

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2023.04.013

城镇化进程中河北省居民生活消费碳排放特征及其影响因素^①

李双江^{1,2}, 陈艺璇¹, 王肖娅¹, 韩冬旭¹, 刘子耀¹, 王晨光¹

1. 河北科技大学 环境科学与工程学院, 石家庄 050018; 2. 河北省污染防治生物技术实验室, 石家庄 050018

摘要: 以河北省为研究区域, 基于 2010—2020 年统计数据, 使用碳排放系数法、消费者生活方式法分别计算了居民生活消费的直接碳排放量、间接碳排放量, 并运用 LMDI 分解模型分析其影响因素. 结果表明: 2010—2020 年河北省居民生活消费碳排放量持续升高, 年均增长 15.30%, 间接碳排放量占比由 54.15% 增加到 64.07%; 直接碳排放量中煤炭占比下降了 16.45%, 电力占比最大且稳定在 40% 左右; 间接碳排放量中占比最大且比重上升的类别为居住和交通通信; 人均居民生活消费碳排放量分别与人均 GDP、城镇化率呈显著正相关, 无明显倒 U 型库兹涅茨曲线关系; 能源消费强度是抑制居民生活直接碳排放量增长的主要因素, 居民消费水平是拉动直接碳排放量增长的决定性因素, 家庭消费强度是抑制间接碳排放量增长的关键因素, 家庭消费结构、居民消费水平是拉动间接碳排放量增长的决定性因素.

关键词: 城镇化; 碳排放系数法; 消费者生活方式法; LMDI 分解模型; 河北省

中图分类号: F061; X22

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2023)04-0101-08

Characteristics and Impacts of Carbon Emission on Residents' Living Consumption of Hebei Province in Urbanization

LI Shuangjiang^{1,2}, CHEN Yixuan¹, WANG Xiaoya¹,
HAN Dongxu¹, LIU Ziyao¹, WANG Chenguang¹

1. School of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

2. Pollution Prevention Biotechnology Laboratory of Hebei Province, Shijiazhuang 050018, China

Abstract: Taking Hebei Province as the research area, direct and indirect carbon emissions of residents' living consumption were calculated using the carbon emission coefficient method and the consumer lifestyle approach and based on the statistical data from 2010 to 2020. The impact factors are analyzed by applying the LMDI decomposition model. The results showed that: The carbon emission of residents' living consumption of Hebei continues to increase from 2010 to 2020, with an average annual increase rate of 15.30%. The proportion of indirect carbon emissions increased from 54.15% to 64.07%. Among the direct carbon emissions, the proportion from coal consumption decreased by 16.45%, and the proportion from electricity consumption was the largest and remains stable at around 40%. The largest and rising propor-

① 收稿日期: 2022-12-16

基金项目: 河北省重点研发计划项目(21374001D); 2022 年全国大学生暑期“三下乡”社会实践项目(2022299880).

作者简介: 李双江, 副教授, 博士, 主要从事城市生态系统碳排放研究.

tion of the indirect carbon emissions were residences and transportation & communication. There were significant positive relationships between the per capita living consumption carbon emissions, per capita GDP, and urbanization rates respectively, and there were no obvious inverted U-shaped relations of the Kuznets curve. The energy consumption intensity was the main factor that subdues the direct CO₂ emission, while the residents' consumption level was the decisive factor that enhances the direct CO₂ emission. The household consumption intensity was the key factor that subdues the indirect CO₂ emission, while the household consumption structure and residents' consumption level were decisive factors that enhance the indirect CO₂ emission.

Key words: urbanization; carbon emission coefficient method; consumer lifestyle approach; LMDI decomposition model; Hebei Province

实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，目前对碳排放的研究主要集中于产业、能源、贸易等领域，而消费在很大程度上影响和决定着某些经济部门的产出水平，居民的生活消费是最终消费的重要组成部分。随着城镇化建设的推进和经济的快速发展，居民的生活消费愈发成为我国碳排放的重要增长点^[1-3]。2000—2018 年，我国生活能源碳排放总量从 4.11 亿 t 增至 14.88 亿 t，年均增长 14.56%，在总能源消费碳排放中的占比从 11.36% 上升到 12.81%^[4]。改革开放以来，我国常住人口城镇化率由 1978 年的 17.92% 上升至 2021 年末的 64.72%^[5]，居民生活消费碳排放强度和构成发生了巨大变化。因此，控制居民生活消费碳排放是加强低碳社会建设、倡导低碳生活方式、实现碳中和的重要途径。

