郑祥生，徐若梅．农村人口老龄化与农业能源效率——基于直接与间接效应视角［J］．山西农业大学学报（社会科学版），2022，21（6）：37-47.
ZHENG Xiangsheng，XU Ruomei. Rural population aging and agricultural energy efficiency——from the perspective of direct and indirect effects［J］. Journal of Shanxi Agricultural University（Social Science Edition），2022，21（6）：37-47.
DOI：10.13842/j.cnki.issn1671-816X.2022.06.004

农村人口老龄化与农业能源效率

——基于直接与间接效应视角

郑祥生，徐若梅
（安徽农业大学 经济管理学院，安徽 合肥 230036）

摘 要：在农村人口老龄化程度不断加深、全球能源供应紧张和我国碳排放目标的背景下，提高农业能源的使用效率是绿色农业可持续发展和节能减排的重要途径。基于长江经济带2010—2019年的农业面板数据，使用全局Undesirable—SBM测算了包含间接能源的广义能源使用效率，并使用核密度函数和空间聚类探究了农村人口老龄化程度和农业能源效率的时空变化，另外使用中介效应模型验证了农村人口老龄化对农业能源效率的影响。结果表明：农业能源效率整体上上升，区域间差异明显；农村人口老龄化程度区域差异明显；农村人口老龄化对农业能源效率有积极的作用；农村人口老龄化通过人力资本对农业能源效率产生负向影响，通过土地规模化对农业能源效率产生积极的影响。最后根据结论，提出完善农村养老机制，各区域间发挥自身优势的政策建议。

关键词：农业能源效率；农村人口老龄化；中介效应；空间聚类；全局Undesirable—SBM
中图分类号：X322；F323.214 **文献标识码：**A 文章编号：1671-816X（2022）06-0037-11

改革开放之后，我国的农业快速发展，但同时对我国的环境造成了极大的破坏[1]。而长江经济带对我国具有战略意义，农业总产值占全国40%以上[2]，且长江经济带的碳排放约占全国的44.6%[3]，农业已成为第二大排放源[4]，而能源的使用是农业碳排放的重要源泉[5]。与此同时，我国目前人口已经进入老龄化，并且自2000年以来，人口老龄化城乡倒置会逐渐加剧[6]，并可能长期存在[7]，人口老龄化从根本上改变了中国社会发展过程中的动力结构[8]。所以对于探究农村人口老龄化与农业能源效率之间的关系，有利于实现乡村振兴促进农业高质量发展具有重要意义。

对于全要素农业能源效率研究主要有以下几个方面：首先，能源投入的计算都是主要包含化石能源[5, 9-13]，较少包含间接能源。其次，关于能源效率测算的方法，主要有CRS假设下基于投入的DEA模型[11, 14]、基于方向性距离函数和DEA方法[12]、包含非期望产出的SBM模型[13, 15]、窗口DEA模型[16]、包含非期望产出的EBM模型[17]，这些方法大多缺乏跨期可比较性。第三，对农业能源影响因素的研究，学者发现，能源价格变动、技术进步分别对农业能源效率有显著的负向和正向影响[18]；劳动力、资本、能源等要素价格对农业能源效率有影响[19]；农村收入增加、农业技术改善和农业产值占比增加都会对农业能源效率有促进作用[13-14, 20]；人均人力资本水平、农民人均纯收入水平和城镇化水平等都对农业能源效率有影响[17]。当下有学者如卢秋萍[21]、王笳旭和李朝柱[22]等研究了农村人口老龄化对农业经济的影响，但缺乏对农村人口老龄化对农业能源效率影响的研究。

所以，鉴于上述文献，由于全局SBM方法具有跨期可比较性[23-24]，本研究使用全局Undesirable—SBM测算长江经济带2010—2019年包含直接、间接能源投入和二氧化碳作为非期望产出

收稿日期：2022-02-18 **修回日期：**2022-03-27
作者简介：郑祥生，研究方向：能源经济。

的农业能源效率，利用核密度函数探究农村人口老龄化和农业能源效率的时空特征，并基于中介效应模型考察农村人口老龄化背景下，农村人口老龄化对农业能源效率的影响路径。

一、理论分析与研究假说

现有相关研究表明，农村人口老龄化对农村劳动力供给、农业规模化生产、农业科技应用水平[21]、农村土地流转和规模化经营[25]、劳动力供给、资本要素替代、土地规模化转化[22]、农业生态效率[26]、对化肥的使用[27-29]以及农药的使用[30]等农业生产多方面产生影响。农业能源的使用同属于农业生产活动。由此可知，农户作为能源的使用者会影响农业能源的使用效率。又当下农村人口老龄化和收入的增加，农村地区为弥补劳动力的短缺会使用更具效率的现代化管理方式和器械达到节省劳动力和成本的目的，从而提高能源的使用效率。由此得到假说1：

H1：农村人口老龄化对农业能源效率有影响。

关于人口老龄化对与人力资本之间的研究表明，人口老龄化会对人力资本产生负向影响[31-32]，另外有学者研究表明人力资本会对能源效率产生影响[33-34]。由于少子化和农村人口向城市的迁移，导致农村人口老龄化程度相对更为严重。人口老龄化使得农村年轻劳动力相对减少，使得农村地区出现一定年轻劳动力短缺。而老年人的体力不如年轻人，相应的对高效率的利用机械劳作与年轻劳动力相比要差，目前就农村的受教育程度而言，青壮年的受教育程度是要高于老年人的，也就意味着老龄化下的农村对于农产品市场的变化和新技术的接受能力较弱，因而会对农业能源的使用产生影响。由此得假说2：

