

基于结构路径分析的中国居民消费对碳排放的拉动作用研究

张琼晶 田聿申 马晓明[†]

北京大学深圳研究生院环境与能源学院环境金融实验室, 深圳 518055; [†] 通信作者, E-mail: xmma@pku.edu.cn

摘要 在投入产出法的基础上, 采用结构路径分析的方法, 研究2012年中国城乡居民消费对碳排放的拉动作用。结果显示, 2012年城乡居民消费碳排放以间接排放为主, 拉动作用靠前的路径有电力、热力生产和供应业, 其他服务业, 农、林、牧、渔、水利业, 食品制造业, 批发、零售业和住宿餐饮业, 交通运输、仓储和邮政业。由于使用化肥、农药和饲料造成农业的碳排放较为突出, 所以农业政策应合理地限制这类化学制品的使用, 以期减少“化学原料和化学制品制造业”部门因制造化肥农药所排放的CO₂。研究结果还表明, 收入水平及消费结构的差异是造成城乡居民消费碳排放量的重要因素。

关键词 环境投入产出分析; 结构路径分析; 城乡居民消费; 碳排放

Identifying the Impetus of Chinese Household Consumption of Carbon Emissions in Structural Path Analysis

ZHANG Qiongjing, TIAN Yushen, MA Xiaoming[†]

Environmental Finance Laboratory, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; [†] Corresponding authors, E-mail: xmma@pku.edu.cn

Abstract Based on environmental input-output analysis, the authors try to identify the impetus of Chinese household consumption of carbon emissions in structural path analysis (SPA). The results indicate that, in 2012, most of the carbon emissions of Chinese household are indirect emissions, mainly from power, services, agriculture, food, wholesale and retail, transportation, postal. Carbons emissions from fertilizer and pesticide production in chemistry contribute a lot to the agricultural sector, therefore agricultural policies should properly limit the use of those chemical productions to reduce the emission. In addition, the difference of the income and consumption structure between urban and rural residents is the key factors which lead to the gap between of their carbon emission.

Key words environmental input-output analysis; structural path analysis; household consumption; carbon emissions

中国在2009年取代美国成为全球最大的碳排放国, 经济发展带来的资源环境问题不容忽视, 碳排放量的持续增加也使得我国受到来自国际社会的巨大压力。2014年11月12日, 中国与美国签订了《中美气候变化联合声明》。中国计划2030年左右CO₂排放达到峰值, 且将努力早日达到峰值, 并计划到2030年非化石能源占一次能源消费的比例提

高到20%左右。目前经济形势外需乏力, 靠出口驱动经济增长不可为继, 刺激消费和向内需转型是中国近年来的政策导向。2008年11月5日, 国务院部署进一步扩大内需, 促进经济平稳较快增长的措施; “十二五”规划对“坚持扩大内需战略, 保持经济平稳较快发展”给出具体论述; 2017年8月13日, 国务院正式发布《关于进一步扩大和升级信息消费, 持

续释放内需潜力的指导意见》。随着扩大内需的各项政策不断推进落实,由消费产生的碳排放将进一步快速增长。2016年,中国社会消费品零售总额占GDP的比例为44.7%,并呈现逐年上升的态势。根据《2016中国能源统计年鉴》,2015年中国能源消费量比2014年增加1865万吨标准煤,增幅仅为0.47%,但是2015年中国居民生活能源消费量比2014年增加4498万吨标准煤,增幅高达14.6%,进一步证明居民生活能源消费量的增加对我国能源消费量的贡献不容忽视。因此,从居民消费的角度研究如何减少碳排放,对于降低能源消费量,减少碳排放和建设节能减排环保型社会具有重要的现实意义。

1 相关工作

居民消费直接碳排放指居民直接消耗能源用于取暖、做饭、交通出行等产生的碳排放;间接碳排放指由于衣、食、住、行的需要,居民在消费商品和服务时,生产和加工这些商品或提供服务时引起的碳排放,即隐含碳排放。

目前,国际上关于居民消费碳排放的研究中,对家庭碳排放的计算方法主要包括碳排放系数法、碳足迹计算模型、消费者生活方式法、投入产出法和生命周期评价法^[1]。

碳排放系数法是用家庭能源消耗量乘以相应的碳排放系数,计算方法简单且数据易于获取,广泛用于家庭直接碳排放的计算^[2];家庭碳足迹计算模型是利用目前已开放的家庭(或个人)碳足迹计算器,针对生活用能和交通出行产生的直接碳排放。但是,这两种方法都无法计算间接碳排放。

Bin等^[3]阐述了不同生活方式对能源的消费与碳排放之间的关系,即消费者生活方式法(consumer lifestyle approach, CLA)。此方法的优势是从消费者的角度分析能源需求和碳排放,提供“消费者导向”的政策制定意见。Ding等^[4]利用CLA法对中国能源消费的直接和间接影响的研究表明,2012年中国家庭消费活动引起的能源消费占全部能源消费总量的24.7%,家庭消费活动的间接能源消耗是直接能源消费的1.35倍。范玲等^[5]采用CLA法测算1993—2007年我国居民间接能源消费的碳排放量以及城镇和农村居民人均碳排放量的变化趋势。Xu等^[6]将CLA法计算的碳排放量归为若干消费类别,发现导致家庭碳排放不平衡的主要原因是高碳强度

的住宅消费,其次是食品、文化、教育、娱乐和服务消费。

投入产出法从宏观尺度评价最终需求的商品和服务需要的各个部门总投入量。对居民消费碳排放的特征和影响因素的研究多以投入产出法为基础^[7-9]。Lenzen等^[10]利用投入产出法,评估巴西家庭消费对碳排放的影响。Sommer等^[11]利用宏观经济投入产出模型,计算欧盟不同收入的5组家庭的消费碳足迹,结果显示不同边际消费倾向家庭的碳足迹存在差异,间接排在底层收入家庭中扮演更重要的角色。朱勤等^[12]利用可比价的投入产出模型,研究1993—2005年我国居民消费品载能碳排放的变化趋势,认为通过优化消费结构带动产业结构调整以及降低排放强度,能有效地减缓消费排放。叶震^[13]利用投入产出模型,分析中国城乡居民消费的碳排放差异,提出应当引导居民消费向低碳拉动部门转移。利用多区域投入产出(quasi-multi-regional input-output)模型,Druckman等^[14]分析英国1990—2004年的家庭碳排放,姚亮等^[15]计算中国8个区域的居民消费碳足迹的数量、构成、分布和转移,Ala-Mantila等^[16]研究芬兰家庭规模、城市结构与生活方式对温室气体的影响。

