此外，为谨慎精确考虑，本文进一步分析和考察了影响这一判断的主要影响因素。

## 一、文献回顾与理论假说

Barnes 等在研究发展中国家农村能源使用时，提出“能源阶梯（Energy Ladder）理论”，即收入较低的农村家庭大多使用薪柴或粪便作为炊事燃料，当收入增长时，便会逐步登上更高的“能源阶梯”，最终进入使用电气照明和化石燃料用于炊事活动的新阶段，这种向现代燃料的转变一般在人均收入达到 1 000~1 500 美元时才能实现<sup>[11]</sup>。这一理论明确了收入与能源使用种类之间的联系，并表明了能源转换所需的收入水平。早期有关发展中国家家庭能源使用的相关文献均支持“能源阶梯”这一假说<sup>[12][13][14]</sup>。

然而，Masera 等指出，“能源阶梯理论”是有缺陷的，因为该理论意味着能源结构的迁移是一个线性过程，具体如图 1（a）所示。Masera 等认为，由于考虑到其他多种因素（用能技术、文化偏好、器具经济性等）的影响，家庭能源消费会出现多次不完全替代，即在同一时期，可能会有多种能源并存，能源结构迁移是多种能源重叠上移的过程，具体如图 1（b）所示<sup>[15]</sup>。此后，越来越多的研究表明，能源消费结构转变并不是一个简单的、离散的过程，而更常见的是多燃料并存且逐步替代的过程<sup>[16][17][18][19][20]</sup>。

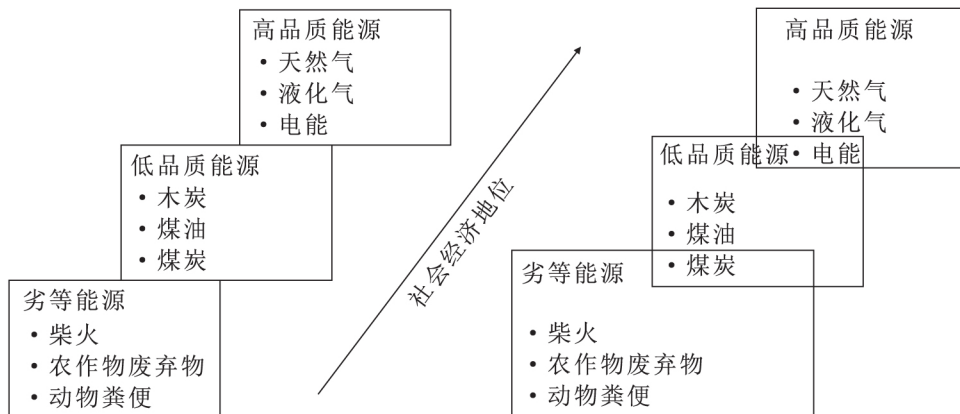


图1(a) 能源阶梯理论

图1(b) 能源堆栈理论

根据“能源阶梯”和“能源堆栈”理论，能源消费结构的转变将会是清洁能源逐步取代污染源、高效能源逐步取代低效能源、便利性更高的能源逐步取代便利性低的能源。而且相关研究也已证实这一观点。Van Ruijven 等对多个国家的研究表明，处于更高阶梯的能源一般更清洁、更高效、更便利<sup>[21]</sup>。陆慧等利用层次分析法研究了江苏和安徽两省家庭收入与能源消费结构的关系，结果表明收入水平高的农户在选择能源时更看重舒适性、便利性和卫生性<sup>[22]</sup>。本文按照清洁性（卫生性）、便利性、高效性将农村所用能源划分为三类：传统生物质能（秸秆、粪便、薪柴等）三性全不具备，划分为劣等能源；煤炭具有便利性、高效性，沼气具有清洁性、高效性，两者三性占其二，可划分为低品质能源；电能和天然气（或者是液化气）由于三性全部具备，所以划分为高品质能源。

根据上述分析，随着收入增加、社会经济地位提升，我国农村家庭能源消费很有可能会依次经历高品质能源逐步替代低品质能源的过程。如果根据收入把这个过程划分为三个阶段，那么，具体示意图可能如图 2 所示。在这个迭代过程中，收入会存在阈值，当收入的增加超过某一阈值时，主

导能源的地位才会发生轮换。

根据收入与主导能源的关系, 可以推断: 若家庭能源消费处于第一阶段, 那么劣质能源消费量变化对收入不敏感; 若家庭能源消费处于第二阶段, 那么低品质能源消费量变化对收入不敏感。因此, 本文试图通过收入对能源消费量的影响来间接推断我国农村能源消费状况。鉴于我国只有局部地区建有沼气的池, 并不是在全国范围使用, 因此, 本文主要分析煤炭和生物质能源的变化。我国农村地区 2016 年人均可支配收入已经达到

12 363.4 元, 远远超过“阶梯理论”中 1 000 美元的标准, 所以, 本文提出并将验证以下假说:

我国农村能源消费结构处于图 2 所示的第二阶段, 即: 这一时期内, 生物质能消费随收入增加出现显著下降, 高品质能源消费随收入增长而显著增加, 而煤炭消费量对收入变化不敏感。

表 1 列举了近年来基于我国农村家庭能源入户调查的代表性文献的相应结论。可以看出, 不同文献之间的研究时点、调查地区和最终结论差异很大。单纯依赖于某一篇文章或若干文献, 无法得到对我国农村家庭能源消费所处阶段的一致性判断, 有必要控制住不同文献自身在调查地区、时间、分析方法等因素上的差异。本文首次将 Meta 分析引入家庭能源消费领域, 研究方法避免了受调查区域、抽样方法等因素的影响, 而且对现有研究的争议能够给出一个综合的定量结果。此外, 本文的价值还在于整合分析的理论性。不同于现有研究通过问卷调查的方式来直接得出家庭能源的消费结构, 本文的整合分析以“能源阶梯理论”和“能源堆栈理论”为基础, 通过考察能源消费量随收入的变化来间接推断农村家庭能源消费结构, 所用方法更具有理论依据。

