

DOI: 10.20103/j.stxb.202401250239

宋子康, 黄甘霖. 中小城市家庭交通和饮食选择的碳排放差异——以山东省滨城区为例. 生态学报, 2025, 45(3): 1261-1274.

Song Z K, Huang G L. Study on carbon emission differences of urban households' transportation and diet choices in small and medium-sized cities: a case study of Bincheng District in Shandong Province. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(3): 1261-1274.

# 中小城市家庭交通和饮食选择的碳排放差异 ——以山东省滨城区为例

宋子康<sup>1</sup>, 黄甘霖<sup>1,2,\*</sup>

1 北京师范大学地理科学学部自然资源学院, 北京 100875

2 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 人与环境系统可持续研究中心, 北京 100875

**摘要:** 工业化和人口增长导致人类活动大规模扩张, 使得温室气体排放量大幅增加, 由此带来了一系列亟待解决的环境问题。城市是我国碳排放的主体区域, 而城市家庭则是城市碳排放的主要来源之一, 因此城市家庭碳排放的研究对于节能减排有重要意义。我国现有研究大多忽略了中小城市家庭尺度上的不同生活方式选择方面的碳排放差异。故本文对城市家庭之间极具日常性、差异性的交通出行和饮食方式选择所致碳排放作为研究内容, 采用碳排放系数法、多元逐步回归和有序多分类 Logistic 回归等方法对滨城区城市家庭展开碳排放及作用机制研究。结果显示研究区城市家庭平均交通和饮食碳排放总量约为 357.97 kgCO<sub>2</sub>/月, 其中交通出行与饮食方式碳排放量的比例关系约为 4:1。私家车、网约车、摩托车、公交车和电动车分别占交通出行碳排放量的 92.72%、4.88%、1.83%、0.37% 和 0.19%, 居家用餐、外卖、外卖分别占饮食碳排放量的 75.29%、19.71% 和 5%。分析发现, 户主受教育水平、家庭收入和家庭规模共 3 个影响因素指标会对家庭交通和饮食碳排放造成显著影响, 且各因素与碳排放量均呈正相关关系。上述 3 个影响因素通过影响家庭选择的方式作用于家庭交通和饮食碳排放, 对其作用机制分析发现, 户主受教育水平会对家庭购买私家车和外卖、外卖频率造成影响, 家庭收入会对网约车出行频率造成影响, 而家庭规模则主要通过通过对交通和饮食活动的人均值造成影响。最终提出部分碳减排建议, 对城市生态可持续和全民低碳行动的落实具有参考意义。

**关键词:** 城市家庭; 碳排放; 消费者生活方式方法; 交通出行; 饮食方式

## Study on carbon emission differences of urban households' transportation and diet choices in small and medium-sized cities: a case study of Bincheng District in Shandong Province

SONG Zikang<sup>1</sup>, HUANG Ganlin<sup>1,2,\*</sup>

1 School of Natural Resources, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Center for Human-Environment System Sustainability, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

**Abstract:** Industrialization and population growth have led to a significant expansion of human activities, causing a substantial increase in greenhouse gas emissions and giving rise to a series of urgent environmental issues. Cities are the primary contributors to carbon emissions in China, and urban households constituting a major source. Therefore, studying the carbon emissions from urban households is crucial for energy conservation and emission reduction. Existing research in China often overlooks the carbon emission differences in lifestyle choices at the urban household scale in small and medium-

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42471315)

收稿日期: 2024-01-25; 网络出版日期: 2024-10-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghuang@bnu.edu.cn

sized cities. This paper focuses on the carbon emissions resulting from the everyday and diverse transportation and diet choices among urban households in the Bincheng District. The study employs methods such as the carbon emission coefficient approach, multiple stepwise regression, and ordinal logistic regression to investigate carbon emissions and their mechanisms. The results show that the average carbon emissions from transportation and diet patterns in urban households in the study area are approximately 357.97 kgCO<sub>2</sub>/month, with a proportional relationship of about 4:1 between transportation and diet emissions. Private cars, ride-hailing services, motorcycles, buses, and electric bikes contribute 92.72%, 4.88%, 1.83%, 0.37%, and 0.19%, respectively, to transportation-related carbon emissions. Home dining, eating out, and takeaway contribute 75.29%, 19.71%, and 5% to dietary carbon emissions, respectively. The analysis reveals that the education level of the household head, family income, and household size are three influencing factors significantly impacting household transportation and diet carbon emissions. All factors show a positive correlation with carbon emissions. These factors influence carbon emissions by affecting household choices. The analysis further discovers that the education level of the household head influences the purchase of private cars and the frequency of dining out and ordering takeout. Family income affects the frequency of using ride-hailing services, while household size primarily influences per capita values of transportation and dietary activities. The paper concludes with some recommendations for carbon reduction, offering valuable insights for the implementation of urban ecological sustainability and nationwide low-carbon initiatives.

**Key Words:** urban households; carbon emissions; consumer lifestyle approach; transportation; dietary pattern

工业革命以来,工业化和人口增长导致人类活动大规模扩张,温室气体排放量大幅增加,地表和大气进入了历史上温度上升最快的时期<sup>[1]</sup>。全球气候变化的背景下,现有的温室气体排放模式亟待得到有效控制。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)提出各国均需以有效应对气候变化为目标开展广泛合作,并在1992年通过了《联合国气候变化框架公约》,后为敦促减排行动,先后通过了《京都议定书》<sup>[2-3]</sup>和《巴黎协定》<sup>[4]</sup>。如今我国已成为世界第一碳排放大国,贡献了全球近30%的碳排放<sup>[5-7]</sup>。为此,2020年我国正式提出2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和的目标<sup>[8]</sup>。

长期以来,工业生产领域的能源消耗和温室气体排放一直是政府和学者工作的重点,家庭碳排放因总量相对较小未得到充分的关注。但越来越多的研究者意识到,工业生产的最终目的是服务于人类社会,满足人类的需求,而作为最小的社会单元,家庭的消费选择是大部分生产、生活活动的终端环节<sup>[9]</sup>。因此,以家庭为研究对象,明确家庭日常生活选择对碳排放的影响,有助于理解温室气体排放的完整链条,更有针对性地开展减排工作。2021年,《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030年前碳达峰行动方案》相继颁布,从居民生活角度上提出了“全民低碳行动”等减排措施<sup>[10]</sup>。

家庭的出行方式和饮食的选择对相关行业碳排放有显著的影响<sup>[11]</sup>。交通出行产生的碳排放在过去的几十年中一直处于快速增长阶段,且增速高于其他任何部门<sup>[12]</sup>,私家车的使用已经成为了交通部门碳排放的主要组成部分之一<sup>[13]</sup>;同时,随着生活水平的提高,除了饮食结构变化带来的碳排放增长之外<sup>[14]</sup>,城市居民选择外卖或外出就餐也进一步增加了碳排放。在这样的背景下,家庭出行交通方式和饮食方式的选择,构成了低碳城市和可持续发展的重要议题<sup>[15]</sup>,针对城市居民交通和饮食的减排在落实“全民低碳行动”中具有很大的提升和改进空间。

目前交通碳排放的研究主要包括在宏观层面上探究交通管控政策、技术和规划中的减排方式及碳排放预测,例如黄河流域的研究发现控制人口规模、单位周转量能耗和交通能源强度等能够有效控制交通运输碳排放<sup>[16]</sup>;有研究者提出促进交通运输的低碳技术开发、提高能源利用效率和提倡低碳交通等方式来减少碳排放<sup>[17]</sup>。而在饮食碳排放方面的研究主要集中在两个方面,一方面通过对居民消费导致的食品加工、生产和运输过程中隐藏碳排放的研究来识别减排空间大的生产活动和因素<sup>[18-19]</sup>。另一方面,基于不同食品种类(如豆制品、素食、肉类等)的碳排放研究提出改变膳食结构以减排的建议<sup>[20-21]</sup>,例如有研究发现肉类食品造成