生命周期评价法(life cycle assessment, LCA)主要用于可持续消费的研究,针对消费产品和服务的整个生命周期在各个阶段的能源需求和碳排放情况进行分析。该方法因需要较完整的产品生命周期数据而受到限制。刘晶茹等^[17]采用LCA法得到城镇居民单位货币消费量产生的碳排放远高于农村,电力部门对居民消费环境影响的贡献率最大。姚亮等^[18]利用LCA法测算我国1992—2007年居民消费的隐含碳排放。Wang等^[19]发现,2007年居民消费最大的碳排放部门从农业部门转入服务部门。

以上方法局限于对碳排放有明显拉动作用的部门或居民活动研究,没有对这些部门之间相互支持研究的生产活动产生的碳排放做进一步的分析。

结构路径分析法(structure path analysis, SPA)可以追踪部门之间相互影响的复杂关系,能够分解整个生产链条中,对产品或组织具有重要影响的因子之间层层影响的路径^[20]。王芳^[21]利用SPA分析人口年龄结构对居民消费的影响。袁小慧等^[22]以江苏为案例,分析收入对居民消费影响的结构路径。Meng等^[23]和Nagashima等^[24]利用SPA,研究居民消费对PM_{2.5}排放的影响。前者发现消费者对

电力和交通的需求主要因导致直接排放,对建筑业、工业和服务业的需求主要因推动其上游部门的生产活动而导致排放;后者发现四川、山东、广西和安徽等地从事“其他服务业”、“农业”和“建筑业”等高收入行业的家庭主要贡献了自己的住宅PM_{2.5}排放量。Yang等^[25]研究了中国基于CO₂排放的化石能源结构路径,其中涉及居民消费,但分析较为粗略。

本文基于投入产出模型,对2012年居民消费碳排放进行初步分析,然后利用SPA,分析拉动居民消费碳排放的部门路径及其拉动效应。由于中国存在明显的城乡差别和收入差异,因此,采用结构性路径分析方法时,结合城乡居民家庭的收入变化、消费支出结构差异,分别探究城乡居民消费产生碳排放的特点以及部门拉动作用的异同。

2 方法与数据

2.1 环境投入产出分析法

环境投入产出分析法(Environmental Input-Output Analysis)^[26-27]可以将终端的商品和服务的消费与生产链上各部门的温室气体排放量联系起来。

本文使用的投入产出模型为

$$f = F(I - A)^{-1}y, \quad (1)$$

f 表示满足最终需求 y 的生产链上各部门排放的温室气体总量,也称隐含排放量;行向量 F 为温室气体排放强度,用各部门单位货币产出的直接温室气体排放量表示; I 为单位矩阵; A 为直接消耗系数矩阵; $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵,表示增加某一部门单位最终需求时,对各部门产品的完全消耗量;列向量 y 为对各部门产品的最终需求。 f 仅表示各部门在产品生产过程中排放的温室气体,不包括各类消费者在最终需求使用过程中产生的排放。

2.2 结构路径分析法

一个经济系统可以理解为由多个相互依存的因子组成的庞大复杂的网络。当一个因子的最终需求发生变化时,会对生产网络的其他因子产生影响,受影响因子的变化又影响其他因子或反馈回最初的部门,如此循环往复,层层影响。Defourny等^[28]提出的SPA法在环境问题中的应用,就是将一个经济体的整体排放量在其生产系统中分解为无穷多条路径,按照每条路径的直接排放量对路径排序,识别出气体排放量的关键驱动因素。

本文使用的SPA基于式(1)直接消耗系数矩阵 A ,用幂级数逼近方法,将式(1)中的列昂惕夫逆矩阵展开:

$$f = F(I - A)^{-1}y = Fy + FAy + FA^2y + FA^3y + \dots, \quad (2)$$

其中, $FA^n y$ 表示来自第 n 层次生产部门的影响。例如,当 y 代表对生产一辆汽车的需求时, Fy 就是生产过程中生产厂商的直接温室气体排放;为了生产这辆汽车,需要其他部门投入 Ay ,从而产生 FAy 的温室气体排放;其他部门的投入增加进一步要求 A^2y 的生产投入从而继续产生 FA^2y 的温室气体排放。这个过程通过幂级数的无限展开继续下去,最终,一辆汽车生产过程中产生的温室气体排放总量被层层分解,得到所有的排放路径。

排名靠前的若干条路径引起的碳排放占温室气体排放总量的绝大部分。同时,在每个层次中,有限数量的节点和路径产生的影响也占据大部分。“节点”上的温室气体排放是该节点的部门为了满足最终需求的直接排放以及由该节点展开的所有分路径温室气体排放的总和,每个节点下方各条“路径”的温室气体排放是该节点影响的分解。

本文在利用SPA研究居民消费对碳排放的拉动作用时,在前4个层级中选取影响大的节点和路径进行分析。

2.3 数据来源

本文中2012年CO₂气体排放量来自各部门统计年鉴的基础数据,根据《2006年IPCC国家温室气体清单指南》^[29]的参考方法进行估算。我们使用以2000年为价格基年的2012年可比价投入产出表,根据刘起运等^[30]在《中国1992—2005年可比价投入产出序列表及分析》中提供的方法编制,编制过程中使用的价格指数来自历年《中国价格统计年鉴》及《工业统计年报》。

本文采用根据竞争型投入产出表调整的非竞争进口型投入产出表。中国目前编制的投入产出表均为包括国内产品和进口产品的竞争型投入产出表。为避免计算过程中假设进口产品的碳排放强度与中国国内相同产品引起的中国最终需求碳排放误差,我们参考Weber等^[31]的方法,按比例将进口产品从各部门产品的中间使用和最终使用中减掉。

3 结果与分析

3.1 城乡居民消费的碳排放总量构成

从表1可以发现,2012年城乡居民的直接碳排

表1 2012年城乡居民消费碳排放量

Table 1 Urban and rural household carbon emission in 2012

分类	碳排放量/(Mt CO ₂)			人均碳排放/(t·人 ⁻¹)		
	直接	间接	总计	直接	间接	总计
城镇	185.86	1441.58	1627.44	0.26	2.03	2.29
农村	160.16	414.00	574.16	0.25	0.64	0.89
合计	346.02	1855.58	2201.60	-	-	-