近年来，居民生活消费碳排放成为社会和学术界关注的重点^[1,6-8]，相关研究大多从家庭能源消费着手，一方面核算家庭消费电力、燃气、燃油等直接消费能源所产生的碳排放，另一方面核算食品、衣服、教育、娱乐等消费行为所产生的碳排放^[9-12]。不同地区居民生活消费碳排放构成不同，北京市城市家庭 2006—2012 年的碳排放以间接碳排放为主，2014—2016 年直接碳排放量超过间接碳排放量，成为城市居民生活消费的主要碳排放来源^[13]，而陕西省城镇家庭 2007 年前的碳排放以直接碳排放为主，2007—2017 年以间接碳排放为主^[7]。目前，探究居民生活碳排放的影响因素主要从人口、消费和技术等维度进行。北京市城镇居民人均住房面积的增长和消费水平的提高分别是造成直接碳排放、间接碳排放上升的最主要因素^[13]，同期贵州省人均生活能源消费碳排放的主要影响因素为经济增长^[14]、陕西省为家庭人均收入^[7]，同时家庭消费能源强度效应和家庭住宅能源强度效应则是抑制碳排放增加的主要原因^[15]；另外，部分学者探讨了居民生活消费碳排放的区域分异规律^[16-17]。

河北省做为京津冀地区的重要组成部分，城镇化率由 2010 年的 44.5% 提高到 2020 年的 60.1%，年均增长 3.51%，据河北省十三届人大四次会议的《政府工作报告》的数据，到 2025 年，常住人口城镇化率将达到 65% 以上。因此，核算城镇化进程中河北省居民生活消费碳排放量，并分析其影响因素，可为相关节能减排政策提供参考与理论支撑。

1 研究方法与数据来源

1.1 居民生活消费碳(CO₂)排放计算

居民生活消费 CO₂ 排放分为直接排放与间接排放。其中，直接排放指居民生活能源消费产生的 CO₂ 排放，根据 IPCC 推荐的碳排放系数法计算^[18]；间接排放为居民消费支出项目产生的 CO₂ 排放，采用消费者生活方式法^[19] 进行计算。

$$C_R = C_D + C_I = C_{D1} + C_{D2} + C_I \tag{1}$$

$$C_{D1} = \sum \left(D_{j1} \cdot e_j \cdot c_j \cdot o_j \cdot \frac{44}{12} \right) \tag{2}$$

$$C_{D2} = \sum (D_{j2} \cdot EF_j) \tag{3}$$

$$C_I = \sum I_k \cdot IE_k \tag{4}$$

式中: C_R 为居民生活消费 CO_2 排放量; C_{D1}, C_{D2} 分别为居民生活直接消费一次能源、二次能源的 CO_2 排放量; C_I 为居民生活消费间接 CO_2 排放量; D_{j1}, D_{j2} 分别为居民生活直接消费的第 j 类一次能源(煤炭、液化石油气、天然气、汽油、柴油)、二次能源(电力、热力)量; e_j 为第 j 类能源的低位发热量; c_j 为第 j 类能源的单位热值含碳量; o_j 为第 j 类能源的碳氧化率; EF_j 为二次能源消耗的碳排放因子, 其中, 电力因子选取 2012 年公布的华北电网排放因子 $0.884\ 3\ \text{t CO}_2/\text{MWh}$, 热力因子选取《公共建筑运营企业温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》中的推荐值 $0.11\ \text{t CO}_2/\text{GJ}$. I_k 为居民 8 大类消费(食品烟酒、衣着、居住、生活用品及服务、交通通信、教育文化娱乐、医疗保健、其他用品和服务)的第 k 类居民消费性支出项目的支出; IE_k 为居民消费性支出第 k 类项目的 CO_2 排放强度, 取值参照曲建升等^[20]投入—产出方法得出的家庭消费项碳排放系数.

1.2 居民生活消费直接碳(CO_2) 排放影响因素分解

对数平均迪氏指数分解模型(LMDI)^[21]作为一种精确的指数分解方法被广泛使用, 据此模型将居民生活直接 CO_2 排放分解表达为公式(5).

$$C = \sum_i C_i = \sum_i \left(\frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{L} \times \frac{L}{P} \times P \right) = \sum_i (f_i \times e_i \times r \times s \times P) \quad (5)$$

式中: C 为每年居民生活直接 CO_2 排放量; C_i 为第 i 类能源消费而产生的 CO_2 排放量($i=1, 2, \dots, 7$); E_i 为居民生活直接消费的第 i 类能源量; E 为居民生活直接消费能源总量; L 为每年居民生活消费的支出; P 为每年人口总数量. f_i 为第 i 种能源的 CO_2 排放系数; e_i 为第 i 种类型能源消费在生活用能消费中的比重; r 为单位消费支出所消耗的能源量, 即居民能源消费强度; s 为人均消费支出.