H2：人口老龄化通过人力资本对农业能源效率产生影响。

现有文献表明，老龄化严重的区县耕地撂荒较多[35]，从而表现出农村劳动力老龄化不利于规模化经营的现象[25]。土地规模化会影响化肥、农药等具体的农业生产活动，以及农业碳排放[36-37]。老人由于体力等原因无法经营较多的土地，从而将大量的土地流转，有利于土地规模化，规模化经营使得大型机械和相应的技术设施得到使用，有利于提高农业能源的利用效率，而又有较多老年人可能因为土地情节而保留一部分土地[38]，从而相对的采用传统的生产方式，影响土地规模化和农业能源效率。由此得假说3：

H3：人口老龄化通过土地规模化对农业能源效率产生影响。

农村人口老龄化对农业能源效率的影响路径如图1所示。

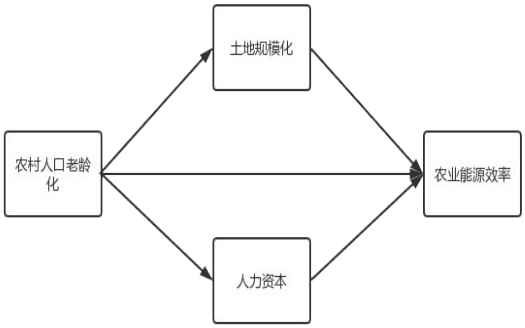


图1 农村人口老龄化对农业能源效率的影响路径

二、研究方法和数据说明

（一）全局Undesirable－SBM模型

为更好的反应农业能源效率随时间变化的趋势，本研究借鉴李春宵等[39]的做法，选用全局Undesirable－SBM模型。模型如下，

$$\min\rho=\frac{1-\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}s_n^x/x_{n0}}{1+\frac{1}{M+I}\left(\sum_{m=1}^{M}s_m^y/y_{m0}+\sum_{i=1}^{I}s_i^u/u_{i0}\right)} \tag{1}$$

$$s.t.\sum_{k=1}^{K}z_k x_{nk}+s_n^x=x_{n0},\ n=1,2,....,N \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{K}z_k y_{mk}-s_m^y=y_{m0},\ m=1,2,...,M \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{K}z_k u_{mk}+s_i^u=u_{i0},\ i=1,2...,I \tag{4}$$

$$z_k\geqslant 0;\ s_n^x\geqslant 0;\ s_i^u\geqslant 0;\ s_m^y\geqslant 0$$

上式中，K表示决策主体数量，本研究为长江经济带的11个省（市）；N种要素投入种类，本研究取4；X种产出种类，本研究取2；M种期望产出，本研究中M取1；I种非期望产出，本研究中I取1。s表示松弛变量；ρ表示综合效率，ρ

在0到1之间取值，若测算生态效率则ρ值越接近1，表明生态效率越高。

虽然上述SBM模型不能直接得出相关要素的效率，但SBM模型可以求出各投入要素的松弛变量，因而可以由实际投入量与松弛变量的差值来计算目标投入要素的效率。本研究全要素农业能源效率计算如下：

$$EE_{it}=\frac{TEI_{it}}{AEI_{it}}=\frac{AEI_{it}-ECV_{it}}{AEI_{it}} \quad (5)$$

其中，EE_{it}是i省第t年的全要素农业能源效率值，AEI_{it}是i省第t年的实际能源投入，TEI_{it}是i省第t年的目标能源投入，ECV_{it}是i省第t年由SBM算出的能源改进值。同样可以得到其它投入要素的效率值。

（二）核密度法

核密度函数可用来对数据随时间变化的具体特征进行分析，因而本研究采用核密度函数曲线来探究长江经济带的农业能源效率的演变特征，模型如下：

$$f(x)=\frac{1}{Nh}\sum_{i=1}^{N}K\left(\frac{X_i-x}{h}\right) \quad (6)$$

上式中，f(x)为X（X表示农业能源效率）的密度函数，x表示考察期内的平均农业能源效率。N表示总的省（市）数量，本研究取11；h为带宽，也即坐标轴的间隔；K为高斯函数。

（三）多重中介效应模型

为了研究农村人口老龄化对农业能源效率的影响，选择当下广泛应用于探究传到机制的研究方法中介效应模型[40]，模型如下，

$$Y=cX+m_1X_1+e_1+\varepsilon_1 \quad (7)$$

$$M=aX+m_2X_2+e_2+\varepsilon_2 \quad (8)$$

$$Y=c'X+bM+m_3X_3+e_3+\varepsilon_3 \quad (9)$$

上面(7)－(9)式中，Y、X、M、X_1分别表示因变量农业能源效率、核心解释变量农村人口老龄化、中介变量土地规模化和农村人力资本和控制变量，e和ε分别表示截距和随机误差。中介效应存在的基础是（7）式中的系数c显著，才可做(8)－(9)式的检验，证明中介效应的存在。

（四）变量与数据来源

1. 变量设置

（1）全局Undesirable－SBM模型的投入产出指标，如表1。

表1 农业能源效率计算的相关指标

指标	单位	指标说明
劳动力	万人	以第一产业从业人数表示
资本	亿元	以宗振利等[41]方法计算，并折算到以2010年为基期的资本存量表示
能源	万吨标准煤	广义能源包含直接能源与间接能源；直接能源（原煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、电力等）和间接能源（化肥、农药、农用塑料薄膜），间接能源转化为能源的系数来源于李楠[42]
土地	万公顷	以土地播种面积表示
期望产出	亿元	以2010年为基期计算的农业产出表示
非期望产出	万吨	以农业二氧化碳表示，二氧化碳计算系数来源于《省级温室气体指南》和李楠[42]，表达式为：$W=\sum_i\delta_i*C_i*\frac{44}{12}$。其中，W表示二氧化碳排放总量，$\delta_i$,$C_i$分别表示i能源的碳排放系数和i种能源总量；44、12分别表示二氧化碳和碳的分子质量