放量分别约为185.86和160.16 Mt CO₂, 占碳排放总量的比例较低, 仅11.4%和27.89%, 同时相应的人均直接碳排放差异不大。由此可知, 居民生活消费碳排放的减排潜力和重点集中在间接碳排放上。2012年城镇的居民消费间接碳排放约为农村的3.5倍, 而城镇人均碳排放约为农村的3.14倍, 远远高于农村居民的间接碳排放。这种差异主要是由于消费水平和消费结构的不同造成的, 在一定程度上也反映城乡居民在生活水平和生活方式上的差距, 因此减排的侧重点有所不同。

3.2 城乡居民间接碳排放构成

2012年城镇和农村居民家庭人均可支配收入分别为24565和7917元(3.10倍), 相应的人均消费支出分别为16674和5908元(2.82倍)^[32], 可见城镇的高消费水平使得居民碳排放远远高于农村居民, 不断扩张的消费需求是我国居民消费碳排放不断增长的重要来源。

3.2.1 部门拉动作用

2012年, 城乡居民消费的碳排放均主要集中在6个部门, 只是比例有所不同, 分别是电力、热力生产和供应业, 其他服务业, 农、林、牧、渔、水利业, 食品制造业, 批发、零售业和住宿、餐饮业, 交通运输、仓储和邮政业, 如图1所示。这些部门对城乡居民碳排放的拉动作用分别占其总排放量的70%和67%。

“其他服务业”和传统的碳排放主要来源“电力、热力生产和供应业”已经并驾齐驱, 成为碳排放最主要的两大来源。城镇居民消费中“其他服务业”占比(20.4%)已经超过“电力、热力生产和供应业”(19.8%), 成为拉动影响最大的部门。农村居民“其他服务业”占比为17.2%, 紧随“电力、热力生产和供应业”(20.2%), 位列第二。由此可见, 尽管“其他服务业”历来被认为是更加节能环保的行业, 但从对碳排放的拉动作用看, 其负面影响应充分重视。

3.2.2 按照类别测算的构成

根据国家统计年鉴中对居民消费八大类别测算

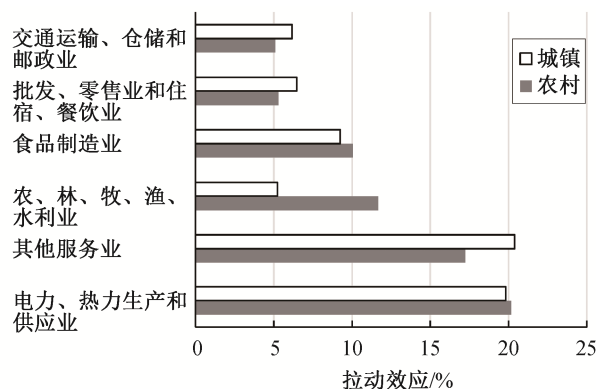


图1 2012年城乡居民消费间接碳排放的部门拉动效应

Fig. 1 Sectors impetus to indirect carbon emission of household consumption in 2012

的居民消费碳排放来源占比(图2), 居民消费的碳排放主要来自“食”、“行”和“其他商品和服务”三大类, 但城镇和农村的消费方式不完全相同。“食品”依然是农村居民碳排放最大的类别, 其次是“其他商品和服务”和“交通和通信”, 分别为30.46%, 17.74%和10.42%。对于城镇居民, 这三大类的占比也位列前三, 但占比最大的类别是“其他商品和服务”(21.33%), 超过“食品”(19.13%)。“衣着”是三大类以外占比最大的, 城乡的占比分别为5.73%和5.17%。“家庭设备用品及服务”、“医疗保健”和“居住”的碳排放相差不多, 为1%~4%。拉动城乡碳排放类别差异的原因来自城乡居民生活方式、生活质量的差距, 这一差距可以进一步在城乡居民不同收入水平家庭的消费支出构成中得到体现。

3.2.3 不同收入水平家庭的间接碳排放

收入水平是影响居民消费碳排放的重要因素之一, Weber等^[33]利用多区域LCA, 并结合居民消费支出, 研究美国家庭碳足迹, 评价教育、交通、能耗、休闲娱乐、服装和饮食等13个消费种类, 发现低收入家庭碳排放集中在基本需求消费, 且随收支水平增加, 娱乐等高级消费种类的碳排放比例上升。我国城镇居民和农村居民生活消费间接碳排放随收入水平的变化见图3。按照中国统计年鉴的分类,