表 1 已有文献对农村家庭能源消费结构的结论对比

| 作者                                      | 调查地区                  | 结论                 |
|---|-----------------------|--------------------|
| Tonooka Yutaka 等 (2006) <sup>[23]</sup> | 陕西                    | 以生物质燃料为主           |
| 李国柱等 (2013) <sup>[24]</sup>             | 吉林                    | 以生物质燃料为主           |
| 周中仁等 (2007) <sup>[25]</sup>             | 山东                    | 以传统商品能源煤炭为主        |
| 张彩庆等 (2015) <sup>[26]</sup>             | 北京、天津、河北              | 以传统商品能源煤炭为主        |
| 徐瑶 (2014) <sup>[27]</sup>               | 福建、山东、内蒙古、贵州、河北、甘肃、青海 | 生物质能源与煤炭使用比例差别不大   |
| 史清华等 (2014) <sup>[28]</sup>             | 山西、贵州、浙江              | 生物质能源与煤炭农户使用比例差别不大 |

## 二、研究方法与数据处理

本文采用 Meta 方法对已有文献进行定量分析。首先, 通过对文献进行筛选和系统编码得到数据集; 然后, 对数据集中所有研究结果进行整合分析, 得出总体效应, 从而对本文所做假设进行验证; 最后, 通过 Meta 回归分析, 识别各研究结果间差异的原因, 了解总体效应中异质性的来源, 判断本文结果受干扰程度。

### (一) 文献检索与筛选

Meta 分析本质上属于二次研究, 因此, 研究质量的高低通常取决于所收集的文献是否全面、完整及可信度高。本文通过以下方法收集研究所需样本文献: 一是通过检索中国知网、维普期刊网、中国优秀博硕士学位论文、Wiley、JSTOR、Elsevier、Springer 等数据库, 收集“农村家庭能

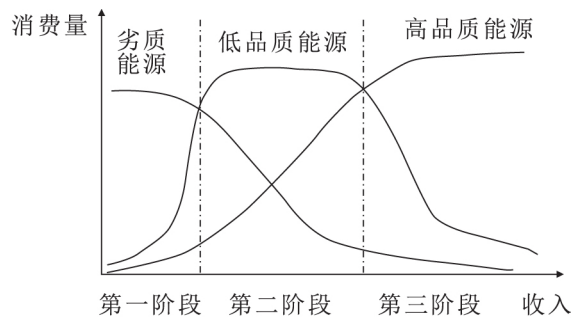


图 2 家庭能源消费—收入关系示意图

源消费”、“农村燃料”、“农村生活能源”相关文献,其中保留硕博学位论文的目的是为了消除发表偏倚;二是检索上述文献的参考文献和引证文献;三是在 Google 学术网站进行手工检索,进一步检索题名、关键词或摘要中包含“能源消费”、“薪柴消费”、“电力消费”、“煤炭消费”、“生物质能源消费”、“沼气消费”的相关文献。

通过以上途径获得初始文献后,根据研究目的对文献进行筛选。筛选原则如下:第一,原始文献必须是实证计量文献,剔除综述类文章;第二,研究的问题必须是与中国农村家庭能源消费相关,剔除对城市家庭能源消费结构的研究;第三,被解释变量是各类能源消费量或者是能源的使用意愿,剔除对能源总量以及对能源占比的研究;第四,研究必须具有相似的报告形式,即需要报告  $t$  值或者能够通过计算得到  $t$  值的相关数据,如回归系数、回归系数标准误等;第五,样本相同且方法类似、所得结果基本无差异的文献视为同一研究,只取其中影响因子较大的一篇文章;第六,在综合考虑样本文献的可靠性和全面性后,为了降低因样本文献偏误所导致的本文结果偏误,对于纳入的硕博学位论文,本文要求一定要有引用量,对于期刊论文,本文要求所纳入的中文文献必须是国内核心期刊,所纳入的英文文献必须是国际主流期刊。

根据以上标准,本文最终得到 35 篇文献作为分析样本,其中包括 26 组生物质能分析结果、12 组煤炭分析结果、18 组沼气分析结果、7 组电能分析结果和 10 组天然气分析结果。具体情况见附表 1。

## (二) 数据整理及编码

本文从效应量和研究差异项两个方面对样本文献进行编码。

1. 效应量选取。Meta 分析的效应量应该是能够衡量实证研究中经验效应的变化强度,而且具有一定的经济意义,如相关系数、弹性、边际变化率等。Meta 回归分析中最基本的效应量是回归系数,但是由于回归系数存在量纲,而且不同研究分析所得到的回归系数标准误不同,会使 Meta 分析受到异方差影响,所以,本文根据 Stanley 等的建议<sup>①</sup>,选取  $t$  统计量作为效应量。若一篇文章中有多个回归结果,本文选取原作者进行结论分析时所用的回归结果,当原作者没有明确指定时,选取拟合度最高的实证结果。

2. 研究差异项选取。本文从样本特征、研究方法、控制变量三个方面分析样本文献的异质性。样本特征包括调查时期和调查地区。研究方法包括样本文献对家庭收入变量的设置以及研究对象选取。控制变量主要包括家庭人口特征变量(家庭人口、年龄、受教育水平等)、价格变量(自身价格、替代品价格)、能源可获得性(距离县城距离、种植面积)、社会经济地位(职业、住房面积)。这些变量是家庭能源消费研究中经常使用的变量,而且是除家庭收入外,对家庭能源消费有重要影响的因素。

## (三) 发表偏倚检验

发表偏倚是指由于研究者、评价者、编辑者在提交、接受、发表文章等诸多方面的偏好从而导致发表机会不同,结果显著的文章可能更容易发表,因此出现文献研究结果显著性被高估的现象。发表偏倚不能消除,但是可以通过增加文献将其减少到最小。本文采用常用的漏斗图法和 Egger 线性回归对发表偏倚进行检验。

由于本文中  $t$  统计值差异较大,并不是标准化的指标,因此,本文将  $t$  统计值转换为偏相关系数<sup>②</sup>,使之间于  $(-1, 1)$  之间,这样可以使得漏斗图更直观,定性检验的准确性更高。漏斗图检

<sup>①</sup> 参见 T. D. Stanley, S. B. Jarrell, "Meta-Regression Analysis: A Quantitative Method of Literature Surveys", *Journal of Economic Surveys*, 1989, 19(3): 299-308.