（2）核心解释变量。人口老龄化根据联合国1956的《人口老龄化及其社会经济影响》中对于人口老龄化的界定，选择乡村人口中65岁以上老人占比表示。

（3）中介变量。土地规模化水平，根据2017年广西壮族自治区统计局发布的农作物耕地面积和播种面积的区别，可知耕地面积包括了沟、渠和地埂等不种植农作物的面积，且耕地是存量，无论土地是否抛荒都计算在耕地面积内，所以会造成实际种植土地面积计算不准确，因而本研究根据Frank[43]的研究选择人均播种面积表示。

农村人力资本水平（平均受教育程度），是农业生态化发展的基础条件，一般而言农村劳动力素质越高越有利于农业生态化发展，这里用农村家庭劳动力平均受教育年限来表征[26]。

（4）控制变量。工业化水平，采用每个省（市）当年工业产值与总产值的比值表示，因为不同地区的工业化水平的高低会对当地的农业技

术水平和相关的化学用品等产生影响，从而影响农业收入和排放，继而影响对能源效率产生影响[44]。

农户收入，采用每个省（市）的第一产业产值与乡村人口的比值表示，农户的收入在一定程度上可以表示该地区的农业经济发展水平[45]。由于当地农业经济发展水平不同，农户所使用的器械以及能源的偏好都会有差别，所以必然会对农业能源的消耗产生影响[13]。

能源消耗结构，采用每个省（市）的直接能源消耗与总能源消耗的比值表示，因为不同能源的价格和使用效率都不一样且不同地区的能源消耗结构亦不相同，所以能源消耗结构会影响能源效率[46]。

城镇化水平，采用每个省（市）的城镇常住人口与总人口的比值表示，因为劳动力对化石能源会产生替代效应且劳动力结构的差异也会影响能源相关的使用情况，所以城镇化水平会对农业能源效率产生影响[17]。

受灾率，采用每个省（市）的总的受灾面积与总的播种面积的比值表示，因为当地农业受灾必然会对当地的农业收入等产生影响，从而影响农业能源效率[17]。

2. 数据来源

由于部分数据不能全部获得，所以本研究的初始数据为2010—2019年长江经济带9省2市的数据，数据到指标和变量的处理如上文所述。数据来源于《中国统计年鉴》《中国固定资产投资统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》和各地统计年鉴。

三、实证结果

（一）农业能源的投入、农业能源效率的动态演进

1. 能源投入

由图2可知在考察期内，间接农业能源投入高于直接农业能源投入。直接农业能源投入有逐步上涨的趋势，涨幅为5.3%，而间接农业能源投入则相反有下降的趋势，下降幅度较大为15.3%，导致总的农业能源投入整体为下降的趋势，降低幅度为6.8%。对于2013年的直接能源投入的减少，是由于《中国能源统计年鉴》上的重庆市农林牧渔业相关的原煤消耗从2012年的320.75万吨骤降到2013年的36.98万吨。

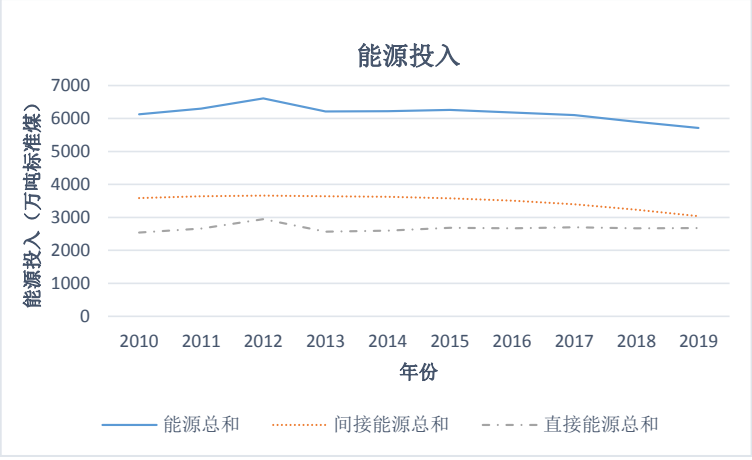


图2 长江经济带农业能源投入结构

2. 农业能源效率

由表2可知，在考察期内，长江经济带的各省（市）的农业能源效率都是逐渐上升的，整体上呈现，长江中游＜长江上游＜长江下游。长江下游的农业能源效率大于长江上、中游，一部分原因是长江下游的农业生产的基础条件较好，且下游靠海方便农产品进出口以及与国外展开相关的技术交流，及时获得先进的农业技术和管理经验，另一方面，下游的经济发展也相对较好，对于惠农政策力度也相对较大，如江苏从2019的支农支出为1032.17亿元，同比中游的湖北的支农支出为828.81亿元，上游998.9亿元，因而长江

下游的农业能源效率较高。长江中游的能源效率低于上游，部分原因是西部有2000年的“西部大开发”的长期政策的正向影响，中部省份是产粮大省需要大量的化石能源投入，而化石能源的利用必然会导致大量二氧化碳排放，使得农业能源效率相对表现较差。