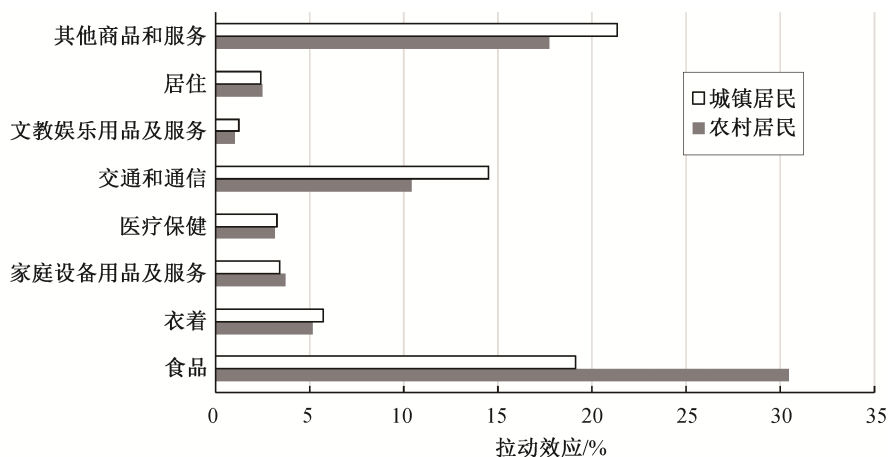


图2 2012年居民消费碳排放分类别的拉动作用

Fig. 2 Category impetus to carbon emission of household consumption in 2012

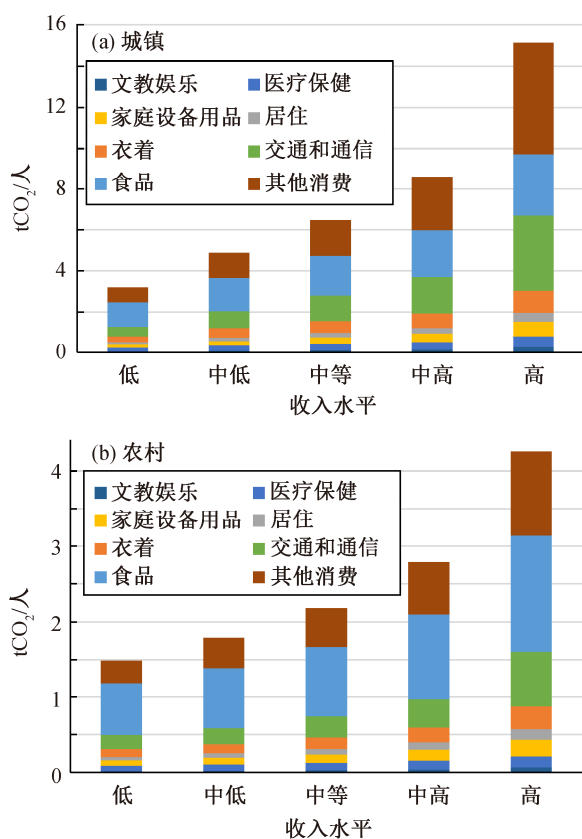


图3 2012年城镇和农村居民不同收入水平下家庭人均间接碳排放

Fig. 3 Indirect carbon emissions of urban and rural families with different income in 2012

所有家庭分为低收入、中低收入、中等收入、中高收入和高收入5组。从图中可知：无论城镇居民还是农村居民，随着收入水平的提高，各消费类别的

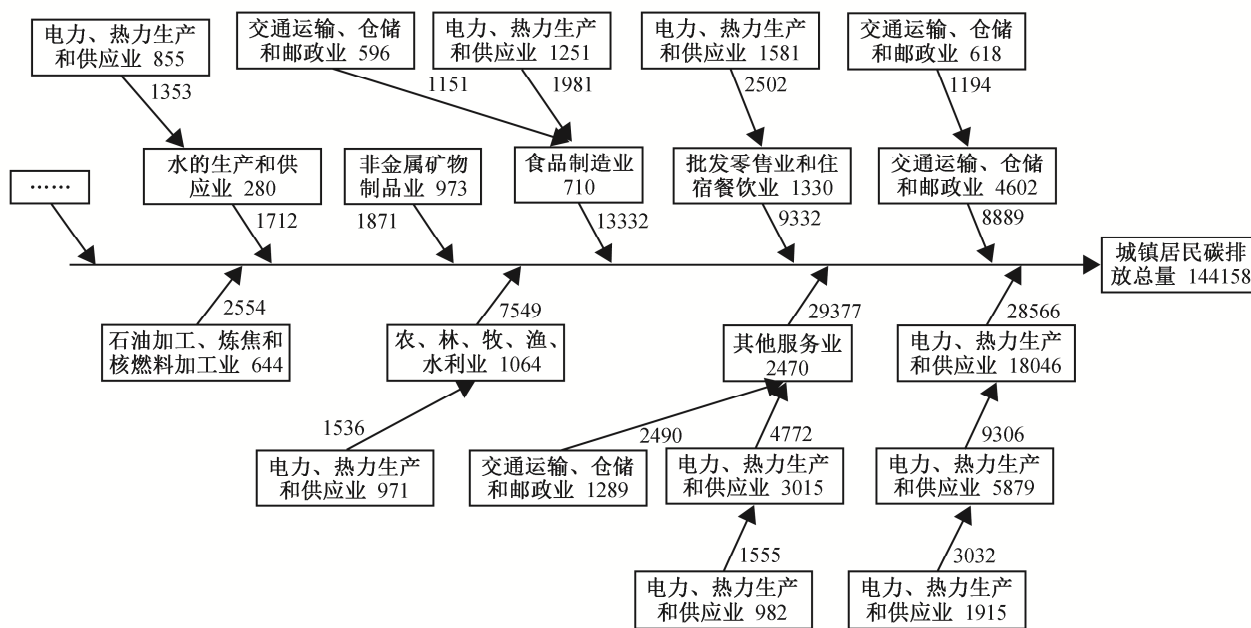
间接碳排放都呈增加趋势。原因主要是收入的增加会拉动居民消费的增长，进而拉动相应消费碳排放的增加^[34]。如果不采取相应的措施，未来随着居民收入水平的不断提高，居民消费对碳排放的拉动作用会越来越大。

从不同消费类别看，食品、其他消费、交通和通信的碳排放占比随收入水平的增加而迅速增加，农村居民其他消费类别的人均碳足迹也随收入的增加呈现较稳定的增长趋势。各消费类别的构成基本上保持不变，即食品>其他消费>交通通信>衣着>家庭设备用品及服务~医疗保健~居住>文教娱乐服务，食品对农村人均碳排放的拉动作用始终最显著。城镇居民不同消费类别的隐含碳足迹随收入水平的增加也呈增加趋势，但是消费碳排放构成发生变化。与农村一样，排在前三位的依然是食品、其他消费、交通和通信，增长趋势显著。但是，食品对人均碳排放的拉动作用弱于其他消费以及交通和通信，其中家庭交通工具的增加是导致高收入家庭消费碳足迹(交通和通信)增加的主要因素。因此，食品、交通和其他服务是未来减排的重点。

3.3 城乡居民消费碳排放路径分析

通过对45个部门^①的路径分析发现，在引起城乡居民消费的间接碳排放路径中，前20条路径(图4和5)分别覆盖了城镇和农村34.32%和35.28%的居民消费间接碳排放总量。“电力、热力生产和供应业”路径的拉动影响远远超过其他部门，同时，大多数路径都以“电力、热力生产和供应业”结束。这归

① 为了使投入产出表的部门分类与能源统计年鉴数据中的部门分类一致，本文根据《国民经济产业分类和代码标准》(GB/T 4754—2017)、中国2012年139部门投入产出表和中国能源统计年鉴2013，将国民经济部门合并为45个部门。



