

DOI:10.15918/j.jbitss1009-3370.2018.3265

北京市居民消费间接碳排放测算及影响因素

赵玉焕, 李玮伦, 王淞

(北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081)

摘要: 利用北京市 2002—2012 年的统计数据, 基于投入产出模型分别测算北京市农村和城市低、中、高 3 个收入居民群体的消费间接碳排放量, 利用结构分解分析(SDA)方法对北京市居民消费间接碳排放的影响因素进行分析。结果表明: 2002—2012 年, 城乡居民消费间接碳排放总量从 2002 年的 3 131.81 万吨增加至 2012 年的 3 857.67 万吨, 年均增长率为 2.11%。分收入群组看, 农村低、中、高 3 个收入群组的居民间接碳排放随着收入上升而下降, 城市低、中、高 3 个收入群组的居民间接碳排放随着收入上升而上升。SDA 结果显示, 2002—2012 年, 平均消费水平变动是城乡居民消费间接碳排放增加的主要驱动因素, 碳排放强度变动则是主要抑制因素, 消费结构和城镇化水平的变动则影响有限。因此, 在研究结论的基础上提出如下减排建议: 进一步降低产业部门碳排放强度和优化产业结构; 严控人口规模, 提升城镇化的水平和质量; 在增加居民收入的基础上优化消费结构, 鼓励低碳消费、绿色消费。

关键词: 居民消费; 间接碳排放; 投入产出分析; 结构分解分析

中图分类号: F205

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2018)03-0033-12

随着中国经济持续快速发展, 能源消耗量及碳排放量逐年增多。2013 年, 中国碳排放超过欧盟和美国的总和, 达到 100 亿吨, 占全球碳排放总量近 28%^[1]。作为世界上最大的碳排放国, 中国为应对日益严峻的全球气候变化, 积极制定和调整相关国家战略。在《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》中, 中国承诺, 到 2020 年, 单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%; CO₂ 排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰, 单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 60%~65%。

在低碳发展要求下, 作为中国的首都, 北京市减排工作成效在全国范围内具有重要的示范意义。北京市在“十二五期间”以年均 1.5% 的能耗增长支撑了年均 7.5% 的经济增长, 万元地区生产总值能耗和万元地区生产总值 CO₂ 排放分别累计下降 25.1% 和 27.5%, 是全国唯一连续 10 年超额完成年度节能目标的省级地区, 能源利用效率位居全国首位。2016 年, 北京市政府常务会议审议通过《北京市“十三五”时期节能降耗及应对气候变化规划》, 力争在 2020 年前, 万元 GDP 能耗再降 17%。值得注意的是, 2002—2012 年, 北京市碳排放量从 6 427 万吨增长至 9 594 万吨, 年均增长率为 4.09% (Shan 等, 2016)^[2]。因此, 如何进一步推动碳减排, 已成为当前北京市经济社会可持续发展的重要议题。一方面, 随着北京进入工业化和城镇化后期, 第三产业逐渐成为北京市的主导产业, 从生产侧挖掘减排潜力的难度越来越大; 另一方面, 由于北京市常住人口已突破 2 000 万人, 全社会能源刚性需求增长迅速, 全市总能耗的 70% 以上来自第三产能和居民生活消费能耗^①, 快速增长的居民生活消费日益成为北京市能耗和碳排放增长的关键驱动因素。因此, 应该将节能减排的重点从生产侧转移到消费侧。而居民消费碳排放的来源主要分为居民生活直接能源消费碳排放和居民间接能源消费碳排放, 许多学者专家在研究后发现, 居民间接消费碳排放大于直接消费碳排放。Wei 等 (2007)^[3]对 1998—2002 年中国城乡居民能源消费引致碳减排的影响研究中发现, 间接碳排放的影响是直接碳排放的 2 倍左右。唐葆君和李银玲 (2015)^[4]对 2005—2012 年北京市居民的能源消费量及碳排放量研究后, 也发现间接碳排放影响大于直接碳排放影响。虽然目前消费碳排放领域引起了越来越多学者、专家和相关部门的关注, 但不可避免的是, 针对北京市居民消费行为的减排工作还存在着以下有待改进之处: (1) 减排工作依然主要关注居民直接能耗, 忽视了居民消费行为的间接能耗和碳排放; (2) 减排工作未能将

收稿日期: 2017-05-11

基金项目: 北京市自然科学基金面上项目资助“北京市居民消费结构变动对碳排放的影响研究”(9172015); 北京市社会科学基金一般项目资助“北京市出口贸易的经济利益和环境成本研究”(17JDYJB010)

作者简介: 赵玉焕(1973—), 女, 博士, 副教授, 博士生导师, E-mail: zhaoyuhuan@bit.edu.cn

① 能耗数据来源: 北京市“十三五”时期节能降耗及应对气候变化规划。

居民生活消费与工业生产活动联系起来,忽视了消费行为对工业用能和碳排放的根本驱动作用;(3)减排工作未能就不同收入水平的城镇和农村居民群体提出针对性的生活消费行为引导措施。

因此,为准确测算北京市城乡居民的消费间接碳排放量,精准评估不同收入水平下的居民消费行为对碳排放产生的影响。本文在前人研究的基础上,引入城乡不同收入的人均消费数据,并应用投入产出模型对北京市2002年、2005年、2007年、2010年、2012年不同收入群组的城乡居民消费间接碳排放量进行测算和比较。同时,利用结构分解分析法(Structural Decomposition Analysis,SDA)对北京市城乡居民消费间接碳排放的影响因素进行量化分析,探明各影响因素在不同收入居民层面的贡献程度,并据此提出针对不同收入水平居民的消费碳减排的政策建议。为北京市在“十三五”时期积极应对气候变化,切实履行减排承诺树立良好的国际形象,并在建设“低碳城市”“环保城市”等方面为全国其他地区做出卓越表率。

一、文献综述

针对居民消费碳排放问题,近年来国内外很多学者从多个层面对其进行研究。研究方法一般有投入产出法、生命周期法和消费者生活方式法等^[5-8]。从城乡比较角度看,国内外基本上都是城市居民碳排放比农村居民高。Heinonen和Junnila(2011)^[9]运用生命周期法对芬兰的城乡消费碳排放做了研究,发现高收入导致城市居民的人均碳排放量比郊区和农村居民的高。范玲和汪东利(2014)^[10]用消费者生活方式法测算了中国城镇和农村居民消费间接碳排放量,发现城镇居民是农村居民人均碳排放量的3倍。汝醒君和汪臻(2017)^[11]基于状态空间模型分析了1995—2014年中国农村居民生活用能碳排放的动态影响过程,结果显示,农村居民生活用能碳排放并未随着农村人口的减少而降低,居民收入和消费结构存在正向效应,能源消费结构升级导致居民间接碳排放量增加。

从排放结构角度看,Chitnis等(2012)^[12]使用环境情景分析法对2030年英国家庭消费碳排放进行预测,Hirano等(2016)^[13]应用消费者生活方式法对日本居民家庭活动引致的碳排放作测算。二者研究结果均显示,居民活动产生的间接碳排放要远大于直接碳排放。姚亮等(2011)^[14]和Zhang等(2015)^[15]分别用生命周期法和投入产出法核算1997—2007年及2000—2010年的中国居民消费间接碳排放量,二者研究结果显示,2007年城镇居民消费间接碳排放量为1997年的2.21倍,2007年、2010年的间接碳排放分别占居民碳排放总量的76.44%和84%。针对间接碳排在居民消费中占主导地位的现象,姚亮等(2017)^[16]预测其未来仍将加强。