的碳排放是植物类食品的 7 倍<sup>[20]</sup>,通过核算 1979—2009 年间中国食品生产方面的碳足迹,发现食品生产的总碳足迹在三十年间增长了一倍<sup>[22]</sup>。

家庭的社会经济特征往往会对其日常生活的选择产生影响。有研究发现家庭规模<sup>[23]</sup>、经济水平<sup>[24]</sup>、性别<sup>[25]</sup>等特征对家庭碳排放产生了影响,理解这些社会经济特征与出行交通方式和饮食方式的关系,可有助于更好地估算未来家庭碳排放的变化趋势,并有针对性地推动全民低碳行动。对落实“双碳目标”和推进经济社会发展绿色转型具有重要意义。

我国 85% 的城市居民生活在中小城市,中小城市的数量超过 500 个。中小城市在基础设施、规模、居民收入水平、生活节奏等方面,往往与大城市存在一定差异<sup>[26]</sup>。在此背景下,本文以理解中小城市家庭在交通出行和饮食方式的选择及其碳排放为目标,以山东省滨州市滨城区为研究地,提出以下两个科学问题。(1)考虑在交通出行(私家车、公共交通等)和饮食方式(外卖、外食等)的不同选择下,研究区受访家庭产生了多少碳排放?(2)哪些因素会影响受访家庭在交通出行(私家车、公共交通等)和饮食方式(外卖、外食等)的选择从而作用于碳排放的?研究结果将为更全面地理解中小城市家庭生活碳排放提供依据,有助于为落实城市家庭减排措施提供着手点。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 研究区概况

本研究以山东省滨州市滨城区的中心城区(即城市区域)为研究区(图 1),北至北海大道、南至黄河大道、东至东外环路、西至西外环路。研究区总面积 176 km<sup>2</sup>,森林植被覆盖率达 32%。研究区城市总人口数约 41 万人,共约 9.3 万户城市家庭,位于我国中小型城市人口数量的中等水平。

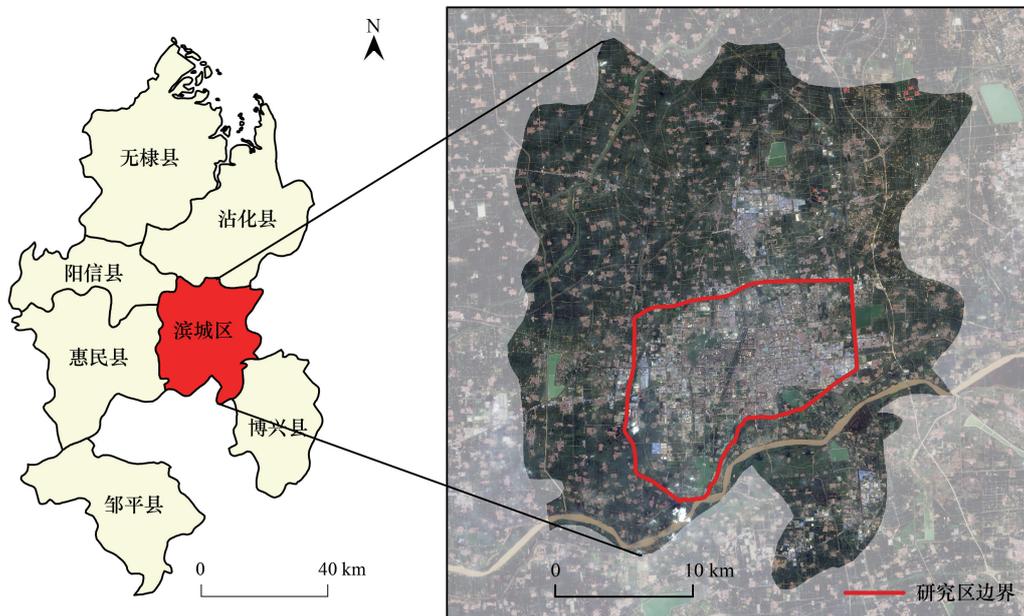


图 1 研究区:山东省滨州市滨城区

Fig.1 Study area: Bincheng District, Binzhou City, Shandong Province

滨州市是“以黄河地域文化为特色的生态文明城市”,属于《山东省国土空间规划(2021—2035)》中黄河沿线生态修复重点区,城市面临生态转型的要求,目前正处在大力构建生态宜居城市阶段,高度重视“双碳目标”的落实工作。而滨城区作为滨州市的市政府驻地,主要由城市居民聚集,因此滨城区的生态转型是迈向生态宜居的关键。滨城区是中小型城市中城区人口规模适中的地区,同时在积极探索生态可持续并落实节能减排目标,在同类中小城市的生态转型和低碳减排中具有一定的代表性和典型性。

滨城区地处黄河下游鲁北平原,位于山东省的西北侧,介于北纬 37°12'—37°41',东经 117°47'—118°10'之间,黄河穿境而过,滨城区植被资源以人工栽培的各类树木、农作物为主,野生植物较少。2022 年,滨城区实现地区生产总值 546.76 亿元,位于山东省区县生产总值排名的第 37 名。

## 1.2 数据来源

本研究主要使用了研究区城市家庭出行和饮食方式的选择、频率及开销等相关数据、家庭基本信息及家庭居住区条件信息、交通和饮食方式的相关能耗数据、人口数据和遥感影像及矢量边界数据。其中,家庭选择、频率和开销以及家庭信息等数据通过互联网调查问卷的形式获取,用于碳排放量核算、影响因素及作用机制分析。交通和饮食方式的相关能耗数据通过文献法和市场调查的方式获取,主要用于家庭能耗的假设和估算。此外,人口数据来源于《滨州市第六次人口普查年鉴》,遥感影像及矢量边界数据来源于“地理空间数据云平台(<https://www.gscloud.cn>)”。

## 1.3 问卷调查

本文中城市家庭的交通和饮食碳排放研究采用消费者生活方式方法理论框架<sup>[26-27]</sup>,对研究区城市家庭碳排放量和碳排放影响因素开展研究和分析。

问卷按照初步设计—预调研—修改—正式调研的方法开展,2023 年 3 月通过微信平台发放,采用滚雪球的方式采集样本。问卷设计目的是计算城市家庭交通出行和饮食方式选择所产生的碳排放量,以及调查所选影响因素指标的相关数据,具体分为两部分。

第一部分为碳排放相关信息,包括家庭交通出行和饮食方式的选择/情况。在交通出行方面考虑受访家庭使用私家车、公交车、摩托车、电动车和网约车的情况。其中,私家车、摩托车和网约车是家庭的独立消费活动,其开销有据可查,因此以调查样本家庭油耗开销的方式获取数据。公交车通过乘车的平均途经站数和乘坐频率计算碳排放量,而电动车则通过平均骑行距离及频率估算碳排放量。家庭饮食方式包括居家用餐、外卖和外卖三种情况,分别考虑其过程中的碳排放量,通过调查上述三种方式生命周期内的各个环节的能源消耗量加和计算而得。其中,居家用餐包括家庭主要烹饪方式和平均烹饪时间;外卖和外卖包括配送/外出距离和烹饪两部分的能源消耗。

第二部分为可能影响家庭碳排放的因素,包括外部环境、个体决策因素和家庭特征三个方面(表 1)。

## 1.4 家庭出行和饮食的碳排放量估算

利用碳排放系数对所获取交通和饮食能耗数据进行碳排放量的折算(公式 1)。

$$CE_j = \sum_{i=1}^n ACT_i \times EF_i \quad (1)$$

其中, $CE_j$ 为  $j$  方式的月总碳排放,即  $j$  为交通或饮食; $ACT_i$ 是第  $i$  种出行或耗能量; $EF_i$ 是第  $i$  种出行或耗能的碳排放系数。

在交通出行中,调查样本家庭的私家车、网约车、公交车、摩托车和电动车等五种交通工具各自的月均开销或乘坐信息,通过匹配其碳排放系数来综合计算家庭交通出行的碳排放量。在饮食方式中,本研究聚焦于家庭的居家用餐、外卖和外卖等三种饮食选择,通过调查不同饮食选择中的能源消耗类型和匹配能源类型的碳排放系数来计算饮食碳排放。三种饮食选择生命周期中均涉及多种能耗,如居家用餐时需考虑烹饪过程中消耗天然气、电、煤或煤气等能源的碳排放;外卖需考虑商家烹饪中消耗天然气等能源以及包装、配送所产生的碳排放等(表 2)。