表2 长江经济带农业能源效率

省份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
上海	0.78	0.77	0.73	0.70	0.73	0.73	0.81	0.86	0.89	0.90
江苏	0.50	0.61	0.71	1.00	1.00	1.00	0.93	0.90	0.92	1.00
浙江	0.50	0.51	0.51	0.50	0.55	0.59	0.72	0.75	0.89	1.00
安徽	0.46	0.46	0.48	0.48	0.50	0.53	0.54	0.58	0.60	0.65
江西	0.66	0.69	0.73	0.77	0.80	0.82	0.85	0.90	0.97	1.00
湖北	0.41	0.41	0.42	0.44	0.46	0.50	0.57	0.61	0.65	0.68
湖南	0.48	0.48	0.47	0.52	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.63
重庆	0.38	0.37	0.36	0.67	0.79	0.80	0.83	0.87	0.88	0.91
四川	0.68	0.71	0.70	0.72	0.75	0.77	0.82	0.90	0.97	1.00
贵州	0.57	0.59	0.43	0.58	0.57	0.58	0.53	0.55	0.64	0.71
云南	0.43	0.44	0.45	0.47	0.47	0.46	0.50	0.52	0.57	0.62

对于2012年的长江上游能源效率的较大下降，是由于贵州的直接能源投入是2011年的2.22倍，导致其能源效率有较大下降，而长江上游的其它省（市）相对较为平稳，所以2012年长江上游的农业能源效率降幅较大；对于2013年长江上游农业能源效率较大幅度的上涨，是由于重庆市和贵州省的直接能源投入有较大下降，分别下降70%和39%，导致两区域的农业能源效率大幅度上升，致使长江上游农业能源效率涨幅较大。

在整个考察期间，上海、江苏、四川等省（市）的农业能源效率表现较好，平均值分别为0.79、0.86、0.80，超过了考察期内能源效率的平均值0.66，而表现较差的安徽、湖北、湖南等省（市）农业能源效率低于考察期内能源效率的平均值，省（市）间农业能源效率差异明显。图3呈现了长江经济带主要年份的农业能源效率密度分布。形状上，农业能源的核密度函数峰高逐渐减低，且有单峰向多峰发展的趋势，同样说明了农业能源效率地区间差异逐渐扩大。位置上，核密度函数不断向右移，说明农业能源效率在提高。农业能源效率的提高离不开政府长期对农业的重视以及出台各项惠农政策，如多年将“三农问题”作为“中央一号”文件。

3. 农业能源效率与农村人口老龄化空间聚类分析

为了探索农村人口老龄化和农业能源效率空间位置上的关系，本研究对农村人口老龄化程度

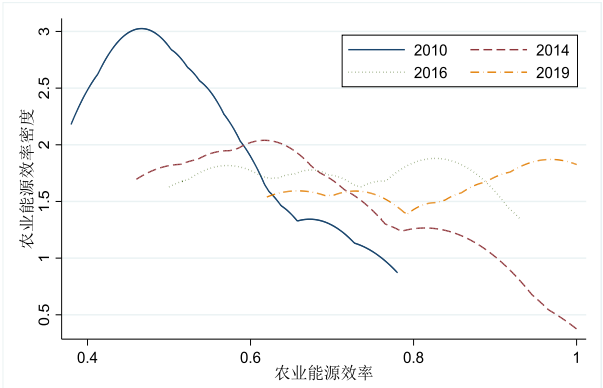


图3 2010－2019主要年份长江经济带农业能源效率密度

和农业能源效率进行细分。

人口老龄化阶段国际上是这样划分的：年轻阶段，小于0.040；成年阶段，0.040～0.070；老龄化阶段，大于0.070[47]。根据国际标准和2010年－2019年长江经济带农村人口老龄化程度的范围（0.070～0.229）将长江经济带的农村人口老龄化划分为：初级老龄化阶段，0.070～0.120；中度老龄化阶段，0.120～0.170；重度老龄化阶段，大于0.170。对于能源效率的划分，多数文献根据考察期内能源效率均值进行K－means聚类[48-50]，由于本研究需要探究人口老龄化和农业能源效率的时空变化的关系，所以选择和农村人口老龄化一样的划分方法，根据2010－2019年长江经济带的农业能源效率的范围（0.36～1.0）将农业能源效率划分为三个阶段：

低效率阶段，0.36～0.57；中等效率阶段，0.57～0.78；高效率阶段，0.78～1。再将二者结合地理位置进行匹配分为9个等级，分别为1（低老龄化－低农业能源效率）、2（低老龄化－中农业能源效率）、3（低老龄化－高农业能源效率）、……、9（高老龄化－高农业能源效率），再利用QGIS分别用不同的颜色着色使数据可视化，如表3所示。

表3 农村人口老龄化和农业能源效率分类匹配表

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
上海	5	2	2	8	5	5	6	9	9	6
江苏	4	5	5	6	6	6	9	9	9	9
浙江	4	4	4	4	4	5	5	5	9	9
安徽	1	4	4	4	4	4	4	5	5	8
江西	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
湖北	1	1	1	1	4	4	5	5	5	5
湖南	1	1	4	1	4	4	5	5	5	5
重庆	4	4	6	8	9	9	9	9	9	9
四川	5	5	5	5	5	5	6	6	9	9
贵州	2	2	1	2	2	2	1	1	5	5
云南	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