<sup>②</sup> 具体转化公式:  $r = \frac{t}{\sqrt{t^2 + df}}$ ,  $SE_r = \frac{t}{r}$ 。

验结果如图 3 所示。通过图中倒置的漏斗可以看到, 除两侧少数极端点外, 文献样本整体分布沿中轴线大致对称, 说明农村家庭能源消费影响因素的实证文献整体发表情况较好。

漏斗图虽然操作简单、直观易懂, 但是由于图形对称与否没有严格限定, 仅能通过目测, 所以为了稳健性考虑, 本文使用 Egger 线性回归再次对发表偏倚进行检验, 结果如表 2 所示。结果表明, 截距项  $P$  值显著异于 0, 且 95% 置信区间包括 0, 说明本研究样本文献不存在发表偏倚。

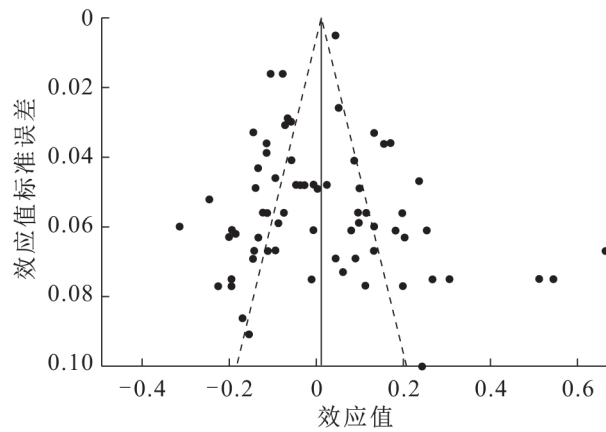


图 3 样本文献发表偏倚漏斗图检验

表 2 Egger's 检验结果

|    | 系数     | 标准误   | $t$ 值 | $P >  t $ | 95% 置信区间 |       |
|----|--------|-------|-------|-----------|----------|-------|
|    |        |       |       |           | 下限       | 上限    |
| 斜率 | 1.169  | 1.227 | 0.95  | 0.344     | -1.277   | 3.616 |
| 截距 | -0.465 | 0.072 | -0.65 | 0.519     | -0.190   | 0.097 |

#### (四) 异质性检验

异质性检验是进行 Meta 回归的前提。如果样本文献之间并不存在异质性, 则固定效应模型可以求得样本文献的平均效应, 否则, 需要采用随机模型求得样本文献的平均效应, 并且通过 Meta 回归分析寻找异质性的来源。在 Meta 分析中, 这些差异可能来源于研究对象、样本特征、模型方法、控制变量等多种因素。本文采用常用的  $I^2$  统计量对异质性进行检验。 $I^2$  的取值范围间于 0~100% 之间, 当  $I^2=0$  时, 表示没有异质性,  $I^2$  越大, 异质性越大。Higgins 等分别以 25%、50%、75% 将异质性区分为低、中、高三个程度<sup>[29]</sup>。

本文异质性检验结果见表 3 最后一列。可以看出, 五类能源类型的  $I^2$  值均超过 50%, 表明样本文献间存在显著的异质性。这意味着固定效应模型并不合适, 需要采用随机效应模型给出分类能源的平均效应量, 并且考虑进行回归分析找出异质性来源。

### 三、结果分析与讨论

#### (一) 能源消费结构

为增加文献合并的可靠性, 本文采用样本量加权方法计算文献权重比。单个效应量权重比 =  $\frac{w_i}{\sum w_i} = \frac{n_i - 3}{\sum n_i - 3}$  ( $w$  为方差倒数,  $n$  为样本量)<sup>[30]</sup>。由于样本文献间存在显著异质性, 本文选择随机效应模型对效应量进行合并, 具体结果如表 3 所示。根据表 3 结果, 生物质能平均效应量为 -2.145, 且在 95% 的置信区间显著, 表明生物质能作为传统的劣等能源, 其消费量与家庭收入显著负相关, 说明传统生物质能对收入变化极度敏感; 电能和天然气的平均效应量分别为 3.438 和 2.258, 且均在 95% 的置信区间显著, 表明电能和天然气作为高级的商品能源, 消费量与家庭收入水平显著正相关, 实际上, 随着收入上升, 家庭生活改善, 很大程度上会表现为家用电器以及各种厨具用品的增加, 从而带动电力和天然气等高级能源的消费; 煤炭和沼气的平均效应量分别为

0.204 和 1.007, 虽然为正值但是并不显著, 说明煤炭和沼气消费量对收入变化并不敏感, 表明在我国大多数农村家庭中, 收入增加不会再带动煤炭等低品质能源的消费, 也就是说, 煤炭等低品质能源在我国农村地区使用量已趋于稳定状态。

表 3 家庭收入对各类能源消费的平均效应分析及异质性检验

| 能源类型 | 模型   | 平均效应量  | 95%置信区间 |        | Z 值       | Q 值     | 自由度 | I <sup>2</sup> |
|------|------|--------|---------|--------|-----------|---------|-----|----------------|
|      |      |        | 下限      | 上限     |           |         |     |                |
| 生物质能 | 固定效应 | -2.146 | -2.532  | -1.761 | -10.909   | 72.674  | 25  | 65.6%          |
|      | 随机效应 | -2.145 | -2.802  | -1.487 | -6.394*** |         |     |                |
| 煤炭   | 固定效应 | 0.202  | -0.365  | 0.770  | 0.699     | 142.587 | 11  | 92.3%          |
|      | 随机效应 | 0.204  | -1.840  | 2.248  | 0.196     |         |     |                |
| 沼气   | 固定效应 | 1.008  | 0.544   | 1.472  | 4.258     | 278.595 | 17  | 93.9%          |
|      | 随机效应 | 1.007  | -0.871  | 2.885  | 1.051     |         |     |                |
| 电能   | 固定效应 | 3.437  | 2.694   | 4.180  | 9.061     | 17.001  | 6   | 64.7%          |
|      | 随机效应 | 3.438  | 2.187   | 4.689  | 5.385***  |         |     |                |
| 天然气  | 固定效应 | 2.257  | 1.635   | 2.879  | 7.112     | 46.126  | 9   | 80.5%          |
|      | 随机效应 | 2.258  | 0.849   | 3.666  | 3.142***  |         |     |                |