方框中的数值是此节点本身产生的间接碳排放，箭头旁边的数值是这条路径本身及其下分解的所有路径的间接碳排放的总和，单位为万 t CO₂。下同

图4 前20条城镇居民消费碳排放路径

Fig. 4 Top 20 SPA of urban household carbon emissions

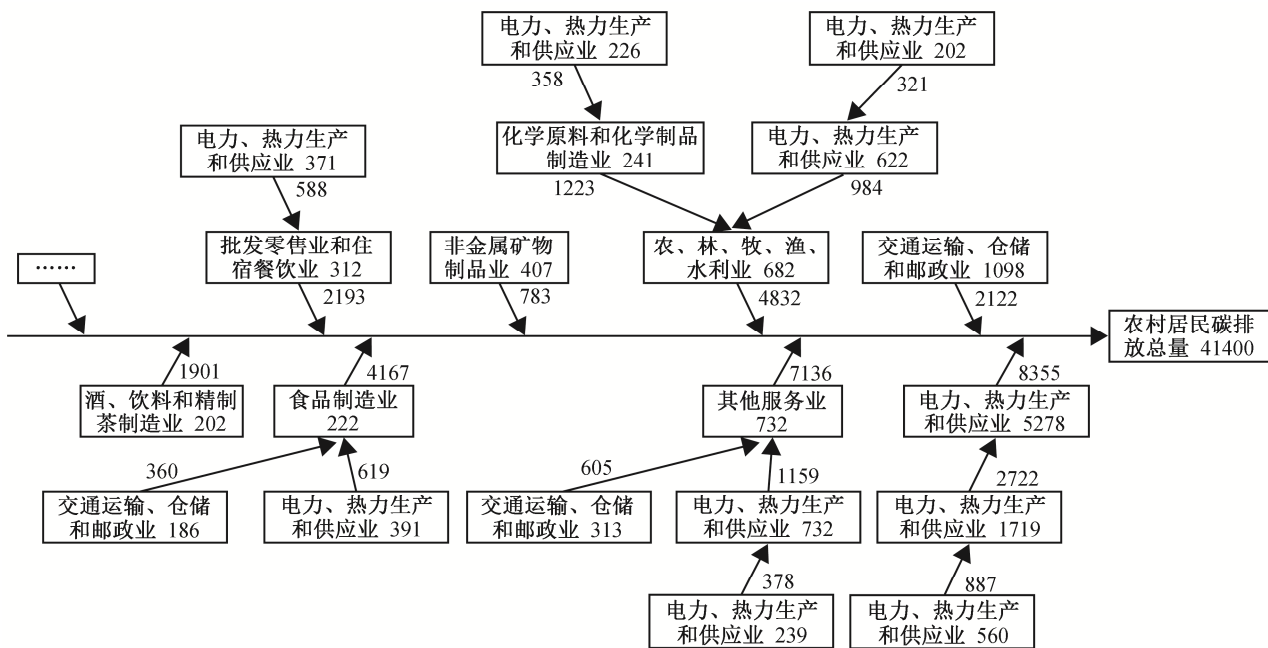


图5 前20条农村居民消费碳排放路径

Fig. 5 Top 20 SPA of rural household carbon emissions

因于中国能源结构中对煤的高度依赖，所以该路径的解决办法还需中国能源结构的改善；其次还有“交通运输、仓储和邮政业”、“其他服务业”、“农、林、牧、渔、水利业”、“食品制造业”和“批发、零

售业和住宿、餐饮业”等。

从排名靠前的城乡居民消费碳排放路径的对比中可以发现，“化学原料和化学制品制造业”仅在农村居民消费碳排放一级路径的“农、林、牧、渔、

水利业”次级路径中出现两次。通过进一步对 139 个部门的路径分析发现,这部分碳排放主要来自化肥和农药在农业中的使用。在农产品碳排放(图 6)中,来自肥料和农药的拉动影响分别为 32.6%和 6.9%,超过“电力、热力生产和供应业”的影响 25.9%。林产品碳排放总量较小,暂不考虑。在畜牧产品碳排放(图 7)中,来自饲料加工品的拉动影响为 38.7%,远远高于“电力、热力生产和供应业”的 4.9%。渔产品(图 8)中,来源于饲料加工品的拉动影响为 27.1%,也高于“电力、热力生产和供应业”的 15.7%。因此,化肥、农药和饲料等化工产品

在农业中使用所排放的 CO₂ 值得关注。近年来,随着城乡居民生活水平的提高,中国居民消费结构加快升级,城乡居民家庭恩格尔系数显著下降,居民消费从生存型向发展与享受型过渡,服务消费占比显著提高。通过对其他服务业的 139 部门结构路径分析(图 9 和 10)发现,城乡居民其他服务业消费碳排放的绝对水平存在巨大差异,这主要受城乡居民经济结构、收入、服务供给和消费政策等的影响^[35],但其他服务消费碳排放的来源构成差异不大,其拉动效应主要来自居民服务、批发和零售、餐饮、卫生、电信和其他传输服务、货币金融和其他金融服务、教育等。从图中可知,无论是直接还是间接产生对其他服务业碳排放的拉动作用,电力、热力生产和供应业依旧是排放最大的部门。医药制品、居民服务、货币金融和其他金融服