由表3可知，长江经济带整体上的呈现，由低老龄化－低农业能源效率向高老龄化－高农业能源效率发展的趋势，其中变化最为明显的是四川、重庆、江苏、浙江等省（市），发展较慢的是云南、贵州等省份。在考察期间内，没有出现重度老龄化且高农业能源效率的省份。对于多数省（市）大多数年份都是老龄化程度的级别要高于或等于同地区的农业能源效率的级别，表明同地区的老龄化程度的加重速度要大于或等于该地区的农业能源效率提高的速度；且随着时间的推移，农村人口老龄化的区域间差异要大于农业能源效率区域间的差异，如2010的四川省和云南、湖北等省份之间的差异，2019年的四川、江苏、浙江等省（市）和云南之间的差异。分区域来看，长江经济带下游和上游的由低老龄化－低农业能源效率向高老龄化－高农业能源效率发展的趋势要快于长江经济带中游。

（二）农村人口老龄化对农业能源效率多重中介效应检验

1. 农村人口老龄化对农业能源效率的影响

表4报告了农村人口老龄化与农业能源效率的实证结果。表5中使用了三种不同的方法，分别是广义最小二乘法估计的混合效应、随机效应和固定效应，对农村人口老龄化和农业能源效率的关系进行验证。结果显示，三种方法中的农村人口老龄化都对农业能源效率展现出显著为正的影响，吻合上文关于农业能源效率与农村人口老龄化的时空变化趋势，证实了假说1。因为现代化的农户会因为劳动力的减少，会从环保意识和节约成本的要求出发，更大限度使用高效率的农业器械和管理方法，因而农业能源的效率提高。同时，也满足了Judd等[51]关于基准回归中解释变量的估计系数显著是进行后续逐步回归的前提条件的理论。混合效应和随机效应的LM检验P值为0，说明应拒绝“不存在个体随机效应”的原假设，而选择随机效应；混合效应与固定效应的F检验P值为0，说明应拒绝“所有$u_i=0$”的原假设，而选择固定效应；随机效应与固定效应的Hausman检验P值为0.011 7，说明应该拒绝随机效应，接受固定效应。所以最后选择固定效应作为后续检验的基础方法。

控制变量，工业化对农业能源效率的影响的系数为－1.235且显著，表明当下工业化程度每提高1%，农业能源效率下降1.235%。因为工业化程度的提高不仅能给农业带来效率更高的技术和生产要素，也会吸收走大量的资金和年轻劳动力，对农业生产活动产生负面影响，从而降低农业能源效率。说明当下长江经济带还处于农业供养工业的阶段。

农户收入对农业能源效率的影响的系数为0.149且显著，表明目前农户每提高1%的收入，农业能源效率上升0.149%。农户收入增加会正面

表4 农村人口老龄化与农业能源效率

模型	混合效应		随机效应		固定效应	
变量	系数	P值	系数	P值	系数	P值
老龄化	0.939	0.049	1.320	0.003	1.121	0.018
	(0.472)	(1.99)	(0.441)	(2.99)	(0.463)	(2.42)
工业化	−0.148	0.522	−0.747	0.005	−1.235	0.001
	(0.231)	(−0.64)	(0.267)	(−2.79)	(0.359)	(−3.44)
农户收入	0.073	0.006	0.088	0.003	0.149	0.001
	(0.026)	(2.82)	(0.030)	(2.97)	(0.044)	(3.38)
能源消耗结构	−0.362	0.005	−0.656	0.000	−0.752	0.000
	(0.126)	(−2.88)	(0.111)	(−5.89)	(0.113)	(−6.66)
城镇化	0.550	0.001	0.646	0.004	−0.226	0.635
	(0.158)	(3.48)	(0.227)	(2.85)	(0.473)	(−0.48)
受灾率	−0.324	0.044	0.002	0.981	−0.008	0.926
	(0.159)	(−2.04)	(0.090)	(0.02)	(0.085)	(−0.09)
常数	0.376	0.001	0.562	0.002	1.212	0.001
	(0.109)	(3.46)	(0.179)	(3.14)	(0.342)	(3.55)
检验	LM检验		Hausman检验			
	chibar（01）=201.72，Prob>chibar=0.0000		chi2（6）=16.14，Prob>chi2=0.0117			
	F检验，F（10，93）=35.92，Prob>F=0.0000					

注：系数下的括号中的值是标准误，P值下的括号中的值是t值或者z值

表5 人力资本的中介效应

变量	人力资本		农业能源效率	
	系数	P值	系数	P值
人力资本	——	——	0.151	0.001
			(0.044)	(3.41)
老龄化	−3.826	0.000	1.700	0.000
	(1.012)	(−3.73)	(0.470)	(3.61)
工业化	−3.288	0.000	−0.737	0.049
	(0.795)	(−4.14)	(0.370)	(−1.99)
农户收入	−0.004	0.968	0.150	0.001
	(0.098)	(−0.04)	(0.042)	(3.59)
能源消耗结构	−0.207	0.409	−0.720	0.000
	(0.250)	(−0.83)	(0.107)	(−6.71)
城镇化	1.839	0.083	−0.504	0.272
	(1.048)	(1.75)	(0.456)	(−1.11)
受灾率	0.033	0.862	−0.013	0.873
	(0.188)	(0.17)	(0.081)	(−0.16)
常数	8.619	0.000	−0.092	0.854
	(0.757)	(11.39)	(0.501)	(−0.18)

注：系数下的括号中的值是标准误，P值下的括号中的值是t值

刺激农户投入更多的精力到农业生产中，提高农业生产活动的管理效率，减少农业生产中不必要的浪费，使农户倾向于使用便利、舒适的清洁能源，从而进一步提高农业收入和农业能源效率。