设某年作为基年, 其 CO_2 排放总量为 C^0 , 第 t 年的总量为 C^t , 用 C_{tot} 表示排放变化, 则差分分解和各分解因素贡献值的表达式为(6)–(11):

$$\Delta C_{tot} = C^t - C^0 = \Delta C_f + \Delta C_e + \Delta C_r + \Delta C_s + \Delta C_p \quad (6)$$

$$\Delta C_f = \sum_i \left(\frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \cdot \ln \frac{f_i^t}{f_i^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_e = \sum_i \left(\frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \cdot \ln \frac{e_i^t}{e_i^0} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_r = \sum_i \left(\frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \cdot \ln \frac{r_i^t}{r_i^0} \right) \quad (9)$$

$$\Delta C_s = \sum_i \left(\frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \cdot \ln \frac{s_i^t}{s_i^0} \right) \quad (10)$$

$$\Delta C_p = \sum_i \left(\frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \cdot \ln \frac{P_i^t}{P_i^0} \right) \quad (11)$$

式中: ΔC_f 为排放强度效应, 因计算直接能源消费碳排放时各能源的低位发热量、含碳量和碳氧化率均不变(表 1), 得 $\Delta C_f = 0$. ΔC_e 为能源消费结构效应; ΔC_r 为能源消费强度效应; ΔC_s 为居民消费水平效应; ΔC_p 为人口规模效应.

为更清晰反映各效应对碳排放量的贡献, 定义各效应贡献率为:

$$\eta_e = \frac{\Delta C_e}{|\Delta C|}, \eta_r = \frac{\Delta C_r}{|\Delta C|}, \eta_s = \frac{\Delta C_s}{|\Delta C|}, \eta_p = \frac{\Delta C_p}{|\Delta C|} \quad (12)$$

1.3 居民生活消费间接碳(CO_2) 排放影响因素分解

将间接 CO_2 排放 C' 分解为公式(13):

$$C' = \sum_j C'_j = \sum_j \left(\frac{C'_j}{F_j} \times \frac{F_j}{F} \times \frac{F}{L} \times \frac{L}{P} \times P \right) = \sum_j (g_j \times h_j \times q \times s \times P) \quad (13)$$

式中: C'_j 为居民第 j 类消费的间接 CO_2 排放; F_j 为居民第 j 类消费的间接能源消费量; F 为居民生活消费的间接能源消费总量.

基于 LMDI 模型, 将居民生活间接碳排放分解为:

$$\Delta C'_g = \sum_j \left(\frac{C'^t - C'^0}{\ln C'^t - \ln C'^0} \cdot \ln \frac{g_j^t}{g_j^0} \right) \tag{14}$$

$$\Delta C'_h = \sum_j \left(\frac{C'^t - C'^0}{\ln C'^t - \ln C'^0} \cdot \ln \frac{h_j^t}{h_j^0} \right) \tag{15}$$

$$\Delta C'_q = \sum_j \left(\frac{C'^t - C'^0}{\ln C'^t - \ln C'^0} \cdot \ln \frac{q_j^t}{q_j^0} \right) \tag{16}$$

$$\Delta C'_s = \sum_j \left(\frac{C'^t - C'^0}{\ln C'^t - \ln C'^0} \cdot \ln \frac{s_j^t}{s_j^0} \right) \tag{17}$$

$$\Delta C'_p = \sum_j \left(\frac{C'^t - C'^0}{\ln C'^t - \ln C'^0} \cdot \ln \frac{P_j^t}{P_j^0} \right) \tag{18}$$

式中： $\Delta C'_g$ 为间接排放强度效应，因同一类消费的排放因子不变，故 $\Delta C'_g=0$ 。 $\Delta C'_h$ 为家庭消费结构效应； $\Delta C'_q$ 为家庭消费强度效应； $\Delta C'_s$ 为居民消费水平效应； $\Delta C'_p$ 为人口规模效应。