整体来看, 随着收入增加, 农村地区劣质能源 (生物质能) 显著下降, 电能等高品质能源显著增加, 而低品质能源 (煤炭和沼气) 收入的边际效应不明显。这一研究结论证实了本文提出的农村能源转型阶段的假说, 即: 我国农村家庭能源消费结构出现了显著变化, 从以前的以生物质能消费为主导的第一阶段过渡到第二阶段, 正处于生物质能消费显著回落, 电力、天然气等高品质能源显著增加, 煤炭消费量趋于稳定的时期。

通过对各类能源收入平均效应的分析, 本文的假说得以验证。然而, 本文的分析是基于样本文献的计量结果, 而样本文献的结果间又存在显著的异质性, 说明本文在合并文献进行分析时, 除了家庭收入对能源需求本身的影响, 可能还会存在许多其他因素干扰能源消费的收入弹性。因此, 为了识别本文的干扰因素, 得到更综合、准确的结果, 下文通过 Meta 回归分析, 对影响家庭收入与能源需求之间的调节因素做进一步稳健性分析。

## (二) 进一步稳健性分析

本文将样本文献中影响研究结果的差异项分为样本选择、模型设计以及控制变量三类, 参考 Stanley 等构建如下 Meta 回归模型:

$$t_i = \alpha + \sum_{j=1}^K \beta_j Z_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

其中,  $n$  是所用样本文献中估计结果的数量,  $t_i$  是效应量指标。本文选用样本文献计量模型中收入系数的  $t$  检验值的绝对值作为效应量, 使用绝对值的目的是消除对能源消费正负方向的影响, 只专注于衡量收入对能源消费显著性的影响程度。 $Z_{ij}$  为导致样本文献实证结果差异的一系列异质性因素, 包括样本特征、变量选择、模型方法等若干方面。

OLS 是 Meta 分析中常用到的估计方法, 但是有些学者认为, 由于每个样本文献的样本量不同, OLS 估计没有考虑样本量对效应量的影响, 因此估计效率较低。Nelson 等认为采用样本量的平方根作为权重, 进行加权最小二乘估计 (WLS) 可能是更恰当的方法<sup>[31]</sup>。此后, 有多篇 Meta 分析的实证文献采用加权最小二乘估计, 均得到了较好的研究结果<sup>[30][32]</sup>。因此, 本文采用加权最小二乘法对结果进行估计。

在 Meta 回归分析中, 各变量名称、变量说明以及描述性统计如表 4 所示。

表 4 变量设置说明

| 变量名称                     | 变量说明                                | 均值    | 标准差   |
|--------------------------|-------------------------------------|-------|-------|
| 效应量                      |                                     |       |       |
| <i>T</i> 的绝对值            | 样本文献家庭收入系数 <i>t</i> 值的绝对值, 该变量是连续变量 | 0.289 | 0.414 |
| 样本特征                     |                                     |       |       |
| <i>Period2000s</i>       | 文献所用数据包括 2001—2010 年的数据则为 1, 否则为 0  | 0.635 | 0.485 |
| <i>Period2010s</i>       | 文献所用数据包括 2010 年之后的数据则为 1, 否则为 0     | 0.324 | 0.471 |
| <i>East</i> <sup>①</sup> | 样本文献调查地区位于我国东部地区则为 1, 否则为 0         | 0.534 | 0.502 |
| <i>West</i>              | 样本文献调查地区位于我国西部地区则为 1, 否则为 0         | 0.356 | 0.482 |
| <i>Medium</i>            | 样本文献调查地区位于我国中部地区则为 1, 否则为 0         | 0.425 | 0.498 |
| 研究方法                     |                                     |       |       |
| <i>Log</i>               | 文献中对农村家庭收入的变量取对数则为 1, 否则为 0         | 0.365 | 0.485 |
| <i>Square</i>            | 样本文献加入家庭收入变量的平方则为 1, 否则为 0          | 0.189 | 0.394 |
| <i>Will</i>              | 样本文献建立的模型是能源选择模型则为 1, 否则为 0         | 0.635 | 0.485 |
| 控制变量                     |                                     |       |       |
| <i>Population</i>        | 样本文献控制了家庭人口则为 1, 否则为 0              | 0.743 | 0.440 |
| <i>Education</i>         | 样本文献控制了家庭平均受教育水平则为 1, 否则为 0         | 0.676 | 0.471 |
| <i>Age</i>               | 样本文献控制了户主年龄则为 1, 否则为 0              | 0.432 | 0.499 |
| <i>Price</i>             | 样本文献控制了研究的能源价格则为 1, 否则为 0           | 0.162 | 0.371 |
| <i>SubPrice</i>          | 样本文献控制了替代能源的价格则为 1, 否则为 0           | 0.365 | 0.485 |
| <i>Distance</i>          | 样本文献控制了家庭距离县城的距离则为 1, 否则为 0         | 0.351 | 0.481 |
| <i>Occupation</i>        | 样本文献控制了户主职业则为 1, 否则为 0              | 0.311 | 0.466 |
| <i>PlantArea</i>         | 样本文献控制了家庭人均种植面积则为 1, 否则为 0          | 0.608 | 0.492 |
| <i>Area</i>              | 样本文献控制了家庭人均住房面积则为 1, 否则为 0          | 0.230 | 0.424 |
| <i>Control</i>           | 样本文献中控制变量的个数, 该变量是连续变量              | 12.88 | 7.903 |