能源消耗结构对农业能源效率的影响的系数为−0.752且显著，表明现在直接能源消耗每增加1%，农业能源效率下降0.752%。因为直接能源主要是化石能源而这些能源是碳排放的主要来源，而当下我国的大部分农业生产活动并没有形成大规模的作业，因而化石能源的能源利用效率不高，所以能源消耗结构的增加会降低农业能源效率。

城镇化水平和受灾率对农业能源效率的影响

都为负不显著。城镇化水平的提高会吸收年轻劳动力，但同时也会促进农业生产的规模化，两者的共同作用可能抵消了城镇化水平对农业能源效率的影响。受灾率不利于农业生产，但由于我国对农业灾后的补救措施越来越好，以及农业保险措施的普及和完善，从而会减轻农业损失，所以对农业能源效率的影响不显著。

2. 人力资本中介效应

表5展示了农村人口老龄化对农村人力资本的影响为a=－3.826且显著，表示农村人口老龄化程度每加深1%，农村人力资本降低3.826%。随着国家各项各种惠农政策的出台，义务教育的普及，使得乡村地区辍学率降低升学率提高，相较老一辈而言有着更加丰富的教育资源，也使得青年人的受教育程度要高于老年人。但由于当下的老龄化、少子化现象和迁出现象的加重使得农村人力资本迅速下降。人力资本对农业能源效率影响为b=0.151且显著，说明人力资本每提高1%，农业能源效率上升0.151%。受教育程度的提高，使得人们更加注重环保使用相对清洁的能源，也能更好的接受新技术和提高管理效率。a和b均显著，证明了假说2，但由于c'也显著，说明农村人力资本是部分中介效应。a和b的符号相反，说明农村人口老龄化通过农村人力资本对农业能源效率的影响为负。农村人口老龄化导致得人力资本下降会降低老龄化对农业能源效率的积极影响。

3. 土地规模中介效应

表6的检验结果表明，农村人口老龄化对土地规模化的影响为a=－0.106且显著，与李露的研究结果一致[26]，表示当前农村人口老龄化程度每提高1%，土地规模化程度下降0.106%。虽然老年人由于自身的体力等原因会促进流转部分土地，但另外也是由于自身的限制很难进行规模化的农业生产活动，另外由于老龄人身体的原因使得多数的年轻人需要照顾老人不能外出务工，而农村的工作有限，迫使这部分年轻人只得从事农业活动，因而不利于土地的规模化。土地规模化对农业能源效率的影响为b=－2.967且显著，则表明土地规模化程度每提高1%，农业能源效率下降2.967%。在目前农村人口基数庞大，而我国的土地规模流转和规模化生产还处于起步阶段的现实下，规模化农业仍处于探索阶段，大量的财政以及民间投入，不能很快的见效，需要较长时间的转化吸收，造成短期内的高投入－高污染，从而使得农业能源效率降低。a和b均显著，证明了假说3，但由于c'也显著，说明土地规模化是部分中介效应。

表6 土地规模化的中介效应

变量	规模化		农业能源效率	
	系数	P值	系数	P值
规模化	——	——	－2.967	0.006
			(1.048)	(－2.83)
老龄化	－0.106	0.019	0.807	0.083
	(0.044)	(－2.39)	(0.460)	(1.75)
工业化	0.316	0.000	－0.297	0.536
	(0.034)	(9.22)	(0.479)	(－0.62)
农户收入	0.036	0.000	0.255	0.000
	(0.004)	(8.45)	(0.057)	(4.51)
能源消耗结构	－0.026	0.016	－0.830	0.000
	(0.011)	(－2.45)	(0.112)	(－7.39)
城镇化	0.467	0.000	1.159	0.086
	(0.045)	(10.33)	(0.669)	(1.73)
受灾率	0.008	0.196	－0.039	0.636
	(0.011)	(－1.30)	(0.083)	(－0.47)
常数	－0.159	0.000	0.741	0.048
	(0.033)	(－0.487)	(0.369)	(2.01)

注：系数下的括号中的值是标准误，P值下的括号中的值是t值

四、结论与政策建议

本研究在农村人口老龄化程度日趋加深的背景下，使用全局Undesirable－SBM测算了包含间接能源的长江经济带2010－2019年的农业能源使用效率，并探究了农村人口老龄化程度和农业能源效率的时空变化，另外使用中介效应模型验证了农村人口老龄化对农业能源效率的影响，得到如下结论：

第一，长江经济带的能源投入在考察期内，呈现总的能源和间接能源投入下降，直接能源投入上升，且直接能源投入高于间接能源投入。

第二，考察期内长江经济带的农业能源效率整体上呈现上升趋势，且长江中游＜长江上游＜长江下游；省（市）之间农业能源效率差距明显，上海、江苏、四川等省（市）的农业能源效率表现较好，超过了考察期内能源效率的平均值0.66，安徽、湖北、湖南等省（市）农业能源效率表现较差低于考察期内能源效率的平均值。

第三，考察期内长江经济带各区域间呈现出，长江下游＞长江上游＞长江中游；且各省（市）间的人口老龄化程度差异不断加大。

第四，考察期内长江经济带整体上的呈现，由低老龄化－低农业能源效率向高老龄化－高农业能源效率发展的趋势；且长江经济带下游和上游的由低老龄化－低农业能源效率向高老龄化－高农业能源效率发展的趋势要快于长江经济带中游。第五，考察期内农村人口老龄化对农业能源效率的提高有积极的影响；农村人口老龄化通过农村人力资本的中介效应对农业能源效率的影响为负；农村人口老龄化通过土地规模化的中介效应对农业能源效率的影响为正。