同上，各效应贡献率为：

$$\eta_h = \frac{\Delta C'_h}{|\Delta C'|}, \eta_q = \frac{\Delta C'_q}{|\Delta C'|}, \eta_s = \frac{\Delta C'_s}{|\Delta C'|}, \eta_{p'} = \frac{\Delta C'_p}{|\Delta C'|} \tag{19}$$

1.4 数据来源

本文居民生活能源消耗量、消费性支出项目数据、人口和经济数据等来源于 2011—2021 年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、中国碳核算数据库(CEADs) 和《河北经济年鉴》等，各化石能源的低位发热量、含碳量以及碳氧化率(表 1) 参考《省级温室气体清单编制指南》及《IPCC 国家温室气体排放清单指南》^[18]。

表 1 各种化石能源低位发热量、含碳量和碳氧化率

类别	煤炭	液化石油气	天然气	汽油	柴油
低位发热量 e_j	20.908/GJ · t ⁻¹	50.179/GJ · t ⁻¹	389.31/GJ · 万 Nm ⁻³	43.07/GJ · t ⁻¹	42.652/GJ · t ⁻¹
含碳量 c_j	0.026 37/t C · GJ ⁻¹	0.017 2/t C · GJ ⁻¹	0.015 3/t C · GJ ⁻¹	0.018 9/t C · GJ ⁻¹	0.020 2/t C · GJ ⁻¹
碳氧化率 $o_j/\%$	94	98	99	98	98

2 结果与分析

2.1 居民生活消费碳(CO₂)排放

2.1.1 直接 CO₂排放

2010—2020 年，河北省居民生活消费直接 CO₂排放量从 6 231.55 万 t 增长到 12 356.51 万 t，年均增长 9.83%，2020 年增长速度最快，比 2019 年增长 19.10%，其中排放量增加最多的是热力、天然气和电力，分别增加了 1 195.22 万 t、600.01 万 t 和 270.60 万 t，这与新冠疫情期间供暖期延长、居家做饭增多、家用电器设备的种类数量上升以及用时延长有关。2019 年直接排放量比 2018 年下降 0.23%，煤炭排放量下降了 842.48 万 t，天然气和电力排放量分别增加了 380.76 万 t、256.62 万 t，其原因是 2019 年河北省强力推进农村地区清洁取暖工作(煤改气、煤改电)。

从各能源直接消费 CO₂排放量看(图 1)，2010—2020 年，除煤炭、液化石油气和柴油外其他能源排放量都呈上升趋势。其中，电力增加最多，从 2 506.46 万 t 上升至 4 896.28 万 t；煤炭下降最多，从 2 618.06 万 t 减少至 1 922.42 万 t。从构成看，河北省居民生活用能 CO₂排放量以电力、煤炭为主，两者之和占比从 82.24%下降至 55.18%，年均 74.21%，煤炭消费 CO₂排放量占比从 42.01%下降到 15.56%，电力占比在 40%左右波动；热力、天然气和汽油消费的 CO₂排放量大幅增加，比重分别从 2010 年的 8.71%，1.42%，1.85%上升到 2020 年的 19.78%，14.32%，7.38%；柴油、液化石油气消费 CO₂排放量占比下降显著，比重分别从 2010 年的 2.18%，3.60%降至 2020 年的 0.00%，1.09%。可见，河北省居民生活消费用能 CO₂排放量正在向高效化、多元化的方向发展。