从排放影响因素看,Duarte等(2010)^[17]应用投入产出模型和社会核算矩阵对西班牙的家庭消费碳排放进行了研究,结果表明,虽然收入效应会导致人均消费碳排放升高,但消费结构效应会减弱收入效应的影响。Mahony(2013)^[18]基于扩展的Kaya恒等式以及LMDI分解法对爱尔兰碳排放进行了分析,结果表明,居民收入和人口增长的规模效应是推动爱尔兰碳排放的主要因素。Das和Paul(2014)^[19]使用投入产出法和结构分解分析法对印度居民消费碳排放进行了分析,结果表明,消费活动、消费结构以及人口因素是家庭能源碳排放的主要驱动因素。

针对中国居民消费碳排放影响因素问题,国内多名学者从不同层面对其进行研究。彭水军和张文城(2013)^[20]基于结构分解法研究了中国居民消费间接碳排放的影响因素,结果显示,能源产品及非能源产品消费规模的增长是居民消费间接碳排放增加的主要驱动因素,能源强度降低和能源消费结构变化是其主要抑制因素。付云鹏等(2016)^[21]基于STIRPAT模型对中国30个地区城乡居民消费碳排放的影响因素做了研究,结果表明,人口规模、收入水平对城乡居民消费碳排放的影响为正,且城市影响大于农村;消费结构影响为负,且农村影响大于城市。邓荣荣(2016)^[22]和张艳芳等(2016)^[23]用投入产出模型和结构分解法分别就湖南省和陕西省的居民消费碳排放的影响因素进行了分析,结果均显示,消费水平和消费结构对居民消费碳排放有正向效应,碳排放强度和中间生产技术有负向效应。

但值得注意的是,和西方发达国家不同,中国目前仍处于城市化阶段,所以城市化被学者认为是影响居民消费碳排放的重要因素。Feng和Hubacek(2016)^[24]预计,到2020年将会有超过1亿的农村居民移居到城市,并产生超过10亿吨的新增碳排放。Yuan等(2015)^[25]认为,城市化扩张、消费结构升级以及人均消费增长已成为间接碳排放增长的主要驱动因素,而消费比率的变动能起到碳减排的作用,在东部地区尤为显著。此外,由于经济发展水平不同,不同收入水平下的居民消费产生的碳排放也不同。Sommer和Kratena(2016)^[26]使用宏观经济投入产出模型对欧盟27国不同收入水平下的居民碳排放做了研究,结果显示,直接、间接碳

足迹收入弹性均有所降低,收入和碳足迹之间存在相对脱钩关系。Golley 和 Men(2012)^[27]对不同收入下的中国城市居民碳排放研究后得出“边际增长的收入—排放”关系模型,城市高收入家庭的直接和间接碳排放都比低收入家庭的多。Wiedenhofer 等(2017)^[28]通过碳足迹基尼系数法研究了中国居民碳足迹的失衡问题,结果表明,2007—2012年,全国居民消费碳排放增长19%,其中75%的增长归因于城市中、高收入人口消费的增长。农村人口和城市低收入人口的人均消费碳排放均低于全国平均水平。

针对北京市居民消费碳排放的问题,国内多位学者也对其进行了研究。董会娟和耿涌(2012)^[29]利用投入产出模型研究了北京市居民消费碳足迹的特征,结果显示,北京市城镇居民碳足迹总量约7993万吨,农村居民碳足迹总量为1195万吨;其中,城镇居民碳足迹以隐含碳足迹为主,农村居民碳足迹以直接碳足迹为主。李艳梅等(2014)^[30]利用投入产出法对北京市城乡家庭人均碳排放进行了分析。结果显示,城镇居民的间接碳排放量高于直接碳排放量;而农村居民的间接碳排放量低于直接碳排放量。从影响因素来看,张丽峰(2015)^[31]利用状态空间模型定量分析了北京的人口规模、人口城市化结构、居民消费与经济规模4个变量对碳排放的动态影响,结果显示,这4个变量对碳排放的弹性系数均为正数,居民消费水平对碳排放的弹性系数波动幅度较大。

综上所述,国内外学者针对居民消费对碳排放的影响已经进行了很多研究,但在研究角度、方法及研究范围上还有待改进和深化。

1.研究角度方面,大多数文献还是将视角集中在居民直接用能碳排放的角度,居民消费间接碳排放的研究相对较少;此外,目前这方面的研究尚不完善,没有形成统一的测算体系和评估标准,对碳排放测算结果的争议较大。

2.研究方法方面,在核算方法上,生命周期法只对系统边界内的环境影响进行研究,忽视了系统边界外的环境影响,而消费者生活方式法反映不出消费与生产网络之间真正的关系,无法区分直接和间接能耗影响^[32]。而投入产出法则能将生产侧和消费侧连通以计算消费导致的中间投入产品的完全消耗和使用,在消费引致的间接碳排放测算中较为精确,并且还可以加以扩展以引入新的解释变量,用途广泛。在影响因素分析上,计量回归法反应的仅仅是弹性的概念,不能精确计算出各类因素对研究对象变动的贡献比例;虽然指数分解法在数据精确度上要求不高,便于操作,但是不能精确量化分析各种间接影响因素具体贡献值。而结构分解分析法虽然在数据上有更高要求,但可通过投入产出模型,对研究对象的各种直接和间接影响因素进行全面量化分析。

3.研究范围方面,目前大多数文献都还是以国家或者区域为研究对象的,较少将研究视角扩展到不同收入水平下的居民消费碳排放,导致无法提出针对不同收入居民的明确减排建议。本文专注研究北京市不同收入水平下的居民消费间接碳排放问题,同类研究还不多。

因此,本文试图在上述文献研究的基础上对研究方法和模型做如下改进:首先,将北京市统计年鉴里面的投入产出数据、不同收入水平下的居民消费数据、人口数据带入扩展的投入产出模型以计算出不同收入水平下的北京市城乡居民消费碳排放量。其次,在对北京市城乡居民消费碳排放的影响因素的研究中,采用结构分解法将影响因素分解成2个生产侧因素和5个消费侧因素,并创新性地加入相对消费水平效应以衡量贫富差距对消费碳排放的影响。

二、模型与数据

(一)居民消费间接碳排放核算模型

本文采用投入产出模型对北京市城乡居民消费间接碳排放进行核算。假设经济系统中存在 N 个产业部门,则基本核算模型如下

$$C_{ij} = \hat{f} \times L \times y_{ij} \quad i=1,2,3 \quad j=1,2 \quad (1)$$

其中,(1) N 维列向量 C_{ij} 为居民消费间接碳排放量,单位:吨。(2) N 维矩阵 \hat{f} 为产业部门碳排放强度系数的对角阵,衡量的是每一个产业部门中每万元总产出对应的碳排放,单位:吨/万元。碳排放强度的计算公式: $\hat{f} = \frac{e}{o}$, e 为产业部门燃料使用产生碳排放,计算方法:通过能源平衡表计算产业部门每种燃料的使用量,然后乘以能源燃烧的直接碳排放系数公式即可将每种燃料使用量转换碳排放量;能源直接碳排放系数公式为:

化石燃料的平均低位发热量×化石燃料的单位热值含碳量×化石燃料燃烧过程的氧化率×44/12; o 为对应产业部门的总产出。(3) N 维矩阵 L 为 Leontief 逆矩阵, 也称“完全消耗系数矩阵”, 反映总产出对最终消费的依赖关系; 计算公式: $L=(1-A)^{-1}-1$, A 为统计年鉴中北京市对应年份的投入产出表数据。(4) N 维列向量 y 系最终消费向量, 单位: 元; i 为居民群组, 1、2、3 分别对应低收入、中收入、高收入居民群组; j 为居民群组所在区域, 1 和 2 分别对应农村和城镇。

(二) 居民消费间接碳排放结构分解模型

本文采用结构分解分析对北京市居民消费间接碳排放进行影响因素分析。结构分解分析是一种比较静态分析方法, 其基本思想是将投入产出模型中因变量在观测期内的变化分解为各个独立的自变量的变化的和, 进而分析各自变量的变动对因变量的变动的的影响程度。为精确分析各自变量变动对因变量变动“独立”的效应, 避免交叉项影响结果, 本文采用 Dietzenbacher 和 Los (1998)^[33] 提出的“两极分解法”对居民消费间接碳排放进行影响因素分析。

首先对式(1)中的 y_{ij} 进行扩展

$$y_{ij}=s_{ij} \times \bar{y}_{ij} \times p_{ij} \quad (2)$$

其中, s_{ij} 为 j 区域 i 收入群组居民的消费支出结构, 单位: %; \bar{y}_{ij} 为 j 区域 i 收入群组居民的平均消费水平, 单位: 元; p_{ij} 为 j 区域 i 收入群组居民的人口数量, 单位: 万人。进一步对式(2)进行恒等变换

$$y_{ij}=s_{ij} \times \bar{y}_{ij} \times p_{ij}=s_{ij} \times \frac{\bar{y}_{ij}}{\bar{y}} \times \bar{y} \times p \times \frac{p_{ij}}{p}=s_{ij} \times d_{ij} \times \bar{y} \times p \times g_{ij} \quad (3)$$

其中, \bar{y} 为全市平均消费水平, 单位: 元; p 为全市人口数量, 单位: 万人; $d_{ij}=\bar{y}_{ij}/\bar{y}$, 表示 j 区域 i 收入群组居民的平均消费支出与全市平均消费水平的比, 即相对消费水平, 单位: %; $g_{ij}=p_{ij}/p$, 表示 j 区域 i 收入群组居民占全市总人口的比重, 反映城镇化水平, 单位: %。将式(3)代回式(1), 即得

$$C_{ij}=\hat{f} \times L \times s_{ij} \times d_{ij} \times \bar{y} \times p \times g_{ij} \quad i=1, 2, 3 \quad j=1, 2 \quad (4)$$

设 T_0 为基期, T_1 为计算期, 则 C_{ij} 的变动为

$$C_{ij,1}-C_{ij,0}=\hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1}-\hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} \quad (5)$$

设 $E(\Delta X)$ 为 X 因素对 C_{ij} 变化的效应, 则 j 区域 i 收入群组居民消费间接碳排放变化 ΔC_{ij} 可以表示为

$$\Delta C_{ij}=E(\Delta \hat{f})+E(\Delta L)+E(\Delta s_{ij})+E(\Delta d_{ij})+E(\Delta \bar{y})+E(\Delta p)+E(\Delta g_{ij}) \quad (6)$$

对 ΔC_{ij} 从基期开始分解

$$\begin{aligned} \Delta C_{ij} &= \Delta \hat{f} \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_1 \times \Delta L \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_1 \times L_1 \times \Delta s_{ij} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \\ & \hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times \Delta d_{ij} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \Delta \bar{y} \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times \Delta p \times g_{ij,0} + \\ & \hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times \Delta g_{ij} \end{aligned} \quad (7)$$

对 ΔC_{ij} 从计算期开始分解

$$\begin{aligned} \Delta C_{ij} &= \Delta \hat{f} \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1} + \hat{f}_0 \times \Delta L \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1} + \hat{f}_0 \times L_0 \times \Delta s_{ij} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1} + \\ & \hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times \Delta d_{ij} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1} + \hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \Delta \bar{y} \times p_1 \times g_{ij,1} + \hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times \Delta p \times g_{ij,1} + \\ & \hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times \Delta g_{ij} \end{aligned} \quad (8)$$

取式(7)、式(8)的算术平均值, 则各影响因素变化对 ΔC_{ij} 的效应如下

1. 碳排放强度效应

$$E(\Delta \hat{f})=0.5 \times (\Delta \hat{f} \times L_0 \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \Delta \hat{f} \times L_1 \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1}) \quad (9)$$

2. 生产投入结构效应

$$E(\Delta L)=0.5 \times (\hat{f}_1 \times \Delta L \times s_{ij,0} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_0 \times \Delta L \times s_{ij,1} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1}) \quad (10)$$

3. 消费结构效应

$$E(\Delta s_{ij})=0.5 \times (\hat{f}_1 \times L_1 \times \Delta s_{ij} \times d_{ij,0} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_0 \times L_0 \times \Delta s_{ij} \times d_{ij,1} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1}) \quad (11)$$

4. 相对消费水平效应

$$E(\Delta d_{ij})=0.5 \times (\hat{f}_1 \times L_1 \times s_{ij,1} \times \Delta d_{ij} \times \bar{y}_0 \times p_0 \times g_{ij,0} + \hat{f}_0 \times L_0 \times s_{ij,0} \times \Delta d_{ij} \times \bar{y}_1 \times p_1 \times g_{ij,1}) \quad (12)$$

5. 平均消费水平效应

$$E(\Delta\bar{y})=0.5\times(\hat{f}_1\times L_1\times s_{j,1}\times d_{j,1}\times\Delta\bar{y}\times p_0\times g_{j,0}+\hat{f}_0\times L_0\times s_{j,0}\times d_{j,0}\times\Delta\bar{y}\times p_1\times g_{j,1}) \quad (13)$$

6.人口规模效应

$$E(\Delta\bar{p})=0.5\times(\hat{f}_1\times L_1\times s_{j,1}\times d_{j,1}\times\bar{y}_1\times\Delta p\times g_{j,0}+\hat{f}_0\times L_0\times s_{j,0}\times d_{j,0}\times\Delta\bar{y}_0\times\Delta p\times g_{j,1}) \quad (14)$$

7.城镇化效应

$$E(\Delta g_j)=0.5\times(\hat{f}_1\times L_1\times s_{j,1}\times d_{j,1}\times\bar{y}_1\times p_1\times\Delta g_j+\hat{f}_0\times L_0\times s_{j,0}\times d_{j,0}\times\bar{y}_0\times p_0\times\Delta g_j) \quad (15)$$

(三)数据来源与处理

本文所需的投入产出数据包括2002年、2005年、2007年、2010年和2012年的北京市投入产出表,来自北京2012年投入产出调查网^①。本文在投入产出数据方面,由于缺乏调入和进口商品生产技术的详细信息,无法准确计算调入和进口商品的碳排放。此外,由于北京市投入产出表属于非竞争性投入产出表,中间流量矩阵仅包含本地的中间投入,所以本文只考虑北京市内的生产碳排放,直接使用该表的完全消耗系数。此外,在计算各部门碳排放强度时,能源消耗数据来自于对应年份北京市统计局发布的《分行业能源消费总量和主要能源品种消费量》。相关能源的低位热值、含碳量、氧化率等均来自《北京市企业(单位)CO₂核算和报告指南(2013版)》。此外,本文参考涂正革(2014)^[34]的“电(热)碳分摊原则”,首先分别计算中间环节和终端环节碳排放量,对于