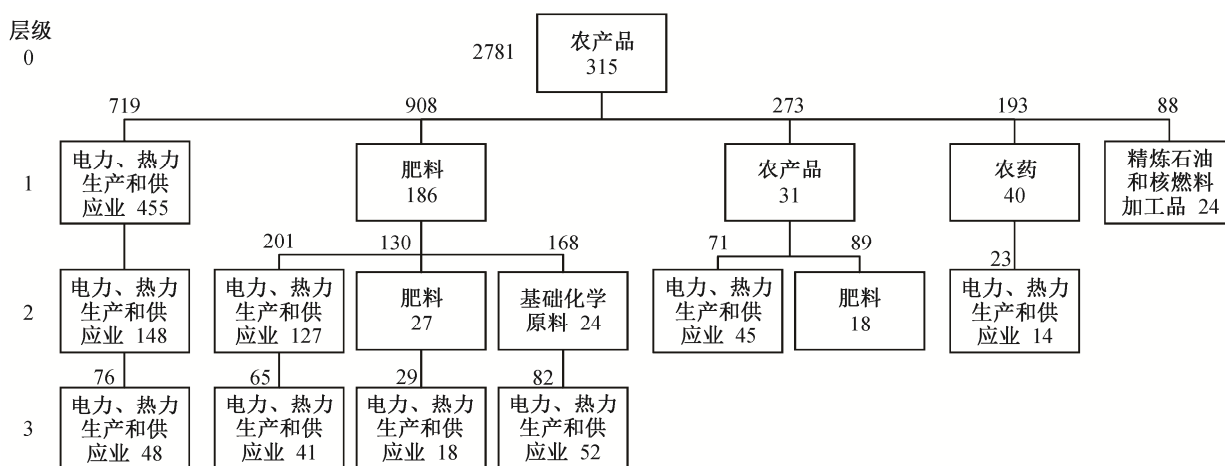


图 6 农产品碳排放路径

Fig. 6 SPA of agricultural products' CO₂ emissions

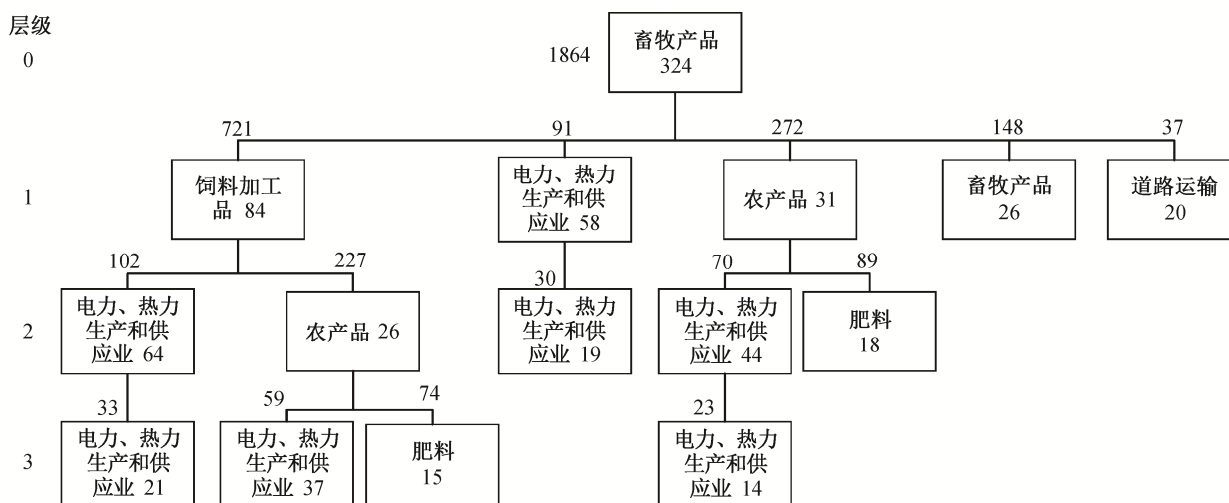


图 7 畜牧产品碳排放路径

Fig. 7 SPA of livestock products' CO₂ emissions

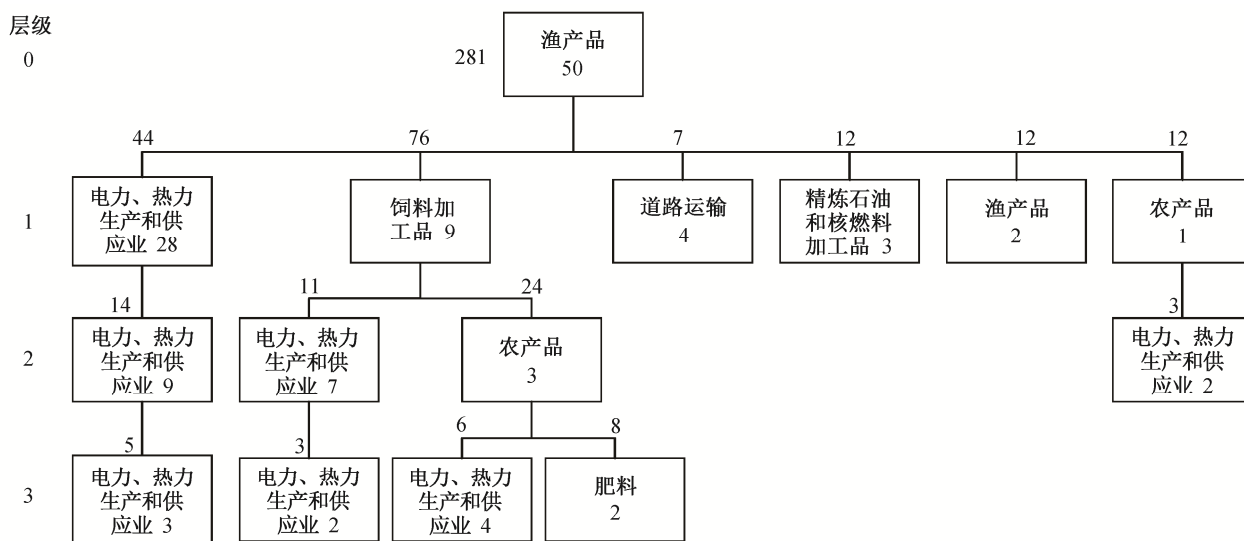


图8 渔产品碳排放路径
Fig. 8 SPA of fishery products' CO₂ emissions

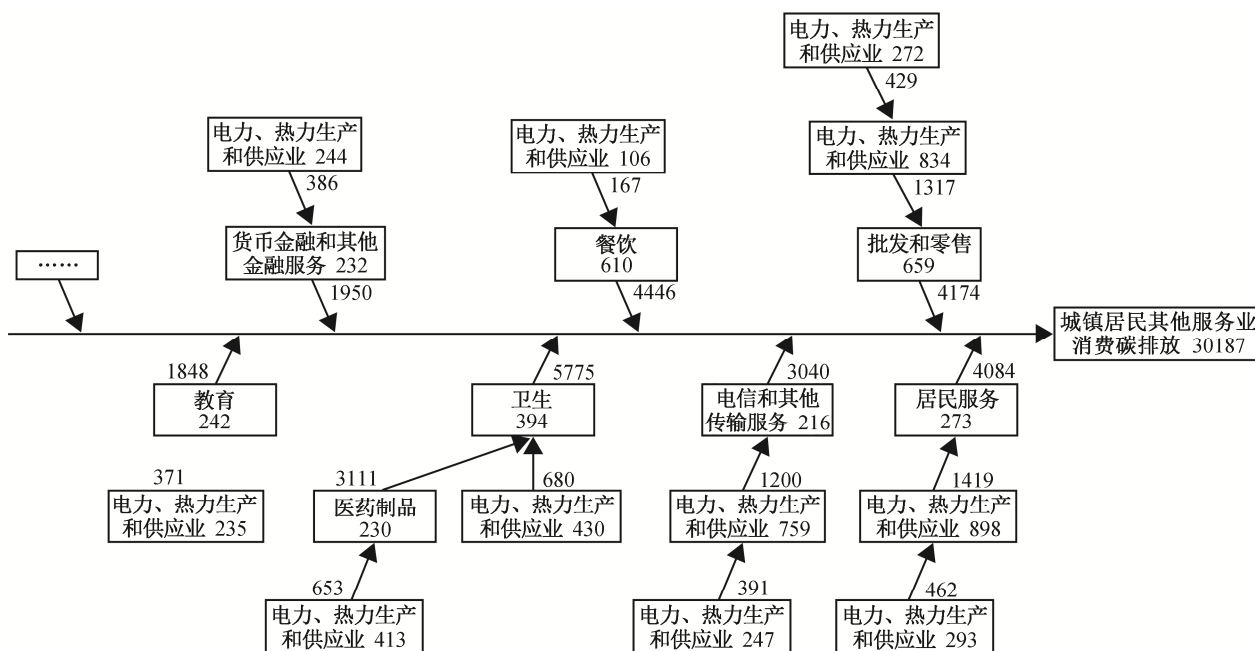


图9 城镇居民其他服务业碳排放路径
Fig. 9 SPA of the department of other services of urban household CO₂ emissions

务、保险业对城镇居民碳排放的拉动作用大于农村居民，而批发零售、卫生略低于农村居民，教育、电信和其他信息传输服务对城镇居民的拉动作用与农村居民没有显著差别。

4 结论

本文在投入产出法的基础上，采用结构路径分

析的方法，研究2012年中国城乡居民消费对碳排放的拉动作用，并分析造成城乡居民消费碳排放量差异的原因。