由上述结论提出以下建议。

第一，完善农村的养老保险机制，解决好农村人口养老的这一短板，开展多方参与、多元养老模式，例如互助养老、社区养老等，最终实现老有所养的标准。让年轻人无后顾之忧，也让老龄人有更好的晚年生活，提高幸福感，减少其对土地的依赖。

第二，加强对农村教育的投资，减小农村教育水平和城市教育水平的差距，以乡情和足够的教育水平吸引高学历的人才返乡，解决农业生产活动中年轻劳动力不足的问题，提高农村的受教育程度，为实现现代化农业做好铺垫。

第三，要因地制宜，由于各区域间的工业化和城镇程度等不同，各地区拥有不同的优势，所以需发挥不同区域间的农业优势，加强区域间的交流，打破农业生产要素区域间流动的壁垒。长江下游要继续发挥人才优势、技术优势以及区域优势，使用清洁能源，减少碳排放，提高农业能源的使用效率；长江中游作为长江上下游交流的桥梁，要充分利用信息，发挥自身农业种植规模的优势，提高农业生产率和农业能源使用效率；长江上游，可以借助政策的倾斜和省与省之间的对口帮扶，充分吸收先进的技术和农业管理理念提高农业能源效率。

参 考 文 献

[1] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命：1978—2008年[J]. 经济学(季刊)，2014，13（2）：537-558.

[2] 刘天宇，徐辉. 长江经济带农业环境全要素生产率研究[J]. 实践与学习，2018（5）：61-69.

[3] 黄国华，刘传江，赵晓梦. 长江经济带碳排放现状及未来碳减排[J]. 长江流域资源与环境，2016（4）：638-644.

[4] 曹俊文，曾康. 低碳视角下长江经济带农业生态效率及影响因素研究[J]. 生态经济，2019，35（8）：115-119，127.

[5] 马大来. 中国农业能源碳排放效率的空间异质性及其影响因素——基于空间面板数据模型的实证研究[J]. 资源开发与市场，2018，34（12）：1693-1700，1765.

[6] 刘维奇. 中国人口老龄化城乡倒置现状及其与城市化的相互影响[J]. 农业现代化研究，2014，35（2）：134-139.

[7] 李辉，王瑛洁. 中国人口老龄化城乡倒置现象研究[J]. 吉林大学社会科学学报，2012，52（1）：154-158.

[8] 王桂新，干一慧. 中国的人口老龄化与区域经济增长[J]. 中国人口科学，2017（3）：30-42，126-127.

[9] Sanzidur Rahman M. Kamrul Hasan. Energy productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh[J]. Energy，2014，66：107-114.

[10] 吴小明，张宗益，康继军. 我国农业机械化进程中能源效率的影响因素研究[J]. 软科学，2012，26（3）：51-56.

[11] 栾义君，任杰. 我国农业全要素能源效率及其收敛性研究[J]. 中国农业资源与区划，2014，35（5）：20-24.