表 1 消费者生活方式方法框架下的家庭碳排放影响因素

Table 1 Influencing factors of household carbon emissions under consumer lifestyle approach framework

准则层 Criterion layer	指标层 Indicator layer
外部环境因素 External environmental factors	社区绿化条件 社区基础设施水平
个体决策因素 Individual decision factors	节能环保意识
家庭特征因素 Family characteristics factors	家庭规模 男女比例 家庭收入 老幼比例 户主年龄 户主受教育水平

表 2 碳排放系数表

Table 2 Carbon emission coefficients

计算项 Calculated items	计量单位 Units	碳排放系数 Carbon emission coefficients	系数单位 Coefficient units	数据假设 Data hypothesis	数据来源 Data sources
交通出行 Transportation	私家车 L	2.34	kgCO <sub>2</sub> /L	以# 95 汽油 8.32 元/L 计算。	[26]
	网约车 km	0.5	kgCO <sub>2</sub> /km	以# 92 汽油 7.75 元/L 计算。	
	公交车 km	0.037	kgCO <sub>2</sub> /km	按每站路 1.25 km 计算。	
	摩托车 L	2.24	kgCO <sub>2</sub> /L	以# 92 汽油 7.75 元/L 计算。	
	电动车 km	0.008	kgCO <sub>2</sub> /km		[28]
饮食 Diet	天然气 m <sup>3</sup>	2.67	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	外卖、外卖分别以使用 30 min、15 min 天然气猛火灶计算。	[26]
	电 kWh	0.877	kgCO <sub>2</sub> /kWh		[29]
	煤气 m <sup>3</sup>	2.184	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>		[30]
	煤 kg	1.978	kgCO <sub>2</sub> /kg		[31]
	包装盒 kg	2.489	kgCO <sub>2</sub> /kg	取纸包装盒与塑料包装盒碳排放系数的平均值;外卖盒以 30 g/个计算。	[32]

猛火灶耗气量约为 2.8 m<sup>3</sup>/h;家用天然气灶耗气量约 1 m<sup>3</sup>/h;煤气灶双灶头耗气量约 0.48 kg/h 液化气;电磁炉每小时约耗 2.1 度电;每顿饭约消耗煤 0.6 kg

### 1.5 逐步线性回归分析碳排放影响因素

碳排放影响因素分析采用逐步线性回归分析,逐步线性回归分析方法是以一个自变量为起点对各自变量的方差进行显著性检验,将符合显著性要求的自变量按其对因变量作用的大小逐个引入方程,再对已进入的自变量逐个进行显著性检验,弃除变量引入后变为不显著的因子。根据逐步线性回归方法,将样本家庭的碳排放量作为因变量,将家庭规模、男女比例、家庭收入、老幼比例、户主年龄、户主受教育水平、节能环保意识、社区绿化条件和社区基础设施水平作为自变量,分析不同家庭特征、外部环境和个体决策是否会对家庭碳排放造成影响。其表达式如下。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2)$$

其中, $x_1, x_2, \dots, x_k$ 为被选择包含在分析模型中的碳排放影响因素指标; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为相应的回归系数, $\beta_0$ 为常数, $y$ 为碳排放量。

从自变量的测度来看,家庭规模、男女比例和老幼比例是数值指标,可直接用于回归模型构建,而本研究的其他指标采用虚拟变量测度表示(表 3)。

表 3 虚拟变量测度表

Table 3 Definitions of dummy variables

虚拟变量 Dummy variable	测度值 Definition
户主年龄 Householder age	18—30 岁=1;30—40 岁=2;40—50 岁=3;50—60 岁=4;60 岁以上=5
户主受教育水平 Householder education level	小学及以下=1;初中=2;高中/中专=3;大专=4;本科及以上=5
家庭收入 Household income	1 万以下=1;1—1.5 万=2;1.5—2 万=3;2—3 万=4;3—5 万=5;5 万以上=6
节能环保意识 Environmental protection awareness	(1) 双碳目标了解状况调查:不知道=1;听说过=2;知道一些内容=3;明确知道=4 (2) 夏季空调温度调查:20 度以下=1;21—23 度=2;24—26 度=3;27 度以上=4 (3) 外卖餐具使用情况调查:使用一次性餐具=1;使用消毒餐具=2;自带餐具
社区绿化满意程度 Satisfaction level to greenspace in residential quarter	非常不满意=1;不太满意=2;一般=3;比较满意=4;非常满意=5
社区周边基础设施水平 Infrastructure around residence	(1) 15 分钟生活圈内是否有公园:是=1;否=0 (2) 15 分钟生活圈内是否有商超:是=1;否=0 (3) 15 分钟生活圈内是否有医疗:是=1;否=0 (4) 15 分钟生活圈内是否有公交站:是=1;否=0 (5) 15 分钟生活圈内是否有学校:是=1;否=0

节能环保意识和社会基础设施水平均由每个问题的等权加和计算而得

### 1.6 有序 Logistic 回归分析碳排放影响因素的作用机制

导致家庭交通和饮食碳排放量差异的原因可以归结为由多种影响家庭在不同的交通和饮食方式中做出选择的因素之间的相互作用导致。因此,为明确影响因素如何作用于家庭选择,明晰其作用机理,本研究采用有序多分类 Logistic 回归的方法分析各影响因素的不同水平对家庭选择作用方式的差异。以 3 水平的反应变量为例,对  $n$  个自变量模拟如下。

$$\text{logit} \frac{P_1}{1-P_1} = \text{logit} \frac{P_1}{P_2+P_3} = -\alpha_1 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (3)$$

$$\text{logit} \frac{P_1+P_2}{1-(P_1+P_2)} = \text{logit} \frac{P_1+P_2}{P_3} = -\alpha_2 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (4)$$

其中, $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_3$ 是三个水平反应变量取值水平的概率; $x_1, x_2, \dots, x_k$ 为可能会对回归结果产生影响的自变量; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为回归系数; $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 为回归模型的常数项。

在本研究中,以家庭交通和饮食碳排放的影响因素为自变量,以直接会导致家庭交通和饮食碳排放的生活方式的选择为反应变量,通过有序多分类 Logistic 回归分析影响因素的作用方式。

## 2 研究结果

### 2.1 问卷调查结果及受访者特征描述性统计

问卷共收集 341 份,其中有效问卷 292 份,有效率为 85.6%。本部分通过频数分析,描述各问题的答案分布,以初步了解受访者所在家庭的碳排放情况及影响因素情况(表 4)。

表 4 样本家庭社会经济特征统计情况

Table 4 Statistics of socio-economic characteristics of sample families

变量 Variables	选项 Options	样本量/个 Sample size	样本比重/% Sample proportion	人口普查/% Proportion in census
家庭规模 Household size	1 人	3	1.03	10.42
	2 人	21	7.19	27.41
	3 人	109	37.33	38.47
	4 人	88	30.14	14.16
	5 人	38	13.01	6.78
	6 人及以上	33	11.30	2.66
	总计	292	100	100
户主年龄 Householder age	18—30 岁	12	4.11	
	30—40 岁	78	26.71	
	40—50 岁	108	36.99	
	50—60 岁	80	27.40	
	60 岁以上	14	4.79	
	总计	292	100	
家庭月收入 Monthly household income	1 万以下	109	37.33	
	1—1.5 万	82	28.08	
	1.5—2 万	49	16.78	
	2—3 万	20	6.85	
	3—5 万	13	4.45	
	5 万以上	19	6.51	
	总计	292	100	
户主受教育水平 Householder education level	小学及以下	11	3.77	31.30
	初中	73	25.00	45.31
	高中/中专	57	19.52	13.71
	大专	59	20.21	5.40
	本科及以上学历	92	31.50	4.28
	总计	292	100	100