电力和热力加工转换过程中产生的碳排放,按电力和热力使用情况分配至各产业部门。分收入群组的城乡居民消费数据、人口数据均来自对应年份的《北京市统计年鉴》,并以2002年为基年对消费数据作价格调整。居民消费涵盖食品、衣着、居住、家庭设备用品及服务、医疗设备用品及服务、医疗保险、交通和通信、教育文化娱乐服务、其他商品和服务等支出。为保证投入产出数据、能源消耗数据和居民消费数据的一致性,本文借鉴张馨等(2011)^[35]以及董会娟和耿勇(2012)^[36]的文章将北京市投入产出表中原有居民消费有关的24个产业部门整合为8大消费部门,如表1所示;并加上17个非居民消费产业部门最终形成25个产业部门,如表2所示。

表1 居民消费有关的产业部门分类

代码	居民消费部门	产业部门
1	食品	食品制造及烟草加工业
2	衣着	纺织业+纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业
3	家用设备	木材加工及家具制造业+电气机械及器材制造业
4	卫生、社会保障和社会福利业	卫生、社会保障和社会福利业
5	交通通信	交通运输设备制造业+通信设备、计算机及其他电子设备制造业+交通运输及仓储业+邮政业+信息传输、计算机服务和软件业
6	文教娱乐	造纸印刷及文教体育用品制造业+教育+文化、体育和娱乐业
7	居住	非金属矿物制品业+金属制品业+电力、热力的生产和供应业+燃气生产和供应业+水的生产和供应业+建筑业+租赁和商务服务业
8	其他商品和服务	批发和零售业+住宿和餐饮业+居民服务和其他服务业

表2 产业部门分类

代码	部门	代码	部门
1	食品制造及烟草加工业	14	石油加工、炼焦及核燃料加工业
2	衣着	15	化学工业
3	家用设备	16	金属冶炼及压延加工业
4	卫生、社会保障和社会福利业	17	通用、专用设备制造业
5	交通通信	18	仪器仪表及文化办公用机械制造业
6	文教娱乐	19	其他制造业
7	居住	20	废品废料
8	其他商品和服务	21	金融保险业
9	农业	22	房地产业
10	煤炭开采和洗选业	23	科学技术
11	石油和天然气开采业	24	旅游业
12	金属矿采选业	25	公共管理和社会组织
13	非金属矿采选业		

三、测算结果分析

(一)2002—2012年北京市居民消费间接碳排放分析

根据式(1)居民消费间接碳排放核算公式,2002—2012年北京市农村和城镇分收入群组居民消费间接碳排放变化和增速如图1和图2所示。从排放总量来看,研究期内,北京市城乡各收入居民消费间接碳排放均呈现先减少、后增加、再减少的低速增长趋势。城乡排放总量从2002年的3 131.81万吨增加至2012年

^①<http://www.bjstats.gov.cn/zt/2012trcc/lssj/>

的3 857.67万吨,年均增长率为2.11%,远低于全国同期的碳排放增长率8.67%;农村居民消费间接碳排放量年均增长率为-3.98%;城镇居民消费间接碳排放量年均增长率为2.95%。

分时期看,北京市居民消费间接碳排放增速的分化主要出现在2005—2007年,这一时期城镇居民消费间接碳排放的年均增长率达44.35%,远高于农村居民消费间接碳排放11.38%的年均增速。因为2005—2007年,北京经济连续3年高速增长,人均消费年增长近9%,带动城乡居民消费碳排放高速增长。2007年以后,北京市强化了节能减排的工作力度,居民消费间接碳排放增长放缓,并且在2010—2012年重回负增长。

分收入群组看,农村低、中、高3个收入群组居民消费间接碳排放均为负增长,年均增长率分别为-0.32%、-3.25%、-6.45%;城镇低、中、高3个收入群组居民消费的间接碳排放均为正增长,年均增长率分别为2.76%、2.79%、3.34%。总的来看,城镇居民消费间接碳排放的年均增长率随收入的增加而增长,而农村居民消费间接碳排放的年均增长随收入的增加而减少。这反映城镇居民随着收入的增多,为追求生活品质会偏重享受型消费,生产这类商品往往需要复杂的工序和优质的中间投入品,进而导致生产过程中的含碳量相应增加,因此消费碳排放随着收入升高而增加。而农村居民随着收入的增多,消费模式逐渐从高碳生存型消费过渡到低碳发展型消费,因此消费碳排放随着收入的升高而下降。

(二)2002—2012年北京市居民消费间接碳排放影响因素分析

根据式(9)~式(15)两极分解表达式,本文将2002—2012年北京市居民消费间接碳排放量变化分解成7个相互独立的子效应,并分析各因素变动对城乡居民消费间接碳排放量变化的贡献程度。其中,生产系统效应包括碳排放强度效应和投入产出结构效应;消费系统效应包括消费结构效应、相对消费水平效应、平均消费水平效应、人口规模和城镇化效应。在以下分析中,某一时期影响因素贡献率等于该时期影响因素效应除以2002年居民消费间接碳排放量。

1.生产系统效应

1)碳排放强度效应

如表3所示,2002—2012年,随着清洁技术的推广以及环境规制的强化,北京市各产业部门碳排放强度呈现下降趋势,总体上抑制了北京市农村和城镇居民消费间接碳排放量的增长,合计贡献率达-206.50%。分城乡来看,2007—2012年,碳排放强度变化对城镇居民消费间接碳排放的抑制作用显著高于农村居民。因为北京市城镇居民对于文教、娱乐以及交通、通信类支出的比重要高于农村居民,而相应产品的完全碳排放强度在研究期内下降幅度较大,因此抑制效应较为明显。分收入群组来看,碳排放强度变化对农村居民消费间接碳排放的抑制效应随着收入水平的增高而下降,因为农村居民随着收入的增加对生存类产品的消费会增大,此类产品的用能结构基本以初级能源为主,较为单一且减排潜力有限,因此碳排放强度降低对农村居民的消费碳减排效果有限。而城镇居民则随收入升高对高碳享受型产品的需求上升。由于其在生产中用能结构多样,可替代能源种类较多且具有较大的减排潜力,因此碳排放强度降低对城镇居民消费间接碳排放的抑制效应较为明显。体现出近年来北京市大力倡导生产部门能源使用效率提升以及清洁能源推广在供给侧碳减排方面取得的成果。