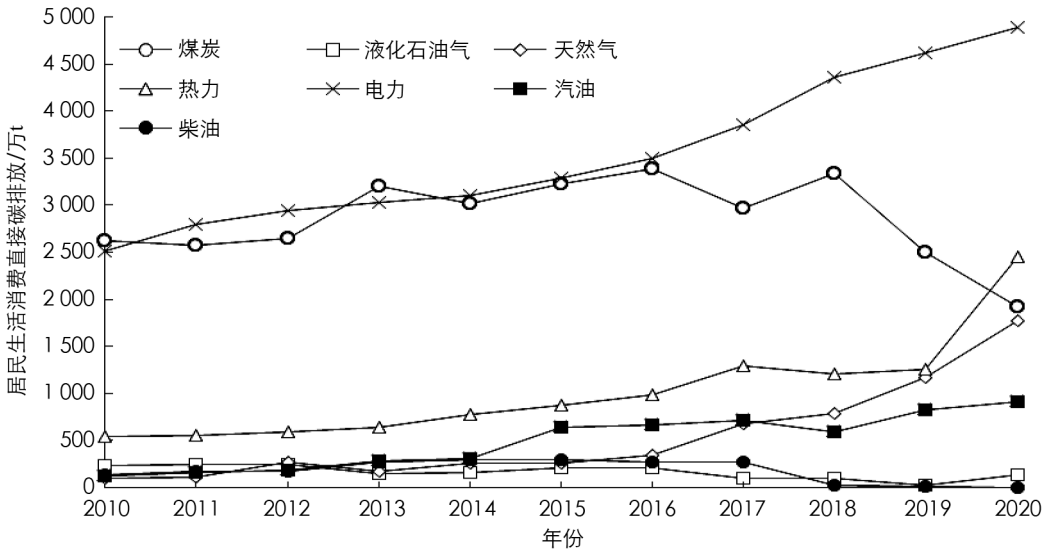


图 1 河北省居民生活消费各能源的直接碳排放量

2.1.2 间接碳(CO₂)排放

2010—2020 年,河北省居民消费的间接 CO₂排放量呈上升趋势(图 2),从 7 361.01 万 t 增加到22 029.76 万 t, 年均增长 19.93%,净增最多的是居住类,排放量从 1 612.21 万 t 上升至 6 979.07 万 t,增加了 3.33 倍. 2020 年,除居住、食品烟酒、生活用品及服务三类刚需消费类别 CO₂排放量略有上升外,其余五类弹性较大的消费 CO₂排放量因新冠疫情影响有所下降.

从构成看,居住 CO₂排放量占比最高、升幅最大,从 2010 年的 21.90%增长到 2020 年的 31.68%,主要原因是居民住宅消费量的持续增加;交通通信类 CO₂排放量占比及升幅次之,研究期间从 17.72%上升至 18.59%;其他六类消费 CO₂排放占比都有不同程度的下降,食品烟酒、衣着两类下降最明显,由 2010 年的 16.62%,7.94%下降至 2020 年的 13.01%,5.08%,表明随着经济实力的增强,人们开始追求更高的消费层次.

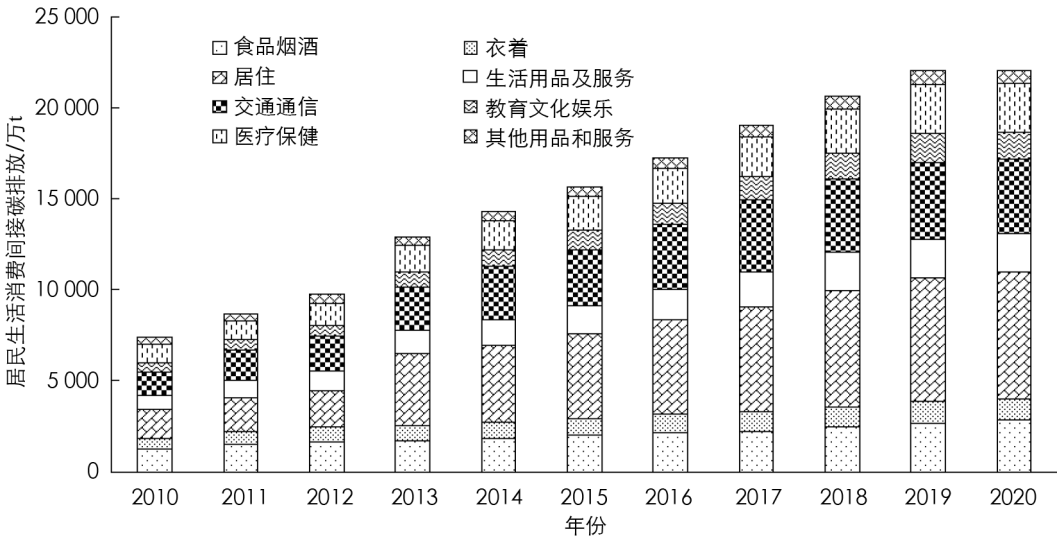


图 2 河北省居民生活 8 大类消费间接碳排放量

2.1.3 碳排放总量与人均碳排放量

河北省居民生活消费碳排放总量从 2010 年的 13 592.56 万 t 上升到 2020 年 34 386.27 万 t, 年均增长 15.30%(图 3), 其中,间接碳排放量占比较大,由 54.15%增加到 64.07%. 2010—2020 年,河北省人均居民生活消费碳排放量呈持续增加的趋势,从 2010 年的 1.91 t/人上升到 2020 年的 4.61 t/人,年均增长

14.14%，表明河北省居民生活水平、经济发展水平的提高对人均碳排放量有促进.北京市、上海市、广州市等一线城市居民生活碳排放量于2012年超过2.5 t/人^[22]，河北省2013年实现超越，可见城镇的经济发展水平与人均居民生活消费碳排放存在关联.