在社会经济特征方面,本调查的样本家庭大多为三口之家和四口之家(约占样本总量的 67.47%)。样本家庭户主年龄 40—50 岁居多(约占样本总量的 36.99%),中等年龄户主的样本家庭偏多而年轻户主和老年户主的样本家庭相对较少。样本家庭总体在户主受教育水平方面较人口普查的趋势有所差异,调查样本的平均受教育水平较人口普查偏高。样本家庭的收入总体处于中等收入水平,家庭月收入在 1 万元以下的样本家庭居多(约占样本总量的 37.33%)。

在交通出行方面,绝大多数家庭的主要交通出行方式是私家车/网约车,该类出行方式约占比 55.88%,其中,样本家庭的私家车拥有率达到了 92.65%,且有 52.06%的家庭拥有不止一辆私家车。以步行/自行车/电动车为主要交通出行方式的家庭占 40.29%,公交车为主要的家庭仅占 2.65%。摩托车为主要的家庭最少,仅占 1.18%,其中,有 82.35%的样本家庭暂无摩托车(图 2)。

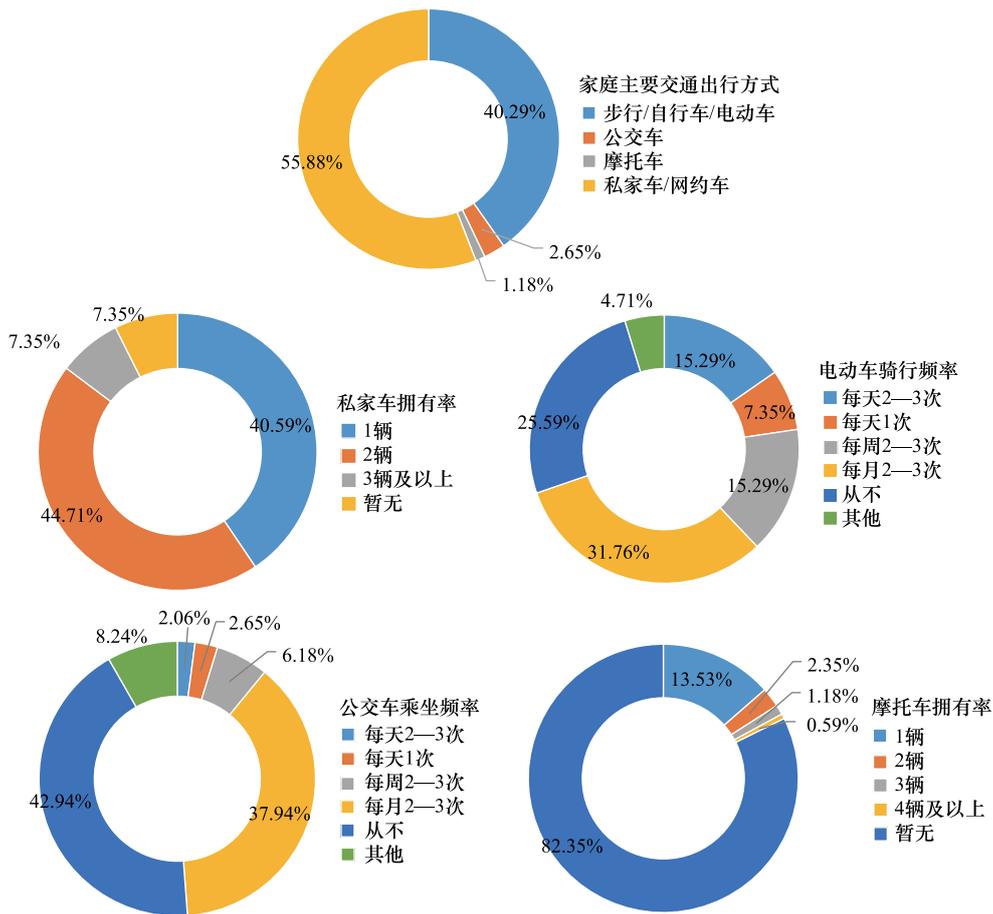


图 2 样本家庭交通出行方式

Fig.2 Transportation patterns of sample families

在饮食方面,居家用餐作为日常饮食中最普遍的饮食选择,85.00%的样本家庭每天至少有一次居家用餐,而平均每天少于一次居家用餐的样本仅占 15.00%。每月多于一次外食的样本家庭占 57.65%,其中 34.71%的家庭每周或每天都会有外食的情况。样本家庭点外卖的次数相对较少,有 70.59%的样本家庭每月少于一次或从不点外卖(图 3)。

### 2.2 家庭交通出行和饮食方式碳排放量计算及其特征

根据计算,滨城区城市家庭交通出行户均碳排放量约为 280.24 kgCO<sub>2</sub>/月。交通出行中绝大多数的碳排放量都是私家车出行所致,占 92.72%,网约车、摩托车、公交车和电动车的碳排放量依次降低,分别占交通碳排放量的 4.88%、1.83%、0.37%和 0.19%(图 4)。此外,单位里程的交通工具碳排放量中,网约车>私家车>摩

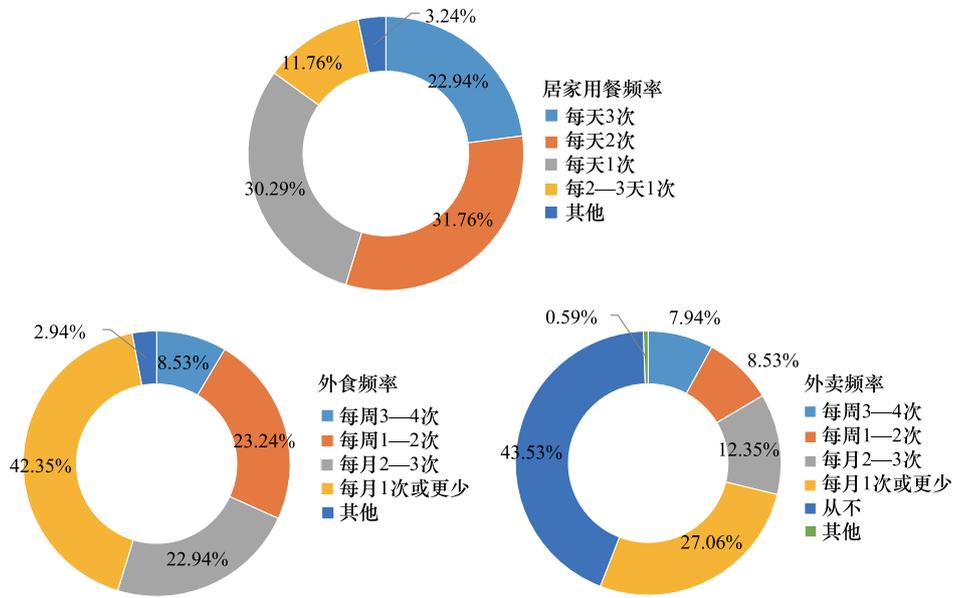


图3 样本家庭饮食方式统计  
Fig.3 Diet patterns of sample families

托车>公交车>电动车,其比例关系约为 63:25:11:5:1。

根据计算,滨城区城市家庭饮食户均碳排放量约为 77.73 kgCO<sub>2</sub>/月。家庭饮食中居家用餐作为最具日常性的饮食方式是所有饮食方式中对碳排放量贡献最大的因素,占家庭饮食碳排放量的 75.29%,而外食和外卖作为日常生活中非必要性的用餐方式,产生的碳排放量相对较小,分别占家庭饮食碳排放量的 19.71%和 5% (图 5)。

平均每户家庭一次居家用餐约造成 1.11 kgCO<sub>2</sub>的碳排放,一次外食约造成 4.94 kgCO<sub>2</sub>的碳排放,一次外卖约造成 2.01 kgCO<sub>2</sub>的碳排放,因此单次用餐所产生的碳排放量中,外食>外卖>居家用餐,其比例关系约为 5:2:1。