从总体上看，2012年城镇和农村居民碳排放总量分别约为1626.86和574.16 Mt CO₂，间接碳排放占主要部分，是减排的重点。城乡居民消费碳排放总量存在较大差距，减排方式也各有侧重。

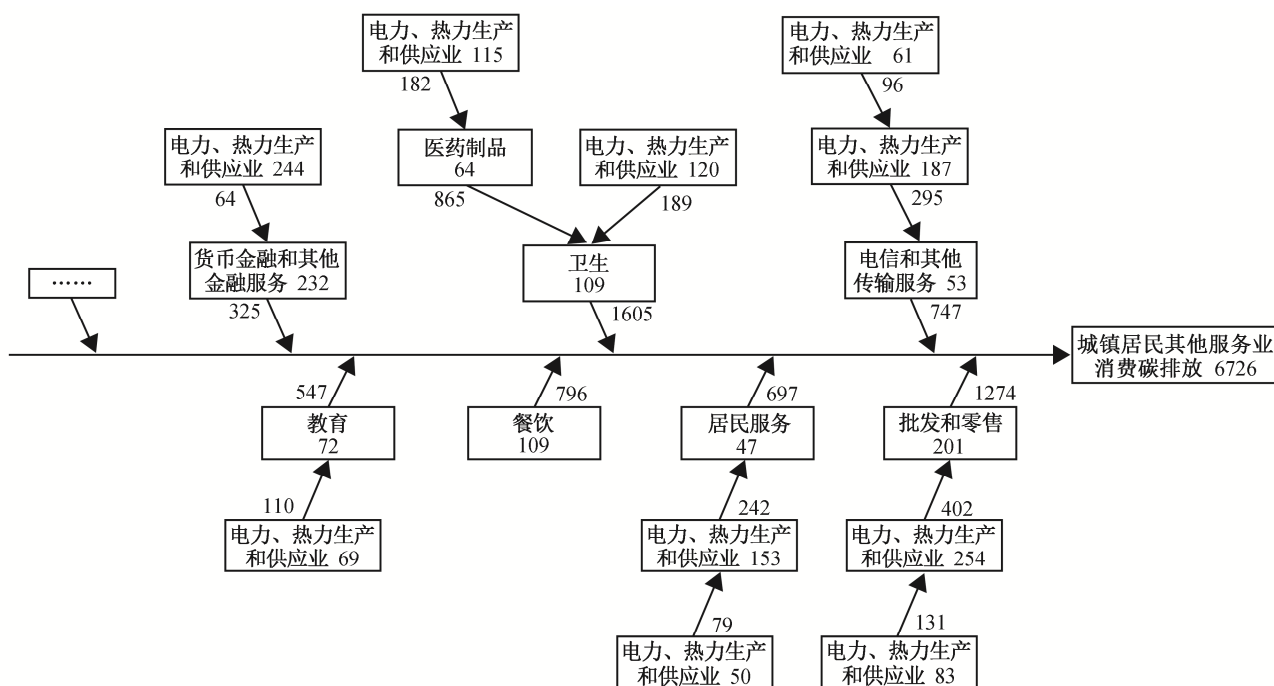


图 10 农村居民其他服务业碳排放路径

Fig. 10 SPA of the department of other services of rural household CO₂ emissions

在 2012 年城乡居民消费碳排放的结构中, 拉动效应排在前面的主要有电力、热力生产和供应业, 其他服务业, 农、林、牧、渔、水利业, 食品制造业, 批发、零售业和住宿餐饮业, 交通运输、仓储和邮政业。

城乡居民收入水平及消费结构的差异是造成城乡居民消费碳排放量不同的重要因素。按照统计年鉴对居民消费的分类, “食品”、“其他商品和服务”和“交通和通信”对城乡居民消费碳排放拉动作用最明显。“食品”对农村居民消费碳排放的拉动作用最大, 对城镇居民消费碳排放拉动效应最大的是“其他商品和服务”。其余类别随收入的增加, 碳排放增幅不明显。因此, 随着我国居民收入水平不断提高, 减排重点也会发生相应的变化: 除“食品”、“其他商品和服务”和“交通和通信”外, 其他类别减排潜力不大, 其他服务业应受到越来越高的重视。