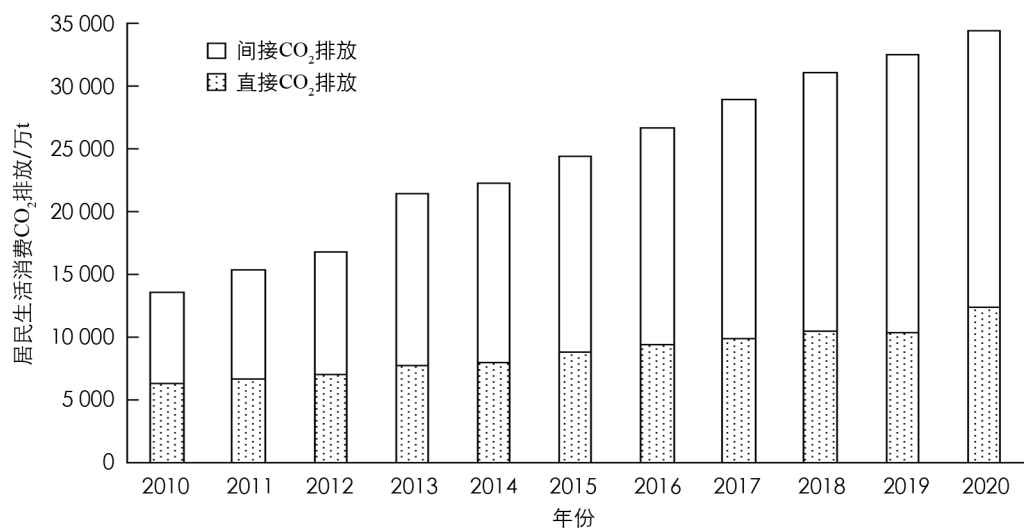


图 3 河北省居民生活消费 CO₂ 排放量

2010—2020 年，河北省年人均居民生活消费 CO₂ 排放量分别与人均 GDP、城镇化率呈正相关(图 4、图 5)，无明显库兹涅茨曲线的倒 U 型关系.一般来说，人均 GDP 和城镇化率较高地区的居民可支配收入较多，居民的消费水平高，人均居民生活消费碳排放量高，但随着人均 GDP 和城镇化率的进一步提升，人均居民生活消费碳排放会呈下降趋势.因此，有必要通过政策引导促进河北省居民生活消费碳排放量与人均 GDP、城镇化率尽早脱钩.