根据样本数据统计得出户均交通和饮食的碳排放总量约为 357.97 kgCO<sub>2</sub>/月,本调查有效样本量为 292 份,故样本家庭月碳排放总量约为 104.53 t CO<sub>2</sub>,其中在研究区内城市居民交通出行所导致的碳排放量大,家庭饮食所致碳排放量小,其比例关系约为 4:1(表 5)。

### 2.3 城市家庭交通和饮食碳排放影响因素分析

多元逐步线性回归结果显示,户主受教育水平、家庭收入和家庭规模共三个影响因素指标会对城市家庭交通和饮食碳排放造成显著影响,且与碳排放均呈正相关关系。户主受教育水平和城市家庭收入对家庭交通和饮食碳排放的影响极其显著( $P=0.001$ ),家庭规模对城市家庭交通和饮食碳排放的影响显著( $P < 0.05$ )。多元逐步线性回归结果中获得的三个对家庭碳排放具有显著影响的指标均属于家庭特征因素(表 6)。

其中,户主受教育水平对城市家庭交通和饮食碳排放的影响程度最大( $\beta=0.215$ ),即其他因素不变的情

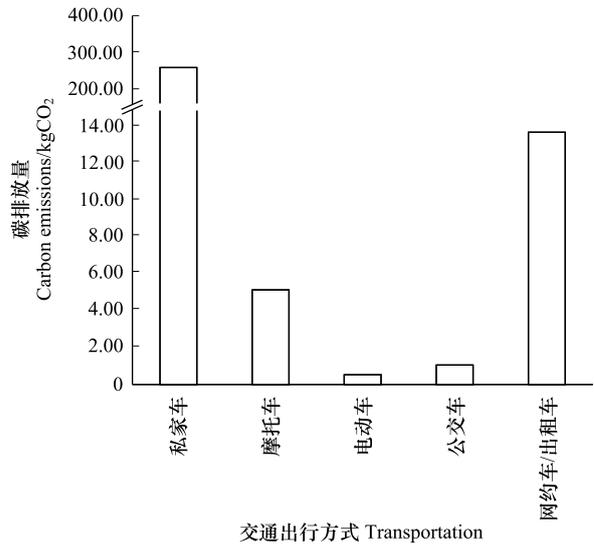


图4 滨城区城市家庭交通出行碳排放结构图  
Fig. 4 Carbon emission structure of urban household transportation in Bincheng District

况下,户主每提高一个学历水平会,家庭每月交通和饮食碳排放增加约 38.83 kgCO<sub>2</sub>。

家庭收入的影响略低( $\beta=0.206$ ),即其他因素不变的情况下,样本家庭月收入每增加 1.25 万元,交通和饮食碳排放约增加 34.51 kgCO<sub>2</sub>。

家庭规模的影响最小( $\beta=0.132$ ),即其他因素不变的条件下,样本家庭每增加一个常住人口,家庭每月交通和饮食碳排放约增加 26.73 kgCO<sub>2</sub>。结果显示,两口之家的人均交通和饮食碳排放量最高,为 158.9 kgCO<sub>2</sub>/月,比独居家庭高 18.9 kgCO<sub>2</sub>/月。之后,人均交通和饮食碳排放量随着家庭规模增大而减少。其中,由两口之家到三口之家和由三口之家到四口之家的人均碳排放量减少最显著,分别为 38.4 kgCO<sub>2</sub>/月和 32.27 kgCO<sub>2</sub>/月(图 6)。

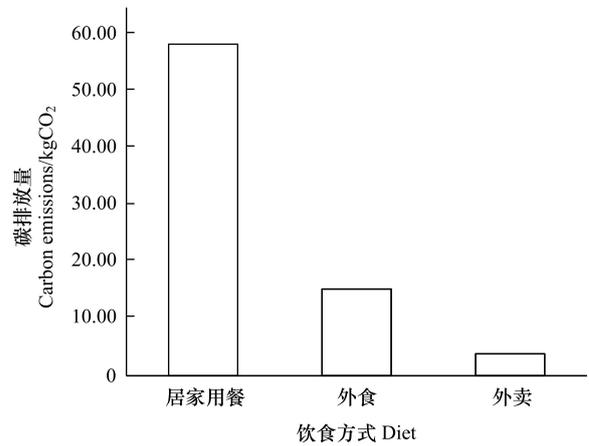


图 5 滨城区城市家庭饮食方式碳排放结构图

Fig. 5 Carbon emission structure of urban household diet in Bincheng District

表 5 样本家庭的交通和饮食碳排放量

Table 5 Carbon emissions from transportation and diet of sample households

家庭生活方式 Household lifestyle		样本家庭月碳排放总量 Total monthly carbon emission of sample households/t CO <sub>2</sub>	户均月碳排放量 Average monthly carbon emission per household/(kgCO <sub>2</sub> /月)	比例结构 Structure/%
交通出行方式 Transportation	私家车	75.88	259.85	72.59
	摩托车	1.50	5.13	1.43
	电动车	0.15	0.53	0.15
	公交车	0.31	1.05	0.29
	网约车	3.99	13.68	3.82
	总和	81.83	280.24	78.29
饮食方式 Diet	居家用餐	17.09	58.53	16.35
	外卖	4.47	15.32	4.28
	外卖	1.13	3.88	1.09
	总和	22.70	77.73	21.72
总和 Total	104.53	357.97	100	

表 6 多元逐步线性回归结果

Table 6 Result of multiple stepwise linear regression

	未标准化系数 Unstandardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient	显著性 Significance
	Beta	标准误 Standard error	Beta	
常量 Constant	43.738	71.188		0.539
户主受教育水平 Householder education level	38.830	11.528	0.215	0.001
家庭收入 Household income	34.507	10.093	0.206	0.001
家庭规模 Household size	26.726	12.481	0.132	0.033

### 2.4 影响因素的作用机制

由于样本家庭中以摩托车作为主要出行方式的仅有 1.18%,在有序多分类 Logistic 回归分析中不考虑摩托车,将私家车拥有量、网约车开销、乘坐公交车频率、骑电动车频率、外卖频率、外卖频率和居家用餐频率以及上述变量的家庭人均值,共 14 个变量作为模型的反应变量。本研究中交通和饮食碳排放量的三个影响因

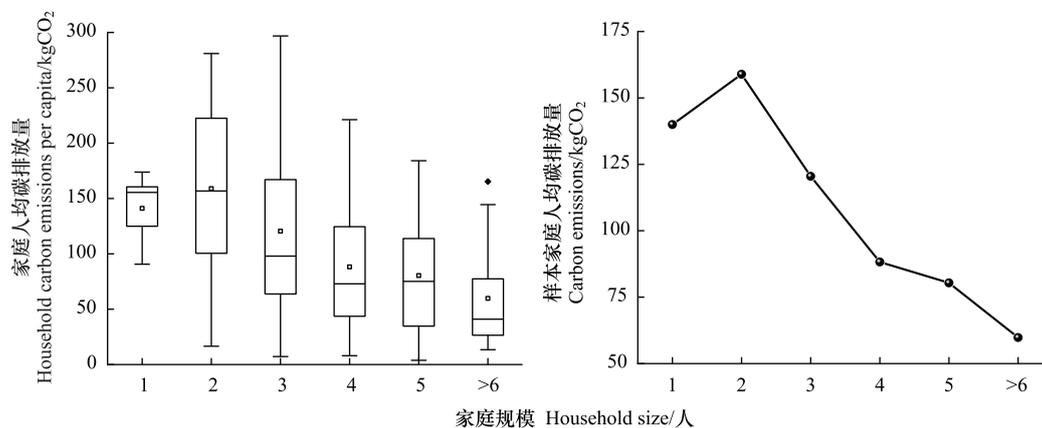


图6 家庭规模与人均碳排放的关系

Fig.6 Relationship between household size and per capita carbon emission

素均为定序变量,因此为便于分析各影响因素对家庭选择的作用趋势,均按照其分类顺序分为低(小)、中、高(大)三类,即初中及以下为低受教育水平、高中/中专和大专为中等受教育水平、本科及以上为高受教育水平;月收入1.5万及以下为低收入家庭、1.5—3万为中等收入家庭、3万以上为高收入家庭;家庭人口数为1—2人为小规模家庭、3—4人为中等规模家庭、5人及以上为大规模家庭。经有序多分类 Logistic 回归,计算各反应变量的显著性(表7)。