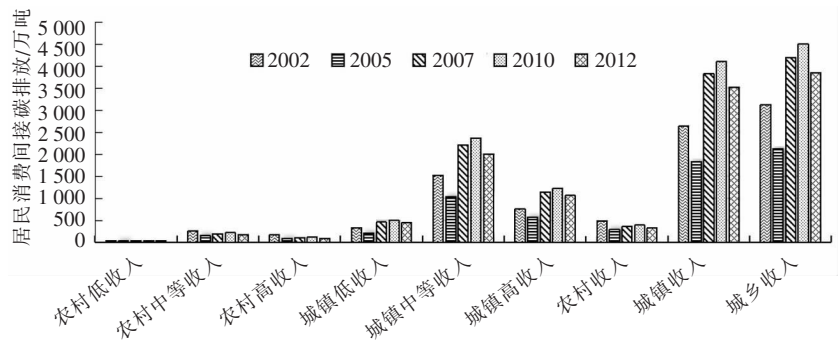


图1 2002—2012年北京市农村和城镇分收入群组居民消费间接碳排放

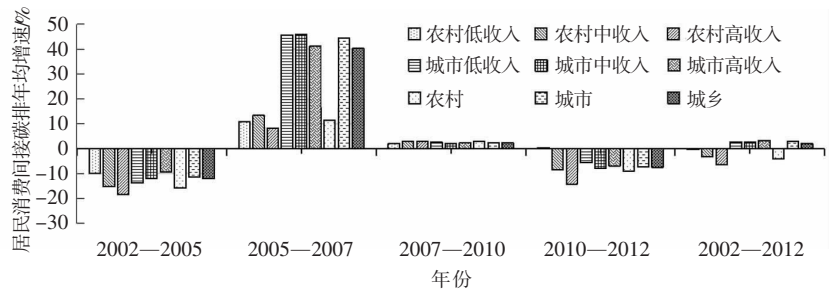


图2 2002—2012年北京市农村和城镇分收入群组居民消费间接碳排放增速

2) 生产投入结构效应

由表4可以看出,2002—2012年,生产投入结构变化在一定程度上推动了北京市农村和城镇居民消费间接碳排放量的增长,合计贡献率为18.95%。分阶段来看,生产投入结构变化对碳排放增长的驱动效应在不断减少,并在2010—2012年产生抑制效应。这是由于北京市整体产业结构从高耗能、高排放的第二产业逐渐转到高附加值、耗能较低的环保型第三产业。根据《北京市2013—2017年清洁空气行动计划》

要求,到2017年第三产业比重将达到79%^①,产业结构变动对碳减排的作用将会更加显著^[37]。不同于碳排放强度效应,生产投入结构变化对农村居民消费间接碳排放的驱动效应随收入水平的提高而下降,对城镇居民消费间接碳排放的驱动效应则随收入水平的提高而上升。这表明随着消费的不断升级,中间生产环节需要更多的投入才能满足人们对商品多样性和高品质的要求,因此也会导致更多的间接碳排放。但是从2010年以后,随着未来碳排放强度继续降低以及产业结构持续优化将对城乡居民消费碳排放起到进一步的抑制作用。

2. 消费系统效应

1) 消费结构变动效应

消费结构变动效应对北京市居民消费间接碳排放量增长起到了驱动作用,但影响很小。由表4所示,2002—2012年,消费结构变动使北京市居民消费间接碳排放量增长59.76吨,贡献率仅为2.09%。如图3所示,北京市居民消费结构的变动一方面表现为食品支出占比的增加,另一方面主要表现为文教、娱乐类用品及服务支出占比的减少。由于这两类消费产品的完全碳排放强度较小,因而其占比变动对间接碳排放的影响也较小。换言之,低碳消费模式尚未在北京市取得突破性进展,需要进一步的引导和支持。分收入群组看,2002—2012年,随着收入的增长,居民对食品的需求量也随之增长,虽然食品部门完全碳排放强度不高,但是由于其在各收入群组居民的消费中均占较高比例,因此食品消费间接碳排放量并未随着消费结

表3 2002—2012年碳排放强度变动对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	-85.10	-0.31	-57.37	-29.19	-171.96
农村中等收入	-76.38	-0.14	-50.68	-24.02	-151.21
农村高收入	-72.63	-0.04	-41.26	-18.43	-132.36
城镇低收入	-78.50	-0.33	-84.30	-42.41	-205.54
城镇中等收入	-83.57	-0.31	-88.82	-43.27	-215.97
城镇高收入	-90.75	0.29	-91.74	-44.46	-226.67
农村	-75.83	-0.12	-47.82	-22.44	-146.20
城镇	-85.01	-0.14	-89.09	-43.51	-217.74
整体	-83.57	-0.14	-82.60	-40.19	-206.50

表4 2002—2012年生产投入结构变动对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	21.49	10.15	7.31	-18.97	19.99
农村中等收入	18.58	8.31	6.33	-14.73	18.49
农村高收入	16.91	7.22	5.17	-10.93	18.37
城镇低收入	19.77	9.63	13.67	-26.10	16.96
城镇中等收入	21.07	10.02	15.54	-27.56	19.07
城镇高收入	23.02	11.17	15.81	-30.15	19.84
农村	18.24	8.08	5.99	-13.73	18.59
城镇	21.47	10.30	15.37	-28.13	19.02
整体	20.96	9.96	13.90	-25.87	18.95

表5 2002—2012年消费支出结构变动对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	3.41	1.12	3.07	1.68	9.28
农村中收入	-0.52	1.76	3.61	-1.53	3.32
农村高收入	-0.78	-0.19	4.05	-3.01	0.07
城镇低收入	-0.29	0.37	5.05	-0.79	4.33
城镇中收入	-1.56	1.46	0.13	0.94	0.97
城镇高收入	2.56	1.21	-1.66	0.83	2.94
农村	-0.24	0.97	3.72	-1.77	2.69
城镇	-0.19	1.25	0.25	0.68	1.98
整体	-0.20	1.20	0.79	0.30	2.09

①数据来源:《北京市2013—2017年清洁空气行动计划》。

构的调整而减少,反而起到了驱动的作用。此外,对于农村中、低收入居民来说,居住是仅次于食品的重要消费部门,反映农村中低收入居民有改善居住条件的生存型需求;而对于城市高收入居民而言,居住支出的增长更多的是由享受型消费需求引起。因此食品和居住部门消费上升引起的消费结构变动使其成为间接碳排放量增长的主要驱动因素。但是横向比较来看,结构变动对城乡居民消费间接碳排放的边际驱动作用越来越小,说明近几年推行的绿色消费取得了一定的成效,但未来仍需进一步做好绿色消费引导工作,广泛推行文明节约、绿色低碳的消费模式,以达到更高的减排目标。

2) 相对消费水平变动效应

相对消费水平变动效应是抑制北京市居民消费碳排放增长的重要影响因素之一。相对消费水平是各收入居民人均消费与全市平均消费的比值,体现各收入居民群体的消费水平差异,能够反映贫富差距。由图4所示,2002—2012年,农村低收入和中等收入群组的居民相对消费水平处于上升趋势,而其他收入群组的居民相对消费水平处于下降趋势。这体现农村中低收入居民的收入增速高于其他收入群组,消费能力增强。

如表6所示,相对消费水平的变动使得北京市农村居民消费间接碳排放增加75.46万吨,贡献率为8.35%。其中,农村中低收入居民的相对消费水平效应总体为正值,说明随着收入和消费水平的提高,农村人均消费引致的碳排放量也同时增加。另外,城镇居民相对消费水平的变动使得北京市城镇居民消费间接碳排放量减少440.33万吨,贡献率为-16.68%。其中,城镇低收入和中收入群组居民的相对消费水平变动对间接碳排放的贡献率要高于高收入居民群组。这反映居民贫富分化使得低收入居民承担了更多的碳减排责任。因此,分析碳排放责任