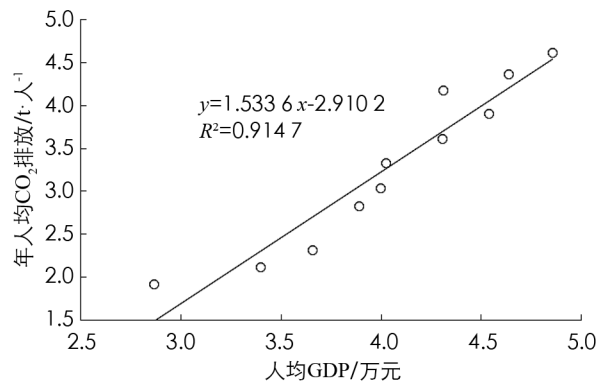


图 4 2010—2020 年河北省年人均居民生活消费 CO₂ 排放量与人均 GDP 关系

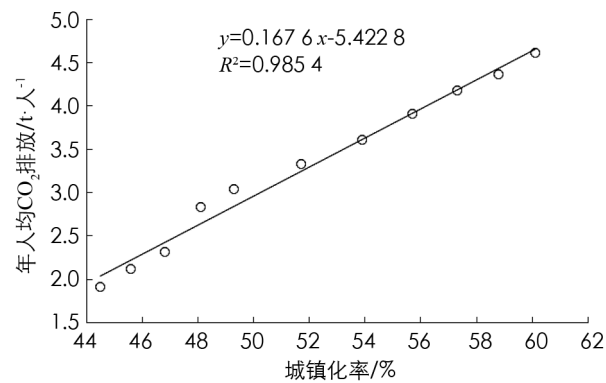


图 5 2010—2020 年河北省居民年人均生活消费 CO₂ 排放量与城镇化率关系

2.2 居民生活消费碳排放影响因素

对于直接 CO₂ 排放，能源消费结构变动、能源消费强度变动总体表现为负效应，且有增强趋势，表明居民的能源消费结构和效率逐渐优化，在抑制居民生活消费碳排放方面发挥了重要作用. 能源消费强度的总体变动是促使河北省居民生活用能 CO₂ 排放量降低的主要因子，其累计贡献率为-35.94%. 居民消费水平、人口规模变动表现为正效应，尤其是居民消费水平效应逐年增强，累计贡献率达到 139.75%，是生活直接用能碳排放增长的决定因素. 说明随着居民收入的提高，为追求更优的生活质量，居民不断提高耗能产品的使用量，推动了能源消费的提升.

对于间接 CO₂ 排放，家庭消费强度变动表现为负效应，且有随时间增强趋势. 可见居民生活消费的非能源商品或服务在生产时的单位能耗在逐年降低，是促使河北省居民生活间接 CO₂ 排放量降低的关键因子，其2010—2019 年的累计贡献率为-64.59%. 家庭消费结构变动、居民消费水平、人口规模变动都表现

为正效应, 前两者是促进间接 CO₂排放量的决定因子, 累计贡献率分别为 75.77%和 84.92%. 其原因是, 随着收入水平的提高, 居民对非能源方面的产品消费量逐年提升, 居民生活消费支出 2019 年是 2010 年的 2.67 倍, 且支出中由食品烟酒和衣着的占比由 2010 年的 43.40%下降到 2019 年 28.28%, 居住、生活用品及服务、交通通信、教育文化娱乐 4 个类别占比都有不同程度的提高, 可见家庭消费结构更趋多样化(表 2).

表 2 河北省居民生活消费 CO₂排放量各影响因素分解 /万 t

时间段	直接 CO ₂ 排放量				间接 CO ₂ 排放量			
	ΔC_e	ΔC_r	ΔC_s	ΔC_p	$\Delta C'_h$	$\Delta C'_q$	$\Delta C'_s$	$\Delta C'_p$
2010—2011 年	75.96	—814.95	1 014.80	88.56	417.62	—467.47	1 267.18	110.58
2011—2012 年	—120.13	—246.93	783.49	32.25	733.80	—798.61	1 056.90	43.51
2012—2013 年	—75.78	285.05	450.68	28.34	2 358.53	41.78	684.61	43.05
2013—2014 年	—38.10	—237.35	420.37	32.67	1 695.60	—1 046.65	728.64	56.62
2014—2015 年	—228.43	320.03	729.81	32.78	1 298.46	—1 322.34	1 309.67	58.82
2015—2016 年	—12.44	—488.93	1 055.08	32.10	1 400.11	—1 763.65	1 913.65	58.23
2016—2017 年	82.55	—535.43	921.95	41.62	2 106.89	—2 152.84	1 738.65	78.50
2017—2018 年	296.08	—718.62	925.36	35.14	—1 250.28	965.55	1 808.78	68.68
2018—2019 年	—66.40	—944.34	960.46	26.17	2 374.10	—2 947.02	1 971.54	53.71
2019—2020 年	—524.87	1 179.97	1 297.87	28.52	—	—	—	—
2010—2020 年(直接)	—611.56	—2 201.5	8 559.87	378.15	11 134.83	—9 491.25	12 479.62	571.7
2010—2019 年(间接)								
累积贡献率/%	—9.98	—35.94	139.75	6.17	75.77	—64.59	84.92	3.89

注: 因未获取 2020 年河北省能源清单, 2019—2020 年间接 CO₂排放量各效应未得出.

3 结论与建议

2010—2020 年河北省居民生活消费碳排放量持续升高, 从 13 592.56 万 t 上升至 34 386.27 万 t, 年均增长 15.30%, 间接碳排放量占比由 54.15%增加到 64.07%; 直接碳排放中煤炭消费 CO₂排放量占比从 42.01%下降到 15.56%, 电力占比最大且保持稳定, 年均 40.29%; 间接碳排放量中占比最大且比重上升的类别为居住和交通通信, 分别从 2010 年的 21.90%、17.72%增长到 2020 年的 31.68%、18.59%; 河北省人均居民生活消费碳排放量分别与人均 GDP、城镇化率呈显著正相关, 无明显倒 U 型库兹涅茨曲线关系; 对于河北省居民生活用能 CO₂排放, 能源消费强度是抑制增长的主要因素, 居民消费水平变动是拉动排放增长的决定性因素; 对于居民生活消费间接 CO₂排放, 家庭消费强度是抑制增长的关键因素, 家庭消费结构变动、居民消费水平变动是拉动排放增长的决定性因素.