表7 Logistic 回归中反应变量显著性值

Table 7 Significance of dependent variables in Logistic regression

反应变量 Dependent variable	显著性 Significance	反应变量 Dependent variable	显著性 Significance
私家车拥有量 Number of cars	<0.001	人均汽车拥有量 Number of cars per capita	<0.001
网约车开销 Online car-hailing expense	<0.001	人均网约车开销 Online car-hailing expense per capita	<0.001
乘坐公交车频率 Frequency of taking public transit	0.122	人均乘坐公交车频率 Frequency of taking public transit per capita	0.980
骑电动车频率 Frequency of riding an electric bike	0.099	人均骑电动车频率 Frequency of riding an electric bike per capita	0.044
外卖频率 Frequency of dining out	<0.001	人均外卖频率 Frequency of dining out per capita	<0.001
居家用餐频率 Frequency of dining home	0.680	人均居家用餐频率 Frequency of dining home per capita	<0.001

其中,私家车拥有量、网约车开销、外卖频率、外卖频率、家庭人均汽车拥有量、家庭人均网约车开销、家庭人均骑电动车频率、家庭人均外卖频率、家庭人均外卖频率和家庭人均居家用餐频率共十个反应变量显著( $P<0.05$ )。以大规模家庭、高教育水平、高家庭收入作为参考水平,分别分析这十个反应变量受家庭规模、教育和收入水平的影响程度(图7)。

结果显示,户主受教育水平整体上对家庭私家车拥有量、外卖和外卖有促进作用,例如收入和家庭规模不变的条件下,户主受教育水平为本科及以上的家庭倾向于多购买私家车的约是受教育为高中到大专水平的1.77倍;户主受教育水平为本科及以上的家庭倾向于更多外卖和外卖的可能性分别约是户主受教育为初中及以下家庭的2.74和2.89倍。家庭收入高使得家庭的网约车开销和人均网约车开销高于收入低的家庭,例如高收入家庭倾向于多选择网约车出行的可能性约是低收入家庭的2.62倍。

家庭规模主要是通过影响家庭选择购买私家车的数量和选择其他交通和饮食方式的习惯来作用于家庭碳排放。其中5人及以上的家庭相较1—2人的家庭来说私家车拥有量较高,但人均外卖频率较低,例如大规模家庭倾向于多购买私家车的约是小规模家庭的3.79倍。此外,随着家庭规模的逐步增大,使得家庭的人均外卖频率、人均网约车开销、人均居家用餐频率、人均骑电动车频率和人均私家车拥有量均逐步降低。

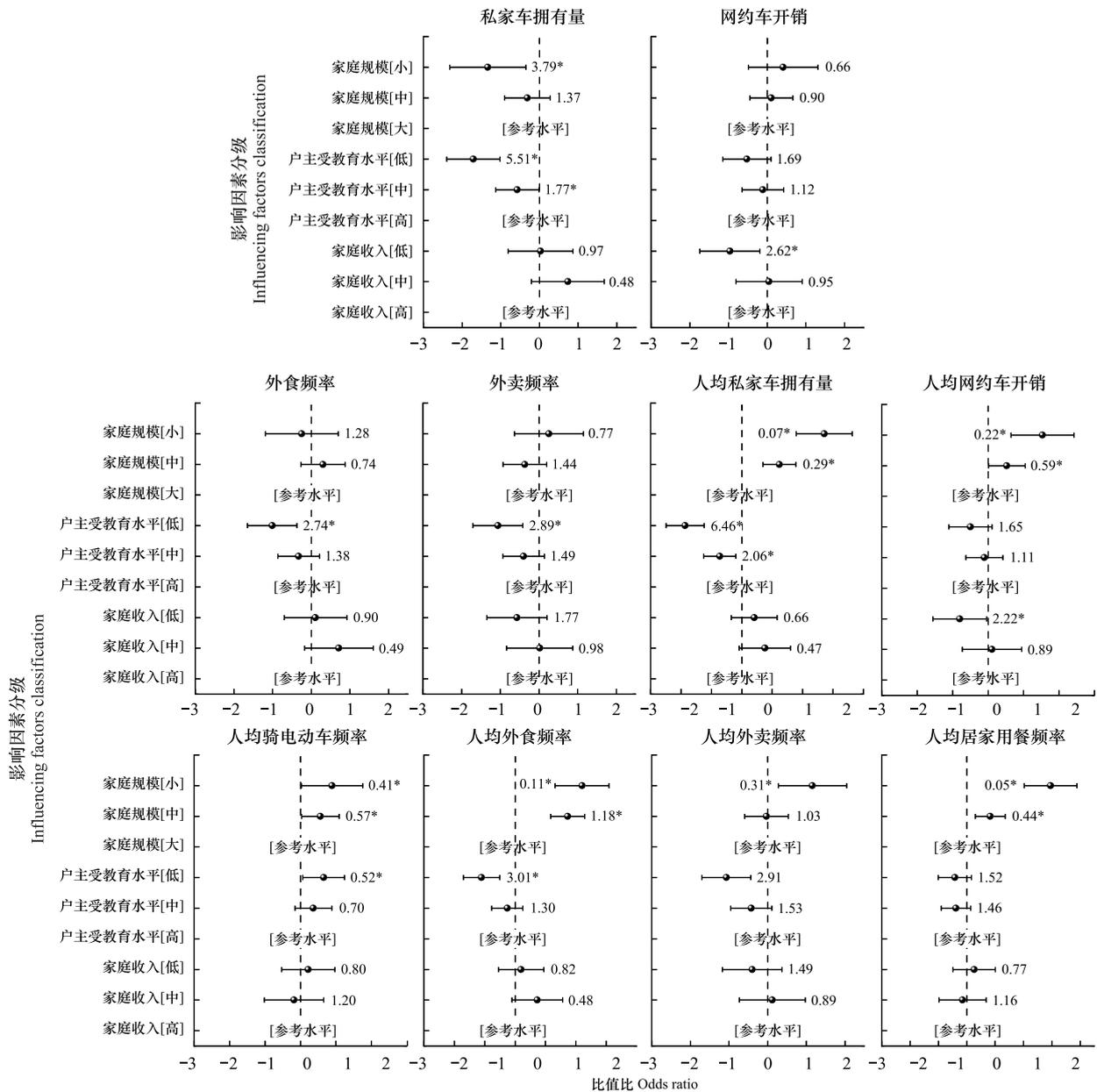


图 7 有序多分类 Logistic 回归森林图

Fig.7 Forest map of ordinal logistic regression

图中数字为  $\exp(-\beta)$  值,即参考水平为当前水平的  $\exp(-\beta)$  倍或当前水平为参考水平的  $\exp(\beta)$  倍; \* 表示结果在 95% 统计水平上具有显著性

### 3 讨论

研究发现每户家庭交通和饮食碳排放约为 357.97 kgCO<sub>2</sub>/月,其中交通出行的碳排放约为饮食的四倍。家庭选择层面上的户主受教育水平、家庭收入和家庭规模是对交通和饮食碳排放的三个主要影响因素,他们主要通过对购买私家车、乘坐网约车、外食和外卖等行为的選擇作用于碳排放。此外,家庭规模还对人均碳排放有明显的影響,家庭规模增大使人均碳排放降低,其中两口之家的人均排放最高,约达 158.9 kgCO<sub>2</sub>/月。