回归结果具体见图 4 (a) — (d)。其中, 图 4 (a) 到图 4 (c) 分别检验样本特征、研究方法、控制变量层面各因素对能源消费收入边际效应显著性的调节作用, 图 4 (d) 是全变量回归结果 (回归结果见附表 2、附表 3)。

首先, 图 4 (a) 检验了不同文献中研究样本的特征差异带来的影响。可以看出, 与中部地区相比, 在基于东部地区和西部地区数据的研究中, 收入对能源消费量的影响系数更大。此外, 不同时间点的研究结果也有差异性, 相较于 2010 年之前的调查数据, 基于 2010 年之后的研究, 其收入对能源消费量的弹性要更高。

其次, 图 4 (b) 检验了不同文献中研究方法的差异。可以看出, 对收入变量取对数显著地正向影响了收入与能源消费的弹性估计, 说明样本文献计量模型收入的设定形式会对平均效应值产生影响, 且会产生正向偏误。

此外, 图 4 (c) 检验了不同文献中设定的控制变量差异带来的影响。可以看出, 有关社会经济地位的衡量指标对平均效应值有显著影响。若样本文献中控制户主职业或者遗漏家庭住房面积, 都会降低收入对能源消费的显著性。此外, 样本文献中控制变量个数对分析结果也会有影响。样本文献中控制变量个数越多, 收入与能源消费的显著性越强。

① 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、广东、山东、海南 11 个省、市; 中部地区包括山西、河南、吉林、黑龙江、湖北、湖南、安徽、江西等 8 个省; 西部地区包括广西、重庆、四川、贵州、甘肃、云南、西藏、陕西、青海、宁夏、新疆、内蒙古等 12 个省、区、市。

最后，图 4（d）报告了全变量回归结果。可以看出，当全面考虑样本文献差异性来源时，只有样本文献控制变量个数、是否控制家庭住房面积、是否研究能源使用意愿、调查数据是否来源于东部地区这四个变量会影响本文的假设验证。

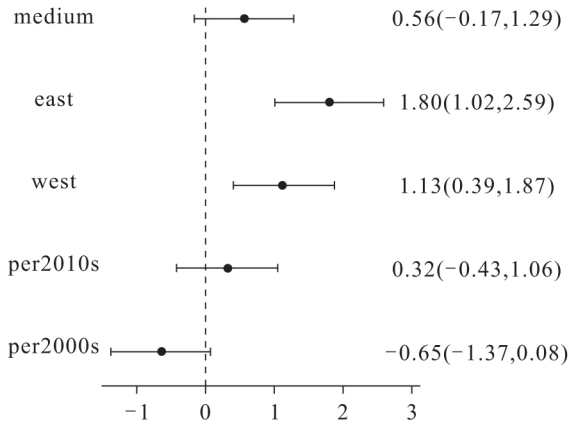


图4(a) 样本特征差异

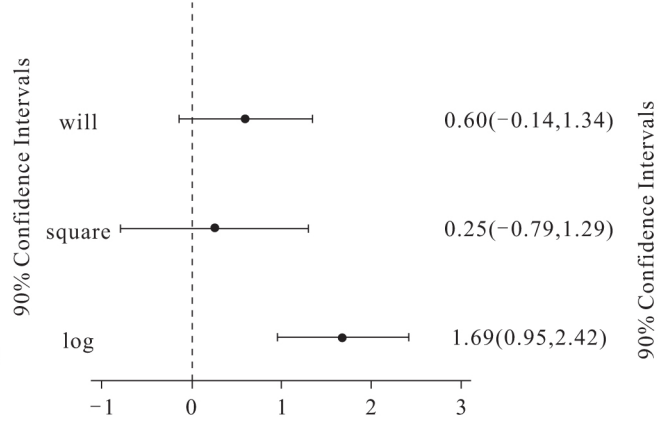


图4(b) 研究方法差异

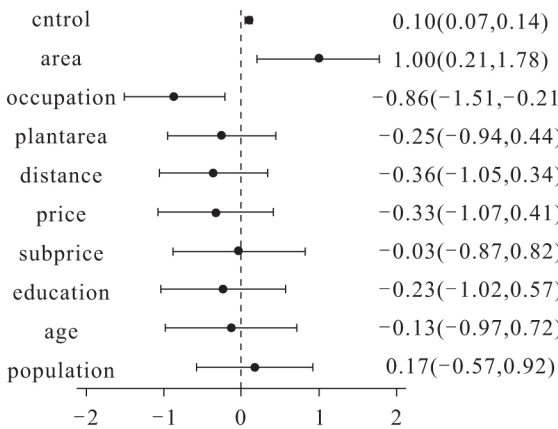


图4(c) 控制变量差异

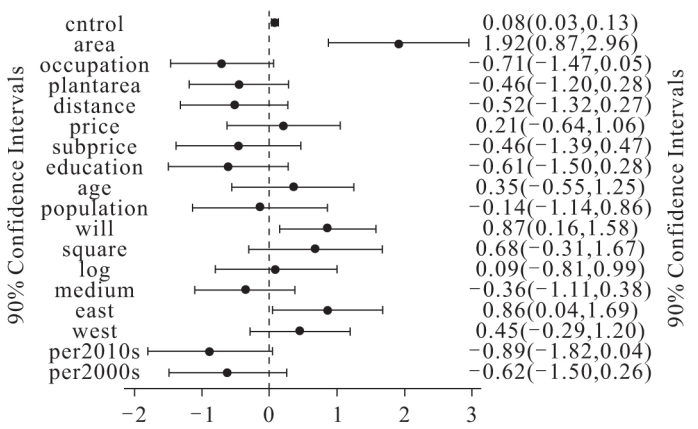


图4(d) 全变量回归结果

综上，具体异质性来源对本文假设验证的影响如表 5 所示。各差异项来源虽然会影响合并效应量，但是对本文假设证实可能性影响是产生向下偏误，说明本文所得结论比较稳健。

表 5 各差异项对本文对所提假设验证影响情况

| 差异来源 | 本文假设：我国农村家庭能源消费主要以煤炭为主                         | 对验证本文假设的影响 |
|------|--|------------|
| 样本特征 | 数据来源于东部地区                                      | 降低         |
|      | 数据来源于西部地区                                      | 降低         |
| 方法   | 对收入变量取对数                                       | 降低         |
| 控制变量 | 控制变量个数   | 降低         |
|      | 家庭住房面积   | 降低         |
|      | 户主职业   | 提高         |
| 全面考虑 | 样本文献控制变量个数、是否控制家庭住房面积、是否研究能源使用意愿、调查数据是否来源于东部地区 | 降低         |