对结构路径结果的分析发现, 使用化肥、农药和饲料造成农业上的碳排放较为突出, 因此农业生产中应当减少使用化肥、农药和饲料等化学制品, 避免对其过于依赖。农业政策也应当合理地限制此类化学制品的使用, 以降低“化学原料和化学制

品制造业”部门因制造这些化肥农药所排放的 CO₂。城乡居民其他服务业消费碳排放绝对值存在差异, 但未发现其结构有明显的差异。由于我国城市化的推进, 城乡居民的消费结构总体上呈现趋同态势, 医疗卫生、居民服务和娱乐等对农村居民的消费碳排放的拉动影响并不明显弱于对城镇居民的影响。货币与货币金融服务这种高端服务业的市场主要集中在城市, 所以对城镇居民消费碳排放的影响更大。

参考文献

- [1] 曾静静, 张志强, 曲建升, 等. 家庭碳排放计算方法分析评价. 地理科学进展, 2012, 31(10): 1341-1352
- [2] 马晓微, 杜佳, 叶奕, 等. 中美居民消费直接碳排放核算及比较. 北京理工大学学报(社会科学版), 2015, 17(4): 34-40
- [3] Bin S, Dowlatabadi H. Corrigendum to “consumer lifestyles approach to US energy use and the related CO₂ emissions”. Energy Policy, 2005, 33(10): 197-208
- [4] Ding Qun, Cai Wenjia, Wang Can. Impact of household consumption activities on energy consumption in China — evidence from the lifestyle

- perspective and input-output analysis // The 8th International Conference on Applied Energy. Beijing, 2017: 3384–3390
- [5] 范玲, 汪东. 我国居民间接能源消费碳排放的测算及分解分析. 生态经济, 2014, 30(7): 28–32
- [6] Xu X, Han L, Lv X. Household carbon inequality in urban China, its sources and determinants. *Ecological Economics*, 2016, 128: 77–86
- [7] 丰霞, 智瑞芝, 董雪旺. 浙江省居民消费间接碳足迹测算及影响因素研究. 生态经济, 2018, 34(3): 23–30
- [8] 刘晔, 刘丹, 张林秀. 中国省域城镇居民碳排放驱动因素分析. 地理科学, 2016, 36(5): 691–696
- [9] 王雪松, 任胜钢, 袁宝龙, 等. 城镇化、城乡消费比例和结构对居民消费间接 CO₂ 排放的影响. 经济理论与经济管理, 2016(8): 79–88
- [10] Lenzen M, Schaeffer R. Environmental and social accounting for Brazil. *Energy Economics*, 2004, 27(2): 201–226
- [11] Sommer M, Kratena K. The carbon footprint of European households and income distribution. *Ecological Economics*, 2017(136): 62–72
- [12] 朱勤, 彭希哲, 吴开亚. 基于投入产出模型的居民消费品载能碳排放测算与分析. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2018–2029
- [13] 叶震. 投入产出数据更新方法及其在碳排放分析中的应用. 统计与信息论坛, 2012, 27(9): 39–44
- [14] Druckman A, Jackson T. The carbon footprint of UK households 1990–2004: a socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model. *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 2066–2077
- [15] 姚亮, 刘晶茹, 王如松, 等. 基于多区域投入产出(MRIO)的中国区域居民消费碳足迹分析. 环境科学学报, 2013, 33(7): 2050–2058
- [16] Ala-Mantila S, Ottelina J, Heinonen J, et al. To each their own? The greenhouse gas impacts of intra-household sharing in different urban zones. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135: 356–367
- [17] 刘晶茹, Peters G P, 王如松, 等. 综合生命周期分析在可持续消费研究中的应用. 生态学报, 2007, 27(12): 5331–5336
- [18] 姚亮, 刘晶茹, 王如松. 中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素. 生态学报, 2011, 31(19): 5632–5637
- [19] Wang Z, Liu W, Yin J. Driving forces of indirect carbon emissions from household consumption in China: an input–output decomposition analysis. *Natural Hazards*, 2015, 75(S2): 257–272
- [20] Lenzen M, Murray J. Conceptualising environmental responsibility. *Ecological Economics*, 2010, 70(2): 261–270
- [21] 王芳. 人口年龄结构对居民消费影响的路径分析. 人口与经济, 2013(3): 12–19
- [22] 袁小慧, 范金. 收入对居民消费影响的结构性路径分析: 江苏案例. 数学的实践与认识, 2010, 40(1): 32–43
- [23] Meng J, Liu J, Xu Y, et al. Tracing Primary PM_{2.5} emissions via Chinese supply chains. *Environmental Research Letters*, 2015, 5(10): No. 054005
- [24] Nagashima F. Critical structural paths of residential PM_{2.5} emissions within the Chinese provinces. *Energy Economics*, 2018, 70: 465–471
- [25] Yang Z, Dong W, Xiu J, et al. Structural path analysis of fossil fuel based CO₂ emissions: a case study for China. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0135727
- [26] Leontief W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. *The Review of Economics and Statistics*, 1970, 52(3): 262–271
- [27] Miller R E, Blair P D. Input-output analysis: foundations and extensions. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1984
- [28] Defourny J, Thorbecke E. Structural path analysis and multiplier decomposition within a social accounting matrix framework. *The Economic Journal*, 1984, 94: 111–136
- [29] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Kanagawa: Institute For Global Environmental Strategies, 2006
- [30] 刘起运, 彭志龙. 中国 1992—2005 年可比价投入产出序列表及分析. 北京: 中国统计出版社, 2010
- [31] Weber C L, Peters G P, Guan D, et al. The contribution of Chinese exports to climate change. *Energy Policy*, 2008, 36(9): 3572–3577
- [32] 国家统计局. 中国统计年鉴 2013. 北京: 中国统计出版社, 2013
- [33] Weber C L, Matthews H S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*, 2008, 66: 379–391
- [34] 董会娟, 耿涌. 基于投入产出分析的北京市居民消费碳足迹研究. 资源科学, 2012, 34(3): 494–501
- [35] 沈家文, 刘中伟. 促进中国居民服务消费的影响因素分析. 经济与管理研究, 2013(1): 53–58