[12] 于伟咏，漆雁斌，李阳明. 碳排放约束下中国农业

能源效率及其全要素生产率研究[J]. 农村经济，2015（8）：28-34.
[13] 冉启英，周辉. 环境约束下农业全要素能源效率研究：基于SBM-TOBIT模型[J]. 经济问题，2017（1）：103-109.
[14] 周辉，冉启英，王宏森. 我国农业全要素能源效率及其影响因素分析[J]. 生态经济，2016，32（7）：133-138.
[15] 冉启英，王倍倍，周辉. 碳排放约束下农业全要素能源效率增长及收敛分析——基于Malmquist-Luenberger指数分解[J]. 生态经济，2018，34（2）：47-53.
[16] 杜辉，黄杰. 中国农业能源效率的区域差异及动态演进[J]. 中国农业资源与区划，2019，40（8）：45-54.
[17] 李海鹏，罗丽，张雄，等. 中国农业能源效率动态演变及其影响因素[J]. 中国人口·资源与环境，2020，30（12）：105-115.
[18] 平卫英. 中国农业能源效率与能源价格、技术进步——基于VAR模型的实证分析[J]. 当代经济管理，2012，34（9）：7-10.
[19] 戴红军，孙涛，郭文，等. 要素价格变动影响农业能源效率的实证研究[J]. 中国农业大学学报，2016，21（5）：161-168.
[20] 魏玮，文长存，崔琦，等. 农业技术进步对农业能源使用与碳排放的影响——基于GTAP-E模型分析[J]. 农业技术经济，2018（2）：30-40.
[21] 卢秋萍. 我国农村人口老龄化对农业经济的影响研究[J]. 改革与战略，2016，32（5）：88-91.
[22] 王笳旭，李朝柱. 农村人口老龄化与农业生产的效应机制[J]. 华南农业大学学报（社会科学版），2020，19（2）：60-73.
[23] 纪建悦，曾琦. 基于全局DEA的中国海水养殖业绿色技术效率时空演化分析[J]. 中国管理科学，2016，24（S1）：774-778.
[24] 马剑锋，佟金萍，王慧敏，等. 长江经济带农业用水全局技术效率的空间效应研究[J]. 长江流域资源与环境，2018，27（12）：2757-2765.
[25] 周作昂，赵绍阳，何庆红. 劳动力老龄化对农业土地流转和规模经营的影响[J]. 财经科学，2020（2）：120-132.
[26] 李露，徐维祥. 农村人口老龄化效应下农业生态效率的变化[J]. 华南农业大学学报（社会科学版），2021，20（2）：14-29.
[27] 唐艳. 有机认证制度下农户减量施肥意愿的影响因素分析——基于四川省1061户农民的调查[J]. 干旱区资源与环境，2019，33（10）：29-34.
[28] 吕晓，屈毅，彭文龙. 农户化肥施用认知、减施意愿及其影响因素——基于山东省754份农户调查问卷的实证[J]. 干旱区资源与环境，2020，34（4）：46-51.
[29] 杜维娜，陈瑶，李思潇，等. 老龄化、社会资本与农户化肥减量施用行为[J]. 中国农业资源与区划，2021，42（3）：131-140.
[30] 闫阿倩，罗小锋，黄炎忠，等. 基于老龄化背景下的绿色生产技术推广研究——以生物农药与测土配方肥为例[J]. 中国农业资源与区划，2021，42（3）：110-118.
[31] 赵春燕，吕昭河，李帆. 人口老龄化对人力资本积累的双边效应——基于双边随机前沿模型的测算[J]. 人口与发展，2021，27（4）：37-50.
[32] 昌忠泽，姜珂，冯扬. 人口老龄化对人力资本投资的影响及贡献研究[J]. 当代经济科学，2021，43（5）：29-43.
[33] 江洪，纪成君. OFDI逆向技术溢出能够改善中国能源效率吗[J]. 审计与经济研究，2020，35（3）：102-110.
[34] 逯进，刘俊琦，张晓峒. 人口视域下能源效率、产业结构升级的经济增长路径研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版)，2021，21（5）：82-100.
[35] 魏玉凯，安萍莉，金玉铃，等. 北方农牧交错带人口老龄化及其撂荒效应——乌兰察布市为例[J]. 干旱区资源与环境，2021，35（7）：64-70.
[36] 李繁荣，戎爱萍. 低碳农业发展的土地规模化问题分析——基于《资本论》土地所有权理论视角[J]. 经济问题，2011（9）：71-75.
[37] 张小洁，张忠潮. 土地规模化经营对农业碳排放的影响机制[J]. 广东农业科学，2012，39（20）：176-179.
[38] 张军，郑循刚. 劳动力老龄化对农村土地流转的影响——土地情结与劳动能力限制准占主导?[J]. 长江流域资源与环境，2020，29（4）：997-1004.
[39] 李春霄，王晓娟，何珊. 产业结构合理化对全要素能源效率的影响研究——一个非径向DEA模型分析框架[J]. 工业技术经济，2017，36（5）：147-155.
[40] 温忠麟，叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展[J]. 心理科学进展，2014，22（5）：731-745.
[41] 宗振利，廖直东. 中国省际三次产业资本存量再估算：1978—2011[J]. 贵州财经大学学报，2014（3）：8-16.
[42] 李楠. 中国农业能源消费及温室气体排放研究[D]. 大连：大连理工大学，2014.
[43] Frank Placeet al. Prospects for integrated soil fertility management using organic and inorganic inputs：evidence from smallholder African agricultural systems[J]. Food Policy，2003，28（4）：365-378.

[44] 许士春，龙如银．中国能源和碳排放的效率测度与影响因素研究[J]．软科学，2015，29（3）：74-78.
[45] 黄思琴，陈英，张仁陟，等．基于景观指数的耕地细碎化与农业经济水平的空间相关性分析[J]．干旱地区农业研究，2015，33（3）：238-244.
[46] 王学军，王赛．节能减排：优化双重结构与提高能源效率——兼析“十四五”期间产业结构、能源消费结构与能源效率关系[J]．价格理论与实践，2021（2）：140-144，175.
[47] 吴连霞，吴开亚．中国人口老龄化时空演化特征的比较分析——基于固定年龄与动态年龄指标的测算[J]．人口研究，2018，42（3）：51-64.
[48] 王景波．基于非期望产出SBM模型的全要素能源效率测算[J]．统计与决策，2016（17）：120-123.
[49] 刘海英，刘晴晴．中国省级绿色全要素能源效率测度及技术差距研究——基于共同前沿的非径向方向性距离函数估算[J]．西安交通大学学报(社会科学版)，2020，40（2）：73-84.
[50] 田泽，张怀婧，任芳容．环境约束下中国三大城市群能源效率评价与影响因素比较研究[J]．软科学，2020，34（12）：87-95.
[51] Judd C. M.，Kenny D. A. Process analysis：estimating mediation in treatment evaluations[J]. Evaluation Review，1981，5：602-619.

Rural population aging and agricultural energy efficiency——from the perspective of direct and indirect effects

ZHENG Xiangsheng，XU Ruomei

（*School of Economics and Management*，*Anhui Agricultural University*，*Hefei* 230036，*China*）

Abstract：In the context of increasing rural aging population，global energy supply tension and China′s high carbon emission targets，improving the efficiency of agricultural energy use is an important approach to sustainable development of green agriculture and energy conservation and emission reduction. Based on agricultural panel data from 2010 to 2019 in the Yangtze River Economic Belt，we measured generalized energy use efficiency including indirect energy using global way-SBM，and explored the spatio-temporal variation of rural population aging degree and agricultural energy efficiency using kernel density function and spatial clustering. In addition，the mediating effect model was used to verify the impact of rural population aging on agricultural energy efficiency. The results showed that agricultural energy efficiency increased on the whole，with significant regional differences；There were obvious regional differences in the aging degree of rural population；Rural population aging has a positive effect on agricultural energy efficiency，while it has a negative impact on agricultural energy efficiency through human capital and a positive impact on agricultural energy efficiency through land scale. Accordingly，it put forward the policy suggestions to improve the rural pension mechanism and give play to their own advantages among regions.

Keywords：Agricultural energy efficiency；Rural population aging；Intermediary effect；Spatial clustering；Global Undesirable SBM

（编辑：牛晓霞）