问题也应当纳入居民收入分配加以考量。

3) 平均消费水平变动效应

随着北京市经济的快速增长,平均消费水平变动效应已成为驱动北京市居民消费碳排放增长的首要影响因素。表7展现出2002—2012年北京市居民平均消费水平,可以发现,居民平均消费水平随着经济的发展显著增长,年均增速为12.87%,略低于同期北京市国内生产总值15.28%的年均增速。这说明北京市经济高速发展有效地提高了居民平均消费水平。由表8所示,10年间,居民平均消费水平的提高使得北京市城乡居民消费间接碳排放增长4554.06万吨,贡献率达145.41%,是居民消费间接碳排放量增长最大的驱动力量。分区域来看,2002—2012年,平均消费水平变动对农村居民和城镇居民的消费间接碳排放增长的贡献率分别为92.90%和155.20%,平均消费水平效应对城镇居民间接碳排放的作用要高于农村居民。因为随

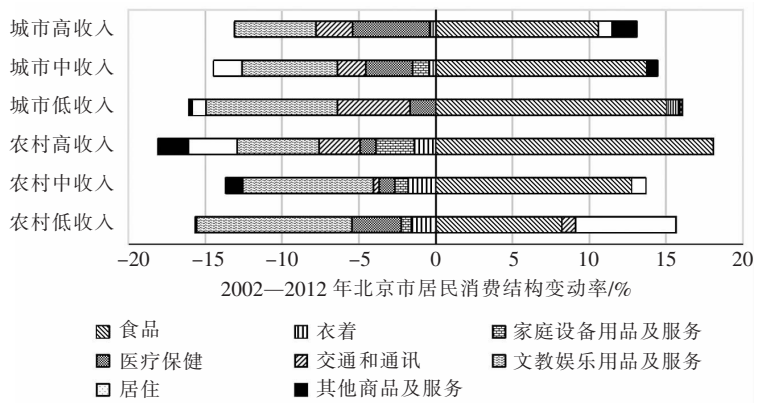


图3 2002—2012年北京市农村和城镇分收入群组居民消费支出结构变动率

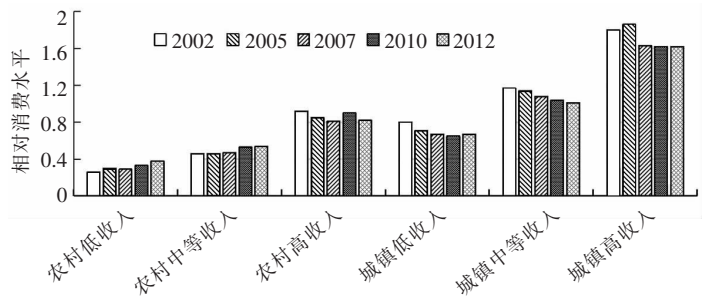


图4 2002—2012年北京市农村和城镇分收入群组居民相对消费水平

表6 2002—2012年相对消费水平变动对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	14.04	-1.01	10.66	15.84	39.54
农村中等收入	1.18	1.49	10.98	0.31	13.96
农村高收入	-6.44	-2.61	7.41	-6.15	-7.79
城镇低收入	-11.59	-5.20	-5.80	4.55	-18.05
城镇中等收入	-2.89	-6.10	-5.26	-4.15	-18.40
城镇高收入	3.45	-14.55	-1.39	-0.19	-12.68
农村	-0.41	-0.27	9.62	-0.59	8.35
城镇	-2.17	-8.45	-4.20	-1.87	-16.68
整体	-1.89	-7.16	-2.03	-1.67	-12.75

着全市平均消费水平的提高,城乡居民的消费间接碳排放都会随着消费的升高而增多。而城镇居民的总体消费水平比农村的高,因而平均消费水平上升对城镇居民消费间接碳排放的驱动作用更为显著。针对这一问题,陈豹(2016)^[9]在研究北京家庭碳排放变化特征和影响因素后也得出相似结论:家庭人均消费总量的增长是驱动家庭间接碳排放增长最重要的影响因素。

4) 人口规模效应

随着北京人口的持续增长,人口规模效应已成为驱动北京市居民消费碳排放增长的主要影响因素之一。如表9、表10所示,2002—2012年,北京市人口规模从1 423.2万人增长至2 069.3

万人,年均增速为3.81%。在此背景下,人口规模的增长推动北京城乡居民消费间接碳排放增加3 131.81万吨,贡献率为70.97%,其影响仅次于平均消费水平。分时期来看,2005—2010年,人口规模增速较快,因而其对间接碳排放的效应显著,合计贡献率达57.03%。分区域来看,人口规模效应对城镇居民消费间接碳排放的贡献率要高于农村居民。其原因在于,随着北京市城镇化进程的推进,人口规模的扩大更多地体现为城镇人口的增长。吴开亚(2013)^[9]利用结构分解法对上海市居民消费间接碳排放的影响因素做了研究,结果显示,2010年人口规模效应对城镇居民间接碳排放的贡献值为29.69%,本文对应年份贡献值为27.70%。二者结果相近,说明北京和上海同为一线大城市,在居民消费碳排放的影响因素方面具有相似性和可比性。

5) 城镇化效应

随着北京市城镇化进程的加快,城镇化效应对城镇居民消费间接碳排放起到驱动作用;相反,对农村居民消费间接碳排放起到抑制作用。

在2002—2012年,北京市农村人口持续下降,城镇人口持续上升。如图5所示,农村人口比重由21.44%下降至13.80%。主要体现在农村中等收入和高收入人口迁移后使得城市中等收入人口上升。如表11所示,农村人口占比下降使农村居民消费间接碳排放减少309.36万吨,贡献率达-62.86%;由

表7 2002—2012年北京市城乡居民平均消费水平

平均消费水平	2002年	2005年	2007年	2010年	2012年	2002—2012年均增速/%
全市平均消费水平/万元	0.85	1.16	1.50	2.15	2.86	12.87

表8 2002—2012年平均消费水平变动对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	27.09	21.10	34.51	28.04	110.74
农村中等收入	25.32	18.02	30.32	23.29	96.95
农村高收入	24.38	15.30	24.70	18.07	82.45
城镇低收入	27.48	24.53	54.12	41.11	147.25
城镇中等收入	28.01	26.23	57.67	42.56	154.47
城镇高收入	28.77	27.91	59.19	44.31	160.18
农村	25.14	17.31	28.64	21.81	92.90
城镇	28.17	26.50	57.65	42.88	155.20
整体	27.69	25.06	53.09	39.57	145.41

表9 2002—2012年北京市总人口规模

人口规模	2002年	2005年	2007年	2010年	2012年	2002—2012年年均增速/%
全市人口规模/万人	1 423.20	1 538.00	1 676.00	1 961.90	2 069.30	3.81

表10 2002—2012年人口规模对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005年	2005—2007年	2007—2010年	2010—2012年	2002—2012年
农村低收入	3.28	28.97	17.08	5.14	65.41
农村中等收入	3.02	24.88	15.06	4.20	53.58
农村高收入	2.88	20.87	12.26	3.23	43.84
城镇低收入	3.20	30.51	26.04	7.43	74.21
城镇中等收入	3.28	32.64	27.69	7.66	74.28
城镇高收入	3.39	34.41	28.45	7.99	75.64
农村	2.99	23.79	14.22	3.93	51.10
城镇	3.30	32.88	27.70	7.73	74.67
整体	3.25	31.45	25.58	7.13	70.97