## 四、主要结论

本文通过对文献的 Meta 整合分析, 判断出我国农村家庭能源消费结构经历了较大变化, 农村家庭收入的持续增加是农村能源消费结构转型的主要驱动力。伴随着收入的增长, 农村家庭能源从以薪柴、秸秆等生物质能为主导的第一阶段过渡到生物质能显著下降、电力等高品质能源显著增加、煤炭消费量趋于稳定的第二阶段。这一判断具有重要的政策价值和现实意义, 具体包括:

在农村用能中, 薪柴等生物质能显著下降, 商品能显著增加, 表明农村烧柴所带来的环保难题已不再是普遍关注的重点问题, 而且农村居民用能效率显著提升, “能源贫困”问题也有所缓解。但另一方面, 农村烧煤也会带来一系列问题。由于煤炭具有显著的环境负外部性, 对农村家庭的室内空气和室外大气质量都有极大的影响。尤其对于北方农村居民而言, 冬季供暖消耗了巨大的煤炭资源且加剧了冬季雾霾的形成, 因此, 亟需进一步的公共政策来予以引导和干预。

目前京津冀地区已经在试行农村的“煤改电”、“煤改气”政策并已取得初步成效, 但仍以政府巨额财政补贴为基础。短期内, 受制于收入水平, 农村家庭用能整体上无法从煤炭过渡到电气时代, 因此, 除财政补贴外, 更重要的是提高燃煤质量, 在农村地区推动煤炭清洁利用工作。相关政策的推进, 不论是对环境气候还是对居民健康, 均具有重要的现实意义。

长期中, 农村地区煤炭问题的彻底解决需要农村家庭用能过渡到更清洁高效的能源, 而进一步的能源转型升级仍有待于内生动力, 也即是农村居民收入水平的整体提升来驱动。因此, “攻坚脱贫”对未来农村地区“能源工程建设”将具有重要战略意义。

需要说明的是, 本文的 Meta 整合结果虽然显示出文献研究结果的异质性, 但是我们从样本特征、研究方法、变量控制层面设定若干调节变量, 在回归分析后发现各种异质性来源均会降低证实本文假设的可能性, 表明本文的结论是下限估计, 也即是所得结论是保守估计。此外, 本文的研究结论依赖于已有文献的调查数据和研究方法, 是基于文献的二次计量分析。未来对我国农村家庭能源消费结构的深入分析仍有待于高质量的微观调查数据, 从而能够揭示出在空间尺度上的地区间差异, 以及在时间维度上的动态变化。

附表 1 选取的文献列表

| 作者(年份)                             | 文献来源                                  | 样本量   | 纳入分析效应值             |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------|---------------------|
| Chen Le 等(2006)                    | Ecological Economics                  | 137   | -1.91; 2.35         |
| Sylvie 和 Martin Fournier(2007)     | Social Science Electronic Publishing  | 273   | -2.19; 4.12         |
| Han Hongyun 等(2018)                | Energy Policy                         | 370   | -4.66; -2.80; -2.32 |
| Zhang Xiaobing 和 Sied Hassen(2017) | Environment and Development Economics | 3 859 | -6.50; -4.90; 6.20  |
| Song Conghe 等(2018)                | Ecological Economics                  | 481   | 2.01                |
| Sanjay 和 Qian Liu(1992)            | Energy                                | 603   | -1.44; 2.15         |
| Zhang Rui 等(2014)                  | Energy Policy                         | 766   | 2.09; -3.12         |
| Zhang Jingchao 和 Koji Kotani(2012) | Energy Economics                      | 756   | -3.15; 4.61; 4.27   |
| Qu Wei 等(2013)                     | Energy Policy                         | 1 227 | -2.24               |
| Liu Wenling 等(2013)                | Applied energy                        | 212   | 1.27                |
| 杨小军等(2016)                         | 林业经济                                  | 295   | 1.66                |
| 韦惠兰和贾哲(2017)                       | 福建农林大学学报                              | 933   | -4.34 ; 4.00; 2.50  |
| 邵秀军(2011)                          | 中国农村经济                                | 1 106 | -1.91               |
| 何威风等(2016)                         | 生态学报                                  | 1 015 | -2.28               |
| 金小琴(2015)                          | 西南民族大学学报                              | 428   | 0.05                |