#### 3.1 城市特征与交通和饮食方式

仅有约 2.65% 的样本家庭将乘坐公共交通作为自己的主要出行方式,这可能由于研究区为中小型城市,

面积仅约 176.47 km<sup>2</sup>,居民日常出行距离较短,因此约 40%的家庭会选择步行、自行车或电动车作为主要交通出行方式。在日常短途出行中,摩托车的作用与电动车极度相似,并且摩托车的购买费用和油耗开销远高于电动车,因此只有约 1.18%的家庭会选择摩托车作为主要出行方式。此外,公共交通便利度不高也是公共交通使用较少的原因。研究区人口密度相对较低,交通拥堵现象较少,私家车或网约车由于便利性和灵活性也成为了样本家庭主流的出行方式。若选定人口密度大且城市化程度高的大都市为研究区,则公共交通出行方式可能是城市居民日常的主要出行方式,因此在大都市的交通出行碳排放结构可能与本研究有较大差异。总之,城市规模可能是对家庭交通出行特征造成差异的主要原因,就中小型城市而言,其特征为私人出行方式多而公共出行少,提升公共出行的普及度可能会有效缓解碳排放。

居家用餐是日常饮食中最普遍的选择,几乎全部的样本家庭每日都会至少有一次居家用餐。约三分之二的样本家庭外卖频率较低,推测其外卖的目的大多可能是为舒缓压力、放松心情。但值得注意的是,约十分之一的样本家庭几乎每日都会外卖,推测高频率外卖可能多为工作需要。超过一半的样本家庭几乎不点外卖,其原因可能由于研究区的外卖普及度和便利度不够高。但需要说明的是,样本家庭户主的年龄多为 40—50 岁,该群体饮食观念形成的过程中鲜有外卖方式普及,因此整体外卖频率较低也可能受到了样本年龄分布的影响,在本研究中户主年龄 40 岁以下的家庭每月外卖频率为 3.15 次,而 40 岁以上的家庭仅 1.52 次。因此,如果增加年轻的样本家庭数量,则样本中平均外卖频率可能会有较大程度的提高。

### 3.2 微观层面交通和饮食方式的家族选择

有学者基于政府统计数据发现居民消费水平、能源消费结构、城市家庭总户数和城镇化水平等是影响家庭碳排放的因素<sup>[33]</sup>,而本研究由微观调查问卷数据分析出的家庭碳排放影响因素为户主受教育水平、家庭收入和家庭规模,更能在居民个体选择层面上解释居民行为,而非以宏观调控为目标。即统计数据指导政策方向,微观调查从现象入手为措施的细化落实提供参考。此外,已有研究大多侧重居民收入和人均 GDP 等经济特征,遵循环境库兹涅茨曲线,阐明其对碳排放的影响<sup>[34]</sup>,而本研究发现户主受教育水平对碳排放的影响程度高于经济特征,即受教育水平对消费意识和环境消耗可能具有更大的贡献。

户主受教育水平和家庭收入与消费需求呈正相关关系<sup>[35]</sup>,因此户主受教育水平高和家庭收入高的家庭对出行和饮食的消费需求也更高<sup>[36]</sup>,例如选择购买私家车出行、乘坐网约车出行、外卖和外出就餐等消费水平较高的方式,会带来更高的碳排放。从而产生了本研究得出的户主受教育水平、家庭收入越高,其家庭交通和饮食碳排放量越高的结果。

家庭规模对交通和饮食碳排放主要是通过直接影响家庭选择购买私家车的数量的方式来产生作用。大规模家庭平均每次出行的人数较多,同时,不同家庭成员的活动路线也更具多样性,因此其所需的私家车数量较多。但随着家庭规模的增大,几乎各个交通和饮食方式的家人人均值均有所下降,产生该现象的原因为家庭成员共享的交通和饮食方式较多,会产生较为明显的规模经济,这可以使家庭的能耗和消费更加集约。其中,独居家庭和两口之家之间的人均交通和饮食碳排放规律与上述规律相反,其原因可能为两口之家的生活丰富度高于独居家庭,因此除独居家庭的生活内容外,两口之家还可能具有更多产生碳排放的生活内容。上述原因导致了本研究中得出的家庭规模越大,其交通和饮食的家庭碳排放总量越高;以及家庭规模越大,其人均碳排放量越低的结果。但在公共交通较为发达的地区,由于个人出行成本较低,其家庭成员独自出行的频率可能较高,从而带来较高的个人外卖频率等现象。因此在公共交通较为发达的地区家庭规模对交通和饮食碳排放的影响可能并不显著。

总之,在居民生活的视角下,以受教育水平、经济水平和家庭规模等方面为调控的着手点,可以有效促进城市家庭进行更加低碳的交通和饮食方式的选择。

### 3.3 建议

研究发现户主受教育水平、家庭收入和家庭规模三个家庭特征方面的因素会对城市家庭交通和饮食碳排放产生影响,因此本研究建议在城市居民生活层面节能减排的策略可以优先集中在调整家庭特征方面,在此

基础上可考虑外部环境和个体决策方面的调节机制。户主受教育水平和家庭收入对家庭交通和饮食碳排放的影响仅可通过提升高受教育水平和高收入家庭的居民节能减排意识或通过政府的相应补偿政策来控制,如在传统教育中环境友好、绿色消费和低碳选择意识的培养。通过教育或定向宣传的方式使受教育水平、家庭收入与节能意识相匹配,或通过对节能减排行为的补偿措施来激励居民的减排行为,如完善和加强新能源汽车的购买补偿政策、将乘坐新能源网约车和乘坐汽油网约车分类收费等。在制定、实施节能减排政策和进行家庭碳排放预测、调节时,要充分考虑当前社会经济条件下家庭规模的变化,如认清在当前社会发展阶段中家庭规模普遍的增减趋势、家庭生育意愿或子女与父母同居的意愿等,以便结合当前家庭规模的实际特征和减排目标确定合理的措施,实现最大化的综合效益,防止碳排放的过度调控或调控力度不足造成其他社会经济效益的损失。此外,研究区样本家庭交通出行所致碳排放约为饮食所致碳排放的 4 倍,同等水平下对交通出行碳排放采取相应措施更易取得显著成效。

在对中小城市的居民的引导方面,首先应该将全球变暖及温室气体过量排放的现状和危害进行充分的普及;其次,使居民能直观感受到不同交通和饮食方式所带来的碳排放及差异,如将碳排放量加入交通工具的仪表中显示、在网约车或外卖软件中显示单次打车或点餐的碳排放量数值,更重要的是将其所产生的碳排放量数值与居民已形成的直观概念进行对比,如某次出行或饮食所造成的碳排放量需要一棵树耗费多久才能中和;此外,还需要为居民提供低碳生活方式的保障条件,如增加行道树的种植保障夏季步行或骑行的遮荫效果、丰富市场食材的类型并降低成本从而保障居家用餐食品的多样性等。

### 3.4 研究局限性与未来展望

本研究在城市居民的交通出行和饮食方式的家庭选择的角度分析并计算了碳排放及其影响因素,明确了家庭选择对碳排放的作用机制。为有效落实全民低碳行动阐明了在居民日常生活层面的节能减排的可行空间,从而为提升城市生态可持续提供有针对性的政策制定依据。

但同时,本研究仍具有一定的局限性。其一,利用线上问卷采用滚雪球的方式收集,这种抽样方法虽然有助于勾勒出研究区家庭的碳排放模式,但可能会在收集某些特定人群的反应中受到限制<sup>[37]</sup>,如不善于使用智能手机的老年人和不愿意点开问卷链接的人群,故本研究的抽样调查能够反映的人群多为惯用手机且较有社会参与感的中青年人。具有社会参与感的中青年人同时也应是最容易参与到减排政策响应中的人群,是居民生活减排的主力军,因此研究在以落实生活减排为目的层面上来看仍具有很强的代表性。其二,样本量相对较小,覆盖的样本家庭可能不够全面,因此研究对未覆盖家庭的解释性有限,此外,与人口普查数据相比,本调查样本家庭户主的平均学历偏高。其三,本文在碳排放量计算方面,基于以往的研究结果做了一些假设,同时,在探究影响因素及其作用机制的分析方法上采用了较为常规的方法,未来可以更有针对性地通过案例研究细化不同场景下的碳排放系数并采用更加创新的影响因素分析方法,进一步提高碳排放量测算的准确度和影响因素的全面性。在后续的研究中,可在对城市居民的各个年龄层进行全面调查且兼顾样本总体平衡的基础上,开展更大尺度上不同城市的家庭之间生活方式选择差异对碳排放影响的对比研究。尤其是在不同城市规模的视角下开展对比研究可能会对差异化的碳减排措施有重要的启发作用,即以控制城市居民生活碳排放为目标,总结不同规模城市的家庭生活选择方式的异同,从而提出针对不同规模城市的节能减排措施等。