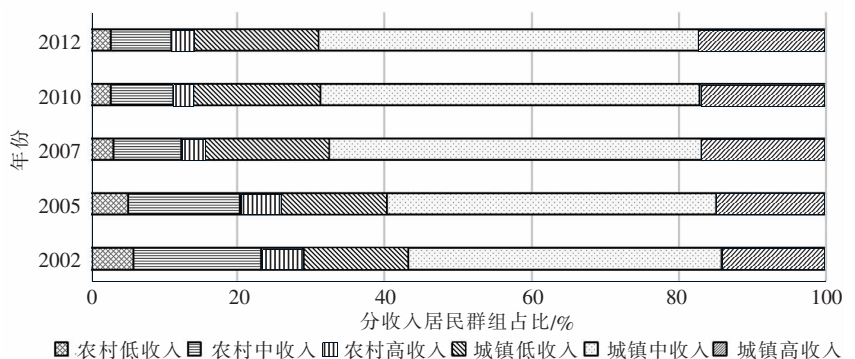


图5 2002—2012年北京市农村和城镇分收入居民群组占比

于农村人口转移到城市之后,消费结构和用能结构会发生改变,从而增加能源密集型产品以及公共、私人交通的消耗^[40],所以城镇化使北京城镇居民消费间接碳排放增加 593.22 万吨,贡献率为 22.47%。但是,

表 11 2002—2012 年城镇化对北京市农村和城镇居民消费间接碳排放的贡献率 %

居民群组	2002—2005 年	2005—2007 年	2007—2010 年	2010—2012 年	2002—2012 年
农村低收入	-11.18	-43.15	-9.20	-1.67	-79.48
农村中等收入	-10.33	-37.00	-8.12	-1.36	-65.74
农村高收入	-9.89	-31.14	-6.61	-1.04	-54.43
城镇低收入	4.01	12.28	2.42	0.39	22.26
城镇中等收入	4.12	13.14	2.57	0.40	22.29
城镇高收入	4.26	13.75	2.64	0.42	22.93
农村	-10.25	-35.42	-7.66	-1.27	-62.86
城镇	4.15	13.21	2.57	0.40	22.47
整体	1.88	5.57	0.96	0.14	9.06

从 2007 年以后,城镇化水平变动对居民消费间接碳排放的贡献率越来越小,反映出北京市城镇化进程正进入尾声,人口结构正趋向稳定,因此对碳排放的作用也随之减小。此外,结合城镇和农村总效应来看,由于城镇人口的比例和增长率远大于农村人口,所以城镇碳排放的变化决定北京市城乡的消费碳排放总量的变化。童玉芬(2013)^[41]利用 STIRPAT 模型对北京市近 30 年城镇化和碳排放的关系进行了研究,结果显示,城镇人口化率变动对北京市碳排放贡献率为 25.7%,和本文 22.47 的贡献值比较接近。

四、结论与政策建议

(一) 结论

1. 2002—2012 年,随着城市化进程的不断加快,北京市城乡居民消费间接碳排放城镇人口规模和碳排放双重增长的作用下呈现低速增长,并以城市居民间接碳排放为主。10 年间,农村低、中、高 3 个收入群组的居民消费间接碳排放量均为负增长;城镇低、中、高 3 个收入群组的居民消费间接碳排放量均为正增长。

2. 平均消费水平增长、总人口增加和生产投入结构变动是推动北京市城乡居民消费碳排放总量增长的“三驾马车”,其中,平均消费水平增长是北京市城乡居民消费间接碳排放量增长的最主要的驱动力量。此外,城镇化水平上升和消费结构变动也对北京城乡居民消费间接碳排放增长起到一定推动作用,但是其效应相比其他影响因素而言并不显著。

3. 碳排放强度变动是抑制北京市城乡居民消费间接碳排放量增长的决定因素。产品生产过程中的能耗和碳排放越来越少,说明北京市近年来在生产领域推进节能减排的努力取得了显著的成效。此外,相对消费水平变动也对北京市城乡居民消费间接碳排放量起到一定的抑制作用,但需要关注的是,城镇居民贫富分化使中低收入居民承担了更多的碳减排责任。

(二) 政策建议

随着北京市内需持续扩大和人口总量继续增长,北京市居民消费间接碳排放量在短期内会继续上升。结合上文的影响因素对降低居民消费间接碳排放提出如下建议和对策:

1. 严控人口规模,提升城镇化的水平和质量。根据《北京市十三五规划纲要》的目标,到 2020 年北京市常住人口规模控制在 2 300 万人以内,目前北京市常住人口已超过 2 100 万^①,由于外来人口转移到北京之后会增加能源密集型产品以及公共、私人交通的消耗,造成北京资源环境承载力不足,因此未来需要严控城市人口增长过快,以减少新增人口带来的环境压力以及增量碳排放。

2. 增加居民收入,优化消费结构,鼓励低碳消费、绿色消费。虽然居民平均消费水平是居民消费碳排放增长最重要的驱动因素,但是随着经济发展和收入的上升,居民的消费水平会随之提高,因此就需要引导居民部门优化消费结构,鼓励低碳消费、绿色消费。对此,《北京市十三五时期节能降耗及应对气候变化规则》提出实施节能减排产品消费补贴政策,引导消费者自愿选购通过节能认证和低碳认证的产品。此外,对于中低收入居民,应继续提高收入和消费水平,保障他们因生存性消费而导致的间接碳排放的权利,努力降低恩格尔系数,通过给与相应补贴引导其增加低碳发展型产品的消费,从而改善生活品质。同时,对高收入居民可以通过差别税率来调节高碳、高耗能的享受型消费,降低消费间接碳排放。

3. 进一步降低产业部门碳排放强度和优化产业结构。通过推行节能降耗技术,提高能源使用效率,能有

^①人口数据来源:北京市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要。

效降低产业部门碳排放强度。并且通过新能源、清洁能源的开发和利用,从源头上改变用能结构,降低产业部门的碳排放。此外,针对“生产投入结构”高碳化的特征,通过提高中间产品的转化和利用效率,降低产业链间接能耗。同时,坚决出清过剩产能,推动新型产业、第三产业比重上升。根据《京津冀协同规划纲要》的要求,未来将把高耗能产业和区域性物流基地等部分第三产业有序输出北京,这将促进经济生产结构和上、下游产业链进一步优化升级,有利于整个供给侧的碳减排。

(三)进一步的研究方向

1.从数据来看,本文使用的投入产出和消费数据都是北京市统计局公布的数据,消费数据都是通过抽样统计而来。北京作为特大城市具有很高的人口流动性,如果想要居民碳排放的测算结果更加准确,需要进一步进行实地田野调查以获得一手资料。

2.从方法来看,本文使用的方法是投入产出法结合结构分解分析法,只能通过实际发生的各居民部门的历史消费数据来测算相应的碳排放量,但是无法对未来碳排放进行预测。所以若是将居民消费碳排放的历史分析与未来预测相结合,可以对碳减排政策的制定更具针对性和前瞻性,这些方面都有待今后做进一步研究。

参考文献:

- [1] FRIEDLINGSTEIN P, ANDREWR M, ROGELJ J, et al. Persistent growth of CO₂ emissions and implications for reaching climate targets[J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(10): 709-715.
- [2] SHAN Y L, LIU J H, LIU Z, et al. New provincial CO₂ emission inventories in China based on apparent energy consumption data and updated emission factors[J]. *Applied Energy*, 2016, 184: 742-750.
- [3] WEI Y M, LIU L C, FAN Y, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of China's residents[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(1): 247-257.
- [4] 唐葆君, 李银玲. 居民生活行为对能源消费及 CO₂ 排放的影响研究——以北京市为例[J]. *工业经济论坛*, 2015(4): 1-20.
- [5] WAN Y, SHI M J. CO₂ emission induced by urban household consumption in China [J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2009, 7(3): 11-19.
- [6] 杨选梅, 葛幼松, 曾红鹰. 基于个体消费行为的家庭碳排放研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(5): 35-40.
- [7] 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[J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5632-5637.
- [8] 谢守红, 王利霞, 邵珠龙. 国内外碳排放研究综述[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(4): 720-730
- [9] HEINONEN J, JUNNILA S. A carbon consumption comparison of rural and urban lifestyles[J]. *Sustainability*, 2011, 3(8): 1234-1249.
- [10] 范玲, 汪东. 中国居民间接能源消费碳排放的测算及分解分析[J]. *生态经济*, 2014, 30(7): 28-32.
- [11] 汝醒君, 汪臻. 中国农村居民生活用能碳排放影响因素研究[J]. *生态经济*, 2017(1): 73-76.
- [12] CHITNIS M, DRUCKMAN A, HUNT L C et al. Forecasting scenarios for UK household expenditure and associated GHG emissions: outlook to 2030[J]. *Ecological Economics*, 2012, 84(2): 129-141.
- [13] HIRANO Y, IHARA T, YOSHIDA Y. Estimating residential CO₂ emissions based on daily activities and consideration of methods to reduce emissions[J]. *Building & Environment*, 2016, 103: 1-8.
- [14] 姚亮, 刘晶茹, 王如松. 中国城乡居民消费隐含的碳排放对比分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(4): 25-29.
- [15] ZHANG Y J, BIAN X J, TAN W et al. The indirect energy consumption and CO₂ emission caused by household consumption in China: an analysis based on the input-output method[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015: 1-15.
- [16] 姚亮, 刘晶茹, 袁野. 中国居民家庭消费碳足迹近 20 年增长情况及未来趋势研究[J]. *环境科学学报*, 2017, 37(6): 2403-2408.
- [17] DUARTE R, MAINAR A, SANCHEZ-CHOLIZ J. The impact of household consumption patterns on emissions in Spain[J]. *Energy Economics*. 2010, 32(1): 176-185.
- [18] MAHONYT O. Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: an extended Kaya identity[J]. *Energy Policy*, 2013, 59(4-5): 573-581.
- [19] DAS A, PAUL S K. CO₂ emissions from household consumption in India between 1993-1994 and 2006-07: a decomposition analysis[J]. *Energy Economics*. 2014, 41: 90-105.
- [20] 彭水军, 张文城. 中国居民消费的碳排放趋势及其影响因素的经验分析[J]. *世界经济*, 2013(3): 124-142.
- [21] 付云鹏, 马树才, 宋宝燕. 中国城乡居民消费碳排放差异及影响因素——基于面板数据的实证分析[J]. *经济问题探索*, 2016(10): 43-50.

- [22] 邓荣荣. 基于投入产出模型的城乡居民消费碳排放测算与影响因素研究——以湖南为例[J]. 湖南财政经济学院学报, 2016, 32(3): 35-43.
- [23] 张艳芳, 张宏运. 陕西省居民消费碳排放测算与分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 98-105.
- [24] FENG K, HUBACEK K. Carbon implications of China's urbanization[J]. Energy, Ecology and Environment, 2016(1): 39-44.
- [25] YUAN B, REN S G, CHENX H. The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO₂ emissions in China: a regional comparative analysis[J]. Applied Energy, 2015, 140: 94-106.
- [26] SOMMER M, KRATENA K. The carbon footprint of European households and income distribution[J]. Ecological Economics, 2016, 136: 62-72.
- [27] GOLLEY J, MENG X. Income inequality and carbon dioxide emissions: the case of Chinese urban households[J]. Energy Economics, 2012, 34: 1864-1872.
- [28] WIEDENHOFER D, GUAN D B, LIU Z, et al. Unequal household carbon footprints in China[J]. Nature Climate Change, 2017, 7: 75-80.
- [29] 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[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 494-501.
- [30] 李艳梅, 陈豹, 杨涛. 北京市城乡家庭能源消费与 CO₂ 排放差异分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 88-94.
- [31] 张丽峰. 北京人口、经济、居民消费与碳排放动态关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(2): 8-13.
- [32] 张虎彪. 关于中国居民消费碳排放影响的研究综述[J]. 成都理工大学学报(社会科学版), 2014, 22(1): 48-54.
- [33] DIETZENBACHER E, LOS B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity[J]. Economic Systems Research, 1998, 10(4): 307-324.
- [34] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择——基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. 中国社会科学, 2012(3): 78-94.
- [35] 张馨, 牛叔文, 赵春升, 等. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究[J]. 中国软科学, 2011(9): 65-75.
- [36] 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[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 494-501.
- [37] 吴振信, 石佳, 王书平. 基于 LMDI 分解方法的北京地区碳排放驱动因素分析[J]. 中国科技论坛, 2014(2): 85-91.
- [38] 陈豹. 北京市家庭碳排放变化特征及影响因素研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
- [39] 吴开亚, 王文秀, 张浩, 等. 上海市居民消费的间接碳排放及影响因素分析[J]. 华东经济管理, 2013, 27(1): 1-7.
- [40] YUAN B, REN S G, CHENX H. The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO₂ emissions in China: a regional comparative analysis[J]. Applied Energy, 2015, 140: 94-106.
- [41] 童玉芬, 韩茜. 人口变动在大城市碳排放中的作用与影响——以北京市为例[J]. 北京社会科学, 2013(2): 113-119.

Calculation and Driving Forces of Indirect Carbon Emissions from Household Consumption in Beijing

ZHAO Yuhuan, LI Weilun, WANG Song

(School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Using statistical data of Beijing City from 2002 to 2012, this study calculated the indirect carbon emissions from rural and urban household consumption in Beijing by 3 income groups based on input-output analysis, and analyzed the influencing factors of indirect carbon emissions from rural and urban household consumption employing Structural decomposition analysis (SDA). The results show that from 2002 to 2012, the indirect carbon emissions from rural and urban household consumption in Beijing increased from 3131.81 (104t CO₂) in 2002 to 3857.67 (104t CO₂) in 2012 with an annual growth rate of 2.11%. Indirect carbon emissions from low, medium, and high income rural household groups decreased with the increase of income, while indirect emissions from low, medium, and high income urban household groups increased with the increase of income. The SDA results show that, the booming average consumption level was the most important driving force for the increase of indirect carbon emissions of household consumption in Beijing from 2002 to 2012; while the change of carbon emissions intensity was the major factor in restraining the increase of indirect carbon emissions, the impact of consumption structure and urbanization was limited. Policy implications about carbon reduction in Beijing are as follows: further reduce carbon emissions intensity of industries and optimize industrial structure, strictly control the population scale and improve the quality and level of urbanization, and optimize consumption structure based on the increase of income and encourage low carbon & green consumption.

Key words: household consumption; indirect carbon emissions; input-output analysis; structural decomposition analysis

[责任编辑:孟青]