续附表 1

| 作者(年份)        | 文献来源                          | 样本量   | 纳入分析效应值                                |
|---------------|-------------------------------|-------|--|
| 周曙东等(2009)    | 生态与农村环境学报                     | 224   | 1.059; 1.96                            |
| 卢立昕等(2017)    | 中国沼气                          | 125   | -1.66                                  |
| 杨振(2010)      | 甘肃科学学报                        | 180   | 7.42                                   |
| 汪海波和辛贤(2008)  | 农业经济问题                        | 437   | -0.76                                  |
| 崔奇峰和王翠翠(2009) | 中国农学通报                        | 227   | -2.09                                  |
| 蔡亚庆等(2012)    | 中国软科学                         | 1 099 | -2.00                                  |
| 孙威等(2014)     | 地理研究                          | 654   | -2.88                                  |
| 彭新宇和高雷(2014)  | 系统工程                          | 450   | 4.99                                   |
| 汪海波和辛贤(2007)  | 中国农村经济                        | 216   | 0.61                                   |
| 常菁菁等(2013)    | 林业经济问题                        | 192   | 0.82                                   |
| 是丽娜(2008)     | 南京农业大学硕士论文                    | 258   | -2.08; -3.15                           |
| 娄博杰(2008)     | 中国农业科学院硕士论文                   | 324   | -2.16; -2.02; -1.29; 3.50; 1.67; 2.02  |
| 金玲(2010)      | 南京农业大学硕士论文                    | 180   | -0.13; -2.51; 0.06; 6.86; 3.46; 4.02   |
| 于波(2007)      | 南京农业大学硕士论文                    | 266   | -2.96; 2.99; 2.16; 1.29                |
| 程胜(2009)      | 华中农业大学博士论文                    | 436   | -0.13; -0.95; -5.31; -0.55; 2.21; 0.51 |
| 王翠翠(2008)     | 南京农业大学硕士论文                    | 227   | -1.39; -1.65                           |
| 付菊花(2015)     | 江西农业大学硕士论文                    | 1 500 | 1.96                                   |
| 卢诗薇(2014)     | 厦门大学硕士论文                      | 286   | 5.89                                   |
| 王芳(2012)      | 四川农业大学硕士论文                    | 172   | -2.51; -2.90; 1.46; 2.56; 2.55         |
| 林思宇等(2016)    | 2016 中国环境科学学会学术年会<br>论文集(第一卷) | 268   | -0.14                                  |

附表 2 基于 OLS 回归的影响因素识别

|               | 因变量 <i>t</i> 绝对值   | (1)                 | (2)              | (3)                 |
|---------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 样本特征          | <i>Period2000s</i> | -0.641<br>(0.444)   |                  |                     |
|               | <i>Period2010s</i> | 0.309<br>(0.458)    |                  |                     |
|               | <i>West</i>        | 1.132**<br>(0.450)  |                  |                     |
|               | <i>East</i>        | 1.805***<br>(0.480) |                  |                     |
|               | <i>Medium</i>      | 0.566<br>(0.444)    |                  |                     |
|               | 研究方法               | <i>Log</i>          |                  | 1.685***<br>(0.447) |
| <i>Square</i> |                    |                     | 0.253<br>(0.632) |                     |
| <i>Will</i>   |                    |                     | 0.603<br>(0.451) |                     |
| 控制变量          | <i>Population</i>  |                     |                  | 0.174<br>(0.453)    |
|               | <i>Age</i>         |                     |                  | -0.125<br>(0.514)   |
|               | <i>Education</i>   |                     |                  | -0.229              |

续附表 2

| 因变量 <i>t</i> 绝对值    | (1)      | (2)       | (3)       |
|---------------------|----------|-----------|-----------|
|                     |          |           | (0. 484)  |
| <i>SubPrice</i>     |          |           | -0. 0281  |
|                     |          |           | (0. 514)  |
| <i>Price</i>        |          |           | -0. 329   |
|                     |          |           | (0. 452)  |
| <i>Distance</i>     |          |           | -0. 356   |
|                     |          |           | (0. 421)  |
| <i>Occupation</i>   |          |           | -0. 859** |
|                     |          |           | (0. 396)  |
| <i>PlantArea</i>    |          |           | -0. 252   |
|                     |          |           | (0. 421)  |
| <i>Area</i>         |          |           | 0. 996**  |
|                     |          |           | (0. 479)  |
| <i>Control</i>      |          |           | 0. 104*** |
|                     |          |           | (0. 0215) |
| 常数项                 | 1. 398** | 2. 292*** | 1. 831*** |
|                     | (0. 615) | (0. 446)  | (0. 611)  |
| <i>Observations</i> | 73       | 73        | 73        |
| <i>R-squared</i>    | 0. 297   | 0. 192    | 0. 584    |

注: 括号中为标准误差, \*\*\*  $p < 0. 01$ , \*\*  $p < 0. 05$ , \*  $p < 0. 1$ 。

附表 3 全变量回归结果

| 因变量 <i>t</i> 的绝对值     | 系数        | 标准误    | <i>t</i> 值 | <i>P</i> 值 |
|-----------------------|-----------|--------|------------|------------|
| <i>Per2000s</i>       | -0. 619   | 0. 533 | -1. 162    | 0. 250     |
| <i>Per2010s</i>       | -0. 889   | 0. 563 | -1. 578    | 0. 120     |
| <i>West</i>           | 0. 453    | 0. 452 | 1. 003     | 0. 320     |
| <i>East</i>           | 0. 863*   | 0. 500 | 1. 724     | 0. 090     |
| <i>Medium</i>         | -0. 362   | 0. 452 | -0. 801    | 0. 426     |
| <i>Log</i>            | 0. 089    | 0. 549 | 0. 163     | 0. 871     |
| <i>Square</i>         | 0. 682    | 0. 600 | 1. 135     | 0. 261     |
| <i>Will</i>           | 0. 867*   | 0. 433 | 2. 003     | 0. 050     |
| <i>Population</i>     | -0. 138   | 0. 608 | -0. 227    | 0. 821     |
| <i>Age</i>            | 0. 349    | 0. 547 | 0. 638     | 0. 526     |
| <i>Education</i>      | -0. 612   | 0. 540 | -1. 132    | 0. 263     |
| <i>SubPrice</i>       | -0. 462   | 0. 564 | -0. 819    | 0. 416     |
| <i>Price</i>          | 0. 210    | 0. 514 | 0. 408     | 0. 685     |
| <i>Distance</i>       | -0. 522   | 0. 484 | -1. 078    | 0. 286     |
| <i>Occupation</i>     | -0. 709   | 0. 461 | -1. 537    | 0. 130     |
| <i>PlantArea</i>      | -0. 459   | 0. 449 | -1. 024    | 0. 310     |
| <i>Area</i>           | 1. 916*** | 0. 637 | 3. 009     | 0. 004     |
| <i>Control</i>        | 0. 081*** | 0. 029 | 2. 815     | 0. 007     |
| 常数项                   | 1. 811*   | 0. 971 | 1. 864     | 0. 068     |
| 观察值                   |           |        | 73         |            |
| <i>R</i> <sup>2</sup> |           |        | 0. 662     |            |