基于以上结论, 建议从以下方面减缓河北省居民生活消费碳排放量的日益增长: 首先, 调整能源消费结构, 减少高碳排能源比重, 促进使用清洁能源, 因地制宜开发清洁能源; 其次, 提高能源利用效率, 建立消费端绿色消费方式; 再次, 提供低碳消费产品和服务, 降低居民消费端能源消费碳排放量; 最后, 加强居民素质教育, 形成低碳生活习惯.

参考文献:

[1] 王悦, 李锋, 孙晓. 城市家庭消费碳排放研究进展 [J]. 资源科学, 2019, 41(7): 1201-1212.

[2] 杜威. 基于 LMDI 分解模型的中国居民生活间接碳排放特征分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S2): 5-9.

[3] LI Y M, ZHAO R, LIU T S, et al. Does Urbanization Lead to More Direct and Indirect Household Carbon Dioxide Emissions? Evidence from China During 1996—2012 [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 102: 103-114.

[4] 张风斌. 陕西省城乡居民家庭碳排放研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2021.

[5] 尹上岗, 杨山, 李在军. 长三角地区生态城镇化空间格局及影响因素 [J]. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1494-1506;

- [6] 王悦, 李锋, 陈新闻, 等. 典型社区家庭消费碳排放特征与影响因素——以北京市为例 [J]. 生态学报, 2019, 39(21): 7840-7853.
- [7] 尚梅, 张风斌, 胡振. 家庭异质性视角下城乡居民家庭碳排放研究——以陕西为例 [J]. 生态经济, 2021, 37(2): 13-21, 34.
- [8] 徐丽, 曲建升, 李恒吉, 等. 西北地区居民生活碳排放现状分析及预测 [J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1166-1175.
- [9] ZHANG X L, WANG Y. How to Reduce Household Carbon Emissions: A Review of Experience and Policy Design Considerations [J]. Energy Policy, 2017, 102: 116-124.
- [10] 胡振, 王玥, 何晶晶, 等. 西部城镇家庭能源消费及其碳排放的区域特征研究——基于中国家庭追踪调查的调研数据 [J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(4): 1-8.
- [11] 徐丽, 曲建升, 李恒吉, 等. 中国居民能源消费碳排放现状分析及预测研究 [J]. 生态经济, 2019, 35(1): 19-23, 29.
- [12] 彭璐璐, 李楠, 郑智远, 等. 中国居民消费碳排放影响因素的时空异质性 [J]. 中国环境科学, 2021, 41(1): 463-472.
- [13] 方德斌, 陈卓夫, 郝鹏. 北京城镇居民碳排放的影响机理——基于 LMDI 分解法 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(3): 30-38.
- [14] 安芬, 李旭东, 程东亚. 基于 LMDI 的贵州生活能源碳排放特征及效应研究 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020, 43(2): 35-44.
- [15] 李治国, 王杰. 中国城乡家庭碳排放核算及驱动因素分析 [J]. 统计与决策, 2021, 37(20): 48-52.
- [16] 周嘉, 时小翠, 赵靖宇, 等. 中国居民直接生活能源消费碳排放区域差异及影响因素分析 [J]. 安全与环境学报, 2019, 19(3): 954-963;
- [17] 张恒硕, 李绍萍, 彭民. 中国农村能源消费碳排放区域非均衡性及驱动因素动态识别 [J]. 中国农村经济, 2022, (1): 112-134.
- [18] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: II [M]. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2008.
- [19] SHUI B, HADI D. Consumer Lifestyle Approach to US Energy Use and the Related CO₂ Emissions [J]. Energy Policy, 2005, 33: 197-208.
- [20] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 等. 基于入户调查数据的中国居民生活碳排放评估 [J]. 科学通报, 2018, 63(S1): 547-557.
- [21] ANG B W, LIU F L. A New Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation [J]. Energy, 2001, 26(6): 537-548.
- [22] 刘莉娜, 曲建升, 黄雨生, 等. 中国居民生活碳排放的区域差异及影响因素分析 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1364-1377.

责任编辑 胡杨