## 4 结论

研究区城市家庭交通和饮食碳排放量约为 357.97 kgCO<sub>2</sub>/月,其中交通出行所导致的碳排放与家庭饮食所导致的碳排放量的比例关系约为 4:1。可见城市家庭日常生活中,相较于饮食而言交通出行可能是导致碳排放量增大的主要因素。通过对交通和饮食碳排放影响因素分析发现,户主受教育水平、家庭收入和家庭规模共 3 个影响因素会对碳排放造成显著影响,其影响程度依次降低。各因素与碳排放量均呈正相关关系。以上 3 个影响因素均属于家庭特征因素,总体来看,家庭特征是导致研究区城市家庭碳排放差异的决定因素。通过对碳排放影响因素的作用机制分析发现,户主受教育水平主要影响家庭私家车拥有量、外卖和外卖的选

择;家庭收入主要影响网约车开销方面的选择;家庭规模也主要影响家庭私家车拥有量的选择,但随着家庭规模增大,各家庭成员对高碳排行为的需求有所下降。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] Boisson de Chazournes L. The united nations framework convention on climate change: on the road towards sustainable development. Enforcing Environmental Standards; Economic Mechanisms as Viable Means?. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996: 285-300.
- [ 2 ] 刘明达, 蒙古军, 刘碧寒. 国内外碳排放核算方法研究进展. 热带地理, 2014, 34(2): 248-258.
- [ 3 ] Dogan E, Chishti M Z, Karimi Alavijeh N, Tzeremes P. The roles of technology and Kyoto Protocol in energy transition towards COP26 targets: evidence from the novel GMM-PVAR approach for G-7 countries. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 181: 121756.
- [ 4 ] 张华, 丰超, 刘贯春. 中国式环境联邦主义: 环境分权对碳排放的影响研究. 财经研究, 2017, 43(9): 33-49.
- [ 5 ] 王悦, 李锋, 孙晓. 城市家庭消费碳排放研究进展. 资源科学, 2019, 41(7): 1201-1212.
- [ 6 ] Lin B Q, Yao X, Liu X Y. China's energy strategy adjustment under energy conservation and carbon emission constraints. Social Sciences in China, 2010, 31(2): 91-110.
- [ 7 ] 张馨, 牛叔文, 赵春升, 胡莉莉. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究. 中国软科学, 2011(9): 65-75.
- [ 8 ] 胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径. 北京工业大学学报: 社会科学版, 2021, 21(3): 1-15.
- [ 9 ] Liu L C, Wu G, Wang J N, Wei Y M. China's carbon emissions from urban and rural households during 1992—2007. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(15): 1754-1762.
- [ 10 ] 王遥, 任玉洁. “双碳”目标下的中国绿色金融体系构建. 当代经济科学, 2022, 44(5): 1-13+139.
- [ 11 ] 徐文川. 中国居民饮食消费的温室气体排放研究[D]. 南京: 南京大学, 2018.
- [ 12 ] 马静, 柴彦威, 刘志林. 基于居民出行行为的北京市交通碳排放影响机理. 地理学报, 2011, 66(8): 1023-1032.
- [ 13 ] Lee C. Transport and climate change: a review. Journal of Transport Geography, 2007, 15(5): 354-367.
- [ 14 ] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 郑华. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态. 生态学报, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [ 15 ] 杨文越, 梁斐雯, 曹小曙. 多尺度建成环境对居民通勤出行碳排放的影响——来自广州的实证研究. 地理研究, 2020, 39(7): 1625-1639.
- [ 16 ] 张国兴, 苏利贤. 黄河流域交通运输碳排放的影响因素分解与情景预测. 管理评论, 2020, 32(12): 283-294.
- [ 17 ] 谢守红, 蔡海亚, 夏刚祥. 中国交通运输业碳排放的测算及影响因素. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 13-18.
- [ 18 ] Feng W, Cai B M, Zhang B. A Bite of China: food consumption and carbon emission from 1992 to 2007. China Economic Review, 2020, 59: 100949.
- [ 19 ] Schmitz C, Biewald A, Lotze-Campen H, Popp A, Dietrich J P, Bodirsky B, Krause M, Weindl I. Trading more food: implications for land use, greenhouse gas emissions, and the food system. Global Environmental Change, 2012, 22(1): 189-209.
- [ 20 ] 王晓, 齐晔. 我国饮食结构变化对农业温室气体排放的影响. 中国环境科学, 2013, 33(10): 1876-1883.
- [ 21 ] Pairotti M B, Cerutti A K, Martini F, Vesce E, Padovan D, Beltramo R. Energy consumption and GHG emission of the Mediterranean diet: a systemic assessment using a hybrid LCA-IO method. Journal of Cleaner Production, 2015, 103: 507-516.
- [ 22 ] Lin J Y, Hu Y C, Cui S H, Kang J F, Xu L L. Carbon footprints of food production in China (1979—2009). Journal of Cleaner Production, 2015, 90: 97-103.
- [ 23 ] Zhang X L, Wang J, Pan H Z, Yuan Z H, Feng K S. Changes in the socio-economic characteristics of households can decouple carbon emissions and consumption growth in China. Sustainable Production and Consumption, 2023, 43: 168-180.
- [ 24 ] Mi Z F, Zheng J L, Meng J, Ou J M, Hubacek K, Liu Z, Coffman D, Stern N, Liang S, Wei Y M. Economic development and converging household carbon footprints in China. Nature Sustainability, 2020, 3: 529-537.
- [ 25 ] Osorio P, Tobarra M Á, Tomás M. Are there gender differences in household carbon footprints? Evidence from Spain. Ecological Economics, 2024, 219: 108130.
- [ 26 ] 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. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 35-40.
- [ 27 ] Bin S, Dowlatabadi H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO<sub>2</sub> emissions. Energy Policy, 2005, 33(2): 197-208.
- [ 28 ] 柴彦威, 肖作鹏, 刘志林. 居民家庭日常出行碳排放的发生机制与调控策略——以北京市为例. 地理研究, 2012, 31(2): 334-344.
- [ 29 ] 李治, 李国平, 胡振. 西安市家庭碳排放特征及影响因素实证分析. 资源科学, 2017, 39(7): 1394-1405.
- [ 30 ] 蔡博峰. 城市温室气体清单研究. 气候变化研究进展, 2011, 7(1): 23-28.
- [ 31 ] Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama, Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies IGES, 2006.
- [ 32 ] 朱强, 李丰, 钱壮. 全国高校食堂堂食浪费概况及其外卖碳足迹研究——基于 30 省(市)30 所高校的 9660 份问卷调查. 干旱区资源与环境, 2020, 34(1): 49-55.
- [ 33 ] 计志英, 赖小锋, 贾利军. 家庭部门生活能源消费碳排放: 测度与驱动因素研究. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(5): 64-72.
- [ 34 ] 刘华军, 闫庆悦, 孙曰瑶. 中国二氧化碳排放的环境库兹涅茨曲线——基于时间序列与面板数据的经验估计. 中国科技论坛, 2011(4): 108-113.
- [ 35 ] 张学敏, 何西宁. 受教育程度对居民消费影响研究. 教育与经济, 2006(3): 1-5.
- [ 36 ] 张学敏, 沈丽媛. 受教育程度如何影响消费水平? ——基于我国家庭结构、消费类别和居住区域的实证研究. 西南大学学报: 社会科学版, 2018, 44(4): 78-89.
- [ 37 ] Huang G L, Jiang Y Q, Zhou W Q, Pickett S T A, Fisher B. The impact of air pollution on behavior changes and outdoor recreation in Chinese cities. Landscape and Urban Planning, 2023, 234: 104727.