## 参考文献

- [1] 郑新业,魏楚,秦萍,等. 中国家庭能源消费研究报告[M]. 北京:科学出版社,2015.
- [2] 李延庆. 中国农村家庭能源消费结构研究[D]. 大连:大连理工大学硕士学位论文,2013.
- [3] 刘晓英,张伟豪,肖潇,等. 中国农村可再生能源的发展现状分析[J]. 中国人口·资源与环境,2011(S1).
- [4] 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[J]. 地理研究,2014(11).
- [5] 何建清. 中国农村生活能源发展报告[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [6] 田宜水. 2015 年中国农村能源发展现状与展望[J]. 中国能源,2016(7).
- [7] 支国瑞,杨俊超,张涛,等. 我国北方农村生活燃煤情况调查、排放估算及政策启示[J]. 环境科学研究,2015(8).
- [8] 韩昀. 农村生活能源消费变化趋势研究[D]. 北京:中国农业科学院硕士学位论文,2012.
- [9] 郑顺安,李想,石祖梁,等. 我国西北平原区农村生活能源消费和供需结构分析[J]. 中国农业资源与区划,2017(10).
- [10] 丛宏斌,赵立欣,王久臣,等. 中国农村能源生产消费现状与发展需求分析[J]. 农业工程学报,2017(17).
- [11] Barnes, D. F., R. V. D. Plas, W. Floor. Tackling the rural energy problem in developing countries[J]. *Finance and Development*, 1997(2).
- [12] Bajracharya, D. Fuel, food or forest? Dilemmas in a Nepali village[J]. *World Development*, 1983(12).
- [13] Kennes, W., J. K. Parikh, H. Stolwijk. Energy from biomass by socio-economic groups—A case study of Bangladesh[J]. *Biomass*, 1984(3).
- [14] Alam, M., J. Dunkerley, A. K. Reddy. *Fuelwood Use in the Cities of the Developing World: Two Case Studies from India*[Z]. Proceedings of the Natural Resources Forum, 1985.
- [15] Masera, O. R., B. D. Saatkamp, D. M. Kammen. From linear fuel switching to multiple cooking strategies: A critique and alternative to the energy ladder model[J]. *World Development*, 2000(12).
- [16] Arnold, J. M., G. Köhlin, R. Persson. Woodfuels, livelihoods, and policy interventions: Changing perspectives [J]. *World Development*, 2006(3).
- [17] Martins, J. The impact of the use of energy sources on the quality of life of poor communities[J]. *Social Indicators Research*, 2005(3).
- [18] Heltberg, R. Fuel switching: Evidence from eight developing countries[J]. *Energy Economics*, 2004(5).
- [19] Brouwer, R., M. P. Falcão. Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2004(3).
- [20] Campbell, B. M., S. J. Vermeulen, J. Mangono, et al. The energy transition in action: Urban domestic fuel choices in a changing Zimbabwe[J]. *Energy Policy*, 2003(6).
- [21] Van Ruijven, B., F. Urban, R. M. Benders, et al. Modeling energy and development: An evaluation of models and concepts[J]. *World Development*, 2008(12).
- [22] 陆慧, 卢黎. 农民收入水平对农村家庭能源消费结构影响的实证分析[J]. 财贸研究, 2006(3).
- [23] Tonooka, Y., J. Liu, Y. Kondou, et al. A survey on energy consumption in rural households in the fringes of Xian city[J]. *Energy & Buildings*, 2006(11).
- [24] 李国柱, 安红梅, 吕南诺, 等. 吉林省农村生活能源消费结构分析[J]. 湖北农业科学, 2013(5).
- [25] 周中仁, 王效华, 陈群, 等. 北方小康农村家庭能源消费结构演变研究——以山东省桓台县为例[J]. 农业工程学报, 2007(3).
- [26] 张彩庆, 郑金成, 臧鹏飞, 等. 京津冀农村生活能源消费结构及影响因素研究[J]. 中国农学通报, 2015(19).
- [27] 徐瑶. 低碳背景下农村居民生活能源消费实证分析——基于 7 省的微观数据[J]. 安徽农业科学,

2014(16).

- [28]史清华,彭小辉,张锐. 中国农村能源消费的田野调查——以晋黔浙三省 2253 个农户调查为例[J]. 管理世界,2014(5).
- [29]Higgins,J. P. T. ,S. G. Thompson,J. J. Deeks, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses[J]. *British Medical Journal* ,2003(7414).
- [30]陈立敏,王小瑕. 国际化与绩效提升:基于 Meta 整合与 Meta 回归两种方法的研究[J]. 世界经济,2017(2).
- [31]Nelson,J. P. ,P. E. Kennedy. The use (and abuse) of meta-analysis in environmental and natural resource economics: An assessment[J]. *Environmental and Resource Economics* ,2009(3).
- [32]阚大学,李文彪,吕连菊. 中国出口技术溢出效应实证研究——基于 Meta 回归分析法[J]. 中南财经政法大学学报,2015(2).

## Energy Consumption Structure of Chinese Rural Household: A Meta Approach

WEI Chu, HAN Xiao

**Abstract:** Energy transformation in rural residential sector is strongly associated with residents' living standards. It is also an important component and indicator of the national energy consumption revolution strategy. However, the existing literature can not reach a consistent conclusion regarding China's rural household energy consumption pattern. One view argues that biomass energy is still the dominant fuel, while the opposite view suggests that biomass has been replaced with coal. This paper aims to clarify the energy consumption structure for Chinese rural household on the basis of existing literature. Using the meta-analysis method, 73 sets of effect values from 35 literatures are extracted for quantitative analysis. The results show that the rural household energy consumption structure has experienced substantial change. Substantial growth of household income is confirmed as the major factor to drive the transformation of energy consumption pattern. The inferior energy (biomass) experienced notable decline along with the income growth. In contrast, the commercial energy increased, while the marginal effect of low-quality energy (coal and biogas) is not significant. Various robust tests also support this conclusion.

**Key words:** rural household; energy consumption structure; transformation of energy consumption pattern; meta-analysis method

(责任编辑 朱 蓓)